



Efecto del espacio disponible/tamaño de grupo sobre el balance de nutrimentos en cerdos en finalización*

Effect of the available space/group size on the nutrient balance of finishing pigs

Juan Alberto Bravo Alcántara** Sergio Gómez Rosales*** María de Lourdes Ángeles***

Abstract

The nitrogen and energy utilization of finishing pigs allocated individually or in groups of two was evaluated. Thirty two castrated males were used with an initial weight of 68.6 ± 1.0 kg that were assigned in a randomized complete block design with a split-plot arrangement in three treatments: a pig allocated individually with free access to feed and 0.81 m^2 of floor space (D1AL); two pigs allocated in group with free access to feed and 0.405 m^2 of floor space/pig (D2AL); a pig allocated individually paired-fed to the average consumption of pigs in D2AL and floor space similar to D1AL (D1P). The experiment was divided in two periods of excreta collection: days 1-4 and 18-21, respectively. There were eight repetitions per treatment. The nutrient consumption in period 1 was higher in D1AL compared to D2AL and D1P (density \times period, $P < 0.01$); in period 2, the nutrient consumption was higher in D1AL, intermediate in D1P and lower in D2AL. The nitrogen ($P < 0.05$) and energy ($P < 0.10$) retained in period 1 was similar among densities (density \times period interaction); in period 2 it was higher in D1AL compared to D2AL. The pigs housed in groups of two with free access to feed had lower nutrient consumption and retention at the end of the trial, probably as a consequence of chronic stress due to the competition for the feed, complicated by the restriction of available floor space.

Key words: FINISHING PIGS, AVAILABLE SPACE/GROUP SIZE, NUTRIENT'S BALANCE.

Resumen

Se evaluó la utilización de nitrógeno y energía en cerdos en finalización, alojados individualmente y en grupos de dos. Se usaron 32 machos castrados con un peso inicial de 68.6 ± 1.0 kg que fueron asignados al azar, en un diseño de bloques completos con arreglo en parcelas divididas en tres tratamientos: un cerdo alojado individualmente con libre acceso al alimento y 0.81 m^2 de espacio de piso (D1AL); dos cerdos alojados en grupo con libre acceso al alimento y 0.405 m^2 de espacio de piso/cerdo (D2AL); un cerdo alojado individualmente con consumo pareado con base en el consumo de los cerdos en D2AL y espacio de piso similar a D1AL (D1P). El experimento se dividió en dos periodos de recolección de excretas: días 1-4 (periodo 1) y 18-21 (periodo 2). Se tuvieron ocho repeticiones por tratamiento. El consumo de nutrimentos en el periodo 1 fue mayor en D1AL con respecto a D2AL y D1P (densidad \times periodo, $P < 0.01$); en el periodo 2, el consumo de nutrimentos fue mayor en D1AL, intermedio en D1P y menor en D2AL. La retención de nitrógeno ($P < 0.05$) y de energía ($P < 0.10$) en el periodo 1 fue similar entre densidades (interacción densidad \times periodo); en el periodo 2 fue mayor en D1AL comparado con D2AL. Los cerdos alojados en grupos de dos con alimentación a libertad tuvieron menor consumo y retención de nutrimentos en la fase final de la prueba, probablemente como consecuencia del estrés crónico debido a la competencia por el alimento, complicado por la restricción de espacio disponible de piso.

Palabras clave: CERDOS EN FINALIZACIÓN, ESPACIO DISPONIBLE/TAMAÑO DE GRUPO, BALANCE DE NUTRI-
MENTOS.

Recibido el 14 de agosto de 2007 y aceptado el 29 de abril de 2008.

*Trabajo parcialmente financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, de México, número de referencia: 31682-B.

**Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, km 2.5, carretera Cuautitlán-Teoloyucan, Cuautitlán-Izcalli, Estado de México, 54714, México.

***Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 1, carretera a Colón, 76280, Ajuchitlán-Colón, Querétaro, Tel. 01 (419) 2920036, correspondencia y separatas: gomez.sergio@inifap.gob.mx

Introduction

Pigs raised under commercial conditions are faced to different environmental factors in simultaneous and concurrent way which provoke a decrease in feed consumption and growth delay.^{1,2} Within these factors, overcrowding, associated with competence for available resources (feed, water, space), contribute to create a chronic stress situation. It has been suggested that pigs which suffer chronic stress present increases in cortisol secretion, inducing changes in the utilization of protein and energy, which reduces the efficiency of nutrient use, retention of protein and growth.³⁻⁵ Nevertheless, in pigs allocated in group there have been few studies trying to diagnose chronic type stress since there has been no method development, or appropriate physiological variables have not been determined.⁵

Several studies have recorded growth delays in pigs raised in group with adequate or restricted space.¹⁻⁴ Nevertheless, in some studies where cortisol concentrations and other stress indicators have been compared with individually or group allocated pigs, results have been variable. In piglets allocated individually or in group, with restricted space, no difference in cortisol or corticoids concentrations have been observed nor in the weight of adrenals.⁶⁻⁷ In growing pigs there have been recorded effects on adrenal weight by space restriction.⁸ These results coincide with the ones obtained in a recent work where no differences were found in cortisol, glucose, urea or glycerol concentrations among individually or group allocated pigs, provided with adequate or restricted space during the growing and finishing stages.³

In contrast with the aforementioned, in other study greater steroid activity was observed in pigs allocated in groups of 10 per pen, compared with the ones grouped in five.⁹ In another one, it was reported that pigs raised in pairs since weaning until adult age, submissive pigs had greater cortisol concentrations.¹⁰ Along with these discrepancies, several authors have suggested that the observed differences in the growth of pigs allocated individually or in group can be attributed to less feed consumption mainly in submissive pigs or to the increase in energy expenditure due to the increase in physical activity in pigs allocate in group.¹¹⁻¹³

From a nutrimental point of view, it is important to define if there are changes in the utilization of nutrients in the metabolism of pigs allocated in group, especially those allocated in restricted space, in order to decide and evaluate appropriate feeding strategies. Also, in pigs allocated in group it is important to evaluate different methods or chronic stress indicators, which in indirect way indicate alterations in biolo-

Introducción

Los cerdos criados bajo condiciones comerciales se enfrentan a diferentes factores ambientales en forma concurrente y simultánea que provocan disminución en el consumo de alimento y retrasos en el crecimiento.^{1,2} Dentro de estos factores, el hacinamiento, asociado con la competencia por los recursos disponibles (alimento, agua, espacio), contribuyen a crear una situación de estrés de tipo crónico. Se ha sugerido que los cerdos que sufren estrés crónico presentan incrementos en la secreción de cortisol, induciendo cambios en la utilización de proteína y energía, por lo que se reduce la eficiencia del uso de nutrimentos, la retención de proteína y el crecimiento.³⁻⁵ Sin embargo, en cerdos alojados en grupo se han realizado pocos estudios para tratar de diagnosticar estrés de tipo crónico debido a que no se han desarrollado métodos, o no se han determinado las variables fisiológicas apropiadas.⁵

