

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



**“EFECTO DE INCLUSIÓN DE MAÍZ SIN GERMEN EN LUGAR DE
MAÍZ HOJUELEADO EN UNA DIETA DE FINALIZACIÓN DE BOVINOS EN
ENGORDA”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

P R E S E N T A:

MVZ. ANA YAHAIRA JACINTO HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS

DR. MARTIN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ

CODIRECTOR DE TESIS

DR. MIGUEL MELLADO BOSQUE

ASESORES

DR. JAIME SALINAS CHAVIRA

DRA. OLGA MARITZA MANRÍQUEZ NÚÑEZ

M.C. MIGUEL ÁNGEL VEGA CÁZARES

MEXICALI, B.C. MÉXICO

JUNIO DE 2017

Efecto de inclusión de maíz sin germen en lugar de maíz hojueleado en una dieta de finalización de bovinos en engorda. Tesis presentada por Ana Yahaira Jacinto Hernández, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

Dr. Martin Francisco Montaña Gómez

Director de Tesis

Dr. Miguel Mellado Bosque

CoDirector

Dr. Jaime Salinas Chavira

Asesor

Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez

M.C. Asesor

M.C. Miguel Ángel Vega Cázares

M.C. Asesor

Mexicali, B.C.

Junio de 2017.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	VI
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	3
OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Situación actual de la ganadería en México.....	5
Alimentación en bovinos de finalización.....	6
Maíz como fuente de energía.....	7
Calidad del maíz	8
Estructura anatómica del maíz.....	8
Composición química del maíz	9
Alternativas del maíz.....	9
Extrusión	10
Tipos de extrusión.....	10
Características importantes del extrusado	11
Almidón: Base de la extrusión.....	12
Cambios en el proceso de extrusión	13
Estructura y distribución de los carbohidratos.....	14
Polisacáridos.....	15
Digestión de carbohidratos en rumiantes.....	15
Metabolismo de carbohidratos en rumiantes.....	16
Degradación microbiana de los carbohidratos	16
Absorción de AGV a través de la pared del rumen	17
Importancia nutritiva de los AGV formados en el rumen	17
Metabolismo de los AGV en los tejidos de los rumiantes.....	19
Maíz extruido (RAS) en dietas de finalización.....	19

Prolaminas	21
Maíz hojueado al vapor	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Localización del área de estudio	24
Unidad experimental	24
Distribución de las unidades experimentales	24
Dietas	25
Inclusión de RAS (Rumen Available Starch)	27
Diseño experimental.....	27
Duración del experimento	28
Alimentación.....	28
Procedimientos de muestreo.....	29
Análisis de laboratorio	29
Cálculos y análisis estadístico.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
CONCLUSIONES	38
LITERATURA CITADA	39

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición de dietas experimentales	26
Tabla 2. Niveles de inclusión de RAS.....	27
Tabla 3. Asignación de los tratamientos y distribución de acuerdo al diseño experimental	28
Tabla 4. Efectos del tratamiento sobre las características de la digestión ruminal, pos-ruminal y del tracto total	34
Tabla 5. Influencia del tratamiento sobre el pH ruminal, las proporciones molares AGV y la producción estimada de metano	36

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por cuidarme, guiarme, darme la salud y el entendimiento en cada momento.

A mis padres, Patricio Jacinto Cruz y María de Jesús Hernández González por siempre darme el amor, confianza y apoyo incondicional en mis decisiones.

A mis hermanos Patricio, Pablo, Aldo, Eduardo que son motivo a que siga esforzándome.

A mi tutor, Dr. Martín Francisco Montaña Gómez, por ser un guía de admiración y respeto en la maestría. Siempre con las puertas abiertas y la solución en la mano.

Al Dr. Miguel Mellado Bosque, por su apoyo como CoDirector de mi tesis.

A la Dra. Olga Maritza Manríquez Núñez, por su apoyo constante, sus consejos y enseñanzas las llevare siempre y pondré en práctica, se volvió parte importante en mi formación tanto personal y académica.

Al Dr. Jaime Salinas Chavira, por confiar en mí y permitirme la realización de este proyecto que me permite crecer como persona tanto en lo académico y personal.

A mis asesores y catedráticos durante la maestría. Por su disponibilidad, conocimientos y apoyo incondicional en toda la trayectoria que abarca el proceso de formación de maestro en Ciencias Veterinarias.

Dr. Juan Octavio Chirino Romero.

M.C. Miguel Ángel Vega Cázares.

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera.

Dr. José Fernando Calderón y Cortés.

M.C. José Meléndrez Lozano

Al Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, por permitirme realizar mis estudios de Posgrado que sin lugar a duda me ha ayudado, ser mejor profesional y persona.

A mis amigos y compañeros. A todos sin excepción, a los que compartieron conmigo su anhelo y experiencias en estos dos años de estudio.

Al CONACYT Que por medio de la beca y sus convenios hacen posible la superación de aquellos que tienen metas y gracias a eso pude tener mi estancia aquí en Mexicali, Baja California.

DEDICATORIA

A Dios Padre por guiarme y ponerme siempre en el lugar indicado, darme fuerzas para seguir adelante y no desalentarme en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la fe en el intento.

Dedico este logro **a mis Padres, mis hermanos, mis asesores y amigos** durante la maestría.

Sin duda una etapa tan importante de mi vida no habría podido concretarse de no ser por la ayuda de todas las personas que me acompañaron en este maravilloso proceso, e hicieron posible el logro del presente trabajo haciendo de él una experiencia enriquecedora.

¡Gracias!

RESUMEN

Se utilizaron cuatro novillos raza Holstein (231kg PVV) habilitados con cánulas tipo “T” en rumen y en duodeno (6 cm del esfínter pilórico), habilitados con comedero individual y bebedero automático compartido. En un diseño de Cuadrado Latino 4 x 4 con el fin de evaluar el efecto del nivel de suplementación de grano de maíz sin germen (RAS) sobre la función digestiva de dietas de finalización para novillos sobre las características de digestión y función ruminal. La dieta basal fue formulada en base a maíz hojueleado a vapor. Se añadió 0.35% de óxido crómico como marcador inerte para cálculo del flujo a duodeno y de excreción fecal de materia seca. Los animales fueron alimentados dos veces al día en dos porciones iguales a las 08:00 y 20:00 h. El consumo (BMS) se ajustó al 2.2% del peso vivo. El experimento consistió en cuatro períodos experimentales de 21 días (10 días con el tratamiento, 7 días de adaptación y 4 para colección de muestras).

Los tratamientos consistieron en el nivel de suplementación de RAS (**MatrixNutricion®**), siendo asignados de la siguiente manera: TMT 1: 0.0gr; TMT 2: 249.5 gr; TMT 3: 498.5 gr y TMT 4: 748.0 gr/d/animal. No se observó efecto de los tratamientos, ni efecto lineal ni cuadrático, sobre el flujo al duodeno de, MO, FDN, Almidón, N, N- Microbial, NNA, y Nitrógeno de Alimento ($P \geq 0.05$). No se observó efecto de los tratamientos sobre el pH ruminal, la proporción molar total de ácidos grasos volátiles (AGV), la tasa acetato-propionato ni producción de metano ($P \geq 0.05$). Por lo anterior concluimos que la inclusión de hasta 30% de grano de maíz sin germen (RAS) en lugar de

grano de maíz hojueado, no afectó la función ruminal ni digestión de tracto total de novillos alimentados con una dieta de finalización.

Palabras clave: Bovinos, Metabolismo, Maíz, Digestión.

