

# Balance de nitrógeno, emisión de amonio y olores de cerdos alimentados con dietas bajas en proteína

## Nitrogen balance, ammonia and odor emissions in growing pigs fed reduced protein diets

Harold Anindo Rachuonyo<sup>ab</sup>, Michael Ellis<sup>b</sup>, Diego Braña Varela<sup>bc</sup>, Stanley Evan Curtis<sup>b</sup>, José Antonio Cuarón Ibarguengoytia<sup>bc</sup>

### RESUMEN

El efecto de reducir el nivel de proteína cruda (PC) en la dieta de cerdos en crecimiento se evaluó en dos estudios, usando dietas formuladas para un nivel normal (19%) o reducido (14%) de PC, manteniendo constante la lisina ileal digestible estandarizada (0.85%) y energía (3.37 Mcal ME/kg). El estudio I midió el balance de N en 24 cerdos con peso inicial de  $17.7 \pm 1.29$  kg, mientras que el estudio II usó 24 cerdos con peso inicial de  $17.9 \pm 0.76$  kg, para medir las emisiones aéreas de  $\text{NH}_3$  y los niveles de olor en cámaras con flujo de aire dinámico por 21 días. En el estudio I, el N consumido (26.6 %), urinario (56 %) y su excreción total (41 %) se redujeron ( $P < 0.001$ ) en la dieta de PC reducida, mientras que excreción fecal de N fue similar ( $P > 0.4$ ). En el estudio II, reducir la PC no afectó ( $P > 0.10$ ) el comportamiento productivo, pero tendió a reducir ( $P < 0.10$ ) el pH de los purines (6.71, normal a  $6.21 \pm 0.186$  PC reducida) y las emisiones de  $\text{NH}_3$  luego del día 9 (interacción dieta y día de estudio,  $P < 0.001$ ). El olor en muestras tomadas a 14 y 21 días, no difirió (512 y  $540 \pm 115.6$  diluciones al umbral de olor, para PC reducida y normal), pero sí aumentó ( $P < 0.01$ ) con el tiempo de alimentación (440 y  $612 \pm 111.3$  diluciones a 14 y 21 días). Los resultados sugieren que por cada unidad porcentual de reducción en la PC se reduce la excreción de N (8 %) y las emisiones de  $\text{NH}_3$  en purines (15 %), sin cambiar la intensidad del olor.

**PALABRAS CLAVE:** Amoniaco, Balance de nitrógeno, Olor, Purín de cerdo.

### ABSTRACT

The effect of reducing the crude protein (CP) levels in diets fed to growing pigs, was evaluated in two experiments, each using two diets formulated to contain either a normal (19%) or a reduced CP level (14%), with constant levels for standardized ileal digestible lysine (0.85%), and metabolizable energy (3.37 Mcal ME/kg). Exp I measured the N balance of pigs ( $n = 24$ ) initially weighing  $17.7 \pm 1.29$  kg, while Exp II used 24 pigs from  $17.9 \pm 0.76$  kg to assess aerial ammonia ( $\text{NH}_3$ ) emissions and odor levels in dynamic airflow chambers for 21 d. In Experiment I, N intake (26.6 %), urinary N (56 %), and total N excretion (41 %) were lower ( $P < 0.001$ ) for the reduced CP level, while fecal N excretion was similar ( $P > 0.4$ ). In Experiment II, reducing dietary CP did not affect ( $P > 0.10$ ) growth performance, but tended to reduce ( $P < 0.10$ ) manure pH (6.71, normal and  $6.21 \pm 0.186$  for reduced CP) and  $\text{NH}_3$  emissions, which were diminished after d-9 trial (dietary CP and days in the experiment interacted,  $P < 0.001$ ). Odor levels measured on d-14 and 21 of the study, assessed by olfactometry, did not differ between treatments (512 and  $540 \pm 115.6$  threshold units for the reduced and normal CP diets), but increased ( $P < 0.01$ ) with time on feed (440 and  $612 \pm 111.3$  threshold units on d-14 and 21, respectively). These results suggest that each one percentage unit reduction in dietary CP (combined with the appropriate AA supplementation) lowers N excretion (by 8 %) and  $\text{NH}_3$  emissions from manure (by 15 %), with no effect on manure odor.

**KEY WORDS:** Ammonia, Nitrogen Balance, Odor, Pig Manure.

Recibido el 20 de marzo de 2014. Aceptado el 28 de julio de 2014.

<sup>a</sup> University of Eldoret, School of Agriculture & Biotechnology, Department of Animal Science. Eldoret-Kenya.

<sup>b</sup> Department of Animal Science, University of Illinois, Urbana, IL, USA.

<sup>c</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP, CENID-Fisiología, Km 1 Carretera a Colón, 76280, Ajuchitlán, Colón, Qro. México. Teléfono: (419) 2920033. brana.diego@inifap.gob.mx. Correspondencia al tercer autor.

## INTRODUCCIÓN

Típicamente, más del 70 % del nitrógeno (N) alimentado a los cerdos se excreta en los purines, principalmente vía orina (>75 % de la excreción total de N) en forma de urea, mientras que en el excremento, el N excretado va ligado a proteínas<sup>(1)</sup>. Cuando se manejan las excretas, cierta cantidad del N soluble se pierde por escurrimiento a mantos de aguas superficiales, o lixiviado a aguas subterráneas como nitrato, o es convertido a N<sub>2</sub> que se volatiliza<sup>(2)</sup>; pero la mayor proporción del N se pierde finalmente a la atmósfera en forma de amoníaco (NH<sub>3</sub>). Por lo anterior, hay una creciente preocupación por el impacto de las emisiones gaseosas y de partículas derivadas de las explotaciones pecuarias en las personas<sup>(3,4)</sup> y en el ambiente<sup>(5)</sup>. Por ejemplo, se ha estimado que en los EEUU cerca del 75 % del NH<sub>3</sub> antropogénico que se volatiliza proviene de las explotaciones pecuarias, con 50 % del total producido por bovinos, 25 % por aves y 10 % por los cerdos<sup>(6,7)</sup>.

En la producción de cerdos, el uso de dietas bajas en proteína reduce la excreción de N. Según los datos de Kerr y Easter<sup>(8)</sup>, por cada unidad porcentual en que se reduzca la proteína cruda (PC) con el uso apropiado de aminoácidos (AA) cristalinos, las pérdidas totales de N (excremento + orina) se pueden reducir en aproximadamente un 8 %. Dado que la producción de ácidos grasos volátiles de cadena ramificada y compuestos aromáticos aumenta cuando una fuente de proteína (pero no de almidón) se agrega durante la fermentación de las excretas de cerdo, puede ser que la emisión de olores también se disminuya al limitar la excreción de proteína<sup>(9)</sup>.

Sin embargo, existe poca información del efecto de dietas relativamente bajas en PC, sobre la producción de NH<sub>3</sub> y menos, en la emisión de olores. Los estudios que se han llevado a cabo, generalmente descansan en la concentración aérea de NH<sub>3</sub>, en lugar de las emisiones, y se han usado medidas químicas y no sensoriales

## INTRODUCTION

Typically, more than 70 % of the nitrogen (N) fed to pigs is excreted in the manure, principally via urine (>75% of total N excretion) in the form of urea, while in feces, N is excreted bound to proteins<sup>(1)</sup>. When applied to the land, some soluble N in swine manure may be either lost as runoff to surface water, leached into groundwater as nitrate, or converted to N<sub>2</sub> and volatilized<sup>(2)</sup>. However, the largest proportion of N will be released into the atmosphere as ammonia (NH<sub>3</sub>). There are growing concerns over potential impacts of gaseous and particulate emissions from farm livestock on people living near production facilities<sup>(3,4)</sup> and on the environment in general<sup>(5)</sup>. It has been estimated that in the US about 75 % of the total anthropogenic NH<sub>3</sub> that is volatilized comes from livestock manure with 50 % being produced by cattle, 25 % by poultry, and 10 % by swine<sup>(6,7)</sup>.

In swine production, the use of low protein diets has been shown to reduce N excretion. According to the estimate of Kerr and Easter<sup>(8)</sup>, for each 1 percentage unit reduction in dietary crude protein (CP) level, combined with aminoacids (AA) supplementation, total N losses from the pig (fecal plus urinary) can be reduced by approximately 8 %. Since the production of branched-chain volatile fatty acids and aromatic compounds are increased when a source of protein, but not starch, is added during swine manure incubation, odor may also be reduced by dietary modifications that limit protein excretion<sup>(9)</sup>.

However, there has been limited research on the effect of reduced CP diets on NH<sub>3</sub> or odor emissions and the studies that have been carried out have generally measured NH<sub>3</sub> concentration in the air rather than emissions and have used chemical and not sensory measurements of odor<sup>(10,11)</sup>. Information derived from sensory or olfactometry methods is scarce and contradictory<sup>(12)</sup>. In addition, there is a lack of quantitative data in the literature that can be used to relate N excretions from the animal

para la medición del olor<sup>(10,11)</sup>. La información con métodos sensoriales es particularmente escasa y contradictoria<sup>(12)</sup>; adicionalmente, no hay datos cuantitativos en la literatura que se puedan usar para relacionar la excreción de N de los animales, con las emisiones de NH<sub>3</sub> y las emanaciones de olor, cuando son alimentados con dietas reducidas en proteína.

