

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS**



**Evaluación de la Combinación de una Fuente de NNP de Liberación Controlada (Optigen 1200®) y Urea Convencional Añadida a Dietas de Finalización para Ganado de Engorda Conteniendo Diferentes Proporciones de Almidón:FDA: Función Ruminal, Digestión de Nutrimientos y ED de la Dieta**

**T E S I S**  
**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**  
**MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**PRESENTA:**  
**IA. CARLOS RAÚL RIVERA MÉNDEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**  
**DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA**

**ASESORES**  
**DR. JOSÉ FERNANDO CALDERÓN CORTÉS**  
**M. C. MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ SOTO**  
**DR. VÍCTOR MANUEL GONZÁLEZ VIZCARRA**

**MEXICALI, B.C., MÉXICO**  
**2011**

**AGOSTO,**

Evaluación de una Fuente de NNP de Liberación Controlada Añadida a Dietas de Finalización para Ganado de Engorda con Diferentes Proporciones de Almidón:FDA: Función Ruminal y Digestión de Nutrientes.Tesis presentada por Carlos Raúl Rivera Méndez como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

---

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera

Director principal/

---

Dr. José Fernando Calderón Cortés

Asesor/

---

M.C. María Alejandra López Soto

Asesor/

---

Dr. Víctor Manuel González Vizcarra

Asesor/

---

## Contenido

	Pág
Lista de Cuadros .....	iii
Lista de Figuras .....	iv
Resumen.....	v
Abstract .....	vii
Introducción.....	1
Hipotesis.....	4
Objetivo.....	5
<b>Revisión de Literatura.....</b>	<b>6</b>
Metabolismo proteico de los rumiantes.....	6
Fuentes de amoniaco en el rumen.....	6
Proteínas y Nitrógeno No Proteico (NNP).....	7
Transformación de la proteína en el rumen.....	8
Síntesis de la proteína microbiana.....	9
Factores que afectan la síntesis proteica en el rumen.....	12
Fuentes de N y concentración del amoniaco.....	12
Fuentes de carbohidratos.....	12
Rutas de pérdida de amoniaco en el rumen.....	13
Metabolismo en el hígado y reciclaje de urea.....	14
El amoniaco en el rumen.....	14
La absorción del amoniaco.....	15
Suplementación con NNP.....	15
Fuentes de NNP.....	17
Urea.....	17
Biuret.....	18

Starea.....	21
Acido Úrico.....	21
Fosfato diamónico (DAP).....	24
Polifosfato amónico (APP).....	24
Urea de liberación lenta (ULL).....	26
Optigen.....	29
<b>Materiales y Métodos</b> .....	34
Localización del área donde se llevó a cabo el estudio.....	34
Características de las unidades experimentales.....	34
Dietas.....	35
Tratamientos y asignación a corraletas.....	38
Diseño experimental.....	39
Duración de la prueba, suministro de Optigen 1200®, alimentación, Y procedimientos de de muestreo y análisis de laboratorio.....	39
Duración de la prueba.....	39
Suministro de Optigen 1200®.....	39
Alimentación.....	40
Procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio.....	40
Cálculos y análisis estadístico.....	42
<b>Resultados y Discusión</b> .....	45
Efecto de la combinación OPTU sobre la proporción de almidón:FDA.....	49
Urea vs. Combinacion OPTU-I.....	54
<b>Conclusiones</b> .....	56
<b>Literarura Citada</b> .....	57

## Lista de Cuadros

Cuadro		Pág
1	Influencia de distintos niveles de urea en dietas de alta energía en becerros de finalización.....	19
2	Efecto del nivel de inclusión de urea en el desempeño de becerros en finalización.....	20
3	Propiedades físicas y químicas de los componentes del Biuret para alimentación.....	22
4	Resultados de desempeño de borregos con diferentes fuentes de N.....	25
5	Desempeño de becerras con rastrojo de maíz, ensilado con APP o Urea...	27
6	Consumo, producción y composición de la leche de vacas suplementadas con dos tipos de urea y fermentabilidad de los azúcares.....	28
7	Efecto de suplementar una dieta basada en ensilaje de maíz con diferentes porcentajes de urea y urea de liberación lenta, en el desempeño y consumo de becerros en crecimiento.....	30
8	Producción y composición de la leche con diferentes fuentes de N y cantidades de ULL.....	32
9	Desempeño de becerros alimentados con combinaciones de urea y Optigen.....	33
10	Ingredientes y composición nutrimental de las dietas experimentales.....	36
11	Efecto de la combinación urea-Optigen en dietas con distintas proporciones de almidón:FDA sobre digestión de nutrimentos y ED de la dieta.....	46
12	Efecto de urea o la combinación de urea-Optigen en dietas conteniendo una proporción intermedia de almidón:FDA sobre digestión de nutrimentos y ED de la dieta.....	50

## Lista de Figuras

Figura		Pág
1	Comparación de niveles de N en el rumen con distintas fuentes de N.....	23

**Evaluación de la combinación de una fuente de NNP de liberación controlada (Optigen 1200®) y urea convencional añadida a dietas de finalización para ganado de engorda conteniendo diferentes proporciones de Almidón:FDA: Función Ruminal, Digestión de Nutrimientos y ED de la Dieta**

**RESUMEN:** Cuatro novillos Holstein ( $213 \pm 4$  kg de PV) con cánulas en rumen y duodeno proximal fueron usados para estudiar la adición de una fuente de NNP de liberación controlada (Optigen®; Alltech, México) combinada con urea en dietas de finalización con diferentes proporciones (alta, media y baja) de almidón:FDA sobre las características de digestión. Los datos se analizaron según un modelo lineal para un diseño en cuadro latino 4x4. Los tratamientos fueron 1) dieta basal con 0.8% urea de grado alimenticio (UGA) y proporción almidón:FDA 4.5 (media), 2) dieta con 0.8% UGA y 1% Optigen 1200® y proporción 6 (alta, OPTU-A), 3) dieta con 0.8% UGA y 1% Optigen 1200® y proporción 4.5 (media, OPTU-I) y 4) dieta con 0.8% UGA y 1% Optigen 1200® y proporción 3 (baja, OPTU-B). La combinación urea y Optigen 1200® mejoró 7.6% el flujo de NM (OPTU-I vs. UGA)( $P > 0.05$ ), mostrando también una respuesta 8.4% mayor (OPTU-I vs. OPTU-B) y 6.7% (OPTU-I vs OPTU-A) al flujo de NM (componente cuadrático,  $P < 0.01$ ) y de NNA 2.5% (OPTU-I vs. OPTU-B) y 3.3% (OPTU-I vs OPTU-A) (componente cuadrático,  $P = 0.03$ ). No existió diferencia ( $P \geq 0.11$ ) entre los tratamientos OPTU en la digestión ruminal de MO, almidón, N dietético o eficiencia de N. Comparando la ED observada vs. la esperada (NRC, 1996), la ED de UGA correspondió a 1.00, mientras OPTU-I tendió a mejorar (2%,  $P = 0.07$ ) la ED de la dieta. Estas ventajas sólo se observan cuando existe cierta proporción (rango = 4.0-4.2) de almidón:FDA

en la dieta. Proporciones mayores o menores no ofrecieron ventajas sobre ninguno de los parámetros evaluados.

**Palabras claves:** Urea de liberación controlada, Nitrógeno No-Protéico, almidón, FDA.

**Evaluation of the combination of a source of NPN controlled-release (Optigen 1200®) and feed-grade urea added to finishing diets for feedlot cattle containing different proportions of starch:ADF: Rumen Function, Nutrient Digestion and DE of the Diet**

**ABSTRACT:** Four Holstein steers ( $213 \pm 4$  kg.) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used to study the addition of a source of controlled release NPN (Optigen®, Alltech, México) combined with urea in finishing diets with different proportions (high, intermediate and low) of starch:ADF on the characteristics of digestion. The data was analyzed using a linear model for a 4x4 Latin square design. Treatments were 1) basal diet with 0.8% feed-grade urea (FGU) and starch ratio:FDA 4.5 (medium), 2) diet with 0.8% FGU and 1% Optigen 1200® and proportion 6 (high, OPTU-H), 3) diet with 0.8% FGU and 1% Optigen 1200® and proportion 4.5 (intermediate OPTU-I) and 4) diet with 0.8% FGU and 1% Optigen 1200® and ratio 3 (low, OPTU-L ). Combining FGU and Optigen 1200® improved the flow of MN by 7.6% (OPTU-I vs. FGU) ( $P>0.05$ ), also showed a greater response to the flow of MN by 8.4% (OPTU-I vs. OPTU-L) and 6.7% (OPTU-I vs. OPTU-H) (quadratic component,  $P<0.01$ ) and NAN (quadratic component,  $P=0.03$ ) with increases of NAN 2.5% (OPTU-I vs. OPTU-L) and 3.3% (OPTU-I vs. OPTU-H). No differences ( $P \geq 0.11$ ) among OPTU treatments in ruminal digestion of OM, starch, or dietary N or efficiency of N were detected. Comparing the DE observed vs the expected (NRC, 1996), the DE of FGU corresponded to 1.00, meanwhile OPTU-I tended to improve (2%,  $P=0.07$ ) the DE of the diet. These advantages are only seen when there is a certain proportion (range = 4.0-4.2) starch: ADF in the diet. Higher or lower proportions proved no advantage over any of the parameters.

**Keywords:** Slow-Release Urea, Non-Proteic Nitrogen, Starch, ADF.

## INTRODUCCIÓN

En el corral de engorda de bovinos el costo de alimentación puede representar hasta 70% de los costos de producción. Lo anterior promueve la constante búsqueda de alternativas de ingredientes de bajo costo que representen un riesgo mínimo para el animal o para el consumidor final. En ese sentido, la urea como fuente de nitrógeno no proteico (NNP) de bajo costo es un ingrediente de uso común en los sistemas de alimentación en la engorda.

El uso de urea está recomendado a un máximo de 1% de la ración con base en materia seca (MS) (Strangel, 1963; Chalupa, 1968). Lo anterior obedece a que es altamente degradable y puede producir toxicidad por la producción de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). La cantidad de amoníaco formado a nivel del rumen depende fundamentalmente de la solubilidad y de la degradabilidad de las proteínas de la dieta y de la cantidad de NNP ingerido. Si por cualquier motivo, la concentración de amoníaco se eleva a valores críticos y se sobrecarga el sistema a nivel hepático, el ciclo de la urea se satura, se acumula amoníaco en el medio interno alterando el metabolismo ácido-base con graves trastornos de alcalosis metabólica, alteraciones productivas y reproductivas, hepatitis severas, falta de crecimiento, y a veces muertes súbitas.

Existen diversas formas para modificar la velocidad de disponibilidad de urea. La urea en la dieta, por ser rápidamente hidrolizable al entrar al rumen, resulta en un pico de concentración de amoníaco en las horas siguientes inmediatas después del consumo. La degradación ruminal de los carbohidratos

y el crecimiento bacteriano es un proceso más lento. Una sincronización en estos procesos podría hacer más eficiente la incorporación del NNP en proteína microbiana, y por consiguiente mejorar el uso total del N.

Estudios recientes han demostrado que se puede aumentar 20% la urea (1.2% de la dieta total) obteniendo beneficios en la digestión de nutrimentos y el comportamiento del (Milton et al., 1997; Zinn et al., 2003). Lo anterior se explica ya que estas dietas se caracterizan por poseer una fracción soluble de rápida tasa de degradación ruminal (almidones) y una fracción de lenta degradación ruminal (FDN) la cual puede llegar a representar el 20% de la composición de la dieta. Considerando lo anterior, una optimización de la retención de N y de la digestión de MO en dietas de finalización se pudiera favorecer combinando una fuente de NNP de rápida hidrólisis (urea) con una fuente de NNP de lenta liberación resultando en una optimización de la energía de la misma. Esto representa una optimización en la alimentación, ya que se puede aumentar la cantidad de NNP en la dieta, reduciendo el costo total de la dieta; sobre todo en las dietas de finalización de ganado de engorda, que contienen un alto porcentaje de grano (energía).