En varios estudios se han registrado retrasos en el crecimiento en cerdos criados en grupo con espacio adecuado o restringido;¹⁻⁴ sin embargo, en algunos trabajos donde se han comparado las concentraciones de cortisol y otros indicadores de estrés en cerdos alojados individualmente y en grupo, los resultados han sido variables. En lechones alojados individualmente o en grupo, con espacio restringido, no se han observado diferencias en las concentraciones de cortisol o corticosteroides ni en el peso de las adrenales.⁶⁻⁷ En cerdos en crecimiento no se han registrado efectos sobre el peso de las adrenales por la restricción de espacio.⁸ Estos resultados coinciden con los obtenidos en un trabajo reciente en donde no se encontraron diferencias en las concentraciones de cortisol, glucosa, urea o glicerol entre cerdos alojados individualmente o en grupo, provistos con espacio adecuado o restringido en las etapas de crecimiento y finalización.³

Contrario a lo anterior, en otro estudio se observó mayor actividad esteroide en cerdos alojados en grupos de diez por corral, comparados con los grupos de cinco.⁹ En otro se informó que en cerdos criados en par desde el destete hasta la edad adulta, los cerdos sumisos tuvieron mayores concentraciones de cortisol.¹⁰ Aunado a estas discrepancias, varios autores han sugerido que las diferencias observadas en el crecimiento de cerdos alojados individualmente y en grupo son atribuibles al menor consumo de alimento, principalmente en los cerdos sumisos, o al aumento en el gasto de energía debido al incremento en la actividad física en los cerdos alojados en grupo.¹¹⁻¹³

Desde el punto de vista nutrimental, es importante definir si existen cambios en la utilización de nutrimentos en el metabolismo de cerdos alojados en grupo, en especial los alojados con espacio restringido, para

gic responses at digestive level or in the metabolism with the objective to develop alternatives to prevent or minimize the negative stress effects. Therefore, the aim of this research was to evaluate nitrogen and energy utilization in pigs allocated individually or in groups of two during the finishing stage.

Material and methods

The work was done at the Center of Disciplinary Research in Physiology and Animal Improvement, of the National Research Institute in Forestry, Agriculture and Animal Production, located in km 1 of the Ajuchitlan-Colon road, in Queretaro. Thirty two pigs were utilized, product of crossbreeding Duroc × Landrace, finished castrated males with an initial average weight 68.6 ± 1.0 kg. Ten days before starting the experiment, the pigs were allocated in individual pens where they were subjected to a period of adaptation to the feeding system, which consisted in the provision of two rations a day during half an hour. During this period, feed was given *ad libitum* and daily consumption was recorded.

Since the number of pigs and the available floor space are confounded within a treatment, this factor will subsequently be referred as density. Densities were created increasing the number of animals per pen, in order to generate different available floor spaces per pig, combined with different nutrition criteria. Pigs were assigned in a randomized complete block design to six treatments given by the combination of three densities and two periods of excreta collection. The evaluated densities were the following: D1AL, one pig individually allocated with free access to feed and 0.81 m² of floor space; D2AL, two pigs allocated in group, with free access to feed and 0.405 m² of floor space/pig; and DIP, a pig allocated individually paired-fed to the average consumption of pigs in D2AL and floor space similar to D1AL.

Pigs stayed 21 days in the experiment and were subjected to two collection periods of feces and urine. The first sampling was done on day 2 to 5, and the second one from day 18 to 21. Animals were allocated in metabolic crates provided by a removable feeder, which was used to offer feed and water between rations. Each crate had a mesh and a tray which allowed to collect feces and separate urine. The available space of the floor per crate was 0.81 m², excluding the space occupied by the feeder. Feed was formulated to cover or exceed nutrimental requirement in finishing pigs¹⁴ (Table 1), and was administered in two rations during 30 minutes each one, at 8 and 16 h, respectively.

In order to evaluate apparent digestibility and nutrient balance, total collection methodology was used, using ferric oxide (25 mg/kg of feed) as inert

decidir y evaluar estrategias alimentarias apropiadas. Además, en cerdos alojados en grupo es importante evaluar diferentes métodos o indicadores de estrés crónico, que de manera indirecta indiquen alteraciones en las respuestas biológicas, a nivel digestivo o en el metabolismo, con el fin de desarrollar alternativas para prevenir o minimizar los efectos negativos del estrés. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la utilización de nitrógeno y energía en cerdos alojados en forma individual y en grupos de dos en la etapa de finalización.

Material y métodos

El trabajo se realizó en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizado en el km 1 de la carretera Ajuchitlán-Colón, en Querétaro, México. Se utilizaron 32 cerdos, productos de un cruzamiento alterno Duroc × Landrace, machos castrados en finalización, con peso promedio inicial de 68.6 ± 1.0 kg. Diez días antes de iniciar el experimento, los cerdos se alojaron en jaulas individuales donde se sometieron a un periodo de adaptación al sistema de alimentación, que consistió en la provisión de dos comidas al día durante media hora. Durante este periodo, el alimento se proporcionó a libre acceso y se llevó un registro del consumo diario.

Debido a que el número de cerdos y el espacio disponible de piso están confundidos dentro de un tratamiento, este factor en lo sucesivo se expresa como densidad. Las densidades se crearon incrementando el número de animales por jaula, para generar diferentes espacios disponibles de piso por cerdo, combinados con diferente criterio de alimentación. Los cerdos fueron asignados al azar en un diseño de bloques completos a seis tratamientos dados por la combinación de tres densidades y dos periodos de recolección de excretas. Las densidades evaluadas fueron las siguientes: D1AL, un cerdo alojado individualmente con libre acceso al alimento y 0.81 m² de espacio de piso; D2AL, dos cerdos alojados en grupo, con libre acceso al alimento y 0.405 m² de espacio de piso/cerdo; y DIP, un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base en el gasto promedio de los cerdos en D2AL y espacio de piso igual a D1AL.

Los cerdos permanecieron 21 días en el experimento y se sometieron a dos periodos de recolección de heces y orina. El primer muestreo se realizó los días 2 al 5, y el segundo los días 18 al 21. Los animales se alojaron en jaulas metabólicas provistas de un comedero removible, que se usó para ofrecer el alimento y el agua entre comidas. Cada jaula tenía una

marker of the diet, to determine the start and finish of each collection period. The collection of feces and urine was done each 24 h. The feces were weighed and stored frozen at a temperature of -70°C . Later, the feces samples from the four days of collection were mixed; a sub-sample was taken and dehydrated using a dry stove at 55°C . They were ground using a 1 mm mesh. A daily aliquot of 5% was taken from urine and saved in amber colored bottle, after filtration, through a glass fiber, and weighed.

