

11674



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO

---

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCION Y DE LA  
SALUD ANIMAL

EFFECTO DE LA RESTRICCIÓN DE ESPACIO  
DISPONIBLE/TAMAÑO DE GRUPO SOBRE EL ESTADO  
METABOLICO DE CERDOS EN CRECIMIENTO Y FINALIZACIÓN.

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A

JUAN ALBERTO BRAVO ALCANTARA

TUTOR:  
SERGIO GOMEZ ROSALES

COMITE TUTORAL  
GERMAN BORBOLLA SOSA  
GERARDO MARISCAL LANDIN

AJUCHITLAN, COLON, QUERETARO

2005

m340618



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Juan Alberto

Bravo Alcántara

FECHA: 9 de noviembre de 2004

FIRMA: 

## JURADO DE EXAMEN

PRESIDENTE: DR. GERARDO MARISCAL LANDIN

VOCAL: DRA. OFELIA MORA IZAGUIRRE

SECRETARIO: DR. GERMAN BORBOLLA SOSA

PRIMER SUPLENTE: DR. CESAR MEJIA GUADARRAMA

SEGUNDO SUPLENTE: DR. SERGIO GOMEZ ROSALES

## DEDICATORIA

A las personas más importantes de mi vida:

Mis queridos padres **Aurora Alcántara Quintanar** e **Inocencio Bravo Quintanar**, por siempre tratar de hacer de mí un buen ser humano y por ser los mejores papas del mundo.

Mis hermanas **Laura Lizbeth** y **Abigail Bravo Alcántara** por su cariño y apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

En la realización de este trabajo, participaron instituciones y personas por que el autor agradece sinceramente a:

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán; al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, al Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal; y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Al asesor principal Dr. Sergio Gómez Rosales, por su constante apoyo para la realización del presente trabajo.

Al honorable jurado: Dr. Gerardo Mariscal Landín, Dra. Ofelia Mora Izaguirre, Dr. Germán Borbolla Sosa, Dr. Cesar Mejía Guadarrama, por sus valiosos comentarios y sugerencias.

A la Dra. Lourdes Angeles y a la Dra. Laura Zapata: por su apoyo y colaboración.

A Lety: por su colaboración para realizar todos los tramites durante mi estancia en el posgrado.

A Mariela: por su sincera amistad y sus alentadoras palabras en los momentos difíciles.

A Erica y Don José: por su amistad y disposición en el trabajo de laboratorio.

A Nora, Ariadna, Sonia, Juanita, Celia y Tere: por su amistad y por el apoyo de siempre.

A Edgar, Anita, Fabiola, Mario, Martha, Arlette, Demián, Jaime, Carlos y Rene: por su amistad, compañerismo y por los buenos momentos.

## RESUMEN

Efecto de la restricción de espacio disponible y/ o incremento del tamaño de grupo sobre el estado metabólico de cerdos en crecimiento y finalización.

Se realizaron 3 experimentos donde el objetivo fue evaluar la utilización de nitrógeno y energía y las concentraciones de cortisol e insulina en cerdos alojados de forma individual y en grupo en las etapas de crecimiento y finalización. En el experimento 1, se utilizaron 40 cerdos en crecimiento con un peso inicial de  $28.8 \pm .9$  kg. El estudio consistió en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de 3 Densidades y 2 períodos de colección (Período 1 del día 3 al 5 y Período 2 del día 18 al 20 de la fase experimental). Los tratamientos fueron: Densidad 1 a libertad (D1AL) = 1 cerdo alojado individualmente con consumo a libertad con  $.81 \text{ m}^2$ ; Densidad 3 a libertad (D3AL) = Tres cerdos alojados en grupo con consumo a libertad ( $.27 \text{ m}^2$  de piso/cerdo); Densidad 1 pareado (D1P) = Un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos del D3AL ( $.81 \text{ m}^2$  de piso). Se tuvieron 4 bloques con 2 repeticiones por tratamiento; la fase experimental de cada bloque duró 20 días. El nitrógeno retenido sobre el consumido (%) (Densidad x Período;  $P < .05$ ), el nitrógeno retenido sobre el digerido (%) (Densidad x Período,  $P < .01$ ) y la energía retenida sobre la energía digerida (%) (Densidad x Período;  $P < .05$ ) fueron inferiores en D1P en el Período 1; mientras que en D1AL y D3AL fueron similares en ambos períodos. En el experimento 2, se utilizaron 32 cerdos en finalización con un peso inicial de  $68.6 \pm 1.0$  kg. El diseño estadístico fue similar al descrito para el experimento 1. En cerdos en finalización los tratamientos fueron: Densidad 1 a libertad (D1AL) = 1 cerdo alojado individualmente con consumo a libertad con  $.81 \text{ m}^2$ ; Densidad 2 a libertad (D2AL) dos cerdos alojados en grupo con consumo a libertad ( $.40 \text{ m}^2$  de piso/cerdo); Densidad 1 pareado (D1P) = Un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos del D2AL ( $.81 \text{ m}^2$  de piso). Se tuvieron 4 bloques con 2 repeticiones por tratamiento; la fase experimental de cada bloque duró 20 días. El nitrógeno

retenido en gramos se incrementó del Periodo 1 al 2 en D1AL y D1P mientras que en D2AL fue similar entre períodos (Densidad x Periodo;  $P < .01$ ). El nitrógeno retenido sobre el digerido (%) fue similar en el Periodo 1 y 2 en D1AL y D1P, pero disminuyó en el Periodo 2 en D2AL (Densidad x Periodo;  $P < .05$ ). La retención de energía en Mcal se incrementó del Periodo 1 al 2 en D1AL y D1P, pero en D2AL fue similar entre períodos (Densidad x Periodo,  $P < .01$ ). La energía retenida sobre la energía digerida (%) disminuyó del Período 1 al 2 en D2AL, mientras que fue similar entre períodos en D1AL y D1P (Densidad x Periodo,  $P < .05$ ). En el experimento 3 se utilizaron 31 cerdos de  $67.5 \pm 4.4$  kg de peso, los cuales se cateterizaron en la vena yugular externa para determinar las concentraciones séricas de cortisol e insulina en cerdos alojados individualmente o en grupo. Los Tratamientos fueron: Densidad 1 = Un cerdo alojado individualmente con consumo a libertad, Densidad 2 = Dos cerdos alimentados en grupo con consumo a libertad. En este experimento se colectaron muestras de sangre en 14 Tiempos de muestreo durante los días 1, 14, 28 y 42 del experimento. La Densidad no tuvo efecto sobre las concentraciones de cortisol en sangre. En los cerdos de la Densidad 1 en relación a los cerdos de la Densidad 2 las concentraciones de insulina fueron mayores ( $P < .05$ ) en los Tiempos de -15 min preprandiales a 60 min posprandiales. En los Tiempos 30, 45 y 60 las concentraciones de cortisol fueron mayores ( $P < .01$ ) que en los Tiempos -15, 0 y 15. Las concentraciones de cortisol fueron mayores ( $P < .05$ ) en los Tiempos 240, 300 y 360 que en el Tiempo 420. En los Tiempos 45 y 60 las concentraciones de insulina fueron mayores ( $P < .01$ ) que en los Tiempos -15, 0, 15 y 30. Al Tiempo 90 las concentraciones de insulina fueron mayores ( $P < .01$ ) que en los Tiempos 120, 150 y 180. En el Tiempo 240 las concentraciones de insulina fueron mayores ( $P < .01$ ) que en el tiempo 300 y en este a su vez fueron mayores que en los tiempos 360 y 420. En cerdos en crecimiento el efecto de grupo en combinación con la restricción de espacio de piso, condiciones que representaron una fuente de estrés crónico, redujeron el consumo de alimento y la ganancia de peso, pero no la eficiencia de utilización de nutrientes en relación a cerdos alojados individualmente con libre



acceso al alimento. En cerdos en finalización, el efecto de grupo en combinación con la restricción de espacio de piso, ocasionó una disminución en la utilización de nitrógeno y energía como consecuencia probable del estrés crónico experimentado en la parte final del experimento. En cerdos alimentados en grupos de dos el efecto de grupo, ocasionó un menor consumo de alimento y una reducción en la ganancia de peso, pero esto no influyó en las concentraciones de cortisol a diferencia de las concentraciones de insulina, donde los cerdos de la Densidad 1 mostraron mayores concentraciones como consecuencia de un mayor consumo de alimento.

## INDICE GENERAL

<i>Contenido</i>	<i>Página</i>
JURADO DE EXAMEN.	I
DEDICATORIA.	II
AGRADECIMIENTOS.	III
RESUMEN.	IV
1. REVISION DE LITERATURA	
1.1. Definición de estrés.	1
1.2. Fuentes de estrés en animales domésticos.	2
1.3. Conducta alimenticia y productividad de los cerdos alojados en grupo.	3
1.4. Comportamiento productivo de los cerdos alojados en grupo.	4
1.5. Efectos del cortisol sobre el metabolismo de nutrientes y órganos digestivos.	5
1.6. Efectos de la insulina sobre el metabolismo de nutrientes y órganos Digestivos.	7
1.7. Modelos para diagnosticar estrés en cerdos.	8
1.8. Estrés crónico en cerdos.	11
1.9. Estrategias nutricionales evaluadas en cerdos alojados en grupo.	14
2. JUSTIFICACION.	17
3. HIPOTESIS.	17
4. OBJETIVOS.	17
5. DESCRIPCION FISICA.	18
6. EXPERIMENTO 1.	
6.1. MATERIALES Y METODOS.	19
6.2. RESULTADOS.	23
6.3. DISCUSION.	25

7. EXPERIMENTO 2.	
7.1. MATERIALES Y METODOS.	29
7.2. RESULTADOS.	30
7.3. DISCUSION.	32
8. EXPERIMENTO 3.	
8.1. MATERIALES Y METODOS.	35
8.2. RESULTADOS.	40
8.3. DISCUSION.	42
9. DISCUSION GENERAL.	47
10. CONCLUSIONES.	50
11. LITERATURA CITADA.	78

## Lista de Cuadros

	<i>Página</i>
Cuadro 1. Formulación de las dietas utilizadas en los experimentos 1, 2 y 3.	52
Cuadro 2. Efecto de la Densidad y del Período sobre la utilización de la materia seca de los cerdos en la etapa de crecimiento (Experimento1).	53
Cuadro 3. Efecto de la Densidad y del Período sobre la utilización del nitrógeno de los cerdos en la etapa de crecimiento (Experimento1).	54
Cuadro 4. Efecto de la Densidad y del Período sobre la utilización de la energía de los cerdos en la etapa de crecimiento (Experimento1).	55
Cuadro 5. Efecto de la Densidad y del Período sobre la utilización de la materia seca de los cerdos en la etapa de finalización (Experimento 2).	61
Cuadro 6. Efecto de la Densidad y del Período sobre la utilización del nitrógeno de los cerdos en la etapa de finalización (Experimento 2).	62
Cuadro 7. Efecto de la Densidad y del Período sobre la utilización de la energía de los cerdos en la etapa de finalización (Experimento 2).	63

Cuadro 8.	
Efecto de la Densidad sobre el comportamiento productivo (Experimento 3).	71
Cuadro 9.	
Efecto de la Densidad sobre las concentraciones séricas de cortisol (Experimento 3).	72
Cuadro 10.	
Efecto de la Densidad sobre las concentraciones séricas de insulina (Experimento 3).	73

## Lista de Gráficas

*Página*

Gráfica 1. Nitrógeno en orina en cerdos en crecimiento, g/d (Experimento 1).	56
Gráfica 2. Nitrógeno retenido/digerido en cerdos en crecimiento, % (Experimento 1).	57
Gráfica 3. Nitrógeno retenido/consumido en cerdos en crecimiento, % (Experimento 1).	58
Gráfica 4. Energía en orina en cerdos en crecimiento, Mcal/d (Experimento 1).	59
Gráfica 5. Energía retenida/digerida en cerdos en crecimiento, % (Experimento 1).	60
Gráfica 6. Consumo de materia seca en cerdos en finalización kg/d (Experimento 2).	64
Gráfica 7. Consumo de nitrógeno en cerdos en finalización, g/d (Experimento 2).	65
Gráfica 8. Nitrógeno retenido/consumido en cerdos en finalización, g/d (Experimento 2).	66
Gráfica 9. Nitrógeno retenido/digerido en cerdos en finalización, % (Experimento 2).	67

Gráfica 10.	
Consumo de energía en cerdos en finalización, Mcal/d (Experimento 2).	68
Gráfica 11.	
Energía retenida/consumida en cerdos en finalización, Mcal/d (Experimento 2).	69
Gráfica 12.	
Energía retenida/digerida en cerdos en finalización, % (Experimento 2).	70
Gráfica 13.	
Efecto del Día sobre el consumo de alimento, kg/d (Experimento 3).	74
Gráfica 14.	
Efecto del Tiempo sobre las concentraciones séricas de cortisol en plasma, $\mu\text{g}/\text{dl}$ (Experimento 3).	75
Gráfica 15.	
Efecto del Tiempo sobre las concentraciones séricas de insulina en plasma, UI/dl (Experimento 3).	76
Gráfica 16.	
Efecto del Día sobre las concentraciones séricas de cortisol, $\mu\text{g}/\text{dl}$ (Experimento 3).	77
Gráfica 17.	
Efecto del Día sobre las concentraciones séricas de insulina, UI/dl (Experimento 3).	77

## **1. REVISION DE LITERATURA**

### **1.1 *Definición de estrés***

El estrés es parte de la vida de un animal y es una respuesta que lo ayuda a sobrevivir. Se define como la respuesta biológica a un evento que el animal percibe como una amenaza para su homeostasis. Este evento percibido como una amenaza es el estresor (Moberg, 1993; Moberg, 2000).

La respuesta al estrés comienza en el sistema nervioso central cuando este percibe una amenaza potencial para su homeostasis. Fenómeno que desarrolla una respuesta biológica o defensa que consiste en alguna combinación de las cuatro respuestas generales de defensa: del comportamiento (de Haer y Vries, 1993; Hicks et al. 1998), del sistema nervioso autónomo (Schrader y Ladewig, 1999) neuroendocrina (Spencer, 1980; Spencer y Hallet, 1981; Becker et al., 1985) o inmune (van Heugten y Spears, 1997; Williams et al., 1997; Hicks et al., 1998). Los cambios en la función biológica durante el estrés son considerados como “el costo biológico del estrés”, se encuentra reflejado en una reducción de la producción, por ejemplo menores tasas de crecimiento (Hernández, 2003), menores índices reproductivos (Moberg, 1993, Bate y Hacker, 1985; Braganca et al., 1998), y un incremento en la incidencia de enfermedades (Williams et al., 1997).

Cuando el estrés es leve solo se usan las reservas corporales para hacer frente al estresor. La respuesta biológica se extiende por un tiempo y se reestablecen las reservas, por lo que el costo biológico es insignificante. Cuando las reservas corporales son usadas y se vuelven insuficientes para satisfacer la respuesta del costo biológico del estrés, los recursos se obtienen de otras funciones (Moberg, 2000). Cuando se desvían recursos de otras funciones, esas funciones biológicas son deterioradas. Esto es el caso de animales jóvenes que sufren estrés, la energía se obtiene del metabolismo dirigido a la síntesis de tejidos lo que impide el crecimiento del animal (Hernández, 2003). Cuando la energía es retirada de las



funciones reproductivas, la reproducción es disminuida (Moberg, 1993, Bate y Hacker, 1985; Braganca et al., 1998).

El cambio en las funciones biológicas de un animal puede ser resultado de estrés agudo o de estrés crónico. El estrés agudo es usualmente relacionado a exposiciones breves a un solo estresor (Moberg, 1999). Mientras que un estado de estrés crónico se obtiene cuando un animal es expuesto continuamente a un mismo estresor, sin la oportunidad de reestablecer sus reservas, de manera que puede acumularse suficiente costo biológico que puede afectar otras funciones (Ladewig, 2000; Moberg, 2000).

### **1.2 Fuentes de estrés en animales domésticos**

La domesticación ha eliminado muchos de los estresores encontrados en la vida silvestre, como la protección contra predadores, la proporción de una adecuada alimentación y la protección contra las condiciones ambientales extremas. Sin embargo los sistemas modernos de producción intensiva han traído nuevas y variadas fuentes de estrés para los cerdos.

El destete temprano incrementa la eficiencia de la producción, pero de manera transitoria puede suprimir la habilidad del sistema inmune para responder a los desafíos de los patógenos (Blecha et al., 1983) y provocar cambios endocrinos y metabólicos pronunciados (Funderburke y Seerley, 1990; McCracken et al., 1995). El transporte de cerdos disminuye la capacidad para combatir enfermedades (McGlone et al., 1993). En cerdos alojados en grupo generalmente se observa una disminución del crecimiento, cambios en la conducta alimenticia y menor eficiencia en el uso de los alimentos, especialmente, cuando el espacio es limitado por animal (Spicer y Aherne, 1987; Gonyou et al., 1992; Gómez et al., 2000).

La conducta agresiva y el mantenimiento del orden social son los problemas principales asociados al retraso en el crecimiento de los cerdos alojados en grupo.

Desde que los cerdos nacen se inicia una fuerte competencia para establecer el orden o jerarquía social que determina la existencia de cerdos dominantes y sumisos, lo que a su vez influye sobre la conducta alimenticia y el crecimiento de los cerdos durante toda su vida productiva (Gómez, 1998). Jensen (1982) observó que las peleas entre cerdos disminuyen después del establecimiento de un orden de dominancia, pero las interacciones agresivas así como las amenazas y el comportamiento sumiso están normalmente presentes en un grupo estable. De esta manera, cuando se compara el comportamiento productivo en cerdos en grupo y cerdos alojados individualmente, se ha observado que estos últimos tienen mayores probabilidades de expresar su potencial real de deposición de tejidos y crecimiento, debido a que en los primeros, estos procesos están siendo limitados por las interacciones con otros miembros del grupo.

### **1.3 Conducta alimenticia y productividad de los cerdos alojados en grupo**

de Haer y Merks (1992) y de Haer y de Vries (1993) observaron que los cerdos alojados en grupos comen más rápido y consumen más alimento por comida, pero tienen menos comidas por día, pasan menos tiempo comiendo por día y tienen menor consumo diario que los cerdos alojados individualmente. de Haer y Merks (1992) reportaron también que los cerdos alojados individualmente tienen una distribución más homogénea de comidas durante el día comparados con los cerdos alojados en grupo, debido probablemente a la falta de competencia por el alimento. de Haer y Merks (1992) y de Haer y de Vries (1993) reportaron 10 comidas por día en cerdos alojados en grupos de ocho, y alrededor de 20 comidas por día en cerdos alojados individualmente.

Cuando los cerdos en grupo son alimentados, comienza a ocurrir un comportamiento agresivo aunque el espacio por comedero exceda los niveles recomendados (Spicer y Aherne, 1987; Gonyou et al., 1992, Young y Lawrence, 1994). Spicer y Aherne (1987) observaron que mucha de la competencia de los cerdos alojados en grupo ocurre durante la comida, porque los cerdos son

estimulados por el comportamiento alimenticio de otros miembros del grupo. Dentro de esta competencia, el efecto del rango social interfiere con el consumo individual de alimento, porque los cerdos de alto rango tienen más visitas al comedero, permanecen más tiempo comiendo y consumen más alimento que los cerdos de menor rango (Young y Lawrence, 1994).

En algunos trabajos se ha observado una reducción en la digestibilidad de los nutrientes en cerdos alojados en grupo comparados con los cerdos alojados individualmente (de Haer y de Vries, 1993; Gómez et al., 2000). La menor digestibilidad puede deberse a las alteraciones en la conducta alimenticia de los cerdos alojados en grupo. Como se indicó, los cerdos en grupo tienen más visitas al comedero para lograr el mismo nivel de consumo, lo que tiene como consecuencia un incremento en los encuentros agresivos (Vargas et al., 1987), estos cerdos pueden tener menos visitas al comedero pero más largas y tienen que comer más rápidamente. El rápido consumo de alimento puede ocasionar un tránsito más rápido a través del tracto digestivo, por lo que hay una reducida exposición del alimento a las secreciones digestivas y puede haber un incremento en la tasa de pasaje en el intestino delgado (Gómez et al., 2000).

#### **1.4 Comportamiento productivo de cerdos alojados en grupo**

Kornegay et al. (1993a) sugieren que los cerdos que se alojan en grupo y con un menor espacio a lo recomendado, tienen un menor desempeño productivo, por la disminución en el consumo de aminoácidos y energía, ocasionado por el menor consumo de alimento. Por otro lado, el incremento de la actividad física originada por la competencia y el mantenimiento del orden social han sido asociados a un incremento en la tasa metabólica y un mayor gasto energético para disipar el calor producido (Chapple, 1993; de Haer y Merks, 1992; de Haer y de Vries, 1993). Los cerdos de mayor rango social permanecen largos periodos de tiempo en el comedero evitando que otros cerdos consuman alimento, lo que provoca un mayor gasto de energía. Los cerdos de bajo rango social, por otro lado, hacen un mayor

número de visitas al comedero pero son desplazados rápidamente sin haber consumido alimento (Randolph et al., 1981; Young y Lawrence, 1994).

