

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

DIVISIÓN DE CIENCIAS VETERINARIAS

POSGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS PECUARIAS



**INTERACCIÓN ENTRE EL MÉTODO DE PROCESAMIENTO DEL MAÍZ Y LA
SUPLEMENTACIÓN DE PROTEÍNA SOBRE LA DIGESTIÓN Y RESPUESTA
PRODUCTIVA DE BOVINOS EN ENGORDA INTENSIVA.**

TESIS QUE PRESENTA

M. en C. RUBÉN BARAJAS CRUZ

PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS PECUARIAS

Director: Ph. D. RICHARD A. ZINN
Asesores: Ph. D. JOSÉ ZORRILLA RÍOS
Ph. D. JOSÉ ROGELIO OROZCO HERNÁNDEZ.

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco. Abril 1998.

CONTENIDO

	Páginas
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.	2
2.1. Generalidades.....	2
2.2. Almidón.	3
2.2.1. Estructura.	3
2.2.2. Solubilidad.	3
2.2.3. Gelatinización.	4
2.2.4. Acción de la amilasa sobre el almidón.	4
2.2.5. Digestión y absorción.	5
2.3. Factores que afectan la secreción de amilasa pancreática en rumiantes.	6
2.3.1. La presencia de proteína en intestino.	6
2.3.2. Ácidos grasos volátiles (AGV).	7
2.3.3. La presencia de almidón en la dieta.....	8
2.4. Factores que afectan la actividad de la α -amilasa pancreática.....	9
2.4.1. El pH intestinal.....	9
2.4.2. Tiempo de transito de la digesta en intestino delgado.....	10
2.4.3. Acceso de la enzimas al gránulo de almidón.....	10
2.5. Efecto del procesamiento sobre digestión y respuesta productiva en bovinos de engorda intensiva.....	11
2.5.1. El hojueleado con vapor del maíz.	11
2.5.1.1. Efecto sobre indicadores de la digestión.....	11
2.5.1.2. Efecto sobre respuesta productiva de bovinos en engorda.	15
2.6. Efecto de la suplementación de nitrógeno en dietas.....	19
2.6.1. Efecto de la suplementación con diferentes fuentes de nitrógeno en dietas.	19
2.6.1.1. La degradabilidad ruminal de proteína.....	20
2.6.1.2. Efecto de los tratamientos para modificar la degradación ruminal de la proteína de origen vegetal.	21

2.7. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas con maíz procesado en seco para bovinos de engorda.	22
2.7.1. Nitrógeno a partir de urea vs. proteína preformada.	22
2.7.1.1. Efecto sobre indicadores de la digestión.	22
2.7.1.2. Efecto sobre respuesta en bovinos de engorda.	28
2.8. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas con MHV para bovinos de engorda.	28
2.8.1. Nitrógeno a partir de urea vs. proteína preformada.	28
2.8.1.1. Efecto sobre indicadores de la digestión.	28
2.8.1.2. Efecto sobre respuesta en bovinos de engorda.	32
2.9. Aparentemente existe una interacción.	35
3. HIPÓTESIS.	37
4. OBJETIVOS	38
4.1. General	38
4.2. Particulares	38
5. MATERIAL Y MÉTODOS.	39
5.1. Experimento 1.	39
5.2. Experimento 2.	42
5.3. Experimento 3.	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
6.1. Experimento 1.	46
6.2. Experimento 2.	54
6.3. Experimento 3.	61
7. CONCLUSIONES	69
8. LITERATURA CITADA.	70

CUCRA



BIBLIOTECA CENTRAL

RESUMEN.

La digestión postruminal de almidón y nivel (o fuente) de nitrógeno afectan la respuesta productiva y digestiva de bovinos. Para evaluar el procesamiento del maíz (**MQ** = quebrado en seco ó **MHV** = hojueleado al vapor) y la fuente de nitrógeno se realizaron tres experimentos con arreglo factorial 2 x 2; 1). Vaquillas (357 kg) recibieron dietas conteniendo MQ o MHV y 11% o 15% de PC (0.8% urea o 0.8% urea+10% harinolina) y fueron evaluadas en 110 días de finalización. 2). Cuatro novillos Holstein (413 kg) fueron utilizados en un cuadrado latino 4 x 4 para determinar el efecto de las dietas sobre el metabolismo digestivo. 3) Se evaluó el efecto de dietas isoproteicas (13% PC; conteniendo MQ o MHV y 1.2% de Urea (U) o 0.4% de U+4.6% de harina de pescado (**HP**)) sobre el metabolismo digestivo. La GDP no fue afectada ($P > 0.10$) por los tratamientos. El MHV aumento 13.99% ($P < 0.01$) la conversión alimenticia y un 13.0 y 14.6% ($P < 0.01$) ENm y Eng. El MHV y el 15% PC incrementaron ($P < 0.01$) el pH fecal y disminuyeron ($P < 0.01$) almidón en heces. El MHV incrementó ($P < 0.01$) el flujo al duodeno de NNA y NM, la digestibilidad ruminal y postruminal de almidón. Ni el 15% PC o HP modificaron ($P > 0.10$) la digestión postruminal de almidón. La HP incrementó ($P < 0.01$) el N de dieta que llegaba a duodeno. Se concluye, que al incrementar el flujo de proteína al duodeno no se afecta la digestibilidad postruminal del almidón ó en la engorda y características de la canal.

ABSTRACT.

Postruminal digestion of starch and level (or source) of nitrogen affects performance and digestion of cattle. To evaluate corn processing (**MQ** = cracked or **MHV** = steam flaked) and source of nitrogen three experiments were carried out. All trials had a 2 x 2 factorial arrangement; 1). Heifers (357 kg) were used to asses diets containing MQ or MHV and 11 or 15% CP (0.8% urea or 0.8% urea+10% cotton seed meal) trial lasted 110 days of fattening; 2). Four Holstein steers (413 kg) were utilized in a 4 x 4 Latin square trial to determine the effect of prior diets on digestion. 3) Isoproteic diets (13% PC; with MQ or MHV and 1.2% urea (**U**) or 0.4% of U+4.6% fish meal (**HP**)) sere used to test its effect on digestion. Daily weight gain was not ($P > 0.10$) affected by treatments. The MHV increased by 13.99% ($P < 0.01$) the feed conversion and by 13.0 and 14.6% ($P < 0.01$) ENm y Eng. MHV and a CP level of 15% augmented fecal pH ($P < 0.01$) and lowered ($P < 0.01$) starch content in feces. The MHV increased ($P < 0.01$) NNA and NM passage to duodeno, rumen and postruminal digestibilidad of starch. Neither the 15% level of CP or HP modified ($P > 0.10$) postruminal digestion of starch. With the use of HP more ($P < 0.01$) dietary N arrived to duodeno. In conclusion increasing protein passage to duodeno doesn't have any effect on postruminal digestion of starch or on fattening and characteristics of carcass.

CUCBA



BIBLIOTECA CENTRAL

1. INTRODUCCIÓN.

Las dietas con elevada proporción de maíz con que son alimentados los bovinos en engorda intensiva, provocan un aumento en la cantidad de almidón que llega a intestino delgado, donde su digestibilidad es baja (74). El procesamiento con vapor y hojueleado del maíz (MHV) ha incrementado la digestibilidad ruminal y postruminal del almidón de maíz (16, 122). La infusión de proteína en el duodeno de rumiantes, ha incrementado la secreción de jugo pancreático y amilasa, así como su actividad (58).

El aumento en el nivel de proteína de las dietas, incrementa la digestibilidad de almidón de maíz infundido en el duodeno de borregos (10). Además, dado que el contenido de proteína del quimo es mantenido fisiológicamente constante (130), entonces al incrementar la proteína que llega a duodeno es posible diluir el almidón y otros componentes del quimo, facilitando el acceso de las enzimas digestivas a su sustrato y disminuyendo la presión osmótica del quimo. La infusión de un dializado de contenido abomasal con baja presión osmótica incrementó la secreción pancreática en borregos (58). Estos hallazgos sugieren que al aumentar la cantidad de proteína que llega al duodeno es posible incrementar la secreción de amilasa pancreática (41) y en consecuencia la digestibilidad postruminal de almidón.

En base a lo anteriormente expuesto, se llevó a cabo la presente investigación para determinar el efecto de la fuente o nivel de nitrógeno y método de procesamiento del maíz sobre la digestión postruminal de almidón y respuesta productiva en bovinos de engorda alimentado con dietas de finalización.



2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Generalidades.

En la engorda intensiva de bovinos productores de carne, las estrategias de alimentación están orientadas a proveer al animal de los nutrimentos necesarios para que exprese todo su potencial de crecimiento, con la utilización mas eficiente del alimento recibido.

La mayor parte de la energía en las dietas de finalización proviene de grano y de cereales (maíz, trigo, cebada, sorgo, etc.), que conforman el 65-80% de la ración, dicha energía, es aportada por el almidón (21). Por lo que, los procesos que afectan la digestión almidón y absorción de sus productos es de importancia en nutrición animal y para los productores de carne en corral.

De entre los granos cerealeros, reviste importancia especial el maíz (*Zea maiz*, Linn), debido a que es ampliamente utilizado en la engorda intensiva, destinándose a ello hasta el 85% de la producción de países desarrollados como Estados Unidos (21) y a que la digestibilidad de su almidón en los bovinos de engorda, es inferior a los almidones de otros granos como trigo y cebada, así como la observada en otras especies de rumiantes como son los ovinos (74, 95).

Esta revisión, se enfoca a brindar un panorama de la información existente en la literatura sobre los aspectos relacionados con la digestión del almidón de maíz en el tracto digestivo de los bovinos en engorda intensiva.

2.2. Almidón.

El almidón es el material de reserva energética de las plantas, las cuales lo acumulan en pequeñas cantidades en las hojas y en mayores concentraciones en raíces y semillas, siendo el compuesto predominante en las semillas de los granos cerealeros (21).

2.2.1. Estructura

El termino almidón, hace referencia a un polisacárido de alto peso molecular integrado en forma casi exclusiva por cientos o miles de restos de glucosa, de hecho se reconoce desde 1940 la existencia de dos tipos moleculares, una fracción lineal integrada por restos de glucosa unidos por enlaces a 1-4 glucosídicos denominada amilosa y otro tipo llamado amilopectina de estructura ramificada, donde el enlace de ramificación es a 1-6 glucosídico. El almidón de maíz contiene aproximadamente 25% de amilosa y el resto de amilopectina, en esta última los enlaces glucosídicos 1-6 representan el 4-5% del total de enlaces presentes en la molécula (25).

El almidón es almacenado en las plantas en forma de pequeños gránulos, cuyo tamaño y estructura varia de especie a especie. El gránulo de almidón del maíz mide en promedio 15 μ m (109), es insoluble en agua, y contienen densamente empacado al polisacárido.

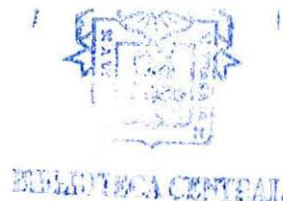
Utilizando técnicas de difracción de rayos X se ha establecido que existen diferentes niveles de organización en estos gránulos de almidón, señalándose la existencia de regiones cristalinas y amorfas. Observándose que las regiones cristalinas están integradas casi exclusivamente por amilopectina (30). Más aún, existe un ordenamiento en capas en orden radial a partir del centro del gránulo, encontrándose además anillos de crecimiento de 1 mm de espesor (30).

2.2.2. Solubilidad.

El comportamiento de solubilización del almidón, presenta un enigma para los investigadores. Estando formado por glucosa y siendo la glucosa altamente soluble en agua, el almidón (formado por cadenas de 70-150 unidades de glucosa) es prácticamente insoluble en ella sin la ayuda de agentes químicos como el hidróxido de sodio (25).

Con la aplicación de calor es posible solubilizar almidón en agua, pero al desaparecer el estímulo (calor), la molécula regresa espontáneamente a la forma insoluble, fenómeno conocido como "retrogradación" (25). El almidón sin modificar puede solubilizarse fácilmente en agua con aplicación de calor y álcali, en tanto que el almidón retrogradado es más difícil de convertirlo a la forma soluble.

Este comportamiento se explica en el sentido que en el almidón sin modificar las hélices de amilosa no se encuentran asociadas, en tanto que en el almidón retrogradado, la amilosa se asocia de manera irreversible con moléculas de amilopectina (25).



2.2.3. Gelatinización.

Cuando el almidón nativo de maíz es suspendido en agua y calentado gradualmente hasta cerca de 55°C, los gránulos se expanden y embeben 50% o más de su peso en agua, siendo la parte modificada la región amorfa, en tanto que la región cristalina permanece inalterada. Este proceso es reversible y después de enfriado y secado el almidón retorna a su estructura inicial (25).

Si el calentamiento continúa hasta el rango de 60-80°C, la región cristalina es "fundida" y el almidón alcanza una expansión o gelatinización irreversible, y si el calentamiento continúa especialmente con agitación mecánica, la estructura del gránulo es rota con una probable reducción en el tamaño molecular (25).

A los 74°C la pérdida de birefringencia del almidón de maíz alcanza el 100%, con 72% de pérdida de entalpía endotérmica, con 78°C y 100% de pérdida de birefringencia alcanza 95% de pérdida de entalpía endotérmica. Con una pérdida de birefringencia de 90%, la pérdida de cristalinidad medida por rayos X es de 71% y la pérdida del orden molecular es del 62% (30).

2.2.4. Acción de la amilasa sobre el almidón.

Tanto las plantas que almacenan almidón como reserva para una futura utilización, así como sus animales predadores dependen para su sobrevivencia de su capacidad para digerir almidón, para lograrlo disponen de varios esquemas enzimáticos que convierten el almidón en glucosa. El más usual, involucra la enzima α -amilasa, la cual reduce rápidamente el tamaño de la molécula de almidón, produciendo dextrinas y oligosacáridos. La α -amilasa licúa el almidón y lo convierte a formas y productos más solubles (25).

La α -amilasa actúa rompiendo aleatoriamente enlaces a 1-4 en cualquier punto de la cadena, mientras que las enzimas del grupo de las β -amilasas inician necesariamente su acción desde el extremo no reductor de la cadena rindiendo restos de maltosa. Ambas enzimas son incapaces de romper los enlaces ramificantes a 1-6 (15).

La acción de diferentes α -amilasas difieren en muchos aspectos, (25). Por ello se ha planteado, que las amilasas de animales monogástricos como el cerdo son más eficientes en la hidrólisis de almidón que las amilasas pancreáticas del rumiante. Sin embargo, Clary *et al.* (15) compararon la acción de amilasas provenientes de páncreas de porcino, ovino y bovino, sobre almidón de diferentes fuentes (maíz, trigo, arroz y protozoarios) y observaron que la constante de Michaelis y energía de activación fueron similares para todas las amilasas pancreáticas. Además, con el criterio de producción de dextrina límite, la actividad de la amilasa porcina fue similar a las de rumiantes actuando sobre almidón de maíz.

Los mismos autores (15) señalan que aparentemente las enzimas provenientes de rumiantes son menos eficaces en el ataque inicial al gránulo de almidón, pero eficientes en digerir almidón de gránulos donde la digestión ya ha sido iniciada previamente. Esto puede ser de importancia en el aspecto de los tratamientos con calor húmedo de los granos, dado que es conocido que la amilasa pancreática puede digerir almidón crudo, pero actúa más eficientemente sobre almidón cocido (34, 73, 109).

2.2.5. Digestión y absorción.

En animales no rumiantes, el proceso de digestión del almidón se inicia en la boca, con la secreción de amilasa salival, esta enzima es rápidamente inactivada por el pH estomacal. En el intestino delgado se realiza la digestión del almidón en su mayor extensión, vía la acción de α -amilasa pancreática. Esta enzima inicia la ruptura de las cadenas de amilosa y amilopectina rindiendo maltosa, maltotriosa y dextrina limite principalmente. La acción de la amilasa es complementada por la acción de maltasa, amiloglucosidasa y α -dextrinasa localizadas en las vellosidades intestinales, generando glucosa libre, la cual es absorbida y transportada al interior de las células por un sistema dependiente del sodio (34).

En los animales rumiantes, este proceso presenta algunas particularidades importantes; primero, el almidón del alimento llega a una cámara de fermentación (rumen-réticulo) antes de llegar a intestino. La digestión del almidón a nivel ruminal varía con la fuente, siendo de 87-90% para cebada, 50-90% para maíz y 42-89% para el sorgo, diferencia atribuible a la composición de la matriz proteica de los granos (36, 51).

La fermentación del almidón produce un aumento en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV; principalmente propiónico), una disminución en el pH ruminal y produce cambios en la población microbiana, favoreciendo a los *Streptococcus*, *Bacteroides*, *Butivibrio*, y *Lactobacillus*; con disminución o desaparición de protozoarios (51, 52). La infusión de almidón en el intestino grueso de ovinos aumenta la población de *Butivibrio* (71).

La microbiota ruminal del borrego es capaz de degradar eficientemente el almidón de maíz desde los 14 días de edad (82). Sin embargo, cuando en novillos el consumo de almidón (con dietas basadas en maíz) rebasa los 2,000 g, decrece la capacidad de rumen para fermentarlo, incrementando la cantidad de almidón que llega al intestino (47).

Es probable que el almidón que llega al intestino delgado de los rumiantes, se encuentre en forma más fragmentada que en el caso del cerdo, debido a la acción de las amilasas microbianas que actuaron durante la fermentación ruminal (15). Pero, al incrementarse la cantidad de almidón que llega al duodeno, la digestibilidad intestinal se disminuye, lo que ha llevado a varios autores (47, 55, 72, 74) a señalar que la capacidad del intestino de los rumiantes para digerir almidón es limitada.

Por otro lado, el aumento en la cantidad de almidón que llega al duodeno, disminuye el pH de la ingesta en intestino delgado, intestino grueso y pH de las heces (91, 112), observandose una correlación negativa entre el pH fecal y el contenido de almidón en heces (90, 104, 112).

Los factores que limitan la digestión de almidón de maíz y sorgo en el intestino delgado de los rumiantes: 1) La actividad limitada de las enzimas amilasa, maltasa o isomaltasa debido a la inadecuada producción, inadecuadas condiciones de acción o presencia de inhibidores enzimáticos; 2) Absorción o liberación limitada de glucosa en el intestino delgado; 3) Tiempo insuficiente para hidrólisis completa del almidón; y 4) Acceso inadecuado de las enzimas debido a la insolubilidad o impenetrabilidad de los gránulos de almidón (74).

2.3. Factores que afectan la secreción de amilasa pancreática en rumiantes.

La secreción exócrina del páncreas en becerros jóvenes presenta una cierta respuesta a la ingesta de alimento, pero a partir de los cuatro meses, el flujo se estabiliza con un patrón de secreción más o menos constante (62). La cantidad de jugo pancreático secretado diariamente es en promedio de 9.5 mL/kg (62), similar a lo encontrado en borregos por Taylor (94).

En una amplia revisión sobre la secreción de amilasa, Harmon (37) afirma que la concentración, síntesis y secreción pancreática de la α -amilasa puede ser manipulada nutricionalmente.

2.3.1. La presencia de proteína en intestino.

En animales no rumiantes, la secreción de enzimas digestivas pancreáticas, responde con incrementos inmediatos a la ingestión de sus substratos (3). Trabajando con ratas Snook y Meyer (105) encontraron un aumento en la actividad de amilasa al incluir proteína de huevo en la dieta, y Johnson *et al.* (45) observaron un aumento en la producción de amilasa como respuesta a un aumento en la cantidad de proteína de buena calidad incluida en la dieta.

En rumiantes, la respuesta es similar a las indicada previamente (45, 105). Magee (58) infundió en duodeno de borrego un hidrolizado de caseína y encontró un aumento de 1.7 a 2.5 mL en la secreción pancreática y un incremento de 216 a 302 mg de maltosa/15 min. en la actividad de la amilasa.

Huntington (41) señala que la secreción de amilasa puede ser promovida incrementando la entrada de proteína a duodeno. En tanto que Ushijima *et al.* (106) establecen que las enzimas digestivas del páncreas de ovino no son siempre secretadas en paralelo. Croom (19) señala que la presencia en la luz intestinal de productos de secreción del páncreas como tripsina pueden decrecer la secreción de amilasa.