Nitrogen content in feed, feces and urine was determined using a Kjeldahl kit,* and gross energy, using a calorimetric pump;** besides, dry matter at 100°C was determined in feces and feed. All determinations were done following the AOAC procedures.¹⁵

The procedures to estimate the variables of response and their relation with the treatments were the following: Consumption of DM (kg/d), N (g/d) and E (Mcal/d): daily feed consumption was recorded, which was multiplied by nutrient concentration in feed. Previous studies have suggested¹⁻³ that the only explanation of growth differences between pigs individually allocated and in group is less consumption of nutrients in group of pigs. Consequently, consumption of nutrients was a variable of confirmation in this study. Besides, the consumption of nutrients is necessary to estimate its digestibility and retention.

Excretion of DM (kg/d), N (g/d) and E (Mcal/d) in feces: was estimated multiplying the quantity of feces produced (in dry base) by the nutrient concentration in feces. Normally this variable has a direct relation with feed consumption. It has also been suggested that under stress situations, the rate of intestinal transit may be incremented and the excretion of nutrients in feces can be increased.¹¹ This variable is required to estimate the digestibility and retention of nutrients.

Excretion of N (g/d) and E (Mcal/d) in urine: the total volume of urine produced was multiplied by nutrient concentration in urine. Some authors have indicated that pigs who suffer chronic stress present increments in cortisol secretion, which increases protein degradation and energy reserves, this means greater nitrogen excretion and urine energy.³⁻⁵ This variable is required for the estimation of nutrient retention.

DM, N and E digestibility (%): was determined by subtracting the quantity of excreted nutrients in feces from the quantity of consumed nutrients; the result was divided between the quantity of consumed nutrients. In a previous study decreases were recorded in the nutrients digestibility in pigs allocated in group, maybe due to changes in the digestive physiology caused by stress situations.¹¹

Retention of N (g) and E (Mcal/d): was obtained

malla y una charola que permitieron recolectar las heces y separar la orina. El espacio disponible de piso por jaula fue de 0.81 m^2 , excluyendo el espacio ocupado por el comedero. El alimento se formuló para cubrir o exceder el requerimiento de nutrimentos de cerdos en finalización¹⁴ (Cuadro 1), y se suministró en dos comidas con duración de 30 min cada una, a las 8 y 16 h, respectivamente.

Para evaluar la digestibilidad aparente y el balance de nutrimentos, se usó la metodología de recolección total, usando óxido férrico (25 mg/kg de alimento) como marcador inerte de la dieta, para delimitar el principio y el final de cada periodo de recolección. La recolección de heces y orina se realizó cada 24 h. Las heces se pesaron y almacenaron en congelación a -70°C . Posteriormente las muestras de heces de los cuatro días de colección se mezclaron, se tomó una submuestra y se deshidrató empleando estufa de secado a 55°C . Se molieron utilizando una malla de 1 mm. De orina se tomó una alícuota de 5% a diario y se guardó en una botella color ámbar, después de filtrarse, a través de fibra de vidrio, y pesarse .

En alimento, heces y orina se determinó el contenido de nitrógeno usando un equipo Kjeldahl,* y energía bruta, utilizando una bomba calorimétrica;** además, en las heces y alimento se determinó materia seca a 100°C . Todas las determinaciones se hicieron siguiendo los procedimientos del AOAC.¹⁵

Los procedimientos para estimar las variables de respuesta y su relación con los tratamientos fueron las siguientes: Consumo de MS (kg/d), N (g/d) y E (Mcal/d): se registró diariamente el consumo de alimento, el cual se multiplicó por la concentración del nutrimento en el alimento. En trabajos previos se ha sugerido¹⁻³ que la única explicación de las diferencias en el crecimiento entre cerdos alojados individualmente y en grupo es el menor consumo de nutrimentos en los cerdos en grupo. En consecuencia, en el presente estudio el consumo de nutrimentos fue una variable de constatación. Además, el consumo de nutrimentos es necesario para estimar su digestibilidad y retención.

Excreción de MS (kg/d), N (g/d) y E (Mcal/d) en heces: se estimó multiplicando la cantidad de heces producidas (en base seca) por la concentración de nutrimentos en las heces. Normalmente esta variable tiene una relación directa con el consumo de alimento. También se ha sugerido que bajo situaciones de estrés puede incrementarse la tasa de pasaje intestinal y aumentar la excreción de nutrimentos en las heces.¹¹ Esta variable es requerida para estimar la digestibilidad y retención de nutrimentos.

*Foss Kjeltex™ 2300, Dinamarca.

**PARR 1266, Estados Unidos de América.

Cuadro 1

FORMULACIÓN Y ANÁLISIS CALCULADO DE LA DIETA USADA
CALCULATED ANALYSIS AND FORMULATION OF THE DIET USED

<i>Ingredients</i>		<i>Calculated analysis</i>	
Sorghum	247.2	Metabolizable energy, Mcal/kg	3.2
Soy paste	50.0	Digestible protein, %	11.1
Canola paste	30.0	Digestible lysine, %	0.7
Barley, grain 11%	615.2	Digestible threonine, %	0.5
Fat	40.0	Calcium, %	0.6
Phosphate	1.5	Total phosphorus, %	0.2
Calcium carbonate	9.3		
Sodium, - NaCl - I	3.6		
L-Lysine-HCL	1.4		
L-Threonine	0.3		
DL-Methionine	0.1		
Vitamins ¹	1.0		
Minerals ²	0.4		

¹Vitamins, each kg provided 250 mg of biotine, 1 200 mg of folic acid, 3 375 000 UI of vitamin A, 1 200 mg of vitamin B₂, 500 mg of vitamin B₆, 17.50 mg of vitamin B₁₂, 675 000 UI of vitamin D₃, 20 000 UI of vitamin E, 6.8 g of calcium D-pantothenate, 26.95 g of niacine, 198 g of coline chloride and 75 g of antioxidant.

²Minerals, each kg provided 268 g of Na, 34 g of Ca, 29 g of Zn, 26 g of Fe, 2 700 mg of Mg, 6 140 mg of Mn, 2 200 mg of Cu, 216 mg of Cb, 100 of I and 27 mg of Se.

subtracting the quantity of excreted nutrients in feces and urine from the quantity of consumed nutrients. Increments in the concentration of excreted nutrients in the feces and urine, by the causes already mentioned, reduce the quantity of nutrients retained.

Percentage retention of N and E over consumed N and E: was estimated dividing the retention of nutrients between the consumed nutrients. It constitutes a measure of the digestive and metabolic use efficiency of the nutrients, since it indicates the proportion of retained nutrients in function with the nutrients consumed. This variable can be reduced by changes in the digestive assimilation of nutrients, as well as by changes in the metabolic use of nutrients due to stress situations.