La reducción de espacio disponible de piso por cerdo (hacinamiento) por debajo de los niveles recomendados para un óptimo crecimiento aumenta las interacciones agresivas para el mantenimiento del orden social ocasionando un menor consumo de alimento, un aumento de la tasa metabólica y un mayor gasto de energía lo que se traduce en una menor productividad en relación a cerdos alojados con un espacio adecuado o individualmente (Randolph et al., 1981; Hernández, 2003). Chapple (1993) sugiere que las respuestas relacionadas al estrés en cerdos criados en grupo con espacio adecuado o restringido de piso pueden ser mediadas a través de hormonas como el cortisol y factores humorales que, probablemente, reducen el crecimiento de los tejidos, disminuyen los requerimientos de nutrimentos y reducen el consumo de alimento.

### ***1.5 Efectos del cortisol sobre el metabolismo de nutrientes y órganos digestivos***

Se ha reportado que los glucocorticoides afectan el metabolismo de los hidratos de carbono, por lo que se ha catalogado al cortisol como una hormona gluconeogénica. El cortisol disminuye la captación de glucosa por parte de tejidos periféricos, e incrementa la gluconeogénesis en el hígado al estimular las enzimas que intervienen en la ruta gluconeogénica como son la fosfoenolpiruvato carboxicinasa y la glucosa-6 fosfatasa (Tyrrell y Forsham, 1988). Goldstein et al. (2002) reportaron recientemente que la hipercortisolemia crónica causa un incremento en la gluconeogénesis hepática a partir de lactato, piruvato y aminoácidos, lo que confirma la naturaleza gluconeogénica de esta hormona.

En el tejido adiposo el efecto de una hipercortisolemia es una mayor lipólisis con liberación de glicerol y ácidos grasos (Tyrrell y Forsham, 1988). En este sentido, Djurhuus et al. (2002) al determinar los efectos de la aplicación de hidrocortisona y

las subsecuentes elevaciones de cortisol circulante, encontraron que el cortisol incrementa los ácidos grasos libres y glicerol en suero y el recambio de palmitato en todo el cuerpo, lo que indica incremento de la lipólisis sistémica en el estado posabsortivo. Además observaron que el cortisol aumenta la oxidación lipídica y conduce a incrementos en las concentraciones de glicerol intersticial en el tejido adiposo abdominal y femoral. Confirmando que el cortisol estimula la lipólisis del tejido adiposo subcutáneo superior e inferior.

El cortisol también tiene efectos catabólicos sobre músculo esquelético. Niveles elevados en plasma estimulan la pérdida de masa muscular (Gore et al., 1993; Woolf, 1992). En el estudio citado, se demostró que en el estado postabsortivo, el cortisol incrementa y promueve la proteólisis de todo el cuerpo (Simmons et al., 1984). Paddon-Jones et al. (2003) mencionan que los altos niveles de cortisol en sangre en el estado postabsortivo incrementa las concentraciones arterial, venosa e intracelular de fenilalanina en músculo. Wing y Goldberg (1993) mencionan que los glucocorticoides aumentan durante el ayuno e incrementan la degradación del músculo esquelético.

Además del impacto del estrés sobre el metabolismo de nutrientes, se han reportado alteraciones en los patrones de secreción pancreática de insulina y glucagon, lo que ocasiona un desbalance de la salida de glucosa y aminoácidos y se afecta la síntesis y almacén de glucógeno y proteína en los tejidos (Elsasser et al., 2000).

Diferentes eventos que ocasionan estrés pueden afectar los procesos digestivos. Georgsson et al. (2000), encontraron alteraciones en la síntesis y secreción del jugo pancreático en cerdos sometidos a un estrés de frustración consistente en evitar que los cerdos consumieran alimento mientras que los animales contiguos tenían libre acceso al alimento. En cerdos transportados, (van der Meulen et al., 2000), se presentó una disminución del pH intestinal y una reducción de la

permeabilidad 4 horas después del estrés. También es probable que el estrés provoque una mayor motilidad del tracto digestivo a través del sistema nervioso autónomo (Ganong, 1986; Schrader y Ladewig, 1999).

### **1.6 Efectos de la insulina sobre el metabolismo de nutrientes y órganos digestivos**

Después de la ingestión de alimentos, ocurre un incremento en la concentración de insulina periférica, que comienza de 8 a 10 minutos después de iniciar la comida, y alcanza una concentración máxima entre 30 a 45 minutos. Lo anterior va seguido por una disminución rápida en el valor posprandial de glucosa plasmática que vuelve a las cifras basales entre los 90 y los 120 minutos. El efecto neto de la insulina es favorecer el depósito de hidratos de carbono, proteínas y grasa, de manera que en el período posprandial estimula la entrada de glucosa en el tejido adiposo y músculo. (Karam et al., 1988).

En el hígado la insulina inhibe la gluconeogénesis y estimula la glucólisis, por sus efectos en enzimas de la vía glucolítica. Revierte los fenómenos catabólicos del estado de postabsorción, al inhibir la glucogenolisis, la cetogénesis y la gluconeogénesis (Karam et al., 1988, Fernández-Fígares et al., 2004). Por otra parte, Wray-Cahen et al. (1998) evaluaron la síntesis de proteína en músculo esquelético estimulada por la aplicación de insulina, y encontraron que la respuesta fue mayor a dosis bajas de la hormona, además, se sugiere que la insulina es factor importante en la regulación de la respuesta de síntesis de proteína al consumo. La insulina estimula la síntesis proteínica en el músculo, al intensificar el transporte de aminoácidos y también al estimular la síntesis de proteínas ribosómicas (Karam et al., 1988). De la misma manera, la insulina tiene efectos que inhiben la lipólisis del triglicérido almacenado, al inhibir la acción de la lipasaintracelular y aumentan la lipogénesis ya que induce la lipoproteinlipasa y hace que los ácidos grasos queden disponibles para absorción en los adipocitos, e intensifica el transporte de glucosa al interior de los mismos; por tanto, incrementa

la disponibilidad del  $\alpha$ -glicerol fosfato para la síntesis de triglicéridos (Karam et al., 1988; Göransson et al., 2004).

### **1.7 Modelos para diagnosticar estrés en cerdos**

Diferentes fuentes de estrés se han evaluado en cerdos para determinar cambios en las respuestas biológicas. Dentro de las fuentes evaluadas se encuentran el aislamiento, cambios de temperatura, manejo, transporte y desafíos inmunes, entre otros, en los cuales se provocó estrés de tipo agudo, donde los cerdos regresaron a su estado biológico inicial en el término de unas horas o días.

Becker et al. (1985) al someter a cerdos a 3 diferentes factores inductores de estrés (confinamiento por una hora, estimulación eléctrica por 6 minutos, y alta temperatura durante 6 horas) durante 3 días consecutivos, encontraron que los animales que fueron confinados alcanzaron un pico de cortisol a la primera hora de iniciado el estrés, retornando a los niveles basales previos después de 7 horas posteriores a éste. Los cerdos que fueron estimulados eléctricamente mostraron un pico de concentración plasmática de cortisol a los 20 minutos, reestableciéndose el nivel basal a las 2 horas post-tratamiento. Los que fueron termo estresados, alcanzaron un pico de cortisol sanguíneo al término del tratamiento, volviendo a su nivel basal una hora después. Otra observación importante fue que independientemente de la fuente de estrés, las concentraciones de cortisol disminuyeron del día 1 al día 3, lo que sugiere una adaptación de los cerdos a la fuente de estrés. En ese estudio se confirmó que los cambios en las concentraciones plasmáticas de cortisol lo ubican como un indicador universal de estrés en cerdos.

En los trabajos de Spencer (1980) y Spencer y Hallett (1981), cerdos jóvenes fueron expuestos a un estrés de manejo durante 5 minutos (los animales se sacaron de su corral, se subieron a una rampa y regresaron a su corral). Las concentraciones de cortisol se incrementaron rápidamente después del manejo

alcanzando sus niveles más altos entre los 15 y 20 min, regresando a los niveles basales a los 60 min. Las concentraciones de insulina y tiroxina también se elevaron durante los primeros 15 a 20 minutos, volviendo a sus valores normales a los 60 minutos después del estrés. Los niveles plasmáticos de glucosa alcanzaron un nivel máximo a los 10 minutos, y regresaron a niveles basales a los 30 minutos. Los ácidos grasos libres en plasma disminuyeron en los primeros 30 minutos y después se incrementaron a un nivel máximo a las 3 horas.

Webel et al. (1997) mencionan que lechones expuestos a un estrés inmunológico (los animales fueron inyectados con un polisacárido capsular de *E. coli*) mostraron un incremento en la concentración de cortisol inmediatamente después del desafío y alcanzaron un pico 4 horas posteriores a la inoculación del polisacárido, retornando a los niveles basales a las 12 horas postinoculación. También encontraron que las concentraciones de nitrógeno ureico en plasma se elevaron entre 8 y 12 horas después del desafío. En el trabajo de Balaji et al. (2000) se observó que las concentraciones de cortisol en cerdos desafiados inmunológicamente con *Salmonella typhimurium* se empezaron a incrementar 12 h después y se mantuvieron elevadas entre 18 y 60 horas después del desafío.

Los hallazgos anteriores sugieren que en condiciones de estrés de corto plazo o agudo, las concentraciones de cortisol son un indicador aceptable de cambios endócrinos. Además de cambios en las concentraciones de cortisol, en algunos trabajos se observaron incrementos en las concentraciones de metabolitos como glucosa, urea y ácidos grasos que indirectamente reflejan cambios en el metabolismo de los hidratos de carbono, proteína y grasa corporales, como se describió previamente para las hormonas con propiedades glucocorticoides como el cortisol. Después de someter los cerdos a un factor estresante, el momento del inicio del incremento en las concentraciones de cortisol varía dependiendo de la naturaleza del estresor; también varían los tiempos en que se alcanza la máxima concentración; los tiempos durante los cuales las concentraciones permanecen



elevadas; y los tiempos en que se alcanzan las concentraciones basales. Todo esto sugiere que los cambios en las concentraciones de cortisol después de un desafío son específicos de cada fuente de estrés aplicado.

En el trabajo de Schrader y Ladewig (1999) se evaluaron las respuestas de cerdos expuestos diariamente durante 10 días a un estresor. La fuente de estrés consistió en la separación social durante una hora. Los cerdos se alojaron en una jaula con espacio suficiente y no tuvieron contacto visual, auditivo ni olfativo con otros cerdos. Como resultado se obtuvieron diferentes respuestas en su modelo de adaptación a la repetición diaria de un estresor. Los niveles de ACTH y de cortisol disminuyeron continuamente con la repetición de la prueba lo que indica un proceso de adaptación, resultados que coinciden con lo reportado por Becker et al. (1985). Sin embargo, las respuestas relacionadas al sistema nervioso autónomo como son, elevaciones en las concentraciones de adrenalina, noradrenalina y ritmo cardiaco se mantuvieron sin cambios durante toda la prueba, lo que sugiere diferentes niveles de adaptación a una misma fuente de estrés.

En algunos estudios también se ha observado una falta de consistencia en las concentraciones de cortisol o bien efectos contrarios después de someter a los cerdos a la misma fuente de estrés. McGlone et al. (1993) observaron que cerdos en crecimiento que fueron sometidos a estrés de transporte durante 4 horas, mostraron un incremento en la concentración de cortisol después del transporte con respecto a los cerdos que no fueron transportados. Además se observó una relación negativa entre el incremento en el peso y las concentraciones de cortisol, esto es que los cerdos con mayores concentraciones de cortisol en plasma perdieron más peso que los cerdos con menores concentraciones de cortisol. Sin embargo, en un trabajo posterior realizado por el mismo grupo de investigadores y en las mismas condiciones de estudio (Hicks et al., 1998) el estrés por transporte no tuvo efectos sobre las concentraciones de cortisol; solamente se observó una

elevación significativa de glucosa en suero y no se encontró relación entre la pérdida de peso en los cerdos transportados y las concentraciones de cortisol.

En el mismo trabajo de Hicks et al. (1998) se evaluaron los efectos del estrés por calor y frío y se encontró que en ambos casos no hubo diferencias en las concentraciones de cortisol en relación a un tratamiento control, mientras que el estrés por frío provocó un mayor incremento en las concentraciones de cortisol con relación al estrés por calor. Este resultado no coincide con lo reportado por Becker et al. (1985) en donde los cerdos termo-estresados mostraron mayores concentraciones de cortisol que cerdos de un grupo control. Bate y Hacker, por su parte, (1985) encontraron mayores concentraciones de cortisol en cerdas gestantes sometidas a bajas (2°C) o altas (32°C) temperaturas en relación a cuando se mantuvieron a una temperatura dentro de la zona de confort (18°C). Estas discrepancias también han sido señaladas por Blecha (2000), y Lay y Wilson (2002), sin que hasta el momento se tenga una explicación razonable al respecto.

### **1.8 Estrés crónico en cerdos**

Algunos estudios se han enfocado a evaluar las respuestas biológicas de cerdos sometidos a fuentes de estrés de tipo crónico o de largo plazo. Sin embargo, Ladewig (2000) manifiesta que actualmente en esta área de estudio se ha avanzado más lentamente en relación a estudios de estrés agudo, por lo que no se cuenta con pruebas o métodos confiables que puedan ser usados para diagnosticar estrés crónico. Aunque en estudios de estrés de largo plazo se han usado pruebas empleadas para diagnosticar estrés agudo, como respuestas conductuales y fisiológicas (como la determinación de las concentraciones de cortisol), o el desafío con ACTH, en ninguna de estas se han observado respuestas consistentes (Ladewig y Smidt, 1989; Rushen, 1991; Von Borell y Ladewig, 1992). De acuerdo con Ladewig (1994, 2000) y Moberg (2000) es necesario considerar al estrés a largo plazo como una sucesión de repeticiones de

estrés agudo, un estado que ha sido llamado estrés crónico intermitente. Sin embargo, un organismo que está sujeto a estrés intermitente a largo plazo, cambia sus respuestas a los estresores sobre el tiempo. Algunas respuestas disminuyen por su adaptación y otras respuestas pueden ser suprimidas o regresar a su estado normal (i.e., secreción basal de cortisol). Además la respuesta al estresor en un animal depende de su experiencia previa, y la misma situación de estrés puede afectar de manera distinta a cada individuo.

El estrés crónico intermitente se puede presentar en cerdos de bajo rango social alojados en grupo ya que continuamente se enfrentan a diversos factores de estrés como miedo (debido a la competencia permanente para mantener el orden social), hambre (porque son desplazados continuamente de los comederos), frío (cuando son relegados del grupo y limitados a las áreas húmedas o mal ventiladas del corral) y frustración (porque son blanco continuo de la conducta agresiva de los cerdos dominantes y de rango intermedio), lo que resulta en la aplicación irregular de estresores heterotípicos (Burchfield, 1979; Ladewig, 1994). Aunque es difícil identificar el grado de estrés que sufren los cerdos alojados en grupo en función de su rango social, es evidente que debido a los enfrentamientos y conducta agresiva, los cerdos exhiben algunas de las respuestas biológicas generales de defensa, como ha sido observado en varios trabajos. En el estudio de Tuchscherer et al. (1998) se encontró que los cerdos sumisos presentaron mayor indicio de estrés en comparación con cerdos intermedios y dominantes. De Jonge et al. (1996) reportaron que en cerdos criados en par desde el destete, el sumiso manifestó síntomas de estrés crónico en la edad adulta como retraso en el crecimiento y elevación de cortisol en plasma después de aplicar un estresor. Similarmente, Hicks et al. (1998) observaron mayores concentraciones de cortisol en cerdos sumisos en relación a cerdos de rango intermedio. Zanella et al. (1998) encontraron que las concentraciones de cortisol fueron mayores en cerdas intermedias, que en las dominantes y sumisas, presumiblemente porque estas cerdas tienen que competir con las dominantes y mantener su dominancia sobre

las sumisas. Tuchscherber et al. (1998) reportaron también mayores concentraciones de cortisol en cerdos de rango intermedio que en cerdos sumisos o dominantes.

En estudios de estrés agudo se ha observado que cuando los cerdos son expuestos a fuentes de estrés que se repiten en forma continua, las respuestas asociadas disminuyen en magnitud a través del tiempo, lo que se conoce como respuesta adaptativa al estrés (Becker et al., 1985; Schrader y Ladewig, 1999). Sin embargo, en algunos estudios donde los cerdos han experimentado estrés de tipo crónico, se ha observado una mayor susceptibilidad neuroendocrina manifestada ésta por un incremento de cortisol después de un desafío con ACTH (Mendl et al., 1992), o bien, después de someter a los cerdos a una nueva fuente de estrés (de Jonge et al., 1996; Moberg, 2000), lo que sugiere que en cerdos sometidos a estrés de tipo crónico, algunas respuestas se pueden incrementar como resultado de una nueva fuente de estrés, mediante un proceso conocido como sensibilización (Ladewig, 2000).

Uno de los modelos más usados para provocar estrés de tipo crónico en varios estudios ha sido el encadenamiento de los cerdos al piso de una jaula, limitando sus movimientos y las interacciones sociales con otros cerdos durante períodos de hasta 20 semanas (Dantzer, 1986; Janssens et al., 1993; 1994). En el modelo de estrés crónico usado por de Jonge et al. (1996) se criaron cerdos en par desde el destete hasta la edad adulta, encontrando que los cerdos sumisos manifestaron síntomas de estrés crónico como retrasos en el crecimiento y mayores concentraciones de cortisol después de ser sometidos a una fuente de estrés agudo. Con respecto a cerdos alojados en grupo, pocos estudios se han realizado 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, como fue descrito por Ladewig (2000).

En algunos trabajos se ha determinado las concentraciones de cortisol en cerdos alojados en grupo con resultados variables. En el trabajo de Hernández (2003) se encontró que cerdos alojados en grupo con espacio adecuado mostraron menores concentraciones de cortisol que cerdos en grupo con espacio restringido y cerdos alojados individualmente. En un segundo estudio, no se encontraron diferencias en las concentraciones de cortisol en cerdos alojados en grupo con espacio adecuado o restringido y cerdos alojados individualmente (Hernández 2003). Similarmente, en el estudio de Bustamante et al. (1996) tampoco se observaron diferencias en las concentraciones de cortisol entre lechones alojados individualmente y aquellos alojados en grupos. Además, Kornegay et al. (1993a,b) no encontraron diferencias en las concentraciones de corticoesteroides o el peso de las adrenales en lechones alojados con espacio adecuado o restringido. En concordancia, Yen y Pond (1987) reportaron que no hubo efecto de la restricción de espacio sobre el peso de las adrenales, aunque el crecimiento se deprimió. Contrariamente, Lindemann et al. (1987) observaron una mayor actividad esteroide en cerdos alojados en grupos de 10 por corral comparados con los grupos de 5.

En los trabajos aquí mencionados, las muestras de sangre para determinar cortisol fueron tomadas a través de punción de la yugular, debido a las dificultades para mantener la viabilidad de un catéter, por las constantes interacciones entre los cerdos, lo cual pudo ocasionar alteraciones en las concentraciones de esta hormona y contaminar los resultados. Lo anterior sugiere que se deben identificar respuestas biológicas más confiables para diagnosticar estrés de tipo crónico en cerdos alojados en grupo.

### **1.9 Estrategias nutricionales evaluadas en cerdos alojados en grupo.**

Varias estrategias se han usado para compensar la reducción del consumo de alimento y el retraso en el crecimiento de los cerdos alojados en grupo con espacio restringido. Edmonds et al. (1998) evaluaron el efecto del nivel de proteína

cruda y la asignación de espacio sobre el desarrollo de cerdos en crecimiento—finalización. Estos investigadores reportaron que los cerdos hacinados tuvieron una marcada reducción en el consumo, ganancia y eficiencia alimenticia comparados con los cerdos provistos con espacio adecuado, cuando los cerdos en la etapa de crecimiento fueron alimentados con un nivel alto de proteína, la eficiencia alimenticia se redujo, sin embargo, en la fase de finalización no hubo respuesta a la adición mayores niveles de proteína/lisina.

Ward et al. (1997) evaluaron los efectos del nivel de proteína cruda en cerdos en crecimiento y finalización provistos con espacio adecuado o hacinados. Los cerdos hacinados tuvieron menor ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia que los cerdos provistos con espacio adecuado. Kornegay et al. (1993b) encontraron que cerdos con espacio adecuado consumieron más alimento, tuvieron un crecimiento más rápido, pero fueron menos eficientes que los cerdos hacinados. Estos investigadores también encontraron que la adición de lisina en la dieta no mejoró las variables productivas de los cerdos hacinados. Brumm y Miller (1996) midieron la respuesta de cerdos con diferente asignación de espacio y dietas, variando la densidad de lisina y energía. En cerdos hacinados se redujo la productividad, y esta no se favoreció con la adición de lisina, energía o la combinación de ambos en la dieta.

En otros estudios donde se ha incrementado la densidad de la dieta, adicionado lisina, energía y otros aminoácidos, no se han observado beneficios en el crecimiento de los cerdos alojados en condiciones de espacio restringido (NCR-42, 1993; Hahn et al., 1995; Myer y Bucklin, 1993, 1994, 1995). En el trabajo de Ward et al. (1997) se reportó que la adición de tripicolinato de cromo en la dieta no mejoró la productividad de los cerdos hacinados; resultado que coincide con los de Siberio et al. (1996a,b) en donde lechones al destete en condiciones de hacinamiento no fueron afectados por la inclusión de cromo en la dieta. Además tampoco se han encontrado efectos benéficos sobre la productividad de los cerdos

hacinados con la inclusión de selenio, zinc, magnesio o vitamina C en la dieta (Yen y Pond, 1987; Kornegay et al., 1993a,b). La adición de un antibiótico en la dieta, virginiamicina, tampoco ayudo a prevenir el retraso en el crecimiento de los cerdos hacinados (Moser et al., 1985).

