

DIGESTIBILIDAD ILEAL APARENTE DE AMINOÁCIDOS EN SORGO, MAÍZ Y TRIGO EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

APPARENT ILEAL AMINO ACID DIGESTIBILITY IN SORGHUM, CORN AND WHEAT IN DIETS FOR GROWING PIGS

Alfonso Araiza-Piña, Miguel Cervantes-Ramírez, Aurelio Morales-Maldonado, Salvador Espinoza-Santana, Maximiliano Cervantes-Ramírez y Noemí Torrentera-Olivera

Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California. 21100. Mexicali, Baja California. Tel.: (686) 523-0088. Fax: (686) 523-0217. (Miguel_Cervantes@uabc.mx)

RESUMEN

Se realizó un experimento para comparar la digestibilidad ileal aparente (DIA) de aminoácidos (AA) en maíz, sorgo y trigo, en cerdos en crecimiento. Se utilizaron seis cerdos con cánulas en íleon terminal, en tres periodos experimentales en un diseño en Cuadro Latino 3×3 repetido. Cada una de las dietas experimentales se elaboró con el ingrediente problema, complementada con vitaminas y minerales. El contenido, consumo y flujo ileal de AA fueron mayores ($p<0.05$) en trigo, en comparación con maíz y sorgo. En promedio, la DIA de los AA esenciales, excepto la de leucina, fue mayor ($p<0.05$) en trigo que en sorgo y maíz. La DIA de lisina, treonina y metionina fue superior ($p<0.05$) en trigo que en sorgo (91.6, 30.7 y 40.0%, respectivamente) y maíz (21.1, 16.7 y 11.0%, respectivamente). Los valores de DIA, contenido total y digestible, y el flujo ileal de los AA esenciales, indican que su valor nutricional es superior en el trigo respecto al del sorgo (40.7 a 91.6%) o al del maíz (11.0 a 21.6%).

Palabras clave. Cereales, digestión, porcinos, valor nutricional.

INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum*) es el grano con mayor producción mundial (Slafer y Satorre, 1999), y en el noroeste de México se destina principalmente al consumo humano. En consecuencia, la mayor información sobre este grano está orientada a mejorar sus características de industrialización y calidad para su uso en humanos (Gupta *et al.*, 1992; Jia *et al.*, 1996). La alimentación de cerdos en México se realiza principalmente con dietas cuya base es el grano de sorgo, el maíz y, en menor porcentaje, el trigo. La baja preferencia se debe a que el precio por unidad de peso del trigo es superior al del maíz y el sorgo. Sin embargo, cuando la producción del trigo supera la demanda industrial, se incrementa su disponibilidad para la alimentación animal, dado que entonces su precio es comparable

ABSTRACT

An experiment was carried out to compare apparent ileal digestibility (AID) of amino acids (AA) in corn, sorghum and wheat corn in growing pigs. Six pigs with canulae in terminal ileum were used in three experimental periods, according to a replicated 3×3 Latin Square design. Each one of the experimental diets was formulated with the problem ingredient, and supplemented with vitamins and minerals. The content, intake, and ileal flow of AA were higher ($p<0.05$) in wheat than in corn and sorghum. Except for leucine, the average AID of the essential AA was higher ($p<0.05$) in wheat than in sorghum and corn. The AID of lysine, threonine, and methionine were higher ($p<0.05$) in wheat than in sorghum (91.6, 30.7, and 40.0%, respectively) and corn (21.1, 16.7, and 11.0%, respectively). The values of AID, total and digestible content, and ileal flow of essential AA suggest that their nutritional value is higher for wheat as compared to sorghum (40.7 to 91.6%), and corn (11.0 to 21.6%).

Key words: Cereals, digestion, swine, nutritional value.

INTRODUCTION

Wheat (*Triticum aestivum*) is the first grain in production in the world (Slafer and Satorre, 1999) and the main crop in the northwest of México; but is used mainly for human consumption. Hence, most of the available information is related to improving its industrial characteristics and quality for use in humans (Gupta *et al.*, 1992; Jia *et al.*, 1996). In México, pigs are fed mainly with diets based on sorghum, corn and, in smaller percentage, wheat. The low preference for wheat is because of its higher price per unit weight, as compared to sorghum and corn. Nevertheless, when the production of wheat exceeds the industrial demand, its availability for animal feeding increases; because its price becomes comparable to that of sorghum or corn. Thus, the price reduction makes wheat an attractive option to include it in swine diets.

Previous results indicate that the nutritional value of wheat is inferior (Gill *et al.*, 1965) or similar to that of

Recibido: Mayo, 2002. Aprobado: Marzo, 2003.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 37: 221-229. 2003.

al del sorgo o el maíz. Así, la reducción en el precio convierte al trigo en una opción atractiva para incluirlo en las dietas de los cerdos.

Resultados previos indican que el valor nutricional del trigo es inferior (Gill *et al.*, 1965) o similar al del maíz (Erickson *et al.*, 1980) o al del sorgo (Luce *et al.*, 1972). Esas conclusiones son discutibles puesto que las dietas utilizadas se formularon para contener un mismo nivel de Proteína Cruda (PC) o de lisina; las dietas con sorgo o maíz contenían más pasta de soya debido a que estos granos tienen un menor porcentaje de PC que el trigo. Por ejemplo, las dietas de Erickson *et al.* (1980) para cerdos en crecimiento, con base en sorgo incluyeron 17.3% de pasta de soya, mientras que las dietas con trigo contenían sólo 6.9%. Luce *et al.* (1972) compararon dietas de sorgo, 20.1% pasta de soya y 0.72% lisina, con dietas de trigo que contenían sólo 9.3% pasta de soya y 0.53% lisina. Por tanto, la respuesta no puede atribuirse solamente al tipo de grano, sino también al porcentaje de pasta de soya y lisina en la dieta. El valor nutricional de los ingredientes alimenticios es determinado por su composición de nutrientes esenciales y por la digestibilidad y disponibilidad de los mismos, para el mantenimiento y crecimiento de los animales. El contenido de fósforo (Cromwell, 1992) y aminoácidos esenciales en el trigo es superior al del maíz (Sauer *et al.*, 1981) y sorgo (Lin *et al.*, 1987; Cervantes *et al.*, 1997; NRC, 1998); pero la información relacionada con el análisis comparativo de la digestibilidad de los AA en el maíz, sorgo y trigo es muy limitada. El objetivo de este estudio fue determinar la DIA de AA en cerdos con 20 a 50 kg de peso corporal y comparar su valor nutricional en trigo respecto a sorgo y maíz, para cerdos en crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron seis cerdos con peso promedio de 35 kg, adaptados con cánulas en fleón terminal. Después de 24 h de ayuno, los cerdos se sometieron a una cirugía para implantarles las cánulas, lo que se realizó previa aplicación de tranquilizantes y anestésicos, siguiendo procedimientos humanitarios. Los cerdos tuvieron un periodo de recuperación de 15 días, el cual se evaluó por la falta de inflamación alrededor del área de incisión; además, en este tiempo los animales recuperaron el nivel de consumo que tenían antes de la operación. Durante este período los cerdos recibieron una dieta sorgo-pasta de soya, con 16.5% de proteína. El agua estuvo disponible las 24 h del día inmediatamente después de la cirugía.

