

Veterinaria México
Universidad Nacional Autónoma de México
rmp@servidor.unam.mx
ISSN (Versión impresa): 0301-5092
MÉXICO

2002

Alejandro Plascencia Jorquera / Eduardo Arellano González / María Alejandra López
Soto / Richard Avery Zinn

ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE EL SITIO Y LA TASA DE DIGESTIÓN DE LA
FRACCIÓN NITROGENADA Y DEL ALMIDÓN DE CUATRO CEREALES
PROCESADOS CON VAPOR UTILIZADOS EN DIETAS PARA BOVINOS DE
ENGORDA

Veterinaria México, octubre-diciembre, año/vol. 33, número 004
Universidad Nacional Autónoma de México
Distrito Federal, México
pp. 371-386

Estudio comparativo sobre el sitio y la tasa de digestión de la fracción nitrogenada y del almidón de cuatro cereales procesados con vapor utilizados en dietas para bovinos de engorda*

Comparative study on the site and digestion rate of N and starch fractions of four steam-flaked cereals in finishing diets for feedlot steers*

Alejandro Plascencia Jorquera**
Eduardo Arellano González**
María Alejandra López Soto**
Richard Avery Zinn***

Abstract

Four Holstein steers (157 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used to compare characteristics of digestion of steam-flaked corn, wheat, barley and sorghum. The basal diet contained (DM basis) 81% of grain. Ruminal organic matter (OM) digestibility was lower ($P < 0.05$) for sorghum than for wheat, and barley (57% vs. 71% and 67%, respectively). Greater ($P < 0.05$) ruminal starch digestibility was observed for wheat and barley (92%) than for corn and sorghum (83%). Even if there were no differences in postruminal digestion of starch ($P > 0.10$), postruminal digestibility of OM was lower ($P < 0.05$) for barley (61%) than for wheat (67%). Ruminal digestion of N was greater ($P < 0.05$) for wheat (80%) and barley (72%) than for corn (60%) and sorghum (46%). Postruminal digestion of N was greater ($P < 0.05$) for wheat (79%) than for barley (76%), corn (74%) and sorghum (71%). Total tract digestion of OM was greater ($P < 0.05$) for wheat (85%) than for corn (82%), barley (80%), and sorghum (79%). Total tract digestion of starch for all grain was greater than 98%. Dietary digestible energy (DE, Mcal/kg) was greater ($P < 0.05$) with corn (3.52) and wheat (3.59) than with barley (3.35) and sorghum (3.34). Given that the DE and ruminal undegradable intake protein (UIP) values that the NRC assigns to steam-flaked corn are 4.10 Mcal/kg and 57%, then the corresponding replacement DE and UIP values for steam-flaked wheat, barley, and sorghum obtained in the present study were 4.19 and 21.5 Mcal/kg, 3.89 and 34.8 Mcal/kg, and 3.88 Mcal/kg and 63.4%, respectively. It is concluded that current standards of the NRC significantly underestimate the net energy and ruminal escape protein values of steam-flaked barley, wheat and sorghum.

Key words: STEAM-FLAKED PROCESS, CORN, BARLEY, WHEAT, SORGHUM, STEER, METABOLISM.

Resumen

Se utilizaron cuatro novillos Holstein (157 kg PV) habilitados con cánulas en el rumen y duodeno proximal para comparar las características de la digestión del maíz, trigo, cebada y sorgo en hojuelas en dietas con 81% de

Recibido el 4 de diciembre del 2001 y aceptado el 20 de mayo de 2002.

* Trabajo financiado a través de la Sexta Convocatoria Interna de Investigación, DGIP-UABC. Presentado (modalidad cartel) en la XI Reunión Internacional de Carne y Leche en Climas Cálidos, septiembre 2001, Mexicali, Baja California, México.

** Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Av. Álvaro Obregón y Julián Carrillo s/n, 21100, Mexicali, Baja California, México.

*** Department of Animal Science, Imperial Valley Agriculture, University of California, Davis, El Centro, CA. 92243.

Para correspondencia al autor responsable y envío de sobretiros: Alejandro Plascencia, Av. José María Aguayo 1429, Fraccionamiento Vistahermosa, 21240, Mexicali, Baja California, México, Tel. (6) 565-0063, E-mail: aplas_99@yahoo.com

grano. La digestión ruminal de la materia orgánica (MO) fue menor ($P < 0.05$) para el sorgo comparado con el trigo y la cebada (19.7% y 14.9%, respectivamente). A nivel ruminal se obtuvo una mayor ($P < 0.05$) digestibilidad del almidón para trigo y cebada (92%) con respecto a maíz y sorgo (83%). Aun cuando no existieron diferencias significativas ($P > 0.10$) en la digestibilidad posruminal del almidón, la digestibilidad posruminal de la MO fue menor ($P < 0.05$) para cebada comparada con el trigo (61% vs. 67%, respectivamente). La digestibilidad ruminal de nitrógeno (N) fue mayor ($P < 0.05$) para trigo (80%) y cebada (72%), seguido de maíz (60%) y sorgo (46%). La digestibilidad posruminal del N fue diferente ($P < 0.05$) para todos los tratamientos, de menor a mayor: sorgo (71%), maíz (74%), cebada (76%) y trigo (79%). En tracto total, la digestibilidad de MO fue mayor ($P < 0.05$) para el trigo (85%), seguido de maíz (82%), cebada (80%) y sorgo (79%), mientras que la digestibilidad de N fue mayor para el trigo (80%), seguido de cebada (76%), y por último sorgo y maíz (69% y 68%, respectivamente). En tracto total, todos los granos obtuvieron digestibilidades del almidón por encima del 98%. La energía digestible (ED, Mcal/kg) fue mayor ($P < 0.05$) para las dietas que contenían maíz y trigo (3.52 y 3.59 Mcal/kg) comparado con aquellas que contenían cebada y sorgo (3.35 y 3.34 Mcal/kg, respectivamente). Dado que los valores que asigna el NRC para el contenido de ED y proteína de escape para el maíz en hojuelas son de 4.10 Mcal/kg y 57%, respectivamente, los valores calculados por remplazo para el trigo, cebada y sorgo correspondieron a 4.19 Mcal/kg y 21.5%, 3.89 Mcal/kg y 34.8% y de 3.88 Mcal/kg y 63.4%, respectivamente. Se concluye que los actuales estándares del NRC subestiman el contenido de ED y de la proteína de escape de estos cereales.

Palabras clave: PROCESAMIENTO CON VAPOR, MAÍZ, TRIGO, CEBADA, SORGO, NOVILLOS, METABOLISMO.

Introduction

In northeastern Mexico processing of cereals for their use in beef production commonly includes making steam-flaked cereals. When grains are steam-flaked one sees an increase in net energy (NE)¹⁻³ as well as changes in protein solubility in the rumen.⁴⁻⁶ Given that steer finishing diets can contain up to 80% of steam-flaked cereals, it is extremely important to know the precise values to be assigned to these products during ration formulation. In the case of steam-flaked corn, values for both undegradable intake protein and NE registered in various studies¹⁻² have been consistent with the most recent NRC publication,⁷ however, there is still controversy concerning values for sorghum, wheat and barley.

The undegradable intake protein value obtained for steam-flaked sorghum does not indicate how many observations were carried out, while for barley and wheat there are no specific values which correspond to the steam-flaked process for these cereals, rather, there is an assumption that the nutrient values remain the same regardless of the processing method. As a result of this, when comparing NE^{1-3,5,8-12} and undegradable intake protein¹³⁻¹⁶ from different steam-flaked cereals, there is very little relation between the recommended NRC results and those obtained in various studies.

The aim of this study was to compare, in steer finishing diets, the digestion rate of N and starch

Introducción

El prensado posterior al tratamiento con vapor en los cereales es una práctica generalizada en las engordas en el noroeste de México. Cuando los granos son procesados en hojuelas se observa un aumento en la energía neta (EN),¹⁻³ así como cambios en la solubilidad de su proteína a nivel ruminal.⁴⁻⁶ Dado que las dietas de finalización para novillos contienen hasta 80% de cereales en hojuelas, es de suma importancia la precisión con que estos valores son asignados durante la formulación de las dietas. Con respecto al maíz en hojuelas, los valores registrados para proteína de escape y de EN de diversos estudios¹⁻² han sido consistentes con los indicados en la publicación más actual de la NRC;⁷ sin embargo, existe controversia para el sorgo, trigo y cebada.

Con respecto al valor de proteína de escape asignado al sorgo en hojuelas, no se indica el número de observaciones con el cual fue calculado, mientras que para cebada y trigo no se especifican los valores correspondientes cuando estos cereales se procesan en hojuelas; se asume que no existen cambios de sus componentes como respuesta al procesado con vapor. Como resultado de lo anterior, existe poca coincidencia entre lo recomendado por el NRC⁷ y los resultados obtenidos en diversos estudios, cuando se comparan la EN^{1-3,5,8-12} y la proteína de escape¹³⁻¹⁶ de distintos cereales procesados en hojuelas.

