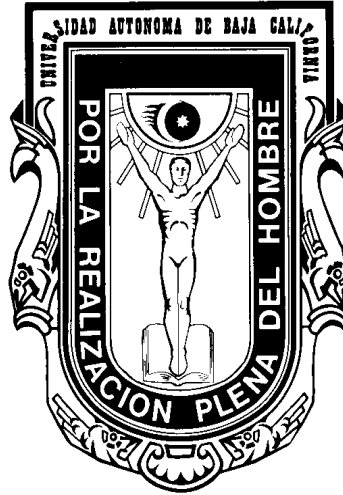


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



**EVALUACIÓN DEL MAÍZ BLANCO (*Zea Mays L.*)
HOJUELEADO CON VAPOR Y QUEBRADO EN SECO, UTILIZADO EN DIETAS
DE FINALIZACIÓN PARA BOVINOS DE ENGORDA:
DIGESTIÓN DE NUTRIMENTOS**

TESIS

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


PRESENTA

DIXIE MAY GARCÍA

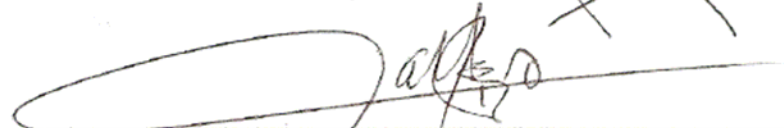
MEXICALI, B. C., MÉXICO

ABRIL DEL 2008


Evaluación del maíz blanco (*Zea Mays L.*) hojueleado con vapor y quebrado en seco, utilizado en dietas de finalización para bovinos de engorda: Digestión de nutrimentos. Tesis presentada por Dixie May García como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:



Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Director Principal/



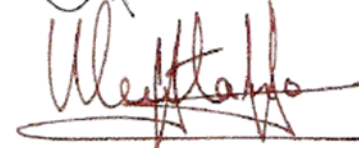
Dr. José Fernando Calderón Cortés
Asesor/



Dr. Luis Corona Gochi
Asesor/



M.C. María Alejandra López Soto
Asesor/



Dr. Martín Francisco Montaña Gómez
Asesor/

Mexicali, B.C. a 30 de Abril del 2008

Lugar y Fecha

Contenido

	Pág.
Lista de Cuadros	i
Lista de Figuras	li
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Revisión de Literatura	5
<i>Estructura del grano de maíz</i>	5
<i>Composición química del grano de maíz</i>	7
<i>Características físico-químicas del almidón</i>	11
<i>Características químicas</i>	11
<i>Características físicas</i>	12
<i>Propiedades del almidón</i>	13
<i>Hinchamiento y gelatinización</i>	13
<i>Retrogradación</i>	14
<i>Factores que afectan la digestibilidad del almidón</i>	15
<i>Interacciones almidón-proteína</i>	16
<i>Procesamiento del grano</i>	18
<i>Maíz quebrado y molido en seco</i>	19
<i>Maíz hojueleado con vapor</i>	21
<i>Grano alto en humedad</i>	23
<i>Otros</i>	24
<i>Sitio y grado de digestión del almidón</i>	26
Materiales y Métodos	38
<i>Localización del área dónde se llevó a cabo el estudio</i>	38
<i>Composición química del grano</i>	38
<i>Características de las unidades experimentales</i>	39
<i>Desarrollo experimental</i>	39
<i>Procesamiento del grano evaluado</i>	42

<i>Pruebas de laboratorio</i>	43
<i>Variables evaluados</i>	45
<i>Diseño experimental</i>	45
Resultados y Discusión	46
<i>Caracterización de la composición fisicoquímicas</i>	46
<i>Digestión de nutrimentos</i>	49
<i>Maíz amarillo en hojuela (MAH31) vs. maíz blanco en hojuela (MBL31)</i>	49
<i>La intensidad de procesado del maíz blanco (MBL31 vs. MBL36)</i>	52
<i>Tipo de procesamiento en el maíz blanco (maíz en hojuela vs. maíz quebrado)</i>	53
Conclusiones	57
Literatura Citada	58

Lista de Cuadros

Cuadro		Pág
1	Composición química proximal del grano de maíz y sus principales componentes (%).....	9
2	Influencia del tipo de grano maíz sobre la degradación ruminal del almidón	29
3	Influencia del tipo de grano de maíz sobre el consumo y digestibilidad del almidón en el tracto gastrointestinal del ganado de engorda	30
4	Influencia del método de procesamiento del grano de maíz sobre el sitio de digestión del almidón	33
5	Influencia de la densidad de la hojuela del maíz procesado con vapor sobre la digestibilidad del almidón en rumen e intestinos de ganado de engorda	35
6	Interacciones de la cristalinidad del grano de maíz y el procesado sobre la digestibilidad del almidón	37
7	Composición en base seca de las dietas experimentales consumidas por los novillos	41
8	Composición química del maíz utilizado en los tratamientos	47
9	Distribución de los componentes de los granos utilizados en los tratamientos.....	48
10	Efecto de los tratamientos sobre flujo y digestión en novillos Holstein canulados (143 ± 2.8 kg)	50

Lista de Figuras

Figura		Pág
1	Estructura del grano de maíz	6
2	Contenido de nutrientes del maíz y sus partes	10
3	Relación entre cristalinidad del grano de maíz y la disponibilidad ruminal <i>in situ</i> del almidón, medido en híbridos de maíz dentado (■) e híbridos de maíz flint (▲)	31

RESUMEN: Cuatro novillos Holstein (143 ± 2.8 kg) habilitados con cánulas en rumen y duodeno fueron utilizados en un diseño de cuadrado Latino 4x4 para comparar las características de la digestión del maíz amarillo y del maíz blanco. Los tratamientos consistieron en dietas conteniendo 79.7% de grano de la siguiente manera: 1) maíz amarillo hojueado con vapor a una densidad de 0.31 kg/L (**MAH31**), 2 y 3) maíz blanco hojueado con vapor (**MBH**) a una densidad de 0.31 kg/L (**MBL31**) o de 0.36 kg/L (**MBL36**) y 4) maíz blanco quebrado (**MBLQ**). No existió diferencia ($P > 0.32$) en la digestión ruminal y posruminal de la MO, N, almidón y eficiencia microbiana cuando se comparó **MAH31 vs MBL31**. Sin embargo, **MBL31** disminuyó la digestión a nivel de tracto total de la MS (2.6%, $P < 0.04$) y la MO (1.8%, $P < 0.05$), sin diferencia ($P = 0.49$) en la digestión de N y almidón a ese nivel. Comparado **MBH** contra **MBLQ**, **MBH** mejoró la digestión ruminal (15.4%, $P < 0.01$), posruminal (76%, $P < 0.01$) y en tracto total (14.3%, $P < 0.01$) del almidón, al tiempo que incrementó ($P < 0.06$) la digestión posruminal y de tracto total de la MO y del N. Sólo se observó una mejor ($P = 0.03$) digestión de MO a nivel posruminal para el **MBL36** comparado con **MBL31**, sin diferencias en los otros parámetros evaluados. El valor nutrimental del maíz amarillo y el maíz blanco hojueado es similar. Dada sus características, relacionadas principalmente con la proporción de endospermo duro, la magnitud de la respuesta al hojueado con vapor es mayor para el maíz blanco comparado con el maíz amarillo.

Palabras clave: Novillo, Maíz Blanco, Digestión, Procesamiento.

ABSTRACT: Four Holstein steers (143 ± 2.8 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used in a 4x4 Latin square experiment to evaluate the influence of type of corn (yellow and white) on digestive function. Treatments consisted in a basal diet containing 79.7 % of grain as follows: 1) Steam-flaked yellow corn, 0.31 kg/L density (**MAH31**), 2 y 3) Steam-flaked white corn with 0.31 kg/L or 0.36 kg/L density (**MBL31** and **MBL36**), and 4) Dry-rolled white corn (**MBLQ**). When compared **MAH31 vs. MBL31** treatments, there were no differences ($P > 0.32$) on ruminal and posruminal digestion of OM, N, starch and microbial efficiency. However, **MBL31** decreased total tract DM (2.6%, $P < 0.04$) and OM (1.8%, $P < 0.05$) digestion, but no differences on N nor on starch were observed. Comparing **MBH** versus **MBLQ**, **MBH** had a greater ruminal (15.4%, $P < 0.01$), posruminal (76%, $P < 0.01$) and total tract (14.3%, $P < 0.01$) digestion of starch, and increased ($P < 0.06$) posruminal and total tract digestion of OM and N. Only an increase ($P = 0.03$) on OM posruminal digestion was observed with **MBL36** compared **MBL31**. Feed value of white corn is similar than yellow corn. As result of its characteristics, mainly those related to its hard endosperm content, the magnitude of response to steam-flaked processing can be greater with white corn.

Key words: Steer, White Corn, Digestion, Processing

Introducción

Las dietas de finalización destinadas para el ganado de engorda se caracterizan por contener cantidades de cereales que pueden llegar a representar el 70% de la ración (Phillippeau et al., 1999a). El cereal más utilizado es, por sus características, el maíz, ya que su alto contenido de almidón, su fácil procesamiento y los factores asociativos que le confiere su inclusión a las dietas, lo hacen el cereal por excelencia para este tipo de raciones (Cooper et al., 2002)

El valor nutricional del maíz está estrechamente relacionado con la disponibilidad del almidón presente para que éste sea digerido y absorbido, sin causar efectos negativos como la presentación de acidosis en los rumiantes (Orskov, 1986). Sin embargo, para disponer eficientemente del almidón es necesario procesar el grano, ya que las limitantes para digerir el almidón son: a) la matriz proteica que lo envuelve y b) el tipo de almidón que lo conforma, principalmente la proporción de amilopectina (almidón de cadena ramificada) y amilosa (almidón de cadena lineal) y c) la interrelación almidón-proteína presente en el grano (Thorne et al., 1983).

Existen diversos informes los cuales indican que dentro de una misma especie de cereal difieren las proporciones de amilopectina, amilosa y su interrelación con la matriz proteica, por lo que se presume que la variedad del grano tiene potencialmente un efecto sobre la calidad del almidón y por lo tanto del valor energético que éste proporciona a las dietas (Correa et al., 2002).

Hipótesis

Por lo tanto, considerando que el valor nutrimental del grano de maíz utilizado en dietas de finalización para bovinos de engorda está directamente relacionado con la digestibilidad del almidón, se puede suponer que para una variedad como la del maíz blanco, exista la posibilidad de que su valor nutrimental para el bovino de engorda difiera a lo especificado en los estándares actuales referidos a maíz amarillo.

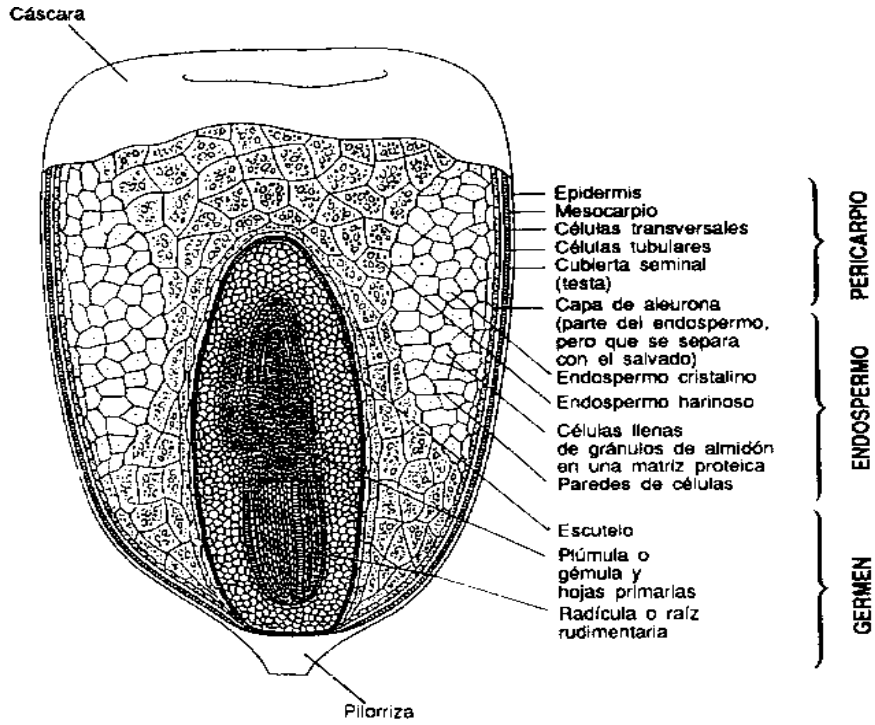
Debido a que hasta el momento no existen informes disponibles sobre el valor nutrimental del maíz blanco utilizado en dietas de finalización para bovinos en engorda, el objetivo de este trabajo es el de contribuir al conocimiento sobre el valor nutrimental del maíz blanco utilizado en dietas de finalización para bovinos de engorda tomando como referencia al maíz amarillo.