En este estudio, se evaluó el uso de dietas bajas en PC como recurso para reducir las emisiones de NH<sub>3</sub> y de olores. El principal objetivo del trabajo fue determinar el efecto de reducir la concentración de PC en dietas en 1) la digestibilidad y balance de N, y 2) en la cantidad de NH<sub>3</sub> y olores liberados de las excretas de los cerdos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Diseño experimental y tratamientos*

Se llevaron a cabo dos estudios independientes, pero complementarios, en el Centro para la Investigación Porcina (Swine Research Center) de la Universidad de Illinois. Los protocolos para estos estudios se aprobaron por el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales (Institutional Animal Care and Use Committee).

El Estudio 1 se llevó a cabo como un diseño completamente al azar, para comparar el efecto de los niveles dietarios de PC en la digestibilidad y balance de N de cerdos alojados individualmente en jaulas metabólicas. Se compararon dos tratamientos con diferentes niveles de PC en la dieta 1) PC Normal (19%), y 2) PC Reducida (14%). Se utilizaron 24 cerdos en el estudio, 12 por tratamiento.

El Estudio II se llevó a cabo con un diseño de bloques completos al azar para comparar el efecto de los mismos dos tratamientos utilizados en el Estudio I, en las emisiones de NH<sub>3</sub> y en los niveles de olor con cerdos alojados en cámaras con flujo dinámico de aire. Se tuvieron tres bloques con cuatro cámaras por bloque (2 cerdos en cada una de las 4 cámaras), para un total de 12 cámaras y 24 cerdos.

with emissions of NH<sub>3</sub> and odor when reduced CP diets are fed to growing pigs.

In this study, it was evaluated the use of low CP diets as a method to reduce NH<sub>3</sub> and odor emissions from swine to the environment. The main objective of this research was to determine the effect of reducing the concentration of dietary CP on 1) N digestibility and N balance, and on 2) The release of NH<sub>3</sub> and odor from swine manure.

## MATERIALS AND METHODS

### *Experimental design and treatments*

Two independent, but complementary experiments were conducted at the Swine Research Center of the University of Illinois. The protocols of these studies were approved by the Institutional Animal Care and Use Committee.

Exp I used a completely randomized design to compare the effect of dietary CP level on N digestibility and balance with pigs individually housed in metabolism crates. Two dietary CP level treatments were compared 1) Normal CP (19%), and 2) Reduced CP (14%). Twenty-four (24) pigs were used in the experiment with 12 pigs per dietary treatment.

Exp II was carried out as a randomized complete block design to compare the effects of the same two dietary treatments used in Exp I on NH<sub>3</sub> emissions and manure odor levels with pigs housed in dynamic airflow chambers. Three blocks with four chambers per block (2 pigs in each of the 4 chambers) were used for a total of 12 chambers and 24 pigs in the experiment.

Both experiments were performed with castrated male pigs (progeny of Line 337 sires mated to C22 dams; PIC, Hendersonville, TN, USA) with an initial body weight of  $17.7 \pm 1.29$  and  $17.9 \pm 0.76$  kg for Exp I and II, respectively. Allotment of pigs to dietary treatments was according the experimental design of each

En ambos estudios se usaron cerdos machos castrados, progenie de sementales de la línea 337 y hembras C22 (PIC, Hendersonville, TN, USA) con un peso inicial de  $17.7 \pm 1.29$  y  $17.9 \pm 0.76$  kg para los Estudios I y II, respectivamente. La aleatorización de los cerdos a los tratamientos se hizo conforme al diseño experimental de cada experimento, de grupos de aleatorización basados en la camada de origen y el peso inicial.

#### *Estudio I. Balance de nitrógeno*

El estudio se realizó en un edificio de clima controlado, con 24 jaulas metabólicas individuales. Se pesaron 24 machos castrados y se separaron en parejas de igual peso y camada de origen; entre pares, se asignó al azar la jaula metabólica a ocupar y la dieta por recibir. Este proceso se repitió hasta repartir los 24 cerdos en sendas jaulas, 12 por tratamiento. Las jaulas son de acero inoxidable, con pisos de malla de acero expandido, para un espacio de  $0.42 \text{ m}^2$  por cerdo. El agua se ofreció a libertad de un bebedero tipo chupón por jaula. Los animales se aclimataron por seis días a las jaulas y dietas, antes de iniciar el periodo de cinco días para la colecta total de excretas, separando excremento y orina. Se pesó individualmente a los cerdos al inicio del periodo de aclimatación y 11 días después, al final del periodo de colecta.

#### *Estudio II. Emisiones de amoníaco y olores*

Se usaron cuatro cámaras con flujo dinámico de aire<sup>(13)</sup>, que son una cabina de acero inoxidable, herméticamente sellada y con ventilación controlada; las dimensiones de cada cámara son de 1.3 m largo  $\times$  1.3 m ancho  $\times$  1.3 m alto, dando un espacio efectivo de piso de  $0.85 \text{ m}^2$ /cerdo y un espacio total de aire de  $2.20 \text{ m}^3$ . Los pisos de malla de acero inoxidable expandido están sobre fosas anegadas con capacidad de 115 L. Cada cámara tuvo un comedero de dos bocas para alimento seco/húmedo (Crystal Springs Hot Equipment, Ste. Agathe, MB, Canadá). El aire dentro de las

experiment, from out-come groups based on the litter of origin and initial weight.

#### *Exp I. Nitrogen balance*

The experiment was carried out in a metabolism facility with 24 individual pig metabolism crates. Twenty-four (24) barrows were weighed and formed into outcome groups of two pigs of similar live weight and of the same litter of origin and were randomly allotted from within outcome group to one of two metabolism crates and to dietary treatment. This process was repeated until there were 24 pigs in the metabolism crates, 12 per dietary treatment. Crates were constructed of stainless steel, with floors of a flattened expanded steel mesh and provided  $0.42 \text{ m}^2$  floor space/pig. Water was continuously available to the pigs via a nipple drinker in each crate. Pigs were allowed a 6-d period to acclimate to the crate and diets prior to the start of a 5-d collection period, during which total, but separate, collection of feces and urine was carried out. Pigs were weighed individually at the start of the acclimation period, and 11 d later, at the end of the collection period.

#### *Exp II. Ammonia and odor emissions study*

Four identical dynamic air flow chambers<sup>(13)</sup> were used. These consisted of a sealed ventilated hood, constructed of stainless steel; the animal space in each chamber measured 1.3 m long  $\times$  1.3 m wide  $\times$  1.3 m high, giving a floor space of  $0.85 \text{ m}^2$ /pig and a total air space of  $2.20 \text{ m}^3$ . The floors were of expanded stainless steel over a shallow manure storage pit (volume  $\sim 115 \text{ L}$ ). Each chamber was equipped with a two-space wet/dry feeder (Crystal Springs Hot Equipment, Ste. Agathe, MB, Canada). Air inside the chambers was kept under positive static pressure ( $<0.797 \text{ mbar}$ ) by a Fuji AF-300 F 11 speed-controlled fan (GE Fuji Drives USA, Inc., Salem, VA, USA), to a constant ventilation rate set at  $51.0 \text{ m}^3/\text{h}$ . Filtered air entering the chambers was supplied through a common centrifugal fan to each of the individual chambers. Air flow rate was

cámaras se mantuvo con presión estática positiva ( $<0.797$  mbar) con un ventilador de velocidad controlada Fuji AF-300 F11 (GE Fuji Drives USA, Inc., Salem, VA, USA), a una tasa de ventilación constante de  $51.0 \text{ m}^3/\text{h}$ . El aire filtrado que ingresó a cada cámara se suministró de un ventilador centrífugo común. La tasa de flujo de aire se reguló con una tobera ajustable (PRA-100, Halton Co., Acottsville, KY, USA). El agua estuvo disponible a libertad de un bebedero automático de taza en cada cámara.

En bloque, para la asignación de cerdos, se pesaron ocho machos castrados, separándose en dos grupos de cuatro animales. Con base en el peso vivo y camada de origen, los cerdos de cada grupo se asignaron al azar a una cámara, quedando así cada una de las cuatro unidades experimentales con dos cerdos. El periodo experimental fue de 21 días, pesando a los animales al inicio y luego en intervalos de 7 días.

#### *Preparación de las dietas y alimentación*

Las dietas se basaron en maíz y pasta de soya (Cuadro 1) y se formularon para contener un nivel normal (19%) o reducido (14%) de PC. El nivel de PC normal se basó en los requerimientos nutricionales estimados<sup>(14)</sup> para cerdos dentro del grupo genético y rango de peso vivo usados. El nivel de PC reducida se formuló para resultar en un crecimiento similar al de la dieta PC normal, basados en el estudio de Kerr and Easter<sup>(8)</sup>. Ambas dietas se formularon para los mismos niveles de lisina digestible (ileal estandarizada, 0.85%), y de energía (3.37 Mcal de EM/kg). Se adicionaron aminoácidos con fuentes cristalinas (lisina, treonina, metionina y triptófano) al nivel de PC reducido para asegurar que los aminoácidos esenciales cumplieran o rebasaran los requerimientos propuestos por NRC<sup>(14)</sup> para cerdos dentro del peso utilizado en los dos estudios. El mismo lote de cada dieta se utilizó para ambos estudios.