El objetivo de este trabajo fue comparar, en dietas de finalización para novillos, la utilización del nitrógeno y

Cuadro 1
COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES CONSUMIDAS POR LOS NOVILLOS.
COMPOSITION OF THE EXPERIMENTAL DIET CONSUMED BY STEERS.

Description	Steam-flaked cereal*			
	Corn	Wheat	Barley	Sorghum
Ingredients, % (Dry base)				
Corn (0.26 kg/L)	81.00	--	--	--
Wheat (0.32 kg/L)	--	81.00	--	--
Barley (0.19 kg/L)	--	--	81.00	--
Sorghum (0.28 kg/L)	--	--	--	81.00
Sudan, hay	8.00	8.00	8.00	8.00
Molasses, sugarcane	4.00	4.00	4.00	4.00
Yellow fat	3.00	3.00	3.00	3.00
Urea	1.20	1.20	1.20	1.20
Mineralized salt [†]	0.50	0.50	0.50	0.50
Chromic oxide	0.40	0.40	0.40	0.40
Magnesium oxide	0.20	0.20	0.20	0.20
Nutritional composition (Dry base) [‡]				
NE, Mcal/kg				
Maintenance	2.27	2.08	2.16	2.11
Gain	1.60	1.43	1.49	1.45
Crude protein, %	11.95	15.76	14.95	13.98
Ether extract, %	6.60	4.74	4.90	5.63
FDA, %	5.55	5.72	7.98	8.54

*Pressed after cooking to a constant chamber temperature (cap 0.6 m³) of 120°C during 30 min for corn and sorghum and during 20 min approximately for barley and wheat.

[†]Mineral salt content: COSO₄, 0.068%; CuSO₄, 1.04; FeSO₄, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO₄, 1.07%; KI, 0.052% y NaCl, 92.96%.

[‡]Calculated based upon values for each ingredient contemplated in the NRC.⁷

rations in steam-flaked barley, sorghum and wheat, using steam-flaked corn as a reference.

Material and methods

Four Holstein steers (157 kg) with ruminal and duodenal cannulas,¹⁷ in a 4 × 4 Latin squares design, were used to evaluate the treatment effect on ruminal digestion and function. The treatments consisted of a basal diet containing 81% grain (Table 1). The steam-flaked cereals were prepared in the following manner: a chamber with 0.60 m³ capacity, which was suspended above two corrugated rolls (46 cm × 61 cm), was filled with the cereal, then the temperature in the chamber was raised to 102°C using steam, while maintaining atmospheric pressure, for approximately 20 minutes, finally the cereal was rolled through the rolls.

To ensure uniform heating in the rolls throughout the rolling process, the first 450 kg of flaked cereal were

del almidón de la cebada, sorgo y trigo procesados con vapor, utilizando al maíz en hojuelas como referencia.

Materiales y métodos

Se utilizaron cuatro novillos Holstein (157 kg) habilitados con cánulas en el rumen y duodeno proximal¹⁷ en un diseño de cuadrado Latino 4 × 4, con la finalidad de evaluar el efecto de los tratamientos sobre las características de digestión y función del rumen. Los tratamientos consistieron en una dieta basal que contenía 81% de grano (Cuadro 1). Los cereales en hojuelas fueron preparados de la siguiente manera: Se llenó con cereal una cámara (capacidad = 0.60 m³) situada por encima de dos rodillos corrugados (46 cm × 61 cm), y a presión atmosférica fue llevada 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

discarded and were thus not used in the treatment diets. Roll tension was adjusted for all cereals to give the flakes a density which approximated 0.32 kg/l. The cereals remained in the steam chamber for 30 minutes, in the case of the corn and sorghum, and for 20 minutes, in the case of the barley and wheat. Once the steam-flake was obtained, the cereal was dried at room temperature for five days before being used in the experimental diets.

The experiment was carried out at the Ruminant Digestion and Metabolism Test Unit of the Veterinary Science Research Institute of the Autonomous University of Baja California, located in Mexicali, in the state of Baja California, Mexico. The diets contained 0.4% chromic acid as a digestion marker. Steers were supplied with 3.0 kg/steer/day (DM base) of the experimental diet, as well as receiving fresh food on a daily basis in two portions, one distributed at 0800 and the second at 2000 h. The experiment consisted of four experimental periods, each lasting for 14 days, divided into ten days for adaptation and four for sample collection. During the collection period, the duodenal (500 ml) and fecal (200 g) samples were taken from each steer twice daily, using the following schedule: day 1, 0750 and 1350 h; day 2, 0900 and 1500 h; day 3, 1050 and 1650 h; and on day 4, 1200 and 1800 h.

The samples for each steer were mixed in order to form compound samples, after which they were frozen at -20°C prior to analysis. On the last day of the last experimental period, ruminal fluid was obtained from each steer, this was used to obtain ruminal bacterial counts by differential centrifuge.¹⁸ The samples collected were all subjected to the following analyses: dry matter (DM, stove dried at 105°C to constant weight), ash, kjeldahl N, ammonia N as stimulated by the AOAC,¹⁹ starch,²⁰ purines,²¹ chromic oxide²² and gross energy (GE, using a 1 271 adiabatic bomb calorimeter *).

The quantity of organic microbial matter (OMM) and microbial nitrogen (MN) that flowed to the duodenum were calculated based upon the analysis of the bacteria isolated in the ruminal fluid, as were the samples obtained from the duodenum, using purines as markers.²¹ The fermented organic matter (FOM) in the rumen was calculated by subtracting the organic microbial matter (OMM) that flowed to the duodenum from the total quantity of organic matter (OM), and then subtracting this result from the consumed organic matter (COM) [FOM = COM - (OM - OMM)]. The N consumed that escaped ruminal digestion (undegradable intake protein) was considered to be the equivalent of the total N that entered the duodenum minus the quantity of ammonia N and microbial N that flowed to the duodenum. The comparative value of

cereal en hojuelas fueron descartados para su uso en la prueba. La tensión de los rodillos se ajustó para proveer una hojuela con una densidad aproximada de 0.32 kg/l para todos los cereales. El tiempo de retención de los cereales en la cámara de vapor fue de 30 minutos para maíz y sorgo, y de 20 minutos para cebada y trigo. Una vez obtenida la hojuela, el cereal fue secado al ambiente durante cinco días antes de ser usado en la preparación de las dietas experimentales.

El experimento se llevó a cabo en la Unidad para Pruebas de Digestión y Metabolismo de Rumiantes, del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California, en Mexicali, Baja California, México. El suministro de las dietas, las cuales contenían 0.4% de óxido crómico como marcador de digesta, se restringió a 3.0 kg/novillo/d (base seca), y se ofreció alimento fresco en forma diaria en dos porciones iguales a las 0800 y a las 2000 h. El experimento consistió en cuatro periodos experimentales de 14 días (diez días para adaptación de dieta y cuatro para colección de muestras). Durante el periodo de colección de muestras, las muestras duodenales y fecales fueron tomadas a cada novillo dos veces al día durante los últimos días de cada periodo en los siguientes horarios: día 1, 0750 y 1350 h; día 2, a las 0900 y las 1500 h; día 3, a las 1050 y las 1650 h; y día 4, a las 1200 y las 1800 h.

Se tomaron muestras duodenales (500 ml) y fecales (200 g) de cada novillo dos veces al día. Las muestras de cada novillo en cada periodo de colección se mezclaron con el propósito de formar muestras compuestas que se congelaron a -20°C para análisis posteriores. El último día del último periodo experimental se obtuvieron muestras de fluido ruminal que se mezclaron (por novillo) para aislamiento de bacterias ruminales por centrifugación diferencial.¹⁸ Las muestras generadas fueron sujetas a todos o parte de los siguientes análisis: Materia seca (MS, estufa desecando a 105°C hasta peso constante), ceniza, N kjeldahl y N amoniacal de acuerdo con lo estipulado por la AOAC,¹⁹ almidón,²⁰ purinas,²¹ óxido crómico²² y energía bruta (EB) (utilizando una bomba calorimétrica adiabática 1 271*).

La cantidad de materia orgánica microbiana (MOM) y el nitrógeno microbiano (NM) que fluyeron 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.²¹ La materia orgánica fermentada (MOF) en rumen se calculó mediante la resta a la materia orgánica (MO) 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 escapó de la digestión ruminal (proteína de escape) fue

* Parr Instrument Company, Moline IL.

Cuadro 2
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS CEREALES PROCESADOS UTILIZADOS
PHYSIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE PROCESSED CEREALS USED

	<i>Steam-flaked cereals*</i>			
	<i>Corn</i>	<i>Wheat</i>	<i>Barley</i>	<i>Sorghum</i>
Dry matter, %	87.47	87.47	85.60	86.20
Nutrient content, % of DM				
OM	98.5	97.9	97.5	98.0
Starch	72.1	67.9	61.3	69.6
N	1.37	2.03	2.04	1.73
Density, kg/L	0.32	0.32	0.32	0.32

*The steam-flaked cereals were prepared in the following way: a 0.60 m³ capacity chamber, placed above corrugated rolls (46 cm x 61 cm) was filled with cereal, temperature was elevated to 102°C while maintaining atmospheric pressure, by using steam for approximately 20 minutes prior to the cereal being passed through the rolls. Cereals were kept in the steam chamber for 30 minutes in the case of corn and sorghum, and for 20 minutes in the case of barley and wheat.

digestible energy (DE, Mcal/kg) for the tested cereals was determined via a replacement technique,¹⁷ in which the following were considered: a) Steam-flaked corn, as the standard reference, containing 4.10 Mcal DE/kg,⁷ b) all experimental diets containing identical nutrient composition, except for the cereal that replaced the corn in an equal proportion, c) differences observed in the DE content were therefore the result of the different quantity of DE in the cereals that replaced the corn in the experimental diet. Given that the replaced steam-flaked corn contains 4.10 Mcal DE/kg, the value for DE for the tested cereals could be calculated in the following way: DE, Mcal/kg of test cereal = [(DE observed for each diet containing a test cereal – DE observed for the diet containing steam-flaked corn)/0.81] + 4.10.