ABSTRACT

Four Holstein breed steers (231 kg PVV) were used with "T" cannulas in rumen and duodenum (6 cm of the pyloric sphincter), enabled with individual trough and shared automatic drinking trough. In a 4 x 4 Latin Square design to evaluate the effect of the level of supplementation of corn without germ (RAS) on the digestive function of finishing diets for steers on the characteristics of digestion and ruminal function. The basal diet was formulated based on steamed corn. 0.35% of chromic oxide was added as an inert marker for calculation of duodenal flow and fecal excretion of dry matter. The animals were fed twice a day in two equal portions at 08:00 and 20:00 h. Consumption (BMS) was adjusted to 2.2% of live weight. The experiment consisted of four experimental periods of 21 days (10 days with treatment, 7 days of adaptation and 4 days for collection of samples). The treatments consisted of the level of supplementation of RAS (**MatrixNutrition®**), being assigned of the following: TMT 1: 0.0gr; TMT 2: 249.5 gr; TMT 3: 498.5 gr and TMT 4: 748.0 gr/d/animal. Effects of treatments or effect linear or quadratic on flow into the duodenum of MO, NDF, starch, N, N- Microbial, NNA, and nitrogen from diet were not observed ($P \geq 0.05$). As the same manner, no effects of treatments on the rumen pH, the proportion molar total volatile fatty acids (VFA), the rate acetate-propionate or production of methane were observed ($P \geq 0.05$). Therefore, we conclude that the inclusion of up to 30% of maize without germ (RAS) instead of

steam-flake corn not affect ruminal function or total tract digestion of steers fed a feedlot diet.

Key words: Cattle, Metabolism, Corn, Digestion.

INTRODUCCIÓN

En México, la producción de bovinos para carne en confinamiento es de suma importancia ya que se producen más de 180 mil toneladas de carne mensualmente (SIAP, 2016). La intensificación de la producción de carne es uno de los retos más importantes para los sistemas de finalización de bovinos, debido al incremento de las poblaciones en todo el mundo, por lo cual ha sido necesario implementar técnicas de producción e introducir nuevas tecnologías ya que cada vez más los mercados internacionales exigen que se profundice el destino del maíz y últimamente se busca diversificar su industrialización para otros usos, hoy en día y debido a la alza del precio de los granos es importante buscar alternativas de alimentación en donde el objetivo fundamental sea mejorar la rentabilidad, así como producir alimentos inocuos y de calidad. En la producción intensiva de rumiantes, el almidón y la proteína constituyen los nutrientes básicos de sus raciones alimenticias, siendo los cereales y los concentrados proteicos de origen vegetal o animal, sus principales fuentes. El grano de maíz es el concentrado energético por excelencia para la producción de ganado bovino de carne y leche del cual se sostiene en gran medida con este cereal. La utilización de grandes cantidades de granos en los sistemas de finalización tienen una importante implicación económica ya que la alimentación representa del 75 al 80% de los costos de producción en el corral de engorda (Koeslag y Orozco, 2010). El procesamiento de los granos es también un aspecto relacionado al valor nutritivo, es necesario siempre moler estos granos para un mejor aprovechamiento, frente a esta necesidad muchos estudios concluyen que los granos de cereales suplen perfectamente la necesidad

energética del animal. Por ello, surgió el uso de procesamientos industriales como el “extrusado”, que consiste básicamente en comprimir un alimento hasta conseguir una masa semisólida que después es forzada a pasar por un orificio de determinada geometría, lo que permite obtener una gran variedad de texturas, formas y colores a partir de un ingrediente inicial, esto disminuye el espacio ocupado en la planta procesadora y permite bajar costos de producción y de uso de energía incrementando la productividad.

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la sustitución del maíz hojueado al vapor por grano de maíz extrusado (RAS) sobre la función digestiva de dieta de finalización en novillos Holstein, tomando como guía el RAS y maíz hojueado al vapor para comparar las correlaciones existentes.

HIPÓTESIS

La inclusión de maíz sin germen en niveles de hasta 30% en lugar de maíz hojueado a vapor podría tener efecto sobre la función ruminal y digestión en tracto total en dietas de finalización de bovinos de engorda.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la inclusión de maíz sin germen en niveles de hasta 30% en lugar de maíz hojueado sobre la función ruminal y digestión en tracto total de dietas de finalización de bovinos de engorda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el efecto de nivel de suplementación de sustitución de maíz hojueado al vapor por maíz extruido sobre la función ruminal.

Evaluar el efecto de nivel de suplementación de sustitución de maíz hojueado al vapor por maíz extruido sobre la digestión en tracto total.

REVISIÓN DE LITERATURA

Situación actual de la ganadería en México.

La ganadería bovina productora de carne ha representado un sector importante del campo mexicano, tanto por el abasto del producto como por las divisas que aporta a la economía del país. La importancia que reviste este sector trasciende el análisis de un producto, la carne, ya que involucra a un conjunto de recursos asociados a su explotación. La calidad de la carne está particularmente definida por su valor nutricional (composición química) y por sus características organolépticas (valor sensorial) tales como la terneza, el color, el sabor y la jugosidad. Factores tales como el sistema de producción, el tipo de animal, así como el plano nutricional ofrecido, pueden modificar considerablemente estas características. La industria cárnica en México, al igual que la de leche, enfrenta una gran competencia. En general, el dinamismo de la demanda pecuaria, en el corto y largo plazo, sugiere grandes retos en este subsector para implementar estrategias que aumenten la producción ganadera, tales como la erradicación de enfermedades, así como la conservación de suelos y uso eficiente del agua en la producción de cultivos y forrajes. Cabe destacar que este sector se compone de importantes mercados. Uno de ellos es el ganado para engorda. En lo que respecta a la demanda, la carne de bovino es la tercera más consumida a nivel mundial, siendo las dos primeras la carne de cerdo y de pollo. México ocupa el octavo lugar a nivel mundial como productor de carne. La perspectiva actual del mercado mundial de la carne de bovino es favorable: se cuenta con una fuerte demanda y la producción se

encuentra en fase de recuperación. Un factor importante que funge como impulsor central de la demanda en los países en desarrollo es la urbanización, crecimiento económico y demográfico. La producción mundial de carne de bovino mantiene ligera tendencia de crecimiento durante los últimos diez años. Para 2017 se prevé que la producción se ubique en un máximo histórico de 61.3 millones de toneladas, lo que representaría un aumento anual de 1.4 por ciento de producción de carne de bovino. El aumento en la producción de carne de bovino ha sido impulsado por la recuperación del hato ganadero en los principales países productores, principalmente en Estados Unidos, así como la amplia disponibilidad de granos y pasturas para la alimentación animal. Asimismo, mayor peso del ganado al sacrificio ha contribuido a incrementar el volumen disponible del cárnico. Por su parte, el consumo mundial de carne registra un ritmo de crecimiento menor que la producción durante la década reciente. Sin embargo, se prevé que en 2017 se ubique en un nivel récord de 59.4 millones de toneladas, lo que significaría un incremento anual de 1.1 por ciento de consumo de carne (FIRA, 2017a).

Alimentación en bovinos de finalización.

El maíz es sin duda el grano forrajero por excelencia a nivel mundial. Los productores más grandes son EEUU y China. Los tres exportadores principales son EEUU, Argentina y Brasil. La producción de maíz a nivel mundial es más grande que cualquier otro cereal. México es el segundo importador de maíz y se provee de EEUU y Argentina. Particularmente, este ingrediente es más utilizado como suplemento energético en la alimentación del ganado. Este crecimiento

moderado se debe a los efectos de sustitución y preferencias entre los granos. Cerca del 40% del maíz producido es usado para la alimentación animal; el maíz proporciona la más alta tasa de conversión a carne, leche y huevo, comparado con otros granos que se usan con el mismo propósito. Su alto contenido de almidón y bajo contenido de fibra hace que sea una alta fuente de concentración de energía para la producción de ganado. El maíz amarillo es preferido para la alimentación del ganado y se le da como grano entero, molido, extrusado, seco o cocido al vapor.

Los países líderes en producción de maíz son: Estados Unidos 361.1 millones de toneladas de maíz. Es de resaltar que en México la proporción de maíz amarillo se ha incrementado de 6.9 por ciento de maíz en el año 2005 a 13.6 por ciento de maíz en 2015. Así mismo se destaca Sinaloa con 4 millones 996,502 toneladas de producción de maíz, le sigue Tamaulipas, Veracruz, Chiapas y Sonora. Para el 2016, México obtuvo 23 millones 847,784 toneladas métricas de producción de maíz los cuales: 21 millones 836,566 corresponderán a maíz blanco y 2 millones 11,218 corresponderán a maíz amarillo (FIRA, 2016b).