Con el fin de optimizar el uso de NNP se han desarrollado modificaciones a la urea, alterándola por medio de cocción, recubrimientos de resina de maíz, recubrimientos de polímeros y por lípidos. Estas modificaciones han ido encaminadas a reducir el pico de amoníaco en el rumen y usar las fuentes de NNP. Una de estas ureas modificadas es el Optigen™ que consiste en urea cubierta por un polímero que libera lentamente el amoníaco que de acuerdo al

fabricante, que incrementa el crecimiento de las bacterias utilizadoras de fibra y mejora la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana.

Hasta el momento, no existen evidencias, en la información revisada, de estudios realizados en los cuales se evalúe la función ruminal de este compuesto en combinación con diferentes niveles de energía y el potencial impacto sobre el valor nutrimental en los demás nutrimentos presentes en las dietas de finalización de bovinos de engorda.

## **HIPÓTESIS**

1) La inclusión de Optigen™ combinada con urea con diferentes niveles de energía, tiene efecto sobre la digestión de nutrientes y función ruminal, en dietas de finalización de bovinos de engorda.

## **OBJETIVO**

Evaluar la adición de una fuente de NNP de liberación controlada (Optigen®; Alltech, México) combinada con urea en dietas de finalización para bovinos de engorda con diferentes proporciones de almidón:FDA sobre la digestión de nutrimentos y función ruminal.

## Revisión de Literatura

### ***Metabolismo proteico en rumiantes***

Las proteínas proveen los aminoácidos requeridos para el mantenimiento de las funciones vitales como reproducción, crecimiento y lactancia. Los animales no-rumiantes necesitan aminoácidos pre-formados en su dieta, pero los rumiantes pueden utilizar otras fuentes de nitrógeno porque tienen la habilidad especial de sintetizar aminoácidos y de formar proteína desde nitrógeno no-protéico. Esta habilidad depende de los microorganismos en el rumen. Además, los rumiantes poseen un mecanismo para ahorrar nitrógeno: cuando el contenido de nitrógeno en la dieta es baja, la urea, un producto final del metabolismo de proteína en el cuerpo, puede ser reciclado al rumen en grandes cantidades. En los no-rumiantes, la urea siempre se pierde en la orina (Chalupa, 1977).

***Fuentes de amoníaco en el rumen:*** Las siguientes son las fuentes de amoníaco en el rumen: a) péptidos y aminoácidos; b) material nitrogenado misceláneo. Sustancias como la urea, ácido úrico y nitratos pueden ser consideradas para una conversión rápida a amoníaco; ácidos nucleicos disueltos en el líquido ruminal son también degradados extensivamente (Smith, 1979). c) amoníaco derivado de los protozoarios. Los protozoarios excretan amoníaco como un producto final de su metabolismo intermediario (Leng et al., 1984). d) N<sub>2</sub> Gaseoso. Algo del N<sub>2</sub> atmosférico que entra en el rumen con la

dieta puede ser fijado por los microorganismos del rumen como *Metbanobacterium ruminantium*, pero la cantidad es probablemente pequeña. En borregos, por ejemplo, es menos de 0.7 g N/día (Li Pun et al., 1975).

### ***Proteínas y Nitrógeno No Protéico (NNP)***

Las recomendaciones para la concentración de proteína cruda en las raciones de vacas lecheras varían entre 12% y 18% para una vaca en la primera parte de lactancia. Si las dietas de vacas que producen 20 a 25 kg de leche contienen aproximadamente 16% de proteína cruda, la mayoría de forrajes y concentrados tienen proteína adecuada. Sin embargo, si la producción (leche y/o carne) aumenta, la proteína bacteriana en el rumen puede resultar insuficiente y fuentes de proteína resistentes a degradación ruminal pueden ser necesarias para proveer la cantidad requerida de aminoácidos. Fuentes típicas de proteína resistente a degradación microbiana incluyen granos cervecerías, granos de destilería y proteínas de origen animal (subproductos de mataderos, harina de plumas y pescado)(Coleman, 1977).

Por otro lado, nitrógeno no-protéico puede ser utilizado cuando la ración contiene menos de 12-13% de proteína cruda. Urea es probablemente la fuente más popular de nitrógeno no-protéico en las raciones lecheras. Sin embargo, debe ser utilizado con cautela porque en exceso lleva rápidamente a intoxicación con amoníaco. Los alimentos que son más exitosamente suplementados con urea son altos en energía, bajos en proteína y bajos en

fuentes naturales de nitrógeno no-proteico. Una lista parcial de tales alimentos incluye granos de cereales, melaza, pulpa de remolacha azucarera, heno de pasto maduro y ensilaje de maíz. La urea no debe ser utilizada para suplementar alimentos ricos en nitrógeno altamente disponible. Tales alimentos incluyen harinas de semillas oleaginosas (soya, canola, etc.) forrajes de leguminosas y gramíneas jóvenes. Además, la urea debe ser limitada a no más de 150-200 g/vaca/día, bien mezclada con otros alimentos para mejorar la palatabilidad y agregada progresivamente a la ración para permitir una adaptación adecuada (Leng, 1984). Una posible forma de incrementar el aprovechamiento de la urea es controlando la liberación de esta, por medio del control de la enzima ureasa. Usando dietas con urea tuvo un efecto detrimental en la actividad de la flora bacteriana, pero la actividad restante fue más que suficiente para degradar la urea en amoníaco (Chalupa et al., 1970).

***Transformación de la proteína en el rumen:*** De acuerdo a Owens (1983), las proteínas de los alimentos son degradados por los microorganismos del rumen vía aminoácidos para formar amoníaco y ácidos orgánicos (ácidos grasos con cadenas múltiples). El amoníaco también viene de las fuentes de NNP en los alimentos y de la urea reciclada de la saliva y a través de la pared del rumen. Niveles demasiado bajos de amoníaco causan una escasez de nitrógeno para las bacterias y reduce la digestibilidad de los alimentos. Demasiado amoníaco en el rumen produce una pérdida de peso, toxicidad por amoníaco y en casos extremos, muerte del animal.

Usualmente una porción de proteína de la dieta resiste la degradación en el rumen y pasa sin ser degradada al intestino delgado. La resistencia a la degradación en el rumen varía considerablemente entre fuentes de proteína y está afectada por varios factores (Bergen et al., 1967).

Una porción de proteína bacteriana es destruida dentro el rumen, pero la mayoría entra el abomaso pegada a las partículas de alimentos. Los ácidos fuertes secretados en el abomaso paran toda actividad microbiana y las enzimas digestivas comienzan a separar las proteínas para formar aminoácidos. Aproximadamente 60% de los aminoácidos absorbidas en el intestino delgado son derivadas de proteína bacteriana, y el 40% restante es de proteína no degradada en el rumen (Leng et al., 1984).

**Síntesis de proteína bacteriana:** McLaren (1960) identificó tres poblaciones de bacterias en el rumen: bacterias en el líquido ruminal, las bacterias que se adhieren a las partículas de la digesta, y un grupo morfológicamente distintas que se adhiere a la pared del rumen. Las bacterias en el fermento de este último grupo muerto son las células epiteliales productoras de proteínas de bacterias y amoníaco, que contribuyen más del 10% de la actividad de la proteasa y gran parte de la actividad de la ureasa en el líquido ruminal. Otros grupos de bacterias se encuentran en y adjunto a los protozoos, y por lo menos algunos de ellos son metanógenos (Strumm et al., 1982) y, presumiblemente, utilizan el hidrógeno producido y difundiendo a

través de la pared celular por protozoos. Amoníaco, péptidos y aminoácidos son las principales fuentes de N para las bacterias del rumen, y casi todas las bacterias utilizan principalmente amoníaco, algunos, sin embargo, también utilizan los péptidos y aminoácidos (Weller et al., 1974). Los estudios de seguimiento indican que el 50 y el 80% de N bacteriano se deriva del amoníaco en el líquido ruminal en el ganado continuamente alimentado en una variedad de dietas, y el resto presumiblemente se obtiene como péptidos o aminoácidos. Bacterias viables también excretan aminoácidos, en particular glutámico y ácido aspártico, alanina y glicina (Erfle et al., 1977). La velocidad de flujo de N bacteriano fuera del rumen depende de las concentraciones de bacterias en el líquido y adjunto a las pequeñas partículas que se mueven fuera del rumen. Aunque hay pocas estimaciones satisfactorias de la distribución de microbios en estas dos fases, parece probable que el 75% de las bacterias en el rumen puede estar estrechamente asociado a la porción particulada de la digesta. Las concentraciones de bacterias en las dos fases se ven afectadas por la tasa de crecimiento de las bacterias, por la tasa de pasaje, así como por la muerte y descomposición de las bacterias incluyendo aquellas que son fagocitadas por protozoos (McLaren, 1960).

La biomasa de los protozoos en el rumen varía en un amplio rango, dependiendo en gran medida por factores dietéticos. Los protozoos se puede dividir a grandes rasgos en ciliados grandes y pequeños, entre los que hay aproximadamente de 50 a 100 veces la diferencia de tamaño. Pocos protozoos se producen en el rumen de los animales en las dietas altas en grano (probablemente porque estas dietas suelen producir una de bajo pH del rumen),

pero con dietas con grano restringido en estos podrá superar la proporción de  $10^6$ /ml de fluido del rumen. Los protozoos se han calculado que representan el 40 y el 60% del total de la biomasa microbiana cuando las concentraciones de los pequeños protozoos superan los  $10^6$ /ml o los grandes sobrepasan  $10^4$ /ml. Las fuentes de N para el crecimiento de los protozoos son la ingestión de los cloroplastos, la inmersión de las bacterias, y la utilización de partículas de proteína (Weller et al., 1974).

Bergen et al. (1968), Meyer et al. (1967) y Williams y Dinusson (1973) encontraron que los cambios en la ración no alteran la composición neta de los aminoácidos de las bacterias y protozoarios del rumen; ni la digestibilidad de la pepsina, ni la calidad proteica de la flora bacteriana; tampoco la masa celular microbiana recuperable total. Sin embargo, esta consistencia en la composición de amino ácidos no infiere que todas las bacterias ruminales son de similar calidad proteica ya que Bergen et al. (1967) demostraron que cepas diferentes de bacterias ruminales con composición de amino ácidos similares tenían una calidad proteica sustancialmente diferente, esto debido a que no toda la proteína microbiana es de la misma calidad. Se considera que cuando la proteína bacteriana es limitada en algún aminoácido esencial, es de baja calidad; y resulta de menor aprovechamiento que otra que sí tiene todos los aminoácidos en suficiente cantidad (Purser, 1970).

### ***Factores que afectan la síntesis proteica en el rumen***

***Fuentes de N y concentración de amoníaco:*** Si bien es ampliamente reconocido que el amoníaco es el principal nutriente nitrogenado para los microorganismos (aproximadamente el 80% de las especies presentes pueden crecer con amoníaco como única fuente de N), algunas bacterias también utilizan aminoácidos y péptidos, y aparentemente dicha presencia de aminoácidos y péptidos preformados sería esencial para una síntesis eficiente de proteína microbiana (Chalupa et al., 1970).