Where DE of test cereal = DE of the diets observed containing wheat, barley and sorghum, 4.10 = value of DE (Mcal/kg) given for steam-flaked corn.⁷

The data were analyzed using a 4 × 4 Latin squares design as in the following model:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + A_j(i) + P_k + \zeta_1 + E_{ijkl}$$

Where B_i = block,
 $A_j(i)$ = steer within the block,
 P_k = period,
 ζ_1 = treatment,
 E_{ijkl} = residual error.

The effects of the treatments, in all cases, were separated using a minimum significant difference test, as specified by Hicks.²³

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 remplazo,¹⁷ la cual consideró para este estudio: a) Al maíz en hojuelas como el cereal estándar que contiene 4.10 Mcal/kg de ED,⁷ b) que las dietas experimentales son idénticas en composición, salvo por el cereal, prueba que reemplaza al maíz en una proporción igual, y c) que las diferencias observadas en el contenido de la ED de las dietas son, por tanto, un resultado directo de las diferencias del contenido de la ED de los cereales que reemplazan al maíz en las dietas experimentales. Dado que el maíz en hojuelas reemplazado contiene 4.10 Mcal/kg de ED, el valor de ED de los cereales probados se puede calcular de la siguiente manera: ED, Mcal/kg del cereal prueba = [(ED observada para cada una de las dietas con el cereal prueba – ED observada para la dieta con maíz)/0.81] + 4.10.

Donde ED del cereal prueba = ED de las dietas observadas para trigo, cebada y sorgo, 4.10 = valor de ED (Mcal/kg) indicado para el maíz.⁷

Los datos se analizaron como un diseño de cuadrado latino 4 × 4 de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = m + B_i + A_j(i) + P_k + \zeta_1 + E_{ijkl}$$

Donde B_i = bloque,
 $A_j(i)$ = novillo dentro del bloque,
 P_k = periodo,
 ζ_1 = tratamiento,
 E_{ijkl} = error residual.

Results

The DM and OM content was very similar between cereals and, as was expected, the densities (kg/l) of the processed cereal were identical. Corn, wheat and sorghum had, on average, 14% more starch than barley, while the concentration on N was 2.03%, on average, for wheat and barley (17% and 48% more N with respect to that of sorghum and corn, respectively) (Table 2). Ruminal digestion of OM was lower ($P < 0.05$) for sorghum (57.3%) compared to wheat and barley (70.8% and 66.5%, respectively). Both corn and sorghum had less ($P < 0.05$) starch digestibility (84.0% and 80.9%, respectively) at a ruminal level, than wheat and barley (92.8% and 93.5%, respectively).

Even when the postruminal digestibility of OM was lower ($P < 0.05$) for barley, compared to wheat (60.7% vs. 66.5%, respectively), there were no significant ($P > 0.10$) differences in the postruminal digestibility of starch in the cereals evaluated in this study. The flow of microbial nitrogen (MN, g/d) to the duodenum was relatively low for sorghum (35.6), intermediate for corn (41.4) and highest for wheat and barley (47.4), though there were no differences ($P > 0.10$) for microbial efficiency (microbial N/kg of OM fermented in the rumen) between treatments.

The ruminal digestibility of N was greater ($P < 0.05$) for wheat (80%) and barley (72%), followed by corn (60%) and sorghum (46%), even when the flow of non-ammonia N (NAN) was lowest ($P < 0.05$) for corn (62.1%) and wheat (61.1%), intermediate for barley (65.2%) and greatest for sorghum (73.2%). The corn-containing diet showed, at a ruminal level, greater ($P < 0.05$) efficiency for N (NAN in duodenum/N consumed), followed by sorghum, and lastly, by barley and wheat (1.20, 1.06, 1.00 and 0.86, respectively); probably due, in part, to the quantity of N consumed and, in part, to the rate of degradability if ruminal N observed for each of the cereals. Postruminal digestion for N was different ($P < 0.05$) for all treatments, in order of digestibility from least to greatest: sorghum (71.3%), corn (73.9%), barley (75.5%) and wheat (78.5%) (Table 3).

Organic matter digestibility for the total tract was greatest ($P < 0.05$) for wheat (84.6%), followed by corn (81.9%), barley (80.2%) and sorghum (78.9%). In the case of N digestibility, this was greatest for wheat (79.9%), followed by barley (75.5%), and, lastly, by sorghum and corn (68.5 and 67.8%, respectively). All the cereals here evaluated obtained total tract starch digestibility greater than 98%. The DE (Mcal/kg) was greater ($P < 0.05$) for diets containing corn and wheat (3.52 and 3.59 Mcal/kg, respectively), than for those containing barley and sorghum (3.35 and 3.34 Mcal/kg, respectively).

Los efectos de los tratamientos fueron separados utilizando la prueba de diferencia mínima significativa; todo lo anterior de acuerdo con lo especificado por Hicks.²³

Resultados

El contenido de MS y de MO fue muy similar entre los cereales y, tal como se esperaba, la densidad (kg/l) del cereal procesado fue idéntica. El maíz, trigo y sorgo contuvieron, en promedio, 14% más de almidón respecto de la cebada, mientras que la concentración de N fue de 2.03% promedio, para trigo y cebada (17% y 48% más cantidad de N con respecto al contenido en el sorgo y el maíz, respectivamente) (Cuadro 2). La digestión ruminal de MO fue menor ($P < 0.05$) para el sorgo (57.3%) comparado con el trigo y cebada (70.8% y 66.5%, respectivamente). Tanto el maíz como el sorgo tuvieron una menor ($P < 0.05$) digestibilidad del almidón (84.0% y 80.9%, respectivamente) a nivel ruminal, comparada con la del trigo y la cebada (92.8% y 93.5%, respectivamente).

Aun cuando la digestibilidad postruminal de la MO fue menor ($P < 0.05$) para cebada, comparada con el trigo (60.7% vs. 66.5%, respectivamente) no hubo diferencias significativas ($P > 0.10$) en la digestibilidad postruminal del almidón entre los cereales aquí evaluados. El flujo del nitrógeno microbiano (NM, g/d) a duodeno fue relativamente menor para sorgo (35.6), intermedio para maíz (41.4) y alto para trigo y cebada (47.4), pero no se observaron diferencias ($P > 0.10$) para la eficiencia microbiana (N microbiano/kg de MO fermentada en rumen) entre los tratamientos.

La digestibilidad ruminal del N fue mayor ($P < 0.05$) para trigo (80%) y cebada (72%), seguido por maíz (60%) y sorgo (46%). Aun y cuando el flujo de N no amoniacal (NNA) fue menor ($P < 0.05$) para maíz (62.1%) y trigo (61.1%), intermedio para cebada (65.2%) y mayor para sorgo (73.2%). La dieta que contenía maíz mostró, a nivel ruminal, mayor ($P < 0.05$) eficiencia de N (NNA en duodeno/N consumido) seguido por sorgo y, por último, por cebada y trigo (1.20, 1.06, 1.00 y 0.86, respectivamente), como resultado, en parte, por la cantidad de N consumido y en parte por la tasa de degradabilidad ruminal de N observado para cada uno de ellos. La digestibilidad postruminal del N fue diferente ($P < 0.05$) para todos los tratamientos, en el orden de menor a mayor digestibilidad: Sorgo (71.3%), maíz (73.9%), cebada (75.5%) y trigo (78.5%) (Cuadro 3).