Percentage retention of N and E over digested N and E: was estimated dividing the retention of nutrients between the quantity of digested nutrients. It constitutes a measure of metabolic efficiency use of the nutrients, since it indicates the proportion of retained nutrients in function with digested nutrients; that is, the ones which were absorbed. This variable may be reduced only by changes in the metabolic utilization of nutrients due to stress situations.

Excreción de N (g/d) y E (Mcal/d) en orina: se multiplicó el volumen total de orina producida por la concentración de nutrimentos en la orina. Algunos autores han indicado que los cerdos que sufren estrés crónico presentan incrementos en la secreción de cortisol, lo que aumenta la degradación de proteína y reservas de energía, ello significa mayor excreción de nitrógeno y energía en la orina.³⁻⁵ Esta variable es requerida para estimar la retención de nutrimentos.

Digestibilidad de MS, N y E (%): se estimó sustrayendo la cantidad de nutrimentos excretados en heces de la cantidad de nutrimentos consumidos; el resultado se dividió entre la cantidad de nutrimentos consumidos. En un estudio previo se registraron disminuciones en la digestibilidad de nutrimentos en cerdos alojados en grupo, quizá debido a los cambios en la fisiología digestiva causados por situaciones de estrés.¹¹

Retención de N (g) y E (Mcal/d): se obtuvo sustrayendo la cantidad de nutrimentos excretados en heces y orina de la cantidad de nutrimentos consumidos. Incrementos en la concentración de nutrimentos excretados en las heces y orina, por las causas ya mencionadas, reducen la cantidad de nutrimentos retenidos.

Statistical analysis

In order to analyze data, the pen was considered as experimental unit, using the procedures of the general linear model of the SAS statistic kit.¹⁶ A split-plot model with two factors was used: density and collection period.¹⁷ The major plot was the pen, being defined by density; the error term was density within the block; the minor plot was the collection period and its density interaction. In its case, the differences between means were analyzed using the least significant difference method. Means shown in the result tables are the ones of the minimum squares. For D1AL and D1P results represent the average of one pig, and for D2AL results correspond to the average of two pigs. Results of nutrient excretion in feces and urine correspond to the average of four days of collection of each period.

Results

Results of utilization of dry matter are shown in Table 2. In consumption of dry matter, the density by period interaction resulted significant ($P < .01$), since in period 1 it was greater in D1AL with respect to D2AL and D1P; between D2AL and D1P there were no differences and in period 2, the consumption of dry matter was greater in D1AL, intermediate in D1P and lower in D2AL. The excretion of dry matter in D1AL was greater than D2AL and D1P (245.5, 144.4 and 169.2 g/d, EEM = 10.67; $P < 0.01$). In relation to the period, the excretion of dry matter was lower in period 1 than in period 2 (157.9 and 214.8 g/d, EEM = 8.70; $P < 0.01$). The digestibility of dry matter was greater in period 1 than in period 2 (90.4% and 89.0%, EEM = 0.48; $P < 0.01$).

The results of the nitrogen utilization are shown in Table 3. In the nitrogen consumption and retained nitrogen in grams, the interaction density \times period resulted significant ($P < 0.01$) since in period 1 they were greater in D1AL, compared to D2AL and D1P, there were no statistical differences between both; in period 2, these two variables were different between densities: greater in D1AL, intermediate in D1P and lower in D2AL. In the percentage of retained nitrogen over the digested nitrogen density interaction \times period resulted significant ($P < 0.05$), since in period 1 it was not statistically different between densities; while in period two it was greater in D1AL, compared with D2AL and D1P, and between these last densities there were no significant differences. Nitrogen excretion in feces was greater in D1AL and statistically similar between D2AL and D1P (9.8, 6.6 and 5.6 g/d, EEM = 0.42; $P < 0.01$). In relation to the period, nitrogen excretion in urine was lower in period 1 than in period 2 (13.7 and 16.4 g/d, EEM = 0.81; $P < 0.01$). Nitrogen excre-

Porcentaje de retención en N y E sobre el N y E consumidos: se estimó dividiendo la retención de nutrientes sobre la cantidad de nutrientes consumidos. Constituye una medida de la eficiencia de uso digestivo y metabólico de los nutrientes ya que indica la proporción de nutrientes retenidos en función de los nutrientes consumidos. Esta variable puede reducirse por cambios en la asimilación digestiva de nutrientes, así como por cambios en la utilización metabólica de nutrientes debido a situaciones de estrés.

Análisis estadísticos

Para analizar los datos, la jaula se consideró como unidad experimental, usando los procedimientos de los modelos lineales generales del paquete estadístico SAS.¹⁶ Se usó un modelo de parcelas divididas con dos factores: densidad y periodo de recolección.¹⁷ La parcela mayor fue la jaula, quedando definida por la densidad; el término de error fue la densidad dentro del bloque; la parcela menor fue el periodo de recolección y su interacción con la densidad. En su caso, las diferencias entre medias se analizaron usando el método de la diferencia mínima significativa. Las medias que se presentan en los cuadros de resultados son las de los mínimos cuadrados. Para D1AL y D1P los resultados representan el promedio de un cerdo, y para D2AL los resultados corresponden al promedio de dos cerdos. Los resultados de excreción de nutrientes en heces y orina corresponden al promedio de los cuatro días de recolección de cada periodo.

Resultados

Los resultados de utilización de materia seca se presentan en el Cuadro 2. En el consumo de materia seca la interacción densidad por periodo resultó significativa ($P < .01$), ya que en el periodo 1 fue mayor en D1AL con respecto a D2AL y D1P; entre D2AL y D1P no hubo diferencias y en el periodo 2, el consumo de materia seca fue mayor en D1AL, intermedio en D1P y menor en D2AL. La excreción de materia seca en D1AL fue mayor que en D2AL y D1P (245.5, 144.4 y 169.2 g/d, EEM = 10.67; $P < 0.01$). En relación con el periodo, la excreción de materia seca fue menor en el periodo 1 que en el periodo 2 (157.9 y 214.8 g/d, EEM = 8.70; $P < 0.01$). La digestibilidad de materia seca fue mayor en el periodo 1 que en el periodo 2 (90.4% y 89.0%, EEM = 0.48; $P < 0.01$).

Los resultados de la utilización de nitrógeno se muestran en el Cuadro 3. En el consumo de nitrógeno y el nitrógeno retenido en gramos la interacción densidad \times periodo resultó significativa ($P < 0.01$) debido a que en el periodo 1 fueron mayores en D1AL, compa-

Cuadro 2

EFFECTO DE LA DENSIDAD Y DEL PERIODO SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LA MATERIA SECA
DENSITY AND PERIOD EFFECT ON DRY MATTER UTILIZATION

Density ^a	D1AL		D2AL		DIP		SEM ^f
	1	2	1	2	1	2	
Consumption, kg/d ^d	1.98	2.42	1.56	1.64	1.55	1.92	0.059
Excretion, g/d ^{ef}	200.1	290.85	124.2	164.58	149.4	189.0	14.91
Digestibility, % ^f	89.7	88.1	91.6	88.9	89.8	90.0	0.807

^aD1AL = an individually allocated pig with *ad libitum* consumption and 0.81 m² of floor; D2AL = two pigs allocated in group with *ad libitum* consumption and 0.40 m² of floor/pig; DIP = a paired-fed pig individually allocated based on average consumption of the pigs in density 2, with 0.81 m² of floor.