Los tratamientos fueron dietas elaboradas con maíz, sorgo o trigo como principal ingrediente en cada una, adicionadas con vitaminas y minerales (Cuadro 1). El tratamiento 1 fue la dieta con maíz, el 2 fue la dieta con sorgo, y el 3 fue la dieta con trigo. Se adicionaron vitaminas y minerales para cubrir 100% de los requerimientos para cerdos de 20 a 50 kg (NRC, 1998). Todas las

dietas fueron con maíz (Erickson *et al.*, 1980) o sorgo (Luce *et al.*, 1972). These conclusions are arguable since the diets used in those studies contained the same CP or lysine level; thus, the sorghum or corn-based diets contained more soybean meal, because these grains contain less CP and lysine than wheat. For example, the sorghum-based diets used by Erickson *et al.* (1980) for growing pigs included 17.3% of soybean meal, while those based on wheat contained only 6.9%. Luce *et al.* (1972) compared sorghum diets containing 20.1% soybean meal and 0.72% lysine, to wheat diets containing only 9.3% soybean meal, and 0.53% lysine. Therefore, the animal response can not only be attributed to the grain type, but also to the percentage of soybean meal and lysine in the diet. The nutritional value of feeds is determined by the composition, digestibility, and availability of essential nutrients, which are required for maintenance and growth of the animals. The contents of phosphorus (Cromwell, 1992) and essential amino acids in wheat is superior to those in corn (Sauer *et al.*, 1981) or sorghum (Lin *et al.*, 1987; Cervantes *et al.*, 1997; NRC, 1998); but the information regarding AA digestibility in corn and sorghum, compared to that in wheat, is very limited. The objective of this study was to determine the AID of AA in pigs, with body weight in the range 20-50 kg and to compare the nutritional value of wheat, based on the AA digestibility, to that of sorghum and corn for growing pigs.

MATERIALS AND METHODS

Six pigs, 35 kg average body weight (BW), adapted with cannulas at the distal ileum were used. After 24 h of fast, pigs were anesthetized and surgically cannulated under humanitarian procedures. The pigs had a 15-days recovery period after surgery, evidenced by the lack of swollen around the incision, and by the recovery of normal feed intake. During the recovery period pigs were fed a sorghum-soybean meal diet (16.5% CP), and water was available 24 h a day after surgery.

The treatments were diets formulated with corn, sorghum or wheat as the major ingredient in each one, added with vitamins and minerals (Table 1). Treatments 1, 2, and 3 were corn, sorghum, and wheat diets, respectively. Vitamins and minerals were supplemented to meet NRC (1998) standards for pigs with BW from 20 to 50 kg. All diets contained 0.2% chromic oxide as the digestibility marker. The AA composition of the experimental diets is shown in Table 2. Pigs were fed at 07:00 and 19:00 h daily, in equal amounts each time, and were trained to consume their meal in 15 min or less. Feed was mixed with water in a 1:1 ratio to facilitate consumption of the meal. The amount of feed offered to pigs was that of the lowest intake during the adaptation period, to ensure a similar level of intake in all animals.

The experiment was conducted in a repeated 3×3 Latin square design, with three treatments and six replicates each. Each period

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales.
Table 1. Formulation of the experimental diets.

Ingrediente	Tratamiento		
	Maíz	Sorgo	Trigo
Maíz	97.50		
Sorgo		97.50	
Trigo			97.77
Carbonato de calcio	0.78	0.78	1.12
Fosfato dicálcico	0.97	0.97	0.36
Sal iodada	0.35	0.35	0.35
Premezcla de vitaminas y minerales [†]	0.20	0.20	0.20
Oxido crómico	0.20	0.20	0.20

[†] La mezcla de vitaminas y minerales proporcionó (por kilogramo de dieta): Vitamina A, 4800 UI; vitamina D3, 800 UI; vitamina E, 4.8 UI; vitamina K3, 1.6 mg; riboflavina, 4 mg; *d*-ácido pantoténico, 7.2 mg; niacina, 16 mg; vitamina B12, 12.8 µg; Zn, 64 mg; Fe, 64 mg; Cu, 4 mg; Mn, 4 mg; HI, 0.36 mg; Se, 0.13 mg.

dietas contenían 0.2% de óxido crómico para determinar la DIA de AA. La composición de AA de las dietas experimentales se muestra en el Cuadro 2. Los cerdos se alimentaron diariamente a las 07:00 y 19:00 h, en cantidades iguales cada vez. El alimento se mezcló con agua en proporción 1:1 para facilitar el consumo. Los cerdos se entrenaron para consumir su ración en 15 min o menos. La cantidad de alimento ofrecida a todos los cerdos fue igual a la cantidad consumida por el cerdo con el consumo más bajo durante el periodo de adaptación, para garantizar el mismo nivel de consumo en todos los animales.

El experimento se realizó en un diseño en Cuadro Latino 3×3 repetido, con tres tratamientos y seis repeticiones. Cada periodo fue de 12 d: 8 de adaptación a la dieta y 4 para recolección de contenido ileal; la que se realizó de manera continua, de 07:00 a 13:00 h los días 9 y 11, y de 13:00 a 19:00 h los días 10 y 12. Las muestras se recolectaron en bolsas de plástico atadas a la cánula, y se retiraron una vez que se llenaron o cuando habían permanecido 15 min atadas a la cánula, lo que ocurriera primero. Todas las muestras se almacenaron a -20 °C inmediatamente después de recolectadas hasta que se analizaron en el laboratorio. Las muestras de contenido ileal se descongelaron, se homogeneizaron y se secaron por liofilización.