Desde el punto de vista nutricional, es importante definir con exactitud si existen cambios en la utilización de nutrimentos a nivel metabólico en los cerdos alojados en grupo, especialmente los alojados con espacio restringido, para decidir y evaluar estrategias alimenticias apropiadas. El hacinamiento, asociado a la competencia por los recursos disponibles contribuyen a crear una situación de estrés. Probablemente, los cerdos que sufren estrés crónico presentan un incremento en la secreción de cortisol, y este a su vez, induce cambios en la utilización de proteína y energía, con lo cual la eficiencia en el uso de estos nutrimentos se puede reducir, conduciendo a una menor deposición de proteína y menor crecimiento. En cerdos alojados en grupo, es importante evaluar diferentes métodos o indicadores de estrés crónico, que de manera indirecta puedan indicar si existen alteraciones en las respuestas biológicas, especialmente a nivel digestivo y metabólico, para poder comprender, corregir o prevenir el retraso en el crecimiento manifestado por estos cerdos.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Los cerdos alojados en grupo, y en especial, aquellos cerdos provistos con un espacio reducido, generalmente no son capaces de expresar su potencial genético de crecimiento debido al estrés crónico ocasionado por la constante confrontación para mantener su estatus social y dominio de los recursos disponibles. En los cerdos alojados en grupo, el consumo de alimento y la ganancia de peso se deprimen entre un 10 y 20% comparados con los mismos cerdos alojados individualmente. Diferentes estrategias nutricionales para contrarrestar el menor consumo de nutrientes y los posibles cambios metabólicos ocasionados por el estrés han sido evaluados, sin embargo, ninguna de estas ha tenido un completo éxito para mejorar la productividad de estos animales. Es importante, por lo tanto, determinar si en cerdos sometidos a estrés, la fisiología digestiva o el metabolismo de nutrientes se alteran respecto a cerdos criados en condiciones óptimas.

## **3. HIPÓTESIS**

Los cerdos que presentan estrés crónico causado por la reducción de espacio disponible y/o el incremento del tamaño de grupo muestran una menor ganancia de peso como resultado de una inadecuada utilización de nutrientes, a nivel digestivo y metabólico.

## **4. OBJETIVOS**

### **Experimento 1.**

Evaluar la utilización de nitrógeno y energía en cerdos alojados de forma individual y en grupo en la etapa de crecimiento.

### **Experimento 2.**

Evaluar la utilización de nitrógeno y energía en cerdos alojados de forma individual y en grupo en la etapa de finalización.



### **Experimento 3.**

Determinar las concentraciones séricas de cortisol e insulina en cerdos alojados individualmente y en grupos de dos.

### **5. DESCRIPCION FISICA**

El CENIFA-INIFAP se localiza en el Km, 1.5 de la carretera Ajuchitlán-Colón, en el estado de Querétaro. Con una ubicación a 12° 00 00" longitud oeste y a 20° 43 00" latitud norte a una altura de 1950 msnm. El clima predominante de la zona es semiseco templado, con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 460 a 640 mm y una temperatura media anual de 14°C.

## **6. EXPERIMENTO 1**

### **6.1 MATERIALES Y METODOS**

Se utilizaron 40 cerdos producto de un cruzamiento alterno Duroc x Landrace, machos castrados en crecimiento con un peso promedio inicial de  $28.8 \pm .9$  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, el cual consistió en la provisión de dos comidas al día durante media hora. Durante este período el alimento se proporcionó a libre acceso y se llevó un registro del consumo diario.

#### **Tratamientos**

Los tratamientos consistieron en diferentes densidades mediante la provisión de diferente espacio disponible de piso por cerdo (el cual aparece entre paréntesis en cada tratamiento) incrementando el número de animales por jaula y con diferente criterio de alimentación, como se describe a continuación.

Densidad 1 a libertad (D1AL) = Un cerdo alojado individualmente y con consumo a libertad (0.81 m<sup>2</sup> de piso).

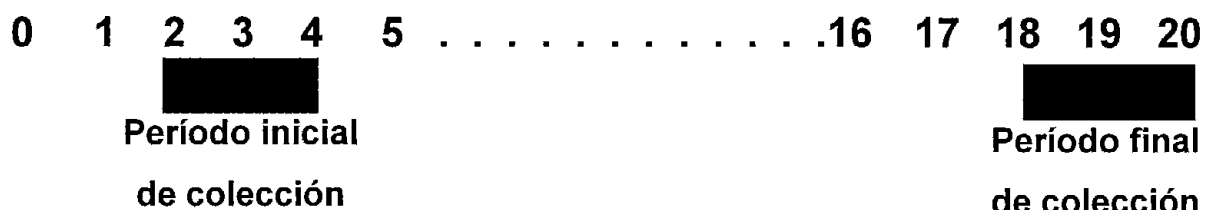
Densidad 3 a libertad (D3AL) = Tres cerdos alojados en grupo con consumo a libertad (0.271 m<sup>2</sup> de piso/cerdo).

Densidad 1 pareado (D1P) = Un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos del D3AL (0.81 m<sup>2</sup> de piso).

El experimento estuvo dividido en dos períodos de colección de excretas y orina. Al inicio, se realizó el primer muestreo durante 3 días (días 2 al 4); posteriormente se dejó descansar a los cerdos durante 12 días (días 5 al 17) y finalmente se realizó un segundo período de muestreo durante 3 días (días 18 al 20) donde se llevó a cabo el mismo procedimiento.

# Cronograma de actividades

## DIAS



### Jaulas

Los animales se alojaron en jaulas metabólicas provistas con un comedero removible, el cual se usó para ofrecer el alimento, y el agua entre comidas. Cada jaula contaba con malla y charola que permitieron coleccionar las heces y separar la orina. El espacio disponible de piso por jaula fue de .81 m<sup>2</sup>, excluyendo el espacio ocupado por el comedero.

El alimento (Cuadro 1) se suministró en dos comidas con una duración de 30 min cada una, a las 0800 y 1600 respectivamente. Para evaluar la digestibilidad aparente y balance de nutrientes se usó la metodología de colección total, añadiendo óxido férrico como un marcador inerte de la dieta. El óxido férrico se agregó a razón de 25 mg/kg de alimento para marcar el principio y el final de cada período de colecta.

Los muestreos constaron de colecta de heces y orina cada 24 horas donde las heces se colectaron en forma total. La orina se filtró a través de fibra de vidrio y se colectó en un recipiente al cual se le agregaron 12 ml de HCl 0.2 N para evitar la acción bacteriana sobre el nitrógeno urinario. Una vez colectada toda la orina

durante el Periodo de muestreo, ésta se pesó y se tomó una alícuota del 5% para congelación.

Las muestras de heces se almacenaron en congelación a una temperatura de  $-70^{\circ}$  C, y posteriormente se deshidrataron empleando estufa de secado Modelo 845 de la marca Precision Scientific PS a una temperatura de  $55^{\circ}$  C. Se molieron en un molino Modelo 4 de la marca Thomas Wiley, utilizando una malla de 1 mm. Al alimento, heces y orina se les determinó el contenido de nitrógeno de acuerdo al procedimiento de la AOAC, (1995), energía utilizando una bomba calorimétrica (PARR 1266). Además en las heces y alimento se determinó la materia seca según el AOAC; (1995).

**Las variables de respuesta utilizadas fueron.**

Consumo de materia seca (kg/d), nitrógeno (g/d) y energía (Mcal/d).

Excreción de materia seca (kg/d), nitrógeno (g/d) y energía (Mcal/d) en heces.

Excreción de nitrógeno (g/d) y energía (Mcal/d) en orina.

Digestibilidad de materia seca, nitrógeno y energía (%).

Retención de nitrógeno (g) y energía (Mcal/d).

Retención en % de nitrógeno y energía sobre el nitrógeno y energía consumidos.

Retención en % de nitrógeno y energía sobre el nitrógeno y energía digeridos.

### Análisis estadístico.

En el análisis de los datos, la jaula se consideró como una unidad experimental, usándose los procedimientos de los Modelos Lineales Generales del paquete estadístico SAS (1989). Las variables de comportamiento productivo y de utilización de nutrientes se analizaron con un modelo de parcelas divididas con 2 factores: Densidad y Periodo de muestreo. La parcela mayor fue la Jaula, quedando definida por la Densidad; el término del error de ésta parcela lo comprendió el Animal dentro de la Densidad; La parcela menor fue el Periodo de muestreo y su interacción con la Densidad. El modelo estadístico al cual se le atribuyó el total de la variación correspondió a:

$$Y_{ijkl} = \mu + \rho_i + \alpha_j + A(j)k + \beta_{ijk} + \delta_l + (\alpha\delta)_{jl} + \epsilon_{ijkl}.$$

donde:

$Y_{ijk}$  = Observación en el  $i$ -ésimo Bloque de la  $j$ -ésima Densidad y del  $k$ -ésimo Periodo; respuesta aleatoria asociada a:

$\mu$  = Media poblacional.

$\rho_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo Bloque.

$\alpha_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima Densidad.

$A(j)k$  = Efecto del  $k$ -ésimo Animal dentro de la  $j$ -ésima Densidad.

$B(j)k$  = Error de restricción asociado con el  $k$ -ésimo animal anidado en la  $j$ -ésima Densidad.

$\delta_l$  = Efecto del  $l$ -ésimo Periodo.

$(\alpha\delta)_{jl}$  = Efecto de la interacción de la  $j$ -ésima Densidad y del  $l$ -ésimo Periodo.

$\epsilon_{ijkl}$  = Error aleatorio NID  $(0, \sigma^2)$ .

## 6.2 RESULTADOS

Los resultados de la utilización de materia seca se muestran en el Cuadro 2. El consumo de materia seca fue mayor en D1AL, menor en D3AL e intermedio en D1P (1.47, 0.98 y 1.07 kg/d, EEM = 0.020;  $P < .01$ ). La excreción de materia seca fue mayor en D1AL, menor para D3AL e intermedio para D1P (197.7, 128.5 y 168.7 g/d, EEM = 6.09;  $P < .01$ ). La digestibilidad de materia seca fue similar en D1AL y D3AL y menor para D1P (86.4, 86.8 y 84.2 %, EEM = 0.53;  $P < .01$ ).

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de la utilización del nitrógeno. El consumo de nitrógeno fue mayor en D1AL, menor en D3AL e intermedio en D1P (44.5, 29.6 y 32.3 g/d, EEM = 0.62;  $P < .01$ ). La excreción de nitrógeno en orina fue mayor en el Periodo 1 que en el Periodo 2 en D1P, mientras que en D1AL y D3AL fue similar en ambos períodos. (Densidad x Periodo,  $P < .01$ ; Gráfica 1). El nitrógeno en heces fue mayor, en D1AL, menor en D3AL e intermedio en D1P (8.2, 5.1, 6.7 g/d, EEM = 0.25;  $P < .01$ ). El nitrógeno digerido (%) fue similar entre D1AL y D3AL, y menor en D1P (81.3, 82.8 y 79.0 %, EEM = 0.72;  $P < .01$ ). El nitrógeno retenido/consumido (g/d) fue mayor en D1AL en comparación con D3AL y D1P (25.6, 18.0 y 15.4 g/d, EEM = 0.96;  $P < .01$ ). El nitrógeno retenido sobre el consumido (%) (Densidad x Periodo,  $P < .05$ , Gráfica 2) el nitrógeno retenido sobre el digerido (%) (Densidad x Periodo,  $P < .01$ , Gráfica 3) fueron similares en el Periodo 1 y 2 en D1AL y D3AL, mientras que en D1P estas dos variables fueron inferiores en el Periodo 1.

Los resultados de utilización de energía se muestran en el Cuadro 4. El consumo fue mayor en D1AL, menor en D3AL e intermedio en D1P (6.9, 4.6, 5.0 Mcal/d, EEM = 0.10;  $P < .01$ ). La excreción de energía en orina fue mayor en el Periodo 1 que en el Periodo 2 en D1P, mientras que en el D1AL y D3AL se mantuvo constante en ambos períodos (Densidad x Periodo,  $P < .01$ ; Gráfica 4). La excreción de energía en heces fue mayor en D1AL menor en D3AL e intermedia en D1P (0.9, 0.6 y 0.8 Mcal/d, EEM = 0.03;  $P < .01$ ). La energía digerida (%) fue

similar en D1AL y D3AL y menor en D1P (86.8, 87.2 y 84.5 %, EEM = 0.52;  $P < .01$ ). La retención de energía (Mcal/d) fue mayor en D1AL en relación a D3AL y D1P (5.9, 3.9 y 4.1 Mcal/d, EEM = 0.10;  $P < .01$ ). La energía retenida sobre la energía consumida (%) fue similar entre D1AL y D3AL, pero fue menor en D1P (85.0, 85.3 y 82.3 %, EEM = 0.56;  $P < .01$ ). La energía retenida sobre la energía digerida en porcentaje fue similar en el Periodo 1 y 2 en D1AL y D3AL, mientras que en D1P esta variable fue menor en el Periodo 1 (Densidad x Periodo;  $P < .05$ , Gráfica 5).

### 6.3 DISCUSIÓN

El mayor consumo de materia seca, nitrógeno y energía en los cerdos alojados individualmente con consumo a libertad coincide en forma paralela a otros resultados de comportamiento productivo en donde se ha observado un mayor consumo de alimento en los cerdos alojados individualmente (Chapple, 1993; Gómez et al., 2000; Hernández 2003). La reducción del consumo de alimento en los cerdos alojados en grupo se ha atribuido a las peleas y la conducta agresiva de los cerdos para mantener la dominancia por los comederos. En varios estudios se ha observado que cuando los cerdos son alimentados simultáneamente comienza una fuerte competencia y se presenta una conducta agresiva aunque el espacio por comedero exceda los niveles recomendados (Spicer y Aherne, 1987; Gonyou et al., 1992; Gómez et al., 2000). Esta conducta se agrava cuando los cerdos están hacinados, reduciéndose el consumo especialmente en los cerdos de bajo rango social (Randolph et al., 1981; Young y Lawrence, 1994).

La materia seca, el nitrógeno y la energía excretados en heces fueron mayores para los cerdos alojados individualmente con consumo a libertad lo que puede asociarse a un mayor consumo de estos nutrientes, ya que en otros trabajos se ha encontrado una relación lineal positiva entre el consumo y la excreción, lo que significa que entre mayor es el consumo de los nutrientes, tanto mayor será su excreción (Berschauer et al., 1983, Haydon, et al., 1984; Reinhart, et al., 1989; Rao y McCracken, 1991; Rao y McCracken 1992). Esto 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, tanto mayor 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 se aumenta.



El mayor consumo de nutrientes en los cerdos alojados individualmente, también se reflejó en la mayor cantidad de nitrógeno retenido sobre el consumido (g/d) y la mayor cantidad de energía retenida sobre la consumida (Mcal/d) ya que aunque la tasa de pasaje del alimento se haya aumentado en estos cerdos, la proporción de nitrógeno y de energía que se absorbieron fueron mayores con respecto a los otros tratamientos. Esto se debió a que solamente hubo una diferencia de 3.5 y 1% en la excreción de nitrógeno y energía entre los cerdos alojados individualmente y en grupo, en cambio, los cerdos alojados individualmente consumieron un 50% más de nitrógeno y energía que los cerdos alojados en grupo.

En los cerdos alojados individualmente con consumo pareado, se desconoce las causas de la menor digestibilidad de materia seca, nitrógeno y energía, pero es probable que esto haya sido consecuencia de una combinación de diferentes factores causantes de estrés. En este sentido, se ha demostrado que al encerrar a los cerdos en un cajón durante una hora provoca incrementos en las concentraciones de cortisol (Becker, et al., 1985), el mismo tipo de respuesta se ha observado cuando los cerdos son aislados de sus congéneres (Schrader y Ladewig, 1999), lo que puede corresponder al alojamiento individual de los cerdos. Otras fuentes de estrés pueden ser el hambre, la ansiedad, la frustración y el frío que sufren los cerdos al restringírseles el alimento (Bate y Hacker 1985; Hicks et al., 1998; Ladewig, 2000; Georgsson et al., 2000). Lo anterior sugiere que, probablemente, la combinación de consumo restringido y alojamiento individual representan una fuente de estrés agudo más severo que alojar a los cerdos individualmente o en grupo pero con consumos a libertad.

Diferentes fuentes de estrés pueden provocar alteraciones en la fisiología digestiva. En el trabajo de Georgsson et al. (2000), se encontraron alteraciones en la síntesis y secreción del jugo pancreático en cerdos que se sometieron a un estrés de frustración consistente en evitar que consumieran alimento mientras que

los cerdos contiguos tenían libre acceso al mismo. En cerdos transportados, (van der Meulen et al., 2000), se disminuyó el pH y su permeabilidad intestinal 4 horas después del estrés. Es probable también que el estrés haya aumentado la motilidad del tracto digestivo a través de las acciones del sistema nervioso autónomo (Ganong, 1986; Schrader y Ladewig, 1999). El efecto de estos factores, independientes o combinados pudieron estar asociados a la menor digestibilidad observada en los cerdos alojados individualmente con consumo pareado, ya sea por que la digestión o la absorción fueron ineficientes o porque se aumentó la tasa de pasaje del alimento reduciéndose su tiempo de estancia y su exposición a las enzimas digestivas.

Posiblemente, los mecanismos que desencadenaron en un mayor estrés y que ocasionaron la menor digestibilidad en los cerdos individuales con alimentación pareada pudieron causar la mayor excreción de nitrógeno y energía en orina y las menores proporciones de nitrógeno retenido sobre el consumido y la energía retenida sobre la digerida en el Período 1 de la prueba. Dentro de las respuestas endocrinas que se presentan en los cerdos después de ser sometidos a un factor estresante, se ha observado un incremento en la secreción de cortisol, el cual estimula de manera preponderante la gluconeogénesis hepática asociada a la degradación de las reservas grasas y de las proteínas musculares para proveer sustratos para la síntesis de glucosa (Tyrrell y Forsham, 1988; Goldstein et al., 2002). 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. En este proceso, parte de la energía del animal se excreta en la misma urea. Probablemente, esta sea la causa del incremento en la excreción de nitrógeno y energía y la reducción en la eficiencia de retención en los cerdos alojados individualmente con consumo pareado.

En el periodo 2, la disminución en la excreción del nitrógeno y energía en orina, y por lo tanto el aumento en la retención de nitrógeno y energía por parte de los

cerdos con alimentación pareada, pudo ser el resultado de una respuesta adaptativa al estrés como se ha reportado por otros investigadores (Becker et al., 1985; Schrader y Ladewig, 1999; Ladewig, 2000), y que señalan que cuando los cerdos son sometidos a un mismo tipo de estrés por un corto período de tiempo de manera frecuente, generalmente se presenta un proceso de adaptación, disminuyendo la sensibilidad de los cerdos al estresor.

Cerdos en crecimiento que fueron alojados en grupo con una disponibilidad de espacio menor a lo recomendado para un óptimo crecimiento, mostraron respuestas similares en la utilización de nutrientes a nivel digestivo o metabólico, en relación a cerdos alojados a libertad y con libre acceso al alimento. Sin embargo, los cerdos alojados individualmente con consumo pareado mostraron una menor utilización de nitrógeno y energía como resultado de una mayor excreción en orina en el periodo inicial de la fase experimental, posiblemente por el efecto del aislamiento y el consumo restringido.

## **7. EXPERIMENTO 2**

### **7.1 MATERIALES Y METODOS**

Se utilizaron 32 cerdos producto de un cruzamiento alterno Duroc x Landrace, machos castrados en finalización con un peso promedio inicial de  $68.6 \pm 1.0$  kg,.

Densidad 1 a libertad (D1AL) = Un cerdo alojado individualmente y con consumo a libertad (0.81 m<sup>2</sup> de piso).

Densidad 2 a libertad (D2AL) = Dos cerdos alojados en grupo y con consumo a libertad (0.40 m<sup>2</sup> de piso/cerdo).

Densidad 1 pareado (D1P) = Un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos del D2AL (0.81 m<sup>2</sup> de piso).

Los procedimientos utilizados durante el periodo de adaptación, criterios para determinar los tratamientos, manejo de las jaulas, metodología de colección, variables de respuesta y análisis estadístico fueron similares a lo descrito para el Experimento 1.

## 7.2 RESULTADOS

Los resultados de la utilización de materia seca se presentan en el Cuadro 5. El consumo de materia seca se incrementó del Periodo 1 al 2 en D1AL y D1P, mientras que en D2AL fue similar entre períodos (Densidad x Periodo;  $P < .01$ ; Gráfica 6). La excreción de materia seca en D1AL fue mayor que en D3AL y D1P (245.5, 144.4 y 169.2 g/d, EEM = 10.67;  $P < .01$ ). En relación al 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;  $P < .01$ ). La digestibilidad de materia seca fue mayor en el Periodo 1 que en el Periodo 2 (90.4 y 89.0 %, EEM = 0.48;  $P < .01$ ).