Castlebury y Preston (10), infundieron almidón de maíz en el duodeno de borregos alimentados con dietas conteniendo tres niveles de proteína cruda (9.5, 13.0 y 16.5%) y al remplazar el maíz de la dieta por una fuente con alto contenido de proteína no degradable en rumen, encontraron un incremento lineal en la digestibilidad postruminal, a medida que aumentó el nivel de proteína de la dieta. En la misma publicación, en un segundo experimento (cuadrado latino 3 x 3, sin réplica) con los mismos tratamientos, pero sin infundir almidón, no observaron el mismo resultado.

En cambio, Tanigushi *et al.* (93) cuando combinaron la infusión en rumen o abomaso de una solución conteniendo 800 g de almidón con una solución de 200 g de caseinato de sodio, no encontraron diferencia en la digestibilidad de almidón en rumen de novillos Angus (253 kg).

2.3.2. Ácidos grasos volátiles (AGV).

Trenkle (103) observó un aumento en la concentración de insulina en borregos como respuesta a un incremento en los niveles circulantes de propionato o butirato, tanto cuando éstos fueron inyectados directamente en la vena como cuando fueron producidos en rumen por modificación de la dieta. Jordan y Phillips (46), encontraron que los AGV de cadena corta incrementan la producción de insulina en páncreas de borrego, siendo el orden de estimulación octanato > hexanato > butirato, con el propionato, lactato y acetato mostraron poca actividad estimuladora. De Peters *et al.* (83) reportaron un aumento en la concentración sanguínea de glucosa, insulina y glucagon con la inyección intramesentérica de propionato

Varios trabajos se han llevado a cabo buscando establecer la posibilidad de una fase ruminal de estimulación de la secreción pancreática (19). Katoh y Tsuda (48) encontraron que la acetilcolina y los AGV de cadena corta incrementaron la secreción pancreática de α -amilasa en borregos, que la respuesta fue dosis-dependiente y que la liberación de amilasa tenía una relación positiva con el aumento en el número de átomos de carbono hasta llegar a cinco, siendo el isovalerato el de mayor estimulación, en tanto que lactato no produjo efecto alguno. Katoh y Yajima (49), confirmaron que el ácido butírico y otros AGV de cadena corta estimularon la secreción de amilasa en borregos y cabras con una respuesta dosis-dependiente.

2.3.3. La presencia de almidón en la dieta.

En varios experimentos reseñados por Harmon (37), se establece que la actividad de la enzima α -amilasa más elevada en borregos alimentados con dietas altas en granos (almidón) comparados a los alimentados con forraje.

Russell *et al.* (91) reportaron un 129% de aumento en la actividad de α -amilasa en novillos alimentados con dietas altas en maíz (2 y 3 veces el requerimiento de energía para mantenimiento; 2M y 3M) comparados contra los que recibieron únicamente alfalfa. Sin embargo, Walker y Harmon (108) encontraron que la infusión abomasal de un hidrolizado de almidón de maíz en novillos Holstein tendió a aumentar la secreción de líquido pancreático, pero se disminuyó el pH del mismo, así como la cantidad de α -amilasa secretada.

Taniguchi *et al.* (93), observaron que la infusión de almidón de maíz en rumen o abomaso en novillos Hereford x Angus, solo la realizada a nivel abomaso disminuía la digestibilidad aparente de materia seca (MS), materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fibra detergente ácido (FDA) y energía. Kreikenmeier *et al.* (52) encontraron en becerros y becerras de siete meses de diferentes razas alimentados a dos niveles (1M y 2M) con dietas basadas en forraje o grano, que la alimentación con grano (trigo y sorgo rolados) disminuía la concentración de proteínas y actividad de α -amilasa en páncreas e ingesta en intestino delgado.

Por lo anterior se asume que la presencia de almidón en el intestino delgado afecta negativamente la secreción y actividad de la enzima α -amilasa pancreática en rumiantes (108). Por otro lado, Magee (58) observó un 208% de aumento en la secreción de amilasa pancreática en borregos al modificar de 7 a 2.6 el pH de la ingesta entrando a duodeno.

CUCBA



BIBLIOTECA CENTRAL

2.4. Factores que afectan la actividad de la α -amilasa pancreática.

2.4.1. El pH intestinal

Walker y Hope (109) compararon la acción de la enzima α -amilasas de saliva humana, páncreas de cerdo y otras fuentes, encontrando que el pH óptimo para la actividad de esta era entre 6.8 y 7.1. Las enzimas de origen humano y porcino tienen similar capacidad para degradar el almidón de maíz, encontrando además que a 35°C fueron más eficientes que a 40°C. Russell *et al.* (91) determinaron un pH óptimo de 6.9 para α -amilasa proveniente de novillos alimentados con dietas altas en maíz, en tanto que para maltasa intestinal fue de 5.8.

Russell *et al.* (91) observaron un pH promedio de 6.2 a una distancia del 10% de longitud del intestino delgado a partir del esfínter pilórico en novillos alimentados con alfalfa o tres niveles de maíz, en tanto que el pH del contenido intestinal medido a 90% de distancia del esfínter era más ácido a medida que se incrementó la ingesta de maíz (7.2 a 6.4). El pH es similar en abomaso, pero menores en rumen, intestino delgado, colon y heces de novillos alimentados con 56.1 vs 45.8% de almidón de maíz, además que el pH fecal es un indicador confiable, de las condiciones de pH prevalecientes en intestino delgado (112).

Con esta premisa, Haaland *et al.* (35) observaron en vacas lecheras alimentadas con ensilaje de maíz y maíz molido, un aumento en el pH fecal como respuesta a un aumento del 11 al 14% de PC de la dieta.

Tomando como base la idea de que aumentando el pH intestinal se mejora las condiciones de trabajo de la enzima α -amilasa, se han conducido una serie de trabajos utilizando amortiguadores del pH, mostrando el bicarbonato de sodio o potasio actividad sólo a nivel ruminal ma no a nivel intestinal (110).

La suplementación con piedra caliza y óxido de magnesio en dietas para vaquillas en crecimiento, Wheeler y Noller (111) observaron un aumento en el pH fecal con disminución en el contenido de almidón en heces, aunado a una mayor ganancia de peso y conversión alimenticia. Los mismos autores (112) probaron la suplementación con piedra caliza y con piedra caliza dolomítica (que contiene magnesio) y encontraron un aumento en el pH a nivel de contenido ruminal, intestinal y heces con una disminución de 71% del almidón en heces.

Goetsch y Owens (33) en un experimento con novillos de engorda a los que proporcionaron una dieta control con .25% de Ca, dos dietas con 0.4% a partir de carbonato o cloruro de calcio y una cuarta con 1.1% a partir de carbonato de calcio, observaron un aumento lineal en el pH fecal y digestibilidad postruminal de almidón, pero conjuntamente existió una disminución lineal de la digestibilidad ruminal y no encontraron diferencias en la digestibilidad de almidón en el tracto completo.

2.4.2 Tiempo de transito de la digesta en intestino delgado.

La permanencia del quimo en intestino delgado es relativamente corto en el ganado de engorda, Zinn y Owens (132) estimaron en 3 h el tiempo de transito de la digesta es este segmento. Pero, el tiempo de transito no parece ser alterado substancialmente con manejos nutricionales.

El tiempo de retención en el r  culo-rumen aumenta cuando la ingesta de MS de dietas basadas en maíz molido, se incrementó del 1% al 1.5% del peso vivo en novillos Hereford de 12 meses edad y 195 kg. de peso, pero cuando se aumentó al 2%, no se observó un cambio alguno, en tanto que el tiempo de transito en tracto intestinal disminuyó un 37.7% (8 h) al aumentar el consumo a 1.5% (118). Los valores entre 1.5 y 2% son cercanos a los niveles de consumo de los bovinos en finalización. Estos mismos autores (118), no encontraron diferencia en el tiempo de transito en tracto intestinal al incluir 0, 7.5, 15 o 30% de forraje en la dieta.

2.4.3. Acceso de la enzimas al gránulo de almidón.

La digestión del almidón esta condicionada al acceso de la amilasa a los gránulos de almidón. Walker y Hope (109) trabajando con amilasas de diferentes   rigenes, encontraron que la α -amilasa es más activa sobre almidón disuelto que sobre gránulos de almidón. Los autores bservaron también que la adsorción de la enzima en los gránulos fue proporcional a la superficie de contacto y que fue mayor a pH 7.8 que a 4.7. Sin embargo, cuando la adsorción de la enzima en el gránulo fue disminuida la tasa hidrólisis aumento. Aunque para iniciar el ataque al gránulos depende de la capacidad de la enzima para ser adsorbida, se encontró que lo extenso de la adsorción está inversamente relacionada con la hidrólisis del almidón.

Thomas *et al.* (100) reportaron una disminución en la desaparición *in situ* del almidón de maíz quebrado en proporción al aumento del tamaño de partícula, en tanto que con maíz procesado con vapor no se observó este efecto. Galyean *et al.* (27) observaron que en la medida en que se incrementa el tamaño del maíz quebrado en la dieta, disminuía la cantidad de almidón digerido en rumen y aumentaba la cantidad digerida del mismo en el intestino. Esto se debe básicamente a un cambio en el lugar de la digestión del almidón y no a que sea más eficiente la digestión intestinal.

La degradación del gránulo de almidón esta condicionada a la actividad de la amilasa sobre él y ésta se da por la accesibilidad de la enzima al gránulo. Lo que también plantea el efecto teórico de la viscosidad del contenido intestinal, la que puede ser afectada por el contenido y tipo de forraje en la dieta.

Una consistencia viscosa dificulta el acceso de las enzimas en tanto que un mayor contenido de agua puede diluirlas (74). La expansión del gránulo de almidón y la separación entre las cadenas de amilosa y amilopectina originada por la destrucción de la estructura del gránulo (25), obtenida con el procesamiento con vapor y presión del maíz (hojueleado), produce espacios que facilitan el acceso a la enzima.

2.5. Efecto del procesamiento sobre digestión y respuesta productiva en bovinos de engorda intensiva.

En general, el procesamiento con vapor de los granos resulta en una mejora en la eficiencia alimenticia por parte de los bovinos que consumen las dietas integradas con dichos granos procesados, incrementa el valor de energía neta de dieta, la digestión de almidón en rumen, aumenta la producción de AGV's en rumen, disminuye el pH ruminal y la relación acetato:propionato. Aumenta la digestibilidad postruminal, y en tracto completo del almidón y nitrógeno, con aumentando la energía digestible de las dietas. Estos efectos han sido observados en menor o mayor medida de acuerdo al grano estudiado: maíz (123), sorgo (64), avena (125), cebada (124) y trigo (126). De particular interés para este estudio es la respuesta encontrada en el maíz, a la que se orienta esta revisión.

2.5.1. El hojueleado con vapor del maíz (MHV).

2.5.1.1. Efecto sobre indicadores de la digestión.

Las diferencias en el valor nutricional son prácticamente irrelevantes entre variedades del maíz (87, 88, 114). El hojueleado al vapor del maíz (MHV) incrementa la digestibilidad de la MS *in vitro* (26) y en rumen (16, 84; Cuadro 2.1).

Alimentar rumiantes con raciones conteniendo MHV disminuye ligeramente el pH ruminal, aumenta la producción de gas *in vitro* (56 vs 98 mL/g MS), y la producción total de ácidos grasos volátiles en rumen (26). Además disminuye la concentración (porcentaje Molar) de acetato en rumen, aumenta la de propionato disminuyendo la relación acetato/propionato y la producción de metano (26, 119; Cuadro 2.2).

La digestibilidad de la MO de la dieta es aumentada en rumen, intestino y consecuentemente en el tracto completo de los bovinos, al incrementar en 6.8% la energía digestible de la dieta (119, 122) y en 10.6% la energía del maíz retenida por novillos Angus para mantenimiento de masa corporal (44). En el Cuadro 2.3 se presentan valores mas detallados al respecto.

Cuadro 2.1.- Efecto del hojueleado con vapor del maíz sobre la digestibilidad de MS.

		<u>Procesamiento del maíz</u>		Referencia
		seco	vapor	
<i>in vitro</i> , %	9 h	23.1	28.4	Galyean (26)
	12 h	33.7	34.1	Galyean (26)
	8 h	23.1	27.4	Ramírez (86)
	12 h	51.0	55.8	Ramírez (86)
En rumen, %		48.3	61.5	Cole (16)
		48.9	62.0	Cole (17)
		80.6	81.7	Prigge (84)
En todo el tracto, %		70.1	74.8	Johnson (44)
		75.8	82.6	Cole (17)
		78.4	81.7	Ramírez (86)

BIBLIOTECA CENTRAL

Cuadro 2.2. Efecto del tratamiento con vapor del maíz sobre la producción de ácidos grasos volátiles y otros indicadores de la fermentación ruminal.

		Procesamiento del maíz		Referencia
		seco	vapor	
Producción de gas <i>in vitro</i>				
Total en 6 h (mL/g MS)		55.8	98.2	Galyean (26)
		58.6	110.0	Ramírez (86)
En rumen				
pH	4 h de incubación	6.2	6.1	Galyean (26)
	8 h	6.5	6.3	Galyean (26)
	3 h	6.2	5.7	Lee (54)
	9 h	6.3	6.2	Lee (54)
AGV				
Total, mM/mL		82.9	104.9	Galyean (26)
		61.5	65.3	Lee (54)
Acetato, % Molar		68.38	66.19	Galyean (26)
		65.20	62.80	Lee (54)
		66.20	62.90	Zinn (119)
Propionato, % Molar		16.41	18.54	Galyean (26)
		21.50	24.70	Lee (54)
		23.70	26.70	Zinn (119)
Acetato/propionato		4.17	3.57*	Galyean (26)
		3.20	2.60	Lee (54)
		2.85	2.45	Zinn (119)
Producción de metano ¹		0.59	0.54	Zinn (119)

*Calculado a partir de los valores publicados.

¹ Mol metano/Mol equivalente de glucosa fermentada.



Cuadro 2.3. Efecto del procesamiento con vapor del grano de maíz sobre la digestibilidad de la MO y energía.

	Procesamiento del maíz		Referencia
	seco	vapor	
En rumen, %	54.5	69.8	Cole (17)
	56.7	72.0	Lee (54)
	55.6	55.9	Zinn (119)
	56.1	66.5	Zinn (122)
En intestino delgado, %	47.3	57.6	Zinn (122)
En todo el tracto, %	77.6	84.2	Cole (17)
	66.3	77.2	Lee (54)
	80.1	83.2	Ramírez (86)
	73.4	75.9	Zinn (119)
	78.1	83.4	Zinn (122)
Energía digestible			
Porcentaje	77.8	81.3	Ramírez (86)
Mcal/kg	3.2	3.4	Zinn (122)

Un efecto conocido del procesamiento con vapor de los granos es un aumento en la gelatinización del almidón, Galyean *et al.* (26) encontraron un aumento de 15.4 a 24.1 mg de maltosa/g de maíz; Zinn (123) observó un incremento de 3.3 a 5.2% en la reactividad del almidón de maíz a la glucosidasa después de 30 minutos de exposición al vapor.

La gelatinización del almidón mejora su disponibilidad al ataque enzimático, lo que se manifiesta como un aumento en la digestibilidad del almidón en rumen y en todo el tracto, pero es especialmente notorio el beneficio del tratamiento sobre su digestibilidad en intestino la cual mejoró hasta en un 72% (119, 122). Este incremento en la digestibilidad intestinal del almidón puede atribuirse a una disminución en la cantidad de almidón que llega al intestino debido a su mayor degradación en rumen (95). La digestibilidad intestinal del almidón es función inversa de su cantidad que entra al intestino (55).

Además de la conocida capacidad limitada del intestino del bovino para digerir el almidón, la depresión del pH intestinal reduce la actividad de enzimas como la α -amilasa pancreática cuyo pH óptimo es 6.9 (110).

Además del efecto conocido del procesamiento con vapor es sobre los almidones (Cuadro 2.4), este afecta el metabolismo digestivo del nitrógeno, el procesamiento del maíz aumenta alrededor de 5% el N microbiano que llega a intestino (84, 122), aumentando en más de 7% la eficiencia proteica en rumen (122) y la digestibilidad del N en intestino delgado (16, 122). La acumulación de estos efectos resultan en un incremento en la digestibilidad de N en el tracto completo (16, 122; Cuadro 2.5).

2.5.1.2. Efecto sobre respuesta productiva de bovinos en engorda intensiva.

El hojueleado al vapor disminuye el consumo de MS, Ramírez *et al.* (86) con maíz entero seco contra MHV reportaron 7.01 vs 6.71 kg/d y Zinn (119) comparando maíz roloado en seco con MHV encontró consumos de 6.77 y 6.41 kg/d, respectivamente.

La ganancia de peso también se ve favorecida por el tratamiento con vapor, Lee *et al.* (54) encontraron ganancias diarias de peso (GDP) de 1.06 vs 1.18 kg/d para maíz entero y MHV, en tanto que Dunbar *et al.* (22) observaron GDP de 1.718 y 1.815 kg/d para maíz quebrado y MHV respectivamente. En consecuencia el MHV mejora la conversión alimenticia y disminuye la relación consumo/GDP en 8.5% (22, 54, 86, 119).

El efecto del hojueleado al vapor sobre la energía de la dieta fue estudiado por Zinn (119), quien estimó valores de 1.96 vs. 2.11 Mcal/kg., y 1.3 vs. 1.39 Mcal/kg. para ENm y ENg respectivamente (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.4. Efecto del hojueleado con vapor del maíz sobre la digestión del almidón.

	Procesamiento del maíz		Referencia
	seco	vapor	
En rumen, %	71.7	91.6	Cole (17)
	56.3	86.3	Lee (54)
	75.9	82.2	Zinn (119)
	68.3	84.9	Zinn (122)
En intestino delgado, %	76.2	88.4	Cole (17)
	54.3	93.6	Zinn (122)
En todo el tracto, %	93.6	99.0	Cole (17)
	78.3	98.7	Lee (54)
	93.0	99.1	Ramírez (86)
	91.0	97.0	Zinn (119)
	91.1	99.4	Zinn (122)
Gelatinización			
mg Maltosa/g maíz	15.4	24.1	Galyean (26)
Reactividad <i>in vitro</i> :			
porcentaje del almidón total	3.3	5.2	Zinn (122)

CUCBA



BIBLIOTECA CENTRAL

Cuadro 2.5. Efecto del hojueleado al vapor del grano de maíz sobre algunas características digestivas del nitrógeno.

	Procesamiento del maíz		Referencia
	seco	vapor	
Rumen			
digestibilidad, %	58.7	64.1*	Cole (16)
	68.4	66.1	Prigge (84)
	57.7	51.5	Zinn (119)
	62.8	63.5	Zinn (122)
N Microbiano, g/d	37.0	32.5	Cole (16)
	29.2	35.4	Prigge (84)
	66.0	59.0	Zinn (119)
	58.9	73.9	Zinn (122)
Eficiencia microbiana ¹	21.0	19.3*	Zinn (119)
	20.9	22.1	Zinn (122)
Eficiencia de la proteína ²			
	0.92	0.9*	Zinn (119)
	0.90	1.0	Zinn (122)
Intestino delgado			
digestibilidad, %	59.0	62.4	Cole (16)
	66.2	71.7	Zinn (122)
En el tracto completo			
digestibilidad, %	59.6	64.5	Johnson (44)
	67.5	73.4	Cole (16)
	68.0	68.5	Zinn (119)
	69.5	72.7	Zinn (122)

* Calculado a partir de los resultados publicados.

¹ g N Microbial/Kg MO fermentada.

² N no amoniacal g/N consumido g.

Cuadro 2.6. Efecto del hojueleado con vapor del maíz sobre la respuesta productiva de bovinos en engorda.