En el Estudio I, para minimizar el rechazo de alimento, se restringió el consumo de alimento al 90 % del consumo *ad libitum* predicho por

regulated by an adjustable nozzle (PRA-100, Halton Co., Acottsville, KY, USA). Water was available *ad libitum* via a cup waterer in each chamber.

For the allotment of pigs to each block of the study, a group of eight barrows was weighed and formed into outcome groups of four pigs on the basis of live weight and litter of origin and pigs were randomly allotted from within outcome group to chambers. The experimental feeding period was 21 d; pigs were weighed individually at start of the study and every 7 d until the end of the study period.

#### *Diet preparation and feeding*

Diets were based on corn and soybean meal (Table 1) and were formulated to contain either a normal (19%) or Reduced (14%) CP level. The normal CP level diet was based on the estimates of the nutrient requirements of pigs within the live weight range used in the experiments from NRC<sup>(14)</sup>. The reduced CP level diet was formulated to give similar growth performance levels to the normal CP level diet based on the study of Kerr and Easter<sup>(8)</sup>. Both diets were formulated to the same lysine (standardized ileal digestible, 0.85 %), and energy (3.37 Mcal ME/kg) levels. Crystalline AAs (lysine, threonine, methionine, and tryptophan) were added to the reduced CP level to ensure that all limiting AAs were at or above the requirements proposed by NRC<sup>(14)</sup> for pigs of the weight used in the two experiments. The same batch of each diet was used for both experiments.

In Exp I, to minimize feed refusals, feed intake was restricted to 90 % of the *ad libitum* intake predicted from the equation for growing pigs given by NRC<sup>(14)</sup>. The daily ration was divided in two equally sized meals that were fed at 0800 and 1600 h, respectively. Feed refusals were weighed and recorded daily before the morning feeding. In Experiment II, pigs had *ad libitum* access to feed throughout the study period.

la ecuación para cerdos en crecimiento del NRC<sup>(14)</sup>. La ración diaria se dividió en dos comidas de igual tamaño, ofrecidas a las 0800 y 1600 h respectivamente. El rechazo de alimento se midió y anotó diariamente antes de la comida de la mañana. En el estudio II, los cerdos se alimentaron a libertad durante todo el periodo de observación.

#### *Muestreo y medición del aire*

En el Estudio II, para el análisis de olor, se colectaron muestras de aire del puerto de muestreo localizado en el ducto de escape de cada cámara, sólo en la mañana de los días 14 y 21 del periodo de medición. Las muestras se colectaron en bolsas neumáticas Tedlar de 10L (Smith Air Sample Supply Co., Hillsborough, NC, USA), purgadas previamente con gas N. Las bolsas se llenaron con un muestreador de aire (Vac-U Chamber, SKC-West, Inc., Fullerton, CA, USA) unida a una bomba neumática Buck I.H. (PCXR4, SKC Inc., Eighty Four, PA, USA) para crear presión negativa. Las bolsas con las muestras se transportaron al laboratorio para su evaluación, la cual se llevó a cabo en el día del muestreo. Un panel de ocho jueces entrenados evaluó el olor utilizando el método Triangular de Elección Forzada en un Olfatómetro AC'SCENT International (St. Croix Sensory, Inc., Lake Elmo, MN, USA) con una velocidad de flujo de 20 L/min. A cada miembro del panel se le presentaron de 6 a 8 diluciones (en concentración ascendente) de cada muestra, con diluciones adyacentes difiriendo por un factor de 2. El umbral de detección se definió como el nivel de dilución justo donde el panelista fue capaz de detectar correctamente la diferencia entre la muestra olfativa y dos muestras en blanco. Un panelista debe oler cada una de las tres muestras y seleccionar a la que detecta con olor.

La medición de la concentración de NH<sub>3</sub> en el aire se realizó en el ducto de escape para muestreo de cada cámara, diariamente del día 7 al 21 del periodo de estudio a las 0700, 1000, 1300, 1600 y 1900 h utilizando tubos

#### *Air sampling and measurements*

In Exp II, air samples for odor analysis were collected in the morning of d 14 and 21 of the study period from the sampling port located on

Cuadro 1. Ingredientes y composición nutricional de las dietas (% base húmeda). Estudios I y II

Table 1. Ingredient and nutrient composition of diets (% as fed basis) used in Experiments I and II

	Dietary CP level	
	Reduced (14%)	Normal (19%)
Ingredient, %		
Maize	81.00	70.21
Soybean meal	14.90	26.40
Soybean oil	0.89	1.00
Limestone	1.03	0.96
Dicalcium phosphate	0.94	0.92
Trace mineral premix <sup>a</sup>	0.35	0.35
Vitamin premix <sup>b</sup>	0.11	0.11
Tylosin phosphate (8.8%)	0.05	0.05
L-lysine HCl	0.10	—
Lysine-Tryptophan blend <sup>c</sup>	0.38	—
L-Threonine	0.16	—
DL-Methionine	0.09	—
Calculated nutrient composition, %		
ME, Mcal/kg	3.37	3.37
Crude protein <sup>d</sup>	14.00	19.00
Crude fiber	1.93	1.95
Acid detergent fiber	3.07	3.39
Neutral detergent fiber	9.10	9.07
Lysine, total	0.96	1.00
Lysine, standardized ileal digestible	0.85	0.85
Tryptophan, digestible	0.19	0.19
Threonine, digestible	0.58	0.58
Methionine + Cystine, digestible	0.59	0.61
Calcium	0.61	0.62
Phosphorus, total	0.48	0.51
Phosphorus, available <sup>(14)</sup>	0.25	0.26
Electrolyte balance, meq/kg <sup>e</sup>	135	187

<sup>a</sup> Supplied the following per kg of complete diet: Fe, 90 mg (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O); Zn, 100 mg (ZnO); Mn, 20 mg (MnO); Cu, 15 mg (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O); I, 0.35 mg [Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; Se, 0.3 mg (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>); NaCl, 3 g.

<sup>b</sup> Supplied the following per kg of complete diet: retinyl acetate, 1,136 µg; cholecalciferol, 8.25 µg; DL- $\alpha$ -L-tocopheryl acetate, 44 mg; menadione, 2.2 mg (menadione sodium bisulfite complex); niacin, 16.5 mg; D-Ca-pantothenate, 12.1 mg; riboflavin, 4.4 mg; vitamin B12, 17.5 µg; choline chloride, 143 mg.

<sup>c</sup> L-Tryptosine<sup>®</sup> (16.1% L-tryptophan, 56.3% L-lysine).

<sup>d</sup> Analyzed values were: 13.9 and 18.8% for reduced and normal CP respectively.

<sup>e</sup> Dietary electrolyte balance = Na + K - Cl.

indicadores colorimétricos (105SD; Matheson-Kitagawa tubos de detección de gas precisa y bomba 8014-400A, Rutherford, NJ, USA) con un rango de detección de 0.2 a 2.0 ppm.

Las tasas de emisión de amoniaco se calcularon con la siguiente ecuación derivada del trabajo de Panetta *et al*<sup>(15)</sup>:

Tasa de emisión de amoniaco de la cámara (mg/mm) = concentración del amoniaco en el aire de escape (ppm)  $\times 10^{-6}$   $\times$  densidad del amoniaco a temperatura y presión estándar (759 mg/L)  $\times$  velocidad del flujo del aire (14.2 L/seg). La tasa de emisión calculada se dividió entre 2 para dar la tasa de emisión de NH<sub>3</sub> por cerdo.

#### *Colecta y medición de excretas*

En el Estudio I, después del periodo de aclimatación de seis días, se colectaron por separado las excretas y orina de cada cerdo por un periodo de cinco días. Como marcador, se agregó óxido de cromo al alimento (0.2% de la dieta) en los días 6 y 11; la aparición en las excretas determinó el inicio y final de la colecta, periodo en que las muestras se pesaron y registraron cada mañana para congelarse (-20 °C) hasta su análisis del contenido de N. El muestreo de orina comenzó y terminó 4 h después de las dos ocasiones en que se alimentó el marcador (días 6 y 11). La orina se colectó en contenedores de plástico con 10 ml de HCl como conservador y fijador del N. Una vez al día, después del alimento de la mañana, el volumen de orina se midió y se tomó una alícuota de 350 ml, almacenándose en una botella de plástico de 500 ml y se almacenaron a -20 °C hasta su análisis de concentración de N con el método Kjeldahl<sup>(16)</sup>.

