

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE CIENCIAS VETERINARIAS**



**“EFECTO DE SUPLEMENTACIÓN DE UREA SOBRE FUNCION RUMINAL Y  
DIGESTIÓN EN TRACTO TOTAL DE NOVILLOS HOLSTEIN ALIMENTADOS  
CON DIETAS DE FINALIZACIÓN”**

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

**PRESENTA:  
STEPHANIE CORAL SANCHEZ GONZALEZ**

**DIRECTOR DE TESIS  
DR. MARTÍN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ**

**ASESORES  
DRA. OLGA MARITZA MANRÍQUEZ NÚÑEZ  
DR. VÍCTOR MANUEL GONZÁLEZ VIZCARRA  
DR. JUAN OCTAVIO CHIRINO ROMERO  
MC. MIGUEL ÁNGEL VEGA CÁZARES**

**Efecto de suplementación de urea sobre función ruminal y digestión en tracto total de novillos Holstein alimentados con dietas de finalización. Tesis presentada por Stephanie Coral Sánchez González, como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:**

---

**Dr. Martin Francisco Montaña Gómez**  
**Director de Tesis**

---

**Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez**  
**Asesor**

---

**Dr. Víctor Manuel González Vizcarra**  
**Asesor**

---

**Dr. Juan Octavio Chirino Romero**  
**Asesor**

---

**MC. Miguel Ángel Vega Cázares**  
**Asesor**

## Contenido

Lista de Cuadros.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPOTESIS.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Situación de la ganadería bovina de carne.....	5
Situación de la carne de bovino en México.....	6
Sistemas de producción de ganado bovino de carne.....	6
Alimentación en sistemas de producción intensivo.....	7
Suplementación con fuentes de Nitrógeno no Proteico.....	8
Uso de la urea en dietas de finalización.....	9
Nivel de suplementación de urea.....	10
Efecto de la suplementación de urea en dietas de finalización.....	11
Metabolismo proteico en rumiantes.....	12
MATERIALES Y METODOS.....	16
Localización del área de estudio.....	16
Unidad experimental.....	16
Dietas.....	17
Asignación de tratamientos.....	18
Diseño experimental.....	19
Duración del experimento.....	20
Alimentación y suplementación de urea.....	20
Procedimiento de muestreo y análisis de laboratorio.....	21
Cálculos y análisis estadísticos.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
CONCLUSIONES.....	29
LITERATURA CITADA.....	30

## Lista de Cuadros

Cuadro 1. Ingredientes y composición de dietas .....	18
Cuadro 2. Asignación de tratamientos. ....	19
Cuadro 3. Efecto de suplementación de urea.....	27

## **AGRADECIMIENTO**

A mi director de tesis, Dr. Martin Francisco Montaña Gómez, por su valiosa ayuda y orientación brindada durante el proyecto y durante toda la maestría, agradezco por depositar su confianza en mí ayudando con esto a hacer esta etapa una experiencia agradable de aprendizaje.

A la Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez, por su confianza y su gran apoyo durante mi paso por la maestría y durante el periodo experimental.

Al Dr. Jaime Salinas Chavira por su apoyo y dedicación a la realización de la presente tesis.

A mi comité de tesis, Dr. Víctor Manuel González Vizcarra, MC. Miguel Ángel Vega Cázares y Dr. Juan Octavio Chirino Romero.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California, que por medio del Instituto de Investigación de Ciencias Veterinarias en conjunto con la coordinación de dicho Instituto permitieron mi ingreso al programa de Maestría en Ciencias Veterinarias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme permitido realizar la Maestría en Ciencias Veterinarias a través de la beca proporcionada, porque gracias a ello, fue posible mi estancia en este proyecto de investigación.

Y a todas aquellas personas que contribuyeron en las diferentes fases de este proyecto y durante la maestría, haciendo que mi estancia en este lugar fuera placentera y una experiencia inolvidable.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico en primer lugar a Dios, por haberme dado la sabiduría y fortaleza para culminar con éxito este proceso de aprendizaje.

A mis padres por brindarme todo su apoyo moral y por darme valiosos consejos que me ayudaron a superar cada uno de los obstáculos para lograr mi meta.

A mis hermanos por toda la comprensión y el apoyo incondicional durante este periodo de mi vida.

A mis familiares, amigos y compañeros, sin olvidar a todas aquellas personas que directa e indirectamente contribuyeron en mi desarrollo personal y profesional en el transcurso de la maestría e hicieron que la culminación de estos estudios fuera posible.

**RESUMEN:** Se utilizaron cuatro novillos Holstein ( $260.2 \pm 6.3$  kg) con cánulas en rumen y duodeno proximal en un diseño Cuadrado Latino 4 x 4 replicado para evaluar el efecto de la suplementación de urea en dietas de finalización sobre la eficiencia digestiva ruminal y de tracto total para novillos. La dieta basal contenía (BMS) maíz amarillo hojuelado al vapor (64.85%), DDGS (14.75%), heno de sudan (11.8%), melaza (3.62%), grasa amarilla (2.97%). Se utilizó óxido de cromo (0.35%) como marcador de digestión. Los tratamientos fueron: 1) dieta basal con 0% de urea 2) dieta basal con 0.4% de urea 3) dieta basal con 0.8% y 4) dieta basal con 1.2% de urea. No se observó efecto de los tratamientos sobre la digestión ruminal de MO, FDN, ni sobre la eficiencia microbial ( $P > .10$ ). Incrementando el nivel de urea en la dieta incrementó (efecto lineal,  $P < 0.05$ ) la digestión ruminal de almidón. El flujo de Nitrógeno microbial (NM) y Nitrógeno No Amoniaco (NNA) hacia el intestino delgado incrementaron (efecto lineal,  $P = 0.05$ ) con el aumento del nivel de urea en la dieta. La digestión total de MS (efecto lineal,  $P = 0.01$ ), MO (efecto lineal,  $P = 0.02$ ), Almidón (efecto lineal,  $P = 0.03$ ) y N (efecto lineal  $P = 0.01$ ) incrementaron con el aumento del nivel de urea en la dieta. Por lo anterior, concluimos que la suplementación de urea a niveles crecientes de hasta el 1.20 % en dietas altas en grano puede eficientar tanto la digestibilidad ruminal como total de los componentes de la dieta, específicamente en lo relacionado tanto a almidón como a los componentes nitrogenados.