	Procesamiento del maíz		Referencia
	seco	vapor	
Ganancia de peso, kg/d	1.06	1.18	Lee (54)
	1.25	1.33	Ramírez (86)
	1.72	1.90	Dunbar (22)
	1.19	1.21	Zinn (119)
Consumo de MS, kg/d	7.44	7.32	Lee (54)
	7.01	6.71	Ramírez (86)
	9.46	9.92	Dunbar (22)
	6.77	6.41	Zinn (119)
MS consumida/ganancia	6.96	6.17	Lee (54)
	5.62	5.06	Ramírez (86)
	5.60	5.27	Dunbar (22)
	5.71	5.32	Zinn (119)
Energía neta			
ENm, Mcal/kg	1.98	2.06*	Dunbar (22)
	1.96	2.11	Zinn (119)
ENg, Mcal/kg	1.31	1.38*	Dunbar (22)
	1.30	1.39	Zinn (119)

*Calculados a partir de los valores publicados.

2.6. Efecto de la suplementación de nitrógeno en dietas.

La adición de proteína a las dietas a base de forraje, mejora la digestibilidad de las mismas y aumenta la cantidad de N proteico que llega a intestino, con más impacto la presencia de N suplementario *per se*, que la fuente misma (14, 81, 96). Bowman y Paterson (5) no encontraron diferencia en el metabolismo de N utilizando urea, soya y gluten, coincidiendo con lo señalado por Bunting *et al.* (7).

Con tres niveles de proteína digestible (PD; bajo 60 g /100 kg de PV; medio 150 g/100 kg PV; alto 230 g /100 kg. PV), Putnam *et al.* (85) encontraron un aumento en la digestibilidad aparente de MO, energía y FC con los niveles medio y alto comparado con el bajo, pero al aumentar el nivel de proteína, aumento la digestibilidad del N en rumen. La suplementación de 150 g aumentó la concentración de propionato y acetato.

Bunting *et al.* (6, 7) alimentó vaquillas Angus (234 kg de PV) con una dieta basada en maíz quebrado, y encontraron un aumento en la digestibilidad de N en todo el tracto, en la retención de N, digestibilidad de N en rumen y disminución del N amoniacal y de la actividad de ureasa ruminal 0.305 vs 0.215 y 0.247 vs 0.140 umoles de urea degradada/min/mL cerca de la pared ruminal y en medio de la digesta respectivamente, al aumentar la proteína de la dieta de 10.2% a 18.8%.

Por otro lado, Kirkpatrick y Kennelly (50) aumentaron de 14% a 16.5% la proteína de dietas basadas en maíz utilizando pasta de soya, observaron un incremento en la producción de propionato en rumen, N no amoniacal, digestibilidad de MO en rumen y de N en todo el tracto. Pero, cuando utilizaron harina de carne y hueso no observaron ninguna de las respuestas, excepto un aumento en la proteína de escape de rumen, del N no amoniacal llegando a intestino y una disminución de la digestibilidad de MO y producción de acetato en rumen.

2.6.1. Efecto de la suplementación con diferentes fuentes de N en dietas.

La diferencia en respuesta entre fuentes de N ha sido observada frecuentemente, en los trabajos de Pendlum *et al.* (80) la suplementación con pasta de soya aumentó el N alimenticio que llega a intestino, así como GDP (79). La digestibilidad intestinal y total de PC y aminoácidos de pasta de soya fue mayor que la de canola para becerros de 68 kg (51).

CUCBA



BIBLIOTECA CENTRAL

2.6.1.1. La degradabilidad ruminal de proteína.

El concepto de la resistencia de las proteínas de origen animal a la degradación por la microbiota en rumen, está asociado a la diferencia en la degradabilidad de proteína en rumen aunado a un aumento en la cantidad de N alimenticio que llega a duodeno. Para evaluar la posibilidad de aumentar la cantidad de proteína intacta que pasa a intestino y con esto mejorar la respuesta productiva, se han comparado pasta de soya con harina de sangre, harina de plumas, gluten de maíz y harina de pelo hidrolizado, sin encontrar diferencia en la digestibilidad de proteína en bovinos y borregos, ni en ganancia de peso o conversión alimenticia (32, 116).

En estas comparaciones la pasta de soya aumentó la digestibilidad pero disminuyó la retención de N (117) al aumentar la cantidad de N no amoniacal que llega a duodeno y se aumentó la cantidad de N absorbido en intestino, cuando se usó pasta de soya, harina de pescado, gluten de maíz y harina de sangre (102).

Goedeken *et al.* (31) observaron un aumento en GDP al substituir pasta de soya por harina de sangre o plumas, aunque la digestibilidad de N fue similar. La substitución de soya molida por harina de pescado también aumentó la GDP (20) y la adición de 2% de suplemento de una mezcla a partes iguales de harina de sangre, plumas y de carne y hueso aumentó la ganancia de peso y conversión alimenticia de novillos consumiendo una dieta con 12.5% de PC.

El aumento en el aporte de aminoácidos a duodeno y su efecto en mejora de los índices productivos, se relaciona con la disponibilidad de dichos aminoácidos para ser absorbidos e incorporados al animal. Mientras que en bovinos aún no es posible diferenciar el aporte de aminoácidos a partir de los distintos ingredientes que integran la dieta (31, 32).

Lo anterior, es de tomarse en cuenta además de la sola cantidad de aminoácidos que las diferentes fuentes hacen llegar a intestino, aspecto en el que los resultados son consistentes para las fuentes proteicas de origen animal y con algo de mayor variación en las de origen vegetal: harina de pescado (HP) 60 y 68%, harina de plumas 73, 69.1%; harina de sangre 82.8, 83.2, 90 y 93%; gluten de maíz 86 y 80%; y pasta de soya con 15, 18, 21, 25.6 y 26.6% de proteína sobrepasante, respectivamente (31, 32, 68, 102, 120, 130).

Sin embargo, con dietas basadas en maíz (con relación 20:80 de forraje:concentrado) el efecto benéfico de HP comparado con pasta de soya sobre la GDP, sólo ha sido observado en becerros en crecimiento sometidos a altas temperaturas ambientales (máxima de 32°C), observándose valores inferiores (1.33 vs. 1.49 kg/día) para las dietas con HP cuando no existió el estrés por calor (113).

Estos resultados coinciden con lo observado por Comenford *et al.* (18), quienes alimentando novillos Holstein o de cruza basadas en razas continentales con dietas basadas en maíz, compararon pasta de soya con HP en dietas de crecimiento (40:60 de relación forraje:concentrado) y de finalización (20:80, forraje:concentrado), no encontrando diferencias en GDP, conversión alimenticia, ni características de la canal.

McCarthy *et al.* (61) con vacas Holstein (583 kg de PV) alimentadas con dietas 45:55 de relación forraje:concentrado, conteniendo 44% de maíz molido, compararon HP con pasta de soya como suplemento proteico (7.13% y 9.12%, respectivamente). No observaron efecto sobre la MO digerida en rumen (38.8 vs. 46.9%), digestibilidad de almidón en rumen (51.6 vs. 46.9%), en intestino (41.3 vs. 46.6%) y en tracto completo (92.9 vs. 93.5%). La pasta de soya aumentó la producción de AGV's y el N microbiano que llega al intestino, sin encontrar diferencias en las proporciones molares de los distintos AGV's, así como en el N no amoniacal y el N de la dieta que llega al duodeno.

2.6.1.2. Efecto de los tratamientos para modificar la degradación ruminal de la proteína de origen vegetal.

Para aumentar la cantidad de proteína que resiste la degradación en rumen de proteínas de alto valor biológico, como las de pasta de soya, Chang *et al.* (12) compararon cuatro tratamientos térmicos: 1) 103.9°C sin vapor; 2) 103.3°C con vapor; 3) 104.4°C con 33 min de retención; y 4) 104.4°C con 66 min de retención (para escape de rumen), el calentamiento con retención de 66 minutos tendió a reducir la digestibilidad de lisina y valor biológico.

Nakamura *et al.* (65) probaron el daño causado por calor sobre la proteína de gluten de maíz, mezclándolo con 5.4% de xilosa y calentando a 150°C durante 90 minutos y lo incorporaron a cinco niveles con gluten normal en dietas para borregos; el calentamiento disminuyó un 46% la eficiencia proteica, un 22% la digestibilidad de N y aunque parte del N dañado puede ser absorbido postruminalmente, este no puede ser utilizado para crecimiento.

Por otro lado, Peña *et al.* (78), compararon el efecto de extruir (150°C/30 seg) o tostar semilla de algodón (304°C/3 min). El extruido aumentó la PC sobrepasante (56.7%), el flujo de aminoácidos al duodeno y la digestibilidad de N en todo el tracto; el tostado aumentó PC de sobrepaso y en heces, no mejoró la digestibilidad total de N e incrementó su contenido de N insoluble en detergente ácido.

Zinn *et al.* (131) compararon harinolina normal o peletizada en niveles de 18.17% de dietas de recepción para novillos de engorda, no encontrando efecto sobre ninguna variable metabólica ni productiva. También, Gardner y Akbar (28), no encontraron diferencia al peletizar una ración. Por otro lado, Thomas *et al.* (98, 99) encontraron que la pasta de soya calentada hasta 149°C mejoraba los índices metabólicos del N, pero no los productivos; en tanto que la adición de 0.8% de formaldehído o adicionando 10% de melaza de madera, se reduce la degradación de PC en rumen, aumenta el N no amoniacal llegando al intestino, mejora la ganancia de peso y la conversión alimenticia.

2.7. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas con maíz procesado en seco para bovinos de engorda.

2.7.1. Nitrógeno a partir de urea vs. proteína preformada.

2.7.1.1. Efecto sobre indicadores de la digestión.

La suplementación de NNP a partir de urea provoca una disminución ligera del pH ruminal 4 h después de la ingestión (70, 101), pero aunque, la urea libera rápidamente N amoniacal en rumen de N-NH₃ es menor (70, 115). Cuando se comparó con pasta de soya disminuyó la digestibilidad de MS en rumen y tracto completo (31, 53). La digestión de MO en rumen fue igual a HP e inferior a pasta de soya, pero la digestibilidad en intestino es menor que la de dietas con proteína preformada (115).

En intestino la digestibilidad del N dietético fue menor para dietas con urea que con proteína preformada, al igual que la cantidad de aminoácidos totales y provenientes de la dieta arribando a duodeno (53, 115). La digestibilidad del N en el tracto completo de dietas conteniendo urea es menor que con otras fuentes proteicas (5, 31, 53), en tanto que el N uréico en plasma es aumentado (97) y disminuida la retención de N (11). Para mayor detalle consulte los cuadros 2.7 a 2.11 que presentan información mas detallada sobre el efecto de la fuente de N sobre los indicadores de metabolismo digestivo.

Cuadro 2.7. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas de maíz procesado en seco sobre algunos indicadores de la fermentación ruminal.

	Fuente de N suplementario				Referencias
	NNP	Proteína preformada			
	Urea	P.Soya	H. Pescado	Otras	
pH	5.4	5.6	-	-	Oltjen (70)
	6.16	6.24	-	-	Thompson (101)
	6.5	6.3	6.4	-	Willms (115)
	-	6.27	6.47	-	Hussein (43)
	-	6.7	6.54	-	White (113)
Producción de AGV's					
Total mM	115.0	88.0	-	-	Oltjen (70)
	78.2	88.1	-	-	Thompson (101)
	100.6	106.3	100.5	-	Willms (115)
	-	92.5	78.3	-	Hussein (43)
	-	81.7	83.9	-	White (113)
Acetato mol/100					
	39.0	42.0	-	-	Oltjen (70)
	65.1	62.3	-	-	Thompson (101)
	66.3	68.3	68.2	-	Willms (115)
	-	65.5	66.2	-	Hussein (43)
	-	63.5	63.3	-	White (113)
Propionato mol/100					
	40.0	35.0	-	-	Oltjen (70)
	20.9	21.3	-	-	Thompson (101)
	20.8	18.1	19.7	-	Willms (115)
	-	19.8	21.0	-	Hussein (43)
	-	20.4	19.8	-	White (113)
Acetato/Propionato					
	0.98	1.2	-	-	Oltjen (70)
	3.11	2.9	-	-	Thompson (101)
	3.2	3.8	3.5	-	Willms (115)
	-	3.3	3.2	-	Hussein (43)
	-	3.3	3.5	-	White (113)

NNP Nitrógeno no proteico

Cuadro 2.8. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas de maíz procesado en seco sobre la digestión de MS.

	Fuente de N suplementario				Referencias
	NNP Urea	Proteína preformada			
		P.Soya	H. Pescado	Otras	
<i>In vitro</i>	59.8	61.6	-	-	Thomas (97)
Rumen, %	31.8	34.3	-	-	Kropp (53)
Tracto completo, %					
	49.9	55.2	-	-	Kropp (53)
	55.0	58.3	-	-	Goedeken (31)
NNP Nitrógeno no proteico					

Cuadro 2.9. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas de maíz procesado en seco sobre la digestión de MO.

	Fuente de N suplementario				Referencias
	NNP	Proteína preformada			
	Urea	P.Soya	H. Pescado	Otras	
Rumen, %	67.1	71.5	67.4	-	Willms (115)
	-	45.4	42.4	-	Hussein (43)
Intestino, %	41.0 ^b	47.0	50.4	-	Willms (115)
	-	50.6	49.0	-	Hussein (43)
Tracto completo, %	-	53.0	58.0	-	Kroop (53)
	72.8	73.7	72.7	-	Willms (115)
	-	68.3	66.6	-	Hussein y (43)

NNP Nitrógeno no proteico

^b Calculada a partir de valores publicados

Cuadro 2.10. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas de maíz procesado en seco sobre la digestión de almidón.

	Fuente de N suplementario				Referencias
	NNP Urea	Proteína preformada			
		P.Soya	H. Pescado	Otras	
Rumen, %	-	67.6	79.3	-	Hussein (43)
Intestino, %	-	91.4 ^b	81.6	-	Hussein (43)
Tracto completo, %	-	97.2	96.2	-	Hussein (43)

NNP Nitrógeno no proteico

^b Calculada a partir de valores publicados.

Cuadro 2.11. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas de maíz procesado en seco sobre la digestión y absorción de nitrógeno.

	Fuente de N suplementario				Referencias
	NNP Urea	Proteína preformada			
		P.Soya	H. Pescado	Otras	
<i>In situ</i>					
Soluble, %	-	25.8	32.6	-	Hussein (42)
Residual 24h, %	-	4.7	34.4	-	Hussein (42)
En rumen, %	-	68.2	51.9	-	Hussein (43)
N-NH ₃ , mg/100 mL					
4 h	6.8	8.1	-	-	Oltjen (70)
4 h	-	32.9	27.0	-	Hussein (43)
9 h	6.5	12.4	4.8	-	Willms (115)
Eficiencia microbiana ^b	11.6 ^a	9.9	-	-	Kropp (53)
	-	67.3	68.7	-	Hussein (43)
	3.04	2.98	3.38	-	Willms (115)
En intestino, %	-	67.3	68.7	-	Hussein (43)
	56.5	65.6	58.4	-	Willms (115)
Amino ácidos digestión, %					
Totales	-	71.8	70.5	-	Hussein (43)
Escenciales	-	72.9	71.7	-	Hussein (43)
Amino ácidos llegando N g/d					
Totales	15.8 ^a	18.9	-	-	Kropp (53)
	59.6	65.3	-	-	Thompson (101)
	178.0	193.0	222.0	-	Willms (115)
Escenciales	80.8	90.6	100.5	-	Willms (115)
No escenciales	97.2	103.2	121.5	-	Willms (115)
Bacteriano	10.6 ^a	10.1	-	-	Kropp (53)
	143.2	156.9	161.1	-	Willms (115)
N bacteriano	5.2 ^a	8.8	-	-	Kropp (53)
	34.8	36.4	60.9	-	Willms (115)
Tracto completo, %	53.3	59.0	-	-	Kropp (53)
	66.7	67.7	-	HS 67.5	Goedeken (31)
	-	69.2	66.8	-	Hussein (43)
	65.3	63.5	65.7	-	Willms (115)
N-Ureico en plasma 4h mg/dL					
Total	-	6.3	5.8	-	White (113)
	-	11.7	12.0	-	Nimrick (66)
Cambio	+3.24	-1.37	-	-	Thomas (97)

NNP Nitrógeno no proteico, ^a mg de N/g de MS^b g de N/100 de MO fermentada en rumen

2.7.1.2. Efecto sobre respuesta en bovinos de engorda.

La suplementación de proteína a partir de pasta de soya, comparada con urea, aumentó la ganancia de peso y conversión alimenticia en novillos Holstein (8, 79), Hereford x Angus y otras cruas especializadas (13, 31, 81) y con Angus x Hereford de 295 kg de peso inicial [0.92 vs. 0.99 kg/d (80)]. Con dietas suplementadas con gluten de maíz (89), harinolina (75), harina de sangre (31) y mezclas de pasta de soya con harina de plumas hidrolizada (11) la respuesta superior en ganancia de peso de las dietas suplementadas con proteína preformada sobre las que contuvieron urea fue consistente pero la diferencia puede llegar hasta el 20% (Cuadro 2.12 y 2.13). Con borregos se ha presentado un comportamiento similar (115).

El consumo de MS de bovinos en engorda disminuye por la presencia de urea (29, 57, 76) y la conversión (consumo MS/ganancia de peso) aumenta hasta en un 10% (9, 75), lo que se refleja en un menor valor de la energía contenida en la dieta (Cuadro 2.14).

Aunque son escasas las comparaciones directas entre urea y HP, los resultados de numerosos experimentos muestran que HP tiene un comportamiento similar o superior a otras fuentes de proteína preformada en cuanto a metabolismo y producción (18, 20, 31, 50, 102, 113) y experimentos con borregos donde compararon urea, pasta de soya y HP en dietas con maíz procesado en seco validan esta afirmación (115).

2.8. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas con MHV para bovinos de engorda.

2.8.1. Nitrógeno a partir de urea vs. proteína preformada.

2.8.1.1. Efecto sobre indicadores de la digestión.

La suplementación de N a partir de urea por proteína a partir de harina de sangre en dietas de finalización basadas en MHV no modificó la digestibilidad de MO de la dieta en rumen (50.5 vs. 49.8%), en intestino (61.4 vs. 61.2%), ni en todo el tracto digestivo [80.9 vs. 80.6% (121)]. Resultados similares fueron encontrados en trabajos posteriores (129, 134).

Al comparar la pasta de soya y urea como fuentes de N, Zinn *et al.* (129), no encontraron diferencia en la digestibilidad de almidón en rumen (86.1 vs 84.4%), intestino (95.6 vs 95.1%) y en tracto completo (99.7 vs 99.4%).

Cuadro 2.12.- Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas de maíz procesado en seco sobre la ganancia de peso de rumiantes en engorda.

	Fuente de N suplementario				Referencias
	NNP	Proteína preformada			
	Urea	P.Soya	H. Pescado	Otras	
Ganancia, kg/d					
	1.190	1.290	-	-	Perry (76)
	0.670	0.760	-	-	Thompson (101)
	1.167	1.221	-	-	Perry (77)
	0.410	0.470	-	GLU 0.5	Rock (89)
	1.290	1.470	-	-	Thomas (97)
	0.620	-	-	HAR 0.91	Pate (75)
	0.380	0.510	-	HS 0.69	Goedeken (31)
	0.190	0.380	-	-	Goedeken (32)
	1.460	1.680	-	-	Ludden (57)
	1.010	1.120	-	-	Burris (9)
	1.380	1.560	-	-	Gebauer (29)
	1.510	-	-	S/P 1.64	Cecava (11)
Promedio	0.940	1.133	diferencia: 20.5%		
	-	0.830	1.010	-	Davenport (20)
	-	1.490	1.330	-	White (113)
	-	1.160	1.220	-	White (113)
	-	1.400	1.680	-	Comerford (18)
	-	1.040	1.070	-	Comerford (18)
Promedio	1.184	1.262	diferencia: 5.88%		
En borregos					
	-	0.280	0.310	-	Nimrick (66)
	-	0.241	0.244	-	Hussein (42)
	-	0.282	0.305	-	Hussein (42)
	0.150	0.260	0.290	-	Willms (115)

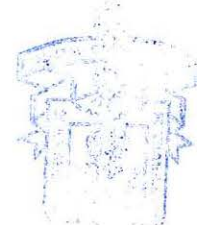
GLU= Gluten de maíz

HAR= Harinolina

HS = Harina de sangre

S/P= Pasta de soya y harina de plumas hidrolizada

CUCBA



BIBLIOTECA CENTRAL

Cuadro 2.13. Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas de maíz procesado en seco sobre el consumo de alimento de rumiantes en engorda.