En tracto total, la digestibilidad de MO fue mayor ($P < 0.05$) para trigo (84.6%), seguido de maíz (81.9%), cebada (80.2%) y sorgo (78.9%), mientras que la digestibilidad de N fue mayor para trigo (79.9%), seguido por cebada (75.5%) y, por último, sorgo y maíz (68.5 y 67.8%, respectivamente). Todos los cereales aquí evaluados obtuvieron digestibilidades del almidón por en-

Cuadro 3

EFFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA DIGESTIÓN RUMINAL, POSRUMINAL Y DE TRACTO TOTAL EN BECERROS (157 KG)
EFFECT OF TREATMENTS ON RUMINAL, POSTRUMINAL AND TOTAL TRACT DIGESTION CHARACTERISTICS IN STEERS (157 KG)

Description	Steam-flaked cereals				
	Corn	Wheat	Barley	Sorghum	EEM
Consumption, g/d					
DM	3040	3020	2920	3040	
OM	2894	2849	2746	2883	
Starch	1873	1786	1590	1456	
N	51.7	68.9	65.1	68.6	
GE, Mcal/d	13.4	13.1	12.6	13.4	
Duodenal flow, g/d					
OM	1483 ^{ab}	1306 ^b	1393 ^{ab}	1585 ^a	59.6
Starch	299 ^a	129 ^b	103 ^b	277 ^a	15.6
N	64.2 ^a	64.2 ^a	68.0 ^{ab}	75.0 ^b	2.4
Ammonia N	2.08 ^a	3.08 ^b	2.77 ^b	2.63 ^b	0.15
Non-ammonia N	2.11 ^a	61.11 ^a	65.24 ^{ab}	73.28 ^b	2.39
Microbial N	41.4 ^{ab}	47.5 ^a	47.3 ^a	35.6 ^b	2.5
N consumed	20.8 ^a	13.6 ^a	17.9 ^a	36.7 ^b	3.3
Ruminal digestion (%)					
OM	63.0 ^{ab}	70.8 ^a	66.5 ^a	57.3 ^b	2.3
Starch	84.0 ^a	92.8 ^b	93.5 ^b	80.9 ^a	1.0
N consumed	59.7 ^{ac}	80.3 ^b	72.4 ^{ab}	46.0 ^c	5.0
Microbial efficiency*	22.7 ^a	23.5 ^a	25.9 ^a	21.6 ^a	1.3
Nitrogen efficiency [†]	1.20 ^a	0.89 ^b	1.00 ^{bc}	1.06 ^c	0.03
Undegradable intake protein (%)		21.5 ^a	34.8 ^a	63.6 ^a	
Observed/expected [‡]		0.93 ^a	1.05 ^a	1.46 ^a	
Fecal excretion, g/d					
DM	609 ^a	515 ^b	635 ^{ac}	690 ^c	21
OM	522 ^{ab}	438 ^{bc}	543 ^a	609 ^a	18
Starch	28.0 ^a	11.0 ^b	6.3 ^b	22.3 ^a	4.7
N	16.6 ^a	13.8 ^b	15.9 ^{ab}	21.4 ^c	0.66
GE, Mcal/d	2.74 ^a	2.27 ^b	2.83 ^a	3.21 ^c	0.10
Postruminal digestion (%)					
OM	64.5 ^{ab}	66.5 ^b	60.7 ^a	61.5 ^{ab}	1.6
Starch	90.7 ^a	91.4 ^a	93.0 ^a	92.7 ^a	2.1
N	73.9 ^a	78.5 ^b	76.3 ^c	71.3 ^d	0.6
Total tract digestion (%)					
DM	79.9 ^a	82.9 ^b	78.2 ^{ac}	77.3 ^c	0.7
OM	81.9 ^a	84.6 ^b	80.2 ^{ac}	78.9 ^c	0.6
Starch	98.5	99.4	99.6	98.4	0.3
N	67.8 ^a	79.9 ^b	75.5 ^c	68.5 ^a	0.9
DE (%)	79.6 ^a	82.7 ^b	77.5 ^{ac}	75.9 ^c	0.8
DE, Mcal/kg	3.52 ^a	3.59 ^a	3.35 ^b	3.34 ^b	0.3
DE adjusted to level of consumption adjusted for maintenance, Mcal/kg	3.94	4.01	3.75	3.74	0.3
EN _g for cereal, Mcal/kg [§]	1.62	1.71	1.51	1.50	
Observed/expected ^{§§}	—	1.14	1.08	1.00	

ab,c,d Means with different superscripts in the same row vary significantly (P < 0.05).

*Grams of microbial N /kg fermented OM.

[†] Non-ammonia N that flows to the abomasum / N consumed.

[‡] Expected values of undegradable intake protein according to that reported by the NRC⁷: wheat, 23.0; barley, 33 and sorghum 43.6%.

[§] EN_g calculated from observed DE for maintenance consumption level as follows: NE_m = 0.736, DE = -0.661, NE_g = 0.877, NE_m = -0.41 [NRC, 1984].⁵¹

^{§§} Expected values of EN_g according to that reported by the NRC⁷: wheat, 1.50; barley, 1.40 and sorghum 1.50 Mcal/kg.

**Cuadro 4**

VALORES DE PROTEÍNA DE ESCAPE PARA TRIGO, CEBADA Y SORGO INFORMADOS EN DISTINTAS FUENTES*
 UNDEGRADABLE INTAKE PROTEIN VALUES FOR WHEAT, BARLEY AND SORGHUM AS REPORTED IN DIFFERENT SOURCES*

Description	Observed	Undegradable intake protein, % †	
		NRC 1985 ³⁵	NRC 1996 ⁷
Wheat			
Rodriguez <i>et al.</i> ¹⁵	38.0	—	23.0
Zinn ³⁴	37.6		
Average	37.8 ± 0.2		
Present study	21.5		
Barley			
Rodriguez <i>et al.</i> ¹⁵	39.0	28	33
Zinn ³⁰	36.6		
Zinn <i>et al.</i> ⁵	32.8		
Spicer <i>et al.</i> ¹³	37.6		
Average	36.5 ± 2.7		
Present study	34.8		
Sorghum			
Zinn ²⁵	84.0	47	43.6
Spicer <i>et al.</i> ¹³	79.0		
Rhanema <i>et al.</i> ¹⁴	72.7		
Theurer <i>et al.</i> ¹⁶	56.7		
Hibberd <i>et al.</i> ³⁶	66.0		
Streeter <i>et al.</i> ³⁷	64.7		
Potter <i>et al.</i> ³⁸	62.2		
Average	69.3 ± 9.7		
Present study	63.6		

* All values shown, except those of the NRC^{7,35} were extrapolated from data in different sources, assuming undegradable intake protein values of 55% and 57% for cracked corn and steam-flaked corn, respectively.⁷

† As a percentage of the total N content in cereal.

Discussion

Nitrogen and OM content concur with that specified by the NRC⁷ for each of the cereals studied here. Similarly, starch content (DM basis) determined here goes along with the average content specified by Huntington²⁴ for these cereals. Given that the purpose of this study was to compare digestion of nitrogen-containing elements and starch, taking steam-flaked corn as a reference, it was very important for the corn in this study to behave as expected in both the site and rate of digestion; the digestion behavior of corn in the present study corresponded greatly to that found in previous studies under similar diet and rate of consumption conditions.^{12,25,26}

cima del 98% en tracto total. La ED (Mcal/kg) fue mayor ($P < 0.05$) para las dietas que contenían maíz y trigo (3.52 y 3.59 Mcal/kg), comparadas con las que contenían cebada y sorgo (3.35 y 3.34 Mcal/kg, respectivamente).

Discusión

El contenido de N y de MO concuerda con lo especificado por el NRC⁷ para cada uno de los granos aquí estudiados. De igual forma, la cantidad de almidón (BS) determinada resultó acorde al contenido promedio especificado por Huntington²⁴ para estos cereales. En virtud de que el propósito de este estudio fue comparar la digestión de los componentes nitrogenados y del almidón, tomando como referencia al maíz en hojuelas, fue importante que el comportamiento en el sitio y tasa de digestión de los componentes del maíz aquí evaluado



Cuadro 5
VALORES DE ENG PARA TRIGO, CEBADA Y SORGO INFORMADOS EN DISTINTAS FUENTES
VALUES FOR WHEAT, BARLEY AND SORGHUM AS REPORTED IN DIFFERENT SOURCES

Description	Observed	NE of gain, Mcal/kg	
		NRC 1984 ⁵¹	NRC 1996 ⁷
Wheat	1.52	1.50	
Rodriguez <i>et al.</i> ^{*15}	1.58		
Zinn ^{*4}	1.59		
Zinn ^{*34}	1.54		
Martin <i>et al.</i> ^{†52}	1.62		
Average	1.58 ± .03		
Present study	1.71		
Barley	1.43	1.40	
Rodriguez <i>et al.</i> ^{*15}	1.48		
Zinn ^{*30}	1.49		
Zinn <i>et al.</i> ^{*5}	1.55		
Average	1.51 ± .04		
Present study	1.51		
Sorghum		1.60	1.50
Xiong <i>et al.</i> ^{†33}	1.59		
Brandt <i>et al.</i> ^{†53}	1.62		
Huck <i>et al.</i> ⁵⁴	1.55		
Salinas <i>et al.</i> ^{*55}	1.54		
Average	1.57 ± .04		
Present study	1.50		

* Recalculated considering corn NE_g as 1.62 Mcal/kg.⁷

† Calculated via the iteration⁴ process through observed NE in the diet via productive behavior, using the ZAP computer program.

The ruminal digestion behavior of OM in diets containing high percentages of grain varies directly with the quantity of starch and, to a lesser extent, with the quantity of N contained in the cereal to be digested in the rumen. Diets that contained sorghum and corn had lower OM ruminal digestion than the diets containing wheat and barley, due to the lower N and starch digestibility that is observed in the first cereals.