**ABSTRACT:** Four Holstein steers ( $260.2 \pm 6.3$  kg) with cannulas in rumen and proximal duodenum were used in a replicated 4 x 4 Latin square design to evaluate the effect of the supplementation of urea on digestive efficiency at the level of rumen and total tract in diets of feedlots for steers. The basal diet contained (DMB) steam-flaked corn (64.85%), DDGS (14.75%), sudangrass hay (11.8%), molasses (3.62%), yellow fat (2.97%). We used chromium oxide (0.35%) as a marker of digestion. The treatments were: 1) basal diet with 0% of urea (2) basal diet with 0.4% of urea (3) basal diet with 0.8% of urea (4) basal diet with 1.2% of urea. There were no treatment effects ( $P > 0.10$ ) on ruminal digestion of OM, NDF and microbial efficiency. Increasing dietary urea level increased (linear effect,  $P < 0.05$ ) ruminal starch digestion. Passage of non-ammonia and microbial N (MN) to the small intestine increased (linear effect,  $P = 0.05$ ) with increasing dietary urea level. Total tract digestion of DM (linear effect,  $P = 0.01$ ), OM (linear effect,  $P = 0.02$ ), starch (linear effect,  $P = 0.03$ ) and N (linear effect,  $P = 0.01$ ) increased slightly with increasing urea level. We conclude that supplementation of urea on increased levels of up to the 1.20% in diets high in grains can do more efficient both ruminal digestibility as total of the components of the diet, specifically in relation both starch and nitrogenous components.

## INTRODUCCIÓN

La principal característica de los animales rumiantes (bovinos, caprinos y ovinos) es su capacidad de utilizar el nitrógeno tanto en la forma de Proteína Verdadera como de Nitrógeno No Proteico (NNP). El valor de la proteína verdadera a nivel mundial es cada vez más elevado lo que resulta necesario disminuir costos de alimentación, que en producción de carne bovina constituyen el costo de operación más importante.

Las fuentes de NNP, principalmente la urea, son una sustitución de proteína atractiva debido a su bajo costo por unidad de N comparado con la mayoría de las proteínas naturales (Currier et al., 2004). La urea es un suplemento de N convencional en dietas de finalización a base de maíz hojuelado para el ganado de engorda (Vanconcelos et.al., 2009).

Basado en estudios recientes, se propuso que la suplementación de Nitrógeno no Proteico (NPN) puede ser efectivamente utilizado por ganado y consiste en no proveer más de un tercio del total de N de la ración o un máximo de 1% del total del total de la dieta (Stangel, 1963;Chalupa, 1968). Sin embargo, no existen fundamentos empíricos o económicos para sustentar esa aseveración.

Burroughs (1975), observó que la cantidad máxima de utilización de NNP puede ser estimada en base al potencial de fermentación. El potencial de

fermentación de urea de la dieta se deriva de mediciones de síntesis de proteína microbiana y la proteína degradable en rumen (PDR).

El NRC (1996, Nivel 1) indica que la cantidad de urea que puede ser adicionada a la dieta para optimizar el crecimiento microbial es equivalente a la síntesis neta de proteína microbial menos la cantidad de proteína degradable en rumen de la dieta dividido entre 2.8

Hay considerable evidencia (Lofgreen et al., 1968; Zinn et al., 1994; Milton et al., 1997) que niveles de suplementación de urea por encima de los requerimientos teóricos para optimizar la síntesis de proteína microbial puede mejorar la digestión de nutrimentos y el rendimiento del crecimiento en ganado de engorda en corral.

## **HIPÓTESIS**

La suplementación de urea en dietas de finalizado en novillos mejora la eficiencia en función digestiva.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de nivel de suplementación de urea sobre la función digestiva de dietas para bovinos en finalización.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el efecto de nivel de suplementación de urea sobre la digestión ruminal de nutrientes (MS, MO, FDN, N, Almidón).
- Evaluar el efecto de nivel de suplementación de urea sobre la digestión de nutrientes en tracto total.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## **Situación de la ganadería bovina de carne**

El crecimiento demográfico y el incremento de los ingresos, junto con los cambios en las preferencias alimentarias, han producido un aumento de la demanda de productos pecuarios. Según las proyecciones, la producción mundial de carne se habrá duplicado para el año 2050, la demanda mundial se prevé que aumente en un 70 por ciento para alimentar a una población que se estima alcance 9 600 millones de personas. El creciente mercado de la carne representa una importante oportunidad para los productores pecuarios (FAO, 2016).

La carne de bovino es la tercera más consumida a nivel mundial, para el 2014, la producción mundial alcanzó una cifra record de 59.7 millones de toneladas (equivalente en canal). Esto confirma la tendencia de la recuperación de la producción mundial, la cual se vio estancada entre 2007 y 2011. Dicho estancamiento se debió, en parte, a los altos precios de los alimentos (granos, pastas oleaginosas y forrajes de corte) y a las condiciones meteorológicas adversas (severa sequía en 2011) (FIRA, 2015).