Las muestras de contenido ileal y de dieta se prepararon para análisis de materia seca, PC (AOAC, 1990), AA (Sedgwick *et al.*, 1991) y óxido crómico (Hill y Anderson, 1958). La información se analizó de acuerdo con el diseño usado (Steel y Torrie, 1988) y la comparación de medias se hizo mediante la prueba de Tukey, con el paquete estadístico SAS (1988).

RESULTADOS

Los resultados de consumo de AA esenciales y no esenciales se presentan en el Cuadro 3. El consumo de arginina, fenilalanina, lisina y metionina fue superior (p<0.05) en los cerdos que recibieron la dieta con trigo, en comparación con los que recibieron maíz (19.3, 14.8,

was of 12 d: 8 d for adaptation to diet and 4 d for collection of ileal samples, which was performed continuously from 07:00 to 13:00 h on days 9 and 11, and from 13:00 to 19:00 h on days 10 and 12. Samples were collected in plastic bags tied to the cannulas, and retired once they were filled, or after 15 min tied to the cannula, whichever came first. All samples were stored immediately at -20 °C after collection until analyzed at the laboratory. The samples of ileal digesta were thawed, homogenized and freeze dried.

Ileal digesta samples were analyzed for dry matter, CP (AOAC, 1990), AA (Sedgwick *et al.*, 1991) and chromic oxide (Hill and Anderson, 1958). The data were analyzed according to the experimental design (Steel and Torrie, 1988), and the comparison of means was made with the Tukey test, using GLM (SAS, 1988).

RESULTS

The results of essential and non-essential AA intake are presented in Table 3. The consumption of arginine, phenylalanine, lysine and methionine were higher (p<0.05) in pigs that received the wheat-based diet, in comparison to those receiving corn (19.3, 14.8, 11.1 and 10.5%) or sorghum (44.7, 6.9, 42.9 and 16.7%). The intakes of isoleucine and valine in wheat were greater (p<0.05) than in corn (23.7 and 6.7, respectively), but similar to those in sorghum; threonine intake in wheat was higher (p < 0.05) than in sorghum (10.5%), but similar to that observed in corn. Histidine intake in corn and that of leucine in sorghum were 8.3 and 37.0% higher (p<0.05) than in wheat. Likewise, consumption of

Cuadro 2. Contenido de proteína cruda y aminoácidos (%) en las dietas experimentales (base seca).

Table 2. Content (%) of crude protein and amino acids in the experimental diets (dry matter basis).

Aminoácido	Tratamiento		
	Maíz	Sorgo	Trigo
Proteína	9.3	9.6	10.8
Esenciales			
Arginina	0.50	0.41	0.57
Fenilalanina	0.47	0.51	0.53
Histidina	0.31	0.24	0.28
Isoleucina	0.34	0.39	0.40
Leucina	1.17	1.28	0.78
Lisina	0.31	0.24	0.34
Metionina	0.17	0.16	0.18
Treonina	0.36	0.33	0.35
Valina	0.53	0.56	0.54
No esenciales			
Alanina	0.74	0.90	0.43
Aspartato	0.64	0.69	0.60
Glicina	0.39	0.36	0.47
Glutamato	1.84	2.07	3.46
Prolina	0.85	0.80	1.09
Serina	0.42	0.40	0.49
Tirosina	0.30	0.31	0.29

11.1 y 10.5%) o sorgo (44.7, 6.9, 42.9 y 16.7%). El consumo de isoleucina y valina en trigo fue mayor ($p<0.05$) que en maíz (23.7 y 6.7, respectivamente), pero similar al de sorgo; el consumo de treonina en trigo fue superior ($p<0.05$) que en sorgo (10.5%), pero similar al observado en maíz. Los consumos de histidina en maíz y de leucina en sorgo fueron 8.3 y 37.0% mayores ($p<0.05$), que en trigo. Similarmente, el consumo en trigo de los AA no esenciales: glicina, glutamato, prolina y serina fue superior ($p<0.05$) que en maíz (24.4, 93.8, 33.0 y 18.8%) y que en sorgo (36.6, 72.5, 41.8 y 23.9%). Se observó un mayor consumo de alanina en maíz y sorgo (39.3 y 50.0%), y de aspartato en sorgo (11.4%) que en trigo. No hubo diferencias en el consumo de tirosina. Las diferencias encontradas se atribuyen a la composición de los AA en los granos, puesto que el consumo de alimento fue similar. La variación en el consumo de AA es mayor, y consistente entre trigo y sorgo, que entre trigo y maíz.

En promedio, la DIA de los AA esenciales (Cuadro 4) en trigo fue 16.4% superior ($p<0.05$) que en sorgo; la diferencia más grande fue para lisina (32.0%), y la más pequeña para leucina (9.1%). Las DIA de fenilalanina, isoleucina, lisina, metionina, treonina y valina fueron mayores ($p<0.05$) en trigo que en maíz, pero no las de arginina, histidina y valina en ambos granos. En promedio, la digestibilidad de los AA esenciales fue 7.2% superior ($p<0.05$) en trigo que en maíz. La DIA de los AA no esenciales, excepto alanina, fue 52.2% mayor ($p<0.05$) en trigo que en sorgo. La diferencia mayor fue para glutamato (187%) y la segunda para glicina (83%); en contraste, la DIA de alanina fue mayor ($p<0.05$) en el sorgo. En promedio, glicina, glutamato, prolina, serina y tirosina fueron 27.1% más digestibles en trigo que en maíz; pero la alanina fue superior ($p<0.05$) en el segundo. En los tres granos, la DIA de los AA esenciales fue mayor ($p<0.05$) que la de los AA no esenciales. La diferencia es mayor entre trigo y sorgo que entre trigo y maíz.