Maíz como fuente de energía.

Se destacan la revalorización de los cereales como alimento y los cambios en el comportamiento del consumidor que lo induce a adquirir alimentos con mayor valor agregado. El grano de maíz se usa masivamente como fuente de energía para el ganado. El almidón de maíz uno de los que

presenta menor degradabilidad ruminal, en relación a otros granos. Aunque esto puede ser favorable desde el punto de vista de evitar una rápida caída del pH ruminal, es importante utilizar fuentes de energía que permitan lograr una buena sincronización entre la degradación de la fracción energética y nitrogenada, a fin de optimizar la síntesis de proteína microbiana y su posterior uso a nivel intestinal. Una forma de facilitar el acceso de los microorganismos al substrato energético representado por el grano, es efectuar tratamientos de texturización (Harper, 1992; Dos Santos Fernández et al., 2002).

Calidad del maíz.

Está determinada principalmente por la estructura y composición del grano, las que dependen del híbrido o variedad utilizada, así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha, secado, almacenaje y transporte (FAO,1995).

Estructura anatómica del maíz.

El pericarpio es la cubierta externa del grano; la aleurona es una capa de células que corresponde al endospermo, endospermo es el sitio en donde se encuentran las reservas de la semilla cuyos componentes principales son los gránulos de almidón y las proteínas, en el germen o embrión se encuentra especialmente la materia grasa y la maquinaria biológica para la germinación y el pedicelo es el tejido remanente por donde se conecta el grano con el marlo (Luxova, 1981).

Composición química del maíz.

El grano de maíz tradicional está compuesto por un 70 a 75% de almidón, 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite, contenidos en tres estructuras: el germen (embrión), el endospermo y el pericarpio . El germen constituye el 10 al 12% del peso seco y contiene el 83% de los lípidos y el 26% de la proteína del grano. El endospermo constituye el 80% del peso seco y contiene el 98% del almidón y el 74% de las proteínas del grano. El pericarpio constituye el 5 al 6% del peso seco e incluye todos los tejidos de cobertura exterior, con un 100 % de fibras vegetales (Caroline et al., 1973).

Alternativas del maíz.

Un proceso térmico que ha ganado gran popularidad para la cocción de alimentos es el proceso de extrusión Este proceso inicialmente se utilizó en la industria metalúrgica, pero con el paso del tiempo se empezó a utilizar en la industria alimentaria. En la actualidad, este proceso se utiliza para transformar una amplia variedad de materias primas disponibles para la alimentación animal. Estas pueden ser sometidas a diversos tratamientos tecnológicos con el fin de mejorar su valor nutricional. Los ingredientes más utilizados para la extrusión son alimentos ricos en almidón y proteína. Los tratamientos tienen por objetivo inactivar o destruir eventuales factores anti nutricionales y mejorar la digestibilidad y la disponibilidad de los diferentes constituyentes bioquímicos (Dziekak, 1989).

Extrusión.

La extrusión puede definirse como un proceso que involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándolo a pasar por una boquilla de una dada geometría y con un caudal masivo pre-establecido, durante este transporte se produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla, lo que permite obtener una gran variedad de texturas, formas y colores a partir de un ingrediente inicial (Stanley, 1986).

Tipos de extrusado.

Históricamente se registran los primeros extrusores para alimentos alrededor de 1870. Actualmente existen dos tipos: a) extrusión en frío: el producto no aumenta su temperatura, ya que únicamente se le aplica presión y b) extrusión en caliente: es un proceso termo-mecánico (inducción de energía térmica y mecánica) que aplica al alimento: alta presión (hasta 25 Mpa) y alta temperatura (en el intervalo de 100-180°) durante un breve espacio de tiempo esto produce un proceso HTST (High Temperature for Short Time), el cual reduce la contaminación microbiana e inactiva enzimas, además como método de cocción y origina una serie de cambios en la forma, estructura y composición del producto. Se trata de una cocción a relativamente bajos niveles de humedad, que están en el intervalo de 10-40% y a pesar de estos bajos valores de humedad el material se transforma en un fluido de muy alta viscosidad dentro del extrusor (Paul G. et al., 1990).

Características importantes del extrusado.

Actualmente se dispone de diseños muy sofisticados desarrollados en las últimas décadas. La cocción por extrusión ha ganado popularidad debido a distintas razones entre las cuales se puede mencionar:

- Versatilidad: Se pueden elaborar una amplia gama de productos, mediante la combinación de distintos ingredientes y condiciones operativas, que difícilmente puedan generarse por otros procesos.
- Realiza simultáneamente operaciones de mezclado, cocción, texturización y secado parcial, requiere de poca mano de obra y espacio para su instalación.
- Eficiente utilización de la energía, ya que el sistema opera a una humedad relativamente baja, al mismo tiempo que el producto se cocina. La baja humedad reduce la cantidad de calor requerido para cocinar y para deshidratar el producto después de la cocción. El consumo de energía es del orden de 0,02 a 0,1 KW/h*kg de producto.
- Gelatinización de la fracción almidón de la fórmula para dar máxima digestibilidad.
- Desarrollo de múltiples características texturales tiene la posibilidad de agregar diferentes sabores, colores, etc.
- Alta calidad nutricional del producto, ya que es un proceso de alta temperatura y corto tiempo que evita daños innecesarios en componentes sensibles como aminoácidos (AA) y permite la

inactivación de ciertos factores antinutricionales y así aumenta la digestibilidad de proteínas.

- Inactivación térmica de inhibidores del crecimiento y factores que alteran la digestibilidad o el gusto, es un producto sanitariamente adecuado.
- Ambientalmente favorable, ya que el proceso se lleva a cabo a baja humedad, no generan efluentes que deban ser tratados, inactivación térmica de inhibidores del crecimiento y factores que alteran la digestibilidad o el gusto (Kokini, 1992).

Almidón: base de la extrusión.

La base de la producción de cereales por extrusión descansan en la transformación del almidón, que permite la expansión y la formación de una nueva estructura que contribuye a la estabilidad del producto. En el almidón se distinguen dos tipos de polímeros: amilosa, y amilopectina. La amilosa se caracteriza por ser un polímero lineal de α -D-glucosa unidas con enlaces α 1-4, que tiene un peso molecular (PM) promedio aproximado $2,5 \cdot 10^5$ Da. Mientras la amilopectina que también está compuesta de α -D-glucosa, unida primariamente por enlaces α 1-4; está muy ramificada presentando de un 4 a un 5% de enlaces α 1-6. Este nivel de ramificación produce una longitud de cadena promedio de 20 a 25 unidades de glucosa. El endospermo contiene la mayor parte del almidón, el germen, los lípidos, y el pericarpio y el pedicelo están constituidos fundamentalmente por carbohidratos estructurales y no digeribles

(Salinas et al., 1997). Por otro lado, en la industria alimentaria, el almidón contribuye con características de viscosidad, consistencia, formación de geles y es considerado como el mayor responsable de las transformaciones producidas durante los procesos de cocción del maíz. La química del almidón y la cinética de la digestión son bastante complejas (Buleón et al., 1998).

La naturaleza misma de la matriz de almidón es complicada porque se ha convertido en un blanco móvil. Se han producido cambios en la composición genética de los nutrientes del maíz como la amilosa, la amilopectina y el aumento del contenido de zeína (una proteína altamente hidrófoba, soluble en isopropanol o etanol. Generalmente las enzimas comienzan su acción, aunque se encuentra restringido por la matriz proteica que encapsula los gránulos de almidón y por la compactación natural del almidón (Zinn et al., 2002).

Cambios en el proceso de extrusión.