En el Estudio II, diariamente se registró pH de los purines (lodos en la fosa de fermentación) cada mañana, desde el día 10 hasta el 21, con un potenciómetro portátil (HI 931000, Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA). Las medidas se tomaron directamente en las fosas

the exhaust duct of each chamber. Samples were collected in 10-L Tedlar air-sampling bags (Smith Air Sample Supply Co., Hillsborough, NC, USA) previously purged with gaseous N. Bags were filled using an air sampler (Vac-U Chamber, SKC-West, Inc., Fullerton, CA, USA) attached to a Buck I.H. pump (PCXR4, SKC Inc., Eighty Four, PA, USA) to create negative pressure. The sample bags were transported to the laboratory for evaluation, which was carried out on the day of sampling. Odor was assessed by an 8-member trained panel using Triangular Forced Choice method on an AC'SCENT International Olfactometer (St. Croix Sensory, Inc., Lake Elmo, MN, USA) at a flow rate of 20 L/min. Each panel member was presented with 6 to 8 dilutions (in ascending concentration) of each sample with adjacent dilutions differing by a factor of 2. Detection threshold was defined as the level of dilution at which a panelist was able to correctly detect a difference between the odorous sample and two blank samples. A panelist would smell each of three samples and select the one detected as odorous.

Measurement of aerial NH<sub>3</sub> concentration was made at the exhaust sampling port of each chamber, daily from d-7 to 21 of the study period at 0700, 1000, 1300, 1600 and 1900 h using colorimetric indicator tubes (105SD; Matheson-Kitagawa precision gas detector tubes and pump 8014-400A, Rutherford, NJ, USA) with a detection range from 0.2 to 2.0 ppm.

Ammonia emission rates were calculated using a formula derived from Panetta *et al*<sup>(15)</sup> as follows:

Ammonia emission rate from the chamber (mg/mm) = Ammonia concentration in exhaust air (ppm)  $\times 10^{-6}$   $\times$  Density of ammonia at standard temperature and pressure (759 mg/L)  $\times$  Air flow rate (14.2 L/sec). The calculated emission rate was divided by two to give the NH<sub>3</sub> emission rate per pig.

#### *Manure collection and measurements*

In Exp I, after the 6-d acclimation period, feces and urine were separately collected from each

de almacenamiento de cada cámara, 10 cm abajo de la superficie de los líquidos en la fosa.

### *Análisis estadístico*

Para el Estudio I, cada cerdo se consideró como la unidad experimental y se utilizó el procedimiento PROC MIXED de SAS (v. 8.0, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA), en el que se incluyó en el Modelo el efecto fijo de tratamiento; las medias de mínimos cuadrados se derivaron y compararon utilizando la opción PDIFF. Para el Estudio II, la cámara se consideró como la unidad experimental. La respuesta del comportamiento productivo se analizó usando el procedimiento PROC MIXED, el modelo incluyó el efecto fijo del tratamiento y los efectos del bloque y de la cámara como aleatorios. Para el análisis del pH, emisiones de NH<sub>3</sub> y olor, se usó un modelo de mediciones repetidas en el tiempo. Los efectos incluidos en el modelo fueron tratamiento, día de medición, y la interacción entre tratamiento y día. Para las mediciones repetidas, el sujeto fue considerado como la cámara anidada en el bloque y tratamiento. En el análisis de las concentraciones diarias de NH<sub>3</sub> en el aire de escape de la cámara, se evaluaron términos lineales y cuadráticos mediante polinomiales de primer y segundo grado.

## **RESULTADOS**

Los detalles de los ingredientes y de la composición de las dietas experimentales se presentan en el Cuadro 1, en donde los valores de la concentración analizada de PC de las dietas constató los valores calculados.

### *Estudio I. Balance de nitrógeno*

El peso corporal inicial y final de los cerdos fue similar ( $P>0.20$ ) entre tratamientos (Cuadro 2) y no existió efecto del nivel de PC en el comportamiento productivo durante el periodo de estudio en las jaulas metabólicas. Aunque el consumo de alimento diario fue similar ( $P>0.70$ ) para ambos tratamientos, alimentar la dieta con

pig for a 5-d period. Chromium oxide (0.2 % of diet) was added to the feed on d 6 and 11 as an external marker. The subsequent appearance of the chromium oxide in feces determined the initiation and termination of fecal collection, respectively. Fecal samples were collected, weighed, and recorded each morning. Urine sampling commenced and ended 4 h after each of the two occasions of feeding the marker on d 6 and 11, respectively. Urine was collected in plastic containers containing 10 ml HCl to lower the pH. Once per day, after the morning meal, the volume of urine was measured and a 350 ml aliquot was taken and stored in a 500 ml plastic bottle. Daily fecal and urine samples were stored at -20 °C until analyzed for N concentration using the Kjeldahl procedure<sup>(16)</sup>.

In Exp II, daily manure pH measurements were taken each morning from d 10 to 21 of the study period using a hand-held pH meter (HI 931000, Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA). Measurements were taken in the storage pit of the chamber 10 cm below the manure surface.

### *Statistical analysis*

For Exp I, the individual pig was considered the experimental unit and the PROC MIXED procedure of SAS (v. 8.0, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA) was used to analyze the data with the model used including the fixed effect of dietary treatment. Least-square means were derived and compared using the PDIFF option. For Experiment II, the chamber was considered the experimental unit. The growth performance response was analyzed using the PROC MIXED, with the model including the fixed effect of dietary treatment and the random effects of block and chamber. For the analysis of manure pH, NH<sub>3</sub> emissions, and odor levels, a repeated-measures analysis was carried out. The effects included in the model were dietary treatment, day of measurement, and the interaction of treatment and day of measurement. For the repeated statement, subject was considered to be the chamber nested within block and



nivel de PC reducida disminuyó ( $P<0.001$ ) el consumo de N un 26.6 %, que fue directamente proporcional a la diferencia provocada por el cálculo de las dietas (25.9 %; Cuadro 1).

La excreción fecal de N fue similar ( $P>0.40$ ) entre tratamientos y, consecuentemente, la digestibilidad aparente del N para el tratamiento con el nivel de PC reducida fue 5 unidades porcentuales menor ( $P<0.001$ ). La excreción urinaria de N (56 %) y de N total (41 %) se redujeron ( $P<0.001$ ) cuando se alimentó a los cerdos con la dieta reducida en PC (Cuadro 2). Sin embargo, los cerdos alimentados con la dieta Normal en PC tuvieron mayor retención de N (+1.93 g/día;  $P<0.001$ ).

#### *Estudio II. Emisiones de amoníaco y niveles de olor*

El comportamiento productivo de los cerdos, medido como el promedio del consumo (C), de la ganancia diaria de peso (G) y la eficiencia alimenticia (G/C) en las cámaras de flujo dinámico de aire fue similar ( $P>0.10$ ) entre tratamientos (Cuadro 3). En el promedio de

treatment. For the analysis of daily  $\text{NH}_3$  concentrations in the exhaust air from the chamber, linear and quadratic terms were tested by fitting first and second degree polynomials.

## RESULTS

Details of the ingredient and nutrient composition of the two experimental diets are presented in Table 1. Analyzed values for the CP content of the diets were in accordance with calculated values (Table 1).

#### *Exp I: Nitrogen balance*

Initial and final BW of pigs were similar ( $P>0.20$ ) between treatments (Table 2) and there was no effect of dietary CP level on the growth performance of the pigs in the metabolism crates during the study period. Although daily feed intake was similar ( $P>0.70$ ) for the two dietary treatments, feeding the reduced dietary CP level diet lowered ( $P<0.001$ ) N intake by 26.6 %. This reduction was directly proportional to the diets difference in N content (25.9 %; Table 1).

Cuadro 2. Efecto del nivel de proteína en la dieta sobre el comportamiento productivo y el balance de nitrógeno de cerdos en crecimiento. Estudio I\*

Table 2. Effect of dietary CP level on growth performance, and nitrogen balance in growing pigs, housed in metabolism crates. Exp I\*

Item	Dietary CP level treatment		SEM	P-value
	Reduced	Normal		
Initial live weight, kg	17.58	17.82	0.290	0.67
Final live weight, kg	21.66	21.22	0.503	0.55
Average feed intake, g/d	851	859	16.7	0.71
Average live weight gain, g/d	331	348	16.3	0.41
Gain:feed ratio	0.39	0.41	0.016	0.42
Nitrogen balance:				
Intake, g/d	18.96	25.83	0.464	<0.001
Fecal, g/d	3.43	3.58	0.171	0.41
Urine, g/d	3.71	8.50	0.267	<0.001
Digestibility, %	81.80	86.20	0.772	<0.001
Balance, g/d	11.82	13.75	0.339	<0.001

\* Least squares means of 12 experimental units per treatment.

SEM= standard error of the mean.

todos los tiempos de medición, el pH de los purines en la fosa de fermentación fue 0.50 unidades menor ( $P < 0.10$ ) cuando las muestras provinieron de los cerdos alimentados con la dieta reducida en PC.