La composición de AA digestibles en maíz, sorgo y trigo se presenta en el Cuadro 5. Estos valores se calcularon considerando la composición de AA en los tres granos y sus respectivas DIA. El contenido de arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, lisina, metionina, treonina y valina digestibles fue 69.2, 17.7, 31.3, 16.7, 91.7, 40.0, 30.6 y 8.6% superior ($p<0.05$) en trigo que en el sorgo; pero el contenido de leucina digestible fue 35.2% superior en sorgo. Los contenidos de arginina, fenilalanina, isoleucina, lisina, metionina, treonina y valina digestibles fueron 22.2, 21.2, 33.3, 21.1, 16.7, 11.0 y 8.6% mayores ($p<0.05$) en trigo que en maíz; pero el contenido de histidina y leucina digestibles fue 8.7 y 32.1% mayor ($p<0.05$) en maíz. En promedio, el contenido de los AA no esenciales: glicina, glutamato, prolina,

Cuadro 3. Consumo de aminoácidos por cerdos alimentados con dietas formuladas con base en maíz, sorgo o trigo (g/d).

Table 3. Amino acid intake by pigs fed corn, sorghum or wheat-based diets (g d⁻¹).

Aminoácido	Tratamiento			
	Maíz	Sorgo	Trigo	EE
Proteína	106.6 b	109.9 b	127.1 a	3.25
Esenciales				
Arginina	5.7 b	4.7 c	6.8 a	0.137
Fenilalanina	5.4 c	5.8 b	6.2 a	0.170
Histidina	3.6 a	2.8 c	3.3 b	0.099
Isoleucina	3.8 b	4.4 a	4.7 a	0.140
Leucina	13.4 b	14.6 a	9.2 c	0.496
Lisina	3.6 b	2.8 c	4.0 a	0.099
Metionina	1.9 b	1.8 c	2.1 a	0.065
Treonina	4.1 a	3.8 b	4.2 a	0.101
Valina	6.0 b	6.3 a	6.4 a	0.178
No esenciales				
Alanina	8.4 b	10.2 a	5.1 c	0.373
Aspartato	7.3 b	7.9 a	7.0 b	0.239
Glicina	4.5 b	4.1 c	5.6 a	0.118
Glutamato	21.0 c	23.6 b	40.7 a	0.822
Prolina	9.7 b	9.1 c	12.9 a	0.282
Serina	4.8 b	4.6 c	5.7 a	0.152
Tirosina	3.4	3.5	3.4	0.105

a, b, c: Valores en misma hilera, con distinta literal, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p=0.05$).

non-essential AA in wheat (glycine, glutamate, proline, and serine) was superior ($p<0.05$) to those in corn (24.4, 93.8, 33.0 and 18.8%) and sorghum (36.6, 72.5, 41.8 and 23.9%). A higher intake of alanine was observed in corn and sorghum (39.3 and 50.0%), and of aspartato in sorghum (11.4%) as compared to wheat. There were no differences in tyrosine consumption. The difference found are attributed to the variation in the composition of AA in these grains, since feed intake was not different. There were no differences in tyrosine intake among the three grains. Variation in AA intake was larger and more consistent between wheat and sorghum than between wheat and corn.

On average, the AID of essential AA in wheat (Table 4) was 16.4% higher ($p<0.05$) than in sorghum; the largest difference was for lysine (32.0%), and the smallest for leucine (9.1%). The AID of phenylalanine, isoleucine, lysine, methionine, threonine and valine were higher ($p<0.05$) in wheat than in corn, but there were no differences in the AID of arginine and histidine between these grains. On average, the AID of the essential AA was 7.2% superior ($p<0.05$) in wheat than in corn. The AID of the non-essential AA, except for alanine, was 52.2% higher ($p<0.05$) in wheat than in sorghum. The largest difference was for glutamate (187%) and the second for glycine (83%); in contrast, that of alanine was larger

serina y tirosina fue 119% mayor ($p < 0.05$) en trigo que en sorgo. El contenido promedio de alanina y aspartato fue mayor ($p < 0.05$) en sorgo. Los porcentajes de glicina, glutamato, prolina y serina digestibles en maíz fue 84% menor ($p < 0.05$) que en trigo; el de alanina fue superior ($p < 0.05$) en maíz, y el de aspartato y tirosina no fue diferente entre ambos granos.

DISCUSIÓN

Los cereales se consideran principalmente como fuentes de energía; sin embargo, debido a que su contenido en dietas para cerdos en crecimiento-finalización es superior a 80%, éstos contribuyen con más de 50% del requerimiento de los AA esenciales de esos cerdos (NRC, 1998), a pesar de que su porcentaje de PC y AA es bajo. Por tanto, es importante conocer mejor el valor nutricional de la proteína de los cereales, la cual se determina por su composición, digestibilidad y disponibilidad de AA y por la respuesta que provoca en el crecimiento de los animales.

La información relacionada con el valor nutricional del trigo para cerdos es muy limitada, debido a que este cereal se utiliza principalmente en la alimentación humana. En contraste, hay información abundante acerca de su composición (Cousins *et al.*, 1981; Lin *et al.*, 1987) y digestibilidad de nutrientes (Lin *et al.*, 1987), los AA

($p < 0.05$) in sorghum. On average, glycine, glutamate, proline, serine and tyrosine were 27.1% more digestible in wheat than in corn; but alanine was superior ($p < 0.05$) in corn. Overall, in these three cereals, the AID of the essential AA were higher ($p < 0.05$) than those of non-essential AA. The difference was larger between wheat and sorghum than between wheat and corn.

The content of digestible AA in corn, sorghum and wheat is presented in Table 5. These values were calculated considering the AA composition of these grains and their respective AID values. The contents of digestible arginine, phenylalanine, histidine, isoleucine, lysine, methionine, threonine and valine were 69.2, 17.7, 31.3, 16.7, 91.7, 40.0, 30.6 and 8.6%, higher ($p < 0.05$) in wheat than in sorghum; but the contents of digestible leucine and histidine was 35.2% superior in sorghum. The content of digestible arginine, phenylalanine, isoleucine, lysine, methionine, threonine and valine were 22.2, 21.2, 33.3, 21.1, 16.7, 11.0 and 8.6% higher ($p < 0.05$) in wheat than in corn; but digestible histidine and leucine were 8.7 and 32.1% higher ($p < 0.05$) in corn, contents. On average, the digestible content of the non-essential AA: glycine, glutamate, proline, serine and tyrosine was 119% higher ($p < 0.05$) in wheat than in sorghum. The content of alanine and aspartate was higher ($p < 0.05$) in sorghum.