El proceso de extrusión presenta características únicas comparadas con otros procesos térmicos, especialmente por el alto grado de corte mecánico al que es expuesto el alimento. Este es capaz de romper enlaces covalentes en biopolímeros y, la intensa disrupción estructural y mezclado facilita reacciones que en otros procesos están limitadas por la difusión del reactante y el producto (Asp y Björck, 1989). La extrusión transforma el almidón en todos los niveles estructurales: la estructura granular desaparece, los cristales se funden y las macromoléculas se depolimerizan (Barron et al., 2001). Este proceso es conocido como gelatinización y ocurre cuando el almidón es calentado en exceso de agua. La gelatinización total del almidón se lleva a cabo cuando al

menos 14 moléculas de agua por unidad de glucosa están presentes. La gelatinización o cocimiento de almidones es la conversión de un almidón crudo e indigerible a un almidón digerible, mediante la aplicación de humedad y calor. En general, los almidones están compuestos de dos polímeros: amilosa, un polímero lineal y amilopectina, un polímero altamente ramificado. La proporción en la que se encuentran estos polímeros varía dependiendo de la fuente del almidón. La gelatinización de los almidones ocurre cuando el agua es absorbida por los gránulos de almidón resultando un cambio en la conformación de la estructura de los polímeros. Como resultado de la gelatinización, los almidones son más susceptibles a la degradación mecánica, particularmente durante el proceso de extrusión, y los distintos gránulos pueden romperse para producir una mezcla homogénea de polímeros fragmentados. La cocción por extrusión es capaz de romper los enlaces covalentes en los biopolímeros y facilita reacciones que están limitadas por la difusión de reactivos y productos. La transferencia de energía térmica y mecánica al almidón durante la extrusión afecta el rompimiento de los enlaces covalentes primarios, secundarios y de hidrogeno e influye sobre varias características tales como sólido solubles en agua, viscosidad, expansión (Iwe et al., 2001).

Estructura química y distribución de los Carbohidratos.

El nombre de los carbohidratos se debe al hecho de que éstos compuestos contienen Carbono, Hidrógeno, y Oxígeno, los dos últimos en la misma proporción que el agua; esta definición no es completamente correcta ya

que no todos los carbohidratos contienen Hidrógeno y Oxígeno en esta proporción, y algunos contienen Nitrógeno, Azufre o Fósforo. Por definición los carbohidratos son polihidroxialdehidos o polihidroxiacetonas, o sustancias que por hidrólisis los producen. Los carbohidratos se dividen en: monosacáridos o azúcares sencillos, oligosacáridos los que contienen de 2 a 8 azúcares sencillos, y polisacáridos los que contienen más de 10 azúcares sencillos (Salinas et al., 1997).

Polisacáridos.

Son polímeros de azúcares simples, de elevado peso molecular y la mayoría son insolubles en agua. Cuantitativamente son los nutrientes más importantes en los alimentos de origen vegetal. Por conveniencia se les divide en homopolisacáridos, formados por diferentes tipos de monosacáridos. También se agrupa en aquellos que rinden pentosas (pentosanas) y hexosas (hexosanas). Las pentosas xilosa y arabinosa se encuentran en la hemicelulosa y son hidrolizadas por las enzimas microbiales. En forma cuantitativa las hexosanas proveen la mayor cantidad de energía de las necesidades de los animales que cualquier otro carbohidrato de la naturaleza (Salinas et al., 1997).

Digestión de carbohidratos en rumiantes.

Existen grandes diferencias en la utilización de carbohidratos en rumiantes y no rumiantes, dichas diferencias se deben a los mecanismos de adaptación digestiva existentes en ambos grupos de animales y esto lleva al

diferente tipo de carbohidrato dietético entre grupo de animales, mientras que los no rumiantes ingieren granos (almidones), los rumiantes ingieren forrajes (celulosa, hemicelulosa y lignina). Las adaptaciones digestivas en los rumiantes llevan a adaptaciones metabólicas, esto no quiere decir en ningún momento que sea diferente a las rutas metabólicas de los animales no rumiantes, en realidad son similares, pero si cambia la magnitud de unas u otras vías (Salinas et al., 1997).

Metabolismo de carbohidratos en rumiantes.

La utilización de los carbohidratos en rumiantes inicia en el rumen en donde son fermentados hasta ácidos grasos volátiles (AGV) por acción de enzimas microbianas, así, la celulosa es hidrolizada por los microorganismos en el rumen, mientras que los no rumiantes no pueden hidrolizarla. Los principales AGV en el rumen son acético, propiónico y butírico, los cuales se usan en el metabolismo del rumiante, sin embargo la actividad microbiana sobre los carbohidratos también genera productos de desecho como metano, bióxido de carbono, hidrógeno, entre otros gases, los cuales se eructan (Salinas et al., 1997).

Degradación microbiana de los carbohidratos.

La degradación de los carbohidratos hasta ácidos volátiles grasos en el rumen puede dividirse en dos fases: 1) hidrólisis extracelular de los carbohidratos complejos (celulosa, hemicelulosa y pectina) hasta azúcares

simples, y 2) transporte y metabolismo de los azúcares en el interior de la célula microbial, en este lugar , los azúcares simples primeramente se convierten en piruvato por la vía glucolítica, y posteriormente este piruvato se convierte en los ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico) por diferentes rutas metabólicas (Salinas et al., 1997).

Absorción de AGV a través de la pared del rumen.

De los AGV producidos en retículo-rumen, aproximadamente el 75% se absorben en esta parte, el 20% se absorbe en abomaso y omaso, y el 5% pasa al intestino delgado, dónde se absorben. La absorción de los AGV es pasiva, dependen de su concentración en líquido ruminal o en células epiteliales o en la sangre. El ritmo de absorción aumenta con la disminución del pH, por lo que los AGV en forma disociada atraviesan más rápidamente la pared del rumen. El ácido butírico se convierte en la pared del rumen en B-hidroxibutirato y parte del ácido propiónico se convierte en ácido láctico (Salinas et al., 1997).

Importancia nutritiva de los AGV formados en el rumen.

Los ácidos acético (C₂), propiónico (C₃) y butírico (C₄) son subproductos del metabolismo de los carbohidratos por los microorganismos del rumen y constituyen la fuente de energía más importante para el rumiante, además realizan otras funciones en los tejidos de estos animales. Los carbohidratos de la dieta generan energía en dos niveles:

- 1) A nivel ruminal en la formación de piruvato y hasta los AGV, ATP generado en esta parte se usa para crecimiento microbial, y

- 2) La oxidación de los AGV por los tejidos del rumiante para obtención de energía.

Los AGV se utilizan para la síntesis de compuestos energéticos por los tejidos rumiante, así, el propionato se usa principalmente para la síntesis de glucosa (glucogénico), el acetato y butirato se usan para la síntesis de grasa. La cantidad de AGV producidas en el rumen es elevado, en 24 h en bovinos se producen 3 a 4 kg, en ovinos de 300 a 400 g. La cantidad y la proporción en que cada AGV se produce en el rumen está afectado por numerosos factores de la ración, como la composición y en especial la relación entre forrajes y concentrados, la forma física de los alimentos (ejemplo el tamaño de partícula), el nivel de ingestión y la frecuencia de administración. Las cantidades y proporciones de cada AGV producido está en función directa del tipo de alimentación, la cual favorece el desarrollo de un tipo de población microbiana en el rumen. El ácido acético es el predominante en todas las condiciones de alimentación, y es la proporción de ácido acético-propiónico la que varía con los tipos de raciones administradas, así, las raciones ricas en concentrados, particularmente ricas en almidón, llevan a una mayor población de microorganismos amilolíticos, que son los que producen mayor cantidad de ácido propiónico y así se produce un aumento en la cantidad de este ácido respecto a los otros AGV. El aumento en la cantidad de ácido propiónico lleva a una elevación en la eficiencia de utilización de los alimentos para producción de carne, para lograr esto se han empleado aditivos alimenticios como los ionóforos (ejemplos monensina sódica o lasalosida sódica). El incremento en la

cantidad de ácido propiónico también se ha logrado la gelatinización del almidón por medio de calor. Las raciones ricas en forrajes (celulosa) llevan a la elevación en la proporción del ácido acético, el cual en las vacas lecheras lleva a la elevación del contenido de grasa láctea (Salinas et al., 1997).