Los resultados de la utilización de nitrógeno se muestran en el Cuadro 6. El consumo de nitrógeno se incrementó del Periodo 1 al 2 en D1AL y D1P, mientras que en D2AL fue similar entre períodos (Densidad x Periodo,  $P < .01$ , Gráfica 7). La excreción de nitrógeno en heces fue mayor en D1AL y similar entre D2AL y D1P (9.8, 6.6 y 5.6 g/d, EEM = 0.42;  $P < .01$ ). El nitrógeno retenido en gramos se incrementó del Periodo 1 al 2 en D1AL y D1P mientras que en D2AL fue similar entre períodos (Densidad x Periodo;  $P < .01$ , Gráfica 8). El nitrógeno retenido sobre el digerido en porcentaje fue similar en el Periodo 1 y 2 en D1AL y D1P, pero las dos variables disminuyeron en el Periodo 2 en D2AL (Densidad x Periodo;  $P < .05$ , Gráfica 9). 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;  $P < .01$ ). La excreción de nitrógeno en heces fue menor en el Periodo 1 que en el Periodo 2 (6.1 y 8.5 g/d, EEM = 0.35;  $P < .01$ ). El nitrógeno digerido fue mayor en el Periodo 1 que en el Periodo 2 (86.4 y 84.2 %, EEM = 0.66;  $P < .05$ ).

Los resultados de utilización de energía se presentan en el Cuadro 7. El consumo de energía se incrementó del Periodo 1 al 2 en D1AL y D1P, pero en D2AL fue similar entre períodos (Densidad x Periodo,  $P < .01$ ; Gráfica 10). La excreción de energía en heces fue mayor en D1AL y similar entre D2AL y D1P (1.1, 0.7 y 0.7 Mcal/d, EEM = 0.05;  $P < .01$ ). La retención de energía en Mcal se incrementó del

Periodo 1 al 2 en D1AL y D1P, pero en D2AL fue similar entre períodos (Densidad x Periodo,  $P < .01$ ; Gráfica 11). La energía retenida sobre la energía digerida (%) disminuyó del Período 1 al 2 en D2AL, mientras que fue similar entre períodos en D1AL y D1P (Densidad x Periodo,  $P < .05$ ; Gráfica 12). La excreción de energía en heces fue menor en el Periodo 1 que en el Periodo 2 (0.7 y 1.0 Mcal, EEM = 0.04;  $P < .01$ ). La energía digerida fue mayor en el Periodo 1 que en el Periodo 2 (90.7 y 89.3 %, EEM = 0.46;  $P < .05$ ).

### 7.3 DISCUSION

Los cerdos alojados en grupo no fueron capaces de aumentar el consumo de materia seca, nitrógeno y energía en el segundo período de colección, a diferencia de lo observado en cerdos alojados individualmente. 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, lo que muy probablemente 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 (Moberg, 1993; 2000). Los cambios en las respuestas conductuales pueden incluir la reducción del número de visitas al comedero para así evitar la confrontación por el alimento (Gómez et al., 2000; Hernández et al., 2003). 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 nutrientes, y consecuentemente, el consumo de alimento (Chapple, 1993; Webel et al., 1997; Williams et al., 1997).

A diferencia de lo observado en los cerdos en crecimiento (Experimento 1) en donde el estrés se presentó al inicio y se recuperaron en la parte final del experimento, lo que es clásico del estrés agudo, en los cerdos en finalización el estrés se detectó al final del periodo experimental lo que sugiere que sufrieron un estrés de tipo crónico. Lo anterior, se sustenta en trabajos donde se ha observado que cerdos que experimentan estrés de tipo crónico, presentan una mayor susceptibilidad neuroendócrina manifestada con un incremento de cortisol después de un desafío con ACTH (Mendl et al., 1992; Janssens et al., 1994), o bien, después de someter a los cerdos a una nueva fuente de estrés (de Jonge et al., 1996; Moberg, 2000). Esta hipótesis coincide con los modelos para el estudio de estrés de larga duración sugeridos por varios autores (Ladewig, 2000; Moberg, 2000) en donde 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 (nitrógeno retenido sobre el consumido y nitrógeno retenido sobre el digerido) observada en los cerdos en grupo al final de la prueba.

La digestibilidad del nitrógeno fue menor en los cerdos alojados individualmente con consumo a libertad lo cual pudo ser originado por el mayor consumo de alimento lo que tiene como consecuencia un incremento en la tasa de pasaje en el tracto digestivo lo que reduce la posibilidad de exposición del alimento a las secreciones digestivas disminuyendo así la absorción, como ya se discutió para los cerdos en crecimiento (Experimento 1); en concordancia con lo anterior, en varios estudios previos se ha demostrado que también existe una relación inversa entre el consumo de alimento y la digestibilidad de nutrientes (Fuller y Boyne, 1971; Berschauer et al., 1983; Haydon, et al., 1984; Rao y McCracken, 1991; 1992). Similarmente, la mayor excreción y la menor digestibilidad de materia seca, nitrógeno y energía en el Período 2, con respecto al Período 1, también pudo ser consecuencia del mayor consumo de alimento observado en el Período 2.

La mayor digestibilidad de los nutrientes en los cerdos alojados en grupo observados en el presente estudio, contrasta con lo reportado en otros estudios en donde se ha encontrado una reducción en la digestibilidad de los nutrientes en cerdos en grupo comparados con los cerdos alojados individualmente, (de Haer y de Vries, 1993; Gómez et al., 2000). Esta discrepancia puede deberse a que en estos estudios, los cerdos se alimentaron en corraletas con piso de concreto, y se mantuvieron en grupos de 4 a 8 cerdos por corral, las diferencias en consumo de alimento fueron menores a lo observado en el presente estudio y la digestibilidad aparente se determinó a través de la excreta. En cambio, en el presente estudio los cerdos se alojaron en jaulas metabólicas y se mantuvieron en grupos de dos por lo que se pudo alterar el patrón de consumo de alimento resultando en un incremento en el consumo de estos cerdos (Livigston et al., 1969). Esto es, la competencia por el alimento pudo ser menor, lo que disminuyó la confrontación.



Contrariamente se ha observado que entre mayor es el grupo de cerdos por corral, mayor será la competencia, y por lo tanto, mayor el estrés (Randolph et al., 1981). El consumo de alimento en los cerdos alojados individualmente en los trabajos mencionados fue entre 3 a 7% mayor que en los cerdos en grupo, sin embargo, en el presente trabajo, la diferencia fue de 27%. Además, las diferencias en los valores de digestibilidad entre el presente estudio y la literatura mencionada puede deberse a discrepancias en cuanto a la efectividad de los diferentes métodos de determinación de la digestibilidad de nutrientes ya que se han observado diferencias entre el método de marcador inerte y la de colección total de excretas (Adeola, 2001).

Cerdos en finalización alojados en grupo, mostraron una menor eficiencia en utilización de nitrógeno y energía a nivel metabólico, en relación a cerdos alojados individualmente y con libre acceso al alimento en la fase final del experimento. Esta menor eficiencia podría indicar un incremento en la degradación de las reservas de grasa y proteína como consecuencia del estrés crónico experimentado por los cerdos debido a la competencia dentro del grupo, agravado por la restricción de espacio disponible de piso.

## **8. EXPERIMENTO 3**

### **8.1 MATERIALES Y METODOS**

Se usaron 31 cerdos (14 hembras y 17 machos castrados), con un peso inicial de  $67.5 \pm 4.4$  kg los cuales fueron sometidos a una intervención quirúrgica para colocarles un catéter de silicón en la vena yugular externa.

Manejo preoperatorio.

Los animales se alojaron en jaulas individuales y ayunaron 24 h. Cuarenta minutos antes de la cirugía cada cerdo se tranquilizó con azaperona (2 mg/kg de peso vía i.m.). Posteriormente, se trasladaron al área de preparación, donde se rasuró y lavó la zona de intervención quirúrgica. Después, se trasladaron al quirófano y colocaron en la mesa de operaciones, donde se sometieron a una anestesia inhalada con halotano 1:1 a una presión de 100-120 CC/minuto con el uso simultáneo de oxígeno a una presión de 5 litros/minuto. Finalmente, se aplicó una solución de yodo en la piel como antiséptico (8 g yodo/100ml) en la región donde se realizó la incisión. El material de cirugía y la mesa de operaciones se desinfectaron con cloruro de benzalconio (10 mg de cloruro de benzalconio/ml) previo a la intervención quirúrgica.

Procedimiento quirúrgico.

El cerdo se colocó en decúbito dorsal, se realizó una incisión de 10 a 15 cm de largo en el canal yugular en la parte baja del cuello, posteriormente se separó músculo hasta localizar la vena yugular externa la cual se diseccionó y sujetó con hilo seda de los dos extremos donde se realizó la incisión. Posteriormente el cerdo se colocó en decúbito lateral derecho, para hacer una incisión en la cruz e introducir el catéter vía subcutánea mediante la utilización de un estilete hasta comunicarlo con la región donde se localizó la vena yugular externa. Utilizando un bisturí se perforó la vena yugular para poder introducir el catéter aproximadamente 15 cm en dirección caudal de la vena, (la porción craneal de la vena yugular se clausuró con un punto de sutura); el catéter se fijó a la vena utilizando hilo seda. El

tejido muscular se suturó utilizando una aguja de sutura atraumática colocando puntos en equis; la piel se suturó usando aguja traumática colocando puntos separados con hilo seda. También en la cruz donde se expuso el catéter se fijó este a la piel del animal con un punto de sutura. En la cruz del animal, la parte expuesta del catéter se cubrió con una gasa y se fijó al cuerpo del cerdo con cinta para ductos, la cual envolvió la circunferencia del animal partiendo y llegando a la cruz, pasando por delante y atrás de los miembros anteriores.

#### Manejo postoperatorio

Después de la cirugía, los cerdos se alojaron en jaulas individuales, en un edificio totalmente cerrado para proteger a los cerdos del medio ambiente externo durante una semana. Los cerdos se revisaron diariamente para asegurar el buen funcionamiento del catéter. Todos los cerdos recibieron un tratamiento de quimioterapia, donde se les aplicó antibiótico durante 3 días; penicilina G procaínica, 10,000 UI, dihidroestreptomicina 0.0125 g, clorhidrato de procaina 1 mg/ml, vía i.m., por cada kg de peso vivo, oxitetraciclinas 20 mg/ml vía i.v. por cada kg de peso vivo, analgésico y antipirético durante 3 días (fenildimetilpirazolona metilamino metasulfonato sódico 500 mg/ml vía i.v. por cada kg de peso vivo. Los catéteres se revisaron diariamente para verificar su funcionamiento y evitar la formación de coágulos mediante la aplicación diaria de una solución anticoagulante (5 ml de solución salina con 500 UI de heparina/ml). Los catéteres en la parte exteriorizada contenían una adaptación para jeringa de plástico por medio de la cual era posible aplicar los medicamentos, la solución anticoagulante y extraer las muestras de sangre. En el periodo de recuperación los cerdos recibieron alimento una vez al día a las 0900 y tuvieron acceso continuo al agua.

#### Manejo durante la fase experimental

Los catéteres se siguieron revisando diariamente para verificar su funcionamiento y para evitar la formación de coágulos mediante la aplicación diaria de la solución

con 5 ml de heparina a una concentración de 500 UI/ml. Las cintas utilizadas para fijar el catéter al cerdo, fueron reemplazadas cada semana.

Los cerdos se alojaron en corraletas con piso de cemento cuyas medidas fueron de 1.06 x 2.6 ( $2.75 \text{ m}^2$  -  $.25 \text{ m}^2$  de área de comedero =  $2.5 \text{ m}^2$  de área utilizable). Dentro de cada sexo, los cerdos se aleatorizaron a uno de los siguientes tratamientos:

- 1) Densidad 1 = Un cerdo alojado individualmente con espacio disponible de  $2.5 \text{ m}^2$  con libre acceso al alimento.
- 2) Densidad 2 = Dos cerdos alimentados en grupo con espacio disponible por cerdo de  $1.25 \text{ m}^2$  con libre acceso al alimento (al momento de la comida).

El experimento tuvo una duración de 42 días. En el Cuadro 1 se muestra la dieta que recibieron los animales la cual fue adecuada para la fase de crecimiento-finalización, y cumplía con los requerimientos recomendados por el NRC 1998, para esa etapa. Durante este período, el alimento se ofreció en una comida al día durante una hora entre las 0900 y las 1000; transcurrido este tiempo, los cerdos de grupo se trasladaron nuevamente a un alojamiento individual, para evitar que los catéteres fueran desprendidos por el otro cerdo del grupo. Diariamente, se recogió y se pesó el rechazo de alimento. Los cerdos fueron pesados un día antes de cada día de muestreo. El protocolo de sangrados fue el siguiente:

**Días de muestreo:**

1: el día del inicio del experimento a los 14, 28 y 42: días de iniciado el experimento.

**Tiempos de muestreo:**

Muestreo basal: quince minutos antes de ofrecer el alimento.

Una vez que los cerdos se asignaron a sus respectivos tratamientos:

Tiempo 0: Al momento de ofrecer el alimento.

A los 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360 y 420 minutos después de haber ofrecido el alimento.

Las muestras de sangre se colectaron directamente de los catéteres. En lo posible se evitó perturbar a los cerdos e intervenir en las disputas por el alimento. Catorce ml de sangre fueron colectados en cada muestreo utilizando jeringas de plástico las cuales se depositaron en tubos de vidrio de 12 ml de capacidad, sin anticoagulante. Las muestras se centrifugaron a 4000 rpm durante 15 min y el suero se separó y almacenó a  $-70^{\circ}\text{C}$ . Las concentraciones de cortisol e insulina fueron medidas utilizando el método de radioinmunoanálisis en fase sólida con un kit comercial (Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, CA. USA). Para cortisol la sensibilidad fue de  $0.064\ \mu\text{g/dl}$  y el CV interensayo fue de 5.36% y el intraensayo fue de 2.61% a  $3.53\ \mu\text{g/dl}$ . Para insulina la sensibilidad fue de  $0.421\ \text{UI/ml}$  y el CV interensayo fue de 3.45% y el intraensayo fue de 1.62% a  $21.53\ \text{UI/ml}$ .

### Análisis Estadísticos.

En el análisis de los datos el corral se consideró como una unidad experimental, usándose los Procedimientos Mixtos del paquete estadístico SAS (1989). Se utilizó un modelo de análisis univariado de mediciones repetidas en el tiempo con 2 factores: Densidad, y Tiempo muestreo.

Los efectos de la Densidad y el Tiempo fueron evaluados para cortisol e insulina, usando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta_{ij} + \delta_k + (\alpha\delta)_{jk} + \varepsilon(ijk)_l.$$

donde:

$Y_{ijk}$  = Observación en el  $i$ -ésimo Bloque de la  $j$ -ésima Densidad, y del  $k$ -ésimo Tiempo; respuesta aleatoria asociada a:

$\mu$  = Media poblacional.

$\rho_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo Bloque.

$\alpha_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima Densidad.

$\beta_{ij}$  = Error de restricción.

$\delta_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo Tiempo.

$(\alpha\delta)_{jk}$  = Efecto de la Interacción de la  $j$ -ésima Densidad y del  $k$ -ésimo Tiempo.

$\varepsilon(ijk)_l$  = Error aleatorio asociado con la  $l$ -ésima repetición del  $k$ -ésimo Tiempo en la  $j$ -ésima Densidad en el  $i$ -ésimo Bloque.

Los análisis realizados fueron 3, divididos en 3 períodos de colección 1) muestreos cada 15 min: de -15 min preprandiales a 60 min posprandiales; 2) muestreos cada 30 min: de 90 a 180 min posprandiales, y 3) muestreos cada 60 min: de 240 a 420 min posprandiales.

En el caso del comportamiento productivo y las hormonas se usó el mismo modelo, donde los factores fueron la Densidad, el Día y su Interacción.

## 8.2 RESULTADOS

### Comportamiento productivo

Al realizar el análisis no se encontraron diferencias en las interacciones (Densidad x Día).

**Efecto de la Densidad:** En el Cuadro 8 se muestra el comportamiento productivo. Se observó que el consumo de alimento fue mayor ( $P = .09$ ) en los cerdos de la Densidad 1 en relación a los cerdos de la Densidad 2 durante todo el periodo de la fase experimental. Las ganancias de peso fueron similares entre las Densidades durante la fase experimental.

**Efecto del Día:** El Día no afectó el consumo de alimento durante los días de muestreo 1, 14, 18 y 42 (Gráfica 13).

### Análisis del perfil hormonal

Al realizar el análisis de los datos no se encontraron diferencias en ninguna de las interacciones evaluadas (Densidad x Tiempo) por lo que en el texto solamente se describen los efectos principales.

**Efecto de la Densidad:** Las concentraciones séricas de cortisol se presentan en el Cuadro 9, donde no se observan diferencias estadísticas por efecto de la Densidad.

En el Cuadro 10, se muestran las concentraciones séricas de insulina. Las concentraciones de insulina fueron mayores ( $P < .05$ ) en los cerdos de la Densidad 1 en comparación con los cerdos de la Densidad 2, en el período de muestreo que comprende los Tiempos de -15 min preprandiales a 60 min posprandiales. Las concentraciones de insulina fueron similares en ambas

Densidades en los Tiempos de muestreo de 90 a 180 min posprandiales y de 240 a 420 min posprandiales en el experimento.

**Efecto del Tiempo:** El Tiempo afectó las concentraciones de cortisol entre -15 min preprandiales a 60 min posprandiales ( $P < .01$ ; Gráfica 14-a). En los Tiempos -15, 0 y 15 las concentraciones fueron similares, se presentó una elevación en el Tiempo 30 manteniéndose estables las concentraciones en los Tiempos 45 y 60. Las concentraciones de cortisol fueron similares en los Tiempos 90, 120, 150 y 180 (Gráfica 14-b). Las concentraciones de cortisol fueron similares en los Tiempos 240, 300 y 360 y posteriormente disminuyeron al Tiempo 420 ( $P < .05$ ; Gráfica 14-c).

El Tiempo afectó las concentraciones de insulina entre -15 min preprandiales a 60 min posprandiales ( $P < .01$ ; Gráfica 15-a). En los Tiempos -15, 0 y 15 las concentraciones fueron similares, al Tiempo 30 y 45 se presentó una elevación aguda, y en los Tiempos 60 las concentraciones de insulina fueron similares a las del Tiempo 45 (Gráfica 15-a). Al Tiempo 90 las concentraciones de insulina fueron mayores que en los Tiempos 120, 150 y 180 ( $P < .01$ ; Gráfica 15-b). En el Tiempo 240 las concentraciones de insulina fueron mayores que en el tiempo 300 y en este a su vez mayor que en los tiempos 360 y 420 ( $P < .01$ ; Gráfica 15-c).

**Efecto del Día:** El Día no afectó significativamente las concentraciones séricas de cortisol (Gráfica 16) ni de insulina (Gráfica 17).



### 8.3 DISCUSION

**Efecto de la Densidad:** En este trabajo, no se encontraron diferencias significativas por efecto de la Densidad en las concentraciones de cortisol. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Hernández (2003), en cerdos en crecimiento alojados en forma individual y en grupo; y lo reportado por Kornegay et al. (1993a,b) en lechones alojados con espacio adecuado o restringido en donde no se encontraron diferencias en las concentraciones séricas de cortisol. Similarmente, en el trabajo de Bustamante et al. (1996) tampoco observaron diferencias en las concentraciones de cortisol entre cerdos alojados en grupo y los cerdos alojados individualmente. Este hallazgo en el presente estudio, y lo reportado por otros investigadores difieren a la hipótesis planteada donde se esperaba que los cerdos alojados en grupo presentarían mayores concentraciones séricas de cortisol como resultado del estrés crónico (Chapple, 1993; Ladewig, 2000; Moberg, 2000). Como consecuencia del estrés, se pueden presentar cambios profundos en el metabolismo de proteínas, carbohidratos y grasas, provocando una reducción de la síntesis y deposición de proteínas musculares, siendo ésta la causa de la disminución de los requerimientos de nutrientes, del consumo voluntario de alimento y de la eficiencia alimenticia, disminuyendo por lo tanto, el crecimiento (Chapple, 1993; Stookey y Gonyou, 1994; Brumm y Miller, 1996).

Los resultados observados en el presente estudio, indican que el menor crecimiento de los cerdos alojados en grupo pudo ser consecuencia del menor consumo de alimento, ya que consumieron 20% menos alimento que los cerdos alojados individualmente; y no a efectos metabólicos ocasionados por el estrés como lo han mencionado algunos autores (Hsia y Woodgush, 1983, 1984; Young y Lawrence, 1994). Estos autores mencionan que el rango social puede interferir con el consumo individual de alimento de los cerdos alojados en grupo debido a que los cerdos de rango social más alto, además de desplazar a los cerdos de bajo rango social, por lo general tienen más visitas al comedero, pasan más

tiempo comiendo; y consumen más alimento que los de rango social más bajo. De acuerdo con lo anterior, en cerdos alojados con espacio restringido algunos autores han sugerido que la razón por la que tienen un menor desempeño productivo, es por la disminución del consumo de energía, asociado a un menor consumo de alimento (Moser et al., 1985; Kornegay et al., 1993a,b).

En el presente experimento se encontraron mayores concentraciones de insulina en los cerdos alojados individualmente en comparación con cerdos alojados en grupo en el período de muestreo de -15 min preprandiales a los 60 min posprandiales. De manera similar a lo observado en el presente trabajo, Gómez et al. (2000), Hernández (2003) observaron un mayor consumo de alimento en cerdos alojados individualmente que los cerdos alojados en grupo, ocasionado por la competencia y el mantenimiento de la jerarquía. Esto puede explicar porque los cerdos alojados individualmente tuvieron una mayor concentración de insulina como resultado de un mayor consumo de alimento, que originó una mayor presencia de nutrientes en circulación ocasionando una mayor liberación de insulina. Como se ha observado con la administración combinada de glucosa y péptidos en humanos (Calbet y MacLean, 2002). Las diferencias encontradas en las concentraciones de insulina en el presente estudio pueden explicar las diferencias en las mayores ganancias de peso en los cerdos alojados individualmente, ya que la insulina estimula la entrada de glucosa a los tejidos, aumenta la síntesis de glucógeno, captación de aminoácidos y síntesis proteica en músculo, así como la síntesis de ácidos grasos y depósito de triglicéridos en tejido adiposo (Ganong, 1986; Burrin et al., 1998).