Previous studies have reported a greater rate of fermentation for starch content in wheat and barley than in corn and sorghum,²⁷ which has been put down to the properties of the protein that surrounds the starch grains and the type of starch contained in the cereals.²⁸ Thus, ruminal digestibility values for starch of 88% and 94% have been found for flakes of wheat^{4,29} and barley,^{5,13,30-32} while for sorghum, values of 78% and 83%^{15,16,33} have been found. The latter concurs with the results obtained for each of the cereals tested in this study. The average postruminal starch digestion was 91.9%.

resultara dentro de los valores esperados; al respecto, las características de digestión del maíz en hojuelas obtenidos en el presente estudio correspondieron ampliamente a las informadas en estudios previos efectuados con dietas y consumos similares.^{12,25,26}

El comportamiento de la digestión ruminal de MO en dietas con altas cantidades de grano está en función directa de la proporción del almidón y en menor grado de la cantidad del N contenido en el cereal que es digerido en el rumen. Las dietas que contenían sorgo y maíz tuvieron una menor digestión ruminal de MO comparadas con las de trigo y las de cebada, debido a la menor digestibilidad del almidón y N que se observaron con ellas.

Se ha informado de una mayor tasa de fermentación para el almidón contenido en el trigo y la cebada, comparado con la del maíz y sorgo,²⁷ esto último se ha atribuido a las características de la proteína que envuelve a los gránulos de almidón y al tipo de almidón contenido en los cereales.²⁸ En ese sentido, se han registrado valores de digestibilidad ruminal del almidón de 88% a 94% para

Owens *et al.*,³⁴ when analyzing the results of 28 studies carried out on steers, determined that the intestinal digestion capability for starch could be as high as 89%. On the other hand, the postruminal digestion of starch observed in this study represented 11.2% of intestinal absorption with respect to total starch consumed (a 6.0% to 17.6% range). Huntington²⁴ indicated that, on average, 12.5% of the starch consumed is digested postruminally. This concurs with that indicated by Owens *et al.*,³⁴ who specify that for steam-flaked cereals the digestion capacity of starch is comparatively higher at a postruminal level than at a ruminal level.

Given that the test cereals (wheat, barley and sorghum) substituted corn in equal proportions in the diets (Table 1) and that the rest of the diet was identical, the differences detected for N digestibility at a ruminal level, with respect to the corn-based diet, are directly related to the digestibility characteristics of N in each of the test cereals. Considering the undegradable intake protein for steam-flaked corn as 57%,⁷ then the values for undegradable intake protein for wheat, barley and sorghum are 21.5%, 34.8% and 63.6%, respectively. Table 4 shows the values obtained in this study, as compared to those published by the NRC,^{7,35-38} as well as the results of other studies that have determined undegradable intake protein for wheat, barley and sorghum. The studies included correspond to experiments which used a minimum of 70% cereal in the diet. In all cases, they used comparisons with steam-flaked or cracked corn, and in order to standardize the results and decrease bias as much as possible, in those cases where different references for undegradable intake protein for corn than that published by the NRC in 1996 (such as those using NRC values from 1985 or others) were used, the data were recalculated using the undegradable intake protein value for corn (57% for steam-flaked and 55% for cracked corn) as stated in the 1996 publication of the NRC. In those studies where no undegradable intake protein was reported, the corresponding value was calculated using a substitution method, comparing them with the values for corn,⁷ and using as minimum data: consumption of DM and N (g/d), amount of cereal in the ration (%), N flow to the duodenum (g/d) and protein content of the cereal (g/d); in those cases where the protein content was not given, values of 9.8%, 14.2%, 13.2% and 12% of CP were used for corn, wheat, barley and sorghum, respectively.⁷

The lower undegradable intake protein content seen in wheat, as opposed to that in other cereals, is due, primordially, to the type of protein it contains (glutelin), given that this is highly soluble in acids

trigo^{4,29} y cebada^{5,13,30-32} en hojuelas, mientras que para sorgo se han determinado valores de 78% a 83%;^{15,16,33} lo anterior coincide con los resultados obtenidos para cada uno de los cereales aquí probados. La digestibilidad postruminal del almidón promedió 91.9%.

Owens *et al.*,³⁴ al analizar resultados de 28 estudios realizados con novillos, determinaron una capacidad de digestión intestinal del almidón hasta de 89%. Por otra parte, la digestibilidad postruminal del almidón observada aquí representó 11.2% de absorción intestinal con respecto al total de almidón consumido (rango de 6.0% a 17.6%). Hungtinton²⁴ indica que, en promedio, 12.5% del almidón consumido es digerido postruminalmente. Lo anterior coincide con lo indicado por Owens *et al.*,³⁴ que especifica que para cereales en hojuelas la capacidad de la digestión del almidón es comparativamente más alta a nivel postruminal con respecto su digestión a nivel ruminal.

A partir de que los cereales en prueba (trigo, cebada y sorgo) sustituyeron al maíz en igual proporción en las dietas (Cuadro 1) y que el resto de la dieta es de idéntica composición, las diferencias detectadas en la digestibilidad del N a nivel ruminal con respecto a la dieta que contiene maíz, están directamente relacionadas con las características de la digestibilidad del N de cada uno de los granos probados. Considerando que la proteína de escape en rumen para el maíz en hojuelas es de 57%;⁷ entonces, los valores de proteína de escape para trigo, cebada y sorgo resultaron en 21.5%, 34.8% y en 63.6%, respectivamente. El Cuadro 4 muestra los valores obtenidos aquí con respecto a las publicaciones del NRC,^{7,35-38} así como los resultados de otros estudios en los que se ha determinado la proteína de escape del trigo, cebada y sorgo. Los estudios incluidos corresponden a experimentos realizados para la evaluación nutrimental de cereales con participación mínima de 70% del cereal en la dieta. En todos los casos incluidos, las comparaciones fueron contra maíz en hojuelas o maíz quebrado y para efecto de estandarizar los resultados con la finalidad de disminuir el sesgo, en aquellos estudios donde el cálculo de proteína de escape registrado para los cereales en prueba estaba basado en referencias distintas del valor de proteína de escape para el maíz considerado por el National Research Council (NRC) de 1996, tales como la de la NRC de 1985 u otras fuentes, los datos fueron recalculados a la referencia de proteína de escape del maíz (57% para maíz en hojuelas o 55% para maíz quebrado) contemplado en la NRC de 1996. En los estudios donde no se informa la proteína de escape, ésta fue calculada por el método de sustitución, teniendo como comparación al maíz,⁷ los datos mínimos requeridos para realizar el cálculo fueron: Consumo de MS y de N (g/d), cantidad de cereal en la ración (%), flujo de N a duodeno (g/d) y contenido de proteína del cereal, cuando esto último no se informó se tomaron los valores de

and dilute bases,³⁹ both of which are found in the rumen, an essential prerequisite for proper digestion.³⁴ There are very few studies which include the undegradable intake protein content for steam-flaked wheat; the 1985 NRC has no information on this, while the 1996 NRC only includes data for cracked wheat. The 43% difference in the undegradable intake protein value observed in this study, as opposed to other studies^{5,29} (Table 4), is doubtful, though Zinn⁴ observed a 19% difference in the undegradable intake protein value when comparing steam-flaked wheat with different pressing intensities (flake densities). Even so, the general concept is that wheat has a 22% undegradable intake protein value, independent of the processing it undergoes.⁴⁰ However, this must be viewed with some precaution if one considers that the 22% value is very close to that obtained in this study (21.5%) for steam-flaked wheat, but that in the past values ranging from 20% to 35% of ruminal degradability of N in steam-flaked wheat with respect to cracked wheat⁴ have been obtained, and that this has been attributed mainly to the effects the processing has on ruminal retention of the wheat, such that it is quite possible for cracked wheat to have a ruminal degradability of N close to 90%.

With respect to barley, neither the 1985 nor the 1996 NRC report values of undegradable intake protein for steam-flaked barley, though they indicate values of 28% and 33%, respectively, for cracked barley (Table 4). This represents 80% and 95% of the value determined in this study. In previous studies,^{5,30} where cracked barley has been compared to steam-flaked barley, an average of 20% greater ruminal degradability of N has been observed in cracked barley. Thus undegradable intake protein values of 37.6%,¹³ 36.6%,³⁰ 32.8%,⁵ and 39%,¹⁵ have been obtained. This corroborates the fact the steam-flaked process affects ruminal protein solubility in these cereals, in contrast to what occurs with corn.^{2,11,41}

As regards sorghum, the two previous NRC^{7,35} publications give undegradable intake protein values for steam-flaked sorghum of 47% and 43.6%, respectively (Table 4). These values are 26% and 31% lower than those obtained in the present study. Undegradable intake protein values ranging from 56.7% to 84%,²⁵ have been obtained for steam-flaked sorghum in finishing diets. The great variation in results could be due, in great part, to the varieties of sorghum used in the studies, given that sorghum can contain differing amounts of tannins which can have a negative effect on the ruminal digestibility of N in the grains.⁴² On the other hand, for cracked sorghum, undegradable intake values ranging from 51.2% to 93% (average = 69.9%),^{36,38,43-45} have been determined.