Metabolismo de los AGV en los tejidos de los rumiantes.

El destino de los AGV absorbidos en el rumen es su metabolismo en los tejidos del animal rumiante, donde son ya sea catabolizados (oxidados) para proporcionar energía o son anabolizados (síntesis) en glucosa o en grasa. La proporción en que cada ácido se utiliza en cada una de estas vías depende principalmente de cada ácido en particular, así por ejemplo en la vaca lechera se oxida $\frac{1}{2}$ del ácido acético, $\frac{2}{3}$ de ácido butírico y $\frac{1}{4}$ del ácido propiónico. Los ácidos propiónico y butírico se metabolizan en el hígado, y el ácido acético se metaboliza en 60% en los tejidos periféricos (tejidos muscular y adiposo) y sólo el 20% se metaboliza en el hígado. En animales lactantes el ácido acético se utiliza para la síntesis de grasa láctea en la glándula mamaria (Salinas et al., 1997).

Maíz extruido (RAS) en dietas de finalización.

Matrix Nutrition® está desarrollando constantemente nuevos productos nutricionales para ayudar a la industria. Se especializan en productos alimenticios de carne, lácteos, aves de corral, cerdos, animales de compañía, acuicultura, equinos y humanos, cuentan con médicos, nutricionistas, científicos, veterinarios, doctorados y químicos, siempre están creando

programas, productos nuevos y más avanzados para la industria de la nutrición, con sus investigaciones y pruebas de campo, Matrix Nutrition ha desarrollado la combinación correcta de ingredientes para ayudar a asegurar que las industrias ganaderas reciban los beneficios nutricionales adecuados. RAS, Almidón Disponible en Rumen, patente pendiente, permite 100% de digestión del almidón en el rumen, el objetivo debe ser alimentar tanto almidón disponible en rumen, sin comprometer el pH y la función ruminal. El método incluye procesar, por extrusión, una fuente de alimentación que contiene prolamina que tiene una matriz de almidón-proteína dentro de la cual la proteína incluida está compuesta de al menos un 3% por ciento de prolamina. Este procesamiento produce un alimento gelatinoso hidrófilo que tiene contenido de almidón y proteína. El alimento gelatinoso de bajo contenido vítreo hidrófilo se alimenta a un animal rumiante. Una porción retenida en el rumen del alimento alimentado se retiene dentro del rumen del animal durante al menos un período de veinticuatro horas, y durante las primeras veinticuatro horas de ese período, por lo menos el setenta y cinco por ciento del contenido de almidón de la porción retenida en rumen del alimento alimentado es digerida. El proceso rompe esta estructura prolamina/almidón y aumenta drásticamente la digestión ruminal del almidón. Este crea un almidón absorbente de humedad que aumenta la producción interna de proteína natural en vacas lecheras, lo que conduce a un aumento en la producción de leche, disminuye las emisiones ambientales y mejora la alimentación eficientemente mientras se usan ingredientes orgánicos. El proceso por el cual se llama es extrusión de maíz, en el que el procedimiento de tipo de extrusión rompe los enlaces prolamina, con lo que se renueva por lo

menos el noventa y ocho por ciento del contenido de almidón del alimento gelatinoso de bajo peso hidrófilo digerible en el rumen de animales rumiantes. El grano alimenticio se somete a tratamiento térmico durante un primer periodo de tiempo, de los cuales al menos 200 segundos se mantienen por encima de 90 grados centígrados y posteriormente. La glucosa de la producción de almidón ruminal es la fuente más eficaz de energía para la producción de ganado. El almidón de maíz es indigestible en gran medida en el rumen debido a la unión de la proteína (prolamina). Las vacas se enfrentan a desafíos inmunes que desvían la energía de la producción. Un estudio demostró que un sistema inmunológico activado utiliza más de 4 libras de azúcar en el día (Holt et al., 2014).

Prolaminas.

Las prolaminas son proteínas de almacenamiento presentes en la mayoría de los cereales y representan una importante fuente de proteínas en la alimentación animal. Su nombre se deriva de la predominancia de dos aminoácidos prolina y glutamina, estos AA permiten que las prolaminas sean altamente solubles en compuestos orgánicos. Las proteínas que pertenecen a esta familia se caracterizan por la presencia de un dominio globular α -hélice, conservando un patrón de seis a ocho residuos de cisteína y tres a cuatro puentes disulfuro intramoleculares. Del total de la proteína del grano entero, alrededor de 52% son prolaminas (zeínas), y se localizan principalmente en el endospermo del grano siendo su principal y única función de almacenar nitrógeno para la germinación del embrión, el resto lo constituyen las albúminas

y globulinas (22%), las cuales se concentran en el germen. El endospermo contiene básicamente almidón y proteínas, mientras que el embrión está conformado por grasas, proteínas y vitaminas. Zeína (prolamina del maíz) El grano de maíz presenta un contenido de proteína que varía entre el 7 y 12%, siendo el 50% de este valor prolaminas las cuales son conocidas como zeínas. Estas prolaminas se producen en pequeños y compactos cuerpos proteínicos unidos por puentes disulfuro, embebidos en la matriz de glutelina y se distribuyen generalmente en las capas externas del endospermo (Shewry et al., 1984).

Maíz hojueado al vapor.

El procesado de maíz hojueado al vapor, se usa ampliamente en las dietas de finalización de ganado, mejorando la eficiencia alimenticia del ganado de engorda a través de una mejor utilización del almidón. El grano antes de ser procesado debe pasar por un proceso de cocimiento por vapor a través de un cocedor para grano, durante un tiempo de 25 - 50 minutos a una temperatura de 85°-90° C para permitir que la humedad y el calor penetren en el grano, incrementando su valor de gelatinización. El grano es entonces alimentado a la roladora en donde es aplanado entre dos rodillos corrugados, dando por resultado el grano hojueado o rolado. Enseguida pasa a través de un sistema de enfriamiento-secado, obteniendo al final un producto con un bajo porcentaje de humedad para su posterior manejo o almacenamiento. El grano cocinado adecuadamente con vapor, permite que un animal convierta almidones insolubles en azúcares. La transformación del grano en hojuela delgada rompe

las células y permite que el animal absorba una mayor parte del producto en el tiempo limitado durante el cual pasa por el sistema digestivo, aprovechando el alimento casi al 100%, lo cual no sucede con el grano molido. Además, las pérdidas de grano durante el proceso de rolado son casi nulas. Esto permitiría mejorar la digestibilidad del almidón y aumentar el contenido de energía metabolizable, especialmente si se le compara con el grano entero. Además, al evitar el proceso de molienda, retrasaría el escape desde el rumen, asegurando un mejor aporte de energía para la microflora ruminal (Alomar et al., 2001).

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 en Ciencias Veterinarias (IICV) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), localizada a un kilómetro del fraccionamiento Campestre en la ciudad de Mexicali, Baja California. 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 (INEGI, 2016).

Unidad Experimental.

Se utilizaron cuatro novillos raza Holstein (231 kg PV) clínicamente sanos y habilitados con cánulas tipo “T” en rumen y en duodeno (6 cm del esfínter pilórico), se elaboraron con el material y el procedimiento descrito por (González y Montaña, 2015a) y rumen (González y Montaña, 2015b). Los novillos fueron adaptados a las dietas experimentales 7 días previo al inicio del experimento y se identificaron con aretes con numeración progresiva del 5 al 8.

Distribución de las unidades experimentales.

Los novillos fueron asignados a corrales individuales de 3.9 m² 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.

Dietas.