Bajar la concentración de PC en las dietas resultó en una reducción sustancial ( $P < 0.001$ ) en las emisiones de  $\text{NH}_3$  con valores (promediados entre todos los días y tiempos de medición) 77 % inferiores, para el tratamiento PC reducida, en relación al nivel con PC normal (Cuadro 3). La concentración promedio de  $\text{NH}_3$  medida en el ducto de escape de las cámaras fue diferente ( $P < 0.001$ ) entre tratamientos ( $0.42$  y  $1.82 \pm 0.201$  ppm) que, basados en un flujo en el punto de muestreo de  $14.2$  L/seg, resultó en emisiones de  $\text{NH}_3$  estimadas en  $0.194$  y  $0.844$  g/cerdo/día para las dietas con niveles de PC reducida y normal, respectivamente.

La concentración de amoníaco en el ducto de escape de la cámara no difirió ( $P > 0.10$ ) entre las horas del día en que se tomó la medición (no se presentan los datos). Sin embargo, hubo una interacción ( $P < 0.001$ ) entre el nivel de PC en la dieta y el día de medición de las emisiones

Fecal N excretion was similar ( $P > 0.40$ ) between treatments and, consequently, the apparent digestibility on N for the reduced CP level treatment was 5 percentage units lower than that for the normal CP level treatment ( $P < 0.001$ ). Urinary and total N excretion differed ( $P < 0.001$ ) between diets, being 56 and 41 % lower for the reduced compared to the normal CP level treatment, respectively (Table 2). However, N retention was greater ( $+1.93$  g/d;  $P < 0.001$ ) for the normal CP level diet.

#### *Exp 2: Ammonia emission and odor level*

Growth performance of pigs (growth rate, feed intake, and gain:feed ratio) in the dynamic air flow chamber was similar ( $P > 0.10$ ) for the two dietary treatments (Table 3). There was a trend ( $P = 0.10$ ) for manure pH (averaged across all days and times of measurement) to be lower for the reduced dietary CP level treatments ( $6.21$  and  $6.71 \pm 0.186$ , respectively).

Reducing the CP level of the diets resulted in a substantial reduction in  $\text{NH}_3$  emissions with values, averaged across all days and times of day of measurement, for the reduced CP level treatment being 77 % lower than those for

Cuadro 3. Respuesta a una reducción de proteína en el comportamiento productivo en cerdos, en el pH, las emisiones de amoníaco y niveles de olor. Estudio II<sup>a</sup>

Table 3. Effect of dietary CP level on growth performance in pigs housed in dynamic air flow chamber and on manure pH, ammonia emissions and odor levels. Exp II<sup>a</sup>

	Dietary CP level treatment		SEM	P-value
	Reduced	Normal		
Initial live weight, kg	17.59	18.26	0.290	0.12
Final live weight, kg	30.19	30.88	0.410	0.19
Average feed intake, g/d	1183	1122	72.2	0.31
Average live weight gain, g/d	605	596	35.7	0.58
Gain:feed ratio	0.513	0.535	0.0180	0.28
Manure pH <sup>b</sup>	6.21	6.71	0.186	0.10
Ammonia, g/pig/d <sup>c</sup>	0.194	0.844	0.0935	<0.001
Odor (detection threshold) <sup>c</sup>	512	540	115.6	0.36

<sup>a</sup> Least squares means of six experimental units (of two pigs each) per treatment.

<sup>b</sup> Averaged across all days of measurement.

<sup>c</sup> Averaged across all days and times of measurement.

de  $\text{NH}_3$  (Figura 1). Al inicio de la toma de mediciones en el día 7 del periodo de estudio, las emisiones diarias de  $\text{NH}_3$  fueron relativamente bajas y sin diferencias ( $P>0.10$ ) entre tratamientos. Posterior al día 10 del estudio, los niveles de emisión de  $\text{NH}_3$  para el tratamiento PC normal aumentó relativamente rápido y fueron mayores ( $P<0.05$ ) a los del tratamiento PC reducida por el resto del periodo de medición.

Las ecuaciones de regresión cuadrática, usando un modelo con la restricción de la intersección al valor inicial (0.1), que describen el comportamiento de las emisiones de  $\text{NH}_3$  en función del día de muestreo (Figura 1) son las siguientes:

*Dieta con nivel normal de PC:*

$$\text{NH}_3 \text{ (g/día)} = 0.1 + [0.15304 (\pm 0.00759) \times \text{día}] + [-0.00557 (\pm 0.00064) \times \text{día}^2]$$

$$R^2 = 0.86$$

*Dieta con nivel reducido de PC:*

$$\text{NH}_3 \text{ (g/día)} = 0.1 - [0.00994 (\pm 0.00181) \times \text{día}] + [0.00208 (\pm 0.00015) \times \text{día}^2]$$

$$R^2 = 0.85$$

El umbral de detección del olor de las excretas (Cuadro 3), que es el número de diluciones requeridas antes de que el olor en la muestra olfativa no sea detectable, no fue diferente ( $P>0.30$ ) entre tratamientos (512 y  $540 \pm 115.6$  para PC reducida y normal, respectivamente). En cambio, en los valores del umbral de detección de olor hubo un claro efecto del día de muestreo ( $P<0.01$ ), aumentando al paso del tiempo: 440 y  $612 \pm 111.3$  para 14 y 21 días, respectivamente, pero el nivel de PC de la dieta no interactuó ( $P>0.10$ ) con los días de muestreo.

## DISCUSIÓN

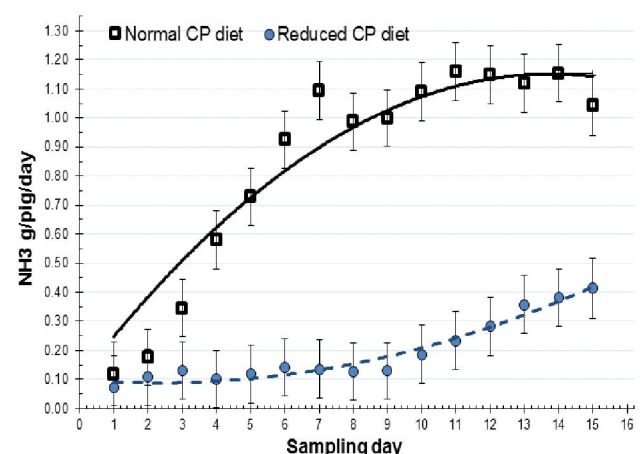
Aun cuando la excreción fecal de N fue similar entre tratamientos, la mayor proporción de pasta de soya en las dietas con nivel de PC normal

normal CP level (Table 3). Average  $\text{NH}_3$  concentration measured at the exhaust vent of the chambers was different ( $P<0.001$ ) between the treatments ( $0.42$  and  $1.82 \pm 0.201$  ppm for reduced and normal CP treatments, respectively), which, based on an air flow rate at the sampling point of  $14.2$  L/sec, resulted in estimated  $\text{NH}_3$  emissions of  $0.194$  and  $0.844$  g/pig/d for the reduced and normal CP level diets, respectively.

Ammonia concentration at the exhaust vent of the chamber did not differ ( $P>0.10$ ) between the times of the day at which measurements were taken (data not reported). However, there was an interaction ( $P<0.001$ ) between dietary CP level treatment and day of measurement for  $\text{NH}_3$  emissions (Figure 1). At the start of the measurement on d-7 of the study period, daily  $\text{NH}_3$  emissions were relatively low and not different ( $P>0.10$ ) between treatments.

Figura 1. Efecto de dietas con diferentes niveles de PC en las emisiones diarias de amoniaco\* de cerdos alojados en cámaras con flujo dinámico de aire<sup>a</sup>

Figure 1. Effect of diets with different levels of dietary CP on daily ammonia emissions\* in pigs housed in dynamic air flow chambers<sup>a</sup>



\*Diets and days interacted,  $P<0.05$ ; SEM = 0.133.

<sup>a</sup> Measurements of ammonia levels were made at the exhaust sampling port of each of the six chambers per dietary treatment, from d-7 to 21 of the study, 4 times/day; data points represent the average of the 4 daily measurements.

provocó que la digestibilidad aparente de proteína de la dieta con el nivel de PC reducida fuera 5 unidades porcentuales menor<sup>(17,18)</sup>.

La excreción total de N se redujo en 8 % por cada unidad porcentual de reducción en la PC alimenticia, resultado muy similar al valor estimado por Kerr y Easter<sup>(8)</sup>. Esta reducción se debió, en su mayoría a las diferencias en la cantidad de N excretado en la orina. Esto concuerda con otros estudios<sup>(19,20,21)</sup> que han mostrado que en cerdos, el consumo de dietas con niveles reducidos de proteína, reduce la cantidad de nitrógeno excretado en la orina.

El pH de los purines tendió ( $P < 0.10$ ) a ser menor para el tratamiento PC reducida (6.71 normal, y  $6.21 \pm 0.186$  para CP reducida). Le et al<sup>(22)</sup> mostraron que alimentar a los cerdos con dietas con 18 y 12 % PC disminuía el pH de las excretas de 7.83 a 7.10. En contraste, otros autores<sup>(23)</sup> no pudieron detectar diferencias en el pH del purín cuando alimentaron a cerdos en crecimiento con dietas cuyo contenido de PC fue del 19 o del 22 %; esta falta de efecto, pudiera estar asociada al hecho de que el rango en los niveles de PC que usaron fue más elevado y estrecho que en otros estudios, incluyendo éste. Es claro que la capacidad buffer y el pH de los purines son determinantes de las emisiones de  $\text{NH}_3$ <sup>(24,25)</sup>. La disociación del  $\text{NH}_3$  a partir de amonio (o la relación entre  $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4^+$ ) se favorece en condiciones alcalinas, y condiciones ácidas la inhiben<sup>(2,26)</sup>.