^bPeriod 1 = days 2-5; period 2 = days 18-21.

^cStandard error of the mean.

^dDensity × period interaction effect, P < 0.01.

^eDensity effect, P < 0.01.

^fPeriod effect, P < 0.01.

tion in feces was lower in period 1 than in 2 (6.1 and 8.5 g/d, EEM = 0.35; P < 0.01). Nitrogen digestibility was greater in period 1 than in 2 (86.4% and 84.2%, EEM = 0.66; P < 0.05).

The results of energy utilization are shown in Table 4. In the energy consumption and energy retained in megacalories, the interaction density × period resulted significant (P < 0.01) since in period 1 they were greater in D1AL with respect to D2AL and DIP, with no differences between D2AL and DIP; while in period 2, these two variables were different between densities being greater in D1AL, intermediate in DIP and lower D2AL. In the retained energy percentage over the consumed and the percentage of retained energy over the digested, the interaction density × period resulted significant (P < 0.10), since in period 1 they were statistically similar between densities; in period 2 these two variables were greater in D1AL with respect to D2AL, while in DIP they were not statistically different to D1AL and neither to D2AL. The energy excretion in feces was greater in D1AL and similar between D2AL and DIP (1.1, 0.7 and 0.7 Mcal/d, EEM = 0.05; P < 0.01). In period 1, the excretion of energy in feces was lower than in period 2 (0.7 and 1.0 Mcal, EEM = 0.04; P = 0.01). The energy digestibility was greater in period 1 than in 2 (90.7 and 89.3%, EEM = 0.46; P < 0.05).

Discussion

Pigs allocated in group were incapable of increasing the consumption of dry matter, nitrogen and energy in the second period of collection, in contrast with the pigs allocated individually with free access

rados con D2AL y DIP, entre ambos no hubo diferencias estadísticas; en el periodo 2, estas dos variables fueron diferentes entre densidades: mayores en D1AL, intermedias en DIP y menores en D2AL. En el porcentaje de nitrógeno retenido sobre el nitrógeno digerido la interacción densidad por periodo resultó significativa (P < 0.05), ya que en el periodo 1 no fue diferente estadísticamente entre densidades; mientras que en el periodo 2 fue mayor en D1AL, comparado con D2AL y DIP, y entre estas últimas densidades no se observaron diferencias significativas. La excreción de nitrógeno en heces fue mayor en D1AL y similar estadísticamente entre D2AL y DIP (9.8, 6.6 y 5.6 g/d, EEM = 0.42; P < 0.01). Con respecto al periodo, la excreción de nitrógeno en orina fue menor en el periodo 1 que en el periodo 2 (13.7 y 16.4 g/d, EEM = 0.81; P < 0.01). La excreción de nitrógeno en heces fue menor en el periodo 1 que en el 2 (6.1 y 8.5 g/d, EEM = 0.35; P < 0.01). La digestibilidad de nitrógeno fue mayor en el periodo 1 que en el 2 (86.4% y 84.2%, EEM = 0.66; P < 0.05).

Los resultados de utilización de energía se presentan en el Cuadro 4. En el consumo de energía y la energía retenida en megacalorías la interacción densidad × periodo resultó significativa (P < 0.01) debido a que en el periodo 1 fueron mayores en D1AL con respecto a D2AL y DIP, no habiendo diferencias entre D2AL y DIP; mientras que en el periodo 2, estas dos variables fueron diferentes entre densidades siendo mayores en D1AL, intermedias en DIP y menores en D2AL. En el porcentaje de energía retenida sobre la consumida y el porcentaje de energía retenida sobre la digerida la interacción densidad × periodo resultó significativa (P

Cuadro 3
EFECTO DE LA DENSIDAD Y DEL PERIODO SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO
DENSITY AND PERIOD EFFECT ON NITROGEN UTILIZATION

<i>Density</i> ^a	<i>D1AL</i>		<i>D2AL</i>		<i>D1P</i>		<i>SEM</i> ^f	
	<i>Period</i> ^b	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>		<i>2</i>
Consumed, g/d ^d		60.9	73.1	45.2	46.9	45.8	56.6	1.849
In urine, g/d ^e		8.3	12.3	4.8	6.6	5.2	6.8	0.610
In feces, g/d ^{ef}		16.3	17.8	11.0	15.6	13.6	15.7	1.433
Digestibility, % ^g		85.3	82.7	88.0	84.3	87.1	86.8	1.160
Retained, g/d ^d		36.1	44.4	29.5	2.4	26.3	33.9	2.379
Retained/consumed, %		58.4	60.4	60.0	51.0	54.8	58.4	3.032
Retained/digested, % ^h		68.3	71.5	67.6	59.8	62.0	67.0	3.198

^aD1AL = an individually allocated pig and with *ad libitum* consumption with 0.81 m² of floor; D2AL = two pigs allocated in group with *ad libitum* consumption with 0.40 m² of floor/pig; D1P = a paired-fed individually allocated pig based on the average consumption of the pigs in density 2, with 0.81 m² of floor.

^bPeriod 1 = days 2-5; period 2 = days 18-21.

^cMean standard error.

^dDensity × period interaction effect, P < 0.01.

^ePeriod effect, P < 0.01.

^fDensity effect, P < 0.01.

^gPeriod effect, P < 0.05.

^hDensity × period interaction effect, P < 0.05.

Cuadro 4
EFECTO DE LA DENSIDAD Y DEL PERIODO SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA
DENSITY AND PERIOD EFFECT ON ENERGY UTILIZATION

<i>Density</i> ^a	<i>D1AL</i>		<i>D2AL</i>		<i>D1P</i>		<i>SEM</i> ^f	
	<i>Period</i> ^b	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>		<i>2</i>
Consumed, Mcal/d ^d		9.7	11.6	7.3	7.6	7.4	9.1	0.30
In urine, Mcal/d		2.0	1.9	1.3	1.7	1.5	1.8	0.18
In feces, Mcal/d ^{ef}		0.9	1.4	0.6	0.8	0.6	0.8	0.07
Digestibility, % ^g		90.1	88.5	91.8	89.1	91.1	91.1	0.81
Retained, Mcal/d ^d		6.7	8.6	5.5	5.2	5.2	6.6	0.35
Retained/consumed, % ^h		70.0	74.1	72.8	66.4	69.1	70.7	2.46
Retained/digested, % ^h		77.7	83.0	79.2	73.8	75.4	77.5	2.51

^aD1AL = an individually allocated pig and with *ad libitum* consumption with 0.81 m² of floor; D2AL = two pigs allocated in group with *ad libitum* consumption with 0.40 m² of floor/pig; D1P = a paired-fed individually allocated pig based on the average consumption of the pigs in density 2, with 0.81 m² of floor.