	Fuente de N suplementario				Referencias
	NNP Urea	Proteína preformada			
		P.Soya	H. Pescado	Otras	
Consumo, kg/d	9.60	9.80	-	-	Perry y (76)
	9.80	9.90	-	-	Thompson (101)
	6.29	5.95	-	GLU 7.11	Rock (89)
	9.50	10.1	-	-	Thomas (97)
	5.90	-	-	HAR 6.46	Pate (75)
	5.85	6.03	-	HS 6.06	Goedeken (31)
	5.00	5.30	-	-	Goedeken (32)
	7.60	8.42	-	-	Ludden (57)
	7.14	6.60	-	-	Burris (9)
	7.83	8.63	-	-	Gebauer (29)
	10.38	-	-	S/P 10.47	Cecava (11)
Promedio	7.715	7.756	diferencia: 5.33%		
	-	6.10	6.20	-	Davenport (20)
	-	11.0	10.8	-	White (113)
En Borregos					
	-	1.56	1.45	-	Nimrick (66)
	1.26	1.49	1.63	-	Willms (115)

GLU= Gluten de maíz

HAR= Harinolina

HS = Harina de sangre

S/P= Pasta de soya y harina de plumas hidrolizada.

Cuadro 2.14.- Efecto de la fuente de nitrógeno suplementario en dietas de maíz procesado en seco sobre la conversión de alimento de rumiantes en engorda.

	Fuente de N suplementario				Referencias
	NNP Urea	Proteína preformada			
		P.Soya	H. Pescado	Otras	
Consumo/Ganancia					
	8.1	7.6	-	-	Perry (76)
	14.6	13.0	-	-	Thompson (101)
	6.7	6.6	-	-	Perry (77)
	15.2	12.6	-	-	Rock (89)
	7.4	6.9	-	-	Thomas (97)
	9.5	-	-	HAR 7.1	Pate (75)
	5.2	5.0	-	-	Ludden (57)
	7.0	6.0	-	-	Burris (9)
	5.6	5.5	-	-	Gebauer (29)
	6.8	-	-	S/P 6.4	Cecava (11)
Promedio	8.61	7.67	diferencia: 10.92%		
	-	7.39	6.13	-	Davenport (20)
	-	7.38	8.12	-	White (113)
Promedio/exp.		7.385	7.125		
En borregos	-	5.6	4.7	-	Nimrick (66)
	-	6.0	5.9	-	Hussein (42)
	8.4	5.7	5.6	-	Willms (115)
Promedio	8.4	5.8	5.4		
Energía Mcal/kg ^b					
ENm	1.97	-	-	S/P 2.06	Cecava (11)
ENg	1.30	-	-	1.38	Cecava (11)

HAR= Harinolina

S/P= Pasta de soya y harina de plumas hidrolizada.

^b Calculada a partir de resultados publicados.

Zinn y Owens (134) con urea comparada a una mezcla de harinas (partes iguales de HP, harina de sangre y harina de carne y hueso), observando que la digestibilidad en rumen del N alimenticio fue similar (42.9 vs. 40.7%). Por otro lado al utilizar pasta de soya o urea, Zinn *et al.* (129) tampoco observaron diferencia (60.3 vs. 56.7%), como tampoco se encontró utilizando harina de sangre (121). La eficiencia de utilización de N en rumen también fue similar en los tres experimentos promediando 1.06 g de N no amoníaca/100 g de N alimenticio.

El promedio de digestibilidad intestinal de N en estos experimentos fue 64.7 y 62.3% para urea y proteína preformada (PP), respectivamente. La digestibilidad del N en tracto completo promedió 71.0 y 71.3% para las dietas conteniendo urea y PP respectivamente (Cuadro 2.15).

2.8.1.2. Efecto sobre respuesta en bovinos de engorda.

La GDP de novillos alimentados con una dieta de finalización basada en MHV fue de 1.40 kg, tanto cuando fue suplementada con urea como con harina de sangre (121). Zinn y Owens (134) utilizaron una mezcla de fuentes de PP y encontraron 1.34 vs. 1.39 kg para urea y PP, en tanto que suplementando urea o pasta de soya la ganancia fue de 1.40 y 1.41 Kg respectivamente (129).

El consumo de alimento promedio en los experimentos mencionados fue 6.53 y 6.55 kg/d para urea y PP, en tanto que la conversión de alimento fue de 4.71 para dietas con urea y 4.65 para dietas con PP. La energía neta de mantenimiento de la dieta fue de 2.31 Mcal/kg tanto cuando se suplementó con urea o harina de sangre (121), siendo 2.38 Mcal/kg cuando se usó urea o pasta de soya (129).

La energía neta para ganancia se calculó en 1.49 Mcal/kg con urea o harina de sangre (121) y 1.19 vs 1.23 Mcal/kg para urea o una mezcla de PP (134). En todos los casos se observaron valores bastante similares entre las dietas suplementadas con N no proteico o con proteína preformada (Cuadro 2.16).

Cuadro 2.15. Efecto de la fuente de nitrógeno en dietas con maíz tratado con vapor sobre la digestión de novillos de engorda.

	Urea	Proteína	Fuente	Referencia
En rumen, %				
MO	50.5	49.8	HS	Zinn (120)
	54.4	53.3	MP	Zinn y Owens (134)
	68.9	67.3	PS	Zinn (129)
N de dieta	52.4	45.6	HS	Zinn (120)
	42.9	40.7	MP	Zinn y Owens (134)
	60.3	56.7	PS	Zinn (129)
Almidón	86.1	84.4	PS	Zinn (129)
Eficiencia de N				
	1.01	1.02	HS	Zinn (120)
	1.16	1.09	PS	Zinn y Owens (134)
	1.03	1.05	PS	Zinn (129)
En Intestino, %				
MO	61.4	61.2	HS	Zinn (120)
	52.4	54.9	MP	Zinn y Owens (134)
	71.0	69.1	PS	Zinn (129)
Nitrógeno	73.2	70.2	HS	Zinn (120)
	42.9	40.7	MP	Zinn y Owens (134)
	78.0	76.0	PS	Zinn (129)
Almidón	95.6	95.1	PS	Zinn (129)
En todo el tracto, %				
MO	80.9	80.6	HS	Zinn (120)
	78.5	80.2	MP	Zinn y Owens (134)
	87.4	86.6	PS	Zinn (129)
Nitrógeno	73.0	69.5	HS	Zinn (120)
	63.4	70.1	MP	Zinn y Owens (134)
	76.7	74.3	PS	Zinn (129)
Almidón	99.7	99.4	PS	Zinn (129)

PS = Pasta de soya, HS = Harina de sangre, MP = Mezcla de proteínas.

Cuadro 2.16. Efecto de la fuente de nitrógeno en dietas con maíz tratado con vapor sobre la respuesta productiva de novillos de engorda.

	Urea	Proteína	Fuente	Referencia
Ganancia, kg/d				
	1.48	1.48	HS	Zinn (121)
	1.34	1.39	MP	Zinn y Owens (134)
	1.40	1.41	PS	Zinn (129)
Promedio	1.41	1.43		
Consumo de MS kg/d				
	5.56	5.54	HS	Zinn (121)
	6.81	6.84	MP	Zinn y Owens (134)
	7.21	7.26	PS	Zinn (129)
promedio	6.53	6.55		
Consumo/ganancia				
	3.75	3.76	HS	Zinn (121)
	5.10	4.93	PS	Zinn y Owens (134)
	5.28	5.26	PS	Zinn (129)
promedio	4.71	4.65		
Energía Neta Mcal/kg ENm				
	2.31	2.31	HS	Zinn (121)
	1.82	1.87	MP	Zinn y Owens (134)
	2.38	2.38	PS	Zinn (129)
promedio	2.17	2.19		
ENg				
	1.49	1.49	HS	Zinn (121)
	1.19	1.23	MP	Zinn y Owens (134)
promedio	1.34	1.36		

PS=Pasta de soya,
HS=Harina de sangre,
MP=Mezcla de proteínas.

CUCBA



BIBLIOTECA CENTRAL

2.9. Aparentemente existe una interacción.

El cuadro 2.17 presenta un resumen de los promedios de respuesta reportados en los cuadros 9-11 vs. 15 y 12-14 vs. 16, donde se aprecian las diferencias observadas debido a la fuente de N suplementario a partir de urea o PP en dietas donde el grano fue maíz procesado en seco (MPS) y prácticamente no existen cuando es MHV la base para la elaboración de las mismas. Por ejemplo, la digestibilidad intestinal de MO y N difieren en 8.3 y 5.5% entre urea y PP con MPS, al tiempo que se reduce a 0.1 y 2.4% con MHV.

La diferencia en digestibilidad en tracto completo de MO y N es de 0.2 y 0.3% con MHV. La diferencia en GDP entre urea y PP fue de 0.190 kg/d con MPS y es de sólo 0.020 kg/d con MHV; consumo /ganancia es 0.94 con MPS y 0.06 con MHV. Esto se refleja en la energía de la dieta de 90 vs 20 Kcal/kg entre fuente de N cuando la dieta se basa en urea o PP respectivamente a la vez que la diferencia de 80 Kcal/kg se reduce a 20 Kcal/kg de energía neta de ganancia para la suplementación con urea o PP con la utilización de MHV en la dieta comparado con el uso de MPS.

Estos resultados sugieren la existencia de una interacción entre el tipo de procesamiento del maíz (MPS o MHV) y la fuente de nitrógeno suplementario a partir de urea o PP, sin embargo, no se encontró en la literatura trabajos en los que se haya efectuado una comparación directa que permitan sustentar experimentalmente esta hipótesis.

Cuadro 2.17. Comparación mostrando la probable interacción utilizando los valores promedio presentados en los cuadros 9, 10, 11 vs. 15; y 12, 13, 14 vs. 16.

Variable	Maíz en seco		Maíz con vapor	
	Urea	Proteína	Urea	Proteína
Digestibilidad, %				
En intestino:				
Materia orgánica	41.0	49.3	61.6	61.7
Nitrógeno	56.5	62.0	64.7	62.3
Almidón	-	86.5	95.6	95.1
En tracto completo:				
Materia orgánica	72.8	73.2	82.27	82.47
Nitrógeno	61.77	65.63	71.0	71.3
Almidón	-	96.7	99.7	99.4
Respuesta productiva:				
Ganancia, kg/d	0.940	1.133	1.410	1.430
Consumo MS, kg/d	7.715	7.756	6.530	6.550
Consumo/ganancia	8.61	7.67	4.71	4.65
Energía Neta Mcal/kg				
Mantenimiento	1.97	2.06	2.17	2.19
Ganancia	1.30	1.38	1.34	1.36

3. HIPÓTESIS.

El aumento en la cantidad de proteína que llega al duodeno mejora la digestibilidad postruminal del almidón y en la respuesta productiva de bovinos en finalización, cuando estas dietas están basadas en maíz quebrado en comparación con el maíz hojueado al vapor.

4. OBJETIVOS

4.1. General

Determinar el efecto de una mayor cantidad de proteína presente a nivel intestinal como consecuencia de un aumento en el nivel de suplementación de nitrógeno o incrementando el contenido de nitrógeno sobrepasante de la dieta sobre las características de la digestión posruminal del almidón, la respuesta productiva y las características de la canal de bovinos en engorda intensiva, consumiendo dietas de finalización basadas en maíz quebrado en seco o en maíz hojueleado al vapor.

4.2. Particulares

- 1.- Comparar el efecto de la suplementación con 10% de harinolina a dietas basadas en maíz quebrado o en maíz hojueleado al vapor sobre los indicadores de producción y características de la canal de bovinos de engorda en finalización.
- 2.- Determinar el efecto de la suplementación con 10% de harinolina a dietas basadas en maíz quebrado o en maíz hojueleado al vapor sobre los indicadores del metabolismo digestivo de bovinos de engorda en finalización.
- 3.- Evaluar el efecto de la substitución de 0.8% de urea por 4.6% de harina de pescado como suplemento proteico en dietas basadas en maíz quebrado o en maíz hojueleado al vapor sobre los indicadores del metabolismo digestivo de bovinos de engorda en finalización.

5. MATERIAL Y MÉTODOS.

El trabajo se realizó en las instalaciones de la unidad metabólica para bovinos, corraletas para prueba de comportamiento de bovinos productores de carne y laboratorio principal del Desert Research and Extension Center de la Universidad de California, Davis, ubicado en El Centro, California, USA.

5.1. Experimento 1.

Se utilizaron ochenta vaquillas (aproximadamente 25% de sangre Brahman con el resto de sangre Hereford, Angus, Shorthorn, Gelviah y Charolais) con peso promedio inicial de 357 kg, en una prueba de alimentación con 110 días de duración.

Las vaquillas fueron agrupadas por peso y aleatoriamente asignadas para alojar cinco de ellas en cada una de 16 corraletas (28 m²) equipadas con bebedero automático y comedero de cemento. Se compararon dos métodos de procesamiento del grano (maíz quebrado y MHV) y dos niveles de proteína cruda (11% y 15%) a partir de dos combinaciones de urea y harinolina, en un arreglo factorial 2 x 2.

Los ingredientes que conformaron las dietas en que consistieron los tratamientos se presentan en el cuadro 5.1. El MHV fue preparado con el procedimiento siguiente: la cámara de vapor de la roladora, situada directamente encima de los rodillos (corrugados de 46 x 61 cm) fue llenada con 441 kg de maíz amarillo grado dos y luego utilizando vapor fue llevada a una temperatura constante de 102°C a presión atmosférica. El grano fue sometido al vapor por 20 min antes de poner a trabajar los rodillos. Aproximadamente 454 kg del MHV utilizado en el calentamiento y puesta a punto de la roladora, fueron eliminados y no se usaron para alimentar al ganado en éste trabajo.

La tensión de los rodillos fue ajustada para proveer MHV con una densidad de 0.31 kg/L. El tiempo de retención en la cámara de vapor fue de aproximadamente 30 min., se permitió que el MHV se secara al aire antes de usarse en la preparación de las dietas.

Cuadro 5.1. Composición de las dietas utilizadas en los experimentos uno y dos.

Ingrediente	Maíz Quebrado		Maíz Hojueleado	
	Urea	HAR ^a	Urea	HAR ^a
Maíz quebrado	74.05	64.05	-	-
Maíz hojueleado	-	-	74.05	64.05
Harinolina	-	10.0	-	10.0
Urea	0.8	0.8	0.8	0.8
Heno de alfalfa	6	6	6	6
Heno de sudan	6	6	6	6
Grasa amarilla	3	3	3	3
Melaza de caña	8.0	8.0	8.0	8.0
Piedra caliza	1.5	1.5	1.5	1.5
Sal mineralizada ^b	0.5	0.5	0.5	0.5
Oxido de Magnesio	0.15	0.15	0.15	0.15
Análisis calculado ^c (base MS)				
PC, %	11.35	14.96	11.35	14.96
ENm, Mcal/Kg	2.13	2.10	2.23	2.19
ENg, Mcal/Kg	1.46	1.43	1.55	1.51
Ca, %	0.70	0.71	0.70	0.71
P, %	0.30	0.30	0.30	0.30

^a HAR = Harinolina.

^b = contiene: CoSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 0.75%; MnSO₄, 1.07%; KI, 0.052%; NaCl 93.4%.

^c Calculado en base a valores teoricos (69), a excepción de grasa amarilla que fue determinada asignándole valores 6.03 y 4.79 Mcal/kg de ENm y ENg respectivamente (120).

El maíz quebrado (**MQ**) fue preparado pasando el maíz a través de los rodillos en ausencia de vapor, ajustando la tensión para proveer maíz quebrado con una densidad de .57 kg/L. La prueba inició en noviembre 1, 1995. Al inicio de la prueba y al día 56, las vaquillas fueron implantadas con Synovex-H (Syntex, Des Moines, IA, USA). Las dietas fueron preparadas a intervalos semanales y almacenadas en cajas de triplay localizadas enfrente de cada corraleta. A las vaquillas se les permitió libre acceso a las dietas en los diferentes tratamientos, el alimento fue ofrecido dos veces diarias en cantidad de aproximadamente 110% del consumo voluntario.

En las semanas 2, 4, 6, 8 y 10 se tomaron muestras compuestas de heces recientemente depositadas en el del piso de cada corraleta, se les determinó pH mezclando 50 g de material fecal con 50 g de agua desionizada e insertando directamente el electrodo de un potenciómetro de uso múltiple (35). Las muestras de heces fueron analizadas para almidón (122).

El peso de la canal caliente fue obtenido de todas las vaquillas al momento del sacrificio y se midió la presencia de abscesos hepáticos. Después de 48 h de almacenamiento de la canal en cuarto refrigerado, se realizaron las siguientes mediciones: 1) Área del *Longissimus dorsi*, medida por lectura directa con gradilla sobre el *Longissimus* a la altura de la 12ª costilla; 2) Grasa subcutánea sobre el músculo *Longissimus* a la altura de la 12ª costilla tomada a 3/4 de longitud lateral del final del hueso; 3) Estimación ocular del contenido de grasa pélvica, renal y cardíaca (**PRC**) como porcentaje del peso de la canal; y 4) Grado de marmoleo (USDA 1965).

Los pesos iniciales y finales fueron obtenidos con el ganado lleno de alimentado (no dietado). Al peso se le redujo un 4% como estimado del contenido del tracto digestivo (67). La retención de la energía (**ER**, Megacalorias) fue derivada de mediciones directas del peso vivo (**LW**, kg) y **GDP** (**ADG**, kg/día) de acuerdo con la fórmula (56, 67):

$$\text{Vaquillas ER} = (0.0686 \text{ LW}^{0.75}) \text{ ADG}^{1.119}$$

El contenido de la energía neta de la dieta para mantenimiento y ganancia fue calculado asumiendo una producción constante de calor por digestión (MQ) de $0.077 \text{ LW}^{0.75} \text{ Mcal/d}$ (65). De los estimados de ER y MQ los valores de EN_m y EN_g de las dietas fueron obtenidos por un proceso de iteración (119) para cumplir la relación: $\text{EN}_g = (0.877 \text{ EN}_m) - 0.41$ (67).

Este experimento fue analizado como un diseño de bloques completos al azar (92) con arreglo factorial 2×2 de los tratamientos (38), utilizando cada corraleta (cinco vaquillas) como la unidad experimental.

5.2. Experimento 2.

Se utilizaron cuatro novillos Holstein (413 kg) dotados con cánulas tipo "T" en el rumen y duodeno proximal, para evaluar el efecto de incrementar el nivel de proteína en la dieta adicionando harinolina (HAR) como fuente de proteína verdadera y el procesamiento del MQ o MHV sobre la digestión postruminal del almidón y otras características de la digestión en rumen y tracto completo.

Los novillos fueron mantenidos con temperatura (27°C) e iluminación constante las 24 h del día, alojados en corraletas individuales (3.9 m^2) con piso de vigas de concreto, con un bebedero por cada dos corraletas.

Los tratamientos fueron: 1) Dieta con 11% PC conteniendo 74% de MQ (densidad = 0.57 kg/L) + 0.8% urea (U); 2) Dieta 15% PC con 64% MQ + 0.8% U + 10% HAR; 3) Dieta 11% PC con 74% de MHV (densidad = 0.31 kg/L) + 0.8% U; y 4) Dieta 15% PC con 64% MHV + 0.8% U + 10% HAR.

En todas las dietas se incluyó óxido de cromo en 0.4% de la MS como marcador indigestible. Las dietas fueron ofrecidas diariamente en igual cantidad a las 0800 y 2000 horas. El consumo individual fue restringido a 8.3 kg/d (base MS). Después de un período de adaptación a tratamientos de 10 días, muestras de contenido duodenal y heces se colectaron

dos veces diarias durante cuatro días sucesivos, con la siguiente secuencia de horas: día 1, 1050 y 1650; día 2, 0900 y 1500; día 3, 0750 y 1350; y día 4, 0600 y 1200.