Esto lo observaron Milton et al. (1997) cuando experimentaron con 100 novillos y compararon el comportamiento productivo de dos grupos de animales con distintas fuentes de N, uno con harina de soya y urea (SBM), y el otro con harina de semilla de algodón (CSM). Los novillos alimentados con SBM ganaron peso 13% más rápido y fueron 9% más eficientes en la conversión alimenticia que los novillos que recibieron urea. Novillos alimentados con dietas que contienen 2,24% de N fueron 4% más eficientes que los alimentados con dietas que contienen 1,93% N. Novillos alimentados con dietas CSM subieron un 6% menos eficiente que los novillos recibir SBM. La suplementación con SBM incrementó el suministro de proteína metabolizable y la utilización de la energía en la dieta.

***Fuentes de carbohidratos:*** Koenig et al. (2003) observaron que la medida de procesamiento de granos y el porcentaje de ensilaje de cebada afectó la síntesis de proteína microbiana y la digestibilidad de nutrientes. Cuatro

novillos fueron evaluados con cánulas ruminales y duodenales, siendo alimentados con dos niveles de ensilaje de cebada y dos niveles de procesamiento del grano (grueso y levemente rolado). Hubo una tendencia en la mejora de la eficiencia de la síntesis de proteína para las dietas de ensilaje 20%. El escape de N ruminal no microbiano fue mayor, y por lo tanto, el flujo de proteínas en el intestino fue mayor para las dietas de ensilaje 5%.

**Rutas de la pérdida de amoníaco del rumen:** a) N-amoniaco incorporado en las células microbianas. b) flujo de salida de amoniaco. Esto depende de la concentración total de amoníaco en el líquido ruminal y la tasa de flujo de salida de líquido. c) de absorción de amoniaco. El grupo de amoníaco es un centro para estudios del metabolismo de nitrógeno en el rumen, y el conocimiento se ha ganado mucho desde la medición de los flujos de N a través de este grupo (Leng et al., 1984).

El N amoniaco se pierde irreversiblemente en el líquido ruminal a) por la incorporación a las células microbianas que salen del rumen, b) mediante la absorción de amoniaco a través de la pared del rumen, y c) en el líquido que pasa fuera del rumen. Una parte de A, B y C se recicla al rumen. Durante los experimentos en los que amoníaco se infunde en el rumen, el grado de reciclaje de N depende de la duración del período experimental. El total de los importes realmente perdidos a través de estas rutas son superiores a las estimadas por la medición de la tasa de pérdida irreversible, sin embargo, el error suele ser pequeño. El amoníaco también se recicla dentro del rumen, la digesta contiene las secreciones de los microbios que viven y también los productos de las

células que han sufrido una lisis, los cuales son fermentados (Nolan et al., 1972).

**Metabolismo en el hígado y reciclaje de urea:** Cuando hay una falta de energía fermentable o cuando la proteína cruda en la dieta es excesiva, no todo el amoníaco producido en el rumen puede ser convertido a proteína microbiana. Un exceso de amoníaco pasa la pared del rumen y esta es transportada al hígado. El hígado convierte el amoníaco a urea que está liberada en la sangre. La urea en la sangre puede seguir uno de dos caminos: volver al rumen vía la saliva o a través de la pared del rumen o excreción en la orina por los riñones (Owens et al., 1983).

Cuando la urea retrodifunde al rumen esta es reconvertida a amoníaco y puede servir como una fuente de nitrógeno para el crecimiento bacteriano. Cuando las raciones son bajas en proteína cruda, la mayoría de urea esta reciclada y poco se pierde en la orina. Sin embargo, mientras se incrementa la proteína cruda en la ración, menos urea es reciclada y más será excretada en la orina (Bartley et al., 1976).

**El amoníaco en el rumen:** El amoníaco es el principal nutriente nitrogenado para las bacterias del rumen; éstas lo utilizan si existen adecuadas fuentes de energía, principalmente carbohidratos, para sintetizar los aminoácidos necesarios para cubrir sus propias necesidades proteicas. Se estima que del nitrógeno microbiano del rumen, el 50-80% procede del amoníaco ruminal. Algunas bacterias también pueden obtener hasta el 20% o el 50% de su proteína de otras fuentes distintas al amoníaco, como péptidos y aminoácidos (Erfle et al., 1977).

**La absorción de amoníaco:** El amoníaco es absorbido, no sólo desde el rumen, sino también de otras partes del tracto gastro-intestinal, como la del omaso, la parte inferior del intestino delgado, y ciego (McDonald, 1948). La absorción de amoníaco se rige tanto por el gradiente de concentración como por el pH. Dado que el amoníaco es una base débil con un pKa de 8,8 el aumento de absorción de amoníaco en un pH mayor es probablemente el resultado de un aumento de la cantidad de amoníaco, en relación con los iones de amoníaco, que pueden penetrar más fácilmente de las capas de lípidos de la mucosa del rumen (Davidovich et al., 1977; Rumsey et al., 1970). Una elevación del pH del rumen se produce durante la alimentación con urea como resultado de la hidrólisis rápida de la urea en dióxido de carbono y amoníaco. Desgraciadamente, la capacidad tampón alcalina de líquido ruminal no es tan grande como su capacidad de almacenamiento en búfer de ácido (Lana et al., 1998). Así, las condiciones en el rumen de la urea en la alimentación favorecen no sólo a la producción rápida sino también al aumento de la absorción de amoníaco.

### **Suplementación con NNP**

Se ha demostrado que los rumiantes pueden convertir el nitrógeno no proteico (NNP) en proteína (Virtanen, 1966). Las fuentes alternas de NNP son una fuente de reemplazo de proteína atractiva por su bajo costo comparado con la mayoría de las proteínas naturales. Consecuentemente, numerosos estudios han evaluado NNP como una fuente suplementaria de nitrógeno (N) para rumiantes. Urea, la fuente de NNP más utilizada, es sumamente soluble en

agua y rápidamente hidrolizable a  $\text{NH}_3\text{-N}$  en el rumen (Currier et al., 2004). Esto puede acarrear una toxicidad de  $\text{NH}_3\text{-N}$  si la urea es consumida en grandes cantidades en un periodo corto de tiempo (Bartley et al., 1976). Por esta razón, se ha usado el biuret, en detrimento de la urea, ya que el biuret tiene una hidrolización más lenta que la urea y tiene un valor similar en cuanto a NNP (Coleman et al., 1977).

Recientemente, los investigadores se han interesado en niveles mucho más altos de urea en suplementos en el que de 90 a 100% del equivalente de proteína se suministra de la urea, principalmente en raciones de maíz. Sin duda, una parte de este nuevo enfoque se debe a un mayor conocimiento de los factores que ayudan optimización de la utilización de urea, tales como harina de alfalfa deshidratada, el azufre, la ingesta del rumen, melaza, almidón y dietilestilbestrol (McLaren et al., 1960, Chalupa et al., 1977).

Minimizar la degradación ruminal del N en la dieta, la optimización de la producción de proteínas del rumen de NNP, y la suplementación con aminoácidos resistentes a la degradación en el rumen es una estrategia lógica para la producción de proteína animal con rumiantes (Chalupa, 1975). Este sistema reduce al mínimo las pérdidas sufridas en la transformación de la proteína dietética a proteína microbiana ruminal, aprovecha los mecanismos microbianos para la utilización de NNP, y demuestra que a un determinado nivel de consumo de energía, la cantidad de proteína sintetizada en el rumen no puede ser suficiente para satisfacer las necesidades de la alta productividad de los animales. La razón principal para la manipulación de nitrógeno es optimizar

el flujo de salida y mantener el equilibrio de concentración amoniacal en los procesos ruminales. Suponiendo que esto se logra, se puede anticipar si el animal se puede utilizar cantidades adicionales de NNP, sin embargo, si los suministros de NNP son adecuados, mediante la manipulación de la dieta se puede lograr obtener dietas con igual cantidad de proteína más eficientes. El uso de agentes químicos ha sido un método utilizado para suprimir la degradación ruminal de proteínas, aminoácidos y de la urea en amoníaco, y para aumentar la eficiencia de la producción de proteína microbiana por aumento de la tasa de recambio de líquidos del rumen (Owens et al., 1983).

### ***Fuentes de NNP***

El NNP se utiliza ampliamente para sustituir la proteína animal en las dietas de bajo contenido de nitrógeno para rumiantes. NNP, sin embargo, no suele ser utilizado, en las mismas cantidades como proteína natural. NNP a menudo cuesta menos que la proteína natural y por lo tanto pueden ser más económico cuando se usan como parte de la proteína requerida (Fonnesbeck et al., 1975).

**Urea:** es la fuente más barata de nitrógeno sólido. Es soluble en agua, se usa como fertilizante y para la nutrición animal. Actualmente se presenta en el mercado en forma granulada y perlada, siendo esta última la más recomendable para el uso animal por su soltura y facilidad para mezclarla con otros ingredientes. La urea fertilizante, que es más barata, es higroscópica y se cuaja con mucha facilidad, lo que hace difícil mezclarla en los piensos sólidos;

sin embargo, puede utilizarse con los piensos si se añade en forma de suspensión o de solución en melaza. Zinn et al. (1994) observaron que la urea se puede utilizar de manera eficiente como la única fuente de de nitrógeno suplementario en la dietas de alta energía de finalización para ganado de engorda (Cuadro 1). Por otro lado, la eficiencia puede ser optimizada al aumentar los niveles de urea por encima de lo requerido para favorecer un máximo desempeño de las bacterias. Además de ser un sustituto para la proteína, la urea puede ayudar a aumentar la GDP, lo cual fue observado por Zinn et al. (2003), mismos que concluyeron que con la inclusión de 0.8% de urea se puede optimizar la ganancia de peso (Cuadro 2).

**Biuret.** Se produce a partir de la urea por calentamiento, y contiene un 41 % de nitrógeno. Es apenas soluble en agua y no es tóxico, ya que el amoníaco se libera lentamente en el rumen (Meiske et al., 1955; Repp et al., 1955a y 1995b; Berry et al., 1956). Por consiguiente, tiene ventajas concretas en comparación con la urea para utilizarlo en los piensos secos. Sin embargo, es más caro y hace falta un período de adaptación de 2 semanas a 2 meses, antes que se obtenga una respuesta en la alimentación con biuret. Esta adaptación se pierde rápidamente cuando no se suministra biuret. Biuret y la urea tienen aproximadamente del valor nutricional igual cuando son utilizados para complementar las dietas para la finalización del ganado y borregos, o de vacas en pastoreo. Biuret es palatable, no tóxico, tiene una lenta liberación de amoníaco en el rumen, y una baja solubilidad en agua. Por estas razones, es un NNP deseable para hacer suplementos para rumiantes en pastoreo o suplementos para los rumiantes alimentados con forrajes de baja en proteína.

**Cuadro 1. Influencia de distintos niveles de urea en dietas de alta energía en becerros de finalización.**

Variable	Harina de soya	Urea		
		0.8%	1.2%	1.6%
Peso Vivo, kg				
Inicial	355	356	357	356
Final	404	404	406	406
Ganancia de Peso, g/d	1.41	1.38	1.39	1.43
Consumo de MS, kg/d	7.26	7.25	7.21	7.15
Consumo de MS:ganacia, g:g	5.26	5.38	5.32	5.16

Fuente: Zinn et al., (1994).