^bPeriod 1 = days 2-5; period 2 = days 18-21.

^cMean standard error.

^dDensity × period interaction effect, P < 0.01.

^eDensity effect, P < 0.01.

^fPeriod effect, P < 0.01.

^gPeriod effect, P < 0.05.

^hDensity × period interaction effect, P < 0.10.

to feed. This incapacity of pigs allocated in group to increase the consumption of feed could be due to the continuous fighting and aggressive conduct of the dominant pigs in the group, maybe that caused the activation of different biological responses to counteract stress within the ones that have behavioral changes and activation of the autonomous nervous system and neuroendocrine.¹⁸ The changes in conduct response can include the reduction in the number of visits to the feeder, in order to avoid confrontation for feed.^{3,11} Besides, it is possible that within endocrine responses a greater secretion of cytokines and other factors may be present at cellular level inhibiting protein synthesis, thus reducing the requirement of nutrients and, consequently, feed consumption.^{1,19,20}

The incapacity of pigs in group for increasing feed consumption during the second collection period, suggests that these could have suffered chronic type stress. The aforementioned is sustained in works where it has been observed that pigs experimenting chronic type stress show greater neuroendocrine susceptibility, manifested in cortisol increase after an ACTH challenge,^{21,22} or after subjecting pigs to a new stress source.^{10,19} This hypothesis coincides with the models for long duration stress study suggested by several authors,^{5,19} in which stress suffered by pigs allocated in groups has been classified as intermittent chronic stress. These suggestions coincide with the lower efficacy of nitrogen retention (Table 3) and energy (Table 4) observed in pigs in group during the second period of excreta collection.

The greater excretion of dry matter, nitrogen and energy in feces observed in pigs individually allocated with *ad libitum* feed consumption can be associated with greater consumption of these nutrients, since in previous studies, a positive lineal relation between consumption and excretion has been found, which means that the greater nutrient consumption, the greater excretion will be.²³⁻²⁵ When feed consumption is continuous, an increase in peristaltic movements can be provoked, which are controlled by distension reflexes in the digestive tract walls, so that at greater wall distension, the greater the stimulus to move food towards the posterior portions of the tract. This greater peristalsis can cause food not to stay in the intestine enough time to be completely digested; therefore, excretion of nutrients increase.¹¹

According to the last, in several previous studies it has been demonstrated that there is also an inverse relation between feed consumption and nutrient digestibility.²³⁻²⁵ Probably, this could also explain the greater excretion and the lower digestibility of dry matter, nitrogen and energy observed in period 2, in respect with period 1, given the greater feed consumption in pigs during period 2.

< 0.10), ya que en el periodo 1 fueron similares estadísticamente entre densidades; en el periodo 2 estas dos variables fueron mayores en D1AL con respecto a D2AL, mientras que con DIP no fueron estadísticamente diferentes a D1AL y tampoco a D2AL. La excreción de energía en heces fue mayor en D1AL y similar entre D2AL y DIP (1.1, 0.7 y 0.7 Mcal/d, EEM = 0.05; $P < 0.01$). En el periodo 1, la excreción de energía en heces fue menor que en el periodo 2 (0.7 y 1.0 Mcal, EEM = 0.04; $P < 0.01$). La digestibilidad de la energía fue mayor en el periodo 1 que en el 2 (90.7% y 89.3%, EEM = 0.46; $P < 0.05$).

Discusión

Los cerdos alojados en grupo fueron incapaces de aumentar el consumo de materia seca, nitrógeno y energía en el segundo periodo de recolección, a diferencia de lo observado en cerdos alojados individualmente con libre acceso al alimento. Esta incapacidad de los cerdos alojados en grupo por aumentar el consumo de alimento pudo deberse a los continuos enfrentamientos y conducta agresiva de los cerdos dominantes en el grupo, ello quizá ocasionó la activación de diferentes respuestas biológicas para contrarrestar el estrés dentro de los que se tienen cambios conductuales y la activación del sistema nervioso autónomo y neuroendocrino.¹⁸ Los cambios en las respuestas conductuales pueden incluir la reducción del número de visitas al comedero, para así evitar la confrontación por el alimento.^{3,11} Además, es posible que dentro de las respuestas endocrinas se presente una mayor secreción de citocinas y otros factores que a nivel celular inhiban la síntesis de proteína, reduciendo así el requerimiento de nutrimentos y, consecuentemente, el consumo de alimento.^{1,19,20}

La incapacidad de los cerdos en grupo por aumentar el consumo de alimento en el segundo periodo de recolección sugiere que éstos podrían haber sufrido estrés de tipo crónico. Lo anterior se sustenta en trabajos donde se ha observado que los cerdos que experimentan estrés de tipo crónico presentan mayor susceptibilidad neuroendocrina, manifestada en incremento de cortisol después de un desafío con ACTH,^{21,22} o bien, después de someter a los cerdos a nueva fuente de estrés.^{10,19} Esta hipótesis coincide con los modelos para el estudio de estrés de larga duración sugeridos por varios autores,^{5,19} en los que el estrés que sufren los cerdos alojados en grupo se ha catalogado como estrés crónico intermitente. Estas sugerencias coinciden con la menor eficiencia de retención de nitrógeno (Cuadro 3) y energía (Cuadro 4) observada en los cerdos en grupo en el segundo periodo de recolección de excretas.

La mayor excreción de materia seca, nitrógeno y

Paired-fed pigs individually allocated were included in the study with the objective of trying to differentiate the response originated by stress factors and the ones originated by lower consumption of feed expected in the pigs allocated in group. The pigs that are subjected to restricted consumption show greater efficacy in the utilization of nutrients, compared with the pigs which have free access to feed.²⁶⁻²⁸ Nevertheless, this response is not present in pigs allocated in group, even though they have less feed consumption their feeding efficacy is generally similar^{3,11} or inferior to the one in individually allocated pigs,^{2,4} perhaps because the use of nutrients in pigs allocated in groups is less efficacious due to the competence and presence of different stress factors. In order to isolate this effect, it was found that paired-fed pigs individually allocated, in theory, without the competence stress, showed greater efficacy in nutrient utilization than the pigs in groups, although their feed consumption was similar (paired).