9.8%, 14.2%, 13.2% y 12% de PC para maíz, trigo, cebada y sorgo, respectivamente.⁷

La menor cantidad de proteína de escape que mostró el trigo con respecto al resto de los cereales, se debió, primordialmente, al tipo de proteína que contiene (glutelina), ya que ésta es altamente soluble en ácidos y bases diluidas,³⁹ condiciones dadas en el medio ruminal y requisito primordial para que se lleve a cabo su digestión.³⁴ Existen muy pocos estudios donde se informa la proteína de escape para el trigo en hojuelas; el NRC de 1985 no ofrece información al respecto, mientras que el NRC de 1996 sólo tiene información de proteína de escape para trigo quebrado. La diferencia de 43% en el valor de proteína de escape observado aquí en relación con otros estudios^{5,29} (Cuadro 4) es incierta, aunque Zinn⁴ observó una diferencia de 19% en el valor de proteína de escape cuando comparó trigo en hojuelas con distintas intensidades de prensado (densidad de hojuela). Aun así, el concepto generalizado es de que el trigo tiene un valor de 22% de proteína de escape, independientemente del procesamiento a que esté sometido.⁴⁰ Sin embargo, esto último hay que tomarlo con precaución si se considera que la cifra indicada de 22% es muy cercana al valor obtenido en este estudio (21.5%) para el trigo en hojuelas, en virtud de que se han observado reducciones que van de 20% hasta 35% de la degradabilidad ruminal del N en trigo en hojuelas con respecto al quebrado⁴ y esto se atribuye principalmente a los efectos que tiene el procesamiento del grano sobre su tiempo de retención ruminal, por lo que es posible que el trigo quebrado tenga una degradabilidad ruminal de N cercana a 90%.

Respecto de la cebada ni en el NRC de 1985 ni en el de 1996, se informan valores de proteína de escape para cebada en hojuelas, aunque indican valores de 28% y de 33%, respectivamente, para cebada quebrada (Cuadro 4). Lo anterior representa 80% y 95% del valor determinado aquí. En estudios previos,^{5,30} donde se han comparado cebada quebrada con cebada hojueleada, se ha observado, en promedio, 20% de mayor degradabilidad ruminal del N en la cebada quebrada; de esta manera se han determinado valores de 37.6%,¹³ 36.6%,³⁰ 32.8%⁵ y de 39%¹⁵ de proteína de escape para cebada en hojuelas. Lo anterior corrobora que el procesamiento con vapor afecta a la solubilidad ruminal de la proteína de estos cereales, a diferencia de lo que sucede con el maíz.^{2,11,41}

En cuanto al sorgo, ambas publicaciones del NRC^{7,35} informan que el contenido de proteína de escape para este cereal en hojuelas es de 47% y 43.6%, respectivamente (Cuadro 4), cifras que son 26% y 31% menores a las obtenidas en el presente estudio. Se han registrado valores de proteína de escape desde 56.7%¹⁶ hasta 84%²⁵ para sorgo en hojuelas en dietas de finalización. La variación de los resultados puede estar determinada, en gran medida, por la variedad del sorgo utilizada en esos estudios, ya

In as regards ruminal solubility, sorghum protein seems to behave in much the same way as does corn protein. In any case, on average, the NRC^{7,39} underestimates the undegradable intake protein value of steam-flaked sorghum by at least 20%; an underestimate of this magnitude could have an important economic impact when trying to fill metabolizable protein and amino acids requirements in ration formulation.

The behavior of MN (g/d) flow, which was low for sorghum, intermediate for corn, and high for wheat and barley, has been observed in previous studies where these cereals have been compared.^{4,16,25,30,46} Spicer *et al.*¹³ observed a consistent increase in MN duodenal flow in steers fed on sorghum, barley or wheat steam-flaked diets, in response to the increase in ruminal digestibility of N and starch, as was seen in the present study. Microbial growth is dependent upon the rate of ruminal carbohydrate fermentation and the availability of nitrogen-containing compounds.⁴⁷ Russell⁴⁸ observed that amylolytic bacteria are more efficient when using amino acid N than when using ammonia, and that peptide and amino acid availability in the rumen can cause increases of up to 20% in the efficiency of microbial growth.

The lower use of N by sorghum, at a post-ruminal level, with respect to corn, has been well documented,^{13,30,49} and, as was mentioned previously, could be due to the tannin content in sorghum.⁴² On the other hand, though numerical differences in favor of wheat over steam-flaked corn, in as regards N absorbed at an intestinal level,^{15,29} have been determined, they have not always been significant, and when compared to barley, have been very variable.^{13,15,30} In as regards wheat and barley, the differences detected could be caused by differences in N content in the diet, rather than by the physicochemical characteristics of the protein in the cereal *per se*.

Total tract starch digestibility greater than 98%, in cereals that are steam-processed prior to rolling, has been documented on numerous occasions.^{16,24,50} In similar fashion, the greater digestible energy (Mcal DE/kg) for diets containing corn and wheat, with respect to those that contain equal proportions of barley and sorghum, has also produced consistent results.^{3,24} By using the DE value observed for the grains studied here, it is possible to determine, based upon their energetic correlations, the net energy of gain (NE_g) for each cereal (Table 5).⁵¹⁻⁵⁶ Applying this, the resultant values are 1.71, 1.51 and 1.50 Mcal NE_g/kg for wheat, barley and sorghum, respectively. Table 5 compares the NE_g values determined in the present study with those specified in the 1984 and 1996 NRC publications, those registered in other studies, as well as those obtained through extrapolation of

que contienen distintas proporciones de taninos, que pueden afectar negativamente la digestibilidad ruminal del N de los granos.⁴² Por otra parte, se han determinado valores de proteína de escape que van de 51.2% hasta 93% (promedio = 69.9%)^{36,38,43-45} para sorgo quebrado; respecto de su solubilidad ruminal, la proteína del sorgo, al procesamiento con vapor, se comporta, aparentemente, de la misma manera que la proteína del maíz. De cualquier manera, en promedio, el NRC^{7,39} subestima el valor de proteína de escape para sorgo en hojuelas al menos en 20%, y el subestimar en esta proporción puede representar un impacto económico significativo para llenar los requerimientos de la proteína metabolizable y de aminoácidos en la formulación de las dietas.

El comportamiento de un flujo de NM (g/d) bajo para sorgo, intermedio para maíz y alto para trigo y cebada, ha sido previamente observado en múltiples estudios donde se han comparado estos cereales.^{4,16,25,30,46} Spicer *et al.*¹³ observaron un aumento consistente en el flujo a duodeno de NM en novillos alimentados con dietas con sorgo, cebada o maíz en hojuelas, como respuesta al aumento en la digestibilidad ruminal del N y del almidón, como en el presente estudio. El crecimiento microbiano está supeditado a la tasa de fermentación ruminal de carbohidratos y disponibilidad de compuestos nitrogenados.⁴⁷ Russell⁴⁸ observó que las bacterias amilolíticas crecen más eficientemente cuando utilizan N de aminoácidos que cuando utilizan amoníaco, y que la disponibilidad de péptidos y aminoácidos en el medio ruminal puede causar incrementos hasta de 20% en la eficiencia de crecimiento microbiano.

La menor utilización de N a nivel posruminal para el sorgo con respecto al maíz ha sido bien documentado,^{13,30,49} y tal como se mencionó antes, esto puede ser un reflejo del contenido de taninos en el sorgo.⁴² Por otro lado, aunque se han determinado diferencias numéricas en favor del trigo en cuanto a la cantidad de N absorbido a nivel intestinal, comparado con maíz en hojuelas,^{15,29} éstas no siempre han sido significativas, mientras que para cebada los resultados han sido variables.^{13,15,30} Con respecto al trigo y la cebada, las diferencias detectadas pueden ser causadas más por las diferencias del contenido de N de la dieta, que por las características fisicoquímicas de la proteína de los cereales *per se*.

Las digestibilidades del almidón superiores a 98% a nivel de tracto total cuando los cereales son sometidos a procesamiento con vapor previo al prensado han sido extensamente documentadas.^{16,24,50} De igual forma, una mayor concentración de energía digestible (ED, Mcal/kg) para las dietas que contienen maíz o trigo con respecto a aquellas que contienen proporciones similares de cebada o sorgo han tenido resultados consistentes.^{3,24} De acuerdo con el valor de ED observado para los granos aquí estudiados, es posible determinar con base en sus correlaciones energéticas, la EN_g

data generated by other researchers. In those studies in which the reference values used were net energy (NE) values different from those mentioned for corn in the 1996 NRC tables, data were recalculated at a 1.62 Mcal/kg NE_g concentration, and the resulting NE was determined using a replacement technique as stipulated in the materials and methods section.