Incrementar la productividad, haciendo el uso más eficiente posible de los insumos de producción, en todo el sector pecuario será fundamental para que el sector pueda satisfacer la creciente demanda de productos ganaderos de

calidad y al mismo tiempo reducir al mínimo sus repercusiones en el medio ambiente y en los recursos naturales mundiales (FAO, 2016).

### **Situación de la carne de bovino en México**

La producción de bovinos de carne es de gran importancia en el contexto socioeconómico de México, ya que proporcionan alimentos, materias primas, divisas y empleos; pues se realiza sin excepción en todas las regiones ecológicas del país (Tinoco et al., 2011).

La cría, engorda y comercialización de ganado bovino para la producción de carne es una de las principales actividades del sector pecuario mexicano. La carne de bovino forma parte importante de la canasta básica registrada por el INEGI. Para 2014, México ocupó el octavo lugar mundial en la producción mundial, con un total de 1.8 millones de toneladas (FIRA, 2015).

### **Sistemas de producción de ganado bovino de carne**

Un sistema de producción es un conjunto de características que interactúan para lograr un objetivo, en este caso, producción de bovinos de carne. El cual se desarrolla bajo diferentes contextos agroclimáticos, tecnológicos, de sistemas de manejo y por finalidad de explotación; ésta

comprende novillos para abasto, becerros para exportación y la producción de pie de cría; por lo que, los sistemas básicos de explotación de bovinos para carne en nuestro país son el extensivo o pastoreo, en praderas y agostaderos y el intensivo o engorda en corral.

### **Alimentación en sistema de producción intensivo**

Un sistema de producción intensivo es donde el total de alimento consumido por el animal es suministrado por el humano diariamente, es una tecnología de producción de carne con los animales en confinamiento y con dietas de alta concentración energética y alta digestibilidad. Los objetivos de este sistema de producción son obtener una alta producción de carne por animal, de calidad, y con alta eficiencia de conversión (kilos de alimento / kilo de carne).

El grano es el componente mayoritario en estas dietas, comúnmente excede el 65% del total del alimento y define la oferta de energía metabolizable y las características físicas del alimento.

Los requerimientos de proteína cruda son más bajos, admitiendo un nivel de 12 al 13%, siendo este el recurso más caro de una dieta.

En las dietas de finalización comunes la calidad de esa proteína que alcanza el intestino delgado, si se han formulado para cubrir los requerimientos de proteína metabolizable, es suficiente para utilizar la energía metabolizable

que tales dietas ofrecen. La síntesis de proteína microbiana a partir de fuentes de nitrógeno no proteico es uno de los elementos centrales de la alimentación a corral de bajo costo, donde la proteína cruda de la dieta es de calidad nutritiva muy inferior a la que llega al intestino del bovino.

La inclusión de urea (o formas similares de nitrógeno no proteico) en dietas de rumiantes requiere de alta capacidad fermentativa en rumen y un actividad ruminal desarrollada, de lo contrario se convierte en un tóxico que puede generar amoniosis (intoxicación por circulación de amoníaco en sangre).

### **Suplementación con fuentes de nitrógeno no proteico**

Desde el punto de vista de la nutrición de animales domésticos, el nitrógeno ingerido en la dieta proviene de dos fuentes: de los aminoácidos que conforman las proteínas de origen vegetal (henos, praderas, afrechos) y animal (harina de pescado, harina de carne) que en su conjunto se denominan Proteína Verdadera y de compuestos orgánicos como amoníaco, aminos y péptidos, o inorgánicos tales como nitratos, sulfatos, fosfatos y urea, que en conjunto denominamos fuentes de Nitrógeno No Proteico (NNP) (González, 1990).

La principal característica de los animales rumiantes (bovinos, caprinos y ovinos) es su capacidad de utilizar el nitrógeno tanto en la forma de Proteína Verdadera como de Nitrógeno No Proteico. El valor de la proteína verdadera a

nivel mundial es cada vez más elevado lo que resulta necesario disminuir costos de alimentación, que en producción de carne bovina constituyen el costo de operación más importante. Las fuentes alternas de NNP son una fuente de reemplazo de proteína por su bajo costo comparado con la mayoría de las proteínas naturales (Currier et al., 2004).

El componente proteico de la dieta es necesario para el funcionamiento del rumen y para la producción de proteína animal a partir de los microorganismos del rumen. Raciones con bajo contenido proteico pueden afectar el consumo y las ganancias de peso de los animales.

### **Uso de la urea en dietas de finalización**

La urea es un compuesto químico cristalino e incoloro que generalmente se presenta en forma granular, es un producto sintético formado a partir de amoníaco y anhídrido carbónico, sometidos a alta temperatura y presión. El contenido en N es del 46% (287% en equivalente proteico) (López-Soto et al., 2013).

La urea es más conveniente que otras fuentes de Nitrógeno no Proteico en la alimentación de rumiantes, desde el punto de vista nutricional, económico y de disponibilidad en el comercio.

Ehrenberg et al. (1891) y Zuntz (1891), determinaron que la urea podría ser utilizada para reemplazar una porción de la proteína en las raciones de los rumiantes.

La conversión de urea a las proteínas es mediada por los microorganismos del rumen y retículo, la cual es utilizada por el animal en tracto posterior.

La urea era menos eficaz en las dietas que contienen 12% o más de PC y esta urea puede reducir la ingesta de alimento cuando la inclusión dietética supera el 1% de la MS (Reid, 1953).