Revisión de Literatura

La industria ganadera depende de los cereales como principal fuente de energía y proteína en raciones utilizadas en las fases de finalización en corral. Como para cualquier otro alimento, el valor alimenticio de los cereales está en función de tres factores: contenido de nutrientes, consumo y digestibilidad (Rooney y Pflugfelder, 1986). Las características físico-químicas del grano pueden alterar su digestibilidad, gustosidad y sus efectos asociativos con otros ingredientes de la dieta. Los métodos de procesamiento buscan modificar la digestibilidad y aceptabilidad de los granos sin afectar el pH ruminal o provocar disfunciones digestivas, incrementando la disponibilidad del almidón (Owens et al., 1997).

Estructura del grano de maíz

Los granos del maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la espiga o mazorca, la cual, dependiendo de su diámetro y longitud así como de su número de hileras puede contener de 300 a 1000 granos. El grano de maíz se denomina cariósido o cariopsis y está compuesto por 4 estructuras físicas fundamentales: el pericarpio (cáscara o salvado), el endospermo, el germen o embrión y la piloriza (tejido inerte mediante el cual se une el grano y el carozo) Figura 1 (FAO, 1993), los cuales representan en promedio el 5.3%, 82.9%, 11.1% y 0.8% respectivamente (Owens y Zinn, 2005).



(Facilitado por el Wheat Flour Institute, Chicago, Illinois, 1964)

FAO, 1993

Figura 1. Estructura del grano de maíz

El pericarpio envuelve al embrión o germen así como al endospermo, el cual contiene la mayor parte del almidón. Dentro del endospermo está la lámina aleurona, que contiene enzimas esenciales y enzimas inhibitorias, por debajo de esta lámina están el endospermo periférico y el córneo que contienen los gránulos de almidón incrustados en una rica matriz proteica (Huntington, 1997).

Por debajo de estas láminas se encuentran el endospermo harinoso que posee altas concentraciones de gránulos de almidón que no están unidos a la matriz proteica, lo que hace a este tipo de almidón más susceptible a las fuerzas externas como la digestión o el procesamiento del grano (Rooney y Pflugfelder, 1986).

La diferencia en la proporción del endospermo córneo y harinoso determina su clasificación en 5 tipos generales: flint (duro), palomero, harinoso, dentado y dulce, así como también para determinar la variedad de los mismos (Huntington, 1997). El maíz flint posee un endospermo grueso, córneo o vítreo, que encierra un centro pequeño, granuloso y amiláceo, mientras que el harinoso presenta un endospermo suave o blando. El maíz dentado representa una cruce de los tipos flint y harinoso, por lo que su endospermo es calloso y vítreo en los lados y parte posterior del grano, mientras que su núcleo central es blando (FAO, 1993; Pratt et al., 1995).

Composición química del grano

La composición química del grano depende de sus características físicas que le han sido conferidas por los factores genéticos y ambientales, por lo cual difiere

entre las diversas variedades. El grano de maíz utilizado en la industria ganadera presenta la composición química mostrada en el Cuadro 1, y cuya distribución se encuentra representada en la Figura 2.

El pericarpio, que protege al grano de la humedad, los insectos y las infecciones fungales, posee un elevado contenido de fibra detergente neutra (FDN), aproximadamente 90%, lo que representa el 4.7 % del peso del grano y cerca de la mitad de la FDN del grano, considerando que el grano tiene en promedio 10% de FDN. La disponibilidad de energía de varios granos está fuertemente relacionada con la cantidad de almidón en el grano, ya que éste es más digestible que los otros componentes, especialmente la FDN. Para la digestión del almidón contenido en el endospermo, la cubierta del grano debe ser quebrada para permitir la acción microbiana y enzimática, pero aun después del rolado en seco el pericarpio usualmente permanece unido al almidón vítreo, por lo que esta tendencia puede limitar el acceso del endospermo a la fermentación o digestión (Owens y Zinn, 2005). El secado con alta temperatura y la cosecha temprana son factores que permiten el rompimiento del pericarpio y la separación de éste con el endospermo lo que conlleva un incremento de la exposición del almidón así como la tasa y grado de digestión, por lo que el rolado u hojueado con vapor y el ensilado pueden reducir la asociación física del pericarpio con el endospermo (Huntington, 1997).

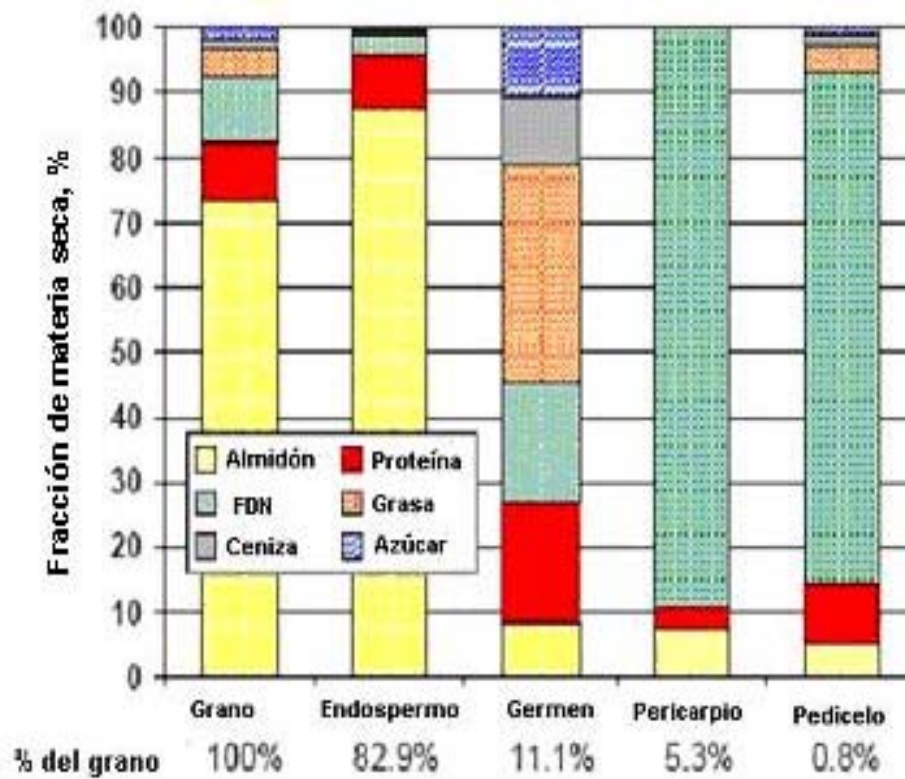
Ya que el grano entero con un pericarpio intacto es resistente a la digestión por los rumiantes, el grano puede ser procesado de diferentes formas como el rolado en seco, que a pesar de exponer al endospermo cristalino lo mantiene unido

Cuadro 1. Composición química proximal del grano de maíz y sus principales componentes (%)

Componente	Grano^a	Pericarpio^b	Endospermo^b	Germen^b
Proteína	9.80	3.70	8.00	18.40
Extracto Etéreo	4.06	1.00	0.80	33.22
Fibra Neutro Detergente (FDN)	10.80	86.70	2.70	8.80
Ceniza	1.46	0.80	0.30	10.50
Almidón	71.88	7.30	87.60	8.30
Azúcar		0.34	0.62	10.80

^aNRC, 1996

^bFAO, 1993



OWENS y ZHANG, 2003

Figura 2. Contenido de nutrientes del maíz y sus partes

al pericarpio, lo cual sirve como un escudo para que actúen de manera adecuada bacterias y enzimas. Para reducir esa asociación física del pericarpio con el endospermo se utilizan métodos que emplean calor, humedad, tiempo y acción mecánica como el hojueado, micronizado, reconstitución, ensilado (Theurer, 1986).

Las características de la cubierta de la semilla, pared celular y estructura de la matriz proteica son elementos importantes en la digestión del almidón, cuyo contenido en el maíz se puede encontrar desde 72 % (Streeter et al., 1990) hasta 76% (Herrera-Saldaña et al., 1990), esta variación puede deberse a factores medioambientales, variedad, edad, diferencias en el almacenaje, procesamiento y metodología de análisis (Herrera-Saldaña et al., 1990). Sin embargo, Zinn et al. (2002) informan una concentración de almidón de $71.0\% \pm 0.4$ en 46 híbridos modernos de maíz amarillo dentado en pruebas hechas en EUA.

Características físico-químicas del almidón

Características químicas: El almidón es un glucano compuesto de dos tipos de moléculas: amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de D-glucosa con ligaduras α -1-4, por lo que tiende a ser menos digestible por las enzimas. El contenido de amilosa del cereal normal es de 20 a 30 % (French, 1973). Procedimientos genéticos y cruzamientos han proporcionado nuevas variedades de almidón incluyendo el maíz waxy (céreo) que puede contener poca o nada de amilosa o el maíz alto en amilosa (amilomaíz) que tiene aproximadamente 70% de amilosa sus cadenas de amilopectina parecen ser mas largas (Thomison, 1991).

La amilopectina es un polímero ramificado mucho más largo y es el componente más abundante de los almidones normales. Las cadenas lineales de D-glucosa con ligaduras α -1-4, tienen puntos de ramificación α -1-6 cada 20 o 25 residuos de glucosa. La amilopectina comprende del 70 al 80% de la mayoría del almidón de los cereales. El almidón del maíz común contiene cerca del 27% de amilosa y 72 % de amilopectina (Nocek y Tamminga, 1991).

Al ser inertemente insoluble en agua, el almidón es almacenado en las plantas en forma de gránulos. Los gránulos del almidón del maíz miden de 10 a 20 μ m, embebidos en una matriz proteica (French, 1973). Estos gránulos son pseudo-cristales que tienen áreas organizadas (cristalinas) o relativamente no organizadas (amorfas). La región cristalina está compuesta por amilopectina y es resistente a la entrada de agua, al ataque bacteriano y es la responsable de la birefringencia del gránulo. La región amorfa es rica en amilosa y es menos densa que el área cristalina, el agua se mueve libremente a través de ella y en ella inicia la acción de la amilasa (Rooney y Pflugfelder, 1986).

Características físicas: El almidón es el polisacárido de almacenamiento de las plantas y la mayor fuente de alimento para los animales y encuentra 60 al 80% en la mayoría de los granos de cereales (Herrera-Saldaña et al., 1990; Huntington, 1997).

El endospermo está compuesto por células alongadas que contienen a los gránulos de almidón que se encuentran embebidos en una matriz proteica continua

constituida principalmente por zeína (Nocek y Tamminga, 1991). Estos gránulos son insolubles en agua fría y de hinchamiento reversible, en los cuales las moléculas de amilopectina y amilosa se unen mediante puentes de hidrógeno. La densidad verdadera del almidón varía de 1.4 a 1.6 g/cm³. El tamaño de los gránulos del almidón de maíz puede ser de 2 a 30 µm, con formas esféricas o poligonales, que rotan en un plano de luz polarizada y se observa una sombra característica, en forma de cruz, fenómeno conocido como birefringencia. El microscopio de luz polarizada es utilizado como herramienta para identificar almidón y harinas, y medir la pérdida de organización de los gránulos de almidón durante el procesado. En general, los gránulos de almidón que muestran birefringencia se considera que están en su estado nativo (Rooney y Pflugfelder, 1986; Zinn et al., 2002).

Propiedades del almidón

Hinchamiento y Gelatinización: Los gránulos de almidón sufren gelatinización, o pérdida irreversible de su estructura nativa, cuando es aplicada la energía suficiente para romper los puentes de hidrógeno en el área cristalina, por ejemplo, exposición gradual al calor (hasta 55°C) donde los gránulos de almidón absorben agua, aproximadamente el 50 % de su peso, se hinchan, forman gel y expone parte de la amilosa haciéndola susceptible a la degradación enzimática y pérdida de la birefringencia (Nocek y Tamminga, 1991). Este hinchamiento es reversible, ya que el almidón después de que se enfría y seca se observa sin alteración, sin embargo si el calentamiento es aumentado hasta un rango de 60 a 80°C, la mayoría del almidón sufre un hinchamiento o gelatinización irreversible en el

cual los gránulos pierden su cristalinidad (Owens et al., 1997). Este proceso está asociado primeramente a la región amorfa, sin embargo, conforme se agrega temperatura y humedad, también se afectan las áreas cristalinas del gránulo de almidón (French, 1973). El rango de temperatura de gelatinización (RTG) varía con el genotipo del maíz y factores medioambientales relacionados con la producción del cultivo. El RTG del almidón del maíz normal es de 62 a 72 °C (Zinn et al., 2002).

La gelatinización del almidón puede ser causada por agentes mecánicos, térmicos, químicos o su combinación. Una gelatinización mecánica del almidón ocurre durante la molienda de los cereales, el resultado es un almidón “dañado” susceptible a ser degradado por acción de las amilasas, lo que ocurre también durante la extrusión, hojueleado y rolado (Nocek y Tamminga, 1991). En la práctica, la gelatinización es medida por la pérdida de birefringencia, poder de hinchamiento, solubilidad y reactividad enzimática (Zinn et al., 2002).