Muestras individuales consistieron en aproximadamente 500 mL de líquido duodenal y 200 g (base húmeda) de materia fecal. Las muestras de heces representaron una muestra compuesta de lo acumulado en el piso entre intervalos de muestreo. Las muestras de quimo y heces de cada novillo en cada período fueron mezcladas para producir una muestra compuesta (igual peso, base húmeda) para su análisis. Durante el último día de colección de cada período se obtuvieron a través de la cánula muestras de líquido ruminal a las 1, 2, 3, 4, y 5 horas después de la comida matutina.

El pH del líquido ruminal (LR) fue determinado insertando un electrodo en la muestra recién obtenida. La muestra de LR fue dividida en dos partes: 40 mL de líquido filtrado a través de cuatro capas de gasa fue mezclado con 10 mL de ácido metafósforico (25% p/v), guardado en bolsa de plástico estéril y congelada a -20°C para la determinación de AGV. El resto de la muestra se guardó en bolsa de plástico colocada en baño con hielo y destinada para la determinación de amoníaco en LR fresco (24).

Una vez completada la prueba, se obtuvieron 500 mL de LR de cada uno de los novillos integrándose en una muestra compuesta y utilizados para obtener un aislado de bacterias por centrifugación diferencial (2). El aislado microbiano fue preparado para análisis secándolo en estufa a 75°C y moliéndolo posteriormente con mortero.

Las muestras de alimento, quimo duodenal y heces fueron preparadas para análisis secadas en estufa a 70°C y luego molidas en molino de laboratorio (Micro-Mill, Bel-Arts Products, Pequannock, NJ, USA). Después las muestras fueron secadas a 105°C hasta peso constante y guardadas en frasco de vidrio con tapón de rosca. Las muestras fueron sujetas a todos o parte de los siguientes análisis: Cenizas, N por Kjeldahl, N amoníacal (1); almidón (59, 122); purinas (132); AGV en LR por cromatografía de gases (23), energía bruta (bomba calorimétrica adiabática), y óxido de cromo (39).

La cantidad de MO microbial (**MOM**) y N microbiano (**NM**) que llegaba a intestino se calculo utilizando purinas como marcador (133). La MO fermentada en rumen (**MOF**) se consideró igual al consumo de MO menos la diferencia entre la cantidad total de MO y MOM que llega al duodeno. El N alimenticio alcanzando intestino delgado fue calculado como el N total saliendo de abomaso, menos el N amoníacal y NM. Esta prueba fue analizada como un cuadrado latino 4 x 4 (38) con un arreglo factorial 2 x 2.

5.3. Experimento 3.

Se utilizaron cuatro novillos Holstein (399 kg) con cánulas "T" en el rumen y duodeno proximal, para evaluar el efecto de incrementar el N arribando al intestino delgado por medio de la substitución de urea (U) por HP como una fuente de proteína sobrepasante de rumen y el MQ o MHV sobre, la digestión postruminal de almidón y otras características de la digestión en rumen y tracto completo.

Los novillos fueron mantenidos en condiciones similares a las del experimento 2. Las dietas isoproteicas (11.9% de PC) en que consistieron los tratamientos (Cuadro 5.2) fueron: 1) Dieta con 81% MQ (densidad = 0.57 kg/L) + 1.2% U; 2) MQ 77.2% + 0.4% U + 4.6% HP; 3) 81% MHV (densidad = 0.31 kg/L) + 1.2% U; 4) 77.2% MHV + 0.4% U + 4.6% HP. El procedimiento experimental fue similar al experimento 2.



Cuadro 6.2. Composición de las dietas utilizadas en el experimento tres.

Ingrediente	Maíz Quebrado		Maíz Hojueado	
	Urea	HAR ^a	Urea	HAR ^a
Maíz quebrado	81.0	77.2	-	-
Maíz hojueado	-	-	81.0	77.2
Harina de pescado	-	4.6	-	4.6
Urea	1.2	0.4	1.2	0.4
Heno de alfalfa	6.0	6.0	6.0	6.0
Heno de sudan	6.0	6.0	6.0	6.0
Grasa amarilla	3.0	3.0	3.0	3.0
Piedra caliza	1.6	1.6	1.6	1.6
Fosfato dicálcico	0.35	0.35	0.35	0.35
Sal mineralizada ^b	0.45	0.45	0.45	0.45
Oxido de cromo	0.40	0.40	0.40	0.40
Análisis calculado (base MS) ^c				
PC, %	13.45	13.44	13.45	13.44
ENm, Mcal/Kg	2.16	2.16	2.27	2.26
ENg, Mcal/Kg	1.49	1.49	1.59	1.58
Ca, %	0.83	1.1	0.85	1.2
P, %	0.39	0.53	0.39	0.53

^a HP = Harina de Pescado (Menhaden).

^b = contiene: CoSO₄.068%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, .75%; MnSO₄, 1.07%; KI, .052%; NaCl 93.4%.

^c Calculado en base a valores de tablas (69) con excepción de grasa amarilla que fue calculada asignándole valores 6.03 y 4.79 Mcal/Kg de ENm y ENg respectivamente (120).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Experimento 1.

El efecto de MHV vs MQ y de 11 vs 15% de PC en la dieta sobre la respuesta de vaquillas alimentadas con dietas de finalización, se presenta en el cuadro 6.1. La ganancia diaria de peso no fue afectada ($P > .20$) por los tratamientos. El consumo de materia seca fue disminuido ($P = 0.07$) en 9.2% por MHV. La conversión alimenticia (alimento/ganancia) fue mejorada 13.99% ($P < 0.01$) por el MHV. El procesamiento con vapor y posterior hojueleado del maíz mejoró ($P < 0.01$) en 13% la ENm y 14.6% la ENg de la dieta. Las dietas con U-HAR (15% PC) presentaron mayor ($P = 0.09$) conversión alimenticia y menores ($P = 0.07$) valores de ENm y ENg de la dieta. Dado que el MHV substituyó a una cantidad igual de MQ en la dieta (Cuadro 6.1).

Puede asumirse que la EN del MHV es igual a la EN de MQ remplazado más el cambio en la EN de la dieta acarreado por la substitución. De acuerdo con esto y dado que los valores de ENm y ENg del maíz amarillo procesado en seco son 2.24 y 1.55 Mcal/kg MS respectivamente (69), los valores correspondientes para el MHV en este experimento serian de 2.6 y 1.83 Mcal/kg para ENm y ENg, respectivamente. Esto representa un incremento en los valores de EN del MHV de 14.7 y 18.1% para mantenimiento y ganancia, respectivamente.

Existen pocos resultados disponibles en la literatura con los cuales comparar los resultados de éste trabajo. Una disminución en consumo de alimento por efecto de MHV ha sido reportada previamente (54, 119). Matsushima y Montgomery (60) encontraron un 6% de incremento en ganancia de peso y un 12% de mejora en conversión alimenticia en novillos. Calculando a partir de los valores publicados en ése trabajo, los valores estimados de ENm y ENg del MHV fueron 2.51 y 1.75 Mcal/kg MS respectivamente. Lee *et al.* (54) observaron un 11.3% de incremento en ganancia y un 11.4% en mejoramiento de la conversión alimenticia.

Ramírez *et al.* (86) observaron 6.4% de incremento en ganancia y 11.1% de mejora en conversión alimenticia. Derivando de sus valores de comportamiento productivo, los valores estimados de ENm y ENg para MHV fueron de 2.6 y 1.76 Mcal/Kg, respectivamente.

Cuadro 6.1. Influencia del método de procesamiento (Quebrado vs. Hojueleado) y fuente de proteína sobre la producción de vaquillas en finalización (experimento 1).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HA	Urea	HA		P	N	P x N
Peso inicial, kg	356.0	357.0	359.0	358.0	2.84	>0.40	>0.40	>0.40
Peso final, kg	476.0	468.0	488.0	474.0	9.09	>0.40	>0.40	>0.40
GDP, kg	1.10	1.01	1.19	1.08	0.06	0.34	0.20	>0.40
Consumo de MS, kg	8.41	8.02	7.56	7.49	0.28	0.07	>0.40	>0.40
Consumo/Ganancia	7.64	7.94	6.37	7.03	0.21	<0.01	0.09	>0.40
Dieta ENm, Mcal/kg	2.08	2.06	2.41	2.27	0.03	<0.01	0.07	0.16
Dieta ENg, Mcal/kg	1.47	1.40	1.71	1.58	0.03	<0.01	0.07	0.16
ENm observada/esperada	0.97	0.98	1.08	1.03	0.02	<0.01	0.33	0.23
ENg observada/esperada	0.97	0.97	1.10	1.05	0.02	<0.01	0.27	0.27

Zinn (119) no observó efecto de MHV sobre ganancia de peso, pero sí una disminución de 5.4% en consumo de MS y una mejoría de 6.8% en conversión alimenticia. Él calculó los valores de ENm y ENg del MHV en 2.54 y 1.77 Mcal/kg MS, los cuales coinciden con lo observado en el experimento 1. (ENm 2.6 y ENg 1.83 Mcal/kg MS).

Los valores teóricos de EN para MHV son 2.38 y 1.67 Mcal/kg MS para mantenimiento y ganancia (69), respectivamente, esos valores reflejan una menor mejora en los valores de EN del maíz debido al procesamiento con vapor y posterior hojueleado, que los observados en éste experimento, así como en otros trabajos previos (60, 86, 119).

La mejor conversión alimenticia de la dietas suplementadas únicamente con urea (Cuadro 6.1), es debido a que la harinolina tiene menor cantidad de energía metabolizable que el maíz (69) y esto causó una pobre eficiencia conforme lo fue substituyendo harinolina, y consecuentemente los valores de EN observados para estas dietas fueron menores que aquellas en que se utilizó urea como única fuente de N suplementario. Respuestas similares en la tasa de ganancia cuando la urea ha sido la única fuente de N suplementario, han sido observados previamente en bovinos en finalización.

Zinn *et al.* (129), con dietas conteniendo de 74 a 77% MHV, observaron igual respuesta a la suplementación con urea o pasta de soya sobre GDP, consumo de alimento y conversión alimenticia. Resultados publicados previamente (76, 129) sugieren que urea y proteína natural tienen valor similar como fuente de N para novillos en finalización consumiendo raciones con alta concentración energética (más de 1.7 Mcal/kg de ENm).

El peso de la canal, área del ojo de costilla, grasa dorsal y grado de rendimiento no fueron afectados ($P > 0.10$; Cuadro 6.2) por los tratamientos. MHV incrementó ($P = 0.03$) grasa CPR y mostró una tendencia a incrementar abscesos hepáticos ($P = 0.08$). Tendencias ($P < 0.10$) a interacciones entre el método de procesamiento del maíz x nivel de proteína fueron observadas en el porcentaje de rendimiento ($P = 0.06$), grasa CPR ($P = 0.06$) y en abscesos hepáticos ($P = 0.08$).

Cuadro 6.2. Influencia del procesamiento (Quebrado vs. Hojueleado) y nivel de proteína sobre las características de la canal de vaquillas en finalización (experimento 1).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HA	Urea	HA		P	N	P x N
Peso final, kg	476.0	468.0	488.0	474.0	9.09	>0.40	>0.40	>0.40
Peso en canal, kg	307.0	298	315.0	306.0	4.87	0.22	0.17	>0.40
Rendimiento, %	64.26	62.67	62.87	63.58	0.45	>0.40	>0.40	0.06
Grasa interna, %	2.13	1.75	2.25	2.76	0.18	0.03	>0.40	0.06
Grasa dorsal, cm	1.21	1.02	1.19	1.23	0.13	>0.40	>0.40	>0.40
Ojo de costilla, cm ²	78.89	80.84	79.58	77.16	1.22	0.20	>0.40	0.30
Grado de marmoleo ^a	3.92	3.56	3.70	3.73	0.11	>0.40	0.27	0.20
Rendimiento preliminar	3.37	3.13	3.48	3.38	0.14	0.32	0.36	>0.40
Rendimiento calculado	50.50	51.40	50.30	49.86	0.51	0.19	>0.40	0.34
Abscesos en hígado, %	5.00	0.00	5.00	25.00	5.13	0.08	0.27	0.08

a Código: Mínimo ligero = 3, mínimo escaso = 4, etc.

El incremento en la grasa CPR con MHV esta relacionada con el mayor contenido de EN de MHV comparado con MQ. Healy *et al.* (40) observaron que en la medida en que la EN de las dietas fue incrementada al substituir pasta de soya por MHV-Urea, la grasa CPR fue incrementada también. Milton *et al.* (63) encontraron valores de 2.05, 2.13 y 2.20% de grasa CPR en novillos alimentados con una dieta basada en MQ con 0.35, 0.70 o 1.05% de urea como única fuente de N suplementario.

La mayor incidencia de abscesos hepáticos con el tratamiento MHV-HAR, debe ser tomado con reserva, dado que el número de repeticiones del experimento es bajo para una variable como ésta, ya que cada corraleta puede contribuir en 25% de la variación del experimento y que cada animal dentro de corraleta puede contribuir en 20% a la varianza de la misma.

Los valores promedio de todo el experimento, muestran que el pH fecal fue incrementado ($P < 0.01$; Cuadro 6.3) tanto por MHV como por los tratamientos con 15% de PC (U-HAR). La influencia de los tratamientos sobre el contenido de almidón en heces, es presentado también en el cuadro 6.3. Los valores promedio del experimento completo, fueron mayores ($P < 0.01$) para MQ que para MHV, así como para las dietas suplementadas sólo con urea comparadas con las suplementadas con U-HAR. Existen pocos trabajos publicados con los cuales se puedan comparar estos resultados.

Lee *et al.* (54) comparando MHV vs maíz entero en prueba de comportamiento con novillos de engorda, encontraron que MHV incrementó el pH fecal y disminuyó el contenido de almidón en heces. Sus valores de pH fecal de novillos alimentados con MHV (6.2 a los 140 días) son similares a los observados en el experimento 1, pero sus valores para maíz entero (6.06 a los 140 días) fueron más altos que los valores promedios de 5.74-5.93 obtenidos con MQ en éste experimento.

Asumiendo que el pH fecal refleja el pH del intestino delgado en bovinos (112), entonces MHV mejora las condiciones medio-ambientales para la amilasa pancreática en el intestino delgado de los bovinos. En trabajos con maíz procesados en seco (112) observaron un 5.93 de pH fecal en dietas con maíz entero con suplemento y 6.00 en dietas con maíz quebrado. Turgeon *et al.* (104) observaron valores de pH fecal de 5.67 a 5.82 con una mezcla de maíz entero-maíz finamente molido y con otra mezcla de maíz entero con MQ, respectivamente.

Cuadro 6.3. Influencia del procesamiento (Quebrado vs. Hojueleado) y nivel de proteína cruda sobre el pH fecal y almidón en heces de vaquillas en finalización (Exp 1).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HA	Urea	HA		P	N	P x N
pH fecal								
Día 14	5.63	6.11	6.02	6.30	0.12	0.08	0.04	>0.40
28	5.70	5.71	5.88	6.19	0.10	0.03	0.23	0.27
42	5.74	5.92	5.70	6.17	0.09	>0.40	0.02	0.19
56	5.93	6.05	5.95	5.95	0.09	>0.40	>0.40	>0.40
70	5.69	5.89	5.76	6.37	0.10	0.06	0.01	0.13
14-70	5.73	5.93	5.86	6.20	0.05	0.02	<0.01	0.31
Almidón en heces, %								
Día 14	20.28	17.10	4.46	5.67	2.37	<0.01	>0.40	>0.40
28	24.04	19.13	6.21	2.94	1.77	<0.01	0.09	>0.40
42	23.28	21.47	5.23	5.51	2.22	<0.01	>0.40	>0.40
56	28.34	17.59	4.00	3.38	2.12	<0.01	0.06	0.08
70	28.47	20.33	6.83	2.39	1.89	<0.01	0.03	>0.40
14-70	24.88	19.22	5.35	3.98	0.48	<0.01	<0.01	<0.01

De acuerdo con estos valores, el pH de las heces de las vaquillas alimentadas con maíz quebrado se encuentran dentro del rango esperado. El incremento en el pH fecal con el nivel de 15% de PC (tratamientos U-HAR) concuerda con lo encontrado por Haaland *et al.* (35), quienes observaron un incremento de 5.51 a 5.72 en pH fecal cuando se incrementó la proteína cruda de 11 a 14%. Por lo que puede inferirse que incrementando el nivel de PC de la dieta se mejoran las condiciones en intestino delgado para la actividad de la amilasa.

El bajo contenido de almidón en heces con MHV esta en estrecha concordancia con los resultados existentes en la literatura. Lee *et al.* (54) observaron valores de almidón en heces de 5.7 a 3.6% con MHV y de 11.4 a 21.7% con maíz entero. Turgeon *et al.* (104) observaron de 20.5 y 23.7% de almidón en heces con maíz finamente molido y maíz entero, respectivamente. Wheeler y Noller (112) observaron 26.34 y 29.38% de almidón en heces con maíz quebrado y maíz entero, respectivamente.

La concentración de almidón en heces con el tratamiento de maíz quebrado y urea, presenta a primera vista un incremento lineal ($R = 0.93$, $P = 0.02$) a como aumenta el tiempo en corral cuando el cálculo se realiza con los cinco valores promedios de respuesta presentados en el cuadro 6.3, sin embargo al efectuar el análisis incluyendo los 20 valores obtenidos en cada corraleta y tiempo, el coeficiente de correlación disminuye a un valor de $R = 0.40$ ($P = 0.08$).

En los resultados presentados por Lee *et al.* (54), calculando de los valores promedio ($n = 4$) se observa un incremento lineal ($R = 0.82$) en la concentración de almidón en heces a medida que aumentan los días en engorda de novillos alimentados con dietas basadas en maíz entero, en tanto que dicha respuesta no se encontró en los animales alimentados con dietas basadas en maíz hojueleado o mezclas de grano entero y hojueleado en diferentes proporciones.

Se encontró una correlación lineal ($P < 0.01$) entre el pH fecal y el porcentaje de almidón en heces (AH): $AH\% = 114.18 - [17.003 \times \text{pH fecal}]$, ($n = 80$; $R = -0.51$; $P < 0.01$). La ecuación que refleja el comportamiento en dietas con maíz quebrado es $AH\% = 100.05 - [13.3766 \times \text{pH fecal}]$, ($n = 40$; $R = -0.58$; $P < 0.01$). En tanto que para MHV la ecuación fue $AH\% = 28.056 - [3.8809 \times \text{pH fecal}]$, ($n = 40$; $R = -0.39$; $P < 0.02$).

Wheeler y Noller (112), señalan que el pH de las heces es un buen indicador del pH existente en intestino delgado y que existe una correlación lineal entre la disminución de los valores de pH de las heces con un aumento en el contenido de almidón en el excremento de bovinos de engorda, estos autores llegan a dicha conclusión, basándose en los resultados de tres experimentos: En el primero de ellos utilizando tres animales por tratamiento consumiendo dietas basadas en cebada rolada, maíz entero y maíz quebrado encontraron una correlación $R = -0.82$ entre pH y almidón en heces; con dietas basadas en maíz quebrado y suplemento utilizando cuatro animales por tratamiento obtuvieron $R = -0.41$ y en una tercer prueba con cinco animales por tratamiento, alimentados con maíz entero con alto contenido de humedad con y sin suplementación de reguladores del pH obtuvieron un valor de $R = -0.94$.

Lee *et al.* (54) encontraron correlaciones de 0.86, -0.34, 0.31 y -0.54 a través de cinco tratamientos a los 56, 84, 112 y 140 días en una prueba en corral de engorda. Turgeon *et al.* (104), encontraron una correlación negativa ($R = -0.42$; $n = 60$) entre almidón en heces y pH fecal. Galyean *et al.* (27) en una prueba de metabolismo con novillos alimentados con maíz entero o quebrado a diferentes tamaños, no encontraron correlación entre el pH de las heces y el contenido de almidón de las mismas.

6.2. Experimento 2.

El flujo de MO hacia el duodeno no fue afectado ($P > 0.30$; Cuadro 6.4) por los tratamientos. El procesamiento con vapor y hojueleado del maíz incrementó el flujo a duodeno de FDA ($P = 0.04$), en 10.8% ($P = 0.02$) el de N no amoniacal (NNA). Aumentando ($P = 0.07$) en 13% el N microbiano (NM) dejando abomaso. El flujo de almidón al intestino delgado, fue disminuido ($P = 0.02$) por MHV. El nivel de 15% de PC (U-HAR), incrementó ($P = 0.02$) en 11.8% el NNA fluyendo al duodeno e incrementó en un 21% ($P = 0.06$) el N alimenticio llegando al intestino delgado.