Se ha demostrado que la ingesta total de alimento suele ser similar para dietas que contiene urea comparada con dietas que contienen proteínas naturales.

### **Nivel de suplementación de urea**

Basado en estudios recientes, se propuso que la suplementación de Nitrógeno no Proteico (NPN) puede ser efectivamente utilizado por ganado y consiste en no proveer más de un tercio del total de N de la ración o un máximo de 1% del total del total de la dieta (Stangel, 1963; Chalupa, 1968).

Sin embargo, no existen fundamentos empíricos o económicos para sustentar esa aseveración.

Burroughs (1975), observó que la cantidad máxima de utilización de NNP puede ser estimada en base al potencial de fermentación. El potencial de fermentación de urea de la dieta se deriva de mediciones de síntesis de proteína microbiana y la proteína degradable en rumen (PDR).

El NRC (1996, Nivel 1) indica que la cantidad de urea que puede ser adicionada a la dieta para optimizar el crecimiento microbial es equivalente a la síntesis neta de proteína microbial menos la cantidad de proteína degradable en rumen de la dieta dividido entre 2.8

Hay considerable evidencia (Lofgreen et al., 1968; Zinn et al., 1994; Milton et al., 1997) que niveles de suplementación de urea por encima de los requerimientos teóricos para optimizar la síntesis de proteína microbial puede mejorar la digestión de nutrimentos y el rendimiento del crecimiento en ganado de engorda en corral.

### **Efecto de la suplementación de urea en dietas de finalización**

La correcta sincronización de la tasa de degradación de urea con los carbohidratos de la dieta puede resultar en incrementos en la digestión de la MO y de la FDN. Esto podría explicar en parte el por qué en algunos estudios (Milton et al., 1997; Koenig y Beauchemin, 2013) la inclusión de urea no afectó la digestión de la MO en tracto total, pero en otros (May et al., 2014, Zinn et al., 2003, Brake et al., 2010) la inclusión de urea aumentó la digestión MO. Los aumentos en la digestión ruminal del almidón en respuesta a la suplementación

de urea se han observado en las dietas de finalización formuladas en base de maíz hojuelado (Zinn et al., 1994) y maíz quebrado (Milton et al., 1997), y en dietas que contienen cebada en hojuelas (Zinn et al., 2003;López-Soto et al., 2013).

### **Metabolismo proteico en rumiantes**

En los rumiantes, al igual que en los animales monogástricos, las necesidades de nitrógeno de los tejidos son cubiertos por los aminoácidos absorbidos en el intestino delgado pero son casi independientes de la calidad de la proteína de la dieta ya que los microorganismos del rumen pueden sintetizar todos los aminoácidos incluyendo los esenciales.

La utilización de los compuestos nitrogenados por rumiantes se realiza del siguiente modo: 1) Las proteínas en el rumen son degradadas hasta péptidos y estos hasta amoniac, ácidos grasos y bióxido de carbono. 2) El amoniac con aporte de energía, se utiliza para la síntesis de los componentes nitrogenados de las células microbianas como proteínas y ácidos nucleicos. 3) Una parte del amoniac del rumen se absorbe y es transportado al hígado donde se transforma en urea, y en la mayoría de esta se excreta en orina y otra parte se recicla en saliva. 4) Los microorganismos cuyo componente principal es la proteína, pasan junto con las proteínas de la ración que no se modificaron

en el rumen hasta omaso, abomaso e intestinos para ser digeridas y absorbidas en forma de aminoácidos.

El principal nutriente nitrogenado de las bacterias es el amoníaco, el cual cuando existen aportes apropiados de energía (carbohidratos) se utiliza para sintetizar las proteínas de las bacterias, así pues, del 50 al 80% del nitrógeno bacteriano procede del amoníaco, aunque también utilizan aminoácidos y péptidos. También se forma amoníaco a partir de la urea, por la enzima ureasa, la cual puede ser de origen endógeno o de los alimentos. Los protozoarios no utilizan amoníaco obtienen su nitrógeno a partir de bacterias.

A pesar de la gran importancia del amoníaco para la síntesis de proteína microbial, el amoníaco producido nunca puede ser utilizado completamente para este fin. La concentración de amoníaco es por encima de la capacidad de los microorganismos para metabolizarlo, se absorbe y vía sanguínea es llevado al hígado para convertirlo en urea, y la mayor parte de la urea se excreta a través del riñón en orina; otra parte de la urea formada en hígado es reciclada al rumen por la saliva o por difusión directa desde la sangre a través de la pared ruminal. La urea en el rumen se descompone por la ureasa bacteriana hasta amoníaco, el cual se utiliza para la síntesis de proteína microbial.

Bajo condiciones prácticas, raciones hasta con 13% de proteína cruda soportan la adición de urea, pero raciones con mayor contenido de proteína implican el aporte de amoníaco requerido por los microorganismos y por tanto no se hace buen uso de urea en estas raciones. Cantidades elevadas de

proteína en la ración producen amoníaco en exceso de las necesidades de los microorganismos, y si bien no es tóxico, pero si constituye un desperdicio ya que se excreta como urea. Se alcanzan niveles tóxicos de amoníaco en los animales cuando se ingieren grandes cantidades de nitrógeno simple como la urea, pero la ingestión de grandes cantidades de proteína no son tóxicas.

Los microorganismos (bacterias y protozoos) del rumen; que contienen proteínas como componente principal, pasan con las proteínas de la ración no modificadas en el retículo-rumen, a través del omaso y abomaso, hasta el intestino delgado. La cantidad de la proteína total de la ración que se digiere en el rumen varía desde el 70-80% o más para las proteínas más solubles, hasta el 30-40 % para las proteínas menos solubles. Entre el 30 % y el 80 % de la proteína de los forrajes se degrada en el rumen, la cantidad depende del tipo de alimento, del tiempo de permanencia en el rumen y del nivel de alimentación. (Garriz y López, 2002).