Retrogradación: Es la reasociación de las moléculas de almidón separadas durante la gelatinización, resultando en la liberación de agua del gel formado. Los puentes de hidrógeno entre la amilosa y las cadenas de amilopectina son restaurados, sin embargo el almidón retrógrado no tiene las características pseudo-cristalina del almidón nativo. La extensión de la retrogradación depende de diversos factores, incluyendo la fina estructura de la amilosa y amilopectina, el contenido de humedad, temperatura, la formación de complejos con lípidos y la concentración de almidón (French, 1973). Por lo tanto, la retrogradación conlleva la pérdida de la gelatinización o solubilidad del almidón (Zinn y Barajas, 1997).

Considerando que durante el hojueado al vapor se presentan los fenómenos anteriores, Ward y Galyean (1999) evaluaron la desaparición *in vitro* de materia seca (IVDMD) y la disponibilidad enzimática del almidón (liberación de glucosa). Observaron que la disponibilidad enzimática fue de 33 % para el maíz hojueado a vapor y almacenado por un tiempo y de 55% para el que fue hojueado y tomado “fresco” directamente de los rodillos. Los datos de la IVDMD fueron casi idénticos entre ambas muestras (almacenado vs. fresco), lo que sugirió que la retrogradación del almidón reflejada, por la diferencia de la disponibilidad enzimática, menor (40%) para el maíz hojueado y almacenado que el tomado de los rodillos, no tiene impacto sobre la habilidad de los microbios ruminales para degradar la materia seca, y presumiblemente el almidón. Con lo cual concuerda el estudio *in vivo* realizado por Zinn y Barajas (1997) en el cual la reactividad del almidón (medida de solubilidad del almidón relacionada con la gelatinización) fue similar (26.0 vs. 26.6) para el maíz hojueado fresco (hojueado diariamente para ser ofrecido) y maíz hojueado secado al aire (secado al aire por 5 días después de procesado). Teniendo así, que la retrogradación o pérdida de la solubilidad no aumenta por el secado posterior al hojueado, así como tampoco se alteran las características de digestión e incremento del valor nutritivo del maíz hojueado.

Factores que afectan la digestibilidad del almidón

La digestibilidad del almidón es afectada por la composición y forma física del almidón, las interacciones de proteína-almidón, la integridad celular de las unidades que contienen almidón, factores antinutricionales y la forma física del alimento

(Thorne et al., 1983). La cocción, generalmente mejora la digestibilidad de los almidones que normalmente son pobremente digeridos, en el amilomaíz esto no sucede ya que es poco digestible tanto en su forma cruda como cocinada, mientras el almidón de las variedades waxy (céreas) de los granos están entre las más digestibles, por lo tanto, se dice que la digestibilidad del almidón es inversamente proporcional al contenido de amilosa (Rooney y Pflugfelder, 1986)

Interacciones almidón-proteína: La interacción con proteínas, puede reducir la susceptibilidad del almidón intacto y procesado a la hidrólisis enzimática. Ya que los gránulos del almidón pueden estar completamente embebidos en una matriz proteica, como sucede en el endospermo cristalino y periférico del maíz por lo que la actividad de las enzimas aminolíticas se ve restringida proporcionando así la naturaleza de cristalinidad o dureza al grano. Por el contrario, en el endospermo harinoso los gránulos de almidón, están más accesibles a las bacterias del rumen, debido a que están incluidos en una matriz proteica discontinua (Kotarski et al., 1992; Philippeau et al., 1999a).

Los gránulos de almidón en el endospermo harinoso o suave del maíz tienen poros sobre su superficie, como cáscara de naranja; en contraste a las esferas comprimidas de almidón en el endospermo vítreo o duro, además son paquetes densos y unidos por zeinas solubles en alcohol, no tienen poros para la entrada de enzimas (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997). Sin embargo, como se mencionó la principal barrera para la digestión del almidón intacto parece ser la matriz proteica que encapsula los gránulos de almidón.

La matriz proteica en el trigo consiste en mayor medida de glutelinas solubles en ácidos y bases débiles y son rápidamente degradadas en el rumen. Por lo que el grado de digestión del almidón del trigo es alta (>80%) y no es incrementada por el hojueado al vapor (Zinn, 1994). En contraste, la dureza del endospermo del maíz, que está relacionada con su composición química, presenta un endospermo córneo que contiene gránulos de almidón compactos de forma poligonal con abundante matriz proteica directamente asociada, mientras que en el endospermo blando los gránulos son más grandes y menos agregados. La matriz proteica del maíz está compuesta principalmente de la prolamina, zeína, que son proteínas de almacenamiento solubles en alcohol y que representan 50 % o más del total de proteína del endospermo del maíz, aunque los granos con el gen mutado *o2*, tienen menos de 50 % de zeína. La zeína puede ser dividida en varias clases estructuralmente distintas: alfa, beta, gama y delta (Pratt et al., 1995; Robutti et al., 1997). Aunque las proteínas zeína son solubles en alcohol, estas son insolubles dentro del medio ruminal, lo cual provoca que las proteínas zeínas sean fermentadas lentamente en el rumen (NRC, 1996).

La proteína del maíz y sorgo se ha demostrado que es más resistente al ataque y penetración bacteriana que la del trigo y cebada (McAllister et al., 1994). El tratamiento con una enzima proteolítica (pronasa) del sorgo mejoró la tasa de hidrólisis del almidón (Kotarski et al., 1992) y esto fue debido a que las enzimas que degradan almidón fueron más efectivas una vez que la matriz proteica estaba desdoblada. McAllister et al. (1993) observaron que la digestión del almidón aislado de maíz y cebada es similar, aunque grano de cebada es más degradado que maíz,

lo que sugiere que los componentes estructurales del endospermo, que incluye la matriz proteica de zeína que está envolviendo los gránulos de almidón, son el factor más importante en la tasa y grado de digestión del almidón de maíz, más que las propiedades del gránulo.

Interacciones entre almidón y proteína pueden continuar después de que el grano fue procesado, así como también hay evidencia de que almidón gelatinizado puede formar complejos con proteína (Thorne et al., 1983). Joy et al. (1997) observaron que la degradación de nitrógeno alimenticio en el rumen fue más bajo para maíz hojueado al vapor (0.39 kg/L) que para maíz rolado en seco. Esto puede ser debido a la formación de complejos almidón y proteína. Ciertos lípidos pueden producir complejos con amilosa en almidón intacto y gelatinizado, pero el efecto sobre la digestibilidad se desconoce.

Procesamiento del grano: Aunque los granos pueden ser procesados para poderlos mezclar con otros ingredientes y reducir la separación de los componentes de la dieta durante su preparación y en el comedero, la principal razón para procesar los granos es para incrementar su valor nutricional. El valor alimenticio de los granos de cereal está determinado por su contenido nutricional, características físicas y químicas que afectan su digestibilidad, aceptabilidad e interacciones asociativas con el proceso digestivo. Los métodos de procesamiento son seleccionados para lograr la mejor digestibilidad y aceptabilidad sin afectar el pH ruminal y causar problemas digestivos. El resultado de la aplicación de estos procesos son granos rolados o

molidos en seco, de alta humedad, reconstituidos y granos rolados con vapor u hojueleados (Theurer, 1986).

Maíz quebrado y molido en seco (QS): El grano es molido o quebrado para formar grano quebrado o molido en seco sin adición de humedad, El molido es el método más común de procesamiento, debido a que es el más económico y simple. Una gran variedad de equipos hay disponibles para controlar el tamaño de la partícula del producto terminado. El molino de martillos es uno de los equipos más utilizados en donde el tamaño de la partícula es controlado por cambio en la criba, sin embargo el producto terminado genera más polvo durante la molienda que el molino de rodillos u otro tipo de equipo para moler. Diferentes pruebas han señalado que un molido grueso es preferible para rumiantes, además de que el molido fino puede predisponer a acidosis. El proceso de quebrado o rolado consiste en que el grano es pasado a través de un juego de rodillos acanalados. El tamaño de partícula varía de grueso a fino influenciado por el peso de los rodillos, presión y espacio, contenido de humedad y velocidad de flujo del grano. (Kellems y Church, 2001; Secrist et al., 1995; Secrist et al., 1996).

El grano quebrado o molido puede ser fermentado si contiene la cantidad adecuada de humedad (de 24 a 35 %) (Owens y Zinn, 2005). El grano de maíz puede ser molido finamente para maximizar la digestión en tracto total, ya que las partículas que son grandes e hidrofóbicas resisten al ataque microbiano en el rumen y al enzimático en el intestino (Orskov, 1986; Owens et al., 1997).

Las partículas que son largas e hidrofóbicas resistirán el ataque microbiano en el rumen y ataque enzimático en los intestinos. Pero dónde es digerido el almidón no es claro. Aunque el molido fino puede incrementar el grado de digestión del almidón, principalmente debido a un incremento en la desaparición del almidón en el rumen, el almidón de maíz quebrado que sale del rumen se ha observado que es pobremente digerido en el intestino delgado y puede ser fermentado en el intestino grueso. Debido a que partículas de almidón muy finas son fermentadas muy rápidamente en el rumen y pueden causar acidosis, el molido fino es evitado en dietas ricas en almidón para rumiantes. Sin embargo, si suficiente forraje es incluido en la dieta para prevenir la acidosis y el ganado alimentado con frecuencia con una dieta integral, es improbable que el molido a un tamaño de partícula fino cause acidosis y además mejorará la digestibilidad del almidón y eficiencia alimenticia (Elizalde et al., 1999). Comparado con grano quebrado, el grano molido, típicamente tiene mayor rango en el tamaño de partícula debido a los finos generados durante el molido. En observaciones de campo donde dietas compuestas por maíz entero descascarado y bajas en forraje se ofrecieron a novillos para que el grano fuera retenido en el rumen para ser rumiado y fermentado, a menudo se obtuvo una mejor eficiencia alimenticia en comparación a dietas de maíz rolado que de manera general son ofrecidas con un nivel mayor de forraje. Aunque la adición de forraje usualmente acorta el tiempo en que las partículas son retenidas para la fermentación dentro del rumen, el grado de separación ruminal de las partículas de forraje del grano entero puede ser importante, los granos separados en el rumen no serán rumiados; el grano de maíz entero intacto no será digerido en ningún sitio (Owens y Zinn, 2005). Sin embargo, comparando con maíz entero, contra dietas donde es utilizado maíz rolado

puede existir una falta de respuesta en la digestibilidad de las dietas y en el comportamiento productivo de los animales en los cuales es usado este tipo de procesamiento (Bengochea et al., 2005; Gorocica-Buenfil y Loerch, 2005).

Maiz hojueado con vapor (HV): Para formar este tipo de grano, el grano seco y entero es humedecido con vapor con una atmósfera de presión por 10-30 minutos, con la finalidad de aumentar el contenido de humedad de 18 a 20%, posteriormente es aplastado entre dos rodillos corrugados. La diferencia entre un grano hojueado y uno rolado con vapor, es que al rolado se le aplica vapor por periodo mas corto de tiempo, la hojuela es mas gruesa y el almidón esta menos gelatinizado (Kellems y Church, 2001).

El grado de gelatinización y desnaturalización de la proteína en el grano hojueado varía con las condiciones de procesamiento. Existen cinco factores de producción que afectan la calidad: 1) la temperatura de la cámara de vapor, 2) tiempo de cocimiento, 3) corrugación de los rodillos, 4) separación de los rodillos y 5) tensión de los rodillos (Zinn et al., 2002).

El hojueado de maíz presenta un efecto consistente de incremento en la digestibilidad de almidón (Zinn, 1990a; Zinn et al., 1998; Barajas y Zinn, 1998). El marcado incremento observado de la digestión posruminal de almidón debido al hojueado del maíz ($53 \pm 26\%$) está asociado con el incremento ($13 \pm 6\%$) en la digestibilidad del N posruminal.

El hojueado del maíz también puede ejercer un efecto positivo asociado con la fermentación de la fibra, incrementando el potencial de fermentación posruminal, ya que al disminuir la cantidad de almidón que llega al intestino grueso, se mantiene el pH adecuado para que se lleve a cabo la fermentación microbiana de la FDN y la fibra detergente ácida (FDA), ya que mientras más almidón llegue al intestino grueso el pH se reduce por debajo del óptimo para que se lleve a cabo la fermentación bacteriana (Zinn et al., 2002).