La digestión ruminal de MO y N de la dieta no fueron afectadas ($P > 0.28$) por los tratamientos. El no haber observado diferencia en la digestión ruminal de MO, a pesar de que MHV disminuyó en 635 g/día el almidón llegando a intestino, es explicable en función de que el mismo MHV una disminuyó en 256 g/día en la MO sobrepasando rumen, provocó un aumento de 132 g/d de NNA expresado como PC y de 166 g/día de FDA arribando a intestino, entonces $635 - (132 + 166) = 337$ g/día la diferencia entre MQ y MHV explicable a partir de esta suma de eventos, sí la diferencia en MO entre tratamientos fue de 256 g/día, éste razonamiento nos explica el 76% de la diferencia observada en cuanto a cantidades, atribuyéndose los 81 g/día restantes a otras fracciones no medidas en este experimento como FDN.

Cuadro 6.4. Efecto del método de procesamiento del maíz (Quebrado vs. Hojueleado) y nivel de proteína sobre las características de la digestión en novillos de engorda en finalización (Exp. 2).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HA	Urea	HA		P	N	P x N
Consumo, g/d								
MO	7749	7762	7811	7738	10.4			
N	140	187	140	186	1.0			
FDA	674	736	730	812	15.0			
Almidón	3823	3538	4063	3558	24.8			
Flujo al duodeno, g/d								
MO	5026	4998	4731	4781	351.0	0.33	>0.40	>0.40
NNA	159	179	177	202	6.0	0.02	0.02	0.35
NM	79	89	96	97	5.6	0.07	0.31	0.32
N Dieta	80	90	81	105	7.2	0.21	0.06	0.29
FDA	336	424	499	593	83.9	0.04	0.17	>0.40
Almidón	1840	1702	1287	985	180.5	0.02	0.27	0.35
Digestión en rumen, % del consumo								
MO	45.3	47.0	56.8	50.8	4.6	0.28	>0.40	>0.40
N dieta	42.8	51.7	42.3	43.7	4.0	0.29	0.25	0.31
FDA	49.9	42.4	31.5	29.3	7.0	0.08	0.33	0.36
Almidón	51.8	51.7	68.4	72.5	4.9	<0.01	0.36	0.35
Eficiencia microbiana	24.1	25.5	25.2	28.4	3.9	0.35	0.34	>0.40
Eficiencia proteica	1.14	0.96	1.27	1.08	0.1	0.02	<0.01	>0.40
Digestión postruminal, % del flujo a duodeno								
MO	51.8	47.8	75.0	68.7	3.3	<0.01	0.28	>0.40
N	62.7	60.1	74.6	73.8	1.2	<0.01	0.22	0.33
FDA	3.2	9.1	30.0	18.3	11.4	<0.05	0.33	>0.40
Almidón	56.8	54.7	95.0	95.0	5.5	<0.01	>0.40	>0.40
Digestión en tracto completo, % del consumo								
MO	69.8	67.2	83.7	81.8	1.0	0.01	0.09	>0.40
N	56.9	61.5	67.6	71.3	1.2	0.01	0.02	0.36
FDA	52.8	39.3	54.0	50.1	2.6	0.07	0.03	0.12
Almidón	80.8	79.4	98.5	98.7	1.3	<0.01	0.35	0.34
ED, Mcal/kg	2.87	2.76	3.45	3.32	0.1	<.01	.05	>.40

La ausencia de efecto del procesamiento con vapor y hojueleado del maíz sobre la digestión en rumen de la MO, ha sido observada previamente (26, 119), sin embargo, Cole *et al.* (17), Lee *et al.* (54), Zinn (123) y Zinn *et al.* (128) han observado incrementos en digestión ruminal de MO como resultado de la inclusión de MHV en la dieta.

La presencia de MHV en las dietas disminuyó en 34% ($P = 0.08$) la degradación ruminal de FDA. La digestión ruminal de almidón fue incrementada ($P < 0.01$) en 26.5% por MHV. Esta observación es congruente con la literatura. Cole *et al.* (16) encontraron un incremento de 28%, Lee *et al.* (54) un 53%, Zinn (123) un 24%, y Zinn *et al.* (128) encontraron un 21% de aumento en la digestibilidad ruminal de almidón.

La eficiencia microbiana en rumen no fue modificada ($P > 0.34$) por los tratamientos. La eficiencia proteica fue incrementada ($P = 0.02$) en 18% por MHV, en tanto que las dietas U-HAR la disminuyeron en 15% ($P < 0.01$). Zinn (123) trabajando con novillos cruzados (395 kg) no observó efecto del MHV sobre eficiencia microbiana, pero la eficiencia proteica fue incrementada en 14%.

El efecto del procesamiento con vapor y hojueleado del maíz fue más dramático en la digestión postruminal, incrementando ($P < 0.01$) 30.7% la digestión de MO, 17.3% la digestión de N y 41.3% la digestión postruminal de almidón. Zinn (122) y Zinn *et al.* (128) encontraron incrementos de 21.7 y 10.3% en digestión postruminal de MO como resultado del MHV en la dieta, la digestibilidad postruminal del N fue incrementada también. Aumentos en la digestión postruminal del almidón han sido consistentemente observados, 16% por Cole *et al.* (17), 77% por Zinn (122) y 42.9% por Zinn *et al.* (128).

La digestibilidad del almidón observada en esta prueba es atribuida a los cambios provocados sobre la estructura de los gránulos de almidón y a una probable reducción en el tamaño de la molécula de almidón (25) como resultado de la acción conjunta del calor húmedo y tracción mecánica del procesamiento del maíz.

A pesar de que los tratamientos conteniendo harinolina incrementaron en 22.5 g/día el arribo de NNA a duodeno (Cuadro 6.4), y de que aumentaron el pH en la porción postruminal del tracto (experimento 1), estos acontecimientos no tuvieron efecto sobre la digestibilidad postruminal del almidón como fue hipotetizado a partir de las observaciones de Magee (58), quien apreció un aumento en la cantidad secretada y actividad de la amilasa pancreática como respuesta a la infusión de un hidrolizado de caseína en el duodeno de borrego, ni con el aumento en digestibilidad postruminal del almidón, observada por Castlebury y Preston (10), cuando infundieron almidón de maíz en intestino de borregos alimentados con dietas conteniendo 9.5, 13.0 y 16.5% de PC.

Una explicación a este hecho pueden ser las observaciones de Walker y Harmon (108), que infusiones abomasales de hidrolizados de almidón en novillos Holstein, decrecieron el pH del jugo pancreático, la concentración de amilasa en el jugo y la secreción total de amilasa. Esos cambios sugieren, que los carbohidratos en intestino delgado pueden impactar negativamente la secreción de amilasa pancreática. Aunque, la presencia de proteína sola en duodeno incrementa la secreción pancreática, cuando proteína y carbohidratos arriban juntos al intestino delgado ambos efectos terminan neutralizándose, el resultado neto de este hecho, es que no hay cambio en la digestibilidad postruminal de almidón como fue observado en el experimento 2.

Tanigushi *et al.* (93) infundieron caseína y almidón en rumen y abomaso de novillos y observaron que la digestibilidad aparente del almidón fue mayor cuando el almidón fue infundido en rumen, con independencia si la caseína fue infundida en rumen o abomaso. Sin embargo, estos autores observaron una tendencia para la interacción sitio de infusión de caseína x sitio de infusión de almidón, que presentó valores de 97.3 y 94.2% para la digestibilidad del almidón, cuando el almidón fue infundido en abomaso y la caseína fue infundida en abomaso y rumen respectivamente. Esto significa que es posible que exista algún efecto, pero la cantidad de almidón infundida en ese estudio fue de sólo 800 g/día para animales de 253 kg.

Un bajo nivel de consumo de almidón puede promover sus valores de digestibilidad como encontraron Russell *et al.* (90). En adición a esto, Tanigushi *et al.* (93) infundieron en el abomaso un almidón de maíz crudo, y la amilasa pancreática de los bovinos es más eficiente para producir maltosa y dextrina límite de almidón predigerido, que cuando debe iniciar la digestión de gránulos de almidón de maíz intactos (15), entonces este hecho puede producir una respuesta diferente en digestión de almidón, que la producida a partir de almidón predigerido en rumen, que es el que normalmente arriba al intestino delgado del bovino.

Veira *et al.* (107), observaron una relación inversa entre el nivel de proteína cruda de la dieta (9.9 a 16.2%) con el contenido de almidón en heces (28.4 a 22.1%) y una relación lineal de PC de la dieta con digestión de almidón, pero esa misma relación puede ser obtenida substituyendo nivel de proteína en la dieta por el concepto disminución del contenido de maíz en la dieta, además, las dietas en ese experimento no fueron suplementadas con urea, entonces es posible pensar, que en las dietas con los niveles bajos de PC, la poca disponibilidad de N soluble en rumen pudo limitar la digestión.

El MHV incrementó ($P < 0.01$) la digestibilidad en todo el tracto de MO, N, almidón y energía bruta en 17.0, 14.8, 18.8 y 16.9% respectivamente. La digestibilidad aparente de FDA fue reducida 11.5% ($P = 0.07$) por MQ y fue disminuida en 16% ($P = 0.03$) con la suplementación de 10% de harinolina a las dietas. Las dietas con 15% de PC (U-HAR) incrementaron ($P = 0.02$) la digestibilidad de N en tracto completo.

El contenido de energía digestible (ED) de la dieta fue incrementado ($P < 0.01$) por el tratamiento con vapor y hojueleado del maíz. La suplementación con harinolina, disminuyó ($P = 0.05$) el contenido de ED de las dietas.

El procesamiento con vapor y hojueleado del maíz disminuyó ($P = 0.05$; Cuadro 6.5) el pH ruminal una hora después de la alimentación (6.34 vs 6.12) y tres horas ($P = 0.06$) después (6.35 vs 6.08). El efecto de disminución del pH por la inclusión de MHV concuerda con lo observado previamente por otros investigadores. Lee *et al.* (54) encontraron una reducción en pH 3 h pospandrium como respuesta a MHV. Zinn *et al.* (128) observaron un menor pH con MHV midiéndolo a las 4 h pospandrium.

Cuadro 6.5. Efecto del método de procesamiento del maíz y nivel de proteína cruda sobre el pH y amoníaco ruminal de novillos en finalización (experimento 2).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HA	Urea	HA		P	N	P x N
pH en rumen								
1 h	6.40	6.27	6.09	6.15	0.09	0.05	0.36	0.28
2 h	6.34	6.30	6.14	6.35	0.16	0.35	0.34	0.32
3 h	6.49	6.22	6.00	6.15	0.12	0.06	0.35	0.15
4 h	6.40	6.09	6.08	6.03	0.15	0.25	0.27	0.31
5 h	6.39	6.23	6.23	6.22	0.11	0.32	0.33	0.33
Amoniaco en rumen, mg/dL								
1 h	6.0	6.6	5.2	6.5	0.70	0.34	0.23	0.34
2 h	4.4	5.2	3.1	5.8	0.40	0.32	<0.01	0.08
3 h	3.2	4.8	1.9	4.3	0.60	0.21	0.03	0.34
4 h	2.8	5.4	1.9	4.2	0.65	0.18	<0.01	>0.40
5 h	2.7	4.0	1.4	2.3	0.04	0.03	0.05	0.36

La reducción en los valores de pH en rumen con los tratamientos conteniendo MHV es atribuible a un incremento en la digestión ruminal del MHV (54). El nivel de proteína de las dietas, no afectó ($P < 0.27$) el pH ruminal. Borger *et al.* (4), cambiando abruptamente novillos a consumir dietas integradas totalmente por concentrado, compararon niveles de 8.3, 10.6, 12.7 y 14.3% de PC, ellos encontraron diferencias en valores de pH ruminal entre 10.6 y 14.3% de PC, a las 64, 78 y 168 horas después de iniciado el reto, pero después de 174 horas, los valores con estos dos niveles de proteína fueron similares (5.73 y 6.01, respectivamente).

En la primer hora después de ofrecer el alimento, la concentración de amoníaco fue similar ($P > 0.23$) con los distintos tratamientos. A partir de las 2h y hasta las 5h, las dietas con 15% de PC, presentaron una concentración de amoníaco mayor ($P < 0.05$) que las dietas con 11% de PC. La inclusión de MHV, disminuyó ($P = 0.03$) la concentración de amoníaco a las 5 h pospandrum.

Respuestas similares han sido observadas Prigge *et al.* (84), comparando maíz quebrado con MHV, apreciaron una disminución en la concentración de amoníaco en rumen media hora después de consumido el alimento en las dietas con MHV, en tanto que Lee *et al.* (54) observaron una respuesta similar tres horas después del consumo de alimento. Atribuyéndose éste hecho, a una disminución en la solubilidad del N como efecto del calentamiento durante el procesamiento del MHV (54). Cole *et al.* (16) y Zinn *et al.* (128), no observaron diferencias en amoníaco debidas al procesamiento del maíz.

La inclusión de MHV en la dieta, incrementó la producción de AGV en 29% y 24% a una hora ($P = 0.06$) y dos horas ($P = 0.05$; Cuadro 6.6) pospandrum. Estos resultados coinciden con el 26.5% de incremento (104.9 vs 82.9 mM/mL) encontrado por Galyean *et al.* (26). Interpretándose estos resultados, como una consecuencia del aumento en la tasa de fermentación del almidón, que coincide con el descenso del pH (Cuadro 6.5).

La concentración molar (mol/100 mol) de acetato fue disminuida ($P = 0.04$) por MHV cinco horas después de la ingesta de alimento. El aumento en el nivel de proteína (dietas U-HAR), disminuyó la concentración de acetato a las 1600 ($P = 0.10$) y 1700 horas ($P = 0.05$) después de la ingestión. Una interacción ($P = 0.05$) entre el método de procesamiento y nivel de proteína fue observada a las cinco horas postalimentación.

Cuadro 6.6. Efecto del método de procesamiento del maíz y nivel de proteína cruda sobre el perfil de AGV en rumen de novillos de engorda en finalización (experimento 2).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HA	Urea	HA		P	N	P x N
Total AGV, mmol/L								
1 h	78.0	84.7	104.9	104.2	9.7	0.06	>0.40	0.36
2 h	83.4	78.8	96.1	109.9	7.7	0.05	>0.40	0.32
3 h	81.8	80.7	91.8	92.9	7.5	0.21	>0.40	>0.40
4 h	75.0	86.8	90.6	81.4	7.2	0.33	>0.40	0.22
5 h	73.5	78.0	79.1	84.2	6.9	0.32	0.33	>0.40
Acetato, mol/ 100 mol								
1 h	58.0	55.8	55.7	57.4	0.9	0.36	>0.40	0.09
2 h	60.9	57.4	56.4	58.8	1.7	0.32	0.35	0.18
3 h	60.8	57.9	56.5	58.6	2.1	0.31	>0.40	0.26
4 h	61.8	59.4	57.1	54.1	3.9	>0.40	0.10	0.24
5 h	62.0	57.7	57.4	57.5	1.7	0.04	0.05	0.05
Propionato, mol/ 100 mol								
1 h	24.1	24.3	27.6	25.1	2.0	0.29	0.34	0.33
2 h	23.8	26.7	25.6	24.5	1.7	>0.40	0.34	0.27
3 h	22.4	26.8	25.0	25.4	1.9	>0.40	0.26	0.29
4 h	20.1	25.4	27.1	25.5	2.5	0.24	0.33	0.24
5 h	21.3	25.2	25.7	25.8	1.4	0.13	0.21	0.24
Butirato, mol/ 100 mol								
1 h	11.3	12.0	11.3	10.8	0.5	0.25	>0.40	0.26
2 h	11.1	11.6	12.2	10.6	0.8	>0.40	0.34	0.25
3 h	11.6	11.3	11.5	10.8	0.7	0.36	0.32	>0.40
4 h	11.2	10.4	11.4	10.8	0.6	0.34	0.28	>0.40
5 h	11.1	12.5	11.4	10.9	0.5	0.23	0.29	0.08
Acetato/Propionato								
1 h	2.43	2.41	2.04	2.30	0.22	0.28	0.35	0.34
2 h	2.61	2.25	2.23	2.46	0.21	0.35	>0.40	0.22
3 h	2.71	2.30	2.27	2.38	0.20	0.31	0.32	0.24
4 h	3.22	2.52	2.13	2.17	0.30	0.05	0.28	0.26
5 h	3.00	2.49	2.24	2.27	0.15	0.03	0.18	0.12

El nivel de proteína de las dietas no afectó ($P > 0.18$) la relación acetato/propionato, en tanto a las cinco horas después de consumir el alimento, se observó una tendencia ($P = 0.12$) a interacción, pues en tanto la suplementación con harinolina a dietas basadas en maíz quebrado disminuyó la relación, en dietas basadas en maíz hojueleado el valor de la relación fue aumentado, esta observación coincide con la interacción observada a este mismo tiempo (5 h) en la concentración de acetato.

6.3. Experimento 3.

El MHV decreció ($P < 0.01$; Cuadro 6.7) la cantidad de MO y almidón alcanzando duodeno. MHV incrementó ($P < 0.01$) en N total, NNA, NM y N de la dieta arribando a duodeno e incrementó ($P = 0.02$) la FDA llegando a intestino.

La suplementación con harina de pescado tendió a incrementar la cantidad de MO ($P = 0.06$), NNA ($P = 0.10$) y FDA ($P = 0.06$) dejando abomaso. HP incrementó ($P < 0.01$) el N de la dieta llegando a intestino delgado y disminuyó el NM arribando a duodeno. La fuente de N no afectó ($P > 0.40$) la cantidad de almidón alcanzando el intestino delgado. Una interacción ($P = 0.04$) procesamiento de maíz x fuente de N fue observada en el NM dejando abomaso.

El tratamiento con vapor y hojueleado del maíz incrementó ($P < 0.01$) la digestión ruminal de MO y almidón en 34% y 81% respectivamente. MHV disminuyó ($P = 0.05$) la digestión ruminal de FDA. MHV disminuyó también ($P = 0.03$) la degradación ruminal del N de la dieta y la eficiencia microbiana. La eficiencia proteica fue incrementada ($P < 0.01$) por el MHV. La suplementación con HP decreció ($P = 0.04$) la digestión ruminal de MO y tendió a reducir la digestión ruminal del N de la dieta ($P < 0.09$) y de la FDA ($P = 0.07$).

Meissner y du Plessis (1992), comparando dietas para novillos de engorda basadas en harina de maíz conteniendo 0.96% y 1.44% de urea o 0.47% de urea más 5.6% de harina de pescado, observaron que HP disminuyó la digestión ruminal de MO y almidón.