Cuadro 4. Digestibilidad ileal de aminoácidos en sorgo, maíz y trigo en cerdos en crecimiento (%).

Table 4. Apparent ileal amino acid digestibility in corn, sorghum and wheat in growing pigs (%).

Aminoácido	Tratamiento			
	Maíz	Sorgo	Trigo	EE
Proteína	74.2 b	73.9 b	77.7 a	1.39
Esenciales				
Arginina	80.9 a	70.6 b	83.9 a	2.31
Fenilalanina	77.6 b	73.5 c	83.4 a	1.37
Histidina	82.0 a	71.3 b	84.0 a	1.28
Isoleucina	70.6 b	68.0 c	77.2 a	1.48
Leucina	80.4 a	76.1 b	80.6 a	1.17
Lisina	67.6 b	55.3 c	73.0 a	1.49
Metionina	81.3 b	74.7 c	84.6 a	1.25
Treonina	61.8 b	55.7 c	67.5 a	1.67
Valina	73.6 b	69.2 c	77.3 a	1.56
No esenciales				
Alanina	73.7 a	71.5 a	65.9 b	1.80
Aspartato	66.7 a	63.0 b	66.9 a	1.93
Glicina	52.7 b	38.4 c	70.2 a	5.98
Glutamato	79.4 b	75.7 c	90.9 a	1.48
Prolina	49.7 b	30.0 b	86.0 a	16.22
Serina	74.0 b	68.0 c	81.0 a	1.09
Tirosina	70.0 b	63.5 c	73.8 a	1.23

a, b, c: Valores en misma hilera con distinta literal son estadísticamente diferentes (Tukey, $p = 0.05$).

Cuadro 5. Composición de proteína y aminoácidos digestibles en maíz, sorgo y trigo, para cerdos en crecimiento (%).

Table 5. Content of digestible protein and amino acids in corn, sorghum, and wheat for growing pigs (%).

Aminoácido	Tratamiento			
	Maíz	Sorgo	Trigo	EE
Proteína	6.2 c	6.4 b	7.6 a	0.124
Esenciales				
Arginina	0.36 b	0.26 c	0.44 a	0.009
Fenilalanina	0.33 c	0.34 b	0.40 a	0.007
Histidina	0.23 a	0.16 c	0.21 b	0.005
Isoleucina	0.21 c	0.24 b	0.28 a	0.007
Leucina	0.84 b	0.88 a	0.57 c	0.014
Lisina	0.19 b	0.12 c	0.23 a	0.004
Metionina	0.12 b	0.10 c	0.14 a	0.003
Treonina	0.20 b	0.17 c	0.22 a	0.005
Valina	0.35 b	0.35 b	0.38 a	0.008
No esenciales				
Alanina	0.49 b	0.58 a	0.26 c	0.013
Aspartato	0.38 ab	0.39 a	0.36 b	0.013
Glicina	0.18 b	0.12 c	0.30 a	0.022
Glutamato	1.31 c	1.41 b	2.85 a	0.023
Prolina	0.38 b	0.22 b	0.85 a	0.114
Serina	0.28 b	0.24 c	0.36 a	0.005
Tirosina	0.19 a	0.18 b	0.19 a	0.004

a, b, c: Valores en la misma hilera con distinta literal son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

limitativos (Hansen *et al.*, 1993; Russell *et al.*, 1983; Cervantes y Cromwell, 1997) así como sobre su disponibilidad del fósforo (Cromwell, 1992) en sorgo y maíz.

Resultados de otros estudios indican que la calidad nutricional del trigo para cerdos es similar a la del maíz (Erickson *et al.*, 1980) y del sorgo (Luce *et al.*, 1972). Sin embargo tales conclusiones son cuestionables, puesto que las dietas se formularon para contener porcentajes similares de PC. En virtud de que el trigo es más rico en PC, Erickson *et al.* (1980) adicionaron el doble de pasta de soya en las dietas con maíz (17.3 vs. 8.9%). Luce *et al.* (1972) adicionaron 20.1% pasta de soya en dietas con sorgo, pero sólo 9.5% en dietas con trigo para cerdos en crecimiento. Aún más, las dietas con sorgo contenían 0.72% lisina mientras que las dietas con trigo sólo contenían 0.53%. Por tanto, la respuesta no puede atribuirse exclusivamente al tipo de grano en la dieta, sino también a su contenido de pasta de soya y de lisina.

El contenido y la DIA de los AA esenciales y de los primeros tres AA limitantes son algunos de los criterios más importantes en la definición de la calidad nutricional de los ingredientes alimenticios. Por tanto, la discusión de los resultados y la conclusión de este estudio se fundamenta principalmente en la comparación del contenido (total y digestible) y la DIA de los AA esenciales y de lisina, treonina y metionina entre los tres cereales. El contenido promedio de los AA esenciales, excepto leucina, fue 14.9 y 6.9% mayor en el trigo que en el sorgo y el maíz. La lisina fue 41.7 y 9.7% superior en el trigo que en el sorgo y maíz. La metionina también fue superior en el trigo que en el sorgo (12.5%) y el maíz (5.9%); la treonina no fue diferente entre maíz y trigo, pero fue 6.1% mayor en trigo que en sorgo. Con base en el contenido de los primeros tres AA limitativos, estos datos sugieren que el valor nutricional del trigo es de 6.1 a 41.7% superior al del sorgo, y de 5.9 a 9.7% mayor al del maíz. El contenido de lisina en el sorgo y el trigo utilizado en este estudio es similar al publicado por NRC (1998), pero es superior en el maíz. Las diferencias en el contenido de estos AA son similares a las publicadas por Lin *et al.* (1987). Aunque leucina no es limitativo en ningún grano para cerdos, es importante notar que su contenido fue 39.1 y 33.3% menor en el trigo que en el sorgo y maíz. Normalmente, las dietas cereal-pasta de soya contienen grandes excedentes de leucina, hasta 400% la cantidad requerida por cerdos en crecimiento; este AA es la principal fuente de compuestos nitrogenados contaminantes. Por tanto, el menor contenido de leucina en trigo favorece la formulación de dietas con base en proteína ileal.