Un hojueado adecuado incrementará los valores de energía neta de mantenimiento (EN_m) y de ganancia (EN_g) del grano de maíz normal en 15 y 18% respectivamente (Zinn et al., 2002). Zinn (1990b) demostró que cuando fue cocinado el grano de maíz a un tiempo constante (34 min. a 105°C), el incremento en la presión de los rodillos produjo hojuelas con densidades de 0.41, 0.36 y 0.31 kg/L (32, 28 y 24 lb/bushel, respectivamente) y el grado de digestión del almidón se incrementó linealmente en el rumen y tracto total. La densidad de la hojuela debe ser ajustada para lograr una digestión de almidón de 99% (típicamente menos de 4% de almidón fecal). Zinn et al., (2002) señalan que es importante que los rodillos se encuentren bien calientes y también los granos cuando se hojuean, que la cámara de vapor debe ser diseñada para un tiempo de cocimiento de al menos 30 min a la capacidad máxima para producir hojuelas de 0.31 kg/L (24 lb/bushel), siendo adecuado un 5% de captación de humedad durante el cocimiento.

Por otro lado, Sindt et al. (2006a,b) concluyen que el tamaño de partícula puede tener poca influencia sobre el comportamiento productivo y que la durabilidad

de la hojuela puede ser mejorada por incremento de la humedad en el grano, incremento del tiempo de la aplicación de vapor, la aplicación de un surfactante o la disminución de la densidad de la misma. Siendo la densidad de la hojuela el medio más efectivo para alterar la disponibilidad del almidón si existe una adecuada cantidad de calor y humedad. También hace la observación que la aplicación de humedad mientras se lleva a cabo el templado del grano justo después del hojueleado es una medida efectiva para agregar humedad al grano y por tanto disminuir los largos periodos de vaporización, sin embargo un nivel elevado de humedad puede provocar el detrimento de comportamiento productivo.

Grano alto en humedad (AH): Este tipo de grano puede ser de dos tipos: 1) ser inherente a él, debido a una cosecha temprana, cuando posee 20-35% de humedad, o 2) formado, agregando humedad al grano resultando en un grano reconstituido (Kellems y Church, 2001; Owens y Zinn, 2005). El valor nutricional del maíz AH depende del método de almacenamiento (silo tipo bunker o vertical), método de procesamiento y nivel de humedad, ya que en general los animales alimentados con maíz entero AH presentaron una reducción en la ganancia de peso y consumo comparado con aquellos que se les dió grano AH pero que fue rolado antes de ser ofrecido, sin embargo, el valor alimenticio del maíz entero AH que cuenta con una humedad entre 25-30% es superior a aquél que contiene de 20 a 25% (Mader et al., 1991).

El grano entero AH de cosecha temprana y almacenado en bunker, es degradado rápidamente en rumen (Stock et al., 1987a), mientras que reemplazando

una pequeña porción de él con maíz roado puede mejorar en forma complementaria su eficiencia (Stock et al., 1987b; Mader et al., 1991).

Otros: Otros factores importantes a considerar que afectan la digestibilidad son tipo y nivel de consumo y nivel de forraje usado en las dietas. En lo referente al tipo de consumo, se ha observado que el ganado alimentado con dietas altas en grano con consumo restringido tienen un consumo mas agresivo y menos selectivo que aquéllos que son alimentados ad libitum (Pritchard y Stateler, 1997), asociándose también a un mejoramiento en la eficiencia cuando es utilizado un programa restringido de alimentación (Murphy et al., 1994), en cuanto a la digestibilidad de nutrientes, estos mismos autores informan una interacción ($P < 0.03$) de tipo consumo por procesamiento del maíz (quebrado vs. entero) para la digestión de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y almidón, ya que la digestión de este último aumentó (97.96 vs. 97.06%, $P < 0.03$) cuando el maíz fue quebrado y ofrecido a consumo restringido comparado con el ofrecido ad libitum, también se observó un mejoramiento ($P < 0.03$) en la digestión de N aunque sin mostrar interacción por el tipo de procesamiento.

Por otro lado, Zinn et al. (1995) observaron que al disminuir el consumo de MS, en dietas conteniendo 75% de maíz, de 2.4 a 1.6% de peso corporal, disminuyó ($P < 0.05$) el flujo de MO y almidón a intestino delgado, aunque no se alteró ($P > 0.10$) el porcentaje de digestión de MO y almidón a nivel ruminal, pero que la digestión de MO se veía incrementada ($P < 0.05$) 14.2% en este nivel cuando el maíz era hojueleado que cuando era quebrado en seco, por lo que el consumo de MS parece

tener el mayor efecto sobre la digestibilidad de MO y almidón ruminal de las dietas con maíz hojueado.

Considerando niveles aún mas bajos de consumo de MS y usando un solo tipo de procesamiento, Zinn y Owens (1983) informan un incremento de digestibilidad ruminal de MO y almidón al disminuir el consumo de MS de 1.8 a 1.2% de peso corporal, a novillos alimentados con dietas conteniendo 80% de maíz quebrado en seco, comportamiento también observado por Galyean et al. (1979) pero en dietas que incluían 90% de maíz.

De acuerdo al tipo y nivel de forraje utilizado en las dietas, algunos autores han observado que cambios pequeños en el nivel de forraje pueden influir en el sitio y grado de digestión de las dietas a base de maíz entero (Cole et al., 1979a), especialmente el almidón. Cole et al. (1979b), comparando dos niveles (0 y 21%) de forraje (semilla de algodón) y utilizando dos métodos de procesamiento (quebrado en seco y hojueado al vapor) en dietas a base maíz, observaron un incremento ($P < 0.05$) de 10% en la digestibilidad de la MS a nivel ruminal y de 9% a nivel de tracto total, en aquellas dietas con 0% de forraje; y una disminución de la digestibilidad de almidón a nivel de tracto total al incrementarse el nivel de forraje. Con respecto al tipo de procesamiento del grano, estos autores señalan un incremento mayor en la digestibilidad ruminal y de tracto total de la MS para las dietas con maíz hojueado (13 y 7%, $P < 0.01$) comparado con maíz quebrado.

Estudios más recientes (Calderón y Zinn, 1996; Zinn y Plascencia, 1996; Álvarez et al., 2004) donde se utilizó heno de Sudán como forraje a diferentes niveles de inclusión en dietas con maíz hojueado, se observó que a niveles crecientes del forraje se presentaba una disminución de la MO digerida en rumen con un efecto lineal ($P < 0.05$) y un incremento en la digestibilidad ruminal de fibra detergente ácida (ADF), N consumido, eficiencia microbiana y eficiencia de N, pero sin afectar la digestión de almidón en este nivel, contrario a lo que sucedió a nivel de tracto total donde el incremento en el nivel del forraje produjo una disminución de lineal en la digestibilidad de la MO ($P < 0.01$), almidón ($P < 0.05$), N ($P < 0.05$) y ED ($P < 0.01$).

Sitio y grado de digestión del almidón

La naturaleza del grano y su procesamiento pueden alterar el sitio y grado de digestión del almidón en el tracto total (Owens et al., 1986, Theurer, 1986). Para evaluar el sitio y extensión de digestión del almidón los factores que se deben evaluar son 1) el porcentaje de almidón dietario que aparentemente es digerido en el rumen, 2) el porcentaje de almidón que escapa al rumen y que es digerido en intestino, 3) la digestión del almidón en tracto total y 4) el sitio de digestión del almidón (fracción del almidón digerido en tracto total que desaparece en rumen) (Owens y Zinn, 2005).

Con respecto a la naturaleza del grano, se refiere a la variedad, misma que influye la proporción de almidón (amilosa:amilopectina) y la relación de éste con la matriz proteica del germen (Owens et al., 1986; Theurer, 1986). Kreikemeier et al.

(1991) sugieren que se puede reducir la hidrólisis del almidón en el intestino delgado ya que al realizar infusiones abomasales de glucosa y almidón observaron un mayor porcentaje de desaparición de glucosa que de almidón, debido a que en el almidón purificado que utilizaron los gránulos de almidón poseían su matriz proteica protectora. Mientras que los métodos de procesamiento, involucran la reducción del tamaño de partícula mediante varios factores y/o combinación de factores como calor, humedad, tiempo y acción mecánica (Scott et al., 2003), los cuales actúan hidratando e hinchando las regiones amorfas y cristalina del gránulo de almidón, esta alteración en la estructura incrementa la digestión aminolítica tanto de microorganismos como de enzimas pancreáticas. El grado de aplicación de calor húmedo al grano, además de la disminución física del tamaño de partícula tiene más beneficios que la aplicación de un solo proceso (Nocek y Tamminga, 1991).

El ganado de finalización consume hasta 6 Kg. de almidón diario, principalmente de granos de cereales como maíz y sorgo. La digestibilidad total aparente generalmente se encuentra en un rango de 90 a 100% del consumo del almidón, con un promedio de 92.1%. La digestión ruminal del almidón tiene un promedio de 72.3 % del almidón consumido, el cual representa el 78.5% de la digestión del tracto total. Mientras la digestibilidad aparente en intestino delgado es de 36 a 49% del almidón que entra a él, esta digestibilidad disminuye conforme se incrementa el ingreso de almidón. El almidón aparentemente digerido en el intestino grueso se encuentra en un rango de 44 a 46 % del almidón que entra en el intestino grueso (Huntington et al., 2005).

Estos valores pueden ser afectados por la naturaleza del grano que es incluido en la dieta, a este respecto Philippeau et al. (1999b) evaluaron, *in situ*, cómo la característica de cristalinidad o dureza del grano afectó la degradación ruminal del almidón. En este estudio se compararon maíz dentado con una cristalinidad promedio de 51.4% (38.5 a 57.3%) contra maíz flint con cristalinidad promedio de 71.8 % (66.8 a 79.1%) y un contenido de almidón de 68 y 67.1% respectivamente, obteniéndose una degradabilidad mayor de almidón para el maíz dentado que para el maíz flint (61.9 vs. 46.2%) (Cuadro 2). En otro estudio realizado por Philippeau et al. (1999a) en el cual los granos de maíz poseían una cristalinidad similar al anterior (51.7% para dentado y 66.8% para flint) muestran el mismo comportamiento pero en este caso la degradación ruminal *in situ* fue de 74% para maíz dentado vs. 70.9% del flint, mientras que la digestibilidad ruminal *in vivo* fue de 60.8% y 34.8% respectivamente, atribuyéndose los altos valores de degradabilidad *in situ* a una gran fracción rápidamente degradada, lo cual demuestra que el efecto limitante de la matriz proteica es menos importante para el maíz dentado que para el flint, explicando así la alta digestibilidad del maíz dentado sobre el maíz flint (Cuadro 3). Por otro lado, Correa et al. (2002) observaron que el comportamiento de la disponibilidad de almidón a nivel ruminal es similar entre granos con diferente grado de cristalinidad aún dentro de la misma variedad, ya que al comparar dos híbridos de granos dentados en diferente estadio de madurez, se presentó una mayor disponibilidad de almidón ruminal en los híbridos que presentaban un grado de cristalinidad menor (Figura 3).

Cuadro 2. Influencia del tipo de grano de maíz sobre la degradación ruminal del almidón

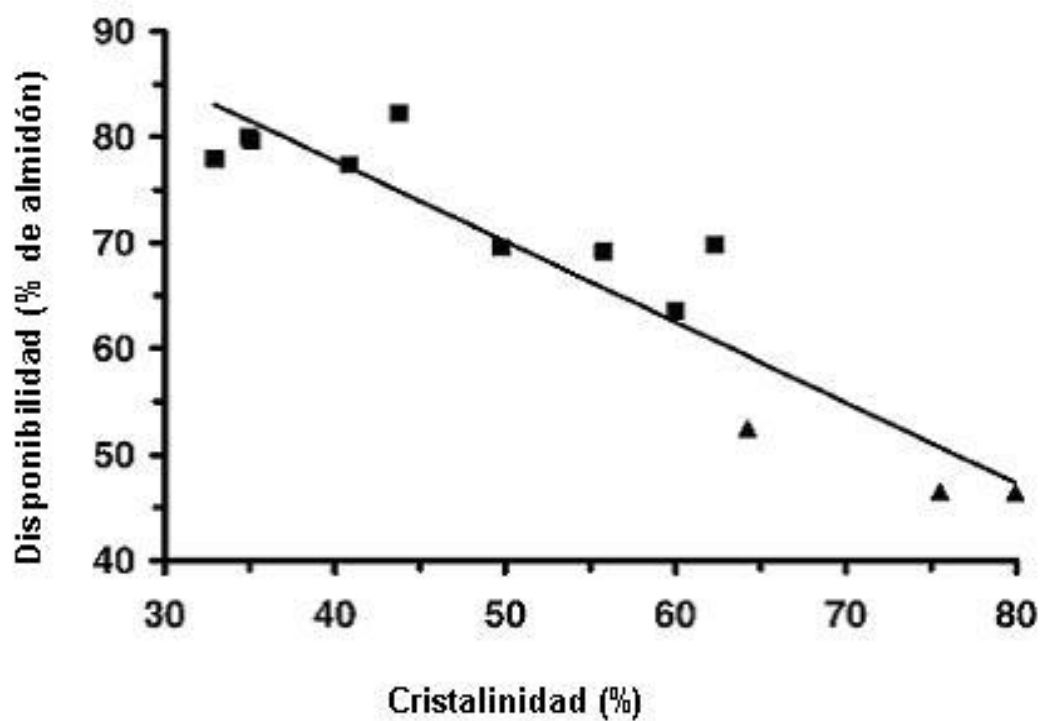
	<i>Dentado</i>			<i>Flint</i>		
	Promedio	Mín.	Máx.	Promedio	Mín.	Máx.
Cristalinidad,%	51.4	38.5	57.3	71.8	66.8	79.1
Almidón, % MS	68.0	62.6	71.8	67.1	60.1	72.0
Degradabilidad efectiva, %	61.9	55.1	77.6	46.2	40.6	50.5
Perdida de partícula, % ^a	12.9	7.7	26.6	5.7	4.1	17.9