Los novillos fueron alimentados con cuatro diferentes dietas elaboradas en base de maíz hojueado al vapor y con una inclusión de 0.35% de óxido crómico como marcador inerte para cálculo del flujo a duodeno y de excreción fecal de materia seca (MS). Las dietas fueron elaboradas en una sola ocasión en la planta de alimentos del IICV-UABC y se almacenaron en cajas de madera con tapa de capacidad de 1m^3 , 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 Extension Center, campo experimental de la Universidad de California, Davis, EUA. Los ingredientes fueron agregados al mezclador en el siguiente orden: maíz, premezcla, DDGS, forrajes, 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 2.5m^3 (Tabla 1).

Tabla 1. Composición de dietas experimentales (MS)

Concepto	RAS %			
	0	10	20	30
Composición de ingrediente, % MS				
Heno de Sorgo de Sudan	12.00	12.00	12.00	12.00
Sebo	3.00	3.00	3.00	3.00
Melaza	4.00	4.00	4.00	4.00
DDGS	10.00	10.00	10.00	10.00
Maíz hojueado	67.53	57.53	47.53	37.53
RAS	0	10.00	20.00	30.00
Urea	1.30	1.30	1.30	1.30
Caliza	1.70	1.70	1.70	1.70
Rumensin 90, mg/lb	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184
Oxido de Magnesio	0.15	0.15	0.15	0.15
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30
Composición de nutrientes. Base MS (Valores tabulares, NRC, 1996)				
Materia Seca, %	88.8	89.0	89.2	89.4
ENm, Mcal/kg	2.21	2.21	2.21	2.21
ENg, Mcal/kg	1.54	1.54	1.54	1.54
Proteína Cruda, %	14.2	14.2	14.2	14.2
Rumen PDR, %	61.8	61.8	61.8	61.8
Rumen PNDR, %	38.2	38.2	38.2	38.2
Extracto de Éter, %	7.1	7.1	7.1	7.1
Cenizas, %	5.7	5.7	5.7	5.7
FDN, %	18.6	18.6	18.6	18.6
Calcio, %	0.75	0.75	0.75	0.75
Fosforo, %	0.34	0.34	0.34	0.34
Potasio, %	0.75	0.75	0.75	0.75
Magnesio, %	0.29	0.29	0.29	0.29
Azufre, %	0.16	0.16	0.16	0.16

1 Minerales de rastreo contenida: CoSO₄, .068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, .052%; and NaCl, 92.96%.

2 Basada en valores tabulares para ingredientes de pienso individuales (NRC, 2000).

Inclusión de RAS (Rumen Available Starch)

El RAS se incorporó manualmente en forma adicional con las raciones asignadas por animal por servida (Tabla 2), fue pesada en una báscula digital de precisión (Mettler Toledo SB16100 x 1g) este fue depositado en las bolsas identificadas donde se encontraba la dieta basal pesada previamente.

Tabla 2. Niveles de inclusión de RAS.

Tratamientos	Nivel de inclusión del RAS %	Nivel de inclusión del RAS g/d/animal
T1	0	0.0
T2	10	249.5
T3	20	498.5
T4	30	748.0

Diseño experimental

Se analizaron los efectos de la inclusión de RAS en la dieta (0, 10, 20 y 30%) sobre las características de digestión en el ganado bovino como un experimento balanceado en un diseño de cuadrado Latino 4 x 4 de acuerdo al siguiente modelo:

$Y_{ijkl} = \mu + B_i + A_j + P_k + \zeta_l k + E_{ijkl}$ en el cual:

μ : Media general.

B_i : Tratamiento.

A_j : Periodo.

P_k : Repetición.

Z_{lk} : Efecto del animal en la repetición.

Eijkl: es el error residual.

Los Efectos de los tratamientos fueron probados usando los siguientes contrastes: T1 vs T2, T3 y T4, con polinomios lineales y cuadráticos y (Stastix 9, Analytical Software, Tallahassee, FL). Se consideró diferencia significativa cuando $P \leq 0.05$ (Hicks, 1973).

Tabla 3. Asignación de los tratamientos y distribución de acuerdo al diseño experimental.

	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

Donde Tmt = tratamiento (Ras MatrixNutrition®), siendo asignados de la siguiente manera: Tmt 1: 0.0gr; Tmt 2: 249.5gr; Tmt 3: 498.5gr y Tmt 4: 748gr/d/animal.

Duración del experimento

El experimento consistió en 4 periodos experimentales de 21 días de duración por periodo (10 días con el tratamiento, 7 días de adaptación a las dietas y 4 días para recolección de muestras).

Alimentación

Los animales fueron alimentados dos veces al día en dos porciones iguales a las 08:00 y 20:00 h. El consumo (BMS) se ajustó al 2.2% del peso vivo, ofreciéndose durante la prueba alimento fresco. Los becerros se pesaron

en báscula digital tipo ganadera individual capacidad de 1,135 kg (Fairbanks Scale Mod. FB-1300, KS) en la mañana dos días previo al inicio del experimento. Las raciones asignadas por animal por servida fueron pesadas en forma semanal en una báscula digital de precisión (Mettler Toledo SB16100 x 1g). La lectura de comederos se realizó diariamente a las 7:50 AM previo al ofrecido matutino, no se observaron rechazos durante el experimento. El consumo de agua fue *ad libitum*.

Procedimientos de muestreo

Durante cada periodo de colección de muestras, las muestras duodenales (750 ml/d) y fecales (200 g base fresca) se tomaron a cada novillo dos veces al día en los siguientes horarios: día 1, 10:30 y 16:30 h; día 2, 09:00 y 15:00 h; día 3, 07:30 y 13:30 h y día 4, 06:00 y 12:00 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.

Análisis de laboratorio

Las muestras de cada novillo, en cada periodo de colección, se mezclaron con el propósito de formar una muestra compuesta misma que se congeló a -20° C (Kelvinator, KSGW200, 19.4 cf) para análisis posteriores. El último día de cada periodo, se determinó el pH del contenido ruminal de una

muestra fresca obtenida (\pm 500 mL) de cada novillo mediante el uso de una bomba de vacío (Cole Parmer Instrument, Vernon Hill, IL.), donde se determinó el pH del rumen, estas fueron filtradas a través de 4 capas de estopilla. Se añadieron 2ml de ácido metafosfórico recién preparado (25 g/100ml) a 8ml de fluido ruminal tenso. Las muestras se centrifugaron a (17.000 xg durante 10 minutos) y el líquido sobrenadante se almaceno 10 ml de contenido ruminal a -20° C para la determinación de AGV (cromatografía de gases, Zinn, 1988). El último día, del tercer 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 (Krupps 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), cenizas, N kjeldhal y nitrógeno amoniacal de acuerdo con lo estipulado por la AOAC (1986), energía bruta (EB) (utilizando una bomba calorimétrica adiabática modelo 1271; Parr Instrument Co., Moline, IL), purinas (Zinn y Owens, 1986), óxido crómico (Hill y Anderson, 1958), almidón (Zinn, 1990) y fibra detergente neutra (FDN) (Goering y Van Soest, 1970); corregida para cenizas insolubles.

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 Cr_2O_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).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta se muestra en tabla 4. No se observó efecto de los tratamientos, ni efecto lineal ni cuadrático, sobre el flujo al duodeno de, MO, FDN, Almidón, N, N- Microbial, NNA, y Nitrógeno de Alimento ($P \geq 0.05$). Solo se observó diferencia entre tratamientos sobre N Amoniacal, siendo menor en los animales suplementados ($P \leq 0.05$). Además, se observó una disminución lineal ($P \leq 0.05$) a medida que incrementó el nivel de suplementación de RAS. La digestibilidad de la MS, materia orgánica, proteína bruta, energía bruta y fibra detergente neutra no difirió entre tratamientos, aunque observaron una mayor digestibilidad de los carbohidratos no fibrosos. Además, observaron un mayor peso de los animales en tratamientos donde se incluyó maíz extruido y maíz roado.

Así mismo Ríos, (2007), destaca cifras, que pueden apreciar que no hubo cambios relevantes en la composición química por efecto del procesamiento, aunque se observa que el porcentaje de MS fue ligeramente mayor en los granos procesados que en el grano de maíz normal.