**Cuadro 2. Efecto del nivel de inclusión de urea en el desempeño de becerros de finalización.**

Variable	Urea en la dieta			
	0%	0.4%	0.8%	1.2%
Peso Vivo, kg				
Inicial	250	251	253	253
Final*	365	371	381	377
GDP, kg**	1.37	1.43	1.53	1.48
Consumo de MS, kg/d***	6.77	6.98	7.30	7.34

\* Efecto Lineal,  $P < 0.10$

Fuente: Zinn et al. (2003)

\*\* Efecto Lineal,  $P < 0.05$

\*\*\* Efecto Lineal,  $P < 0.01$

Biuret es un complemento excelente de NNP para añadir al ensilado, ya que no entra en las reacciones del ensilado ni reduce la calidad de la ensilaje. Para un mejor aprovechamiento de NNP, la dieta debe contener una fuente disponible de energía, tienen una relación de nitrógeno de azufre de alrededor de 10 a 1, y proporciona fósforo y otros minerales esenciales (Fonnesbeck et al., 1975).

El biuret con grado de alimentación (Feed-grade Biuret), es una mezcla de compuestos nitrogenados, que contiene un mínimo de 55% de biuret, un máximo de 30% de ácido cianúrico y triuret. Esta combinación de compuestos es la que da al final un porcentaje de N de 35-41% (Fonnesbeck et al., 1975)(Cuadro 3).

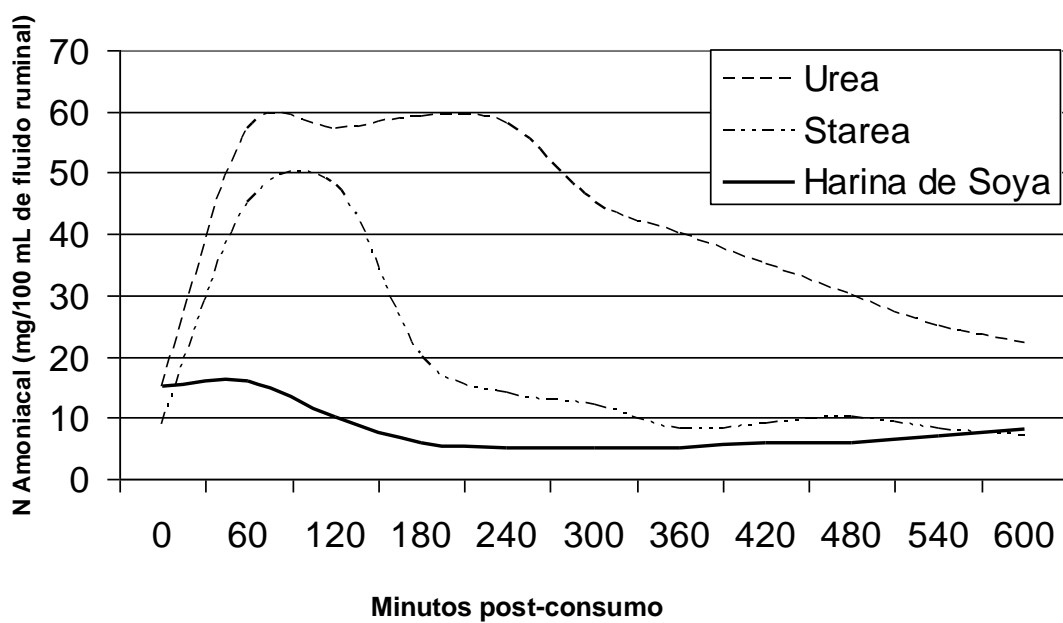
**Starea:** es una fuente de NNP que consiste en una gelatinización del almidón y su mezcla con la urea. Contiene un 85% de almidón de maíz gelatinizado y 15% de urea. Se ha observado que la starea ayuda a reducir el pico de amoníaco en el fluido ruminal en comparación con la urea (Figura 1). También se ha podido observar que la starea tiene un desempeño similar al de la urea en becerros de finalización (Thompson, 1972).

**Ácido Úrico:** Oltjen et al. (1968) y Oltjen et al. (1976) compararon el ácido úrico, urea, urato de sodio y urea-fosfato como fuentes de nitrógeno y observó que el ácido úrico era degradado más lento que los otros compuestos. Sin embargo, no hubo diferencia en la digestibilidad y retención de N. También se ha observado que la actividad bacteriana de la uricasa fue iniciada horas después de que el ácido úrico fue incluido en la dieta, aun cuando a los animales no se les había administrado este compuesto antes. La inconsistencia

**Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas de los componentes del Biuret para alimentación**

Propiedad	Urea	Biuret	Triuret	Acido Cianúrico
Peso Molecular g/mol	60.06	103.09	146.11	146.11
Densidad g/cm <sup>3</sup>	1.32	1.47		2.50
Solubilidad en agua g/100ml a 37°	>200.0	2.2	<0.1	0.5
Temperatura de descomposición, °C	133	193	233	360-400
Contenido de N, %	46.65	40.77	38.35	32.56
Equivalencia de proteína, % (N x 6.25)	292	255	240	204

(Fonnesbeck et al., 1975)



**Figura 1. Comparación de niveles de N en el rumen con distintas fuentes de N.**

(Thompson et al., 1972).

en la calidad proteica de los desechos avícolas depende fundamentalmente del manejo de cada explotación (alimentación, animales e instalaciones).

La necesidad de deshacerse de los residuos de las explotaciones avícolas ha conducido a una búsqueda de formas efectivas de desechar estos residuos de una forma ambientalmente amigable. Diversos estudios reportan que estos desechos se pueden usar para alimentación animal (Noland et al., 1972; El-Sabban et al., 1970), ya que contienen 30% de PC pero menos del 40% de N esta en forma de proteína. Se ha reportado que del 63 al 87% del nitrógeno es ácido úrico (Bhattacharya y Taylor, 1975).

**Fosfato diamónico (DAP):** Se trata de un polvo cristalino de color blanco soluble en agua. Contiene 21.4 % de nitrógeno y 23.7 % de fósforo. Tiene la ventaja, con respecto a la urea, que mejora a la vez el aporte de fósforo. Se ha encontrado que la adición de fosfato diamónico en la dieta puede igualar el nivel de retención de amoníaco con respecto a la urea, con la ventaja que no conlleva a incrementos súbitos de amoníaco en la sangre como lo hace la urea (Russell et al., 1962). Oltjen (1963) comparó la harina de soya, urea y DAP como fuentes de N en borregos, sin encontrar una mejora en el rendimiento o digestibilidad por parte del DAP (Cuadro 4). Una razón sugerida del por qué de la inconsistencia de los resultados del DAP es que el nitrógeno no esta tan disponible como el caso de la urea y la harina de soya; esto es debido a que el N es altamente volátil y al humedecerse puede llegar a perder desde un 10-50% del N.

**Polifosfato amónico (APP):** Es una fuente común de fósforo y de NNP en los suplementos líquidos. Se emplea en forma líquida, ya que tiene la

**Cuadro 4. Resultados de desempeño de borregos con diferentes fuentes de N.**

Fuente de N	Harina de Soya	Fosfato diamónico	Urea
Experimento 1			
Ganancia diaria de peso, kg	0.68	-1.1	0.33
Ingesta diaria, kg	7.13	4.0	6.16
Eficiencia alimenticia	10.45		18.67
Experimento 2			
Ganancia diaria de peso, kg		1.01	0.97
Ingesta diaria, kg		7.35	3.36
Eficiencia alimenticia		7.31	7.64

(Oltjen et al., 1963)

ventaja, que no es corrosivo. Contiene 11 % de nitrógeno y 16,1 % de fósforo. Esta fuente de NNP es más usada como aditivo en la conservación de forrajes (ensilaje) en su forma líquida. Colenbrander (1971) observó que la GDP se incrementó la de las animales al agregar polifosfato amónico al silo de rastrojo de maíz en un 75% (Ningún aditivo contra APP) (Cuadro 5). Estos resultados concuerdan por los encontrados por Burroughs et al. (1951) que sugieren que existe una estimulación de la digestión de la celulosa y MS por el fósforo y NNP. Por esto, el APP es usado comúnmente en dietas con alto contenido de fibra.

***Urea de liberación lenta:*** Dado su bajo costo por unidad de N; se han hecho diversos esfuerzos por reducir la toxicidad de la urea para aumentar su uso. Una forma de reducir el amoniaco que llega al hígado es aumentar el uso del amoniaco en el rumen al modificar su presencia en el rumen (Taylor 2009b). Para poder llegar a esto, algunos investigadores han usado inhibidores de ureasa con resultados inconsistentes. Otra forma ha sido el uso de fuentes de N de liberación lenta (ULL). En los últimos años se han logrado regular la liberación al utilizar cubiertas a base de aceites o polímeros. Las ULL se han formulado con el objetivo de reducir la toxicidad e incrementar la aceptación de suplementos que contienen urea (Owens et al., 1980).

Golombeski (2006) comparó Ruma Pro, que es urea recubierta por cloruro de calcio, que permite una liberación lenta. Se comparó la producción lechera de vacas en Dakota del Sur usando urea común y Ruma Pro, y distintos niveles de carbohidratos solubles. No se observó diferencia estadística en alguna variable con respecto a la fuente de nitrógeno (Cuadro 6).

**Cuadro 5. Desempeño de becerras con rastrojo de maíz, ensilado con APP o Urea**

Variable	Rastrojo de Maíz	Rastrojo de Maíz + APP	Rastrojo de Maíz + Urea	Rastrojo de Maíz + APP + Urea
Ganancia diaria de peso, kg.	0.24b	0.42a	0.27b	0.32ab
Ingesta diaria de ensilaje, kg.	4.63	5.16	4.9	5.27
Ingesta diaria de ensilaje, % de peso corporal	1.48	1.64	1.61	1.63

Letras diferentes en el mismo renglón significa que hubo diferencia estadística (P<0.05)

(Colenbrander et al., 1971)

**Cuadro 6. Consumo, producción y composición de la leche de vacas suplementadas con dos tipos de urea y fermentabilidad de los azúcares.**

Variable	UC*		ULL*	
	AF**	ANF**	AF	ANF
Consumo de materia seca, kg/d	21.30	21.30	19.70	20.00
Producción de leche, kg/d	26.70	25.50	26.80	25.60
Grasa en la leche, %	4.18	4.51	4.36	4.48
Proteína en la leche, %	3.73	3.75	3.75	3.74

\* UC= Urea común, ULL= Urea de lenta liberación

\*\* AF= Dieta con azúcares fermentables, NAF=dieta sin azúcares fermentables

(Golombeski et al., 2006)

Taylor et al., (2009a) también evaluó otra ULL; comparando urea (0, .4, .8 y 1.2%), y una ULL (0, .4, .8 y 1.2%) y harina de soya. No se pudieron observar ventajas claras al sustituir la urea por ULL, además, esta sustitución podría resultar negativa en el desempeño del animal en situaciones de deficiencia de N (0.4%) y altas concentraciones de N (1.6%). Sin embargo, una suplementación intermedia (.8 y 1.2%) afecta de forma similar a la urea el desempeño animal (Cuadro 7). Esto coincidió con los resultados de Taylor et al., (2009b), que observaron que el desempeño de los animales era similar, pero la concentración de amoníaco en la sangre sí se afectaba; habiendo un pico marcado en el caso de la urea, no así en el caso de la ULL. Aun así que hubo un aumento de amoníaco en el caso de la urea, este incremento no se consideró tóxico porque no estuvo cerca de los valores considerados como críticos.

**Optigen:** Es una fuente de NNP de liberación controlada. Consiste en urea cubierta por un polímero que libera lentamente el amoníaco. Esta característica es deseable principalmente en las dietas que requieren un alto porcentaje de proteína, ya que permite incluir una mayor cantidad de urea en la dieta, en forma de Optigen, teniendo un riesgo reducido de toxicidad. Debido a su reciente introducción al mercado, este producto ha sido evaluado en distintos experimentos de desempeño, pero no ha sido evaluado metabólicamente.