Los resultados del presente estudio sugieren que al reducir la PC en la dieta, se puede reducir el pH del purín y la volatilización del  $\text{NH}_3$ . La reducción en las emisiones de  $\text{NH}_3$  de los purines de cerdos alimentados con el nivel de PC reducida en el presente estudio pudieron deberse, por lo tanto, a la menor concentración de N en solución y a su menor pH.

Es bien sabido que otros componentes alimentarios pueden influir en las emisiones de  $\text{NH}_3$  y olor, incluyendo el contenido de fibra<sup>(27)</sup> y el balance electrolítico<sup>(25)</sup> de la dieta. En el

Subsecuente to d-10 of the study,  $\text{NH}_3$  emission levels for the Normal CP treatment increased relatively rapidly and were higher ( $P < 0.05$ ) than those for the reduced CP treatment for the remainder of the measurement period.

Regression equations of  $\text{NH}_3$  emission rate on day of sampling for the two dietary treatments, adjusting the model to the initial value (0.1), are depicted in Figure 1 and were as follows:

*Normal protein level diet:*

$$\text{NH}_3 \text{ (g/day)} = 0.1 + [0.15304 (\pm 0.00759) \times \text{day}] + [-0.00557 (\pm 0.00064) \times \text{day}^2]$$

$$R^2 = 0.86$$

*Reduced protein level diet:*

$$\text{NH}_3 \text{ (g/day)} = 0.1 - [0.00994 (\pm 0.00181) \times \text{day}] + [0.00208 (\pm 0.00015) \times \text{day}^2]$$

$$R^2 = 0.85$$

The detection threshold for odor (Table 3), which is the number of dilutions required before the odorous sample is just detectable, was not different ( $P > 0.30$ ) between the treatments ( $512$  and  $540 \pm 115.6$  for the reduced and normal CP treatments, respectively). There was an effect of day of sampling on odor detection threshold values ( $P < 0.01$ ) that increased with day of sampling ( $440$  and  $612 \pm 111.3$  for d-14 and 21, respectively), but there were no day of sampling by CP level treatment interactions for odor detection threshold levels.

## DISCUSSION

Although fecal N excretion was similar between treatments, the apparent protein digestibility for the reduced CP level treatment was 5 percentage units lower than that for the normal CP level. Differences can be attributed to the higher proportion of soybean meal in the normal CP level treatment<sup>(17,18)</sup>.

Total N excretion was reduced by 8 % for each 1 percentage unit reduction in dietary CP which is very similar to the value reported by Kerr

presente estudio, los niveles de fibra de ambas dietas experimentales fueron similares (Cuadro 1) y es poco probable que hayan impactado en las diferencias entre tratamientos observadas. Los valores del balance electrolítico fueron menores para la dieta reducida comparada con la normal. En lo particular, algunos estudios han intentado establecer el impacto del balance electrolítico de la dieta en las emisiones de  $\text{NH}_3$  del purín de los cerdos y han sugerido que la disminución del balance electrolítico se asocia con la reducción en emisiones<sup>(25,28,29)</sup>. Sin embargo, en los estudios citados, las diferencias entre tratamientos en el balance electrolítico de la dieta se confundieron con otros componentes alimenticios, particularmente con el nivel de fibra lo que, como ya se discutió, puede influir en la emisión de amoniaco. Consecuentemente, no es posible especular sobre la contribución de las diferencias de tratamiento en el balance electrolítico alimenticio, en las diferencias observadas en la emisión de amoniaco en el presente estudio, particularmente dada la relativamente pequeña diferencia en el balance electrolítico entre ambas dietas, en comparación con aquéllas en los estudios antes discutidos.

La retención de N con la dieta PC reducida fue 14 % menor que con la dieta PC normal, aun cuando ambas dietas fueron formuladas al mismo nivel de lisina digestible (ileal estandarizada) y para cumplir los requerimientos de otros aminoácidos esenciales (limitantes), como lo propuso el NRC<sup>(14)</sup>. Esta diferencia en la retención de N sugiere la posibilidad de una mejor tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia para los cerdos alimentados con la dieta CP normal, pero el comportamiento productivo no fue diferente entre los tratamientos de ninguno de los estudios; las diferencias numéricas fueron pequeñas y ambos estudios se realizaron durante un período relativamente corto. Por lo que, un ensayo de crecimiento, realizado durante un lapso mayor, quizá de 35 días<sup>(30)</sup>, en condiciones prácticas de manejo y alojamiento, midiendo además los cambios en

and Easter<sup>(8)</sup>. Since N excretion in the feces was similar for the two CP levels, this reduction was almost entirely due to differences in the amount of N excreted in the urine. This is in agreement with other studies<sup>(19,20,21)</sup> that also showed that pigs fed reduced-CP diets excreted lower amount of urinary N than pigs fed normal CP diets.

Manure pH tended ( $P < 0.10$ ) to be lower for the reduced CP level treatment (6.71, normal and  $6.21 \pm 0.186$  for reduced CP). Le *et al*<sup>(22)</sup> showed that feeding pigs diets with 18 % and 12 % CP reduced manure pH from 7.83 to 7.10. In contrast, Sørensen and Fernandez<sup>(23)</sup> were not able to detect differences in manure pH when feeding growing pigs diets with either high or normal levels of CP (22 or 19 %, respectively). The lack of any effect on manure pH in the study of Sørensen and Fernandez<sup>(23)</sup> could be related to the fact that the levels of CP levels used in that study were higher and the range in CP levels between the treatments was narrower than in other studies, including the current trial. Several authors<sup>(24,25)</sup> have shown that the pH of manure is an important determinant of  $\text{NH}_3$  emissions. The dissociation of  $\text{NH}_3$  from ammonium (or the ratio  $\text{NH}_3$  to  $\text{NH}_4^+$ ) is favored by alkaline conditions, and inhibited under acidic conditions<sup>(2,26)</sup>.

Results of the present study suggest that reducing the CP of the diet may lower both manure pH and  $\text{NH}_3$  volatilization. The lower  $\text{NH}_3$  emissions from the manure of pigs fed the reduced CP level in the present study could, therefore, be due to the lower concentration of N in the manure and also because of its lower pH.

It is well known that other dietary components can influence  $\text{NH}_3$  and odor emissions, including the fiber content<sup>(27)</sup> and electrolyte balance<sup>(25)</sup> of the diet. In the current study, fiber levels of the two experimental diets were similar and were unlikely to impact in the observed treatment differences. Electrolyte balance values were lower for the reduced compared to the

la composición corporal, hubiera sido necesario para detectar y explicar diferencias en el comportamiento productivo.

El efecto de la alimentación con dietas bajas en PC y suplementarias en aminoácidos cristalinos sobre la retención de N con cerdos en crecimiento, depende de forma muy importante de la magnitud de la reducción en PC. Algunos estudios han mostrado que no hay cambio en la retención de N cuando los niveles de PC se redujeron en 3 a 4 unidades porcentuales en presencia de una apropiada adición de aminoácidos cristalinos<sup>(31,32)</sup> pero, cuando los niveles de PC se reducen en más de 4 unidades porcentuales, hay una correspondiente reducción en la retención de N<sup>(33)</sup>. Incluso, se han llegado a observar reducciones en la retención de N en cerdos que consumieron dietas complementadas con aminoácidos cristalinos en donde la reducción de la PC fue sólo de 2.8 unidades<sup>(34,35)</sup>. Kerr y Easter<sup>(8)</sup> sugirieron que dietas con 4 unidades porcentuales de PC menos que el testigo, pueden ser insuficientes en el aporte de aminoácidos dispensables o no esenciales. Así, el aporte total de aminoácidos esenciales y de N no esencial debe ser considerado en la elaboración de inferencias.

La diferencia en las emisiones de NH<sub>3</sub> aumentó con el día de muestreo (Figura 1). Los niveles de emisión de amoniaco para los primeros tres días de medición (i.e., días 7 a 10 del estudio), fue de aproximadamente 0.18 g/cerdo/día, promediados sobre ambos tratamientos, similar al valor en el trabajo de Hansen *et al*<sup>(36)</sup>. Para el final del estudio (21 días), las emisiones de NH<sub>3</sub> se incrementaron a 1 g/cerdo/día para la dieta PC normal y a 0.4 g/cerdo/día con PC reducida. Estos valores son más bajos que los de Groot Koerkamp *et al*<sup>(37)</sup> quienes estimaron que cerdos en finalización (100 kg de peso vivo), alojados en instalaciones comerciales con pisos de "slats", produjeron 11 g de NH<sub>3</sub>/cerdo/día. Las razones para esta considerable discrepancia en las emisiones de HN<sub>3</sub> pueden estar relacionadas a factores como el nivel de PC en la dieta, la edad y peso de los cerdos,

normal diet. A number of studies have attempted to establish the impact of dietary electrolyte balance on NH<sub>3</sub> emissions from swine manure and these have generally suggested that lowering the electrolyte balance is associated with reduced emissions<sup>(25,28,29)</sup>. However, in all of these studies, treatment differences in dietary electrolyte balance were confounded with other dietary components, particularly the fiber level which, as already discussed, can influence ammonia emissions. Consequently, it is not possible to speculate on the contribution of the treatment differences in dietary electrolyte balance in the current study, to the observed differences in ammonia emissions, particularly given the relatively small difference in electrolyte balance between both diets in comparison with those in the studies discussed above.