Las menores concentraciones de insulina en los cerdos alojados en grupo por otra parte, indican que las señales anabólicas fueron escasas, reflejadas por su escasa ganancia de peso. Si bien, las concentraciones de cortisol no fueron mayores en los cerdos alojados en grupo, hay otras hormonas que pudieran estar afectando el metabolismo de estos cerdos como lo es el glucagón, el cual se secreta en el

páncreas cuando las concentraciones de glucosa en sangre son bajas, o en periodos de estrés y tiene como efecto promover la gluconeogénesis a partir del glucógeno y aminoácidos en el hígado, por lo que en algunos estudios reportan que el incremento de la producción de glucosa hepática esta asociado a los niveles de glucagón (Ganong, 1986; Drouin et al., 1998; Gustavson et al., 2003). En respuesta a la ingestión de alimentos aumenta la secreción de insulina, de la misma manera que los aminoácidos absorbidos lo hacen con el glucagón en comparación con la inhibición del glucagón por hiperglucemia posprandial (Tyrrell y Forsham, 1988; Karam et al., 1988).

**Efecto del Tiempo:** Al momento de servir el alimento no se encontraron cambios en las concentraciones de cortisol ya que fueron similares en los Tiempos -15 min preprandiales 0 y 15 min posprandiales, a diferencia de lo encontrado por Malmlof et al. (1990), que reportaron una disminución en las concentraciones de cortisol al momento de servir el alimento. Sin embargo, las concentraciones de cortisol mostraron un incremento a través del Tiempo, en el Tiempo 30, 45 y 60 min posprandiales (9:30, 9:45 y 10:00 hrs) donde alcanzaron su máximo nivel de concentración. En los Tiempos 90, 120, 150 y 180 min posprandiales (10:30, 11:00, 11:30 y 12:00 hrs) se encontraron estables las concentraciones y en los últimos muestreos en los Tiempos 240, 300, 360 y 420 min posprandiales (13:00, 14:00, 15:00 y 16:00 hrs) se encontraron las menores concentraciones de cortisol. Santiago et al. (1996) definió el ritmo circadiano de cortisol estableciendo que a las 1900 horas las concentraciones de la hormona son 75% menores que las concentraciones a las 700 horas. Estos resultados coinciden con los de Bottoms et al. (1972) donde se encontraron las máximas concentraciones de cortisol en la mañana las cuales ocurrieron a las 10:00 hrs y los valores mínimos en la tarde a las 14:00 hrs, al igual que Malmlof et al. (1990) y Prunier et al. (1993) quienes encontraron niveles de cortisol significativamente menores en la tarde que en la mañana.

A través del Tiempo se observó un incremento en las concentraciones de insulina que comienza al Tiempo 30 min posprandiales después de servir el alimento hasta el Tiempo 90, lo que concuerda con los resultados de Thaela et al. (1995), Malmlof et al. (1990), Prunier et al. (1993), quienes encontraron niveles más elevados después de servir el alimento. La secreción de insulina es estimulada por la presencia de nutrientes en sangre (principalmente glucosa), los cuales se originan de la ingestión de alimento y su posterior absorción en duodeno (Karam et al., 1988). Después del Tiempo 90 las concentraciones de insulina comienzan a disminuir.

Las hormonas interactúan en el metabolismo de los animales, donde los cambios en las concentraciones de alguna de ellas puede afectar la liberación de otra, por ejemplo, las concentraciones de insulina y glucagón se pueden afectar por las concentraciones de cortisol. El cortisol tiene un efecto permisivo al incrementar la respuesta del hígado a las hormonas gluconeogénicas (glucagón y catecolaminas). De igual manera, el cortisol altera el metabolismo de los carbohidratos al inhibir la captación de glucosa periférica en músculos y tejido adiposo. Tal efecto puede hacer que aumente la secreción de insulina en estados de hiperglucocorticismo crónico (Tyrrell y Forsham, 1988). El cortisol y la insulina pueden considerarse como hormonas antagónicas, por sus efectos en el metabolismo. Contrariamente, las concentraciones de insulina no tienen efecto sobre la producción de cortisol (O'Connell et al., 1994).

**Efecto del Día:** Las concentraciones séricas de cortisol fueron similares durante los días de muestreo 1, 14, 28 y 42. Estos datos confirman que los cerdos no manifestaron estrés a través de cambios en las concentraciones séricas de cortisol. Contrario a lo observado en otros trabajos (Schradler y Ladewig, 1999) donde se expusieron a los cerdos diariamente, durante 10 días a la separación social durante una hora, y como resultado los niveles de cortisol disminuyeron

continuamente con la repetición de la prueba lo que indicó un proceso de adaptación.

En el presente trabajo, las concentraciones de cortisol fueron similares para los cerdos alimentados individualmente y para los alimentados en grupo, por lo que estas concentraciones plasmáticas de esta hormona no pueden asociarse con estrés crónico. Sin embargo, en las concentraciones plasmáticas de insulina si se encontraron diferencias, las cuales fueron mayores en los cerdos alimentados en forma individual que para los cerdos alimentados en grupo, lo cual está asociado al mayor consumo de alimento.

## 9. DISCUSION GENERAL

Las interacciones sociales entre los cerdos mantenidos en grupo con una disponibilidad de espacio de piso menor a lo recomendado para un óptimo crecimiento afectó de manera diferente la utilización de nutrientes en los cerdos en crecimiento y finalización, en relación a los cerdos alojados individualmente con libre acceso al alimento. En la etapa de crecimiento, no se encontraron cambios en la utilización o balance de nutrientes, por lo que el menor crecimiento de los cerdos en grupo se puede atribuir directamente al menor consumo de alimento. En cambio, en la etapa de finalización; además del menor consumo de alimento, se incrementó la excreción y se redujo la eficiencia de uso de nitrógeno y energía en la parte final del experimento, lo que puede sugerir que estos cerdos experimentaron un estrés de tipo crónico.

Esta diferencia entre cerdos en crecimiento y finalización podría ser resultado de las diferencias en el estado metabólico de los animales, ya que los cerdos en la etapa de crecimiento se encuentran en un estado de mayor anabolismo, esto es que presentan una mayor concentración de hormonas y factores que estimulan el crecimiento (Schnoebelen-Combes et al., 1996; Harrell et al., 1999) que los cerdos en la etapa de finalización lo cual puede ser un factor para poder contrarrestar el estrés en los cerdos en la etapa de crecimiento (Harrell et al., 1999; Weiler et al., 1998). Mientras que en cerdos en finalización, estas señales anabólicas, en especial las que regulan la síntesis de proteína, empiezan a disminuir después de los 60 kg de peso (Schnoebelen-Combes et al., 1996; Harrell et al., 1999).

Una respuesta común que se presentó en cerdos en crecimiento y finalización fue la reducción del consumo de alimento, y en consecuencia de la ganancia de peso. Varios autores han sugerido que esta reducción se debe a una adaptación conductual de los cerdos sumisos para evitar la confrontación y conducta agresiva que exhiben los cerdos dominantes para mantener la jerarquía social (Spicer y

Aherne, 1987; Gonyou et al., 1992; Gómez et al., 2000; Moberg, 2000). Sin embargo, Chapple (1993) sugiere que las respuestas relacionadas al estrés en cerdos criados en grupo pueden ser mediadas a través de factores como las citocinas que a nivel celular podrían reducir el crecimiento de los tejidos, disminuir los requerimientos de nutrientes y, en consecuencia, el consumo de alimento. Por lo tanto, no se debe descartar la posibilidad de que existan factores que lejos de ejercer cambios a nivel metabólico puedan actuar a nivel celular para inhibir la síntesis y deposición de tejidos, que a su vez, directa o indirectamente influyen en el menor consumo de alimento comúnmente observado en cerdos bajo estrés.

En los cerdos cateterizados las concentraciones de cortisol fueron similares para los cerdos alimentados a libertad en comparación con los cerdos alimentados en grupo. Esto podría indicar que:

- a) Las concentraciones de cortisol bajo condiciones de estrés crónico no representan un indicador confiable de estrés, bajo las condiciones experimentales usadas o bien que, bajo estas condiciones, otros factores asociados al estrés, como la hormona glucagón, o las citocinas, juegan un papel más importante que el cortisol (McCracken et al., 1995).
- b) Es probable que en el modelo de estrés crónico empleado no haya sido lo suficientemente adecuado para poder detectar diferencias en las concentraciones de cortisol (Ladewig, 2000). Por ejemplo, aunque el espacio de piso en los cerdos en grupo se redujo a la mitad en relación a los cerdos alojados individualmente, este fue mayor al máximo recomendado para un óptimo crecimiento (Kornegay y Notter, 1984).

Estas teorías podrían explicar entonces porque los índices productivos en trabajos previos (Hernández, 2003) o la retención de nutrimentos en el experimento 2 fueron inferiores en los cerdos alojados en grupo.

Por otra parte, las menores concentraciones de insulina en los cerdos en grupo, como reflejo del menor consumo de alimento, probablemente también afectaron el crecimiento de estos cerdos ya que la insulina es una hormona de tipo anabólica que interviene en la captación celular de glucosa, aminoácidos y ácidos grasos y en la síntesis de glucógeno, proteína y grasas (Karma et al., 1988; Calbet y MacLean, 2002).



## 10. CONCLUSIONES

En cerdos en crecimiento, el efecto de grupo en combinación con la restricción de espacio de piso, representaron una fuente de estrés crónico, pero no influyeron en la utilización de nitrógeno y energía en relación a cerdos alojados individualmente con libre acceso al alimento.

Cerdos en crecimiento alojados individualmente con consumo pareado mostraron una menor eficiencia en la utilización de los nutrientes, probablemente como consecuencia del estrés provocado por el aislamiento y la restricción del consumo de alimento al inicio del experimento.

En cerdos en finalización, el efecto de grupo en combinación con la restricción de espacio de piso, ocasionó una disminución en la utilización de nitrógeno y energía como consecuencia probable del estrés crónico experimentado en la parte final del experimento.

En los cerdos alojados en grupo, el menor consumo de alimento en ambas etapas productivas y la menor eficiencia de uso de nutrientes en cerdos en finalización pueden ser consecuencia de factores que a nivel celular disminuyan el crecimiento de tejidos de los animales como consecuencia de un proceso de estrés crónico.

En cerdos alojados en grupo también se ocasionó un menor consumo de alimento y una reducción en la ganancia de peso, pero esto no influyó en las concentraciones de cortisol a diferencia de las concentraciones de insulina, donde los cerdos de la Densidad 1 mostraron mayores concentraciones como consecuencia de un mayor consumo de alimento.

Las mayores concentraciones de insulina en los cerdos de la Densidad 1 pudieron haber ocasionado una mayor captación de nutrientes por parte de los tejidos, lo que se reflejó en una mayor ganancia de peso.

El patrón en las concentraciones de cortisol a través de los Tiempos de muestreo coincidieron con las fluctuaciones observadas normalmente durante el ritmo circadiano de secreción de esta hormona.

Las concentraciones de insulina a través de los Tiempos de muestreo aumentaron 30 min después del consumo de alimento, por lo que el incremento de insulina se atribuye a el estímulo de los nutrientes absorbidos.

Cuadro 1. Formulación de las dietas utilizadas en los experimentos 1, 2 y 3.

Ingrediente	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
	Crecimiento	Finalización	Finalización
	25-50Kg	85+kg	Dieta F5
Sorgo	512.3	247.2	719.3
Pasta de soya	177.2	--	196.0
Concentrado de soya	--	50.0	--
Pasta de canola	70.0	30.0	32.0
Cebada, grano 11 %	164.0	615.3	
Sebo	46.0	40.0	27.0
Fosfato	9.2	1.5	6.7
Carbonato de calcio	9.8	9.3	8.9
Sal, - NaCl - I	3.6	3.6	3.6
L-Lisina-HCL	2.1	1.4	1.9
L-Treonina	1.0	0.3	0.5
DL-Metionina	0.1		0.1
Triptosine 70/15	--	--	--
Vitaminas <sup>1</sup>	1.8	1.0	2.4
Minerales <sup>2</sup>	0.8	0.4	0.8
Antibiótico	2.0	--	0.2
	1,000.0	1,000.0	1,000.0
Análisis calculado			
Energía metabolizable, Mcal/kg	3.2	3.2	3.2
Proteína digestible (%)	13.8	11.1	17.0
Lisina digestible (%)	0.9	0.7	0.9
Treonina digestible (%)	0.6	0.5	0.7
Calcio (%)	0.6	0.6	
Fósforo total(%)	0.2	--	0.5

<sup>1</sup> Vitaminas, cada kg aportó: 250 mg de biotina; 1200 mg de ácido fólico; 3,375,000 UI de Vitamina A; 1,200 mg de vitamina B<sub>2</sub>; 500 mg de vitamina B<sub>6</sub>; 17.50 mg de vitamina B<sub>12</sub>; 675,000 UI de vitamina D<sub>3</sub>; 20,000 UI de Vitamina E; 6.8 g de D-Pantotenato de Ca; 26.95 g de Niacina; 198 g de Cloruro de Colina; 75 g de antioxidante.

<sup>2</sup> Minerales, cada Kg aportó: 268 g de Na; 34 g de Ca; 29 g de Zn; 26 g de Fe; 2700 mg de Mg; 6140 mg de Mn; 2200 mg de Cu; 216 mg de Cb; 100 de I; 27 mg de Se.

Cuadro 2. Efecto de la Densidad y del Periodo sobre la utilización de la materia seca de los cerdos en la etapa de crecimiento (Experimento 1).

	Densidad			Periodos		EEM <sup>a</sup>
	1	2	3	1	2	
Materia Seca						
Consumo, kg/d	1.5 <sup>b</sup>	1.0 <sup>d</sup>	1.1 <sup>c</sup>	115.9	118.9	1.67
Excreción, g/d	197.7 <sup>b</sup>	128.5 <sup>d</sup>	168.7 <sup>c</sup>	160.0	169.9	4.97
Digestibilidad, %	86.4 <sup>b</sup>	86.8 <sup>b</sup>	84.2 <sup>c</sup>	86.1	85.5	0.43

Densidad 1= un cerdo alojado individualmente y con consumo a libertad con 0.81 m<sup>2</sup> de piso; Densidad 2= tres cerdos alojados en grupo con consumo a libertad con 0.271 m<sup>2</sup> de piso/cerdo. Densidad 3= un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos de la Densidad 2 con 0.81 m<sup>2</sup> de piso.

Periodo 1= días 2, 3 y 4; Periodo 2= días 18, 19 y 20.

<sup>a</sup> Error Estándar de la Media.

<sup>b-d</sup> Efecto del Tratamiento, P < .01.

Cuadro 3. Efecto de la Densidad y del Periodo sobre la utilización del nitrógeno de los cerdos en la etapa de crecimiento (Experimento 1).

	Densidad			Periodos		EEM <sup>a</sup>
	1	2	3	1	2	
Nitrógeno Consumido, g/d	44.5 <sup>b</sup>	29.6 <sup>d</sup>	32.3 <sup>c</sup>	35.0	36.0	0.62
En orina, g/d <sup>e</sup>	10.7	6.4	10.0	9.2	8.9	0.69
En heces, g/d	8.2 <sup>b</sup>	5.1 <sup>d</sup>	6.8 <sup>c</sup>	6.5	6.9	0.25
Digerido, %	81.3 <sup>b</sup>	82.8 <sup>b</sup>	79.0 <sup>c</sup>	81.8	80.6	0.72
Retenido/consumido, g/d	25.6 <sup>b</sup>	18.0 <sup>c</sup>	15.4 <sup>c</sup>	19.1	20.3	0.97
Retenido/consumido, % <sup>f</sup>	57.2	59.7	47.4	53.5	56.0	2.36
Retenido/digerido, % <sup>e</sup>	70.1	72.1	58.9	64.8	69.3	2.98

Densidad 1= un cerdo alojado individualmente y con consumo a libertad con 0.81 m<sup>2</sup> de piso; Densidad 2= tres cerdos alojados en grupo con consumo a libertad con 0.271 m<sup>2</sup> de piso/cerdo. Densidad 3= un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos de la Densidad 2 con 0.81 m<sup>2</sup> de piso.

Periodo 1= días 2, 3 y 4; Periodo 2= días 18, 19 y 20.

<sup>a</sup> Error Estándar de la Media.

<sup>b-d</sup> Efecto del Tratamiento, P < .01.

<sup>e</sup> Interacción Tratamiento x Periodo (P < .01; Gráficas 1 y 3).

<sup>f</sup> Interacción Tratamiento x Periodo (P < .05; Gráfica 2).

Cuadro 4. Efecto de la Densidad y del Periodo sobre la utilización de la energía de los cerdos en la etapa de crecimiento (Experimento 1).

	Densidad			Periodos		EEM <sup>a</sup>
	1	2	3	1	2	
Energía						
Consumida, Mcal/d	6.9 <sup>b</sup>	4.6 <sup>d</sup>	5.0 <sup>c</sup>	0.10	5.5	5.6
En orina, Mcal/d <sup>e</sup>	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1	0.10
En heces, Mcal/d	0.9 <sup>b</sup>	0.6 <sup>d</sup>	0.8 <sup>c</sup>	0.03	0.7	0.8
Digerida %	86.8 <sup>b</sup>	87.2 <sup>b</sup>	84.5 <sup>c</sup>	0.52	86.6	85.8
Retenida/consumida, Mcal/d	5.9 <sup>b</sup>	3.9 <sup>c</sup>	4.2 <sup>c</sup>	0.10	4.6	4.7
Retenida/consumida, %	85.0 <sup>b</sup>	85.3 <sup>b</sup>	82.4 <sup>c</sup>	0.56	84.4	84.0
Retenida/digerida, % <sup>f</sup>	97.9	97.8	97.3	0.16	97.5	97.8

Densidad 1= un cerdo alojado individualmente y con consumo a libertad con 0.81 m<sup>2</sup> de piso; Densidad 2= tres cerdos alojados en grupo con consumo a libertad con 0.271 m<sup>2</sup> de piso/cerdo. Densidad 3= un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos de la Densidad 2 con 0.81 m<sup>2</sup> de piso.

Periodo 1= días 2, 3 y 4; Periodo 2= días 18, 19 y 20.

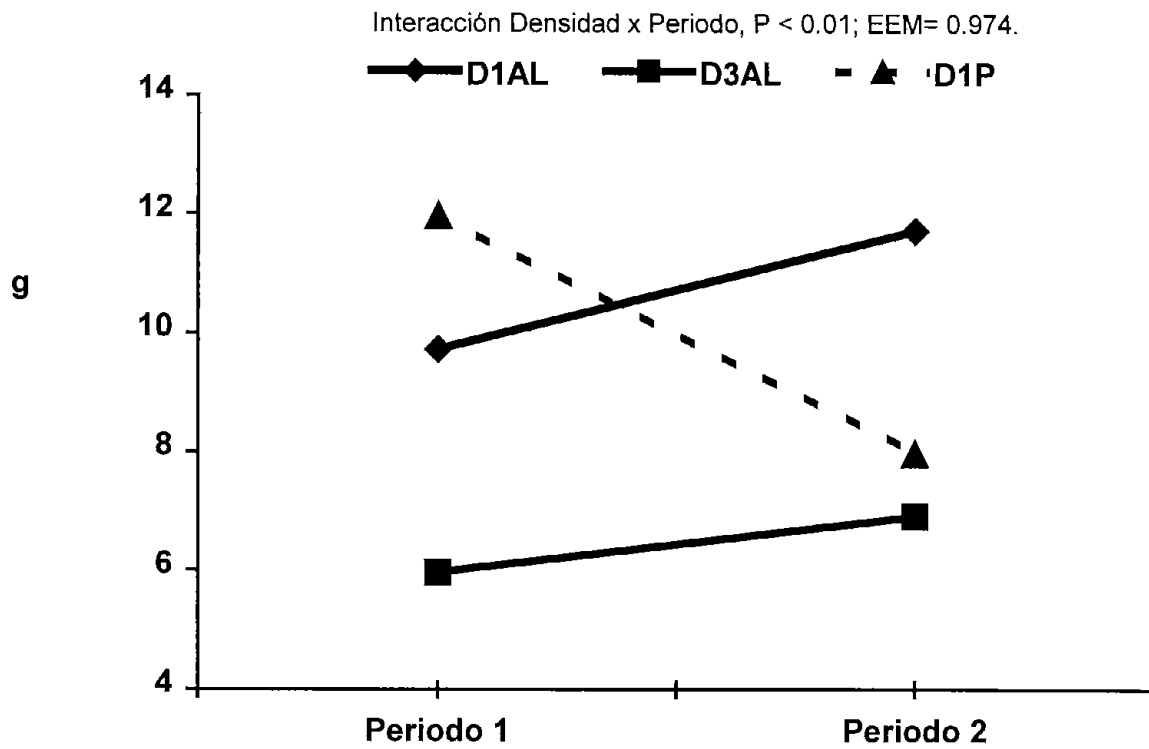
<sup>a</sup> Error Estándar de la Media.

<sup>b-d</sup> Efecto del Tratamiento, P < .01.

<sup>e</sup> Efecto de la interacción Tratamiento x Periodo (P < .01; Gráfica 4).