Los compuestos nitrogenados disponibles para la absorción en rumiantes son proteína microbiana, proteína de los alimentos no degradada en rumen y nitrógeno endógeno que en conjunto se denominan proteína metabolizable, éstos son digeridos en el intestino delgado por proteasas y participan en el flujo de aminoácidos que son absorbidos en él. Entonces, para el aporte de los aminoácidos esenciales, los rumiantes dependen de la proteína microbiana y de la proteína de la ración que escapa a la digestión en el rumen.

La nutrición proteica del rumiante nos exige considerar simultáneamente dos tipos de necesidades: las de los microorganismos del rumen y las del animal por sí mismo (Astibia et al., 1982).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del área de estudio**

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Laboratorio de Digestión y Metabolismo de Rumiantes del Instituto de Investigación de Ciencias Veterinarias (IICV) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), ubicada a 10 km al sur de Mexicali, en el noroeste de México con una latitud de 32°40', una longitud de 115°28', una altitud de 10 m sobre el nivel del mar. El clima se considera como cálido muy seco, con una temperatura media anual de 22°C, con oscilaciones de la media mensual mayores a 14°C, con lluvias en invierno (SAGARPA, 2007).

### **Unidad experimental**

Se utilizaron 4 novillos Holstein ( $260.2 \pm 6.3$  kg de PV) clínicamente sanos y habilitados con cánulas en el rumen y duodeno proximal. Las cánulas instaladas en rumen (80 mm de diámetro) y duodeno (25 mm de diámetro interno) fueron cánulas tipo "T" y se elaboraron con material de tygon inerte (\*USP, Lima, Ohio). Los novillos fueron adaptados a las dietas experimentales 7 días previo al inicio del experimento.

## **Dietas**

La dieta basal (DB) fue formulada (BMS) en base a maíz amarillo hojuelado (densidad aproximada de 0.32 kg/L). Se añadió 0.35% de óxido crómico como marcador inerte para cálculo del flujo a duodeno y de excreción fecal de materia seca (MS). Los tratamientos consistieron en una dieta basal alta en grano de maíz hojuelado, suplementada con 0, 0.4, 0.8 o 1.2% de urea. Las raciones fueron elaboradas en la planta de alimentos del IICV-UABC. Las dietas se elaboraron en una sola ocasión y se almacenaron en cajas de madera con tapa de capacidad de 1m<sup>3</sup>; esto se realizó para disminuir la variación del contenido nutrimental y concentración final de cromo en las dietas experimentales. La adición de cromo fue a través del uso de una premezcla la cual fue elaborada en la planta de alimentos del Desert Research and Extention Center, campo experimental de la Universidad de California, Davis, EUA. Los ingredientes fueron agregados al mezclador en el siguiente orden: maíz, forrajes, DDGS, premezcla, grasa y melaza. El tiempo de mezclado fue de 15 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 1. Ingredientes y composición de las dietas

Item	Tratamientos			
	0%	0.4%	0.8%	1.2%
Ingredientes, g/kg MS				
Heno de sudan	11.8	11.8	11.8	11.8
Maiz hojuelado	64.87	64.87	64.87	64.87
DDGS	14.75	14.75	14.75	14.75
Melaza	3.62	3.62	3.62	3.62
Urea	0.0	0.4	0.8	1.2
Grasa amarilla	2.7	2.7	2.7	2.7
Oxido cromico <sup>2</sup>	0.35	0.35	0.35	0.35
Premezcla mineral <sup>3</sup>	2.25	2.25	2.25	2.25

### Asignación de tratamientos

Los novillos fueron asignados a corrales individuales de 3.9 m<sup>2</sup> con comedero individual y bebedero automático compartido, localizados en una área cerrada. El 80% de la superficie del piso de concreto de cada corral fue cubierto con un tapete de neopreno (1.25 cm) de espesor para descanso.

Los tratamientos fueron los siguientes:

**Tratamiento 1:** Dieta control sin suplementación de urea.

**Tratamiento 2:** Dieta con suplementación de 0.4% de urea.

**Tratamiento 3:** Dieta con suplementación de 0.8% de urea.

**Tratamiento 4:** Dieta con suplementación de 1.2% de urea.

## Diseño experimental

Los datos fueron analizados en un diseño de Cuadrado Latino 4 X 4, con 4 observaciones por tratamiento de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + A_j + P_k + \zeta_{lk} + E_{ijkl}$$

Dónde:

$\mu$ : Media general.

$B_i$ : Efecto del tratamiento i.

$A_j$ : Efecto del periodo j.

$P_k$ : Efecto de la repetición k.

$\zeta_{lk}$ : Efecto del animal en la repetición.

$E_{ijk}$ : Efecto del Error residual i, j.

**Cuadro 2. Asignación de los tratamientos a las unidades experimentales.**

	Animal 1	Animal 2	Animal 3	Animal 4
Periodo 1	Tmt 1	Tmt 2	Tmt 3	Tmt 4
Periodo 2	Tmt 2	Tmt 3	Tmt 4	Tmt 1
Periodo 3	Tmt 3	Tmt 4	Tmt 1	Tmt 2
Periodo 4	Tmt 4	Tmt 1	Tmt 2	Tmt 3

## **Duración del experimento**

El experimento consistió en 4 periodos experimentales de 14 días de duración por periodo (10 días para adaptación a las dietas y 4 días para recolección de muestras).