Cuadro 6.7. Efecto del método de procesamiento del maíz y fuente de proteína cruda sobre las características de la digestión en novillos de engorda en finalización (Exp. 3).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HA	Urea	HA		P	N	P x N
Consumo, g/día								
MO	6314	6269	6340	6269				
N	118	127	122	131				
FDA	429	452	457	454				
Almidón	3488	3461	3302	3179				
Flujo al duodeno, g/día								
MO	4386	4810	3310	3627	156.0	<0.01	0.06	0.36
NNA	133	133	159	174	4.1	<0.01	0.10	0.12
NM	75	59	83	81	2.5	<0.01	<0.01	0.04
N Dieta	58	75	76	93	4.6	<0.01	<0.01	>0.40
FDA	249	298	337	438	31.9	0.02	0.06	0.32
Almidón	1897	2031	681	560	149.0	<0.01	>0.40	0.32
Digestión en rumen, % del consumo								
MO	42.5	33.5	60.1	54.7	2.6	<0.01	0.04	0.33
N dieta	50.7	42.1	37.4	28.1	4.2	0.03	0.09	>0.40
FDA	41.7	33.8	25.2	4.2	6.4	0.02	0.07	0.29
Almidón	46.5	42.5	78.5	82.5	3.4	<0.01	>0.40	0.27
Eficiencia microbiana	29.6	31.3	22.4	24.0	2.2	0.03	0.33	>0.40
Eficiencia proteica	1.13	1.04	1.31	1.34	0.1	<0.01	0.34	0.26
Digestión postruminal, % del flujo a duodeno								
MO	57.0	61.0	69.1	66.2	3.2	0.09	0.19	0.29
N	66.2	65.5	78.1	75.7	2.0	<0.01	0.28	0.29
FDA	2.7	18.1	21.1	25.0	10.3	0.26	0.31	0.35
Almidón	66.5	69.5	96.3	93.1	4.7	<0.01	>0.40	0.27
Digestión en tracto completo, % del consumo								
MO	70.7	71.0	84.1	80.0	1.7	<0.01	0.28	0.25
N	60.6	63.1	70.7	66.5	2.2	0.04	0.36	0.21
FDA	44.2	46.0	42.9	29.8	4.6	0.11	0.26	0.19
Almidón	83.2	83.9	99.3	98.7	1.7	<0.01	>0.40	0.36
ED, Mcal/kg	2.98	3.04	3.57	3.34	0.1	<0.01	0.31	0.10

McCarthy, Jr. *et al.* (61), trabajando con vacas lecheras (583 Kg) alimentadas con dietas basadas en maíz molido conteniendo 45% de almidón, compararon la suplementación con pasta de soya vs. HP y observaron que el N no amoniacal no fue afectado por los tratamientos, pero el N microbiano fue reducido por HP. La digestión ruminal de MO (37.4 vs 38.8%), digestión ruminal de almidón (46.9 vs 51.6%), postruminal (87.7 vs 85.3%), y en tracto completo del almidón (93.5 vs 92.9%) no fue afectado por los tratamientos.

El MHV incrementó ($P < 0.01$) la digestibilidad postruminal de N y almidón y tendió ($P = 0.09$) a incrementar la de MO. La digestión postruminal de FDA no fue afectada ($P > 0.26$) por los tratamientos. La suplementación con HP no tuvo efecto sobre la digestión postruminal de MO ($P = 0.19$), de N ($P = 0.28$), ni de almidón ($P > 0.40$). El MHV aumentó ($P < 0.01$) la digestibilidad en tracto completo de la MO en 13.7%, almidón en 15.7% y energía bruta en 13.5%. La digestibilidad de N en todo el tracto fue incrementada 9.9% ($P = 0.04$) por el tratamiento de MHV. La digestibilidad postruminal de FDA no fue afectada ($P > 0.11$) por los tratamientos.

La suplementación con HP no tuvo efecto ($P > 0.26$) sobre la digestibilidad aparente de MO, N, almidón y energía bruta. El contenido de ED de la dieta (Mcal/kg) fue incrementado 12.8 % ($P < 0.01$) por MHV. Se observó tendencia a una interacción ($P = 0.10$) procesamiento del maíz x fuente de N para contenido de ED de la dieta.

El procesamiento con vapor y hojueleado del maíz, tendió a disminuir el pH ruminal en 5.17% ($P = 0.07$; Cuadro 6.8) y 4.81% ($P = 0.10$) a las 1 y 4 después de consumir el alimento, y los disminuyó ($P = 0.04$) en 5.9% a las 5 horas. Zinn *et al.* (128) observaron una disminución de 6.6% en el pH ruminal, cuatro horas después de alimentar novillos con una dieta en que se substituyó maíz quebrado por maíz hojueleado al vapor.

El nivel de 1.2% de urea tendió ($P = 0.14$) a aumentar en 4% el pH de líquido ruminal a una hora después de consumido el alimento, pudiendo considerarse esto, como una actividad reguladora del pH atribuible a urea (127).

Cuadro 6.8. Efecto del método de procesamiento del maíz y fuente de proteína cruda sobre el pH y amoníaco ruminal de novillos en finalización (experimento 3).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HP	Urea	HP		P	N	P x N
pH en rumen								
1 h	6.51	6.26	6.18	5.93	0.14	0.07	0.14	>0.40
2 h	6.34	6.14	6.11	5.85	0.16	0.14	0.25	0.36
3 h	6.05	6.24	6.05	5.78	0.27	0.32	0.37	0.32
4 h	6.19	6.29	6.10	5.78	0.16	0.10	0.33	0.35
5 h	6.29	6.26	6.05	5.74	0.13	0.04	0.25	0.34
Amoníaco en rumen, mg/dL								
1 h	15.81	11.78	5.79	3.41	1.16	<0.01	0.03	>0.40
2 h	9.92	9.43	4.17	2.48	0.77	<0.01	0.20	>0.40
3 h	7.09	6.36	3.12	3.22	1.10	0.01	>0.40	>0.40
4 h	4.94	6.10	2.81	1.88	1.06	0.02	>0.40	0.36
5 h	3.87	5.88	2.61	1.75	0.76	0.01	>0.40	0.11

La inclusión de MHV en las dietas, consistentemente disminuyó ($P < 0.02$) la concentración de amoníaco en rumen en todos los tiempos muestreados en este experimento, variando desde un 67% ($P < 0.01$) al tiempo 1 h, hasta un 56% ($P = 0.05$) a las 5 h. Siendo esto atribuible en primera instancia a una disminución en la solubilidad del N del maíz debido al tratamiento térmico (54), pero también es posible pensar en una mejor utilización del N por parte de la microbiota, al contar con una mayor disponibilidad de energía por la alta degradabilidad ruminal del almidón del MHV (Cuadro 6.7).

El MHV, tendió ($P = 0.12$; Cuadro 6.9) a aumentar en 11.6% la producción de AGV una hora después del consumo del alimento y aumentó en 27% ($P = 0.04$) y 28% ($P = 0.05$) la concentración de AGV totales a las 3 h y 5 h, respectivamente, concordando con el 26% de incremento observado por Galyean *et al.* (26), comparando MQ con MHV.

La concentración de acetato en líquido ruminal (mol/100 mol) fue disminuida por el MHV en 14.8% ($P = 0.03$) al tiempo de medición de una hora postprandium, 11.3% ($P = 0.04$) a 2 h, 13.9% ($P = 0.03$) a 4 h y 13.8% ($P = 0.03$) a 5 h. La fuente de proteína no afectó ($P > 0.27$) esta variable. Zinn *et al.* (128) observaron una disminución del 14% en la concentración de acetato en rumen de novillos, como respuesta a la substitución de maíz quebrado por maíz hojueado.

El MHV aumentó la concentración de propionato en 16% ($P = 0.04$) a una hora después de consumir el alimento, 35% ($P = 0.08$) a las 2 h, 40% ($P = 0.05$) a 4 h y 42% a 5 h. Zinn *et al.* (128), apreciaron un aumento del 37% en la proporción molares de propionato por la substitución de MQ por MHV. La fuente de proteína no tuvo efecto ($P > 0.27$) sobre la concentración de propionato.

Ninguno de los tratamientos modificaron ($P > 0.27$) la concentración de butirato. La relación acetato/propionato fue consistentemente disminuida por el MHV, en 33% ($P = 0.05$) una hora después de consumir el alimento, 27% ($P = 0.13$) a las 2 h, 30% a las 4 h y 32% a las 5 h. Disminuciones de los valores de la relación acetato/propionato de 14.5% (26), 18.8% (54) y 37.6% (128) han sido publicadas previamente.

Cuadro 6.9. Efecto del método de procesamiento del maíz y fuente de proteína cruda sobre el perfil de AGV en rumen de novillos de engorda en finalización (experimento 3).

Variable	Quebrado		Hojueleado		ESM	Significancia		
	Urea	HP	Urea	HP		P	N	P x N
Total AGV, mmol/L								
1 h	80.9	89.0	89.0	100.6	5.3	0.12	0.12	>0.40
2 h	92.5	91.4	89.1	108.2	8.8	0.33	0.29	0.28
3 h	89.2	93.3	118.0	114.5	10.0	0.04	>0.40	0.37
4 h	96.6	79.1	95.6	103.6	9.0	0.25	0.35	0.22
5 h	89.4	68.3	103.7	98.9	9.2	0.05	0.23	0.31
Acetato, mol/ 100 mol								
1 h	63.7	63.4	54.8	53.5	2.9	0.03	>0.40	>0.40
2 h	63.6	63.1	58.0	54.4	2.9	0.04	0.33	0.35
3 h	62.9	57.9	57.5	53.3	3.9	0.24	0.27	>0.40
4 h	62.5	62.0	55.1	52.1	2.7	0.03	0.34	0.35
5 h	62.2	62.1	55.2	52.0	2.6	0.03	0.34	0.34
Propionato, mol/ 100 mol								
1 h	21.6	29.9	27.6	32.3	3.2	0.04	0.34	0.31
2 h	21.5	20.5	25.5	31.2	3.5	0.08	0.33	0.31
3 h	22.2	25.8	25.9	32.3	4.4	0.27	0.27	0.36
4 h	22.0	21.3	28.0	32.8	3.2	0.05	0.34	0.32
5 h	22.3	20.9	28.1	33.3	3.2	0.04	0.34	0.29
Butirato, mol/ 100 mol								
1 h	8.9	11.1	10.3	9.3	0.7	>0.40	0.30	0.06
2 h	9.9	11.3	10.9	9.1	0.7	0.30	0.38	0.05
3 h	9.3	10.8	11.2	9.8	0.8	0.35	>0.40	0.14
4 h	9.7	11.4	10.3	10.2	0.7	0.35	0.27	0.26
5 h	9.7	11.8	10.1	9.9	0.9	0.32	0.30	0.25
Acetato/Propionato								
1 h	3.04	3.19	2.36	1.83	0.40	0.05	0.35	0.32
2 h	3.12	3.10	2.60	1.94	0.47	0.13	0.33	0.34
3 h	2.96	2.55	2.41	1.81	0.46	0.23	0.29	>0.40
4 h	2.93	2.92	2.36	1.74	0.40	0.08	0.32	0.33
5 h	2.89	2.99	2.29	1.72	0.34	0.05	0.33	0.30

En vista que la suplementación con harina de pescado incrementó el N de la dieta arribando a duodeno, pero disminuyó en N microbiano, entonces el flujo neto de N no amoniacal en el intestino delgado fue similar para las dietas basadas en maíz quebrado, en consecuencia, no existe ventaja aparente en utilizar fuentes de proteínas con alta tasa de sobrepaso ruminal como harina de pescado en dietas basadas en maíz tratando de incrementar la digestión postruminal de almidón.

Sí el MQ contiene un 55% de proteína sobrepasante de rumen (69), entonces, las dietas de finalización con alto contenido de maíz, la cantidad de proteína que alcanza el intestino delgado es aparentemente suficiente para cubrir los requerimientos de los animales, y existen en la literatura varios trabajos en los que no se observa ventaja en digestión ni en respuesta productiva con el uso de harina de pescado u otro suplemento de proteína sobrepasante de rumen en dietas de finalización basadas en maíz para bovinos (18, 43, 113) y ovinos (42, 43).

Partiendo de los resultados obtenidos en el presente trabajo (experimentos 1, 2 y 3), se puede intuir, que incrementando la proteína arribando a duodeno, es posible cambiar el pH del tracto digestivo. Borger *et al.* (4) observaron que con dietas con 14.3% de PC el pH de rumen fue mantenido más alto que con dietas de 10.6% PC en novillos cambiados abruptamente a una dieta compuesta totalmente por concentrado. Haaland *et al.* (35) observaron un pH fecal más alto en heces de novillos alimentados con una dieta de 14% PC que en heces de novillos consumiendo una dieta de 11% PC.

En adición, Wheeler y Noller (112), observaron con dietas basadas en maíz con alta humedad, que agregando buffers a la dieta, el pH intestinal y de las heces es aumentado y el contenido de almidón en las heces es disminuido. Pero todos esos cambios fisiológicos en las condiciones medioambientales del intestino delgado medidas como pH y concentración de almidón en heces (experimento 1), no fueron reflejados en digestibilidad postruminal de almidón ni en digestibilidad de almidón en tracto completo (experimentos 2 y 3). Más aún, esos cambios no fueron reflejados tampoco en la prueba de respuesta productiva en corral de engorda con vaquillas en finalización (experimento 1).

El efecto del procesamiento con vapor y hojueleado del maíz, evidentemente promovió la digestión ruminal, postruminal y en tracto completo del almidón.

Esto puede ser el resultado de la combinación de una serie de factores: 1) La gelatinización del almidón facilita e incrementa la digestión en rumen; 2) Derivado de esto, la cantidad de almidón que alcanza el duodeno es menor que con maíz procesado en seco; 3) La cantidad de proteína (como NNA y NM) que alcanza duodeno es mayor; 4) La proteína en duodeno estimula la secreción pancreática de α -amilasa, proteasas e incrementa el pH intestinal; 5) Incrementa la producción ruminal de AGV's; 6) Los ácidos grasos de cadena corta, estimulan la secreción de α -amilasa y hormonas pancreáticas en rumiantes (7, 46, 48, 49).

Menor cantidad de almidón conjuntamente con una mayor cantidad de amilasa y en mejores condiciones de pH en intestino delgado, se deriva en una mayor digestibilidad intestinal de almidón; 8) Más proteína presente en intestino delgado (con buena digestibilidad como la proteína microbiana) en presencia de mayores cantidades de enzimas, implica un quimo más diluido que facilita el acceso de las enzimas a su sustrato y sobreviene una mayor digestión de proteína y almidón en intestino delgado; y 9) Sí la incorporación de EM en el cuerpo de los novillos es mayor cuando el almidón es fermentado en rumen que cuando es digerido en intestino delgado (93).

Todos estos eventos producen una respuesta que es un mejor uso de la energía presente en el alimento, como fue observado en la conversión alimenticia y energía retenida en el experimento 1 y en los valores de ED en los experimentos 2 y 3. Entonces, la principal limitante para la digestión postruminal del almidón del maíz procesado en seco, aparentemente es la forma física de las partículas de almidón la que limita el acceso a la amilasa (74) y no la secreción de α -amilasa, ni el pH existente el intestino delgado de los bovinos.

7. CONCLUSIONES

- 7.1. El método de procesamiento del maíz fue el factor primario que influyó el sitio y lo extenso de la digestión del almidón.
- 7.2. Sustituyendo urea por proteína natural o adicionando proteína natural a dietas suplementadas con urea no se afecta la digestión del almidón.
- 7.3. Incrementando el nivel de proteína cruda de las dietas a partir de proteína natural se incrementa el pH fecal y reduce la concentración de almidón en heces. Pero esos cambios fisiológicos no son reflejados en respuesta productiva en corral de engorda.
- 7.4. El hojueleado con vapor del maíz incremento el valor de energía neta del maíz para mantenimiento y ganancia en 14.7% y 18.1% respectivamente.
- 7.5. Bajo condiciones prácticas de corral de engorda, no parece factible sustituir el procesamiento de hojueleado al vapor del maíz por el uso de altos niveles de proteína cruda en dietas para bovinos en finalización para promover la digestión del almidón y la respuesta productiva.

8. LITERATURA CITADA

- 1.- AOAC. 1975. Official Methods of Analysis (12th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC., USA.
- 2.- Bergen, W.G., D.B. Purser, y H. Cline. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J. Anim. Sci.* 27:1497.
- 3.- Brannon, P.M. 1992. Adaptation of the exocrine pancreas to diet. *Annu. Rev. Nutr.* 10:85.
- 4.- Borger, M.L., S.C. Loerch, y S.M. Neal. 1994. Protein level effect on ruminal pH in steers abruptly switched to an all-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl. 1):352.
- 5.- Bowman, J.G.P. y J.A. Paterson. 1988. Evaluation of corn gluten feed in high-energy diets for sheep and cattle. *J. Anim. Sci.* 66:2057.
- 6.- Bunting, L.D., J.A. Boling, y C.T. MacKown. 1989. Effect of dietary protein level on nitrogen metabolism in the growing bovine: I. Nitrogen recycling and intestinal protein supply in calves. *J. Anim. Sci.* 67:810.
- 7.- Bunting, L.D., J.A. Boling, C.T. MacKown y G.M. Davenport. 1989. Effect of dietary protein level on nitrogen metabolism in the growing bovine: II. Diffusion into and utilization of endogenous urea nitrogen in the rumen. *J. Anim. Sci.* 67:817.
- 8.- Burris, W.R., N.W. Bradley y J.A. Boiling. 1975. Growth and plasma amino acids of steers fed different nitrogen sources at restricted intake. *J. Anim. Sci.* 40:714.
- 9.- Burris, W.R., D.L. Harmon, J.H. Randolph, M.L. Bauer, M. Radnake, J.T. Johns y G.D. Lacefield. 1993. Performance and ad libitum feed intake of steers fed corn-silage diets with different sources of supplemental nitrogen. *J. Anim. Sci.* 71 (Suppl. 1):21.
- 10.- Castlebury, R.E. y R.L. Preston. 1993. Effect of dietary protein level on nutrient digestion in lambs duodenally infused with corn starch. *J. Anim. Sci.* 71 (Suppl. 1):264.
- 11.- Cecava, M.J. y D.L. Hancock. 1994. Effects of anabolic steroids on nitrogen metabolism and growth of steers fed corn silage and corn-based diets supplemented with urea or combination of soybean meal and feather meal. *J. Anim. Sci.* 72:515.
- 12.- Chang, C.J., T.D. Tanskley Jr., D.A. Knabe y T. Zebrowska. 1987. Effects of different heat treatments during processing on nutrient digestibility of soybean meal in growing swine. *J. Anim. Sci.* 65:1273.
- 13.- Chester-Jones, H., M.D. Stern, A. Su, J.D. Donker, D.M. Ziegler y K.P. Miller. 1990. Evaluation of various nitrogen supplements in starter diets for growing Holstein steers and their effects on ruminal bacterial fermentation in continuous culture. *J. Anim. Sci.* 68:2954.
- 14.- Clarck, J.H., T.H. Klusmeyer y M.R. Cameron. 1992. microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:2304.
- 15.- Clary, J.J., G.E. Mitchell Jr., y C.O. Little. 1968. Action of bovine and ovine α -amylases on various starches. *J. Nutr.* 95:469.

- 16.- Cole, N.A., R.R. Johnson, F.N. Owens y J.R. Males. 1976. Influence of roughage level and corn processing method on microbial protein synthesis by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:479.
- 17.- Cole, N.A., R.R. Johnson y F.N. Owens. 1976. Influence of roughage level and corn processing method on site and extent of digestion by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:490.
- 18.- Comerford, J.W., R.B. House, H.W. Harpster, W.R. Henning, y J.B. Cooper. 1992. Effects of forage and protein source on feedlot performance and carcass traits of Holstein and crossbred beef steers. *J. Anim. Sci.* 70:1022.
- 19.- Croom, W.J. Jr., L.S. Bull, J.P. Peters y I.L. Taylor. 1992. Regulation of pancreatic exocrine secretion in ruminants: A review. *J. Nutr.* 122:191.
- 20.- Davenport, G.M., J.A. Boiling y N. Gay. 1990. Performance and plasma amino acids of growing calves fed corn silage supplemented with ground soybeans, fishmeal and rumen protected lysine. *J. Anim. Sci.* 68:3773.
- 21.- Duffus, C. y C. Slaughter. 1980. The seeds and their uses. John Wiley and Sons Ltd., New York. USA.
- 22.- Dunbar, J.R., W.N. Garrett y J.L. Hull. 1987. Whole, cracked or rolled corn and wheat in cattle finishing rations. California feeders day Conference. p. 32.
- 23.- Erwin, E.S., G.J. Marco y E.M. Emery. 1961. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 44:1768.
- 24.- Fawcett, J.K. y J.E. Scott. 1960. A rapid and precise method for the determination of urea. *J. Clin. Pathol.* 13:156.
- 25.- French, D. 1973. Chemical and Physical properties of starch. *J. Anim. Sci.* 37:1048.
- 26.- Galyean, M.L., P.G. Wagner y R.R. Johnson. 1976. Site and extent of starch digestion in steers fed processed corn rations. *J. Anim. Sci.* 43:1088.
- 27.- Galyean, M.L., D.G. Wagner y F.N. Owens. 1979. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. *J. Anim. Sci.* 49:204.
- 28.- Gardner, R.W. y M. Akbar. 1970. Effect of pelleting calf ration on minimum protein requirements. *J. Dairy Sci.* 53:1618.
- 29.- Gebauer, S.L. y T.L. Stanton. 1993. Effects of level of whole roasted soybeans in whole shelled corn diets on finishing steers performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 71 (Suppl. 1):261.
- 30.- Gidley, M.J. y D. Cooke. 1991. Aspects of molecular and ultrastructure in starch granules. *Biochemical-Society-Transactions.* 19:551.
- 31.- Goedeken, F.K., T.J. Klopfenstein, R.A. Stock, R.A. Britton y M.H. Sindt. 1990a. Protein value of feather meal for ruminants as affected by blood addition. *J. Anim. Sci.* 68:2936
- 32.- Goedeken, F.K., T.J. Klopfenstein, R.A. Stock y R.A. Britton. 1990. Hydrolyzed feather meal as a protein source for growing calves. *J. Anim. Sci.* 68:2945.