Galo et al. (2003) evaluaron el Optigen 1200 en vacas lecheras, comparándolo contra harina de soya. Se hicieron tres dietas, con las dos fuentes distintas de N incrementando la cantidad de Optigen añadido y el

**Cuadro 7. Efecto de suplementar una dieta basada en ensilaje de maíz con diferentes porcentajes de urea convencional y una urea de liberación controlada (ULL), en el desempeño y consumo de becerros en crecimiento**

Variable	GDP, kg/d	Consumo MS, kg/d	Ganancia:Consumo, g:kg
<b>Control</b>			
...0	0.85	6.87	123
<b>Urea</b>			
...0.4	1.14	7.54	150
...0.8	1.16	7.64	152
...1.2	1.16	7.58	153
...1.6	1.18	7.65	155
<b>ULL</b>			
...0.4	1.00	7.20	139
...0.8	1.18	7.53	157
...1.2	1.20	7.60	158
...1.6	1.03	7.49	137
<b>Valores de Probabilidad</b>			
Fuente	0.07	0.19	0.09
Concentración	0.03	0.42	0.01
Fuente x Concentración	0.04	0.72	0.01

(Taylor et al., 2009).

porcentaje de PC en la dieta. Se observó que la inclusión de Optigen no mejoró la producción de los animales en el experimento, y la sustitución parcial de fuente de N de Optigen por harina de soya redujo (4%) la producción de leche (Cuadro 8).

Tedeschi et al. (2002) evaluaron el Optigen 1200 en 100 novillos Angus y compararon el desempeño de cuatro lotes con cuatro tratamientos difiriendo en la fuente de N: 100% urea, 100% Optigen, 66:34 Urea:Optigen (U66O34) y 66:34 Optigen:Urea (O66:U34). Observaron que hubo una diferencia estadística en la GDP entre el tratamiento O100 y U100 en la GDP, siendo U100 superior por 16% con respecto al O100. Sin embargo, también observaron que los tratamientos U66O34 y O66U34 permitieron GDP similares a las U100. Esto coincidió con el peso final, siendo estadísticamente mayor 4% este cuando el tratamiento era U100 en comparación con O100. Al igual que en GDP, al combinar las fuentes de N, se obtuvo un peso similar al de U100. (Cuadro 9).

**Cuadro 8. Producción y composición de la leche con diferentes fuentes de N y cantidades de ULL**

Variable	CP18 0CU*	CP18+CU*	CP16+CU*
Consumo de materia seca, kg/d	23.6	23.6	23.1
Producción de leche, kg/d	35.6	34.8	33.8
Grasa en la leche, %	3.8	3.6	3.8

\*CP18 OCU: dieta con 18%PC sin Optigen; CP18+CU: dieta con 18% PC con Optigen; ,CP16+CU: dieta con 16%PC con Optigen.

(Galo et al., 2003)

**Cuadro 9. Desempeño de becerros alimentados con combinaciones de urea y Optigen.**

Variable	Tratamientos*			
	U100O0	U66O34	U34O66	U0O100
Peso Inicial, kg	340	334	335	333
Peso final, kg	542a	533ab	527ab	520b
Ganancia diaria de peso, g/d	1651a	1520ab	1512ab	1419b
Consumo de materia seca, kg/d	9.27	9.64	9.06	9.35

\*Los tratamientos son cuatro proporciones de urea (U) y Optigen® 1200 (O) (100:0, 66:34, 34:66 y 0:100)

(Tedeschi et al., 2002)

## **Materiales y Métodos**

### ***Localización del área donde se llevó a cabo el estudio***

El estudio se llevó a cabo en la Unidad para Pruebas de Digestión y Metabolismo de Rumiantes del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias (IICV) de la Universidad Autónoma de Baja California, a 10 km al sur de Mexicali, en el noroeste de México. La zona tiene una latitud de 32°40', una longitud de 115°28', una altitud de 10 m sobre el nivel del mar y condiciones desérticas.

### ***Características de las unidades experimentales***

Se utilizaron cuatro novillos Holstein ( $213 \pm 4$  kg de PV) clínicamente sanos y habilitados con cánulas en el rumen y duodeno proximal (Zinn y Plascencia, 1993). Las cánulas (80 mm di) instaladas en rumen se elaboraron con el material y el procedimiento descrito por Zinn (2003), mientras que las utilizadas para el duodeno fueron cánulas tipo "T" de 25 mm de diámetro interno y se elaboraron con material de tygon inerte (\*USP, Lima, Ohio). Veintiún días previo al inicio de la prueba los novillos fueron reimplantados con una combinación de 140 mg de acetato de trembolona y 14 mg de benzoato de estradiol (Revalor H, Intervet/Schering-Plough Animal Health, México City, México) y consumieron una dieta de finalización formulada en base de maíz en hojuela con una proporción concentrado:forraje de 80:20. Los novillos fueron adaptados a las dietas experimentales 7 días antes de iniciar el experimento.

Los animales se identificaron mediante aretes con numeración progresiva del 21 al 24.

### ***Dietas***

Los novillos consumieron 4 dietas elaboradas en base de maíz hojuelado (densidad aproximada de 0.32 kg/L), la composición y aporte nutrimental expresado en base MS calculado (NRC, 1996) o determinado en laboratorio se muestran en el Cuadro 10. Las dietas fueron formuladas para un contenido de almidón y FDA de 48.0 y 8.0 % para proporción de 6 (alta, A), de 45 y 10% para proporción de 4.5 (intermedia, I) y de 39 y 13% para proporción de 3.0 (baja, B). Las raciones fueron elaboradas en la planta de alimentos del IICV-UABC. Con la finalidad de disminuir la variación del contenido nutrimental y concentración final de cromo en las dietas experimentales, cada dieta se elaboró en una sola ocasión y se almacenó en cajón de madera con tapa de capacidad de 1m<sup>3</sup>. La adición de cromo y urea fue a través del uso de una premezcla como vehículo utilizada al 3.35% de la dieta. La premezcla con cromo y urea fue elaborada en la planta de alimentos del Desert Research and Extension Center, campo experimental de la Universidad de California, Davis. La premezcla fue agregada como cuarto paso posterior a la inclusión del maíz, DDG y residuo de panadería y previo a la inclusión de forrajes, grasa y melaza. El tiempo de mezclado fue de 10 minutos utilizando un mezclador horizontal (Modelo HD-20; HC Davis Sons Manufactory Co., Bonner Spring, KS) de capacidad de 2.5 m<sup>3</sup>.

**Cuadro 10. Ingredientes y composición nutrimental de las dietas experimentales**

Concepto	Tratamientos <sup>1</sup>			
	UGA	OPTU-A	OPTU-I	OPTU-B
Ingrediente, base MS, %				
Maíz en hojuela	58.00	68.00	60.00	55.00
DDGS	15.00	4.00	6.50	7.00
Heno de sudan	6.00	6.00	10.00	12.00
Paja de trigo	4.00	4.00	5.50	8.00
Urea	0.80	0.80	0.80	0.80
Optigen 1200®	----	1.00	1.00	1.00
Melaza	8.00	8.00	8.00	8.00
Residuo de panadería	3.50	3.50	3.50	3.50
Grasa amarilla	2.00	2.00	2.00	2.00
Premezcla mineral <sup>2</sup>	2.55	2.55	2.55	2.55
Composición (BMS)				
EN <sub>m</sub> , Mcal/kg <sup>3</sup>	2.14	2.14	2.07	2.00
EN <sub>g</sub> , Mcal/kg <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.41	1.34
Proteína cruda, % <sup>4</sup>	12.48	13.50	13.70	13.53
Almidón <sup>4</sup>	40.80	48.20	44.90	39.40
FAD, % <sup>4</sup>	9.69	8.04	10.80	13.47
Calcio, % <sup>3</sup>	0.73	0.78	0.80	0.73
Fósforo, % <sup>3</sup>	0.43	0.31	0.33	0.33

<sup>1</sup> Tratamientos: UGA= urea, OPTU= combinación urea + Optigen 1200 en dietas con proporción de: 5.99 (OPTU-A), 4.15 (OPTU-I) y 2.92 (OPTU-B).

<sup>2</sup> Sal mineralizada conteniendo: 1.80% de roca caliza, 0.40% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y 0.35% de sal mineralizada con:  $\text{CoSO}_4$ , 0.068%;  $\text{CuSO}_4$ , 1.04%;  $\text{FeSO}_4$ , 3.57%;  $\text{ZnO}$ , 1.24%;  $\text{MnSO}_4$ , 1.07%;  $\text{KI}$ , 0.052%; and  $\text{NaCl}$ , 92.96%

<sup>3</sup> Estimado utilizando los valores tabulados para cada ingrediente (NRC, 1996).

<sup>4</sup> Determinado por análisis de laboratorio.

### ***Tratamientos y asignación a corraletas***

Los becerros fueron asignados a corraletas individuales de 12.6 m<sup>2</sup> con comedero individual y bebedero de tazón compartido localizados área cerrada (indoor) de 54 x 12 m con paredes para libre circulación de aire. En cada corral el 30% de la superficie del piso de concreto fue cubierto con un tapete de material de neopreno (1.25 cm) de espesor para descanso de los novillos.

Los tratamientos consistieron en:

- 1)** Dieta formulada para una proporción de almidón:FDA de 4.5, conteniendo 0.80% de urea grado alimenticio como única fuente de NNP (UGA)
- 2)** Dieta formulada para una proporción de almidón:FDA de 6.0, conteniendo 0.80% de urea + 1.0% de Optigen 1200® (Alltech, México) (OPTU-A)
- 3)** Dieta formulada para una proporción de almidón:FDA de 4.5, conteniendo 0.80% de urea + 1.0% de Optigen 1200® (Alltech, México) (OPTU-I)
- 4)** Dieta formulada para una proporción de almidón:FDA de 3.0, conteniendo 0.80% de urea + 1.0% de Optigen 1200® (Alltech, México) (OPTU-B)

### ***Diseño experimental***

Consistió en cuatro tratamientos, bajo un diseño de cuadrado Latino 4x4 bajo el siguiente modelo:  $Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + T_k + E_{ijk}$  .

### ***Duración de la prueba, suministro de Optigen 1200®, alimentación y procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio.***

#### ***Duración de la prueba***

La fase experimental consistió en 4 períodos experimentales de 14 días (10 días para adaptación de dieta y 4 para colección de muestras) iniciando el 21 de agosto y finalizando el 15 de octubre del 2009. Las condiciones ambientales fueron en promedio de  $33.2 \pm 2.7$  °C con mínimas de 26.7 y máximas de 39.9 °C y de  $34.7 \pm 13.5\%$  de humedad relativa con mínimos de 17.8 y máximos de 57.6%.

#### ***Suministro de Optigen 1200®***

La incorporación de Optigen 1200® se realizó, a manera de aderezo, en forma diaria mezclándolo manualmente cada servida de alimento para asegurar el consumo total programado para cada novillo (1% del alimento consumido). La cantidad diaria de Optigen 1200® asignada para cada novillo, en cada servida de alimento, fue pesada en báscula de precisión (Navigator, modelo: N1H110 Cap. 8,100 g). Una vez pesado, el Optigen 1200® se depositó en bolsas identificadas, de plástico sellable (Ziplock®) hasta su utilización.

### ***Alimentación***

La cantidad de alimento (BMS) se fijó individualmente ajustándolo al 2.2% (4.554 kg/novillo/d en promedio) del PV mermado ( $PV \cdot 0.96$ ). Los novillos se pesaron en báscula digital tipo ganadera individual capacidad de 1,135 kg (Fairbanks Scale Mod. FB-1300, KS) a las 0700 h tres días consecutivos previo al inicio del experimento. La cantidad de MS de las dietas se determinó un día previo a la elaboración de las raciones y al inicio, a los 7 d y al final de cada periodo experimental. Las porciones asignadas por animal por servida fueron pesadas en forma semanal en una báscula digital de precisión (Mettler Toledo SB16100 x 1g). El suministro de las dietas se ofreció en forma diaria en dos porciones iguales a las 0800 y a las 2000h. La lectura de comederos se realizó diariamente a las 7:50 AM previo al ofrecido matutino, no se observaron rechazos durante el experimento.