Philippeau et al., 1999b

Cuadro 3. Influencia del tipo de grano de maíz sobre el consumo y digestibilidad del almidón en el tracto gastrointestinal del ganado de engorda

	<i>Tipo de maíz</i>	
	Dentado	Flint
Cristalinidad, %	51.7	66.8
Consumo, g/d	3,123.8	3,020.0
Digestión aparente en rumen		
g/d	1892.8	1,079.4
% de consumo	60.8	34.8
Digestión aparente en intestino delgado		
g/d	333.1	612.3
% de consumo	8.9	17.6
% de entrada	23.0	27.4
Digestión aparente en intestino grueso		
g/d	418.4	947.3
% de consumo	13.5	28.3
% de entrada	47.6	65.6
Digestión aparente en tracto total		
g/d	2,620.4	2,487.0
% de consumo	84.2	81.7

Philippeau et al., 1999a



Correa et al., 2002

Figura 3. Relación entre cristalinidad del grano de maíz y la disponibilidad ruminal in situ del almidón, medido en híbridos de maíz dentado (■) e híbridos de maíz flint (▲)

El mayor sitio de digestión del almidón de los granos es el rumen, por lo que se espera que al ser procesados la digestibilidad tanto ruminal como de tracto total se vea incrementada (Owens et al., 1986), debido principalmente al rompimiento de la matriz proteica que rodea al almidón, mejorando así la eficiencia en la utilización del almidón. Por lo que el mayor efecto de un adecuado procesamiento del grano es el cambio del sitio de digestión del almidón de intestinos a rumen, con incrementos concomitantes en el porcentaje digerido en ambos sitios (Theurer, 1986).

Las principales respuestas al procesamiento del grano son disminución de la densidad y el incremento de la fermentación en el rumen (Huntington, 1997). El hojueleado mejora la digestibilidad en tracto total como resultado de un incremento tanto de la digestibilidad ruminal como posruminal (Zinn et al., 2002) Se han realizado revisiones periódicas al respecto como las presentadas por Owens et al. (1986), Theurer (1986), Nocek y Tamminga (1991), Huntington (1997). En la mas reciente, presentada por Owens y Zinn (2005) sometieron a regresión lineal los resultados de obtenidos 49 pruebas publicadas entre 1990 y 2004 (Cuadro 4), donde se observa la influencia del método del procesamiento del grano de maíz sobre el sitio de digestión en bovinos de engorda.

Así como la cristalinidad afecta la digestibilidad dentro de un mismo tipo de grano (Cuadro 2), la densidad del grano que fue sometido a hojueleado con vapor también modifica la digestibilidad, como lo muestra el estudio realizado por Zinn (1990a) donde fueron evaluados granos hojueleados con densidades de 0.42, 0.36 y 0.30 kg/L en los cuales existe un incremento en la digestibilidad ruminal y de tracto

Cuadro 4. Influencia del método de procesamiento del grano de maíz sobre el sitio de digestión del almidón

<i>Método de Procesamiento</i>	<i>E</i>	<i>QS</i>	<i>HV</i>	<i>AH</i>	<i>S_{Em}</i>
Desaparición ruminal, %	74.3	60.6	84.2	91.0	1.7
Desaparición posruminal, %	31.4	68.4	94.1	90.4	1.9
Desaparición en tracto total, %	83.6	89.3	99.1	99.2	1.9
Fracción que desaparece en rumen, %	89.5	68.3	84.9	91.8	1.8

Owens y Zinn, 2005

E = Entero

QS = Quebrado en Seco

AH = Alto en Humedad

HV = Hojueado con Vapor

total conforme se disminuye la densidad de la hojuela, así como una disminución lineal en la digestibilidad posruminal, presentando un comportamiento similar los granos hojueleados con densidad de 0.437 y 0.283 g/L evaluados por Theurer et al. (1999) (Cuadro 5).

Debido a que la capacidad digestiva limita la captura máxima de almidón que entra al intestino delgado, aproximadamente el 45% del almidón que entra al intestino no es absorbido como glucosa, cualquier mejoramiento en el metabolismo energético atribuible al aporte incrementado de glucosa dietaria debe considerar las pérdidas potenciales de energía asociadas a la fermentación del almidón en ciego, intestino grueso y colon en lugar del rumen (Huntington, 1997).

Se han asociado el incremento en la cristalinidad del grano a una disminución de la degradación ruminal in situ del almidón (Philippeau et al., 1999a; Correa et al., 2002), además de un aumento en su digestibilidad cuando el grano de maíz es procesado (Zinn, 1990a) lo cual había sido evaluado en forma independiente, sin embargo, Corona et al. (2006), evaluaron el impacto de la cristalinidad y el procesamiento sobre el sitio y grado de digestión en bovino de engorda en forma conjunta, no encontrando interacciones entre el método de procesamiento y la cristalinidad a nivel ruminal, sin embargo la digestión ruminal del almidón fue menor para el grano rolado que para el hojueleado. Además encontraron que hubo interacción entre la cristalinidad y el método de procesamiento a nivel pos ruminal y de tracto total. Por lo que los animales en etapa de finalización tienen una digestibilidad ruminal, posruminal y de tracto total mayor cuando se utilizan dietas con maíz hojueleado en

Cuadro 5. Influencia de la densidad de la hojuela del maíz procesado con vapor sobre la digestibilidad del almidón en rumen e intestinos de ganado de engorda

	<i>Densidad de hojuela Kg/L</i>				
	0.437 ^a	0.42 ^b	0.36 ^b	0.30 ^b	0.283 ^a
Consumo, g/d	4,551	3,089	3,049	3,052	4,865
Flujo a duodeno, g/d	1,108	622	532	399	752
Excreción fecal, g/d	132	46.0	27.8	10.8	47
Digestibilidad ruminal, % consumido	76.2	79.8	82.6	86.9	84.6
Digestibilidad posruminal, % consumido	21.1	18.7	16.5	12.8	14.4
Digestibilidad tracto total, % consumido	97.3	98.5	99.1	99.6	99.1

^aTheurer et al., 1999

^bZinn, 1990a

comparación con el maíz roado. Por otro lado, el efecto adverso que se presenta con el incremento de la cristalinidad es compensado con el procesamiento al ser hojueado el grano (Cuadro 6).

Cuadro 6. Interacciones de la cristalinidad del grano de maíz y el procesado sobre la digestibilidad del almidón.

	Procesamiento									
	Rolado				Hojueleado				Procesamiento	
	Cristalinidad				Cristalinidad				Rolado	Hojueleado
	V55	V61	V63	V65	V55	V61	V63	V65		
Consumo de almidón, g/d	2,482	2,483	2,523	2,381	2,686	2,811	2,574	2,881	2,467	2,738
Flujo a duodeno, g/d	751.8	675.6	670.7	700.1	443.1	374.1	488.4	477.9	699.5	445.9
Digestión ruminal, %	69.7	72.8	73.4	70.6	83.5	86.6	80.8	83.5	71.6	83.6
Excreción fecal, g/d	309.4	355.3	326.9	426.5	15.9	22.9	17.2	18.8	354.5	18.7
Digestión pos ruminal, %	58.1	46.8	51.5	40.8	96.2	94.2	96.6	96.0	49.3	95.8
Digestión de tracto total, %	87.5	85.7	87.0	82.1	99.4	99.2	99.3	99.3	85.6	99.3

Corona et al., 2006

Materiales y Métodos

Localización del área donde se llevó a cabo el estudio

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

Composición química del grano

Para perfilar la composición química y la digestión enzimática *in vitro* del almidón, se evaluó una muestra de maíz blanco proveniente del estado de Sinaloa y una muestra de maíz amarillo (corn dent EU). Para el análisis de la composición de la proporción vítrea del grano se realizó la disección manual de 50 granos escogidos aleatoriamente de una muestra de 5 kg obtenida del total del maíz. Los granos se ablandaron en agua destilada durante 2 minutos, se secaron utilizando una toalla de papel y utilizando un escalpelo, el pericarpio, la aleurona y el germen fueron removidos, posteriormente los granos se secaron toda la noche a 90°C pesándose entonces el total del endospermo. El endospermo harinoso se removió utilizando una fresa dental (GW No. 2) y el restante fue pesado y expresado como porcentaje del total del endospermo (Corona et al., 2006). Para la composición química y la

digestión enzimática *in vitro* del almidón, el maíz fue procesado ya sea molido u hojueado con vapor, de acuerdo al procedimiento descrito en la sección de la prueba de digestión in vivo, y el producto final fue molido utilizando un molino Willey usando una malla de 1mm.

Características de las unidades experimentales

Se utilizaron cuatro 4 novillos Holstein (143 ± 2.8 Kg) implantados con Revalor G[®] y desparasitados con Ivermectina al 1% (s.c) de acuerdo a las especificaciones del fabricante (Agrovet, S.A. de C.V.). Los novillos fueron sometidos a un tratamiento preoperatorio en el cual se les administró 11,000 UI/kg/d (48 h) de penicilina G procaína acuosa (i.m.) (Brovel, S.A.de C.V.) y puestos en ayuno de sólidos por 24 h y 15 h de ayuno de líquidos. Para habilitar a los animales con cánulas tipo “T” en rumen y duodeno proximal, se indujo sedación de los novillos administrando (i.m) 0.6 mg/kg de xilacina al 2% (Procin[®]), y el procedimiento quirúrgico se realizó como lo describen Zinn y Plascencia (1993). Las cánulas se elaboraron con material de tygon inerte (USP; Lima, Oh) de acuerdo al procedimiento descrito por Álvarez et al. (2000).

Desarrollo experimental

Para efecto de adaptación, 14 días previos al inicio de la prueba, los novillos fueron confinados en una área techada de 14 X 50 m a corraletas individuales de 3.6 X 4.5 m, piso de concreto, comedero individual y bebedero automático compartido.

Durante los primeros 7 días se llevó a cabo la adaptación gradual a una dieta con 79% de grano y los 7 días posteriores se ofreció el tratamiento 1.

El consumo se ajustó al 2.2% del peso vivo. Los tratamientos consistieron en dos tipos de maíz (blanco y amarillo) con dos tipos de procesado (quebrado y hojuela con vapor) añadidos a una dieta basal con 79% de grano como sigue: 1) maíz amarillo hojuleado con vapor a una densidad de 0.31 kg/L (**MAH31**), 2 y 3) maíz blanco hojuleado con vapor (**MBH**) a una densidad de 0.31 kg/L (**MBL31**) o de 0.36 kg/L (**MBL36**) y 4) maíz blanco quebrado (**MBLQ**). Las características de las dietas experimentales se describen en el Cuadro 7.

El experimento consistió en 4 períodos experimentales de 14 días, de los cuales 10 fueron para adaptación a la dieta y 4 para colección de muestras. El suministro de las dietas, que contenían 0.4% de óxido crómico como marcador de digesta, fueron restringida a 3.5 kg/novillo/día (base seca), y se ofrecieron en forma diaria en dos porciones iguales a las 0800 y a las 2000 h.

Durante el periodo de colección de muestras, se tomaron muestras duodenales (750 mL) y fecales (200g) a cada novillo dos veces al día durante los últimos días de cada periodo en los siguientes horarios: día 1, 0750 y 1350h; día 2, a las 0900 y las 1500h; día 3, a las 1050 y las 1650 h y día 4, a las 1200 y las 1800h.

Las muestras de cada novillo en cada periodo de colección se mezclaron con el propósito de formar muestras compuestas, las cuales que se congelaron a -20° C

Cuadro 7. Composición en base seca de las dietas experimentales consumidas por los novillos

Concepto	Tratamientos			
	MAH31	MBL31	MBL36	MBLQ
Maíz amarillo en hojuela 0.31 kg/L	79			
Maíz blanco en hojuela 0.31 kg/L		79		
Maíz blanco en hojuela 0.36 kg/L			79	
Maíz blanco quebrado				79
Heno de alfalfa, %	8	8	8	8
Melaza de caña, %	4	4	4	4
Grasa amarilla, %	5	5	5	5
Roca caliza, %	0	0	0	0
Urea, %	1.75	1.75	1.75	1.75
Sal TM ^a , %	1.2	1.2	1.2	1.2
Óxido de cromo ^b , %	0.4	0.4	0.4	0.4
Óxido de magnesio, %	0.5	0.5	0.5	0.5
Fosfato dicalcio, %	0.15	0.15	0.15	0.15

^aSal conteniendo: CoSO₄,.68%; CuSO₄, 1.04%; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, .052% y NaCl, 92.96%.