- 33.- Goetsch, A.L. y F.N. Owens. 1985. effects of calcium source and level on site of digestion and calcium levels in the digestive tract of cattle fed high-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 61:995.
- 34.- Gray, G.M. 1992. Starch digestion and absorption in nonruminants. *J. Nutr.* 122:172.
- 35.- Haaland, G.L., H.F. Tyrrell, P.W. Moe y W.E. Wheeler. 1982. Effect of crude protein level and limestone buffer in diets fed at two levels of intake on rumen pH, ammonia-N, buffering capacity and volatile fatty acid concentration of cattle. *J. Anim. Sci.* 55:943.
- 36.- Hale, W.H. 1973. Influence of processing on the utilization of grain (starch) by ruminants. *J. Anim. Sci.* 37:1075.
- 37.- Harmon, D.L., R.A. Britton, R.L. Prior y R.A. Stock. 1985. Net portal absorption of lactate and volatile fatty acids in steers experiencing glucose-induced acidosis or fed a 70% concentrate diet ad libitum. *J. Anim. Sci.* 60:560.
- 38.- Hicks, C.R. 1973. Fundamental concepts in the design of experiments. Holt, Rinehart and Wiston, New York. USA.
- 39.- Hill, F.N. y D.L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587.
- 40.- Healy, B.J., R.T. Brandt, Jr. y T.P. Eck. 1995. Combination of non protein nitrogen and natural protein affect performance of finishing steers fed flaked corn diets. *J. Anim. Sci.* 73 (Suppl. 1):258.
- 41.- Huntington, G. 1995. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 73 (Suppl. 1):268.
- 42.- Hussein, H.S. y R.M. Jordan. 1991. Fish meal as a protein supplement in finishing lamb diets. *J. Anim. Sci.* 69:2115.
- 43.- Hussein, H.S., R.M. Jordan y M.D. Stern. 1991. Ruminal protein metabolism and intestinal amino acid utilization as affected by dietary protein and carbohydrate sources in sheep. *J. Anim. Sci.* 69:2134.
- 44.- Johnson, D.E., J.K. Matsushima y K.L. Knox. 1968. Utilization of flaked vs. cracked corn by steers with observations on starch modification. *J. Anim. Sci.* 27:1431.
- 45.- Johnson, A., R. Hurwitz y N. Kretzmer. 1977. Adaptation of rat pancreatic amylase and chymotrypsinogen to change in diet. *J. Nutr.* 107:87.
- 46.- Jordan, H.N. y R.W. Phillips. 1978. Effect of fatty acids on isolated ovine pancreatic islets. *Am. J. Physiol.* 234:E162.
- 47.- Karr, M.R., C.O. Little and G.E. Mitchell, Jr. 1966. Starch disappearance from different segments of the digestive tract of steers. *J. Anim. Sci.* 25:652.
- 48.- Katoh, K. y T. Tsuda. 1984. Effects of acetylcholine and short-chain fatty acids on acinar cells of the exocrine pancreas in sheep. *J. Physiol.* 356:479.
- 49.- Katoh, K. y T. Yajima. 1989. Effects of butyric acid and analogues on amylase release from pancreatic segments of sheep and goats. *Pflugers Arch.* 413:256.

- 50.- Kirkpatrick, B.K. y J.J. Kennelly. 1989. Influence of supplemental protein source and protein concentration on ruminal and intestinal digestion in heifer. *J. Anim. Sci.* 67:2743.
- 51.- Kotarski, S.F., R.D. Waniska y K.K. Thurn. 1992. Starch utilization by the ruminal microflora. *J. Nutr.* 122:178.
- 52.- Kreikenmeier, K.K., D.L. Harmon, R.T. Brandt, Jr., T.G. Nagaraja y R.C. Crochran. 1990. Steam-rolled wheat diets for finishing cattle: effects of dietary roughage and feed intake on finishing steers performance and ruminal metabolism. *J. Anim. Sci.* 68:2130.
- 53.- Kropp, J.R., R.R. Johnson, J.R. Males y F.N. Owens. 1977. Microbial protein synthesis with low quality roughage rations: Isonitrogenous substitution of urea for soybean meal. *J. Anim. Sci.* 46:837.
- 54.- Lee, R.W., M.L. Galyean y G.P. Lofgreen. 1982. Effects of mixing whole shelled and steam flaked corn in finishing diets on feedlot performance and site and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 55:475.
- 55.- Little, C.O., G.E. Mitchell y C.M. Reitnour. 1968. Postruminal digestion of corn starch in steers. *J. Anim. Sci.* 27:790.
- 56.- Lofgreen, G.P. y W.N. Garrett. 1968. a system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 27:793.
- 57.- Ludden, P.A., J.M. Jones y M.J. Cecava. 1993. Effects of source and level of preformed protein in the diet on gain and feed efficiency of growing beef steers fed a corn-based diet. *J. Anim. Sci.* Vol. 71 (Suppl. 1):294.
- 58.- Magee, D.F. 1961. An investigation into the external secretion of the pancreatic in sheep. *J. Physiol.* 158:132.
- 59.- MacRae, J.C. y D.G. Armstrong. 1968. Enzyme method for determination of a-linked glucose polymers in biological materials. *J. Sci. Fd. Agric.* 19:578.
- 60.- Matsushima, J.K., y R.L. Montgomery. 1967. The thick and thin of flaked corn. *Colorado Farm Home Res.* 17:4.
- 61.- McCarthy, Jr., R.D., T.H. Klusmeyer, J.L. Vicini, J.H. Clark, y D.R. Nelson. 1989. Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72:2002.
- 62.- McCormick, R.J. y W.E Stewart. 1967. Pancreatic secretion in the bovine calf. *J. Dairy Sci.* 50:568.
- 63.- Milton, C.T. y R.T. Brandt, Jr. 1995. Optimal urea level in corn-based finishing diets containing alfalfa as the roughage source. *Kansas State University, Agr. Exp. Sta. Report of progress 727.* p 25-27.
- 64.- Moore, J.A., M.H. Poore, T.P. Eck, R.S. Swingle, J.T. Huber y M.J. Arana. 1992. Sorghum grain processing and buffer addition for early lactation cows. *J. Dairy. Sci.* 75:3465.

- 65.- Nakamura, T., T.J. Klopfenstein, D.J. Gibb y R.A. Britton. 1994. Growth efficiency and digestibility of heated protein fed to growing ruminants. *J. Anim. Sci.* 72:774.
- 66.- Nimrick, E., A.P. Peter y E.E. Hatfield. 1972. Aldehyde-treated fish and soybean meals as dietary supplements for growing lambs. *J. Anim. Sci.* 34:488.
- 67.- NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle (6th Ed.). National Academy Press. Washington, DC., USA.
- 68.- NRC. 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (6th Ed.). National Academy Press. Washington, DC. USA.
- 69.- NRC. 1996. Nutrient Requirements for Beef Cattle (7th Rev. Ed.) National Academy Press, Washington, DC., USA.
- 70.- Oltjen, R.R y R.E. Davis. 1965. Factors affecting the ruminal characteristics of cattle fed all-concentrate rations. *J. Anim. Sci.* 24:198.
- 71.- Orskov, E.R., C. Fraser, V.C. Mason y S.O. Mann. 1970. Influence of starch digestion in the large intestine of sheep on caecal fermentation, caecal microflora and faecal nitrogen excretion. *Br. J. Nutr.* 24:671.
- 72.- Orskov, E.R., C. Fraser y R.N.B. Kay. 1969. Dietary factors influencing the digestion of starch in the rumen and small intestine of early weaned lambs. *Br. J. Nutr.* 23:217.
- 73.- Osman, H.F., B. Theurer, W.H. Hale y S.M. Mehen. 1970. Influence of grain processing on *in vitro* enzymatic starch digestion of barley and sorghum grain. *J. Nutr.* 100:1133.
- 74.- Owens, F.N., R.A. Zinn y Y.K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.* 63:1634.
- 75.- Pate, F.M., P.M. Fairhurst y J.T.K. Munthali. 1985. Urea levels and supplemental energy sources in sugar cane diets. *J. Anim. Sci.* 61:252.
- 76.- Perry, T.W., W.M. Beeson y M.T. Mohler. 1967. A comparison of high-urea supplements with natural protein supplements for growing and fattening beef cattle. *J. Anim. Sci.* 26:1434.
- 77.- Perry, T.W., W.M. Beeson y M.T. Mohler. 1976. Self feeding finishing beef cattle on pasture with corn and various types and levels of protein supplements. *J. Anim. Sci.* 42:1397.
- 78.- Pena, F, H. Tagari y L.D. Satter. 1986. The effect of heat treatment of whole cottonseed on site and extent of protein digestion in dairy cows. *J. Anim. Sci.* 62:1423.
- 79.- Pendlum, L.C., J.A. Boiling y N.W. Bradley. 1976. Plasma and ruminal constituents and performance of steers fed different nitrogen sources and levels of sulfur. *J. Anim. Sci.* 43:1307.
- 80.- Pendlum, L.C., J.A. Boiling y N.W. Bradley. 1980. Nitrogen sources and monensin levels for growing steers fed corn silage. *J. Anim. Sci.* 50:29.
- 81.- Plegge, S.D., L.L. Berger y G.C. Fahey Jr. 1983. Performance of growing and finishing steers fed roasted soybean meal. *J. Anim. Sci.* 57:1374.

- 82.- Poe, S.E., D.G. Ely, G.E. Mitchell, Jr., W.P. Deweese y H.A. Glimp. 1970. Rumen development in lambs: I. Microbial digestion of starch and cellulose. *J. Anim. Sci.* 32:740.
- 83.- Peters, J.P., E.N. Bergman y J.M. Elliot. 1983. Changes of glucose, insuline and glucagon with propionate infusion and vitamin B-12 status in sheep. *J. Nutr.* 113:1229.
- 84.- Prigge, E.C., M.L. Galyean, F.N. Owens, D. Wagner y R.R. Johnson. 1978. Microbial protein synthesis in steers fed processed corn rations. *J. Anim. Sci.* 46:249.
- 85.- Putnam, P.A., C.J. Elam, R.E. Davis y J.N. Wiltbank. 1965. Dietary energy and protein effects on rumen volatile acids and ration digestibility by beef heifer. *J. Anim. Sci.* 24:988.
- 86.- Ramírez, R.G., H.E. Kiesling, M.L. Galyean, G.P. Lofgreen y J.K. Elliott. 1985. Influence of steam-flaked, steamed-whole or whole shelled corn on performance and digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 61:1.
- 87.- Rivera, P.H., L.E.R. Peo, Jr., D. Flowerday, T.D. Crenshaw y B.D. Cunningham. 1978. Effect of maturity and drying temperature on nutritional quality and aminoacid availability of normal and opaque-2 corn for rat and swine. *J. Anim. Sci.* 46:1024.
- 88.- Rivera, P.H., L.E.R. Peo, Jr., D. Flowerday, T.D. Crenshaw y B.D. Cunningham. 1978. Effect of drying temperature on nutritional quality and availability of aminoacid in normal and opaque-2 corn for rats. *J. Anim. Sci.* 46:1275.
- 89.- Rock, D.W., T.J. Kopflestein, J.K. Ward, R.A. Britton y M.L. McDonnell. 1983. Evaluation of slowly degraded protein: Dehydrated alfalfa and corn gluten meal. *J. Anim. Sci.* 56:476.
- 90.- Russell, J.R., A.W. Young y N.A. Jorgensen. 1981. Effect of dietary corn starch intake on ruminal, small intestinal and large intestinal starch digestion in cattle. *J. Anim. Sci.* 52:1170.
- 91.- Russell, J.R., A.W. Young y N.A. Jorgensen. 1981. Effect of dietary corn starch intake on pancreatic amylase and intestinal maltase and pH in cattle. *J. Anim. Sci.* 52:1177.
- 92.- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie. 1985. *Bioestadística: Principios y procedimientos* (2a Edición). Ed. McGraw-Hill. México, D.F.
- 93.- Tanigushi, K., G.B. Huntington y B.P. Gleen. 1995. Net nutrient flux by visceral tissues of beef steers given abomasal and ruminal infusions of casein and starch. *J. Anim. Sci.* 73:236.
- 94.- Taylor, R.B. 1962. Pancreatic secretion in the sheep. *Research Vet. Sci.* 3:63.
- 95.- Theurer, C.B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649.
- 96.- Thomas, V.M., C.K. Clark y C.M. Schuldt. 1994. Effects of substituting feather meal for soybean meal on ruminal fiber fermentation and lamb and wool growth. *J. Anim. Sci.* 72:509.

- 97.- Thomas, E.E, C.R. Mason y S.P. Schmidth. 1984. Relation of feedlot performance and certain physiological responses to the metabolizable protein and urea content of cattle diets. *J. Anim. Sci.* 58:1285.
- 98.- Thomas,E., A.Trenkle y W. Burroughs. 1979. Evaluation of protective agent applied to soybean meal and fed to cattle I. Laboratory measurements. *J. Anim. Sci.* 49:1337.
- 99.- Thomas,E., A.Trenkle y W. Burroughs. 1979. Evaluation of protective agent applied to soybean meal and fed to cattle II. Feedlot trials. *J. Anim. Sci.* 49:1346.
- 100.- Thomas, E.E., G.W. Turnbull y R.W. Russell. 1988. Effect of particle size and steam treatment of feedstuffs on rate and extent of digestion (*in vitro* and *in situ*). *J. Anim. Sci.* 66:234.
- 101.- Thompson, J.T., N.W. Bradley y C.O. Little. 1967. Utilization of urea and fat in meal and pelleted rations for steers. *J. Anim. Sci.* 26:830.
- 102.- Titgmeyer, E.C., N.R. Merchen y L.L. Berger. 1989. Evaluation of soybean meal, corn gluten meal, blood meal and fish meal as sources of nitrogen and amino acids disappearing from the small intestine of steers. *J. Anim. Sci.* 67:262.
- 103.- Trenkle, A. 1970. Effects of short-chain fatty acids, feeding, fasting and type of diet on plasma insulin levels in sheep. *J. Nutr.* 100:1323.
- 104.- Turgeon, O.A., Jr., D.R. Brink y R.A. Britton. 1983. Corn particle size mixtures, roughage level and starch utilization in finishing steers diets. *J. Anim. Sci.* 57:739.
- 105.- Snook, J. y J.H. Meyer. 1964. Response of digestive enzyme to dietary protein. *J. Nutr.* 82:409.
- 106.- Ushijima, J., M.O. Kubo y S. Kato. 1984. Composition changes in pancreatic juice in sheep caused by prevention of entry of digesta into the duodenum. *Can. J. Anim. Sci.* 64 (Suppl.1):104.
- 107.- Veira, D.M., G.K. Macleod, J.H. Burton y J.B. Stone. 1980. Nutrition of the weaned Holstein calf. II. Effect of dietary protein level on nitrogen balance, digestibility and feed intake. *J. Anim. Sci.* 50:945.
- 108.- Walker J.A. y D.L. Harmon. 1995. Influence of abomasal starch hydrolisate infusion on pancreatic exocrine secretion and blood glucose and insulin concentration in steers. *J. Anim. Sci.* 73:3766.
- 109.- Walker, G.J. y P.M. Hope. 1963. The action of some α -amylases on starch granules. *Biochem. J.* 86:452.
- 110.- Wheeler, W.E. 1980. Gastrointestinal tract pH environment and the influence of buffering materials on the performance of ruminants. *J. Anim. Sci.* 51:224.
- 111.- Wheeler, W.E. y C.H. Noller. 1976. Limestone buffers in complete mixed rations for dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 59:1788.
- 112.- Wheeler, W.E. y C.H. Noller. 1977. Gastrointestinal tract pH and starch in feces of ruminants. *J. Anim. Sci.* 44:131.

- 113.- White, T.W., L.D. Bunting, L.S. Sticker, F.G. Hembry y A.M. Saxton. 1992. Influence of fish meal and supplemental fat on performance of finishing steers exposed to moderate or high ambient temperatures. *J. Anim. Sci.* 70:3286.
- 114.- Willcox, M.C., R.D. Shaver, J.G. Coors y K.K. Batajoo. 1994. Influence of sugary-brown 2 or dent corn at two forage levels on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Anim. Sci.* 72:220.
- 115.- Willms, C.L., L.L. Berger, N.R. Merchen y G.C. Fahey, Jr. 1991. Effects of supplemental protein source and level of urea on intestinal amino acid supply and feedlot performance of lambs fed diets based on alkaline hydrogen peroxide-treated wheat straw. *J. Anim. Sci.* 69:4925.
- 116.- Wray, I.M., W.M. Beeson, T.W. Perry, M.T. Mohler y E. Baugh. 1979. Effect of soybean, feather and hair meals and fat on the performance of growing-finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 48:748.
- 117.- Wray, I.M., W.M. Beeson y T.W. Perry. 1980. Effect of soybean, feather and hair meal protein on dry matter, energy and nitrogen utilization by growing steers. *J. Anim. Sci.* 50:581.
- 118.- Wylie, M.J., T.W. White, W.C. Ellis y J.H. Matis. 1990. The flow of undigested corn residues through the gastrointestinal tract of cattle. *J. Anim. Sci.* 68:3843.
- 119.- Zinn, R.A. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 65:256.
- 120.- Zinn, R.A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim. Sci.* 66:213.
- 121.- Zinn, R.A. 1988. Crude protein and amino acid requirements of growing-finishing Holstein steers gaining 1.43 kilograms per day. *J. Anim. Sci.* 66:1755.
- 122.- Zinn, R.A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:767.
- 123.- Zinn, R.A. 1990. Influence of steaming time on site of digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68:776.
- 124.- Zinn, R.A. 1993. Influence of processing on the comparative feeding value of barley for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 71:3
- 125.- Zinn, R.A. 1993. Influence of processing on feeding value of oats for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 71:2303.
- 126.- Zinn, R.A. 1994. Influence of flake thickness on the feeding value of steam-rolled wheat for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 72:21.
- 127.- Zinn, 1994. Reevaluation of urea in feedlot diets. *Proceedings Southwest nutrition and management Conference, Phoenix, Arizona.* p. 17.

- 128.- Zinn, R.A., C.F. Adam y M.S. Tamayo. 1995. Interaction of feed intake level on comparative ruminal and total tract digestion of dry-rolled and steam-flaked corn. *J. Anim. Sci.* 73: 1239.
- 129.- Zinn, R.A., J.L. Borquez y A. Plascencia. 1994. Influence of levels of supplemental urea on characteristics of digestion and growth performance of feedlot steers fed a fat-supplemented high-energy finishing diets. *The Professional Animal Scientist* 10:5.
- 130.- Zinn, R.A., L.S. Bull y R.W. Hemken. 1981. Degradation of supplemental proteins in the rumen. *J. Anim. Sci.* 52:857.
- 131.- Zinn, R.A., J.R. Dunbar y B.B. Norman. 1988. influence of pelleting on the comparative feeding value of cottonseed meal in reciving diets for feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 66:1335.
- 132.- Zinn, R.A. y F.N. Owens. 1980. Expanding our concept of starch digestion in the ruminant. *Minnesota Nutr. Conf.* p.69.
- 133.- Zinn, R.A. y 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.
- 134.- Zinn, R.A. y F.N. Owens. 1993. Ruminal escape protein for lightweight feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 71:1677.