## **Alimentación**

El consumo (BMS) se ajustó al 2.2% del peso vivo vacío, ofreciéndose durante la prueba alimento fresco en forma diaria en dos porciones iguales a las 08:00 y 20:00 h. El consumo de agua fue *ad libitum*. Las raciones asignadas por animal por servida fueron pesadas en forma semanal en una báscula digital de precisión (Mettler Toledo SB16100 x 1g).

## **Suplementación de Urea**

La urea se incorporó manualmente en forma adicional con la suplementación asignada por animal, por servida, fue pesada en una báscula digital de precisión (Mettler Toledo SB16100 x 1g) ésta fue depositada en las bolsas identificadas donde se encontraba la dieta basal pesada previamente.

## Procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio

En cada periodo se recolectaron muestras de duodeno, heces y líquido ruminal. Las muestras duodenales (700 mL), fecales (200 g) y contenido ruminal (100 mL) se tomaron de cada novillo dos veces al día durante los cuatro días de muestreo de cada periodo en los siguientes horarios: Día 1, 1030 y 1630 h; día 2, a las 0900 y las 1500 h; día 3, a las 0730 y las 1330 h y día 4, a las 0600 y las 1200 h. Las muestras duodenales se tomaron utilizando recipientes de plástico de capacidad de 1L (Wide mouth square bottles, Evenflo®), al finalizar la recolección de muestras se lavaron las cánulas y el área adyacente con agua corriente a presión. Las heces se recolectaron directamente del piso mediante espátula y se almacenaron en bolsas identificadas para cada animal. Las muestras de cada novillo recolectadas en cada periodo de colección se identificaron y mezclaron con el propósito de formar muestras homogéneas compuestas las que se congelaron a -20° C (Kelvinator, KSGW200, 19.4 cf) para análisis posteriores. Las muestras de contenido ruminal se tomaron mediante el uso de una bomba de vacío (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL.), donde se determinó el pH del rumen (Orion 261S, Fisher Scientific, Pittsburgh, PA.). Las muestras de contenido ruminal se filtraron a través de 4 capas de gasa y se congelaron 40 ml en una bolsa de plástico para posteriormente analizar N amoniacal (Fawcett & Scott, 1960). El último día, del segundo periodo experimental, se obtuvieron muestras de contenido ruminal de cada novillo para aislamiento de bacterias ruminales

por centrifugación diferencial (Bergen et al., 1968). Las muestras de duodeno y heces fueron descongeladas, homogenizadas y secadas a 70°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°C hasta peso constante. Las muestras desecadas se colocaron en frascos de vidrio de 120 ml cerrados herméticamente (Qorpak Jars, Fisher Sci.). Las muestras generadas se sujetaron a todos o parte de los siguientes análisis: Materia seca (MS, estufa desecando a 105°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), FDN (Goering y Van Soest, 1970), óxido crómico (Hill y Anderson, 1958), MO microbiana (MOM) y N (MN), dejando el abomaso se calcularon usando purinas como marcador microbiano (Zinn y Owens, 1986). La MO fermentada en rumen (MOF) es considerada igual al consumo de MO menos la diferencia entre la cantidad de MO y MOM y que llega a duodeno. En N de la alimentación de escape a intestino delgado es considerado igual al total de N que pasa el abomaso menos el M-amoniacal, NM y N endógeno ( $0.195 \times PV^{0.75}$ ; Ørskov et al., 1986).

### **Cálculos y análisis estadístico**

La cantidad de MS que fluyó a duodeno y la excreción fecal se calcularon a partir de la cantidad de  $Cr_2O_3$  ingerido dividido entre la concentración (g/g MS)

de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  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 [ $\text{MOF}=\text{MOC}-(\text{MO}-\text{MOM})$ ]. 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) / (valor ED observado para la dieta)]/ED calculada, 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 replicado. Los tratamientos fueron T1 = dieta basal + 0% de urea, T2 = dieta basal + 0.4% de urea, T3 = dieta basal + 0.8 de urea, T4 = dieta basal + 1.2% de urea.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La influencia del nivel de urea en la dieta sobre metabolismo ruminal y digestión en tracto total se muestra en la Tabla 3.

En el flujo a duodeno de MO y FDN no fue afectado por los tratamientos, tampoco se observó efecto lineal ni cuadrático ( $P \geq 0.05$ ). El incremento en el nivel de urea disminuyó el flujo a duodeno de almidón (efecto lineal  $P < 0.05$ ), este resultado es similar al reportado por Zinn et al. (2003) donde utilizaron una dieta a base de cebada rolada a vapor.

Al mismo tiempo, en respuesta al aumento en el nivel de urea se incrementó el flujo de N a duodeno (efecto lineal significativo  $P < 0.05$ ) éste resultado es similar al observado por May et al. (2014) y Milton et al. (1997).

El flujo de N no amoniacal al intestino delgado aumentó significativamente (efecto lineal  $P < 0.05$ ) con el nivel de suplementación de urea en la dieta. Este efecto puede ser debido al incremento observado (efecto lineal  $P < 0.05$ ) del flujo a duodeno del N microbial y el mantenimiento de los niveles del N del alimento ( $P = 0.18$ ), estos resultados son similares a los observados por May et al. (2014).

En el flujo a duodeno de N amoniacal no hubo efecto entre los tratamientos, así como tampoco se observó efecto cuadrático pero con el aumento en el nivel de suplementación de urea aumentó el flujo de N a

duodeno (efecto lineal  $P < 0.05$ ) éste resultado es similar al observado por May et al. (2014), Milton et al. (1997) y Zinn et al. (1994).