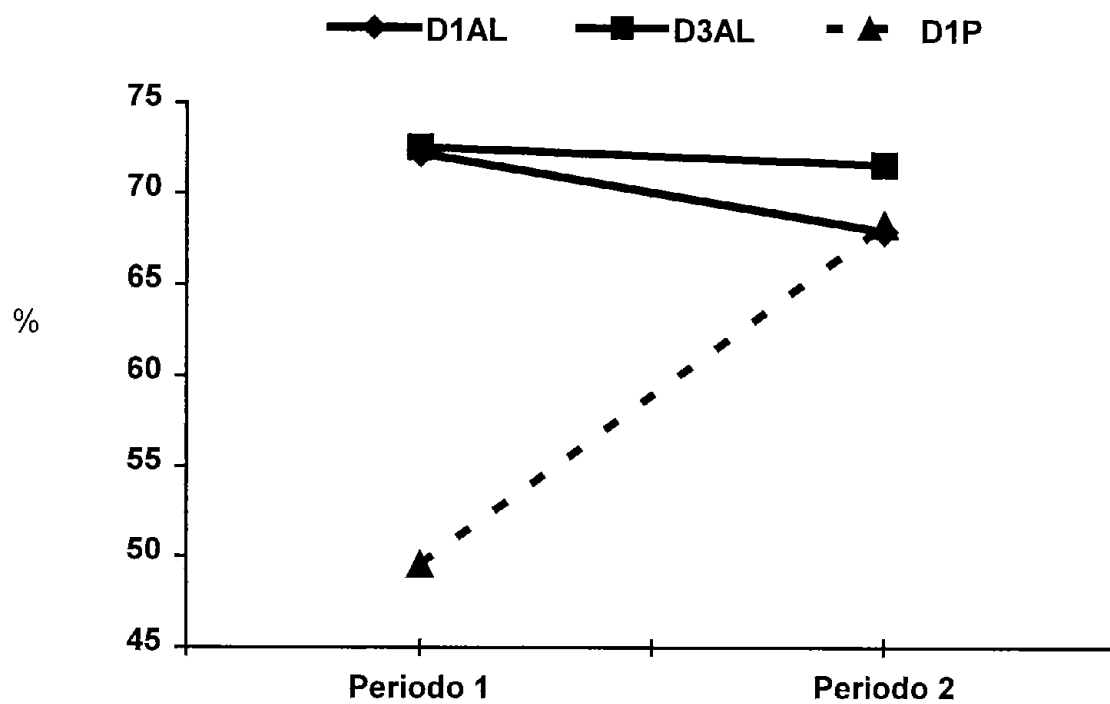
<sup>f</sup> Efecto de la interacción Tratamiento x Periodo (P < .05; Gráfica 5).

Gráfica 1. Nitrógeno en orina en cerdos en crecimiento, g/d (Experimento 1).



Gráfica 2. Nitrógeno retenido/digerido en cerdos en crecimiento, %  
(Experimento 1).

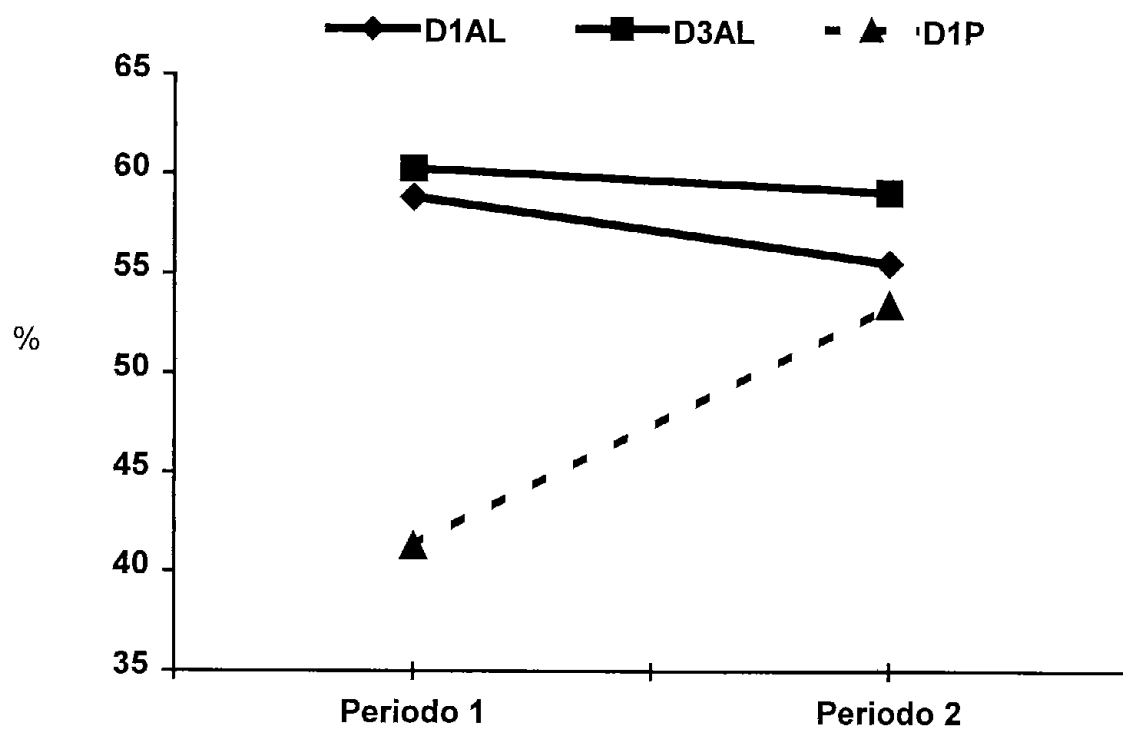
Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.01$ ; EEM = 4.206.





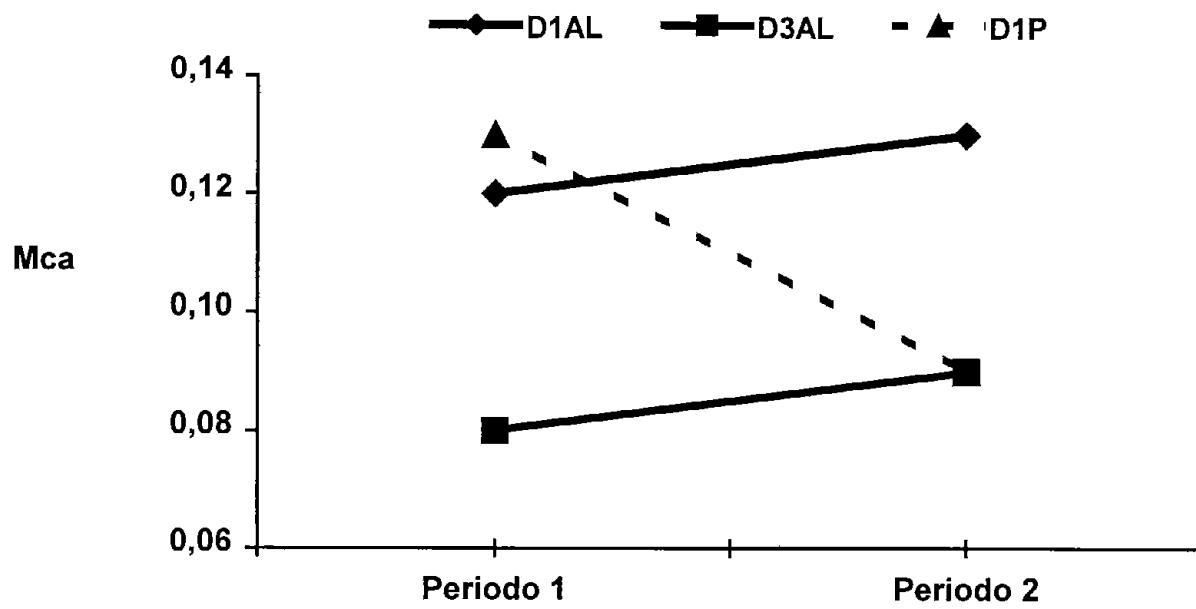
Gráfica 3. Nitrógeno retenido/consumido en cerdos en crecimiento, %  
(Experimento 1).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.05$ ; EEM = 3.333.



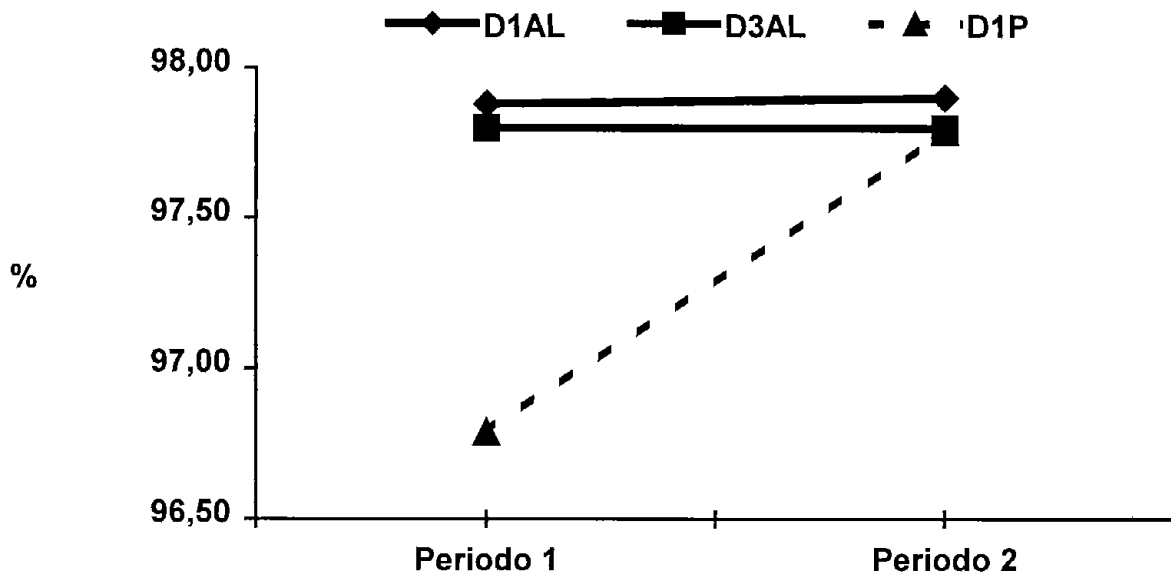
Gráfica 4. Energía en orina en cerdos en crecimiento, Mcal/  
(Experimento 1).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.01$ ; EEM = 0.134.



Gráfica 5. Energía retenida/digerida en cerdos en crecimiento, %  
(Experimento 1).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.05$ ; EEM = 0.224.



Cuadro 5. Efecto de la Densidad y del Periodo sobre la utilización de la materia seca de los cerdos en la etapa de finalización (Experimento 2).

	Densidad			Periodos		EEM <sup>a</sup>
	1	2	3	1	2	
Materia Seca						
Consumo, Kg/d <sup>b</sup>	2.2	1.6	1.7	1.7	2.0	0.03
Excreción, g/d	245.5 <sup>c</sup>	144.4 <sup>d</sup>	169.2 <sup>d</sup>	157.9 <sup>f</sup>	214.8 <sup>e</sup>	8.70
Digestibilidad, %	88.9	90.3	89.9	90.4 <sup>f</sup>	89.0 <sup>e</sup>	0.48

Densidad 1= un cerdo alojado individualmente y con consumo a libertad con 0.81 m<sup>2</sup> de piso; Densidad 2= dos cerdos alojados en grupo con consumo a libertad con 0.40 m<sup>2</sup> de piso/cerdo. Densidad 3= un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos de la Densidad 2 con 0.81 m<sup>2</sup> de piso. Periodo 1= días 2, 3 y 4; Periodo 2= días 18, 19 y 20.

<sup>a</sup> Error Estándar de la Media.

<sup>b</sup> Efecto de la interacción Tratamiento x Periodo (P < .01; Gráfica 6).

<sup>c-d</sup> Efecto del Tratamiento, P < .01.

<sup>e-f</sup> Efecto del Periodo, P < .01.

Cuadro 6. Efecto de la Densidad y del Periodo sobre la utilización del nitrógeno de los cerdos en la etapa de finalización (Experimento 2).

	Densidad			Periodos		EEM <sup>a</sup>
	1	2	3	1	2	
<b>Nitrógeno</b>						
Consumido, g/d <sup>b</sup>	63.4	46.2	50.2	1.23	49.2	57.3
En orina, g/d	17.5	13.4	14.2	1.00	13.7 <sup>d</sup>	16.4 <sup>c</sup>
En heces, g/d	9.8 <sup>e</sup>	6.6 <sup>f</sup>	5.6 <sup>f</sup>	0.42	6.1 <sup>d</sup>	8.6 <sup>c</sup>
Digerido, %	83.8	86.3	85.7	8.81	86.4 <sup>g</sup>	84.2 <sup>h</sup>
Retenido/consumido, g/d <sup>b</sup>	36.5	27.5	29.1	1.61	29.1	32.9
Retenido/consumido, %	56.4	55.5	55.5	2.05	56.4	55.2
Retenido/digerido, % <sup>i</sup>	66.5	63.6	64.3	2.19	64.8	64.8

Densidad 1= un cerdo alojado individualmente y con consumo a libertad con 0.81 m<sup>2</sup> de piso; Densidad 2= dos cerdos alojados en grupo con consumo a libertad con 0.40 m<sup>2</sup> de piso/cerdo. Densidad 3= un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos de la Densidad 2 con 0.81 m<sup>2</sup> de piso. Periodo 1= días 2, 3 y 4; Periodo 2= días 18, 19 y 20.

<sup>a</sup> Error Estándar de la Media.

<sup>b</sup> Efecto de la interacción Tratamiento x Periodo (P < .01; Gráficas 7 y 8).

<sup>c-d</sup> Efecto del Periodo, P < .01.

<sup>e-f</sup> Efecto del Tratamiento, P < .01.

<sup>g-h</sup> Efecto del Periodo, P < .05.

<sup>i</sup> Efecto de la interacción Tratamiento x Periodo (P < .05; Gráfica 9)

Cuadro 7. Efecto de la Densidad y del Periodo sobre la utilización de la energía de los cerdos en la etapa de finalización (Experimento 2).

	Densidad			Periodos		EEM <sup>a</sup>
	1	2	3	1	2	
<b>Energía</b>						
Consumida, Mcal/d <sup>b</sup>	10.2	7.4	8.1	7.9	9.3	0.16
En orina, Mcal/d	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.01
En heces, Mcal/d	1.1 <sup>c</sup>	0.7 <sup>d</sup>	0.7 <sup>d</sup>	0.7 <sup>f</sup>	1.0 <sup>e</sup>	0.04
Digerida %	89.2	90.5	90.4	90.7 <sup>g</sup>	89.3 <sup>h</sup>	0.46
Retenida./consumida, Mcal/d <sup>b</sup>	8.9	6.6	7.2	7.0	8.2	0.17
Retenida./consumida, % <sup>i</sup>	87.5	88.5	88.2	88.7	87.5	0.45
Retenida./digerida, %	97.7	97.6	97.6	97.6	97.7	0.14

Densidad 1= un cerdo alojado individualmente y con consumo a libertad con 0.81 m<sup>2</sup> de piso; Densidad 2= dos cerdos alojados en grupo con consumo a libertad con 0.40 m<sup>2</sup> de piso/cerdo. Densidad 3= un cerdo alojado en forma individual con consumo pareado con base al consumo promedio de los cerdos de la Densidad 2 con 0.81 m<sup>2</sup> de piso. Periodo 1= días 2, 3 y 4; Periodo 2= días 18, 19 y 20.

<sup>a</sup> Error Estándar de la Media.

<sup>b</sup> Efecto de la interacción Tratamiento x Periodo (P < .01; Gráficas 10 y 11).

<sup>c-d</sup> Efecto del Tratamiento, P < .01.

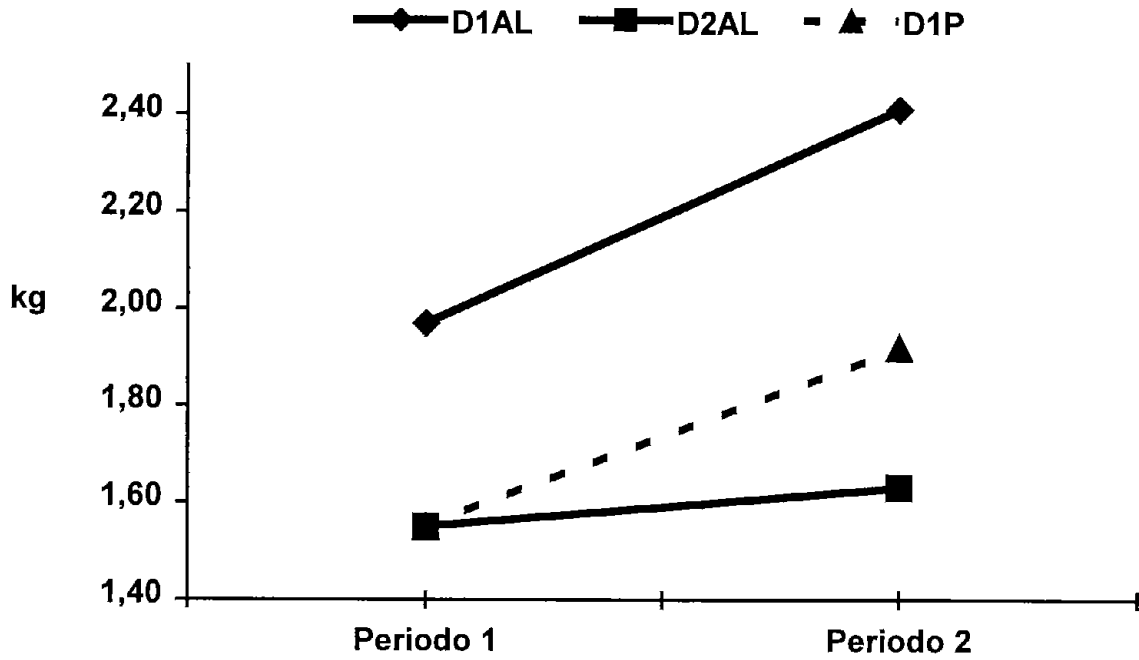
<sup>e-f</sup> Efecto del Periodo, P < .01.

<sup>g-h</sup> Efecto del Periodo, P < .05.

<sup>i</sup> Efecto de la interacción Tratamiento x Periodo (P < .05; Gráficas 12).

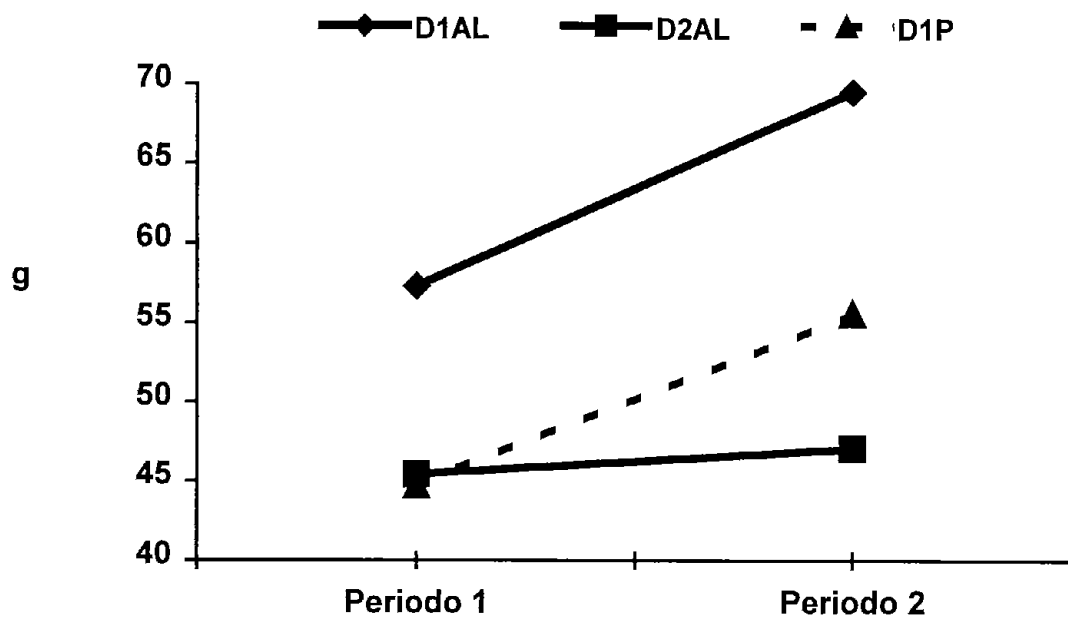
Gráfica 6. Consumo de materia seca en cerdos en finalización, kg/d (Experimento 2).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.01$ ; EEM = 0.058.



Gráfica 7. Consumo de nitrógeno en cerdos en finalización, g/d (Experimento 2).