### ***Procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio***

Durante el periodo de colección de muestras, las muestras duodenales (750 mL) y fecales (200 g) se tomaron a cada novillo dos veces al día durante los últimos cuatro días de cada periodo en los siguientes horarios: Día 1, 0750 y 1350h; día 2, a las 0900 y las 1500h; día 3, a las 1050 y las 1650 h y día 4, a las 1200 y las 1800h. Las muestras duodenales se tomaron utilizando recipientes de plástico de capacidad de 1L (Wide mouth square bottles, Evenflo®). Las heces se recolectaron directamente del piso mediante espátula.

Posterior a la colección de muestras, las cánulas y el área adyacente se lavaron perfectamente de igual manera el piso fue lavado a presión con agua corriente hasta la siguiente toma. Las muestras de cada novillo en cada periodo de colección se identificaron y mezclaron con el propósito de formar muestras compuestas las que se congelaron a  $-20^{\circ}\text{C}$  (Kelvinator, KSGW200, 19.4 cf) para análisis posteriores. A las 0, 2, 4, y 6 h postconsumo, en el último día de cada periodo, se determinó el pH (Orion 261S, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA.) del contenido ruminal de muestras obtenida de cada novillo ( $\pm 350\text{ mL}$ ) mediante el uso de una bomba de vacío (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL.). El último día, del tercer periodo experimental, muestras de fluido ruminal se obtuvieron y mezclaron (por novillo) para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial (Bergen et al., 1968). Las muestras de alimento, duodeno y heces fueron descongeladas, homogenizadas y secadas a  $70^{\circ}\text{C}$  durante 48 h en estufa de aire forzado (EPS, C3F-2, Orange, CA), posteriormente se molieron en molino para café (Krups Gx4100), se depositaron en platillos de aluminio, y se sometieron a temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante. Las muestras desecadas se colocaron en frascos de 120 mL (Qorpak Jars, Fisher Sci.) Las muestras generadas se sujetaron a todos o parte de los siguientes análisis: Materia seca (MS, estufa desecando a  $105^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante), ceniza, N kjeldhal y N amoniacal de acuerdo con lo estipulado por la AOAC (1986), almidón (Zinn, 1990), purinas (Zinn y Owens, 1986), FDA (Goering y Van Soest, 1970), óxido crómico (Hill y Anderson, 1958) y energía bruta (EB) (utilizando una bomba calorimétrica adiabática, Parr Instruments, Co.)

### ***Cálculos y Análisis estadístico***

La cantidad de MS que fluyó a duodeno y la excreción fecal se calcularon a partir de la cantidad de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ingerido dividido entre la concentración (g/g MS) de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que apareció en duodeno y heces respectivamente. La cantidad de materia orgánica microbiana (MOM), así como el nitrógeno microbiano (NM) que fluyen al duodeno se calculó con base en los análisis de las bacterias aisladas en el fluido ruminal, así como en las muestras obtenidas de duodeno, usando purinas como marcadores (Zinn y Owens, 1986). La materia orgánica fermentada (MOF) en rumen se calculó mediante la resta a la materia orgánica consumida (MOC) menos la diferencia cuantitativa observada a nivel duodenal de la cantidad total de la MO, menos la MOM que ingresó a duodeno [MOF=MOC-(MO-MOM)]. El N consumido que escapa de la digestión ruminal (proteína de escape) se consideró como el equivalente al total de N que ingresa al duodeno menos la suma de las cantidades de N amoniacal y N microbiano que fluyeron al duodeno.

El valor esperado de la energía digestible (ED) de las dietas fue estimado de la siguiente forma: Esperado, ED, Mcal/kg= [(Valor de ED observado para cada uno de los tratamientos Urea + Optigen/(valor ED observado para la dieta U/ 2.785)]/ED calculada, donde ED calculada= 3.783, 3.668 y 3.571 para OPTU-A , OPTU-I y OPTU-B respectivamente, 2.785 es el aporte de ED de la dieta con urea (UGA), los valores 2.785, 3.783, 3.668 y 3.571 son estimados a partir del valor de ED de cada uno de los ingredientes que componen cada dieta experimental (NRC, 1996).

La información generada se analizó según un modelo lineal para un diseño en cuadro latino 4 x 4. Los tratamientos fueron T1 = urea en dieta proporción almidón:FDA intermedia, T2= Optigen + urea dietas proporción almidón:FDA alta, T3=Optigen + urea dietas proporción almidón:FDA intermedia y T4 = Optigen + urea con dietas proporción almidón:FDA baja.

Para los tratamientos con presencia de Optigen se estudio el comportamiento de la inclusión con FDA alta, intermedia y baja a través de polinomios ortogonales (respuesta lineal y cuadrática). Además, se probó el contraste T1 vs T3 (comparación de medias ente la urea sola y su combinación en la proporción intermedia). El componente de variación animal en el modelo se consideró como aleatorio por lo que el modelo lineal resultó mixto y su análisis fue realizado de aplicar el procedimiento MIXED del paquete SAS 9.2. En el caso de la variable de respuesta pH se registraron valores a los siguientes tiempos: 0, 2, 4 y 6 h; entonces, se analizó con un modelo lineal mixto para un DCL con medidas repetidas en el tiempo evaluando las estructuras de covarianza: UN, CS, AR(1), y el componente de animal aleatorio. Como los efectos de interacción tratamiento por tiempo resultaron no significativos, se analizó la variable ph por cada uno de los tiempos definidos con el mismo procedimiento que el resto de las variables a estudiar. Los efectos de los tratamientos fueron comparados mediante los siguientes contrastes: 1) UGA vs. OPTU-I y 2) polinomios ortogonales para el efecto de la combinación Optigen 1200® y urea en las distintas proporciones de almidón:FDA de la dieta (efecto

lineal y cuadrático). Las diferencias entre tratamientos y las tendencias evaluadas fueron consideradas significativas cuando  $P \leq 0.05$ .

## Resultados y Discusión

Los objetivos principales de este estudio fueron el de: 1) Comparar, en una dieta con proporción mínima de 4.0 de almidón:FDA, la utilización de urea de grado alimenticio (UGA) o la combinación de urea de grado alimenticio y urea de lenta liberación (OPTU-I) sobre la digestión de nutrimentos y la utilización de energía de la dieta y 2) Evaluar el efecto de la combinación de urea grado alimenticio y urea de lenta liberación (OPTU) sobre la digestión de nutrimentos y la utilización de la energía de dietas isoproteicas (promedio = 13.57%) conteniendo distintas proporciones (6.0, 4.5 y 3.0) de almidón y FDA. De acuerdo al análisis de laboratorio y el consumo observado, las concentraciones de almidón y FDA resultaron (Cuadro 11) en 40.80 y 9.69% para UGA, 48.2 y 8.04 para OPTU-A, 44.9 y 10.80 para OPTU-I y 39.4 y 13.47% para OPTU-B. La proporción consumida (g/g) resultante de almidón:FDA fue de 4.21 (UGA), 5.98 (OPTU-A), 4.16 (OPTU-I) y 2.92 (OPTU-B). Esto representa el 93, 99, 92 y 97% de lo proyectado y fue resultado de la posible variación del contenido de FDA del heno de sudan. Aún así, la proporción intermedia (UGA y OPTU-I) resultó por encima de la proporción menor (4.0) de almidón:FDA que ha resultado en mayores eficiencias (Milton et al., 1997; Zinn et al., 1994, 2003) para el uso de urea convencional en dietas de finalización.

**Cuadro 11. Efecto de la combinación urea-Optigen en dietas con distintas proporciones de almidón:FDA sobre digestión de nutrientes y ED de la dieta.**

Concepto	Tratamientos <sup>1</sup>				Valor de $P^2$	
	OPTU-A	OPTU-I	OPTU-B	EEM	Lineal	Cuadrático
Consumo, g/d						
MS	4,646	4,637	4,469	64		
MO	4,419	4,387	4,370	61		
Almidón	2,239	2,084	1,761	27		
FAD	374	501	602	7		
N	100	102	101	1.6		
EB, Mcal/d	21.53	21.36	21.01	0.29		
Flujo duodeno, g/d						
MO	2,546	2,618	2,580	52	0.37	0.13
Almidón	489	459	381	15	<0.01	0.16
FAD	302	367	437	13	<0.01	0.82
N	98.20	101	98.47	2.6	0.86	0.03
NAN	94.68	97.80	95.45	0.83	0.54	0.03
NM	61.58	65.70	60.60	1.77	0.30	<0.01
N dietético	33.10	32.10	34.85	1.02	0.21	0.13
Digestión ruminal,%						
MO	56.35	55.29	54.85	0.57	0.11	0.69
Almidón	78.18	78.00	78.36	0.62	0.85	0.73
FAD	19.09	26.74	27.42	1.97	0.03	0.20
N dietético	67.02	68.38	65.50	1.1	0.29	0.11

Eficiencia NM <sup>3</sup>	24.19	25.07	23.48	0.37	0.22	0.03
Eficiencia de N <sup>4</sup>	0.94	0.96	0.94	0.01	0.95	0.24
Digestión posruminal, %						
MO	64.62	63.28	60.86	1.64	0.16	0.80
Almidón	94.62	94.78	94.96	0.33	0.75	0.82
FAD	17.96	14.33	12.68	2.80	0.24	0.79
N	76.56	77.64	76.86	1.59	0.68	0.17
Excreción Fecal g/d						
MO	866	940	1,036	24	<0.01	0.72
Almidón	26.14	23.97	19.91	1.43	0.02	0.61
FAD	248	314	380	6.24	<0.01	0.98
N	22.97	22.62	22.73	1.23	0.73	0.71
EB, Mcal/d	4.53	4.65	5.00	0.11	0.03	0.46
Digestión tracto total, %						
MO	80.39	78.59	76.26	0.64	<0.01	0.73
Almidón	98.83	98.85	98.87	0.13	0.77	0.99
FAD	33.68	37.37	36.87	0.89	0.07	0.14
N	77.08	77.75	77.48	0.59	0.55	0.43
ED, %	78.94	78.23	76.26	0.53	0.02	0.37
ED, Mcal/kg	3.66	3.60	3.44	0.02	<0.01	0.12
Valor de ED observada/esperada <sup>5</sup>	1.00	1.02	1.00	0.007	0.69	0.07

<sup>1</sup> OPTU-A= Urea + Optigen en dieta con alta (5.99) proporción almidón:FDA, OPTU-I= Urea + Optigen en dieta proporción intermedia (4.15) de almidón:FDA, OPTU-B = Urea + Optigen en dieta con baja (2.93) proporción almidón:FDA.

<sup>2</sup> Nivel de significancia para la proporción almidón:FDA en los tratamientos de Urea+ Optigen.

<sup>3</sup>N microbiano en duodeno g/kg de MO fermentada en rumen.

<sup>4</sup> N no amoniacal en duodeno g/g de N consumido.

<sup>5</sup> El valor esperado fue estimado de la siguiente forma: Esperado, ED, Mcal/kg= [(Valor de ED observado para cada uno de los tratamientos U+Optigen/(valor ED observado para la dieta UGA/ 2.785)]/ED calculada, donde ED calculada= 3.783, 3.668 y 3.571 para OPTU-A , OPTU-I y OPTU-B respectivamente, 2.785 es el aporte de ED de la dieta con urea (UGA; Cuadro 1, NRC, 1996), los valores 2.785, 3.783, 3.668 y 3.571 son estimados a partir del valor de ED de cada uno de los ingredientes que componen cada dieta (NRC, 1996).