The absence of nutrient digestibility differences among the pigs individually allocated, with free access to feed, and group allocated pigs, contrasts with the result of a previous study where greater digestibility in individually allocated pigs was observed,²⁹ but coincides with the recorded by Gomez *et al.*,¹¹ who found that finishing pigs individually allocated and in groups of four presented no difference in nutrient digestibility. Nevertheless, it must be highlighted that in the present work, pigs individually allocated, fed ad libitum, showed greater feed consumption; therefore, greater fecal excretion of nutrients; nevertheless, in spite of this, they did not have less nutrient digestibility in respect to the pigs allocated in groups, which suggests that maybe the pigs in group really had less digestibility, but this response could not be detected due to the effect of feed consumption. Other factors that could have influence in nutrient digestibility in the present study with respect to previous studies, are the difference in the type of used allocation, the number of pigs allocated by pen, and probably due to the excreta collection method and method of nutrient digestibility estimation.³⁰

In some previous studies it had been suggested that the growth differences among pigs individually allocated and in group could be attributed to the inferior feed consumption of the firsts.^{3-6,11} Nevertheless, in this study it was found that, besides the reduction in feed consumption, pigs allocated in group had less retention of nitrogen and energy, that is, that a group formed by two pigs the efficacy in nutrient retention was reduced. It has been reported that within the endocrine responses that are present in pigs subjected to stress, there is a cortisol increase, which stimulates hepatic gluconeogenesis, mobilizing simultaneously

energía en heces observada en cerdos alojados individualmente con consumo a libertad puede asociarse con mayor consumo de estos nutrientes, pues en trabajos previos se ha encontrado una relación lineal positiva entre el consumo y la excreción, lo cual significa que entre mayor es el consumo de nutrientes, mayor será su excreción.²³⁻²⁵ Esto último puede deberse a que cuando el consumo de alimento es continuo, se puede provocar un incremento de los movimientos peristálticos que son controlados por reflejos de distensión en las paredes del tracto digestivo, de manera que a mayor distensión de las paredes, mayor es el estímulo para mover el alimento a las porciones posteriores del tracto. Este mayor peristaltismo puede provocar que el alimento no permanezca en el intestino el tiempo suficiente para que se digiera completamente, por lo que la excreción de nutrientes aumenta.¹¹

En concordancia con lo anterior, en varios estudios previos se ha demostrado que también existe relación inversa entre el consumo de alimento y la digestibilidad de nutrientes.²³⁻²⁵ Probablemente esto también podría explicar la mayor excreción y la menor digestibilidad de materia seca, nitrógeno y energía observadas en el periodo 2, con respecto al periodo 1, dado el mayor consumo de alimento en los cerdos durante el periodo 2.

Los cerdos alojados individualmente con consumo pareado fueron incluidos en el trabajo con el fin de tratar de diferenciar las respuestas originadas por los factores de estrés y las originadas por los menores consumos de alimento esperados en los cerdos alojados en grupo. Los cerdos que son sometidos a consumo restringido presentan mayor eficiencia en la utilización de nutrientes, a diferencia de los cerdos que tienen libre acceso al alimento.²⁶⁻²⁸ Sin embargo, esta respuesta no se presenta en cerdos alojados en grupo, ya que aunque tengan menores consumos de alimento generalmente su eficiencia alimentaria es similar^{3,11} o inferior a la de los cerdos alojados individualmente,^{2,4} quizá debido a que el uso de los nutrientes en cerdos alojados en grupo es menos eficiente por la competencia y presencia de diferentes factores de estrés. Para aislar este efecto, se encontró que los cerdos alojados individualmente con consumo pareado, en teoría, sin el estrés de la competencia, mostraron mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes que los cerdos en grupo, aunque su consumo de alimento fue similar (pareado).

La falta de diferencias en la digestibilidad de nutrientes entre cerdos alojados individualmente, con libre acceso al alimento, y cerdos alojados en grupo, contrasta con el resultado de un estudio previo donde se observó mayor digestibilidad en cerdos alojados individualmente,²⁹ pero concuerda con lo registrado por Gómez *et al.*,¹¹ quienes encontraron que los cerdos

fat reserves and muscular proteins to provide substrates for glucose synthesis.^{31,32} The resultant nitrogen of the muscular protein degradation is removed and dismissed from the organism throughout urea synthesis and urine excretion. Urea synthesis is a high cost process for the animal, in an energy point of view, since the global process requires three ATP moles and the participation of five enzymes,³³ besides some of the energy is excreted in the same urea.²⁷ Maybe this was the cause of the reductions in the nutrient retention efficacy in pigs allocated in group.

Finishing pigs allocated in group showed lower efficiency in nitrogen and energy use in the metabolism, in contrast to pigs individually allocated and with free access to feed during the final experimental stage. This lower efficiency could indicate increase in fat and protein reserve degradation, as consequence of chronic stress, due to competence for feed, aggravated by available floor restriction.

Referencias

1. Chapple RP. Effects of stocking arrangement on pig performance. In: Batterham ES, editor. Manipulating pig production IV. Aust Pig Sci Assoc Victoria, Australia 1993:87-104.
2. Hyun Y, Ellis M, Riskowski G, Johnson RW. Growth performance of pigs subjected to multiple concurrent environmental stressors. *J Anim Sci* 1998;76:721-727.
3. Hernández CMG, Ángeles ML, Zapata SL, Montaña BM, Gómez RS. Efectos de la densidad por corral sobre la producción y las concentraciones sanguíneas de metabolitos y cortisol en cerdos en crecimiento y finalización. *Vet Méx* 2006;37:59-77.
4. Merino CB, Gómez RS, Cuarón IJA. Requerimientos de lisina digestible de cerdos de 14 a 50 kg de peso corporal sujetos a diferentes condiciones de manejo y alojamiento. *Téc Pecu Méx* 2005;43:139153.
5. Ladewig J. Chronic intermittent stress: A model for the study of long-term stressors. In: Moberg GP, Mench JA, editors. The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare. London, UK: CAB International, 2000:111-121.
6. Kornegay ET, Meldrum JB, Chickering WR. Influence of floor space allowance and dietary selenium and zinc on growth performance, clinical pathology measurements and liver enzymes, and adrenal weights of weanling pigs. *J Anim Sci* 1993;71:3185-3198.
7. Bustamante M, Jesse GW, Becker BA, Krause GF. Effects of individual *vs* group penning on the performance of weanling pigs. *J Anim Sci* 1996;74:1457-1461.
8. Yen JT, Pond WG. Effect of dietary supplementation with vitamin C or carbadox on weanling pigs subjected to crowding stress. *J Anim Sci* 1987;64:1672-1680.
9. Lindemann MD, Kornegay ET, Meldrum JB, Schuring G, Gwazdauskas FG. The effect of feeder space allowance on weaned pig performance. *J Anim Sci* 1987;64:8-20.