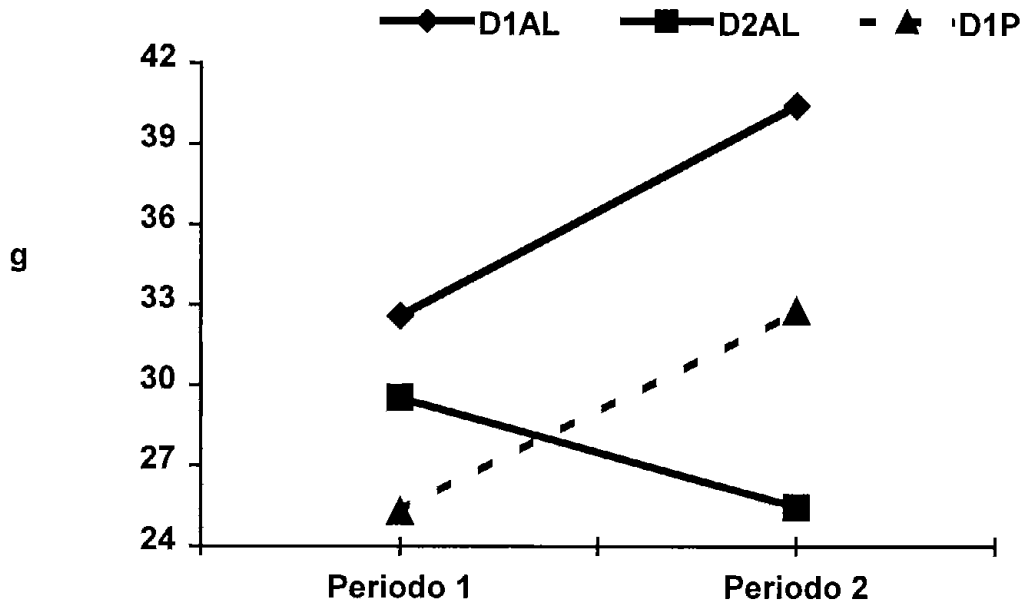
Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.01$ ; EEM = 1.740.





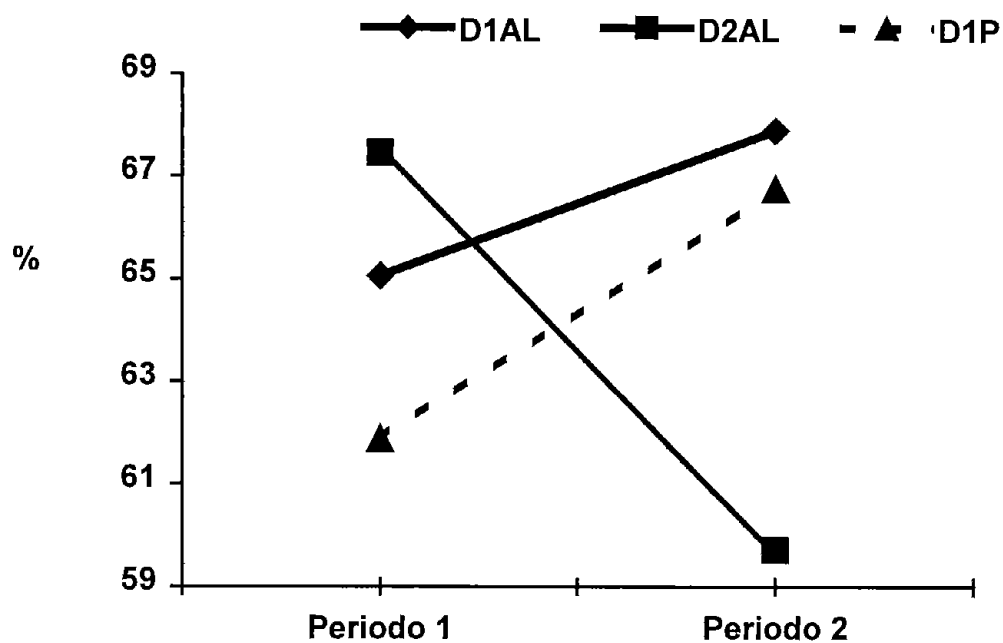
Gráfica 8. Nitrógeno retenido/consumido en cerdos en finalización, g/d (Experimento 2).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.01$ ; EEM = 2.276.



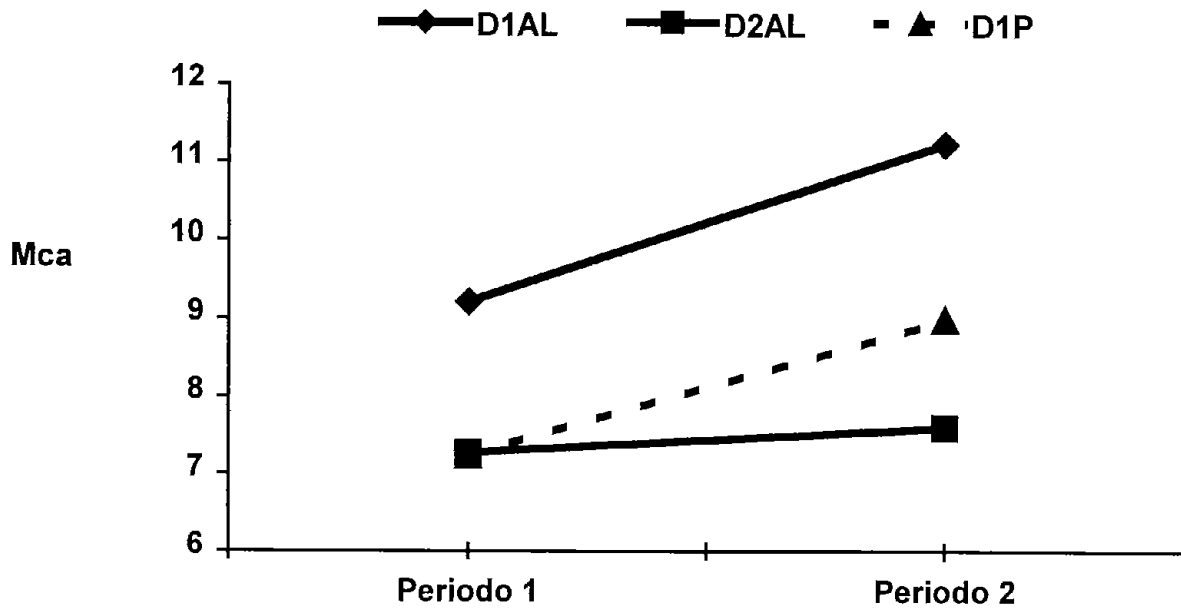
Gráfica 9. Nitrógeno retenido/digerido en cerdos en finalización, %  
(Experimento 2).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.05$ ; EEM = 3.092.



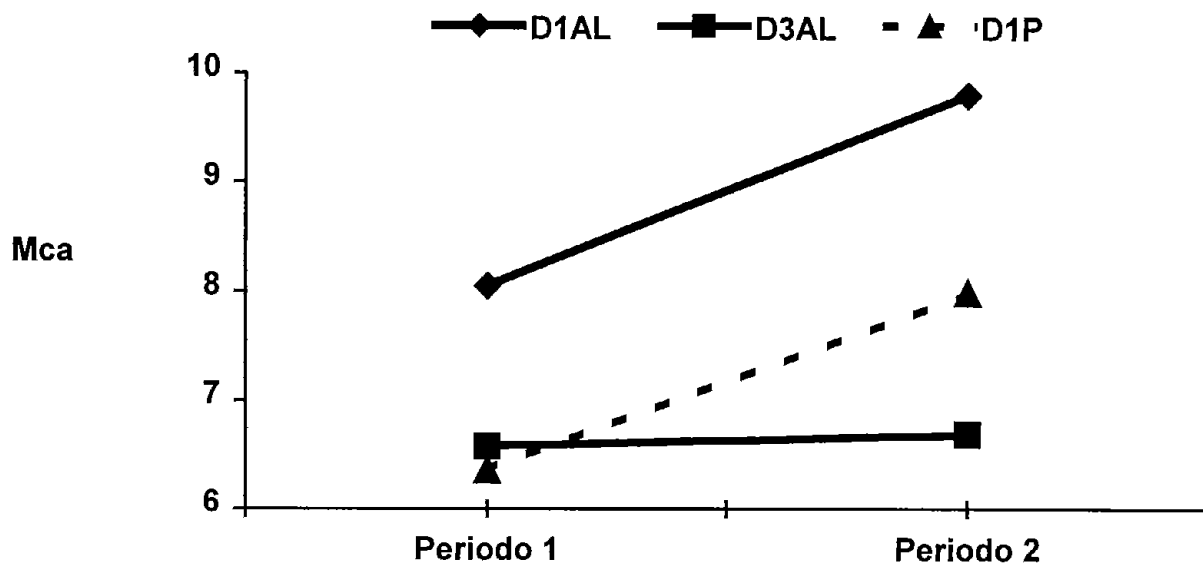
Gráfica 10. Consumo de energía en cerdos en finalización, Mcal/d (Experimento 2).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.01$ ; EEM = 0.278.



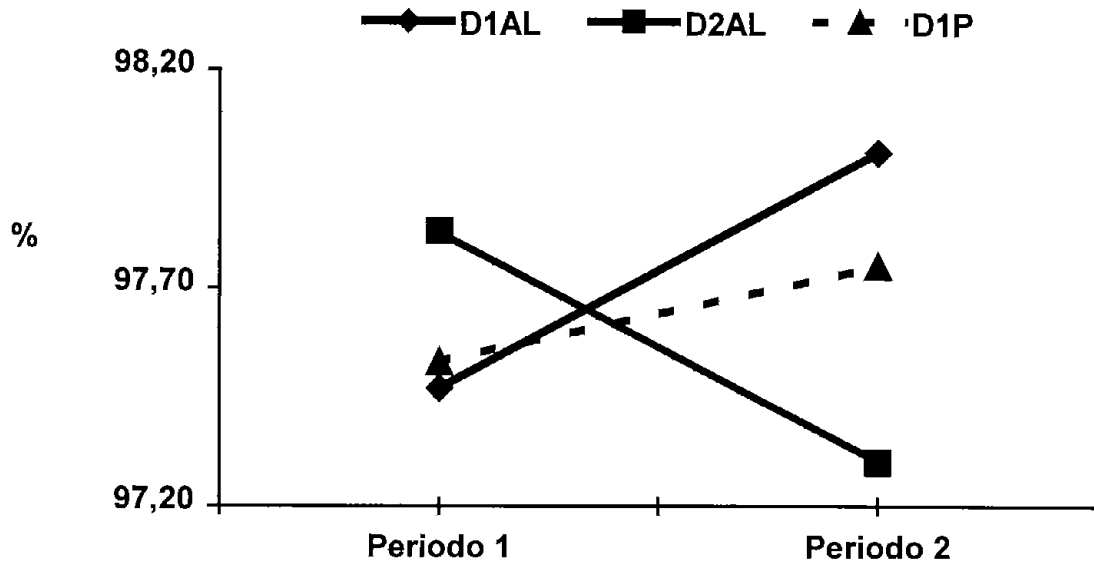
Gráfica 11. Energía retenida/consumida en cerdos en finalización, Mcal/d (Experimento 2).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.01$ ; EEM = 0.288.



Gráfica 12. Energía retenida/digerida en cerdos en finalización, %  
(Experimento 2).

Interacción Densidad x Periodo,  $P < 0.05$ ; EEM = 0.236.



Cuadro 8. Efecto de la Densidad sobre el comportamiento productivo (Experimento 3).

	Densidad		EEM <sup>a</sup>	Probabilidad	
	1	2		Densidad	Densidad x Día
Consumo de alimento, kg/d	1.47	1.18	0.114	.09	.79
Ganancia de peso, kg/d	0.22	0.09	0.073	.21	.14
					.35
					.34

Densidad 1 = un cerdo alojado individualmente con espacio disponible de 2.5 m<sup>2</sup> con libre acceso al alimento;

Densidad 2 = dos cerdos alimentados en grupo con espacio disponible por cerdo de 1.25 m<sup>2</sup> con libre acceso al alimento (al momento de la comida).

<sup>a</sup> Error Estándar de la Media

Cuadro 9. Efecto de la Densidad sobre las concentraciones séricas de cortisol en µg/dl (Experimento 3).

Período de Muestreo	Densidad		EEM <sup>a</sup>	Probabilidad		Densidad X Tiempo
	1	2		Densidad	Tiempo	
-15 a 60	4.39	4.21	0.566	.75	.01	.85
90 a 180	4.40	3.96	0.964	.65	.36	.79
240 a 420	2.21	1.88	0.810	.69	.03	.57

Densidad 1 = un cerdo alojado individualmente con espacio disponible de 2.5 m<sup>2</sup> con libre acceso al alimento;

Densidad 2 = dos cerdos alimentados en grupo con espacio disponible por cerdo de 1.25 m<sup>2</sup> con libre acceso al alimento (al momento de la comida).

<sup>a</sup> Error Estándar de la Media.

Cuadro 10. Efecto de la Densidad sobre las concentraciones séricas de insulina en UI/dl (Experimento 3).

Período de Muestreo	Densidad		EEM <sup>a</sup>	Probabilidad	
	1	2		Densidad	Tiempo
-15 a 60	31.96	20.04	5.163	.05	.01
90 a 180	30.39	22.53	4.872	.12	.01
240 a 420	12.18	12.11	1.175	.95	.01

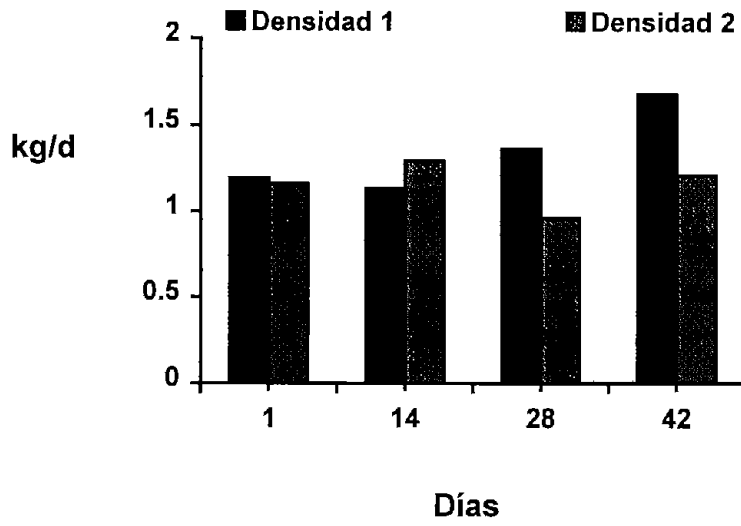
Densidad 1 = un cerdo alojado individualmente con espacio disponible de 2.5 m<sup>2</sup> con libre acceso al alimento;

Densidad 2 = dos cerdos alimentados en grupo con espacio disponible por cerdo de 1.25 m<sup>2</sup> con libre acceso al alimento (al momento de la comida).

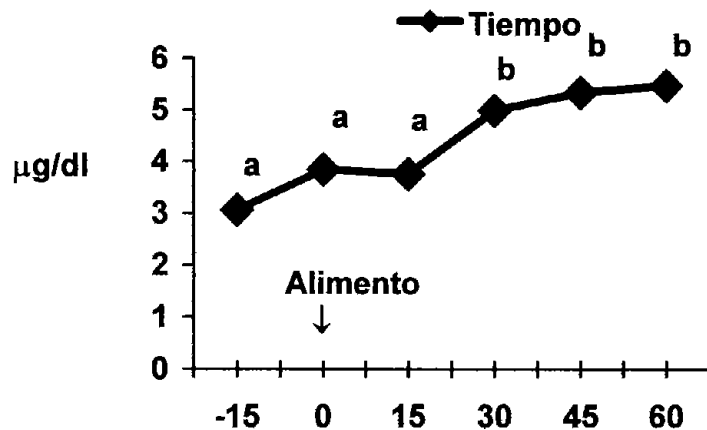
<sup>a</sup> Error Estándar de la Media.



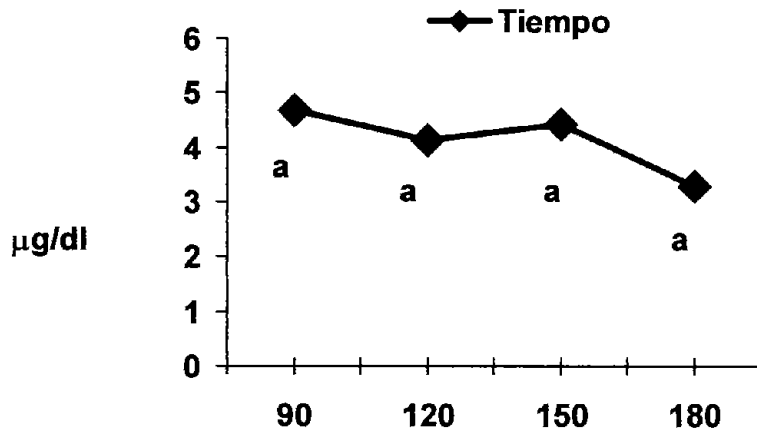
Gráfica 13. Efecto del Día sobre el consumo de alimento,  
(Experimento 3).  
Efecto del Día, P = .66; EEM = 0.262



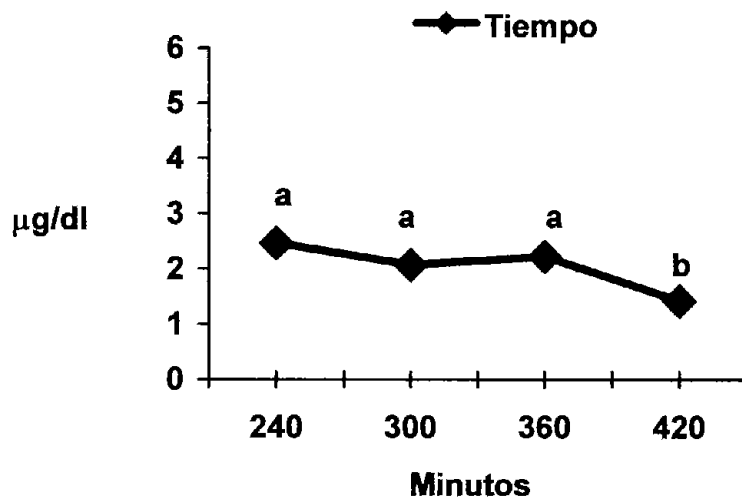
Gráfica 14-a. Efecto del Tiempo sobre las concentraciones séricas de cortisol en plasma, (Experimento 3).  
Efecto del Tiempo,  $P < .01$ ; EEM = 0.566



Gráfica 14-b. Efecto del Tiempo sobre las concentraciones séricas de cortisol en plasma, (Experimento 3).  
Efecto del Tiempo,  $P < .36$ ; EEM = 0.964

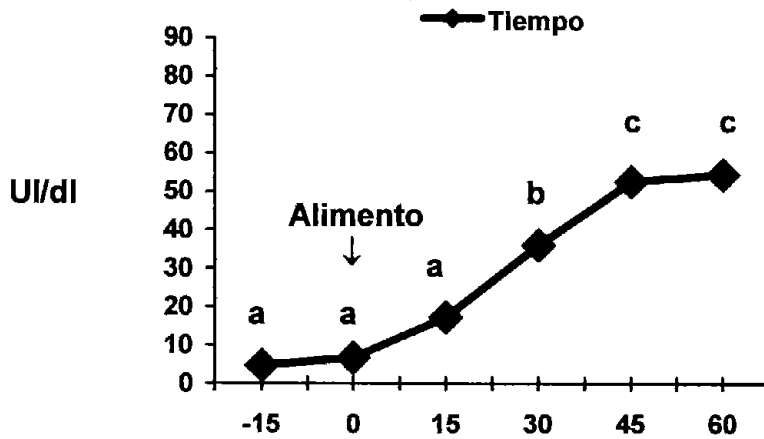


Gráfica 14-c. Efecto del Tiempo sobre las concentraciones séricas de cortisol en plasma, (Experimento 3).  
Efecto del Tiempo,  $P < .03$ ; EEM = 0.810



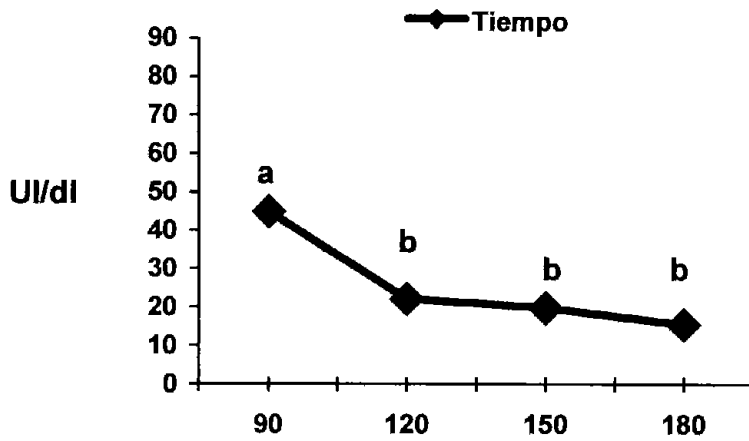
Gráfica 15-a. Efecto del Tiempo sobre las concentraciones séricas de insulina en plasma, (Experimento 3).

Efecto del Tiempo,  $P < .01$ ; EEM = 5.163



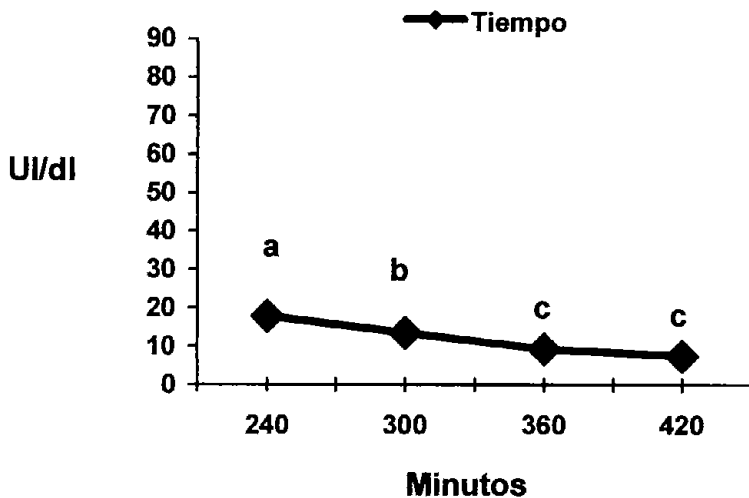
Gráfica 15-b. Efecto del Tiempo sobre las concentraciones séricas de insulina en plasma, (Experimento 3).