***Efecto de la combinación OPTU sobre la proporción de almidón:FDA***

Los efectos de los tratamientos sobre la digestión de nutrientes, pH ruminal y el aporte de la ED de la dieta se muestran en los cuadros 11 y 12. Como resultado de la diferencia de la composición química (FDA y almidón) de las dietas que contuvieron la combinación OPTU, se detectó un incremento (componente lineal,  $P < 0.01$ ) del flujo a duodeno de FDA y una disminución (componente lineal,  $P < 0.01$ ) del flujo de almidón a medida que la proporción de almidón:FDA se disminuyó. La proporción intermedia (OPTU-I) mostró una respuesta mayor al flujo de NM (componente cuadrático,  $P < 0.01$ ) y de NNA (componente cuadrático,  $P = 0.03$ ) en duodeno, mientras que no hubo diferencia ( $P > 0.14$ ) entre tratamientos sobre el flujo duodenal de N alimenticio promediando 33.4 g/d. Burroughs et al. (1975) proponen que el flujo de NM a duodeno (g/d) es equivalente al 0.0166 del TND consumido. El valor estimado de TND (NRC, 1996) para las dietas que contuvieron la combinación OPTU fue de 84.31, 81.93 y 79.87 para OPTU-A, OPTU-I, OPT-B, respectivamente; Entonces, aplicando la ecuación de predicción ( $0.0166 * TND * CMS$ ), el flujo de NM a duodeno esperado es de 65.02, 63.06 y 59.25, esto representa el 106, 96 y 98% de lo observado para OPTU-A, OPTU-I, OPT-B, respectivamente. Teóricamente, para obtener el máximo de crecimiento microbiano se requiere un mínimo de N degradable en rumen, de tal forma que se puede calcular el requerimiento adicional de urea en dietas que no cubran ese requisito ( $0.104TND - PDR/2.8$ ; donde PDR es la proteína degradable en rumen contenida en la dieta antes de la adición de urea y expresada como porcentaje;

**Cuadro 12. Efecto de urea o la combinación de urea-Optigen en dietas conteniendo una proporción intermedia de almidón:FDA sobre digestión de nutrimentos y ED de la dieta**

Concepto	Tratamientos <sup>1</sup>		
	UGA	OPT-I	EEM
Consumo, g/d			
MS	4,464	4,637	64
MO	4,403	4,387	61
Almidón	1,903	2,084	27
FAD	452	501	7
N	93	102	1.6
EB, Mcal/d	21.69	21.36	0.29
Flujo duodeno, g/d			
MO	2,626	2,618	52
Almidón	419	459	15
FAD**	333 <sup>a</sup>	367 <sup>b</sup>	13
N	94.18 <sup>a</sup>	101 <sup>b</sup>	2.6
NAN	92.52 <sup>a</sup>	97.80 <sup>b</sup>	0.83
NM	61.06 <sup>a</sup>	65.70 <sup>b</sup>	1.77
N dietético	31.46	32.10	1.02
Digestión ruminal,%			
MO	54.23	55.29	0.57
Almidón	77.98	78.00	0.62
FAD	26.37	26.74	1.97

N dietético	66.22	68.38	1.1
Eficiencia NM <sup>2</sup>	23.24a	25.07b	0.37
Eficiencia de N <sup>3</sup>	0.99	0.96	0.01
Digestión posruminal, %			
MO	65.84	63.28	1.64
Almidón	94.29	94.78	0.33
FAD	22.47	14.33	2.80
N	75.55a	77.64b	1.59
Excreción Fecal g/d			
MO	927	940	24
Almidón	23.83	23.97	1.43
FAD	258a	314b	6.24
N	23.01	22.62	1.23
EB, Mcal/d	4.71	4.65	0.11
Digestión tracto total, %			
MO	78.92	78.59	0.64
Almidón	98.74	98.85	0.13
FAD	42.99a	37.37b	0.89
N	75.28a	77.75b	0.59
ED, %	78.30	78.23	0.53
ED, Mcal/kg	3.64	3.60	0.02
Valor de ED observada/esperada <sup>4</sup>	1.00	1.02	0.007

---

<sup>1</sup> UGA= urea en dieta con proporción intermedia (4.20) de almidón:FDA, OPTU-I= Urea + Optigen en dieta con proporción intermedia (4.15) de almidón:FDA.

<sup>2</sup> N microbiano en duodeno g/kg de MO fermentada en rumen.

<sup>3</sup> N no amoniacal en duodeno g/g de N consumido.

<sup>4</sup> El valor esperado fue estimado de la siguiente forma: Esperado, ED, Mcal/kg =  $[(3.668/(\text{valor ED observado para la dieta UGA}/ 2.785)]/\text{ED calculada}$ , donde ED calculada = 3.668 para OPTU-I y 2.785 es el aporte de ED de la dieta con urea (UGA), los valores 2.785 y 3.668 son estimados a partir del valor de ED de cada uno de los ingredientes que componen cada dieta (NRC, 1996).

\*\*Literales diferentes en hileras difiere  $P < 0.05$ .

Burroughs et al., 1975). Aplicando lo anterior, la urea adicional requerida para obtener el máximo crecimiento microbiano para los tratamientos OPTU es de solo el 80% (1.5/1.80%) de la cantidad adicionada. La menor respuesta observada para OPTU-A puede ser explicado, en parte, a la mayor cantidad de carbohidratos altamente disponibles de ese tratamiento que no permitió una mejor utilización de la urea de lenta liberación. De nuevo, OPTU-I mostró mayor eficiencia en este rubro pues resultó 4.2% por encima (65.70/63.06) del valor esperado de máximo crecimiento microbiano.

No existió diferencia ( $P \geq 0.11$ ) entre los tratamientos OPTU en la digestión ruminal de MO, almidón, N dietético o eficiencia de N (g de NNA en duodeno/ g de N consumido). La digestión de FDA se aumento a medida que se disminuyó (componente lineal,  $P=0.03$ ) la proporción almidón:FDA. Este comportamiento obedeció, principalmente al aumento ( $P \leq 0.04$ , Cuadro 12) del pH ruminal registrado en las horas 4 y 6 postconsumo, más que al efecto de la combinación OPTU en sí. Como consecuencia de una mayor ( $P < 0.01$ ) producción microbiana, sin diferencia ( $P \geq 0.11$ ) en la tasa de digestión ruminal de la MO, la eficiencia microbiana fue mayor (componente cuadrático,  $P=0.03$ ) para OPTU-I. No existió diferencias ( $P \geq 0.16$ ) entre los tratamientos OPTU en la digestión posruminal de la MO, almidón, FDA o N. A nivel de tracto total, la digestión de almidón, FDA y N no fue diferente ( $P \geq 0.07$ ) entre tratamientos OPTU. Como resultado de la diferencia del contenido de almidón en las dietas, la digestión de MO y la ED de la dieta se disminuyó a medida que se disminuyó (componente lineal,  $P < 0.01$ ) la proporción

almidón:FDA. Sin embargo, la proporción de OPTU-I tendió a mejorar ( $P=0.07$ ) la ED de la dieta en 2%.

### ***Urea vs. combinación OPTU-I.***

Tal como fue proyectado, la proporción almidón:FDA contenida en el tratamiento de urea (UGA) fue muy similar a aquella contenida para OPTU-I (4.20 vs. 4.16). Los efectos de los tratamientos sobre la digestión de nutrientes, pH ruminal y ED de la dieta se muestran en los cuadros 2 y 3. Comparado con UGA, OPTU-I consumió mayor (8.8%,  $P<0.01$ ) cantidad de N y de FDA (13.3%,  $P<0.01$ ), sin diferencia ( $P>0.05$ ) en resto de los componentes consumidos. El flujo de N a duodeno fue mayor (7.2%,  $P<0.01$ ) para OPTU como resultado de un mayor (5.7%,  $P<0.01$ ) flujo de NNA y de NM (7.6%,  $P<0.01$ ). No hubo diferencias entre tratamientos sobre la digestión ruminal de la MO, FDA, almidón y N. Sin embargo, OPTU mostró una mayor (7.9%,  $P=0.02$ ) eficiencia microbiana y tendió (3%,  $P=0.08$ ) a una menor eficiencia proteica. De acuerdo a la relación de producción microbiana y el consumo de TND, la producción de NM para UGA fue del 97% de lo proyectado, comparado con el 104% registrado para OPTU-I. Se ha sostenido que la producción de NM es, entre otros, un resultado de la sincronización entre la velocidad de hidrólisis de carbohidratos y la velocidad en que el N-NH<sub>3</sub> es producido durante la hidrólisis de los compuestos N en rumen (NRC, 1985; Orskov, 1992), la diferencia en producción microbiana observada entre UGA y OPTU-I, podría explicarse por la posible mejor sincronía observada para la dieta OPTU-I. La combinación mejoró (2.8%,  $P=0.02$ ) la digestión posruminal del N sin diferencia en la digestión de los otros componentes evaluados. A nivel de tracto

total, no existió diferencia ( $P \geq 0.07$ ) en la digestión de MO, almidón y la ED de la dieta. Sin embargo, OPTU incrementó (2.9%,  $P < 0.01$ ) la digestión de N y disminuyó (13%,  $P < 0.01$ ) la digestión de FDA. La mayor digestión de N a nivel de tracto total es un reflejo de una mayor digestibilidad del N suplementario (Optigen 1200) y una mayor contenido de PC (8.8%) de la dieta OPTU como resultado de la inclusión adicional de Optigen 1200.

Comparado la ED observada vs. la esperada (NRC, 1996), la ED de la dieta con urea correspondió al 1.00, mientras OPTU-I tendió a mejorar (2%,  $P = 0.07$ ) la ED de la dieta. De acuerdo a la formulación (NRC, 1996), la concentración esperada de ED de la dieta UGA es 3.2% (0.117 Mcal/kg) mayor, sin embargo, la diferencia observada fue solo de 1.1% (0.04 Mcal/kg, Cuadro 11). Este cambio representa una mejoría en 0.077 Mcal/kg de ED para OPTU-I. Considerando que: 1) El aporte de ED en las dietas UGA y OPTU-I está dado principalmente por los cambios en la participación de maíz y DDG, 2) que el DDG contiene similar energía que el maíz en hojuela (Deppenbusch et al., 2008; Uwitze et al., 2010) y 3) que la diferencia de contenido de DDG + maíz entre UGA y OPTU es 6.5% (la suma de participación de maíz y DDG en la dieta UGA es 73%, mientras que para la dieta OPTU-I es de 66.5%, Cuadro 10), entonces, el cambio en la ED de la combinación OPTU en la dieta intermedia representó el equivalente a incrementar un 4.3%  $[(0.117 - 0.04) / (0.117 / 6.5)]$  de grano de la dieta.

Aún y cuando OPTU-I contuvo 80% más de NNP en la dieta (1.80 vs. 1.00), el pH ruminal fue muy similar ( $P \geq 0.19$ ) entre ambos tratamientos promediando 6.48, 5.86, 6.16 y 6.42 para las lecturas de 0, 2, 4 y 6 h postconsumo. Estudios previos

(Zinn et al., 1994) informan que el incrementar los niveles de urea de 0.40 a 1.60% no afecta ( $P>0.10$ ) el pH ruminal.