La DIA promedio de los AA esenciales, excepto leucina, fue 38.2 y 19.2% mayor en trigo que en sorgo y maíz. La DIA de lisina, treonina y metionina fue superior en trigo que en sorgo (91.6, 30.7 y 40.0%) y maíz

The average content of digestible glycine, glutamate, proline and serine in corn were 84% lower ($p < 0.05$) than in wheat; whereas for alanine was higher ($p < 0.05$) in corn, and for aspartate and tyrosine was not different between both grains.

DISCUSSION

Cereal grains are mainly considered as energy sources; but, since their content in diets for growing-finishing pigs is superior to 80%, these grains supply more than 50% of the essential AA required by these pigs (NRC, 1998), even though their CP and AA percentages are low. Therefore, it is important to know better the nutritional value of the cereals protein, which is determined by their composition, digestibility, and availability of AA, as well as for the growth response of the animals.

The information related to the nutritional value of wheat for pigs is very limited, because this cereal is used mainly as human food. In contrast, there is abundant information regarding its composition (Cousins *et al.*, 1981; Lin *et al.*, 1987) and digestibility of nutrients (Lin *et al.*, 1987), the limiting AA (Hansen *et al.*, 1993; Russell *et al.*, 1983; Cervantes and Cromwell, 1997) as well as about its availability of phosphorus (Cromwell, 1992) in sorghum and corn.

Results from other studies indicate that the nutritional quality of wheat for pigs is similar to that of corn (Erickson *et al.*, 1980) and sorghum (Luce *et al.*, 1972). However, such conclusions are arguable, since the diets were formulated as to contain similar CP levels. Since wheat, as compared to corn and sorghum, is higher in CP, Erickson *et al.* (1980) added twice soybean meal in corn diets (17.3 vs. 8.9%). Luce *et al.* (1972) added 20.1% soybean meal in sorghum diets, but only 9.5% in wheat diets for growing pigs. Even more, the sorghum diets contained 0.72% lysine while the wheat diets only contained 0.53%. Therefore, the response cannot be attributed exclusively to the grain type in the diet, but also to its content of soybean meal and lysine.

The content and AID of the essentials AA and the first three limiting AA are some of the most important factors when defining the nutritional quality of feeds. Therefore, the discussion of the results and conclusion of this study are based mainly on the comparison of the content (total and digestible) and the AID of the essential AA, especially the limiting ones (lysine, threonine, and methionine) among the three cereals. The average content of essential AA, except for leucine, was 14.9 and 6.9% higher in wheat than in sorghum and corn. Lysine was 41.7 and 9.7% higher in wheat than in sorghum and corn. Methionine was also higher in wheat than in sorghum (12.5%) and corn (5.9%); threonine was not

(21.1, 16.7 y 11.0%). En consecuencia, y considerando a lisina, treonina y metionina como criterios de comparación, el valor nutricional del trigo puede ser de 40.7 a 91.6% superior al del sorgo y de 11.0 a 21.6% al del maíz. No sólo el contenido de leucina fue menor en el trigo en comparación con los otros granos, sino que la DIA también fue menor.

Los valores de DIA de los AA en trigo de este estudio son similares a los publicados por Sauer *et al.* (1981), aunque estos autores observaron una mayor DIA de los AA en maíz que en trigo. En otros estudios (Sauer *et al.*, 1977; Furuya y Kaji, 1987) no se encontraron diferencias entre maíz y trigo, en la DIA de lisina. En contraste, Lin *et al.* (1987) obtuvieron una mayor DIA de lisina en trigo que en maíz; en ambos granos la DIA de AA en el trigo fue superior a la del sorgo, lo que coincide con lo observado en este estudio. Green *et al.* (1987) obtuvieron una mayor DIA de lisina, treonina y metionina en trigo que en maíz. Además, en coincidencia con los resultados de este experimento, la DIA de leucina en trigo fue inferior a la del maíz (Sauer *et al.*, 1981; Lin *et al.*, 1987) o sorgo (Lin *et al.*, 1987).

Treonina y lisina tuvieron los valores más bajos de DIA en los tres granos, lo cual coincide con otros estudios (Sauer *et al.*, 1981; Taverner *et al.*, 1981; Green *et al.*, 1987; Lin *et al.*, 1987). De acuerdo con Sauer *et al.* (1981), la baja DIA de treonina se debe a que la proteína endógena es rica en este aminoácido. Sin embargo, no hay una explicación clara sobre la baja DIA de lisina en los tres granos.

Nyachoti *et al.* (1997) indicaron que la diferencia en la DIA de proteína y AA en dietas con diferentes niveles de PC, puede atribuirse más a la contribución de proteína y AA endógenos que al efecto mismo del nivel de PC en la dieta. Dado que en este experimento el contenido de PC y AA resultó superior en el trigo que en los otros dos granos, se presentan también los datos de consumo (Cuadro 3) y flujo ileal (Cuadro 4) de AA, además de los valores de la DIA. El consumo (g/d) de lisina, metionina y treonina en trigo fue 42.9, 16.7 y 10.5% superior que en sorgo, y 11.1, 10.5 y 2.4% que en maíz. En contraste, el flujo ileal (g/d) de lisina, metionina y treonina en trigo fue 12.1, 28.9 y 19.6% menor que en sorgo, y 6.0, 11.1 y 13.5% menor que en maíz. Estos resultados indican que los mayores valores de DIA de AA observados en trigo, son consecuencia de una mayor digestión y desaparición de los mismos en intestino delgado, y no un artificio provocado por la contribución proporcional de AA endógenos.

Las diferencias observadas en la DIA de los AA entre los tres granos pueden atribuirse a varios factores, entre los que destaca la presencia de factores anti-nutricionales en el grano. El sorgo, a diferencia del maíz y el trigo, contiene taninos, los cuales interfieren con la digestión

different between corn and wheat, but was 6.1% higher in wheat than in sorghum. Based on the content of the first three limiting AA, these data suggest that the nutritional value of wheat is from 6.1 to 41.7% superior to that of sorghum, and from 5.9 to 9.7% to that of corn. The lysine content in the sorghum and wheat used in this study is similar to that published by NRC (1998), but the lysine content in the corn used in this trial was higher. The differences in the contents of these AA are similar to those published by Lin *et al.* (1987). Although leucine is not limiting in any grain for pigs, it is important to notice that its content was 39.1 and 33.3% lower in wheat than in sorghum and corn. Usually, cereal-soybean meal diets contain high leucine excess, up to 400% the amount required by growing pigs; this AA is the main source of nitrogen polluting compounds. Therefore, the lowest leucine content in wheat may help in the formulation of ideal protein diets.