Efecto del Tiempo,  $P < .01$ ; EEM = 4.872

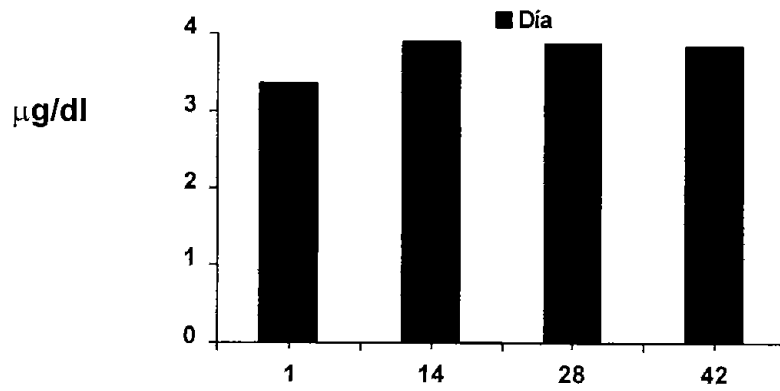


Gráfica 15-c. Efecto del Tiempo sobre las concentraciones séricas de insulina en plasma, (Experimento 3).

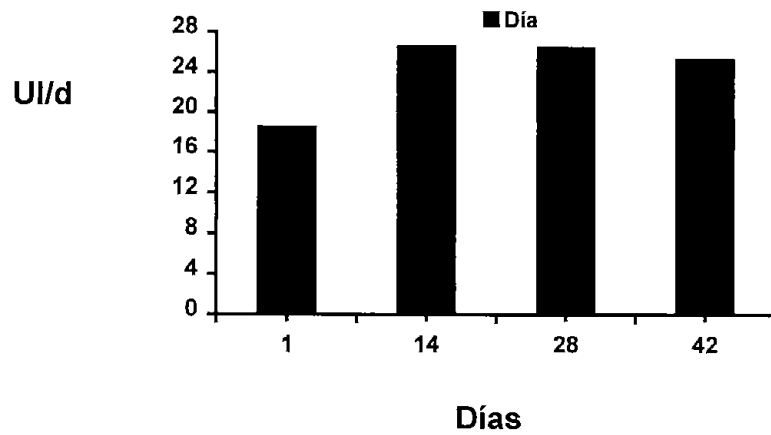
Efecto del Tiempo,  $P < .01$ ; EEM = 1.175



Gráfica 16. Efecto del Día sobre las concentraciones séricas de cortisol,  
(Experimento 3).  
Efecto del Día, P = .92; EEM = 0.903



Gráfica 17. Efecto del Día sobre las concentraciones séricas de insulina,  
(Experimento 3).  
Efecto del Día, P = .27; EEM = 5.221



## 11. LITERATURA CITADA

- Adeola O. Digestion and balance techniques in pigs. En: Lewis AJ, Southern LL. Swine nutrition. Florida USA. CRC Press; 2001:903-914.
- AOAC. Official methods of analysis. 15<sup>th</sup> ed. Arlington, VA. USA; Association of Official Analytical Chemists. 1995.
- Balaji R, Wright KJ, Hill CM, Dritz SS, Knoppel EL, Minton JE. Acute phase responses of pigs challenged orally with *Salmonella typhimurium*. J Anim Sci 2000;78:1885-1891.
- Bate LA, Hacker RR. Effect of cannulation and environmental temperature on the concentration of serum cortisol in pregnant sows. Can J Anim Sci 1985;65: 399-404.
- Becker BA, Nienaber JA, Christenson RK, Manak RC, Deshazer JA, Hahn GL. Peripheral concentrations of cortisol as an indicator of stress in the pig. Am J Vet Res 1985;46:1034-1038.
- Berschauer F, Close WH, Stephens DB. The influence of protein:energy value of the ration and level of feed intake on the energy and nitrogen metabolism of the growing pig. 2. \* N Metabolism at two environmental temperatures. Br J Nutr 1983;49:271-283.
- Blecha F. Inmune system response to stress. In: The Biology of Animal Stress. Eds. G. P. Moberg and J. A. Mench. CAB international; 2000:111-121.
- Blecha F, Pollmann DS, Nichols DA. Weaning pigs at an early age decreases cellular immunity. J Anim Sci 1983;56:396-400.
- Bottoms GD, Roesel OF, Rausch FD, Akinis EL. Circadian variation in plasma cortisol and corticosterone in pigs and mares. Am J Vet Res 1972;33:4,785-790.
- Braganca MM, Mounier AM, Prunier A. Does feed restriction mimic the effects of increased ambient temperature in lactating sows. J Anim Sci 1998;76:2017-2024.
- Brumm MC, Miller PS. Response of pigs to space allocation and diets varying in nutrient density. J Anim Sci 1996;74:2730-2737.
- Burrin G, Beckett PR, Fiorotto ML, Reeds PJ, Wester TJ, Davis TA. Respose of skeletal muscle protein synthesis to insulin in suckling pigs decrease with development. Am J Physiol Endocrinol Metab 1998;270:E36-E42.

Burchfield SR. The stress response: a new perspective. *Psychosom Medic* 1979;41:661-672.

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.

Calbet JAL, MacLean DA. Plasma glucagon and insulin responses depend on the rate of appearance of amino acids after ingestion of different protein solutions in humans. *J Nutr* 2002;132:2174-2182.

Chapple RP. Effects of stocking arrangement on pig performance. Manipulating pig production IV. Australian Pig Sci. Assoc. Attwood, Victoria, Australia. E. S. Batterham; 1993.

Dantzer R. Behavioral, physiological and functional aspects of stereotyped behavior: Evidence from pituitary-adrenal correlates in pigs. *J Anim Sci* 1986;62:1776-1786.

Djurhuus CB, Gravholt CH, Nielsen S, Mengel A, Christiansen JS, Schmitz OE, Moller N. Effects of cortisol on lipolysis and regional interstitial glycerol levels in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2002;283:E172-E177.

Drouin R, Lavoie C, Bourque J, Bourque J, Ducros F, Poisson D, Chiasson JL. Increased hepatic glucose production response to glucagon in trained subjects. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 1998;274:E23-28.

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.

de Haer LCM, Mercks JW. Patterns of daily food intake in growing pigs. *Anim. Prod* 1992;54:95-104.

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.

Edmonds MS, Arentson BE, Mente GA. Effect of protein levels and space allocations on performance of growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 1998;76:814-821.

Elsasser TH, Klasing KC, Filipov N, Thompson F. The metabolic consequences of stress: targets for stress and priorities of nutrient use. *The Biology of Animal Stress*. Eds. G. P. Moberg and J. A. Mench. In CAB international. 2000.

Férrnandez-Fígares I, Shannon AE, Wray-Cahen D, Caperna TJ. The role of insulin, glucagón, dexamethasone, and leptine in the regulation of ketogenesis and glycogen storage in primary cultures of porcine hepatocytes prepared from 60 kg pigs. *Domest Anim Endocrinol* 2004;27:125-140.

Fuller MF, Boyne AW. The effects of environmental temperature on the growth and metabolism of pigs given different amounts of food. 1. Nitrogen metabolism, growth and body composition. *Br J Nutr* 1971;25:259-272.

Funderburke DW, Seerley RW. The effects of postweaning stressors on pig weight change, blood, liver and digestive tract characteristics. *J Anim Sci* 1990;68:155-162.

Ganong FG. Funciones endocrinas del páncreas y regulación del metabolismo de los carbohidratos. *Fisiología Médica*. México DF. El Manual Moderno; 1986.

Georgsson L, Pierzynowski SG, Svendsen J. Effects of stress on exocrine pancreatic secretion. *The Biology of Animal Stress*. Eds. G. P. Moberg and J. A. Mench. CAB international; 2000.

Goldstein RE, Rossetti L, Palmer BAJ, Liu R, Massillon D, Scott M, Neal D, Williams P, Peeler B, Cherrington AD. Effects of fasting and glucocorticoids on hepatic gluconeogenesis assessed using two independent methods in vivo. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2002;283:E946-E957.

Gómez RS. Responses of pigs fed corn-soybean meal or low-protein amino acid-supplemented diets at different feeding levels. [tesis doctorado]. USA: University of Nebraska; 1998.

Gómez 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.

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

Göransson O, Rydén M, Nilsson R, Arner P, Degerman E. Dimethylaminopurine inhibits metabolic effects of insulin in primary adipocytes. *J Nutrit Biochem* 2004;15:303-312.

Gore DC, Jahoor F, Wolfe RR, Hernon DN. Acute response of human muscle protein to catabolic hormones. *Ann Surg* 1993;218:679-684.

Gustavson SM, Chu ChA, Nishizawa M, Farmer B, Neal D, Yang Y, Donahue P, Flakoll P, Cherrington AD. Interaction of glucagón and epinephrine in the control of hepatic glucose production in the conscious dog. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003;284:E695-707.

Hahn JD, Biehl RR, Baker DH. Ideal digestible lysine level for early- and late-finishing swine. *J Anim Sci* 1995;73:773-784.

Harrell RJ, Thomas MJ, Boyd RD, Cerwinski SM, Steele NC, Bauman DE. Ontogenic maturation of the somatotropin/insulin-like growth factors axis. *J Anim Sci* 1999;77:2934-2941.

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.

Hernández CMG. Efectos del estrés crónico causado por la reducción de espacio disponible y/o tamaño de grupo sobre la productividad y cambios metabólicos y endocrinos de cerdos en crecimiento y finalización [tesis maestría]. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2003.

Hicks TA, McGlone JJ, Whisnant CS, Kattesh HG, Norman RL. Behavioral, endocrine, immune, and performance measures for pigs exposed to acute stress. *J Anim Sci* 1998;76:474-483.

Hsia LC, Wood-Gush DGM. A note on social facilitation and competition in the feeding behavior of pigs. *Anim Prod* 1983;37: 149-157.

Hsia LC, Wood-Gush DGM. Social facilitation in the feeding behavior of pigs and the effect of rank. *Appl Anim Ethol* 1984;11:265-270.

Janssens CJJG, Helmond FA, Wiegant VM. Increased cortisol response to exogenous adrenocorticotrophic hormone in chronically stressed pigs: Influence of housing conditions. *J Anim Sci* 1994;72:1771-1777.

Janssens CJJG, Houwing H, Helmond FA, Wiegant VM. Influence of chronic stress on cortisol, prolactin and reproductive hormones during the oestrous cycle of the pig. *Pfluegers Arch J Eur Physiol* 1993;424:R5(Abstr).

Jensen P. An analysis of agonistic interaction patterns in group-housed dry sows- Aggression regulation through an "avoidance order". *Appl Anim Ethol* 1982;9:47-61.



Karam JH, Salber PR, Forsham PH. Hormonas pancreáticas y diabetes sacarina. En: Greenspan FS, Forsham PH. Endocrinología básica y clínica. México DF. El Manual Moderno;1988.

Kornegay ET, Meldrum JB, Chickering WR. Influence of floor space allowance and dietary selenium and zinc on growth performance, clinical pathology measurements and live enzymes, and adrenal weights of weanling pigs. *J Anim Sci* 1993a;71:3185-3198.

Kornegay ET, Lindeman MD, Ravindran V. Effects of dietary lysine levels on performance and immune response of pigs housed at two floor space allowances. *J Anim Sci* 1993b;71: 552-556.

Ladewig J. Stress. In: Döcke F (ed). *Veterinärmedizinische Endokrinologie*, 3<sup>rd</sup> edn. Verlag Gustav Fischer, Jena;1994:379-384.

Ladewig J. Chronic intermittent stress: a model for the study of long-term stressors. *The Biology of Animal Stress*. Eds. G. P. Moberg and J. A. Mench. CAB international; 2000.

Ladewig J, Smidt D. Behavior, episodic secretion of cortisol, and adrenocortical reactivity in bulls subjected to tethering. *Hormones and Behavior* 1989;23;344-360.

Lay Jr DC, Wilson ME. Physiological indicators of stress in domestic livestock. Symposium on concentrated animal feeding operations regarding animal behavior, care and well being. American society of animal science 2002.

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.

Livingston DMS, Fuller MF, Livinstone RM. A note on the growth of pigs in metabolism cages. *Anim Prod* 1969;11:55-56.

Malmlof K, Orberg J, Hellberg S, Cortova Z, Bjorkgren S. The diurnal influence on utilization of dietary protein in the growing pig. *J Anim Physiol a Anim Nutr* 1990;63:180-187.

McCracken BA, Gaskins HR, Ruwe-kaiser PJ, Klasing KC, Jewell DE. Diet-dependent and diet independent metabolic responses underline growth stasis of pigs at weaning. *J Nutr* 1995;125:2838-2845.

McGlone JJ, Salak JL, Lumpkin EA, Nicholson RI, Gibson M, Norman RL. Shipping stress and social status effects on pig performance, plasma cortisol, natural killer cell activity, and leukocyte numbers. *J Anim Sci* 1993;71:888-896.

Mendl M, Zanella AJ, Broom DM. Physiological and reproductive correlates of behavioral strategies in females domestic pig. *Anim Behav* 1992;44:1107-1121.

Moberg GP. A review – developing management strategies to reduce stress in pigs: a new approach utilizing the biological cost of stress. *Manipulating pig production IV*. Australian Pig Science Association, Attwood, Victoria, Australia. E.S. Batterham;1993.

Moberg GP. When does stress become distress? *Laboratory Animals*. 1999;28: 22-26.

Moberg GP. Biological response to stress: implications for animal welfare. *The Biology of Animal Stress*. Eds. G. P. Moberg and J. A. Mench. CAB international; 2000.

Moser RL, Cornelius SG, Pettigrew, Jr JE, Hanke HE, Hagen CD. Response of growing-finishing pigs to decreasing floor space allowance and (or) virginiamycin in diet. *J Anim Sci* 1985;61:337-342.

Myer RO, Bucklin RA. Effect of increased dietary lysine on performance and carcass characteristics of growing-finishing swine reared in a hot, humid environment. *J Anim Sci* 1993;71 (Suppl 1):165 (Abstr).

Myer RO, Bucklin RA. Effect of increased dietary lysine on performance and carcass characteristics of growing-finishing swine reared in a hot, humid environment and fed fat supplemented diets *J Anim Sci* 1994;72(Suppl 1):215 (Abstr).

Myer RO, Bucklin RA. Influence of a hot and humid rearing environment and plane of nutrition on performance and carcass lean content of growing-finishing swine. *J Anim Sci* 1995;73(Suppl 1):182 (Abstr).

NRC. National research council. Nutrient requirements of swine. Tenth revised edition. Washington, DC, USA: National academy press. 1998.

NCR-42. Committee on swine nutrition. An attempt to counteract growth depression from overcrowding finishing pigs with a nutrient-dense diet. *J Anim Sci* 1993 ;71 (Suppl. 1):179 (Abstr).

O'Connell Y, McKenna TJ, Cunningham SK. The effect of prolactin, human chorionic gonadotropin, insulin and insulin-like growth factor 1 on adrenal steroidogenesis in isolated guinea-pig adrenal cells. 1994;48(2-3):235-40.

Paddon-Jones D, Sheffield-Moore M, Creson L, Sanford AP, Wolf SE, Ferrando AA. Hypercortisolemia alters muscle protein anabolism following ingestion of essential amino acids. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003;284:E946-953.

Prunier A, Martin C, Mounier AM, Bonneau M. Metabolic and Endocrine changes associated with undernutrition in the peripubertal gilt. *J Anim Sci* 1993;71:1887-1894.

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.

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.

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.

Reinhart GA, Mahan DC, Cera KR. Effect of group size and nutrient digestibility studies with weanling pigs. *J Anim Sci* 1989;67:2684-2691.

Rushen J. Problems associated with the interpretation of physiological data in the assessment of animal welfare. *Appl Anim Behav Sci* 1991;28:381-386.

Santiago LB, Jorge SM, Moreira AC. Longitudinal evaluation of the development of salivary cortisol circadian rhythm in infancy. *Clin Endocrinol (Oxf)* 1996;44:157-161.

SAS Institute Inc. *SAS/STAT User's Guide*, Version 6<sup>th</sup> ed. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1989.

Schoebelen-Combes S, Louveau I, Postel-Vinay MC, Bonneau M. Ontogeny of GH receptor and GH-binding protein in the pig. *J Endocrinol* 1996;148:249-255.

Schrader L, Ladewig J. Temporal differences in the responses of the pituitary adrenocortical axis, the sympathoadrenomedullar axis, heart rate, and behaviour to a daily repeated stressor in domestic pigs. *Physiol Behav* 1999;66:775-783.

Siberio V, Bull R, Hill G, Rozeboom M, Hogberg and Yokoyama. Effects of dietary Cr supplementation performance and the immune response of pigs reared in crowded nursery environment. *J Anim Sci* 1996a;74(Suppl 1): (Abstr).

Siberio V, Hill G, Rozeboom D, Hogberg M, Bull R, and Yokoyama. Effects of dietary Cr supplementation on the retention of Cu and Zn in stressed baby pigs. *J Anim Sci* 1996b;74(Suppl 1):54 (Abstr).

Simmons PS, Miles JM, Gerich JE, Haymond MW. Increase proteolysis: an effect of increases in plasma cortisol within the physiologic range. *J Clin Invest* 1984;73:412-420.

Spencer GSG. Relationship between plasma somatomedin activity and levels of cortisol and free fatty acids following stress in pigs. *J Endocrinol* 1980;84:109-114.

Spencer GS, Hallett KG. Hormone and metabolite changes with stress in pigs. In: ME Tumbleson (Ed). *Swine in biomedical research*. Plenum press. N. Y. 1981:159-165.

Spicer HM, Aherne FX. The effects of group size/stocking density on weanling pigs performance and behavior. *Appl Anim Behav Sci* 1987;19:89-98.

Stookey JM, Gonyou HW. The effect of regrouping on behavioral and production parameters in finishing swine. *J Anim Sci* 1994;72:2802-2811.

Thaela MJ, Pierzynowski SG, Jensen MS, Jakobsen K, Westrom BR, Karlsson BW. The pattern of the circadian rhythm of pancreatic secretion in fed pigs. *J Anim Sci* 1995;73:3402-3408.

Tuchscherber M, Puppe B, Tuchscherber A, Kanitz E. Effects of social status after mixing on immune, metabolic, and endocrine responses in pigs. *Physiol Behav* 1998;64:353-360.

Tyrrell BJ, Forshman. Glucocorticoides y andrógenos suprarrenales. Greenspan F. S. y P. H. Forsham. *Endocrinología básica y clínica*. México: El Manual Moderno;1988.

van der Meulen J, de Graaf GJ, Nabuurs MJA, Niewold TA. Effect of transportation on intramucosal pH and intestinal permeability. *The Biology of Animal Stress*. Eds. G. P. Moberg and J. A. Mench. CAB international; 2000.

van Heugten E, Spears JW. Immune response and growth of stressed weanling pigs fed diets supplemented with organic or inorganic forms of chromium. *J Anim Sci* 1997;75:409-416.

Vargas JV, Craig JV, Hinnes RH. Effects of feeding systems on social and feeding behavior and performance of finishing pigs. *J Anim Sci* 1987;65:463-474.

Von Borell E, Ladewig J. Altered adrenocortical response to acute stressors or ACTH in intensively housed pigs. *Domest Anim Endoc* 1989;6:299-309.

Ward TL, Southern LL, Bidner TD. Interactive effects of dietary chromium tripicolinate and crude protein level in growing-finishing pigs provided inadequate and adequate pen space. *J Anim Sci* 1997;75:1001-1008.

Weibel DM, Finck BN, Baker DH, Johnson RW. Time course of increased plasma cytokines cortisol and urea nitrogen in pigs following intraperitoneal injection of lipopolysaccharide *J Anim Sci* 1997;75:1514-1520.

Weiler U, Claus R, Schnoebelen-Combes S, Louveau I. Influence of age and genotype on endocrine parameters and growth performance: a comparative study in wild boars, meishan and large white boars. *Livest Prod Sci* 1998;54:21-31.

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.

Wing SS, Goldberg AL. Glucocorticoids activate the ATP-ubiquitin-dependent proteolytic system in skeletal muscle during fasting. *Am J Physiol* 1993;264 (Endocrinol Metab):E668-E676.

Woolf PH. Hormonal responses to trauma. *Cri Care Med* 1992;20:216-226.

Wray-Cahen D, Nguyen HV, Burrin DG, Beckett PR, Fiorotto ML, Reeds PJ, Wester TJ, Davis TA. Response of skeletal muscle protein synthesis to insulin in suckling pigs decrease with development. *Am J Physiol* 1998;275(Endocrinol Metab 38):E602-609.

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.

Young RJ, Lawrence AB. Feeding behavior of pigs groups monitored by a computerized feeding system. *Anim Prod* 1994;58:145-152

Zanella AJ, Brunner P, Unshelm J, Mendl MT, Broom DM. The relation between housing and social rank on cortisol,  $\beta$ -endorphin and dynorphin (1-13) secretion in sows. *Appl Anim Behav Sci* 1998;59:1-10.