In those studies where the cereal NE_g is not specified, this was calculated from the NE observed for the diet, using the ZAP⁵⁶ computer program, for which the following production information was needed: type of animal, initial weight (kg), final weight (kg), consumption (DM base), using daily gain as a variable. Once the observed NE was calculated for each diet, the NE_g for the tested grains was obtained, considering that NE for each ingredient, except that of the cereal, was equivalent to that indicated in the 1996 NRC tables. The corresponding NE value for the cereal was then determined by an iteration process, such that the NE value in the diet based upon its composition would be equivalent to the NE value in the diet based upon its productive behavior.⁴ The NE_g values here determined corresponded to 1.13, 1.06 and 0.94 of the values considered by 1984 NRC,⁵¹ and 1.14, 1.08 and 1.00 of those values considered by the 1996 NRC.⁷

These results concur with those found by Owens *et al.*,³ who determined, through an analysis of 605 studies, the energy values for barley, wheat and sorghum, to be higher than those mentioned in the NRC⁷ (24%, 9% and 1%, respectively). The value for wheat, in the present study, represents an 8% greater value in NE content than for corn. Keeping this in mind, for steam-flaked wheat a 0.96 proportion of NE content has been determined, when compared to corn,²⁹ though in other studies NE values for wheat have been determined to be equivalent,^{15,52} or even higher than those for steam-flaked corn.³ On the other hand, the similarity in NE values obtained for barley and sorghum (1.51 vs. 1.50 Mcal NE/kg) is indicative of the fact that when both cereals are steam-flaked, they tend to have similar energy values. Regarding the results for barley, the NE values are very similar to those recalculated from other studies, given that, on average, the NE_g value for steam-flaked barley was 1.51 Mcal/kg (Table 5), while the value observed for sorghum was 4% lower (1.50 vs. 1.57).

The replacement technique has certain limitations due to the fact that the NE values determined in this manner are only accurate if the NE values of the replaced ingredient are correct, and if the interactions between the ingredients that make up the diet are not important (the value of NE in the diet is the equivalent of the average when considering the NE content of each ingredient that is in the diet). In this

para cada uno de ellos (Cuadro 5).⁵¹⁻⁵⁶ Aplicando lo anterior, resultan valores de 1.71, 1.51 y 1.50 Mcal/kg de EN_g para trigo, cebada y sorgo, respectivamente. En el Cuadro 5 se comparan los valores de EN_g determinados en el presente estudio con los especificados por las publicaciones del NRC de 1984 y de 1996; los registrados en otros estudios, así como los valores obtenidos a través de cálculos realizados mediante extrapolación de datos generados por otros investigadores. En aquellos estudios, en los cuales se utilizaron referencias de contenido de energía neta (EN) distintas a las estipuladas para el maíz por la NRC de 1996, los datos fueron recalculados a la concentración de 1.62 Mcal/kg de EN_g, y la EN resultante se determinó por medio de la técnica de remplazo de acuerdo con lo estipulado en la sección de material y métodos.

En aquellos estudios donde no se especifica la EN_g del cereal en prueba, ésta fue calculada mediante la EN observada de la dieta, utilizando para tal fin el programa de cómputo ZAP,⁵⁶ para lo cual se basó en la información de comportamiento productivo que incluyó el tipo de animal, peso inicial (kg), peso final (kg), consumo (BMS), así como la ganancia diaria de peso, como variables. Una vez obtenida la EN observada de cada una de las dietas, se calculó la EN_g de los granos en prueba, considerando que la EN de cada ingrediente, con excepción de la del cereal incluido, son equivalentes al valor tabular indicado por la NRC de 1996. El valor correspondiente de EN del cereal fue determinado entonces por el proceso de iteración, de tal forma que el valor de EN de la dieta basada en su composición fuera equivalente a la EN de la dieta observada a partir del comportamiento productivo.⁴ Los valores de EN_g aquí determinados corresponden a 1.13, 1.06 y 0.94 de los valores considerados por el NRC de 1984⁵¹ y al 1.14, 1.08 y al 1.00 a los estipulados por el NRC de 1996.⁷

Estos resultados concuerdan con los informados por Owens *et al.*,³ quienes determinaron, a través de un análisis de 605 estudios, valores energéticos para cebada, trigo y sorgo por encima de los estipulados por la NRC⁷ (24%, 9% y 1%, respectivamente). El valor para el trigo en el presente estudio representa 8% más del valor del contenido de EN del maíz; en ese sentido, se ha determinado para trigo en hojuelas una relación de contenido de EN de 0.96 cuando se compara con el maíz,²⁹ aunque de igual forma se han determinado valores de EN para trigo en hojuelas equivalentes^{15,52} e inclusive mayores que el maíz en hojuelas.³ Por otra parte, la similitud de los valores de EN obtenidos para cebada y sorgo (1.51 vs. 1.50 Mcal/kg de EN_g) es un indicativo de que cuando ambos cereales se procesan en hojuelas tienden a poseer un valor energético similar. Respecto de los resultados para cebada, los valores de EN son muy similares a los recalculados a partir de otros estudios, ya que, en promedio, el valor de EN_g para cebada en hojuelas resultó en 1.51 Mcal/kg

case, the value of NE in steam-flaked corn, as specified in the most recent publication of nutrient composition and requirements for beef cattle,⁷ is being used as the reference value for the calculation of the NE content in the test cereals. Therefore, there are certain conditions, taken into account by the NRC,⁷ which must be considered. One of these is that the NRC considers only a 4% difference in energy value for steam-flaked corn and cracked corn, as well as that it considers cracked corn to have an NE_g value of 1.55 Mcal/kg. This last point has caused controversy because in certain studies steam-flaked corn has been found to improve NE content from 14% to 21% (on average, 17%).^{1-3,5,8-11} On the other hand, overestimates for cracked corn NE value have been found, ranging from 6% to 8%.^{2,12} These results make one think that the more precise values are around 1.45 and 1.73 Mcal/kg NE_g, for cracked and steam-flaked corn, respectively (6% greater than the values considered by the NRC in 1996, in the case of steam-flaked corn). If the 1.73 Mcal NE_g/kg value is used as the reference and applied to the results observed, then the corresponding NE_g values for wheat, barley and sorghum near 1.79, 1.60 and 1.59 Mcal/kg, respectively.

We conclude that the current standards employed by the NRC⁷ considerably underestimate the NE content for undegradable intake protein in these cereals. The magnitude of this error could cause significant impact upon the estimated projections for weight gain and efficiency, as well as a serious economic impact, resulting from the need to cover the metabolizable protein and amino acid requirements in the formulation of diets for the growth and finishing of steers.

Acknowledgements

The authors wish to thank Victor Gonzalez Vizcarra MC for his collaboration in the surgical implantation of cannulas in the experimental animals.

Referencias

1. Lee RW, Gaylean ML, Lofgreen GP. Effects of mixing whole shelled and steam-flaked corn in finishing diets on feedlot performance and site and extent of digestion in beef steers. *J Anim Sci* 1982;55:475-483.
2. Zinn RA. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn diets for feedlot cattle. *J Anim Sci* 1987;65:256-266.
3. Owens FN, Secrist DS, Hill J, Gill DR. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A review. *J Anim Sci* 1997;75:868-879.

(Cuadro 5), mientras que el valor observado para sorgo fue 4% menor (1.50 vs. 1.57).

La técnica de remplazo tiene algunas limitantes ya que los valores de EN derivada son precisas sólo si los valores de EN del ingrediente remplazado es correcto, además de que las interacciones asociativas de los ingredientes que componen las dietas no sean importantes (el valor de EN de la dieta es equivalente al promedio ponderado del contenido de EN de cada ingrediente que conforma la dieta). En este caso el valor de EN del maíz en hojuelas especificado en la publicación más actual para requerimientos y aportes nutrimentales para bovinos de engorda,⁷ se está utilizando como referencia para el cálculo del contenido de EN de los cereales en prueba. En ese sentido, existen condiciones contempladas por el NRC,⁷ que hay que tomar en cuenta. Una de ellas es que considera el diferencial de valor energético entre el maíz en hojuelas y el maíz quebrado en sólo 4% y, adicionalmente, le atribuye al grano quebrado un contenido de EN_g de 1.55 Mcal/kg. Esto último ha generado controversia, ya que, por una parte, se ha determinado que el maíz en hojuelas mejora su contenido de EN de 14% hasta 21% (promedio = 17%).^{1-3,5,8-11} Por otro lado, se han indicado sobreestimaciones que oscilan entre 6% y 8% para el valor de EN asignado para grano quebrado.^{2,12} Estos resultados hacen suponer que el valor más preciso para el maíz está alrededor de 1.45 y 1.73 Mcal/kg de EN_g para el maíz quebrado y el maíz en hojuelas respectivamente (6% mayor que el valor considerado por el NRC de 1996 para la EN del maíz en hojuelas). Si se utiliza el valor de referencia de 1.73 Mcal/kg de EN_g y se aplica a los resultados aquí observados, entonces la EN_g correspondiente para trigo, cebada y sorgo debe acercarse a 1.79, 1.60 y 1.59 Mcal/kg, respectivamente.

Se concluye que los actuales estándares contemplados en el NRC⁷ subestiman apreciablemente el contenido de EN y de proteína de escape de estos cereales. La magnitud del error de esas estimaciones puede representar un impacto significativo para la proyección de ganancia y eficiencia en corral, así como un impacto económico resultante del propósito de buscar cubrir los requerimientos de la proteína metabolizable y aminoácidos en la formulación de las dietas de crecimiento-finalización para novillos.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración del MC Víctor González Vizcarra en la intervención quirúrgica para la canulación de las unidades experimentales.