^bAñadido a la dieta como marcador de digesta

para análisis posteriores. A las 4 h postconsumo (1200 h), en el último día de cada periodo, se determinó el pH del contenido ruminal de una muestra obtenida de cada novillo (± 350 mL) mediante el uso de una bomba de vacío. El último día, del tercer periodo experimental, se obtuvieron muestras de fluido ruminal de cada novillo y se mezclaron para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial (Bergen et al., 1968).

Procesamiento del grano evaluado

El maíz quebrado se obtuvo mediante el paso directo del maíz a través de rodillos corrugados (46 cm x 61 cm) los cuales fueron ajustados para una tensión tal, que el producto final contuviera un máximo de 5% de grano entero y una densidad final de aproximadamente 0.50 kg/L. El maíz en hojuela se preparó de la siguiente manera: Se llenó con el cereal una cámara (capacidad =0.60 m³) situada por encima de dos rodillos corrugados (46 cm x 61 cm), y a presión atmosférica se llevó a una temperatura constante de 102°C, utilizando vapor de agua durante aproximadamente 20 minutos previo al paso del cereal a través de los rodillos. Para asegurar un calentamiento uniforme de los rodillos durante el prensado, los primeros 450 kg de cereal en hojuelas fueron descartados para su uso en la prueba. La tensión de los rodillos se ajustaron para proveer una hojuela con densidades de 0.31 y 0.36 kg/L (Cuadro 1). El tiempo de retención del maíz en la cámara de vapor fue de 30 minutos. Una vez obtenida la hojuela, el maíz fue secado al medio ambiente durante 5 días antes de ser usado en la preparación de las dietas experimentales.

Pruebas de laboratorio

Las muestras duodenales se descongelaron a temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura de 15°C, una vez que alcanzó el quimo intestinal esta temperatura, se homogenizó el tamaño de partícula de la muestra utilizando para ello una licuadora durante 10 s, posteriormente la totalidad de la muestra se depositó en un contenedor con capacidad de 20 L y se mezcló utilizando un homogenizador (Fisher Products Co.). Posteriormente, una alícuota de 900 mL se depositó en un recipiente refractario para desecar la muestra a 70°C durante 72 h. Las heces se descongelaron a temperatura ambiente, se homogenizaron manualmente y una cantidad de aproximadamente 200 g se colocaron en forma extendida (aproximadamente 1 cm de grosor) en papel aluminio para desecarse a una temperatura de 70°C. Una vez desecadas, tanto las muestras de quimo intestinal como las de heces fueron trituradas y molidas para obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 1mm.

Las muestras generadas se sujetaron a todos o parte de los siguientes análisis: Materia seca (MS, estufa desecando a 105°C hasta peso constante), ceniza, N kjeldhal y N amoniacal de acuerdo con lo estipulado por la AOAC (1986), almidón (Zinn, 1990a), purinas (Zinn y Owens, 1986), óxido crómico (Hill y Anderson, 1958). La cantidad de materia orgánica microbiana (MOM), así como el nitrógeno microbiano (NM) que fluyen al duodeno se calcularon con base en los análisis de las bacterias aisladas en el fluido ruminal, así como en las muestras obtenidas de duodeno, usando purinas como marcadores (Zinn y Owens, 1986). La materia

orgánica fermentada (MOF) en rumen fue calculada mediante la resta a la materia orgánica consumida (MOC) menos la diferencia cuantitativa observada a nivel duodenal de la cantidad total de la MO, menos la MOM que ingresó a duodeno [MOF = MOC-(MO-MOM)]. El N consumido que escapa de la digestión ruminal (proteína de escape) fue considerado como el equivalente al total de N que ingresa al duodeno menos la suma de las cantidades de N amoniacal y N microbiano que fluyeron al duodeno. El valor comparativo de la energía digestible (ED, Mcal/kg) de los cereales probados fue determinado mediante la técnica de reemplazo (Plascencia et al., 2002), la cual considera para este estudio: 1) Al maíz amarillo como el cereal estándar, mismo que contiene 4.10 y 3.96 de Mcal/kg de ED para hojuela con vapor y quebrado respectivamente (NRC, 1996), 2) que las dietas experimentales son idénticas en composición, salvo por el maíz en prueba (maíz blanco) que reemplaza al maíz amarillo en una proporción igual y 3) que las diferencias observadas en el contenido de la ED de las dietas son, por lo tanto, un resultado directo de las diferencias del contenido de la ED del maíz blanco que reemplazan al maíz amarillo en las dietas experimentales. Dado que el maíz en hojuela reemplazado contiene 4.10 y 3.96 Mcal/kg de ED, el valor de ED del maíz blanco se calculará de la siguiente manera: 1) ED, Mcal/kg del maíz blanco en hojuela = [(ED observada para la dieta con el cereal prueba- ED observada para la dieta con maíz amarillo)/0.81] + 4.10; 2) ED, Mcal/kg del maíz blanco quebrado = [(ED observada para la dieta con el cereal prueba- ED observada para la dieta con maíz amarillo)/0.81] + 3.96. Donde ED del cereal prueba es la ED de las dietas observadas para el maíz blanco y 4.10 y 3.96 es el valor de ED (Mcal/kg) indicado para el maíz en hojuela y maíz quebrado respectivamente (NRC, 1996).

Variables evaluadas

Consumo de MS, MO, almidón, N, flujo a duodeno de MS, MO, almidón, N no amoniacal, N microbiano, N-NH, N alimenticio, excreción fecal de MS, MO, almidón, y N. Las digestibilidades a nivel ruminal, posruminal y tracto total de las fracciones del alimento se realizó mediante las proporciones de MS y cromo consumidos, y las proporciones de cromo determinadas en el quimo duodenal y materia fecal.

Diseño experimental

Los datos fueron analizados como un diseño de cuadrado Latino 4x4 de acuerdo al siguiente modelo: $Y_{ijkl} = \mu + B_i + A_{j(i)} + P_k + \zeta_l + E_{ijkl}$ en el cual, B_i representa el bloque, $A_{j(i)}$ es el novillo dentro del bloque, P_k es el periodo, ζ_l el tratamiento y E_{ijkl} es el error residual. Los efectos de los tratamientos fueron separados utilizando la prueba de diferencia mínima significativa; todo lo anterior de acuerdo con lo especificado por Hicks (1973). Los contrastes fueron: 1) MAH31 vs MBL31, 2) MBL31 vs MBL36 y 3) MBH vs MBLQ.

Resultados y Discusión

Caracterización de la composición fisicoquímica

Las características físico-químicas del maíz utilizado en la prueba se muestra en los Cuadro 8. La proporción de almidón fue de 67.7 y 65.7% para maíz amarillo y maíz blanco respectivamente. El promedio de contenido de almidón determinado aquí fue 4.6% menor al promedio informado por Zinn et al. (2002) en la evaluación de 49 híbridos de maíz amarillo producido por la empresa Pioneer, pero se encuentra dentro del rango de 61 a 78% especificado por White y Pollack (1995). El contenido de almidón del maíz blanco es por lo general ligeramente inferior (5.6%) al maíz amarillo (FAO, 1993), en este estudio la diferencia en el contenido de almidón entre ambos tipos de maíz fue de 3.3%. La variación del contenido de almidón está estrechamente relacionada con el tipo de híbrido en cuestión. Últimamente se busca mas contenido de almidón aunque el nivel de proteína en el grano se vea disminuido hasta en 5% (Corona et al., 2006).

La cantidad de proteína cruda fue mayor (10.06 vs. 8.13%) para el maíz blanco con respecto al maíz amarillo. Se ha especificado un contenido proteico para el maíz amarillo de $9.8\% \pm 1.06$ (NRC, 1996), mientras que para el maíz blanco el contenido de proteína varía de acuerdo con la variedad oscilando de 8.52 hasta 10.93 % (FAO, 1993; Siller, 2004; Utrilla-Cohelo et al., 2007). La fracción de endospermo promedió $85.1\% \pm 2.8$ (Cuadro 9). De nueva cuenta la proporción de endospermo

Cuadro 8. Composición química del maíz utilizado en los tratamientos

	Maíz amarillo	Maíz blanco
Almidón, %	67.7	65.7
Proteína Cruda, %	8.13	10.06
Proteína Cruda del endospermo, %	6.6	5.6
Ceniza, %	1.4	1.3

Cuadro 9. Distribución de los componentes de los granos utilizados en los tratamientos

Parte del grano, %	Maíz amarillo ^a	Maíz blanco ^a
Pericarpio	4.3	4.6
Pedicelo	2.5	2.6
Germen	8.8	7.7
Endospermo	84.4	85.1

^aPromedio de un muestra de 50 granos determinada por disección manual

varía con la variedad del maíz blanco, en ese sentido, en una evaluación realizada a 22 líneas de maíz blanco por Leyva et al. (2002) se determinó un rango de 82.8 a 98.5% de la proporción de endospermo contenido en el grano.

Digestión de nutrimentos

Maíz amarillo en hojuela (MAH31) vs. maíz blanco en hojuela (MBL31). El efecto de los tratamientos sobre el flujo y digestión de nutrimentos se muestra en el Cuadro 10. No existió diferencia ($P > 0.32$) en la digestión ruminal y posruminal de la MO, N, almidón y eficiencia microbiana cuando se comparó **MAH31 vs MBL31**. Sin embargo, **MBL31** disminuyó de la digestión a nivel de tracto total de la MS (2.6%, $P < 0.04$) y la MO (1.8%, $P < 0.05$), sin diferencia ($P = 0.49$) en la digestión de N y almidón a ese nivel. La hipótesis planteada fue que el maíz blanco, sus características fisicoquímicas, presentara una menor digestión de la fracción del almidón y de N comparado con el maíz amarillo, sin embargo, la inclusión de MB sólo se reflejó en una ligera disminución ($P < 0.05$) a nivel de tracto total de la digestión de la MO. Corona et al. (2006) al comparar diversos híbridos de maíz amarillo que contenían diferente grado de vitrificación no informa diferencias significativas entre los grados de vitrificación evaluados, y mediante el proceso de hojueleado con vapor desaparecieron por completo las diferencias numéricas entre los tratamientos.

Owens (2005) indica que para tener un impacto sobre la utilización del almidón y la fracción nitrogenada, el procesamiento debe exponer el endospermo mediante la

Cuadro 10. Efecto de los tratamientos sobre flujo y digestión de nutrientes en novillos Holstein canulados (143 ± 2.8 kg)

Concepto	Maíz blanco ¹					Valor de <i>P</i> ²		
	MAH31 ³	MBL31	MBL36	MBLQ	EEM ⁴	MAH31 vs. MBH31 ⁵	MBH31 vs. MBH36 ⁶	MBH vs. MBQ ⁷
Consumo, g/d								
MS	3,153	3,151	3,177	3,216				
MO	2,992	2,962	3,003	3,049				
Almidón	1,749	1,417	1,522	1,687				
N	62	70	71	70				
Flujo a duodeno, g/d								
MS	1,863	1,882	1,969	2,055	94	0.84	0.30	0.08
MO	1,559	1,511	1,629	1,748	80	0.82	0.24	0.09
Almidón	277	238	276	475	34	0.30	0.44	<0.01
N	68.0	71.8	71.1	67.4	5	0.48	0.88	0.45
N-no amoniacal	64.96	69.26	68.59	64.77	4.9	0.53	0.47	0.61
N microbiano	40.07	37.20	36.48	35.75	3.2	0.59	0.89	0.84
N consumido	25.88	32.06	32.10	29.02	3.8	0.16	0.99	0.45
Digestión Ruminal, %								
MO	63.27	63.85	60.20	56.78	2.4	0.82	0.18	0.11
Almidón	84.2	83.2	82.5	71.8	2.3	0.69	0.77	<0.01
N consumido	58.4	54.3	54.6	58.7	5.5	0.49	0.95	0.46

Eficiencia microbiana ⁸	25.72	24.46	22.31	20.56	2.9	0.68	0.49	0.41
Eficiencia proteica ⁹	1.06	0.99	0.97	0.92	0.07	0.32	0.81	0.45
Excreción fecal, g/d								
MS	530	594	544	775	26	0.04	0.11	<0.01
MO	447	486	448	692	22	0.11	0.12	<0.01
Almidón	31.65	45.48	59.88	263.3	14.6	0.36	0.34	<0.01
N	17.35	20.38	19.91	22.81	1.07	0.03	0.67	0.04
Digestión posruminal, %								
MO	71.4	67.7	72.5	60.2	1.7	0.08	0.03	<0.01
Almidón	88.4	80.7	75.9	44.3	3.9	0.23	0.45	<0.01
N	74.4	70.5	71.2	66.2	1.8	0.08	0.72	0.04
Digestión Tracto total, %								
MS	83.2	81.1	82.9	75.9	0.8	0.04	0.08	<0.01
MO	85.1	83.6	85.1	77.3	0.7	0.05	0.08	<0.01
Almidón	98.2	96.8	96.0	84.3	0.9	0.17	0.44	<0.01
N	72.1	70.9	71.8	67.5	1.6	0.49	0.61	0.06

¹ Maíz blanco hojuelado con vapor para una densidad de 0.31 (MBH31) y de 0.36 kg/L (MBH36) realizando la medición a la salida de los rodillos , MBQ= maíz blanco quebrado.