En concordancia con los valores observados en duodeno, la digestibilidad ruminal de MO y FDN no fue afectada por los tratamientos ( $P \geq 0.05$ ), mientras que sobre el almidón se observó un efecto significativo ( $P < 0.05$ ), con el aumento en el nivel de urea en la dieta aumentó (efecto lineal  $P < 0.05$ ) la digestión ruminal de almidón, éste resultado es similar al observado por Zinn et al. (2003) donde utilizaron una dieta a base de cebada rolada a vapor.

Aunque autores tales como Zinn et al. (1994), Zinn et al. (2003) y May et al. (2014), observaron un incremento en la digestibilidad ruminal de N del alimento cuando aumentaban el nivel de suplementación de urea en la dieta, en nuestro trabajo no se observó efecto significativo entre los tratamientos así como tampoco lineal ni cuadrático sobre la digestibilidad ruminal de N del alimento ( $P < 0.10$ ). Al mismo tiempo, no se observó efecto significativo entre los tratamientos así como tampoco lineal ni cuadrático sobre la eficiencia microbiana, lo cual coincide con lo reportado por May et al. (2014).

En cuanto a eficiencia de proteína, no hubo efecto entre los tratamientos, así como tampoco se observó efecto cuadrático pero con el incremento de urea en la dieta disminuyó la eficiencia de proteína (efecto lineal  $P = 0.03$ ), éste resultado es similar al observado por May et al. (2014) y Zinn et al. (2003).

Aunque no se observó ningún efecto significativo de los tratamientos sobre la excreción fecal de FDN ( $P = 0.51$ ), los valores de MS, MO, almidón y N disminuyeron en respuesta al incremento de urea en la dieta (efecto lineal;  $P \leq 0.05$ ).

En cuanto a la digestibilidad total de MS y MO, ambas aumentaron en respuesta al incremento del nivel de urea (efecto lineal;  $P \leq 0.05$ ), sobre esto, Brake et al. (2010) observaron una mayor digestibilidad de la MS en una dieta que contenía urea al 1%.

Sobre la digestibilidad total de almidón no se observó un efecto significativo entre los tratamientos ni cuadrático, pero aumentando el nivel de suplementación de urea en la dieta aumentó (efecto lineal;  $P=0.03$ ) la digestibilidad total de almidón; efectos similares fueron reportados por Zinn et al. (2003).

Sobre la digestibilidad total de N se observó un efecto significativo entre los tratamientos ( $P=0.01$ ), aumentando el nivel de urea en la dieta aumentó (efecto lineal  $P=0.01$ ) la digestibilidad total de N, esto se debe en parte al contenido de N en la dieta por la suplementación de urea. Este resultado es similar al observado por Milton et al. (1997), Zinn et al. (1994), Zinn et al. (2003) y May et al. (2014).

**Cuadro 3. Efecto de suplementación de urea**

	Niveles de suplementación de urea				Valor P			
	T1	T2	T3	T4	TMT	Lineal	Cuadrático	CME
	0%	0.40%	0.80%	1.20%				
Artículo								
Replicas	4	4	4	4				
Consumo, g/d								
MS <sup>1</sup>	6616	6616	6613	6616				
MO	6234	6234	6231	6234				
FDN	1159	1157	1155	1153				
N	117	128	139	151				
Almidón	3269	3256	3240	3228				
Flujo a duodeno, g/d								
MO	3166	3133	2966	3178	0.45	0.77	0.25	101.5
FDN	555	538	442	529	0.59	0.54	0.42	62.1
Almidón	671	572	436	518	0.04	0.02	0.11	52.9
N	139	147	152	159	0.18	0.03	0.94	6.47
N Microbial	69.4	79.9	80.5	79.8	0.09	0.05	0.11	3.32
NH-N	4.9	5.51	6.84	6.82	0.21	0.05	0.68	0.75
NNA	133	141	145	152	0.21	0.04	0.97	6.02
N Alimento	49.4	46.6	49.9	57.9	0.36	0.18	0.25	4.56
Digestibilidad ruminal, %								
MO	61.1	63.2	66.0	62.5	0.13	0.28	0.06	0.01
FDN	52.6	54.1	61.6	55.2	0.56	0.48	0.42	0.05
Almidón	80.4	83.2	87.1	84.4	0.03	0.02	0.07	0.01
N Alimento	58.2	64.6	65.7	62.4	0.33	0.32	0.13	0.03
Eficiencia microbiana <sup>2</sup>	18.7	20.9	19.9	19.9	0.41	0.25	0.50	1.00
Eficiencia de proteína <sup>3</sup>	1.14	1.1	1.04	1.02	0.17	0.03	0.78	0.04
Excreción fecal, g/d								
MS	1387	1339	1271	1269	0.13	0.03	0.56	38.42
MO	1197	1153	1065	1095	0.11	0.04	0.35	38.01
FDN	537	505	470	470	0.49	0.51	0.21	30.3
Almidón	47.6	31.2	25.8	25.2	0.14	0.04	0.29	7.16
N	37.8	37	35.9	34.3	0.13	0.02	0.69	1.03
Digestibilidad total, %								
MS	79.1	79.8	80.9	80.9	0.07	0.01	0.54	0.53
MO	80.9	81.5	83	82.6	0.06	0.02	0.36	0.01

FDN	53.2	54.9	58.3	55.0	0.41	0.37	0.25	0.02
Almidón	98.6	99.1	99.3	99.3	0.10	0.03	0.26	0.00
N	67.6	71.0	74.1	76.8	0.01	0.01	0.74	0.01

<sup>1</sup>CMS fue restringido a 2.2% de PVV/día.