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se llevó a cabo el experimento, la combinación urea y Optigen 1200® resulta en efectos positivos en el flujo de NM, eficiencia de fermentación y ED de la dieta; sin embargo, estas ventajas aparentemente solo se observan cuando existe cierta proporción (rango = 4.0 a 4.2) de almidón:FDA en la dieta. Proporciones mayores o menores no ofreció ventajas sobre ninguno de los parámetros evaluados. Es necesario seguir investigando sobre los factores dietéticos óptimos en la cuales se pueda obtener un máximo provecho del uso de fuentes de NNP de lenta liberación.

## Literatura Citada

- AOAC. 1986. Official methods of analysis (14th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Bartley E. E., A. D. Davidovich, G. W. Barr, G. W. Griffel, A. D. Dayton, C. W. Deyoe, and R. M. Bechtle. 1976. Ammonia toxicity in cattle. I. Rumen and blood changes associated with toxicity and treatment methods. *J. Anim. Sci.* 43:835–841.
- Bergen W. G., D. B. Purser, and J. H. Cline, 1968. Effect of Ration on the Nutritive Quality of Rumen Microbial Protein. *J Anim. Sci.* 27: 1497-1501.
- Bergen W. G., Purser D. B., and Cline, J. H. 1967. Enzymatic determination of the protein quality of individual rumen bacteria. *J. Nutr.* 92:357-364.
- Berry, W. T., Jr., J. K. Riggs y H. O. Kunkel. 1956. The lack of toxicity of biuret to animals. *J. Anim. Sci.* 15:225.
- Bhattacharya A. N. and J. C. Taylor. 1975. Recycling animal waste as a feedstuff: A review. *J. Anim. Sci.* 41 : 1438-1457.
- Burroughs W., A. Latona, P. DePaul, P. Gerlaugh and R. M. Bethke. 1951. Mineral influences upon urea utilization and cellulose digestion by rumen microorganisms using the artificial rumen technique. *J. Anim. Sci.* 10:693-705.

Chalupa W. 1975. Rumen bypass and protection of proteins and amino acids. J. Dairy Sci. 58:1198-1218.

Chalupa W. 1977. Manipulating Rumen Fermentation. J. Anim. Sci. 45: 585-599.

- Chalupa W., J. Clark, P. Opliger and R. Lavker. 1970. Ammonia metabolism in rumen bacteria and mucose from sheep fed soy protein or urea. *J.Nutr.* 100:161-169.
- Chalupa, W. 1968. Problems in feeding urea to ruminants. *J. Anim. Sci.* 27:207–219
- Cheng K. J., and J. W. Costerton. 1980. Adherent rumen bacteria - their role in the digestion of plant materials, urea and epithelial cells. Page 227 in *Digestive physiology and metabolism in ruminants*. Y. Ruckebusch and P. Thivend, ed. M.T.P. Press, Lancaster, U.K.
- Coleman S. W. and K. M.Barth, 1977.Utilization of supplemental NPN and energy sources by beef steers consuming low protein hays. *J. Anim. Sci.* 45:1180-1187.
- Colenbrander V. F., Muller L. D., Wasson J. A., Cunningham M. D. 1971. Effects of Added Urea and Ammonium Polyphosphate to Corn Stover Silages on Animal Performance. *J Anim. Sci.* 33: 1091-1096.
- Currier, T. A., D. W. Bohnert, S. J. Falck and S. J. Bartle. 2004. Daily and alternate day supplementation of urea or biuret to ruminants consuming low-quality forage: I. Effects on cow performance and the efficiency of nitrogen use in wethers. *J. Anim. Sci.* 2004. 82:1508-1517.
- Davidovich, A., E. E. Bartley, R. M. Bechtle, and A. D. Dayton. 1977. Ammonia Toxicity in Cattle. III. Absorption of Ammonia Gas from the Rumen and

Passage of Urea and Ammonia from the Rumen to the Duodenum. *J. Anim. Sci.* 45: 551-558.

Deppenbusch, B.E., E. R. Loe, M. J. Quinn, M. E. Corrigan, M. L. Gibson, K. K. Karges and J. S. Drouillard. 2008. Corn distillers grains with solubles derived from a traditional or partial fractionation process: Growth performance and carcass characteristics of finishing feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 86:2270-2276.

El-Sabban F. F., J. W. Bratzler, T. A. Long, D. E. H. Frear and R. F. Gentry. 1970. Value of processed poultry waste as a feed for ruminants. *J. Anim. Sci.* 31:107-111.

Erflle J. D., F. D. Saner, and S. Mahadevan. 1977. Ammonia concentration on activity of enzymes of ammonia assimilation and on synthesis of amino acids by mixing rumen bacteria in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 60:1064-1072.

Fonnesbeck P. V., L. C. Kearl, 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, and 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.

- Goering, H.K., and P.J. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications). Agric. Handbook 379. ARS-USDA, Washington, DC.
- Golombeski G. L., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and D. J. Schingoethe. 2006. Slow-Release Urea and Highly Fermentable Sugars in Diets Fed to Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 89:4395–4403.
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- Koenig K. M., K. A. Beauchemin and L. M. Rode. 2003. Effect of grain processing and silage on microbial protein synthesis and nutrient digestibility in beef cattle fed barley-based diets. *J Anim. Sci.* 81:1057-1067.
- Lana R. P., J. B. Russell, and M. E. Van Amburgh. 1998. The role of pH in regulating ruminal methane and ammonia production. *J. Anim. Sci.* 76: 2190-2196.
- Leng R. A., and J. V. Nolan. 1984. Symposium: Protein Nutrition of the Lactating Dairy Cow. *J Dairy Sci* 67:1072-1089.
- Li Pun, H. H., and L. D. Satter. 1975. Nitrogen fixation in ruminants. *J. Anim. Sci.* 41:1161-1163.
- McDonald, I. W. 1948. The absorption of ammonia from the rumen of the sheep. *Biochem. J.* 42:584-587.

- McLaren G. A., G. C. Anderson, J. A. Welch, C. D. Campbell and G. S. Smith. 1960. Diethylstilbestrol and Length of Preliminary Period in the Utilization of Crude Biuret and Urea by Lambs. II. Various Aspects of Nitrogen Metabolism. *J. Anim. Sci.* 19:44-53.
- Meiske, J. C., W. J. VanArsdell, R. W. Luecke and J. A. Hofer. 1955. The utilization of urea and biuret as sources of nitrogen for growing-fattening lambs. *J. Animal Sci.* 14:941-946.
- Meyer, R. M., E. E. Bartley, C. W. Deyoe, and V. F. Colenbrander. 1967. Feed Processing. I. Ration effects on rumen microbial synthesis and amino acid composition. *J. Dairy Sci.* 50:1327-1332.
- Milton, C. T., R. T. Brandt, and E. C. Titgemeyer. 1997. Effects of dietary nitrogen source and concentration in high-grain diets on finishing steer performance and nutrient digestion. *J. Anim. Sci.* 75:2813-2823.
- 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.
- N.R.C. 1985. Ruminant nitrogen usage. National Academy of Press. Washington D.C.
- N.R.C. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed). National Academy of Press. Washington D.C.

- Nolan, J. V., and R. A. Leng. 1972. Dynamic aspects of ammonia and urea metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.* 27:177-194.
- Noland, P. R., B. F. Ford and M. L. Ray. 1955. The use of ground chicken litter as a source of nitrogen for gestating-lactating ewes and fattening steers. *J. Anim. Sci.* 14:860-865.
- Oitjen, R. R., L. L. Slyter, A. S. Kozak and E. E. Williams. 1968. Evaluation of urea, biuret, urea phosphate and uric acid as NPN sources for cattle. *J. Nutr.* 94:193-202.
- Oltjen, R. R. and D. A. Dinius. 1976. Processed Poultry Waste Compared With Uric Acid, Sodium Urate, Urea and Biuret As Nitrogen Supplements for Beef Cattle Fed Forage Diets. *J. Anim. Sci.* 43: 201-208.
- Oltjen, R. R., Waller, G. R., Nelson, A. B. and Tillman, A. D. 1963. Ruminant Studies with Diammonium Phosphate and Urea. *J Anim Sci.* 22:36-42.
- Orskov, E.R. 1992. Protein Nutrition in Ruminants (2nd Edition). Academic Press, San Diego, CA.
- Owens, F. N., K. S. Lusby, K. Mizwicki, and O. Forero. 1980. Slow Ammonia Release from Urea: Rumen and Metabolism Studies. *J. Anim. Sci.* 50: 527-531.
- Owens, F. N., W. G. Bergen 1983. Nitrogen Metabolism of Ruminant Animals: Historical Perspective, Current Understanding and Future Implications. *J. Anim. Sci.* 57: 498-518.

- Purser, D. B. 1970 .Nitrogen Metabolism in the Rumen: Microorganisms as a Source of Protein for the Ruminant Animal. *J Anim. Sci.* 30: 988-1001.
- Repp, W. W., W. H. Hale and W. Burroughs. 1955. The value of several non-protein-nitrogen compounds as protein substitutes in lamb fattening rations. *J. Animal Sci.* 14:901-908.
- Repp, W. W., W. H. Hale, E. W. Cheng and Wise Burroughs. 1955. The influence of oral administration of non-protein nitrogen feeding compounds upon blood ammonia and urea levels in lambs. *J. Animal Sci.* 14:118-131.
- Rumsey, T. S., Putnam P. A., Bond J., and Oltjen R. R. 1970. Influence of Level and Type of Diet on Ruminal pH and VFA, Respiratory Rate and EKG Patterns of Steers. *J Anim Sci* 31: 608-616.
- Russell, E. L., W. H. Hale and F. Hubbert. 1962. Evaluation of Diammonium Phosphate as a Source of Nitrogen for Ruminants. *J. Anim. Sci.* 21: 523-526.
- Smith, R. H. 1979. Synthesis of Microbial Nitrogen Compounds in the Rumen and Their Subsequent Digestion. *J. Anim. Sci.* 49:1604-1614.
- Stangel, H. J. 1963. Urea and Non-Protein Nitrogen in Ruminant Nutrition. Allied Chemical Corp., New York, NY.
- Stumm, C. K., H. J. Gijzen, and G. D. Vogels. 1982. Association of methanogenic bacteria with ovine rumen ciliates. *Br. J. Nutr.* 47:95-99.

- Taylor-Edwards, C. C., N. A. Elam, S. E. Kitts, K. R. McLeod, D. E. Axe, E. S. Vanzant, N. B. Kristensen, and D. L. Harmon. 2009. Effects of slow-release urea on ruminal digesta characteristics and growth performance in beef steers. *J. Anim. Sci.* :200-208.
- Taylor-Edwards, C. C., N. A. Elam, S. E. Kitts, K. R. McLeod, D. E. Axe, E. S. Vanzant, N. B. Kristensen, and D. L. Harmon. 2009b. 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.
- 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. *J. Anim. Sci.*88:258-274.
- Virtanen, A. I. 1966. Milk production of cows on protein-free feed. *Science.* 153:1603–1614.

- Weller, R. A., and A. F. Pilgrim. 1974. Passage of protozoa and volatile fatty acids from the rumen of the sheep and from a continuous in vitro fermentation system. *Br. J. Nut.* 32:341-351.
- Williams, P. and W. E. Dinusson. 1973. Amino Acid and Fatty Acid Composition of Bovine Ruminal Bacteria and Protozoa. *J. Anim. Sci.* 1973 36: 151-155.
- Zinn, R. A. 1990. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68:776-781.
- Zinn, R. A. and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66:157-166.
- Zinn, R. A., Barrajas R., Montano M. and Ware, R. A. 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, R. A., Borquez , J. L. and Plascencia A. 1994. Influence of Levels of Supplemental Urea on Characteristics of Digestion and Growth I Performance of Feedlot Steers Fed a Fat-Supplemented High-Energy Finishing Diet. *The Professional Animal Scientist* 10:5-10.