Alvarado et al., (2009), estudiaron los efectos del procesamiento del grano de maíz en el consumo y digestibilidad de la dieta, así como sobre composición y producción láctea; no se observaron diferencias en consumo de materia seca MS ni de energía metabolizable atribuibles a diferencias de densidad del maíz extruido.

A nivel ruminal, no se observó efecto alguno estadísticamente significativo ($P \geq 0.05$) de los tratamientos sobre digestibilidad de MO, FDN, Almidón, N de la dieta, eficiencia microbiana, ni eficiencia proteica.

En cuanto a digestión en tracto total, no se observó efecto alguno estadísticamente significativo ($P \geq 0.05$) de los tratamientos sobre MS, MO, FDN, N, ni almidón. En respuesta a la suplementación de RAS, se observó una disminución en la digestibilidad de MS, MO, FDN, y N. ($P \leq 0.05$) al compararlo vs la dieta control.

En este sentido Ríos, (2007).indica que los efectos en la digestibilidad de la MS, MO, FDN, y almidón de las dietas no difirió ($P \geq 0,05$) se observó la digestibilidad más bajo en la ración suplementada con maíz extruido al compararlo vs maíz hojueado.

Extrusión y Hojueado al vapor, además de romper la cubierta externa del grano de maíz, producen un importante nivel de gelatinización del almidón, lo que favorece su degradación ruminal, Rowe et al., (1999) señala mayores resultados, degradabilidad en una mayor producción de ácidos grasos volátiles y un uso más eficiente de la proteína soluble, aumentando el crecimiento microbiano, con la consiguiente mejora de la producción.

Tabla 4. Efectos del tratamiento sobre las características de la digestión ruminal, pos-ruminal y del tracto total.

Concepto	RAS%				Promedio RAS	SEM	Valores			
	0	10	20	30			TMT	TMT Vs RAS	LINEAL	CUADRÁTICO
Consumo, g/d										
MS ¹	4453	4475	4498	4520	4498	-	-	-	-	-
MO	4224	4246	4269	4292	4269	-	-	-	-	-
FDN	693	706	718	731	718	-	-	-	-	-
N	97	97	97	97	97	-	-	-	-	-
Almidón	2275	2282	2288	2294	2288	-	-	-	-	-
EG, Mcal/d	19.02	19.12	19.22	19.31	19.22	-	-	-	-	-
Flujo al duodeno, g/d										
MO	1909	1935	2048	1970	1985	85.5	0.69	0.21	0.45	0.55
FDN	332	343	351	379	358	21.7	0.52	0.10	0.15	0.70
Almidón	256	259	284	203	282	22.5	0.47	0.10	0.12	0.74
N	101	101	97	107	103	3.3	0.50	0.39	0.75	0.34
NH-N	4.49	4.31	3.62	3.81	3.92	0.14	0.01	<0.01	<0.01	0.21
Non NH-N	96	97	104	97	99	3.2	0.41	0.26	0.60	0.30
NM	57.2	55.3	58.0	57.0	56.8	2.3	0.87	0.77	0.86	0.86
NAlimentación	28.5	30.6	34.7	29.1	31.5	3.5	0.62	0.23	0.72	0.29
Digestión en rumen, %										
MO	68.4	67.5	65.6	67.4	66.8	1.8	0.76	0.23	0.57	0.49
FDN	52.1	51.5	51.1	48.2	50.2	3.1	0.81	0.39	0.40	0.72
Almidón	88.8	88.6	87.6	86.8	97.7	1.0	0.50	0.13	0.14	0.74
N Alimentación	70.6	68.4	64.3	70.2	67.6	3.6	0.62	0.25	0.74	0.29
E Microbiana	20.0	19.5	20.8	19.8	20.0	1.1	0.86	0.92	0.87	0.81
E Proteina3	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	0.03	0.42	0.33	0.68	0.30

Digestión post-ruminal,%										
MO	62.2	58.1	60.9	54.0	57.6	3.3	0.38	0.06	0.16	0.67
N	73.7	71.9	72.3	68.2	70.8	2.03	0.35	0.06	0.10	0.58
Almidón	96.2	96.0	96.1	94.6	95.6	0.78	0.49	0.22	0.20	0.46
Excreción Fecal, g/d, %										
MS	840	942	933	1034	969	42	0.09	<0.01	0.01	0.99
MO	721	810	802	989	837	40	0.10	<0.01	0.01	0.92
FDN	358	406	383	439	409	21	0.14	<0.01	0.04	0.85
Almidón	9.26	10.27	11.07	16.34	12.56	1.81	0.11	0.02	0.02	0.26
N	26.7	28.4	29.6	31.5	29.8	1.6	0.29	0.01	0.05	0.96
GE, Mcal/d	3.71	4.09	4.10	4.57	4.25	0.21	0.13	<0.01	0.02	0.84
Digestión Tracto total %										
MS	81.1	79.0	79.3	77.1	78.5	0.93	0.11	<0.01	0.02	0.98
MO	82.9	80.9	81.2	79.1	80.4	0.93	0.12	<0.01	0.02	0.93
FDN	48.4	42.5	46.7	39.9	43.0	2.9	0.26	0.02	0.13	0.88
N	72.4	70.8	69.5	67.7	69.3	1.6	0.31	0.02	0.06	0.97
Almidón	99.6	99.6	99.5	99.3	99.5	0.09	0.17	0.03	0.03	0.30
DE, Mcal/kg	3.44	3.36	3.36	3.26	3.33	0.05	0.16	<0.01	0.03	0.85
DE, %	80.5	78.6	78.6	76.4	77.9	1.1	0.16	<0.01	0.03	0.85

1 El consumo de materia seca se restringió al 2,2% de la PC por día.

2 Nitrógeno microbiano, g / kg materia orgánica fermentada.

3 Flujo de nitrógeno no amoniacal al intestino delgado como fracción de la ingesta de nitrógeno.

Tabla 5. Efecto de tratamientos sobre el pH ruminal, las proporciones molares AGV y la producción estimada de metano.

Concepto	RAS, %				Promedio RAS	SEM	Valores			
	0	10	20	30			TMT	TMT Vs RAS	LIN	CUAD
pH rumen	5.69	5.72	5.65	5.65	5.67	0.16	0.98	0.86	0.78	0.92
Total AGVs, mM	107.1	106.5	106.9	116.4	109.9	6.57	0.68	0.53	0.36	0.46
Rumen AGVs, mol/100										
Acetato	52.50	54.76	54.93	49.20	52.96	3.54	0.66	0.85	0.55	0.28
Propionato	33.49	30.41	28.61	33.59	30.87	3.44	0.69	0.28	0.92	0.26
Isobutirato	0.43	0.53	0.54	0.56	0.54	0.10	0.84	0.14	0.43	0.70
Butirato	10.66	10.99	12.46	12.18	11.88	1.33	0.73	0.20	0.33	0.83
Isovalerato	1.77	2.28	1.86	2.81	2.32	0.46	0.43	0.10	0.22	0.64
Valerato	1.14	1.03	1.61	1.66	1.43	0.14	0.04	<0.01	<0.01	0.57
Proporción Acetato:Propionato	1.68	2.25	2.00	1.48	1.91	0.44	0.64	0.45	0.67	0.24
Metano ¹	0.43	0.47	0.49	0.42	0.46	0.05	0.70	0.40	0.90	0.26

¹Metano, mol / mol equivalente de glucosa fermentado.

La influencia de los tratamientos sobre el pH ruminal, las proporciones molares VFA y la producción estimada de metano se muestran en la Tabla 5. No se observó efecto de los tratamientos sobre el pH ruminal, la proporción molar total de ácidos grasos volátiles (AGV), la tasa acetato-propionato ni producción de metano ($P \geq 0.05$).

Sin embargo, Shabi et al., (1999), la inclusión de maíz extruido a niveles de hasta 40% de la dieta de novillos en crecimiento no tuvieron efectos adversos sobre el pH y la digestibilidad de la fibra, al contrario de lo que se ha reportado en la literatura, que muestra una tendencia a una mayor digestibilidad de la ración total. Por lo tanto, los autores atribuyen sus resultados a la densidad de maíz extruido.