² P = Nivel de significancia observado para el tipo de maíz procesado a una misma intensidad (Amarillo vs blanco) , maíz blanco con dos intensidades de hojuelado (0.31 vs. 0.36) y el tipo de procesamiento del maíz blanco (hojuelado vs. quebrado en seco).

³ MAH31 = maíz amarillo hojuelado con vapor para una densidad de 0.31 kg/L realizando la medición a la salida de los rodillos.

⁴ Error estándar de la media.

⁵ MAH31 vs MBH31 = maíz amarillo hojuelado (0.31 kg/L) vs. maíz blanco hojuelado (0.31 kg/L).

⁶ MBH31 vs. MBH36 = maíz blanco hojuelado (0.31 kg/L) vs. maíz blanco hojuelado (0.36 kg/L).

⁷ N microbiano, g/kg de la MO fermentada.

⁸ N no amoniacal / N consumido.

disrupción del pericarpio, reducir el tamaño de partícula y romper la matriz del endospermo y los gránulos de almidón. Todos esos efectos se obtienen en mayor o menor medida mediante el hojueado con vapor. Dentro de la información revisada existen informes limitados sobre la digestibilidad de los componentes del maíz blanco en rumiantes. Barajas et al. (2006a) determinaron una digestión del almidón a nivel de tracto total en 98.2% en toros consumiendo una dieta con 68.6% de maíz blanco hojueado con vapor, similar al 96.8% observado en el presente trabajo. Estos mismos autores (2006b) estimaron un valor de 2.41 Mcal/kg de EN del maíz blanco hojueado el cual es similar al del maíz amarillo (NRC, 1996) considerando que el valor energético del maíz depende básicamente de su contenido y digestibilidad de almidón (Huntington, 1997; Owens y Zinn, 2005; Sindt et al., 2006a), entonces, se puede corroborar que los resultados de digestión obtenidos en el presente trabajo son congruentes.

La intensidad de procesado del maíz blanco (MBL31 vs. MBL36): La intensidad de procesado en el maíz blanco sólo afectó ($P= 0.08$) la digestión de MO a nivel posruminal, observándose una mayor digestión para el **MBL36** comparado con **MBL31**. Existe una relación directa entre la intensidad de procesado y el grosor de la hojuela (Zinn, 1994) y una la relación inversa entre la intensidad de procesado y la densidad (masa/volumen) del grano (Zinn, 1990a) y generalmente, a mayor intensidad de procesado con vapor, es mayor la digestión del almidón y menor el pH ruminal (Plascencia y Zinn, 1996; Theurer et al., 1999). El grosor de la hojuela para MAH31, MBL31 y MBL36 fue de 0.07 ± 0.01 , 0.098 ± 0.03 y de 0.105 ± 0.02 mm, respectivamente. La diferencia de grosor de hojuela entre el MAH31 y MBL36 resultó

en 33%, mientras que el grosor de hojuela entre las diferentes densidades de MBL fue de sólo 7%. Lo anterior es un indicativo que el maíz blanco es físicamente mas duro y posiblemente el tiempo de procesado y ajuste de rodillos no fue suficiente para operar un cambio significativo en su grosor de hojuela y que esto a su vez enmascarara las diferencias entre ambos.

Tipo de procesamiento en el maíz blanco (maíz en hojuela vs. maíz quebrado). No existió diferencia ($P > 0.20$) en los valores del pH ruminal entre los tipos de procesamiento promediando 5.89 ± 0.30 (5.94 y 5.78 para MBLH vs MBLQ respectivamente). De acuerdo al modelo nivel 1 del NRC (1996), el pH esperado para las dietas que contuvieron maíz en hojuela es de 5.71 y de 5.80 para maíz las dietas con maíz quebrado. Los principales factores que afectan el pH ruminal en animales alimentados con dietas altas en grano son el tipo de procesamiento (Owens et al., 1997), la velocidad de consumo y la idiosincrasia del animal en sí (Elam, 1976). Al respecto dentro del protocolo del experimento se realizó la medición del tiempo que tardaba cada becerro en consumir la totalidad de la ración en cada ofrecido. Los tiempos fueron de 28 ± 7 , 31 ± 11 , 29 ± 8 y 35 ± 9 min para **MAH31**, **MBL31**, **MBL36** y **MBLQ**, resultando sólo diferente ($P < 0.05$) el tiempo de consumo para el tratamiento de maíz quebrado. Se realizaron regresiones para estimar el grado de asociación del pH ruminal con el tiempo de consumo, tipo de maíz, tipo de procesado y efecto animal. Con excepción del efecto animal ($r^2 = 0.16$) el coeficiente de determinación fue casi inexistente para las variables evaluadas.

El hojuelear el maíz blanco (**MBH**) no afectó ($P = 0.46$) la digestión ruminal de N, promediando 55.9%, entonces, consistente con estudios previos (Zinn, 1990a; Zinn et al., 1995; Plascencia, 2007; Zinn et al., 2008) la fracción de proteína del maíz que no es degradable en rumen no es afectada por el hojueleado. Considerando que la digestibilidad ruminal de maíz amarillo hojueleado es de 57% (NRC, 1996) entonces, la digestibilidad ruminal de la proteína del maíz blanco promedió 55.3%. La eficiencia microbiana a nivel ruminal promedió 22.4 g N kg⁻¹ de MO fermentada en rumen y no fue afectada ($P = 0.41$) por el tipo de procesamiento. De acuerdo al modelo nivel 1 de la NRC (1996), el promedio de la eficiencia microbiana esperada es de 23.0 N kg⁻¹ de MO fermentada (21.4 y 24.6 para quebrado y hojueleado respectivamente). De igual manera, no existió diferencia ($P = 0.45$) en la eficiencia proteica (g de NNA en duodeno/g de N consumido). En estudios anteriores no han detectado diferencia en la eficiencia proteica como causa del tipo de procesamiento (Corona et al., 2006; Plascencia, 2007), pero en otros estudios (Zinn et al., 1995; Barajas y Zinn, 1998) se informa efecto del tipo de procesamiento (hojueleado vs. quebrado) sobre esta variable. En los casos donde se informa incremento en la eficiencia como causa del procesamiento, fue reflejo al incremento de síntesis de N microbiano en relación al incremento de la digestión de la MO en rumen.

El hojuelear el maíz tendió a mejorar ($P=0.11$) la digestibilidad ruminal de la MO. Generalmente el maíz en hojuela mejora la digestión ruminal de la MO como consecuencia del aumento en la digestión de almidón (Owens, 2005), sin embargo otros estudio no detectan diferencias significativas en este rubro (Corona et al., 2006; Zinn et al., 2008). Comparado con el maíz quebrado, la digestión ruminal del almidón

(82.8 vs. 71.8%, $P < 0.01$) fue mayor para el maíz hojuleado. La digestión ruminal observada en este estudio para el maíz hojuleado se encuentra entre los rangos de 80 y 85% especificado por Zinn et al. (2002) y Huntington (1997). Por otro lado, en dietas de finalización para ganado de engorda, la digestión ruminal para el maíz quebrado se encuentra en el rango del 68 al 76% (Zinn, 1990a; Zinn et al., 1995; Cooper et al., 2002; Corona et al., 2006; Plascencia, 2007) con un promedio de 71.5%. El maíz hojuleado mostró una mayor digestión posruminal ($P < 0.04$) del almidón, MO y N. El aumento en la digestión posruminal con el procesado de hojuela es consistente con otros informes (Zinn et al., 1995; Barajas y Zinn, 1998; Zinn et al., 2008) y ha sido ampliamente discutido por otros (Theurer, 1986; Zinn et al., 2002; Harmon et al., 2004). El incremento en la digestibilidad de la MO es reflejo directo del aumento en la digestión del almidón y N en este sitio.

La digestión a nivel de tracto total fue mayor ($P < 0.01$) para MO, N y almidón para las dietas que contuvieron maíz hojuleado. La digestión del almidón en tracto total fue de 96.4 y 84.3% para maíz hojuleado y maíz quebrado respectivamente. El valor para maíz quebrado es consistente con el informado por Corona et al. (2006) y por Zinn et al. (2008), pero menor al 89% informado por Owens y Zinn (2005). De igual forma el valor observado para maíz hojuleado fue ligeramente menor (2.4%) a los valores observados en estudios previos (Zinn et al., 2002; Owens y Zinn, 2005; Corona et al. 2006). Resultados de una serie de experimentos publicados en un periodo de 9 años indican que el hojulear el grano de maíz incrementa en promedio 7 unidades porcentuales (99 vs. 92%) la digestión del almidón a nivel de tracto total (Huntington, 1997), lo que se traduce en una mejora de la energía del grano (TND)

de 5.7% cuando es hojueleado. Excluyendo los cambios que mejoran la utilización de la energía del grano dado por los aumentos de la digestión de los componentes libres de almidón (N y la parte de MO que no constituye el almidón, así como la disminución en la producción de metano) se puede calcular el cambio en el valor del total de nutrientes digestibles (TND) a través de la fórmula expresada por Zinn et al. (2002) la cual se expresa: mejora en el contenido de TND, % = $[(0.964 - 0.843) * 0.6921] / 0.88$, donde 0.964 y 0.843 es la digestión del almidón observada a nivel de tracto total, 0.6921 es el contenido de almidón del grano y 0.88 es el valor de TND especificado por la NRC (1996) para el maíz quebrado. De tal forma que el hojuelear el maíz blanco se traduce en una mejora del 9.51% la cual representa un 42% más a la observada para el maíz amarillo. Por otra parte, Zinn et al. (2002) observaron la siguiente relación ($r^2 = 0.88$) entre la digestibilidad del almidón a nivel de tracto total y la EN_m del maíz: $EN_m \text{ del maíz, Mcal/kg} = -0.75 + 0.032 \text{ DTA}$, donde DTA = digestión total del almidón. Aplicando lo anterior a los valores de 96.4 y 84.3 % observados para MBH y MBLQ respectivamente, entonces se obtiene que MBH contiene 2.35 Mcal/kg de EN_m mientras que MBLQ aporta 1.95 Mcal/kg EN_m . Estos valores representan el 1.01 y 0.89 a los valores expresados en el NRC (1996) para el maíz hojueleado y el maíz quebrado respectivamente. De nueva cuenta, los estándares actuales (NRC, 1996) indican una mejora en la EN de 6.4% cuando el maíz amarillo es hojueleado, mientras que en el presente estudio se observó una mejora del 12% que representa un 46% cercano al 42% estimado a través del cálculo del porcentaje de TND (Zinn et al., 2002).

Conclusiones

El valor nutrimental del maíz amarillo y el maíz blanco hojueado con vapor es similar. Dada sus características, principalmente en lo relacionado con la proporción de endospermo duro, la magnitud de la respuesta al hojueado con vapor es mayor para el maíz blanco comparado con el maíz amarillo.

Literatura Citada

- Álvarez, E. G., J. F. Calderón, M. F. Montañó, R. A. Ware and R. A. Zinn. 2004. Influence of dietary forage level on digestive function and growth performance in cattle fed steam flaked corn base growing-finishing diets. *J. Anim. Vet. Adv.* 3(8):503-509.
- Álvarez, E. G., M. F. Montañó and R. A. Zinn. 2000. Comparative feeding value of elephant grass in growing diets for feedlot cattle. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 51:477-480.
- AOAC, 1986. Official methods of analysis. 14th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem. Arlington, VA.
- Bergen, W. G., D. B. Purser and J. H. Cline. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J. Anim. Sci.* 27:1497.
- Barajas, R., B. J. Cervantes, I. G. Gonzalez, J. M. Romo, and J. J. Lomeli. 2006a. Effect of white corn processing method on some digestion indicators of Brahman cross finishing bulls. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 57:389-391.
- Barajas, R., B. J. Cervantes, R. de J. Virgilio, J. M. Romo, and J. J. Lomeli. 2006b. Effect of white corn processing method on feedlot performance of Brahman cross finishing bulls. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 57:392-394.
- Barajas, R. and R. A. Zinn. 1998. The feeding value of dry rolled steam-flaked corn in finishing diets for feedlot cattle: influence of protein supplementation. *J. Anim. Sci.* 76:1744-1752. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 57:392-394.
- Bengochea, W. L., G. P. Lardy, M. L. Bauer and S. A. Soto-Navarro. 2005. Effect of grain processing degree on intake, digestion, ruminal fermentation, and performance characteristics of steers fed medium-concentrate growing diets. *J. Anim. Sci.* 83:2815-2825.
- Calderón-Cortés, J. F. and R. A. Zinn. 1996. Influence of dietary forage level and forage coarseness of grind on growth performance and digestive function in feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 74:2310-2316.
- Cole, N. A., R. R. Johnson and F. N. Owens. 1976a. Influence of roughage level on the site and extent of digestion of whole shelled corn by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:483-489.