The average AID of essential AA, except for leucine, was 38.2 and 19.2% higher in wheat than in sorghum and corn. The AID of lysine, threonine and methionine were higher in wheat than in sorghum (91.6, 30.7 and 40.0%) and corn (21.1, 16.7 and 11.0%). Consequently, and considering lysine, threonine, and methionine as the comparison criteria, the nutritional value of wheat is from 40.7 to 91.6% higher than that of sorghum and from 11.0 to 21.6% than that of corn. The leucine content in wheat was not only lower than in the other grains, but the AID was also lower.

The AA digestibility values in wheat obtained from this study are similar to those published by Sauer *et al.* (1981), although these authors observed a higher AID of AA in corn than in wheat. In other studies (Sauer *et al.*, 1977; Furuya y Kaji, 1987), no difference in the AID of lysine was observed between corn and wheat. In contrast, Lin *et al.* (1987) found a higher AID of lysine in wheat as compared to corn, which agrees with the results found in this study. Green *et al.* (1987) found a higher AID of lysine, threonine and methionine in wheat than in corn. Also, in agreement with the results of this experiment, the AID of leucine in wheat was lower than that in corn (Sauer *et al.*, 1981; Lin *et al.*, 1987) or sorghum (Lin *et al.*, 1987).

Threonine and lysine had the lowest AID values in the three grains, which coincides with other studies (Sauer *et al.*, 1981; Taverner *et al.*, 1981; Green *et al.*, 1987; Lin *et al.*, 1987). Sauer *et al.* (1981) indicate that the low AID value of threonine is due to the fact that the endogenous protein is rich in this amino acid. However, there is not a clear explanation regarding the low AID of lysine in all three grains.

Nyachoti *et al.* (1997) indicated that the difference in the AID of protein and AA in diets with different CP levels can be attributed more to the contribution of

de la proteína (Cousins *et al.*, 1981). Estos autores observaron una reducción marcada en la DIA de los AA a medida que se incrementó el contenido de taninos en el sorgo. Los fitatos son compuestos que se encuentran en todos los cereales y pueden afectar negativamente la digestibilidad de la proteína (Lázity y Lázity, 1995). De acuerdo con estos autores, el fitato establece interacciones electrostáticas con las proteínas desde el inicio de la formación de los granos. Los fitatos forman complejos con las proteínas del endospermo mediante la interacción con las cadenas radicales de los aminoácidos (Reddy *et al.*, 1982). Estos fitatos forman complejos estables con varios minerales, principalmente con fósforo, calcio, zinc y hierro. A través de estos minerales los fitatos también interactúan con las proteínas del grano, formando complejos fitato-proteína-mineral, lo cual puede disminuir la DIA de los AA (Reddy *et al.*, 1982). El impacto de los fitatos es mayor en maíz y sorgo, debido a que el trigo contiene fitasas que mejoran la hidrólisis de los fitatos (Cromwell, 1992).

El contenido promedio de AA digestibles en el trigo fue superior que en sorgo y maíz. Esto es el resultado de un mayor consumo y un menor flujo ileal de AA en los cerdos con las dietas de trigo, en comparación con las de maíz o sorgo. El crecimiento de los cerdos depende principalmente del consumo de los primeros AA limitantes. Con base en los datos de composición de AA digestibles en ileon obtenidos en este experimento, el consumo de lisina, treonina y metionina digestibles por cerdos consumiendo 2 kg de alimento, es equivalente a 31, 69, 53 (maíz); 19, 57, 45 (sorgo); 37, 80, 58% (trigo) del requerimiento de esos AA para cerdos en crecimiento (NRC, 1998). Así, cerdos alimentados con dietas elaboradas con trigo requieren menos lisina, metionina y treonina digestibles suplementarias que dietas con maíz o con sorgo. Por tanto, con base en los datos de contenido de AA digestibles, el valor nutricional del trigo puede ser 10 a 27% superior al del maíz, y 29 a 92% superior al del sorgo.

CONCLUSIONES

La digestibilidad y el contenido de aminoácidos aparentemente digestibles en cerdos son mayores en el trigo que en el maíz y el sorgo. Con base en lo anterior, hay evidencias de que el valor nutricional del trigo es de 6.1 a 41.7% y de 5.9 a 9.7% superior al del sorgo y del maíz, para cerdos en crecimiento.

LITERATURA CITADA

- AOAC (1990). Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. 1298 pp.
 Cervantes, R. M., y G. L. Cromwell. 1997. Adición de aminoácidos, vitaminas y minerales a dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína para cerdos en crecimiento. *Agrociencia* 31: 143-148.

endogenous protein and AA rather than to the effect of the CP level in the diet. Since the contents of CP and AA in the diets used in this experiment were higher in wheat than in the other two grains, the consumption (Table 3) and ileal flow (Table 4) of AA data are also presented, besides the AID values. The consumption (g/d) of lysine, methionine and threonine in wheat was 42.9, 16.7 and 10.5% higher than in sorghum, and 11.1, 10.5 and 2.4% than in corn. In contrast, the ileal flow (g/d) of lysine, methionine and threonine in wheat was 12.1, 28.9 and 19.6% lower than in sorghum, and 6.0, 11.1 and 13.5% lower than in corn. Thus, these results indicate that the largest AID values observed in wheat resulted from a higher protein digestion and AA disappearance in the small intestine, rather than an artifice caused by the relative contribution of endogenous AA.

The differences observed in the AID of AA between the three grains can be attributed to several factors, including the presence of anti-nutritional factors in the grain. Sorghum, in contrast to corn and wheat, contains tannins, which interfere with the digestion of protein (Cousins *et al.*, 1981). These authors observed a marked reduction in the AID of AA as the content of tannins increased in sorghum. Phytates are chemical compounds that occur in all cereals and can negatively affect the protein digestibility (Lázity and Lázity, 1995). Accordingly, these authors reported that phytates establish electrostatic interactions with proteins since the beginning of grain formation. Phytates complex with proteins of the endosperm through interaction with the AA radical chains (Reddy *et al.*, 1982). These phytates create stable complexes with several minerals, mainly with phosphorus, calcium, zinc and iron. Through these minerals, the phytates also interact with the grain proteins, creating phytate-protein-mineral complexes, which can additionally reduce the AID of AA (Reddy *et al.*, 1982). Phytates have a larger impact on corn and sorghum, because wheat contains a phytate hydrolyzing phytase (Cromwell, 1992).