<sup>2</sup>N microbial, g/kg de MO fermentada.

<sup>3</sup>N no amoniacal llegando a intestino delgado como una fracción del N consumido.

En respuesta al aumentando el nivel de suplementación de urea en la dieta se observó un incremento lineal significativo ( $P < 0.05$ ) sobre la digestibilidad de MS y MO del tracto total, éste resultado es similar al observado por May et al. (2014) donde la suplementación de urea se basó en el potencial de fermentación de urea (PFU) en dietas a base de maíz hojuelado.

## **CONCLUSIONES**

La suplementación de urea a niveles crecientes de hasta el 1.20 % en dietas altas en grano puede eficientar tanto la digestibilidad ruminal como total de los componentes de la dieta, específicamente en lo relacionado tanto a almidón como a los componentes nitrogenados.

## LITERATURA CITADA

- AOAC. 1986. Official methods of analysis (14th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. 155.
- Astibia, O.R.; Cangiano, C.A.; Cocimano, M.R. y Santini, F.J. 1982. Utilización del nitrógeno por el rumiante. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 4:373-384.
- Bergen, W. G., Purser, D. B., Cline, J. H., 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J. Anim. Sci.* 27:1497-1501.
- Brake, D. W., E. C. Titgemeyer, M. L. Jones, and D. E. Anderson. 2010. Effect of nitrogen supplementation on urea kinetics and microbial use of recycled urea in steers consuming corn-based diets. *J. Anim. Sci.* 88: 2729-2740.
- Burroughs, W., D. K. Nelson, and D. R. Mertens. 1975. Protein physiology and its application in the lactating cow: The metabolizable protein feeding standard. *J. Anim. Sci.* 41:933.
- Chalupa, W. 1968. Problems in feeding urea to ruminants. *J. Anim. Sci.* 27:207.
- 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.* 82:1508-1517.

- Ehrenberg, P., H. Nitsche, and J. Muller. 1891. Report on protein substitutions in feeding experiments at Bettlern (translated title). *Z. Tierernahr. Futtermittlek.* 1:33.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. Carne y Productos Cárnicos. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>
- FIRA (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Panorama agroalimentario. Disponible en: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61948/Panorama\\_Agroalimentario\\_Carne\\_de\\_Bovino\\_2015.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61948/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Bovino_2015.pdf).
- 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.
- Hill, F. N. and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- Holter, J. A., and J. T. Reid. 1959. Relationship between the concentrations of crude protein and apparently digestible protein in forages. *J. Anim. Sci.* 1339–1349.
- Jorge González U. 1990. Uso de la urea en alimentación de bovinos productores de carne. Páginas 17-18 en IPA QUILAMAPU N° 45.
- Koenig, K. M., and K. A. Beauchemin. 2013. Nitrogen metabolism and route of excretion in beef feedlot cattle fed barley-based finishing diets varying in

- protein concentration and rumen degradability. *J. Anim. Sci.* 91:2310–2320.
- Lofgreen, G. P., V. E. Mendel, and D. L. McIlroy. 1968. Effects of kinds of milo, method of processing and level of urea on cattle performance. Pages 28–35 in *California Feeders Day Rep.*, Davis.
- M. A. López-Soto, C. R. Rivera-Méndez, J.A. Aguilar-Hernández, A. Barreras, J.F. Calderón-Cortés, A. Plascencia, H. Dávila-Ramos, A. Estrada-Angulo, Y.S. Valdés-García. 2013. 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. *J. Anim. Sci.* ISSN:1011-2367.
- Martín Garriz y Armando López. 2002. Monografía final del curso Nutrición en la Intensificación. Cátedra de Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires.
- 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.
- National Research Council. 1996. *Nutrient Requirement of Beef Cattle* (7th ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Reid, J. T. 1953. Urea as a Protein Replacement for Ruminants: A Review. *Journal of Dairy Sci.* 36: 955-996.
- SAGARPA. INIA-CIANO. 2007. *Guía para la asistencia técnica agrícola: área de influencia del CAEMEXI*.ED.CAEMEXI, 2<sup>da</sup> Ed. Mexicali, B.C. México.

- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT User's Guide: Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, North Caroline.
- Stangel, H. J. 1963. Urea and non-protein nitrogen in ruminant nutrition. Allied Chemical Corp., New York, NY.
- 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.
- Tinoco, R., D. Martínez, R. García, G. Hernández, y S. Mora. 2011. Aplicación de un sistema de demanda casi ideal (AIDS) a cortes de carnes de bovino, porcino, pollo, huevo y tortilla en el periodo de 1995-2008. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 1:39-51.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583–3597.
- Vasconcelos, J. T., N. A. Cole, K. W. McBride, A. Gueye, M. L. Galyean, C. R. Richardson, and L. W. Greene. 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, 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. 1990. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68:776-781.

- Zinn RA, Borquez JL, Plascencia A. 1994. Influence of levels of supplemental urea on characteristics of digestion and growth performance of feedlot steer fed a fat-supplemented high-energy diets. *Prof Anim Sci.* 10:5–10.
- Zinn R. A., R. Barrajas, M. Montaña, and R. A. Ware. 2003. Influence of dietary urea level on digestive function and growth performance of cattle fed steamflaked barley- based finishing diets. *J Anim Sci.* 81:2383–2389.
- Zuntz, N. 1891. Bemerkungen über die Verdauung und den Nährwerth der Cellulose.(Observaciones sobre la digestión y el valor nutritivo de la celulosa, en Alemán) *Pflügers Archiv. Euro. J. Phys.* 49:477-483.