en finalización alojados individualmente y en grupos de cuatro no presentaron diferencias en la digestibilidad de nutrimentos. Sin embargo, se debe resaltar que en el presente trabajo, los cerdos alojados individualmente, alimentados a libertad, mostraron mayor consumo de alimento y, por ende, mayor excreción fecal de nutrimentos; sin embargo, a pesar de ello, no tuvieron menor digestibilidad de nutrimentos respecto de los cerdos alojados en grupo, lo cual sugiere que quizá los cerdos en grupo realmente tuvieron menor digestibilidad, pero esta respuesta no se pudo detectar debido al efecto del consumo de alimento. Otros factores que pudieron influir en la digestibilidad de nutrimentos en el presente estudio con respecto a trabajos previos, son las diferencias en el tipo de alojamiento usado, el número de cerdos alojados por corral, y probablemente debido al método de recolección de excretas y método de estimación de la digestibilidad de nutrimentos.³⁰

En algunos estudios previos se había sugerido que las diferencias en crecimiento entre cerdos alojados en grupo e individualmente podían atribuirse al menor consumo de alimento de los primeros.^{3,6,11} Sin embargo, en este estudio se encontró que, además de la reducción en consumo de alimento, los cerdos alojados en grupo tuvieron menor retención de nitrógeno y energía, es decir, que con un grupo conformado por dos cerdos se redujo la eficiencia de retención de nutrimentos. Se ha informado que dentro de las respuestas endocrinas que se presentan en los cerdos sujetos a estrés, hay un incremento en la secreción de cortisol, el cual estimula la gluconeogénesis hepática, movilizándolo simultáneamente las reservas grasas y proteínas musculares para proveer sustratos para la síntesis de glucosa.^{31,32} El nitrógeno resultante de la degradación de la proteína muscular es removido y desechado del organismo a través de la síntesis de urea y excretado en la orina. La síntesis de urea es un proceso costoso para el animal, desde el punto de vista energético, ya que el proceso global requiere de tres moles de ATP y la participación de cinco enzimas,³³ además de que parte de la energía se excreta en la misma urea.²⁷ Quizá ésta fue la causa de las reducciones en la eficiencia de retención de nutrimentos en los cerdos alojados en grupo.

Los cerdos en finalización alojados en grupo mostraron menor eficiencia en el uso de nitrógeno y energía en su metabolismo, en relación con cerdos alojados individualmente y con libre acceso al alimento en la fase final del experimento. Esta menor eficiencia podría indicar incremento en la degradación de las reservas de grasa y proteína, como consecuencia de estrés crónico, debido a la competencia por el alimento, agravado por la restricción de espacio disponible de piso.

10. De Jonge FH, Bokkers EAM, Schouen WGP, Helmond FA. Rearing piglets in a poor environment: Developmental aspects of social stress in pigs. *Physiol Behav* 1996;60:389-396.
11. Gomez RS, Lewis AJ, Miller PS, Chen HY. Growth performance and metabolic responses of gilts penned individually or in groups of four. *J Anim Sci* 2000;78:597-603.
12. Gonyou HW, Chapple RP, Frank GR. Productivity time budgets and social aspects of eating in pigs penned in groups of five or individually. *Appl Anim Behav Sci* 1992;34:291-301.
13. Randolph JH, Cromwell GL, Stahly TS, Kratzer DD. Effects of group size and space allowance on performance and behavior of swine. *J Anim Sci* 1981;53:922-927.
14. National Research Council. *The Nutrient Requirements of Swine*. 8th rev. Ed. Washington, DC, USA: National Academy Press;1998.
15. AOAC. *Official methods of analysis*. 15th ed. Arlington, VA, USA; Association of Official Analytical Chemists. 1995.
16. SAS Institute Inc. *SAS/STAT User's Guide*, Version 6th ed. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1989.
17. Steel RG, Torrie JH. *Principles and Procedures of Statistics: A biometrical approach*. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co,1980.
18. Moberg GP. Biological response to stress: implications for animal welfare. In: Moberg GP, Mench JA, editors. *The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare*. London, UK: CAB International, 2000:111-121.
19. Webel DM, Finck BN, Baker DH, Johnson RW. Time course of increased plasma cytokines, cortisol and urea nitrogen in pigs following intraperitoneal injection of lypopolysaccharide. *J Anim Sci* 1997;75:1514-1520.
20. Williams NH, Stahly TS, Zimmerman DR. Effect of level of chronic immune system activation on the growth and dietary lysine needs of pigs fed from 6 to 112 kg. *J Anim Sci* 1997;75:2481-2496.
21. Mendl M, Zanella AJ, Broom DM. Physiological and reproductive correlates of behavioural strategies in female domestic pigs. *Anim Behav* 1992;44:1107-1121.
22. Janssens CJG, Helmond FA, Wiegant VM. Increased cortisol response to exogenous adrenocorticotrophic hormone in cronically stressed pigs: influence of housing conditions. *J Anim Sci* 1994;72:1771-1777.
23. Haydon KH, Knabe DA, Tanksley TD Jr. Effects of level of feed intake on nitrogen, amino acid and energy digestibilities measured at the end of the small intestine and over the total digestive tract of growing pigs. *J Anim Sci* 1984;59:717-724.
24. Rao DS, McCracken KJ. Effect of energy intake on protein and energy metabolism of boars of high genetic potential for lean growth. *Anim Prod* 1991;52:499-507.
25. Rao DS, McCracken KJ. Energy:protein interactions in growing boars of high genetic potential for lean growth. 1. Effects on growth, carcass characteristics and organ weights. *Anim Prod* 1992;54:75-82.
26. Reinhart GA, Mahan DC, Cera KR. Effect of group size and nutrient digestibility studies with weanling pigs. *J Anim Sci* 1989;67:2684-2691.
27. Gomez RS, Lewis AJ, Miller PS, Chen H-Y. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J Anim Sci* 2002;80:644-653.
28. Chiba LL, Lewis AJ, Peo Jr ER. Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms: I. Rate and efficiency of weight gain. *J Anm Sci* 1991;69:694-707.
29. De Haer LCM, de Vries AG. Feed intake patterns of and feed digestibility in growing pigs housed individually or in groups. *Livest Prod Sci* 1993;33:277-292.
30. Adeola O. Digestion and balance techniques in pigs. In: Lewis AJ, Southern LL, editors. *Swine Nutrition*. Florida USA: CRC Press, 2001:903-914.
31. Tyrrell BJ, Forshman PH. Glucocorticoides y androgenos suprarrenales. Greenspan FS, Forsham PH, editors. *Endocrinología básica y clínica*. México DF: El Manual Moderno, 1988:267-303.
32. Goldstein RE, Rossetti L, Palmer BAJ, Liu R, Massillon D, Scott M *et al*. Effects of fasting and glucocorticoids on hepatic gluconeogenesis assessed using two independent methods *in vivo*. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2002;283:946-957.
33. Murray RK, Granner DK, Mayes PA, Rodwell VW. *Metabolismo de proteínas y aminoácidos*. Bioquímica de Harper. México DF: El Manual Moderno, 1988:268-277.