The N retention for the reduced CP diet was 14 % lower than for the normal CP diet, even when both diets were formulated to the same standardized ileal digestible lysine level and to be at or in excess of the requirements for other essential AAs as proposed by NRC<sup>(14)</sup>. The difference in N retention suggests the possibility for a better growth rate or feed efficiency for pigs fed the Normal CP diet, but growth performance was not different between the treatments in either study; numerical differences in growth were small and both studies were carried out over relatively short time period. Thus, a growth assay carried out over a longer period, perhaps greater than 35 d<sup>(30)</sup>, in the appropriate housing and management conditions, while assessing body weight composition changes, may have been necessary to detect and to explain differences in growth performance between treatments.

Previous research on the effect of feeding low CP, crystalline AA supplemented diets on N retention of growing pigs has shown that the effects are related to the magnitude of reduction on CP. Some studies have shown no reduction in N retention when dietary CP levels were reduced by 3 to 4 percentage units on the

la dinámica de fermentación afectada por factores como la cantidad y tipo de purines en las fosas, la temperatura y el tiempo de almacenaje.

En las condiciones de este experimento, una reducción del 25 % en la PC redujo la cantidad de  $\text{NH}_3$  volatilizado al 77 %, equivalente a una reducción del 15 % en  $\text{NH}_3$  por cada unidad porcentual de reducción en la PC de la dieta. Canh *et al*(<sup>38</sup>) mostraron que para cerdos de 50 kg peso vivo, las emisiones de  $\text{NH}_3$  se redujeron 12.5 % por cada unidad porcentual de reducción en la PC. En otras investigaciones(<sup>39</sup>), utilizando cerdos de 80 kg de peso, mostraron una reducción en las emisiones de  $\text{NH}_3$  equivalente a 8 % por cada unidad porcentual de reducción de la PC. Por lo tanto, en el presente estudio la magnitud de la reducción en las emisiones de  $\text{NH}_3$  resultantes de la reducción de PC fue mayor que el encontrado en otros experimentos, lo que amerita mayor atención en investigación.

No hubo efecto del contenido de PC en la dieta sobre la evaluación sensorial del olor, medido como el umbral de dilución. Los resultados publicados sobre el efecto del nivel de PC alimentaria en el olor de las excretas son contradictorios. Los estudios que han utilizado el análisis químico de los componentes del olor de los purines de cerdo, han mostrado generalmente que una reducción del contenido de PC en la dieta, reduce la concentración de aromas desagradables y en las emisiones gaseosas. Se ha demostrado(<sup>10</sup>) que reducir la PC de la dieta alimentada a cerdos en crecimiento disminuía la excreción de N y, también, basados en mediciones de cromatografía de gases y espectrometría de masas, se redujo la concentración de odorantes como el ácido acético, ácido propanoico, fenol e indol en el aire proveniente de las fosas. Otros investigadores(<sup>9</sup>) midieron la producción de ácidos grasos volátiles de cadena ramificada y de compuestos aromáticos emitidos de purines fermentados en la presencia de almidón o de caseína, y concluyeron que al limitar la excreción

presence of an adequate AA supplementation(<sup>31,32</sup>). However, there is evidence that when the dietary CP levels are reduced by more than 4 percentage units, reductions in N retention are observed(<sup>33</sup>); also, N retention was reduced in pigs fed crystalline AA supplemented diets with 2.8 percent units lower CP than the control diets(<sup>34,35</sup>). Kerr and Easter(<sup>8</sup>) suggested that diets with a reduction in CP of over 4 percentage units than the control could be deficient on non-essential AA. As a consequence, total supply of essential AA and non-essential N must be considered in the making of inferences.

The difference in  $\text{NH}_3$  emissions increased with day of sampling (Figure 1). Ammonia emission levels for the first 3 d of measurement (i.e., d-7 to 10 of the study), averaged across both treatments, were approximately 0.18 g/pig/d, similar to the value reported by Hansen *et al*(<sup>36</sup>). By the end of the study (d-21),  $\text{NH}_3$  emissions had increased to around 1 g/pig/d for the normal CP diet and to around 0.4 g/pig/d for the reduced CP diet. These values are lower than those reported by others(<sup>37</sup>) who estimated that finisher pigs (100 kg live weight), housed in commercial buildings with fully-slatted floors, produced 11 g of  $\text{NH}_3$ /pig/d. The reasons for this considerable discrepancy in the extent of  $\text{NH}_3$  emissions could be related to dietary CP level, pig age and BW, and fermentation dynamics which can be affected by factors such as the amount of manure in the storage pit, temperature and the length of time of manure storage.

Under the conditions of this experiment, a 25 % reduction in dietary CP reduced the amount of  $\text{NH}_3$  volatilized by 77 %, equivalent to a 15 % reduction in  $\text{NH}_3$  for each 1 percentage unit reduction in dietary CP. Canh *et al*(<sup>38</sup>) showed that for pigs of 50 kg live weight  $\text{NH}_3$  emissions were reduced by 12.5 % for each percentage unit decrease in CP, while others(<sup>39</sup>), using 80 kg live weight pigs, showed a reduction in  $\text{NH}_3$  emissions equivalent to 8 % for each 1 percentage unit decrease in dietary CP. Thus,

de proteína por medio de cambios en la dieta, se contribuye en el control de la producción de olores ofensivos durante el almacenaje.

En contraste, los estudios que utilizaron la evaluación sensorial de olores de los purines de cerdo han encontrado, generalmente, poco impacto al alimentar dietas con bajos niveles de PC en los niveles de olor, lo que coincide con los resultados de este estudio. Clark *et al.*<sup>(40)</sup> evaluaron la intensidad del olor de purines almacenados, generados por cerdos alimentados con dietas con 17 a 14 % PC y no pudieron detectar ninguna diferencia; mientras que en otras investigaciones<sup>(41)</sup> luego de alimentar dietas con niveles de PC entre 0 a 15 %, encontraron que la intensidad del olor, evaluado por olfatometría estática, aumentó conforme el nivel de proteína disminuyó. En contraste, se ha reportado<sup>(39)</sup> menor intensidad de olor en las instalaciones porcinas, cuando los cerdos en finalización se alimentaron con dietas con niveles de PC de 13 o 16 %, vs 19 % de PC. En congruencia, se ha sugerido<sup>(22)</sup> una reducción en la concentración de olores con dietas bajas en proteína, aunque la intensidad y lo desagradable del olor no cambió. Estos resultados, a toda suerte ambiguos, son el reflejo de diferencias y de limitaciones en los métodos de medición. No obstante, basados en los resultados de este experimento, no puede afirmarse que las emisiones de olor de las instalaciones porcinas se puedan reducir al bajar la densidad de proteína en la dieta.

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Los resultados de estos estudios indican que, por cada unidad porcentual de reducción en la PC en la dieta (cuidando el aporte de aminoácidos), se puede reducir en aproximadamente un 8 % la pérdida total de N en las excretas (fecales y urinarias), mientras que las emisiones de NH<sub>3</sub> en los purines se reducen aproximadamente en 15 %, sin que con esto se logre afectar los niveles de olor emitidos en los purines.

in the current study the extent of the reduction in NH<sub>3</sub> emissions with decreasing dietary CP content was greater than that found in other experiments, a finding that warrants further investigation.

There was no effect of dietary CP content on sensory evaluation of odor, measured as the dilution threshold. Published results on the effect of dietary CP level on odors from swine manure are contradictory. Studies that have used analysis of the chemical components of swine manure odor have generally shown that reducing the CP content of the diet fed reduced the concentration of odorants in manure and in emissions from the manure. Hobbs *et al.*<sup>(10)</sup> showed that reducing CP of the diet fed to growing pigs decreased N excretion and, also, based on gas chromatography-mass spectrometry measurements, reduced the concentration of odorants such as acetic acid, propanoic acid, phenol, and indole in the exhaust air from the manure. Miller and Varel<sup>(9)</sup> measured the production of branched-chain volatile fatty acids and aromatic compounds in swine manure fermented in the presence of starch or casein and concluded that limiting the excretion of protein through dietary changes should help control the production of odors during manure storage.