The average content of digestible AA in wheat was higher than that in sorghum and corn. This results of a combined higher consumption with lower ileal flow of AA in pigs fed with wheat diets, as compared to those with corn or sorghum. The growth of pigs depends mainly on the consumption of the first limiting AA. Based on the digestible AA composition data obtained from this experiment, the intake of digestible lysine, threonine and methionine by pigs, assuming a daily feed intake of 2 kg, is equivalent to 31, 69, 53 (corn); 19, 57, 45 (sorghum); 37, 80, 58% (wheat) the requirement of those AA for growing pigs (NRC, 1998). Thus, pigs fed wheat diets require less supplemental digestible lysine, threonine, and methionine than pigs fed corn or sorghum diets. Therefore, based on the content of digestible AA data, the nutritional value of wheat may be 10 to 27%

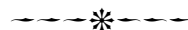
- Cervantes, R. M., G. L. Cromwell, y D. Knabe. 1997. Digestibilidad ileal de aminoácidos en dietas bajas en proteína, complementadas con aminoácidos en cerdos en crecimiento. *Agrociencia* 31:149-155.
- Cousins B. W., T. D. Tanksley, Jr, D. A. Knabe, and T. Zebrowska. 1981. Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghums varying in tannin concentration. *J. Anim. Sci.* 53: 1524-1537.
- Cromwell G. L. 1992. The biological availability of phosphorous in feedstuffs for pigs. *Pig News and Information*. 13(2): 75N-78N.
- Erickson, J. P., E. R. Miller, G. M. Hill, J. R. Black, D. M. Bebiak, and P.K. Ku. 1980. Wheat *versus* corn in pelleted and meal swine diets. *J. Anim. Sci.* 51: 1065-1069.
- Furuya, S., and Y. Kaji. 1987. Ileal digestibilities of amino acids in corn, rice, barley, naked barley and wheat for growing pigs. *Jap. J. Zoo. Sci.* 58: 228-235.
- Gill, D. R., J. E. Oldfield, and D. C. England. 1965. Comparative values of hullless barley, regular barley, corn and wheat for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 28:34-36.
- Green, S., S. L. Bertrand, J. Madeleine, C. Duron, and R. A. Millard. 1987. Digestibility of amino acids in maize, wheat and barley meal, measured in pigs with ileo-rectal anastomosis and isolation of the large intestine. *J. Sci. Food Agric.* 41: 29-43.
- Gupta, R. B., I. L. Batey, and F. MacRitchie. 1992. Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal Chem.* 69: 125-131.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993. Amino acid supplementation of low-protein sorghum-SBM diets for 20- to 50-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71: 442-451.
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing pigs. *J. Nutr.* 64: 587-603.
- Jia, Y., V. Masbou, T. Aussenac, J. Fabre, and P. Debaeke. 1996. Effects of nitrogen fertilization and maturation conditions on protein aggregates and on the breadmaking quality of Soissons, a common wheat cultivar. *Cereal Chem.* 73: 123-130.
- Láztity, R., and L. Láztity. 1995. Phytic acid in cereal technology. *In: Advances in Cereal Science and Technology*. Pomeranz, Y. (ed.). American Association of Cereal Chemists. pp. 309-372.
- Lin F. D., D. A. Knabe, and T. D. Tanksley, Jr. 1987. Apparent digestibility of amino acids, gross energy and starch in corn, sorghum, wheat, barley, oat groats and wheat middlings for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 64: 1655-1663
- Luce, W. G., L. T. Omtvedt, and B. S. Robbins. 1972. Comparison of wheat and grain sorghum for growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 35: 947-952.

higher than that of corn, and 29 to 92% superior to that of sorghum.

CONCLUSIONS

Digestibility and content of apparently digestible amino acids in pigs are higher in wheat than in corn and sorghum. Based on the above-mentioned, there are evidences that the nutritional value of wheat is from 6.1 to 41.7%, and from 5.9 to 9.7% higher to that of sorghum and corn, respectively, for growing pigs.

—End of the English version—



- Nyachoti, C. M., C. F. M. de Lange, B. W. McBride, and H. Schultze. 1997. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: a review. *Can. J. Anim. Sci.* 77:149-163.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine* (10th Ed.). National Academy Press. Washington, D.C. 183p.
- Reddy, N. R., S. K. Sathé, and D. K. Salunkhe. 1982. Phytates in legumes and cereals. *Adv. Food Res.* 28:1-92.
- Russell, L. E., G. L. Cromwell, and T. S. Stahly. 1983. Tryptophan, threonine, isoleucine and methionine supplementation of a 12% protein, lysine-supplemented, corn-soybean meal diet for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 56: 1115-1123.
- SAS. 1988. *SAS/STAT user's guide: Statistics*. Release 6.03. SAS Institute, Inc., Cary, NC. 956 p.
- Sauer, W. C., S. C. Stothers, and R. J. Parker. 1977. Apparent availabilities of amino acids in corn, wheat and barley for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 57: 185-597.
- Sauer, W. C., J. J. Kennelly, F. X. Aherne, and R. M. Cichon. 1981. Availabilities of amino acids in barley and wheat for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 61:793-802.
- Sedgwick, G. W., T. F. Fenton, and J. R. Thompson. 1991. Effect of protein precipitate agents on the recovery of plasma free amino acids. *Can. J. Anim. Sci.* 71:953-957.
- Slafer, G. A., and E. H. Satorre. 1999. An introduction to the physiological-ecological analysis of wheat yield. *In: Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*, E. H. Satorre y G. A. Slafer, (eds.). Food Products Press. Binghamton, N.Y.
- Steel, R. G. D., and J. H. Torrie. 1988. *Principles and Procedures of Statistics: A Biomedical Approach* (2nd Ed.). McGraw-Hill