De acuerdo a la literatura para que se produzca una correcta fermentación bacteriana hay parámetros ruminales que deben considerarse, ya que fuera de sus rangos normales provocan alteraciones de la digestión. Las condiciones del medio ruminal deben estar en un rango compatible con el crecimiento de micro-organismos que sean adecuados para la fermentación y están dentro del rango (Church C.D. et al., 1988).

CONCLUSIONES

La suplementación de RAS en lugar de maíz hojueado a vapor no afectó la digestión ruminal de los componentes de la dieta, pH ruminal, producción de AGV ni de metano. Aunque se observó disminución de la digestión en tracto total en respuesta a la suplementación de RAS, estas diferencias son numéricamente pequeñas, por lo que un análisis financiero podría ayudar en la toma de decisiones tanto sobre la inclusión en sí de RAS, como el nivel adecuado.

LITERATURA CITADA

- Alomar, D. y Pulido, R. 2001. Efecto del hojueado al vapor sobre la degradabilidad ruminal del grano de maíz. (Chile) 29 (2): 164-169.
- Alvarado C., R. Anrique, y S. Navarrete. 2009. Efecto de la inclusión de maíz extruido, rolado o molido en dietas de vacas lecheras basadas en ensilaje de pradera de corte directo. Chilean J. Agric. Res. 69:356-365.
- AOAC. 1986. Official methods of analysis (14th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. 155.
- Asp, N., and I. Björck. 1989. Nutritional properties of extruded foods. In: Extrusion cooking. Mercier C, Linko P, y Harper JM Eds. Am. Assoc. Cereal Chemistry. 14, (pp. 399-434).Inc. St. Paul, MN, USA.
- Barron, C. Bouchet, B. Della Valle, G. Gallant, D., Planchot, V. 2001. Microscopical study of the destructuring of waxy maize and smooth pea starches by shear and heat at low hydration. Journal of Cereal Science 33:289-300.
- 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.
- Buleón, A, P. Colonna; Planchot, V.; Ball, S. (1998). "Starch granules: structure and biosynthesis". International Journal of Biological Macromolecules. 23, 85– 112.
- Caroline, R.C., Jacobs, S.W.L.& Veskm M. 1973. The structure of the cells of mesophyll and prechymatous bundle sheath of the Graminae. Bot. J. Linn. Soc., 66:259-275.

Church C.D., M.T. Yokoyama y K.A. Jhnsn. 1988. El Rumiante, Fisiología digestiva y nutrición. Cap. 7 “Microbiología del rumen e intestino”. P 138. Editorial, ACRIBIA, S.A.

Copyright © 2004, SAS Institute Inc, Cary, North Caroline SAS® /STAT User's Guide: Version SAS® 9.1.3. Disponible en: https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_913/etl_u_g_8238.pdf

Dos Santos, M., S. Wang, M. F. Ascheri, Costa, S.A.J. (2002). Productos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos”. Pesq agropec bras Brasilia 37(10):1495-1501.

Dziezak, J. D. 1989. Single anda twin-screw extruder in food processing. Food Technology. 43 (4): 164-174.

FAO, 1995. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Semillas de Calidad declarada: directrices técnicas sobre normas y procedimientos. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0503s.pdf>

FIRA, 2017a. Fidecomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Panorama Agroalimentario. Carne de bovino 2017. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017__1_.pdf

FIRA, 2016b. Fidecomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Panorama Agroalimentario. Maíz 2016. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.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.
- González, V. M., y M. F. Montaña. 2015a. Instalación de cánulas tipo “T” en duodeno. XXV Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos. Ensenada, B.C. Disponible en: http://ica.mx/uabc.mx/icaweb_archivos/MEMORIA%20FINAL%20XXV%20RIPCLCC.pdf
- González, V. M., y M. F. Montaña. 2015b. Instalación de cánulas tipo “T”, en rumen. XXV Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos. Ensenada, B.C. Disponible en: http://ica.mx/uabc.mx/icaweb_archivos/MEMORIA%20FINAL%20XXV%20RIPCLCC.pdf
- Harper, J. M. 1992. A Comparative analysis of single and twin screw extruders. en: Food extrusion Sc. and technology Cap. 8: 139-148. Ed: Kokini J. L. Ho Ch.T.and Karwe M. Marcel Dekker Inc New York. V.
- Hicks C. R. 1973. Fundamental Concepts in the Design of Experiments, 2nd ad., Holt, Rinehart and Winston, New York, Chapter 1.
- Hill, F. N. and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. J. Nutr. 64:587-603.
- Holt, M., and M. Garner, 2014. Matrix Nutrition LLC. Disponible en: <http://www.matrixnutritionllc.com/>

- INEGI, 2016. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Localización del área de estudio en Mexicali. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=2>
- Iwe, M. O., Zuilichen, D. J., Ngoddy, P. O. 2001. Extrusion cooking of blends of soy flour and sweet potato flour on specific mechanical energy (SME), extrudate temperature and torque. *Journal of Food Process and Preservation* 25:251-256 págs.
- Koeslag H. J. y Orozco F.L. 2010. *Bovinos de Carne*. Editorial Trillas, SEP. México. 117 pág.
- Kokini, J. L., C.N. Chang, and L.S. Lai. 1992. The role of rheological properties on extrudate expansion". En: *Food Extrusion Science and Technology*. Ed Kokini.J, Ho Ch.T. Karwe. M: Marcel Dekker; NY. p: 631-652.
- Luxova, M. 1981. Growth region of primary root of maize (*Zea mays* L.). In R. Brouwer et al., eds. *Structure and function of plant roots*, p. 9-14. The Hague, Netherlands, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers.
- Nutrient Requirements of Beef Cattle, (NRC) 1996. (7th Edition). National Academy Press, Washington, D.C. Disponible en: http://animalscience.ucdavis.edu/events/training-session-for-livestock-farm-advisors/presentations/james-oltjen/nrc-for_beef_cattle.pdf
- Paul G. Muller y Rene Riel, 1990. ©Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). *Tecnologías de América del Norte para el procesamiento de alimentos*. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8742e/A8742e.pdf>

- Rowe, J., M. Choct, and D. Pethick. 1999. Processing cereal grains for animal feeding. *Aust. J. Agric. Res.* 50:721-736. Disponible en: <https://ses.library.usyd.edu.au/handle/2123/2263>
- Ríos Velásquez Yasna Lizeth, 2007. Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Agronomía. Degradabilidad ruminal del grano de maíz procesado por extrusión y rolado al vapor. Valdivia-Chile.
- Salinas, Yado y Lerma, 1997. Nutrición animal básica. Cd Victoria, Tamaulipas, México. Departamento de Fomento Editorial de la UAT. Capitulo VI Carbohidratos: Estructura, digestión y metabolismo. P: 57-92.
- Shabi Z., Bruckental , Zamwell , Tagari, y Arieli A.1999. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. *J Dairy Sci.* 1999 Jun;82(6):1252-60.
- Shewry PR, Bradberry D, Franklin J, White RP., 1984. The chromosomal locations and linkage relationships of the structural genes for the prolamin storage proteins (secalins) of rye. *Theor appl genet* 1984, 69: 63-69.
- SIAP, 2016 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), Producción, acciones y programas en bovinos: Disponible en: <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Stanley D. W. 1986. Chemical and structure of determinants of texture of fabricated foods. *Food Technology.* P: 40: 65-68, 76.
- Zinn, R.A., and Owens, 1986. A Rapid Procedure for Purine Measurement and Its Use for Estimating Net Ruminal Protein Synthesis. *Canadian Journal of Animal Science*, 66, 157-166.

- Zinn, R.A .1988. Comparative feeding Value of supplemented fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. J. Anim. Sci. 66: 213-227
- 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., Owens, F.N., y Ware, R.A. 2002. Flaking corn: Processing mechanics, quality standars, and impacts on energy availabilitlity and performance of feedlot cattle. Journal Animal Science. 80: 1145-1156.