In contrast, studies using sensory evaluation of odors from swine manure have, generally, shown little impact of feeding low CP diets on manure odor levels, which is in agreement with the results of the current study. Clark *et al.*<sup>(40)</sup> evaluated odor intensity of stored manure from pigs fed diets with 17 to 14 % CP and failed to detect any significant difference between treatments. While others<sup>(41)</sup> fed diets with CP levels ranging from 0 to 15 % found that the odor intensity of the manure, assessed using static olfactometry, actually increased as the dietary protein level decreased. In contrast, Hayes *et al.*<sup>(39)</sup> found a reduction in the odor levels in swine buildings when finished pigs were fed diets with CP levels of either 16 or 13 % compared to 19 %. Similarly, it was found<sup>(22)</sup>



## AGRADECIMIENTOS

Este artículo está dedicado a la memoria del Dr. Stanley Curtis, quien fue profesor en el Departamento de Ciencias de los Animales de la Universidad de Illinois, en Urbana, y que participó en este trabajo. Los autores, con gratitud reconocen su conocimiento, sabiduría y buen humor que siempre compartió, influyendo siempre positivamente a todos aquellos que trabajamos con él.

## LITERATURA CITADA

1. Van der Peet-Schwering CMC, Jongbloed AW, Aarnink AJA. Nitrogen and Phosphorus consumption, utilization and losses in pig production: The Netherlands. *Livest Prod Sci* 1999;58:213-224.
2. NRC. Air emissions from animal feeding operations. National Academies Press. Washington, DC., USA. 2003.
3. McCubbin DR, Apelberg BJ, Roe S, Divita F. Livestock ammonia management and particulate-related health benefits. *Environ Sci Technol* 2002;15:1141-1146.
4. Milne JA. Societal expectations of livestock farming in relation to environmental effects in Europe. *Livest Prod Sci* 2005;96:3-9.
5. Rabalais NN, Turner RE, Wiseman WW. Hypoxia in the Gulf of Mexico. *J Environ Qual* 2001;30:320-329.
6. Battye R, Battye W, Overcash C, Fudge S. Development and Selection of Ammonia Emission Factors. EPA-600/R-94-190. U.S. EPA: Research Triangle Park, NC, USA. 1994.
7. Howarth RW, Boyer EW, Pabich WJ, Galloway JN. Nitrogen use in the United States from 1961–2000 and potential future trends. *Ambio* 2002;31:88-96.
8. Kerr BJ, Easter RA. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *J Anim Sci* 1995;73:3000-3008.
9. Miller DN, Varel VH. Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds. *J Anim Sci* 2003;81:2131-2138.
10. Hobbs PJ, Pain BF, Kay RM, Lee PA. Reduction of odorous compounds in fresh pig slurry by dietary control of crude protein. *J Sci Food Agric* 1996;71:508-514.
11. Sutton AL, Kephart KB, Verstegen MWA, Canh TT, Hobbs PJ. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *J Anim Sci* 1999;77:430-439.
12. Mackie RI, Stroot PG, Varel VH. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *J Anim Sci* 1998;76:1331-1342.
13. Curtis SE, Anderson CR, Simon J, Jensen AH, Day DL, Kelley KW. The effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide and swine-house dust on the rate of gain and respiratory-tract structure of swine. *J Anim Sci* 1975;42:735-739.

that odor concentration was reduced by the use of low protein diets, however, the offensiveness and intensity of the odor was unchanged by dietary treatment. These contradictory results may well reflect differences or limitations of the measurement methods used in the various studies. However, based on the results of this experiment, it is not able to confirm that odor emissions from swine facilities can be reduced by feeding lower CP diets.

## CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Results of these studies suggest that for each 1 percentage unit reduction in dietary CP (combined with the appropriate essential AA supplementation), total N losses in excreta (fecal plus urinary) can be reduced by approximately 8 %, and NH<sub>3</sub> emissions from the manure by approximately 15 % without affecting the odor levels emitted from manure.

## ACKNOWLEDGMENTS

This paper is dedicated to the memory of Stanley Curtis, who was a Professor in the Department of Animal Sciences, University of Illinois, at Urbana, and worked on this paper. The authors, with gratitude, recognize his knowledge, wisdom and good humour that was always shared, influencing everyone who worked with Him.

*End of english version*

- 
14. NRC. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. Washington, DC, USA: National Academic Press; 1998.
  15. Panetta DM, Powers WJ, Xin H, Kerr BJ, Stalder KJ. Nitrogen excretion and ammonia emissions from pigs fed modified diets. *J Environ Qual* 2006;35:1297-1308.
  16. AOAC, método 973.48. 2005. Official Methods of Analysis, 18 Ed. AOAC International, Gaithersburg, MD 20877, USA.
  17. Bohlke RA, Thaler RC, Stein HH. Calcium, phosphorus, and amino acid digestibility in low-phytate corn, normal corn, and soybean meal by growing pigs. *J Anim Sci* 2005;83:2396-2403.

18. Sauer WC, Dugan M, de Lange K, Imbeah M, Mosenthin. Considerations in methodology for the determination of amino acid digestibilities in feedstuffs for pigs. In: Friedman M. editor. Absorption and utilization of amino acids. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1989(3):217-230.
19. Russell LE, Cromwell GL, Stahly TS. Tryptophan, threonine, isoleucine and methionine supplementation of a 12% protein, lysine-supplemented, corn-soybean meal diet for growing pigs. *J Anim Sci* 1983;56:1115-1123.
20. Kephart KB, Sherritt GW. Performance and nutrient balance in growing swine fed low-protein diets supplemented with amino acids and potassium. *J Anim Sci* 1990;68:1999-2008.
21. Gatel F, Grosjean F. Effect of protein content of the diet on nitrogen excretion by pigs. *Livest Prod Sci* 1992;31:109-120.
22. Le PD, Aarnink AJ, Jongbloed AW, Van der Peet-Schwering CMC, Ogink CWM, Verstegen MWA. Effects of dietary crude protein level on odour from pig manure. *Animal* 2007;1:734-744.
23. Sørensen P, Fernandez JA. Dietary effects on the composition of pig slurry and on the plant utilization of pig slurry nitrogen. *J Agric Sci* 2003;140:343-355.
24. Sommer SG, Husted S. The chemical buffer system in raw and digested animal slurry. *J Agric Sci* 1995;124:45-53.
25. Cahn TT, Aarnink AJ, Mroz Z, Jongbloed AW, Schrama JW, Verstegen MWA. Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilization from slurry. *Livest Prod Sci* 1998;56:1-13.
26. Pérez AMA, Cervantes LJ, Braña VD, Mariscal LG, Cuarón IJA. Ácido benzoico y un producto basado en especies de *Bacillus* para proteger la productividad de los lechones y el ambiente. *Rev Mex Cienc Pecu* 2013;4(4):447-468.
27. Canh TT, Sutton AL, Aarnink AJ, Verstegen MW, Schrama JW, Bakker GC. Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and the ammonia emission from slurry of growing pigs. *J Anim Sci* 1998;76:1887-1895.
28. Cahn TT, Verstegen MW, Aarnink AJ, Schrama JW. Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *J Anim Sci* 1997;75:700-706.
29. Canh TT, Aarnink AJ, Verstegen MW, Schrama JW. Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 1998;76:1123-1130.
30. Arthur PF, Barchia IM, Giles LR. Optimum duration of performance tests for evaluating growing pigs for growth and feed efficiency traits. *J Anim Sci* 2008;86:1096-1105.
31. Kerr BJ, Southern LI, Bidner TD, Friesen KG, Easter RA. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J Anim Sci* 2003;81:3075-3087.
32. Kerr BJ, Yen JT, Nienaber JA, Easter RA. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J Anim Sci* 2003;81:1998-2007.
33. Otto ER, Yokoyama M, Ku PK, Ames NK, Trottier NL. Nitrogen balance and ideal amino acid digestibility in growing pigs fed diets reduced in protein concentration. *J Anim Sci* 2003;81:1743-1753.
34. Zervas S, Zijlstra RT. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *J Anim Sci* 2002;80:3247-3256.
35. Zervas S, Zijlstra RT. Effects of dietary protein and oat hull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J Anim Sci* 2002;80:3238-3246.
36. Hansen MJ, Chwalibog A, Tauson A. Influence of different fibre sources in diets for growing pigs on chemical composition of feces and slurry and ammonia emission from slurry. *Anim Feed Sci Technol* 2007;134:326-336.
37. Groot-Koerkamp PWG, Metz JHM, Uenk GH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, *et al.* Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 1998;70:79-95.
38. Canh TT, Aarnink AJ, Schutte JB, Sutton A, Langhout DJ, Verstegen MW. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livest Prod Sci* 1998;56:181-191.
39. Hayes ET, Leek ABG, Curran TP, Dodd VA, Carton OT, Beattie VE, O'Doherty JV. The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. *Bioresource Technol* 2004;91:309-315.
40. Clark GO, Moehn S, Edeogu I, Price J, Leonard J. Manipulation of dietary protein and nonstarch polysaccharide to control swine manure emissions. *J Environ Qual* 2005;34:1461-1466.
41. Otto ER, Yokoyama M, Hengemuehle S, von-Bermuth RD, van-Kempen T, Trottier NL. Ammonia, volatile fatty acids, phenolics, and odor offensiveness in manure from growing pigs fed diets reduced in protein concentration. *J Anim Sci* 2003;81:1754-1763.