- Cole, N. A., R. R. Johnson and F. N. Owens. 1976b. Influence of roughage level and corn processing method on the site and extent of digestion by beef steers. *J. Anim. Sci.* 43:490-496.
- Cooper, R. J., C. T. Milton, T. J. Klopfenstein, T. L. Scott, C. B. Wilson and R. A. Mass. 2002. Effect of corn processing on starch digestion and bacterial crude protein flow in finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 80:797-804.
- Corona, L., F. N. Owens and R. A. Zinn. 2006. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. *J. of Anim. Sci.* 84:In press
- Correa, C. E. S., R. D. Shaver, M. N. Pereira, J. G. Laurer and K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *J. Dairy Sci.* 85:3008-3012.
- Dombrink-Kurtzman, M. A. and C. A. Knutson. 1997. A study of Maize endosperm harness in relation to amylase content and susceptibility to damage. *Cereal Chem.* 74:776-780.
- Elam, C. J. 1976. Acidosis in feedlot cattle: Practical observations. *J. Anim. Sci.* 43:898-901.
- Elizalde, J. C., N. R. Merchen and D. B. Faulkner. 1999. Supplemental cracked corn for steers fed fresh alfalfa: I. Effects on digestion of organic matter, fiber and starch. *J. Anim. Sci.* 77:457-466.
- FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. Available: http://www.fao.org/documents/show_cd.asp?url_file=/docrep/T0395500.htm.fig. Accessed Apr. 02, 2006.
- French, D. 1973. Chemical and physical properties of starch. *J. Anim. Sci.* 37:1048-1061.
- Galyean, M. L., D. G. Wagner and F. N. Owens. 1979. Level of feed intake and site and extent of digestion of high concentrate diets by steers. *J. Anim. Sci.* 49:199.
- Gorocica-Buenfil, M. A. and S. C. Loerch. 2005. Effect of cattle age, forage level and corn processing on diet digestibility and feedlot performance. *J. Anim. Sci.* 83:705-714.
- Harmon, D. L., R. M. Yamka and N. A. Elam. 2004. Factors affecting intestinal starch digestion in ruminants: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 84:309-318
- Herrera-Saldaña, R. E., J. T. Huber and M. H. Poore. 1990. Dry matter, crude protein and starch digestibility on five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73:2386-2393.

- Hicks, C. R. 1973. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*. Holt, Rinehart and Winston, New York
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-603.
- Huntington, G. B. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J. Anim. Sci.* 75:852-867.
- Huntington, G. B., C. Richards and D. Harmon. 2005. Sites, rates and limits of starch digestion and glucose metabolism in grow cattle. *J. Anim. Sci.* 83 (Suppl.1):72.
- Joy, M. T., E. J. DePeters, J. G. Fadel and R. A. Zinn. 1997. Effects of corn processing on the site and extent of digestion in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80:2087-2097.
- Kellens, R. O. and D. C. Church. 2001. Feed processing. In: *Livestock Feeds and Feeding*. 5th Edition. Prentice Hall, New Jersey, NY. p.198
- Kotarski, S. F., R. D. Waniska and K. K. Thurn. 1992. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. *J. Nutr.* 122:178-190.
- Kreikemeier, K. K., D. L. Harmon, R. T. Brandt Jr., T. B. Avery and D. E. Johnson. 1991. Small intestinal starch digestion in steers: Effect of various levels of abomasal glucose, corn starch and corn dextrin infusion on small intestinal disappearance and net glucose absorption. *J. Anim. Sci.* 69:328-338.
- Leyva, O. R., A. Carballo, J. A. Mejía y M. G. Vázquez. 2002. Procesamiento digital de imágenes para la estimulación de textura de endospermo en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 25:355-365.
- Mader, T. L., J. M. Dahlquist, R. A. Britton and V. E. Krause. 1991. Type and mixture of high-moisture corn in beef cattle finishing diets. *J. Anim. Sci.* 69:3480-3486.
- McAllister, T. A., H. D. Bae, G. A. Jones and K. J. Chung. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *J. Anim. Sci.* 72: 3004-3018.
- McAllister, T.A., R. C. Phillipe, L. M. Rode and K. J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *J. Anim. Sci.* 71:205-212.
- Murphy, T. A., F. L. Fluharty and S. C. Loerch. 1994. The influence of intake level and corn processing on digestibility and ruminal metabolism in steers fed all-concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 72:1608-1615.

- Nocek, J. E. and S. Tamminga. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74:3598-3625.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirement of beef cattle. 7a Ed, ed National Academy Press, Washington DC.
- Orskov, E. R. 1986. Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1624-1633.
- Owens, F. N. 2005. Corn grain processing and digestion, Pioneer Hi-Breed International Inc. Johnston, I.A.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W.J. Hill and D. R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 75:868-879.
- Owens, F. N. and R. A. Zinn. 2005. Corn grain for cattle: Influence of processing on site and extent of digestion. Proc. 19th Southwest Nutr. Conf. Phoenix, Arizona. p.86. Available: <http://animal.cals.arizona.edu/swnmc/papers/2005/> Accessed Apr. 09, 2006.
- Owens, F. N., R. A. Zinn and Y. K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Anim. Sci.* 1634-1648.
- Philippeau, C., C. Martin and B. Michalet-Doreau. 1999a. Influence of grain source on ruminal characteristics and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:1587-1596.
- Philippeau, C., F. Le Deschault de Monredon and B. Michalet-Doreau. 1999b. Relationship between ruminal degradation and the physical characteristics of corn grain. *J. Anim. Sci.* 77:239-243.
- Plascencia, A. 2007. Influence of cracked, coarse grind or fine grind of corn on digestion and rumen function in steers fed a 73% corn-based diet. *J. Anim. Vet. Adv.* 118-122.
- Plascencia, A., G. E. Arellano, M. A. López-Soto, and R. A. Zinn. 2002. Comparative study on the site and digestion rate of N and starch fractions of four steam-flaked cereals in finishing diets for feedlot cattle. *Vet Mex.* 33:371-386.
- Plascencia, A and R. A., Zinn. 1996. Influence of flake density on the feeding value of steam-processed corn in diets for lactating cows. *J. Anim. Sci.* 74:310-316.
- Pratt, R. C., J. W. Paulis, K. Miller, T. Nelsen and J. A. Bietz. 1995. Association of zein classes with maize kernel hardness. *Cereal Chem.* 72 (2):162-167.

Available: <http://aacnet.org/cerealchemistry/backissues/1995/72-94.pdf>.
Accessed Abr. 02, 2006.

- Pritchard, R. H. and D. A. Stateler. 1997. Grain processing: Effects on mixing, prehension, and others characteristics of feeds. *J. Anim. Sci.* 75:880-884.
- Robutti, J. L., S. F. Borrás and G. H. Eyherabide. 1997. Zein composition of mechanically separated coarse and fine portions of maize kernels. *Cereal Chem.* 74(1):75-78. Available: <http://199.86.26.71/chemistry/articles/1997/0110-02r.pdf>. Accessed Abr. 23, 2006.
- Rooney, L. W. and R. L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63:1607-1623.
- Scott, T. L., C. T. Milton, G. E. Erickson, T. J. Klopfenstein and R. A. Stock. 2003. Corn processing method in finishing diets containing wet corn gluten feed. *J. Anim. Sci.* 81:3182-3190.
- Secrist, D. S., W. J. Hill, F. N. Owens, D. R. Gill and S. D. Welty. 1996. Rolled or whole corn for feedlot steers being limit or *ad libitum* feed. 1996 Animal Science Research Report. Oklahoma State University p. 173-180. Available: <http://www.ansi.okstate.edu/research/1996rr/29.pdf>. Accessed Abr. 09, 2006.
- Secrist, D. S., W. J. Hill, F. N. Owens and S. D. Welty. 1995. Effects of corn particle size on feedlot steer performance and carcass characteristics. 1995 Animal Science Research Report. Oklahoma State University p. 99-104 Available: <http://www.ansi.okstate.edu/research/1995rr/17.pdf>. Accessed Abr. 09, 2006.
- Siller, J. H. 2004. Validación de la producción de alta fructosa, aceite vegetal, aislados proteicos, fibras y otros subproductos del maíz. Available: <http://www.CIAD.edu.mx>. Accessed Feb 05, 2008.
- Sindt, J. J., J. S. Drouillard, E. C. Titgemeyer, S. P. Montgomery, E. R. Loe, B. E. Dejenbusch and P. H. Walz. 2006a. Influence of steam-flaked corn moisture level and density on the site and extent of digestibility and feeding value for finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 84:424-432.
- Sindt, J. J., J. S. Drouillard, S. P. Montgomery and E. R. Loe. 2006b. Factors influencing characteristics of steam-flaked corn and utilization by finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 84:154-161.
- Stock, R. A., D. R. Brink, R. T. Brandt, J. K. Merrill and K. K. Smith. 1987a. Feeding combinations of high moisture corn and dry corn to finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 65:282-289.

- Stock, R. A., D. R. Brink, R. A. Britton, F. K. Goedeken, M. H. Sindt, K. K. Kreikemeier, M. L. Bauer and K. K. Smith. 1987b. Feeding combinations of high moisture corn and dry-rolled grain sorghum to finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 65:290.
- Streeter, M. N., D. G. Wagner, C. A. Hibberd and F. N. Owens. 1990. Comparison of corn with four sorghum grain hybrids: site and extent of digestion in steers. *J. Anim. Sci.* 68:3429-2440.
- Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662.
- Theurer, C. B., O. Lozano, A. Alio, A. Delgado-Elorduy, M. Sadik, J. T. Huber and R. A. Zinn. 1999. Steam-processed corn and sorghum grain flaked at different densities alter ruminal, small intestinal and total tract digestibility of starch by steers. *J. Anim. Sci.* 77:2824-2831.
- Thomison, P. 1991. Speciality corns: waxy, high-amilose, high-oil and high-lysine corn. Ohio State University Extension. Available: <http://ohioline.osu.edu/agfact/0112.htm>. Accessed Abr. 09, 2006.
- Thorne, M. J., L. U. Thompson and D. J. A. Jenkins. 1983. Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legume. *Amer. J. Clin. Nutr.* 38:481-488. Available: <http://www.ajcn.org/cgi/reprint/38/3/481>. Accessed May. 07, 2006.
- Utrilla-Cohelo, R. G., E. Agama-Acevedo, S. L. Rodríguez-Ambriz y L. A. Bello-Perez. 2007. Maíz Pigmentado: Estudio de la Separación de los Gránulos de Almidón p103-108. IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. XXV Aniversario de la Carrera de Ingeniería en Alimentos en el Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato
- Ward, C. F. and M. L. Galyean. 1999. The relationship between retrograde starch as measured by starch availability estimates and *in vitro* dry mater disappearance of steam-flaked corn. Burnett Ctr. Internet Prog. Rep. Available: http://www.astf.ttu.edu/burnett_center/progress_reports/. Accessed Abr. 09, 2006.
- White, P. J., and L. M. Pollak. 1995. Corn as a food source in the United States; Part II. Processes, products, composition, and nutritive values. *Cereal Foods World.* 40:756–762.
- Zinn, R. A. 1990a. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 68:767-775.
- Zinn, R. A. 1990b. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. *J. Anim. Sci.* 68:776-781.

- Zinn, R. A. 1994. Influence of flake thickness on the feeding value of steam rolled wheat for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 72:21-28.
- Zinn, R. A., C. F., Adam and M. S. Tamayo. 1995. Interaction of feed intake level on comparative ruminal and total tract digestion of dry-rolled and steam flake corn. *J. Anim. Sci.* 73:1239-1245.
- Zinn, R. A., E. D. Álvarez, M. F. Montaña, A. Plascencia and J. E. Ramírez. 1998. Influence of tempering on the feeding value of rolled corn in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2239-2246.
- Zinn, R. A. and R. Barajas. 1997. Comparative ruminal and total tract digestion of a finishing diet containing fresh vs. air-dry steam-flaked corn. *J. Anim. Sci.* 75:1704-1707.
- Zinn, R. A. and F. N. Owens. 1983. Influence of feed intake level on site of digestion in steers fed a high concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 56:471-475.
- Zinn, R. A. and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66:157-166.
- Zinn, R. A., F. N. Owens and R. A. Ware. 2002. Flaking corn: Processing mechanism, quality standards and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 80:1145-1156.
- Zinn, R. A. and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71:11-17.
- Zinn, R. A. and A. Plascencia. 1996. Effects of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 74:1194-1201.
- Zinn, R. A., J. Salinas, M. Montaña, and L. Corona. 2008. Influence of tempering and steaming requirements of flaked corn for feedlot cattle diets. *J. Anim. Vet. Adv.* 7:68-76.