4. Zinn RA. Influence of flake thickness on the feeding value of steam-rolled wheat for feedlot cattle. *J Anim Sci* 1994;72:21-28.
5. Zinn RA, Montaña M, Shen Y. Comparative feeding value of hulls vs. covered barley for feedlot cattle. *J Anim Sci* 1996;74:1187-1193.

6. Beauchemin KA, Yang WZ, Rode LM. Effects of barley grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. *J Anim Sci* 2001;79:1925-1936.
7. National Research Council. Nutrient requirement of beef cattle, 7th ed. Washington (DC): National Academy Press, 1996.
8. Matsushima JK, Montgomery RL. The thick and thin of flaked corn. *Colo Farm Home Res* 1967;17:4.
9. Ramirez RG, Kiesling HE, Gaylean ML, Lofgreen GP, Elliot JK. Influence of steam-flaked, steam-whole or whole shelled corn on performance and digestion in beef steers. *J Anim Sci* 1985;61:1-8.
10. Zinn RA, Adams CF, Tamayo MS. Interaction of feed intake level on comparative ruminal and total tract digestion of dry rolled and steam-flaked corn. *J Anim Sci* 1995;73:1239-1245.
11. Barajas R, Zinn RA. The feeding value of dry rolled and steam-flaked corn in finishing diets for feedlot cattle: Influence of protein supplementation. *J Anim Sci* 1998;76:1744-1752.
12. Plascencia A, Lopez-Soto MA, Calderon-Cortes JF, Arellano GE, Zinn RA. Influence of cracked, coarse grind, or fine grind of corn on digestion and rumen function in steers fed a corn-based diet. *Proc West Sect Am Soc Anim Sci* 1998;49:277-282.
13. Spicer LA, Theurer CB, Sowe J, Noon TH. Ruminal and postruminal utilization of nitrogen and starch from sorghum grain, corn-and barley based diets by beef steers. *J Anim Sci* 1986;62:521-530.
14. Rahnema SH, Theurer B, Garcis JA, Hale WH, Young MC. Site of protein digestion in steers fed sorghum grain diets. II Effect of grain processing methods. *J Anim Sci* 1987;64:1541-1547.
15. Rodriguez SA, Montañó MF, Plascencia A, Zinn RA. Comparative digestion of steam-flaked corn, barley, wheat, and oats in finishing for feedlot cattle. *Proc West Section Am Soc Anim Sci* 2000;51:544-548.
16. Theurer CB, Lozano O, Alio A, Delgado-Elorduy A, Sadik M, Huber JT, Zinn RA. Steam-processed corn and sorghum grain flaked at different densities alter ruminal, small intestinal, and total tract digestibilities of starch by beef steers. *J Anim Sci* 1999b;77:2824-2831.
17. Zinn RA, Plascencia A. Interaction of whole cottonseed and fat on rumen function in feedlot steers. *J Anim Sci* 1993;71:11-17.
18. Bergen WG, Purcer DB, Cline JH. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J Anim Sci* 1968;27:1497-1501.
19. AOAC. Official methods of analysis, 12th ed. Official Analytical Chemists, Washington (DC): 1984.
20. Zinn RA. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. *J Anim Sci* 1990;68:767-775.
21. Zinn RA, Owens FN. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal synthesis. *Can J Anim Sci* 1996;66:157-164.
22. Hill FN, Anderson DL. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. *J Nutr* 1958; 64:587-594.
23. Hicks CR. Fundamental concepts in the design of experiments, 2nd ed. New York Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1973.
24. Huntington GB. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *J Anim Sci* 1997;75:852-867.
25. Zinn RA. Comparative feeding value of steam-flaked corn and sorghum in finishing diets supplemented with or without sodium bicarbonate. *J Anim Sci* 1991;69:905-916.
26. Zinn RA, Borquez JL. Influence of sodium bicarbonate and monensin on utilization of a fat-supplemented, high-energy diet by feedlot steers. *J Anim Sci* 1993; 71:18-25.
27. McAllister TA, Phillip RC, Rode LM, Cheng KJ. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *J Anim Sci* 1993;71:205-212.
28. Rooney LW, Pflugfelder RL. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J Anim Sci* 1986;63:1607-1623.
29. Zinn RA. Comparative feeding value of supplemental fat in steam-flaked corn-and steam-flaked wheat-based finishing diets for feedlot steers. *J Anim Sci* 1992;70:2959.
30. Zinn RA. Influence of processing on the comparative feeding value of barley for feedlot cattle. *J Anim Sci* 1993;71:3-10.
31. Zinn RA. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for feedlot steers: Metabolism. *J Anim Sci* 1989b;67:1038-1049.
32. Zinn RA, Barajas R. Influence of flake density on the comparative feeding value of barley-corn blend for feedlot cattle. *J Anim Sci* 1997;75:904-909.
33. Xiong Y, Bartle SJ, Preston RL. Density of steam-flaked sorghum grain, roughage level, and feeding regimen for feedlot steers. *J Anim Sci* 1991;69:1707-1718.
34. Owens FN, Zinn RA, Kim YK. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J Anim Sci* 1986;63:1634-1648.
35. National Research Council. Ruminant nitrogen usage, Washington (DC): National Academy Press. 1985.
36. Hibberd CA, Warger DG, Hintz RL, Griffin DD. Effect of sorghum grain variety and reconstitution on site and extent of starch and protein digestion in steers. *J Anim Sci* 1985;61:702-712.
37. Streeter MN, Warner DG, Owens FN, Hibberd CA. Combinations of high-moisture harvested sorghum grain and dry-rolled corn: effects of site and extent of digestion in beef heifers. *J Anim Sci* 1989;67:1623-1633.
38. Potter GD, McNeill SW, Riggs JK. Utilization of processed sorghum grain proteins by steers. *J Anim Sci* 1971;32:540-543.
39. Hoseney RC. Principles of cereals science and technology, 2nd ed. Minnesota: American association of cereal chemists, 1994.
40. Combs D, Shavers R, Howard T. Protein sources for dairy cattle. *Feed Mgmt* 1991;42:33.
41. Zinn RA, Alvarez EG, Montañó MF, Plascencia A, Ramirez JE. Influence of tempering on the feeding value of corn in finishing diets for feedlot cattle. *J Anim Sci* 1998;76:2239-2246.
42. Steeter MN, Wagner DG, Owens FN, Hibberd CA. The effect of pure and partial yellow endosperm sorghum grain hybrids on site and extent of digestion in beef steers. *J Anim Sci* 1991;69:2571-2584.
43. Theurer CB. Microbial protein synthesis as influenced by diet. In: Church & Dwight, Editors. Regulation of acid-base balance. Piscataway, NJ: Animal Nutrition Group, 1979:97-124.
44. Streeter MN, Wagner DG, Hibberd CA, Owens FN. The effect of sorghum grain variety on site and extent of digestion in beef heifers. *J Anim Sci* 1990a;68:1121-1132.
45. Streeter MN, Wagner DG, Hibberd CA, Owens FN. Comparison of corn and four sorghum grain hybrids: site and extent of digestion in beef steers. *J Anim Sci* 1990b; 68:3429-3440.

46. Boss L, Bowman JGP. Barley varieties for finishing steers II. Ruminant characteristics and rate, site, and extent of digestion. *J Anim Sci* 1996;74:1973-1981.
47. Russell JB. Factors influencing rumen microbial growth and protein yield. Southwest Nutrition and Management Conference; 1994. February 24-25; Phoenix (Az). University of Arizona 1994:1-6.
48. Russell JB. Effect of amino acids on the heat production and growth efficiency of *Streptococcus bovis*: balance of anabolic and catabolic rates. *Appl Environ Microbiol* 1993;54:872-884.
49. Hale W. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *J Anim Sci* 1973;37:1075-1080.
50. Theurer CB. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J Anim Sci* 1986;63:1649-1662.
51. National Research Council. Nutrient requirement of beef cattle, 6th ed. Washington (DC): National Academy Press 1984.
52. Martin JJ, Strasia CA, Gill DR, Owens FN, Lyles D, Herbel ER. Calculated metabolizable energy values of steam-flaked and cracked wheat and corn. *Anim Sci Res Rep. Oklahoma State Agricultural Experimental Station Bull Stillwater* 1986;107-111.
53. Brandt RT, Kuhl Jr GL, Campbell RE, Kastner CL, Stroda SL. Effects of steam-flaked sorghum grain or corn and supplemental fat on feedlot performance, carcass traits, longissimus composition, and sensory properties of steer. *J Anim Sci* 1992;70:343-348.
54. Huck GL, Kreikemeier KK, Bolsen KK. Effect of reconstituting field-dried and early-harvested sorghum grain on the ensiling characteristics of the grain and on growth performance and carcass merit of feedlot heifers. *J Anim Sci* 1999;77:1074-1081.
55. Salinas J, Alvarez EG, Zinn RA. Influence of tempering on the feeding value of steam-flaked sorghum for feedlot cattle. *Proc West Section Am Soc Anim Sci* 1999; 50: 325-330.
56. ZAP. Visual feedlot consultant (computer program) version 1.16. VeraSys LLC. 1999.