

11662 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

**SOMATOTROPINA RECOMBINANTE PARA CERDOS  
EN FINALIZACION: AMBIENTE E INTERACCIONES  
ENTRE DOSIS Y DIETA.**

**T E S I S**

QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
EN EL AREA DE NUTRICION ANIMAL

P R E S E N T A :

**M. V. Z. DIEGO BRAÑA VARELA**

ASESOR: DR. JOSE ANTONIO CUARON IBARGUENGOYTIA

AJUCHITLAN, QUERETARO

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. José Antonio Cuarón Ibarquengoytia, por sus enseñanzas, apoyo y amistad

Al INIFAP y a todos aquellos compañeros de trabajo, que me brindaron su aprecio y apoyo.

A las instituciones y empresas que hicieron posible la realización de este trabajo (PAIEPEME A.C.; Alpha; Grupo Delta; Concentra; CONACYT; y a la UNAM)

A los integrantes del Jurado.

## HONORABLE JURADO

Presidente	Dr. Armando Shimada Miyasaka
Vocal	Dr. Gerardo Mariscal Landín
Secretario	Dr. Germán A. Borbolla Sosa
Primer Suplente	Dra. María de la Salud Rubio Lozano
Segundo Suplente	Dr. José Antonio Cuarón Ibargüengoytia

## ÍNDICE GENERAL

INDICE GENERAL	III
INDICE DE CUADROS	IV
INDICE DE GRÁFICAS	VI
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
EXPERIMENTO 1	9
Introducción	9
Hipótesis	10
Objetivo	10
Materiales y métodos	10
Resultados	12
Discusión	14
Conclusiones	17
Cuadros y gráficas	18
EXPERIMENTO 2	24
Introducción	24
Hipótesis	25
Objetivo	25
Materiales y métodos	25
Resultados	29
Discusión	32
Conclusiones	37
Cuadros y gráficas	38
EXPERIMENTO 3	49
Introducción	49
Hipótesis	50
Objetivo	50
Materiales y métodos	50
Resultados	52
Discusión	55
Conclusiones	59
Cuadros y gráficas	60
LITERATURA CITADA	72
ANEXO. Análisis económico	81

# ÍNDICE DE CUADROS

## EXPERIMENTO 1

CUADRO 1 Composición de las dietas experimentales y perfil calculado de nutrimentos.	18
CUADRO 2 Comportamiento productivo de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades	19
CUADRO 3 Rendimiento al sacrificio de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades.	20
CUADRO 4 Características de la canal de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades.	21
CUADRO 5 Datos de la canal de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades.	22
CUADRO 6 Evaluaciones subjetivas de la carne de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades.	23

## EXPERIMENTO 2

CUADRO 1 Composición de las dietas experimentales y perfil calculado de nutrimentos.	38
CUADRO 2 Comportamiento productivo de cerdos tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos.	39
CUADRO 3 Composición corporal de cerdos tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Las mediciones se hicieron con ultrasonido de tiempo real en P <sub>2</sub> .	40
CUADRO 4 Composición corporal de cerdos en finalización, tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Las mediciones se hicieron en las canales con ultrasonido F-O-M	41
CUADRO 5 Características de la canal de cerdos tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos	42
CUADRO 6 Características de la canal de cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Los datos se obtuvieron a partir del corte del lomo en la décima costilla y con las ecuaciones de predicción referidas en el texto.	43

### EXPERIMENTO 3

CUADRO 1 Composición de las dietas experimentales y perfil calculado de nutrimentos.	60
CUADRO 2 Comportamiento productivo de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina y alimentados con tres diferentes densidades de nutrimentos (relación lisina : energía)	61
CUADRO 3 Animales muertos o retirados del experimento, según la fecha, tratamiento y causa	62
CUADRO 4 Composición corporal de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas. Las mediciones se hicieron con ultrasonido de tiempo real en P <sub>2</sub> . Interacción dosis x dieta	63
CUADRO 5 Estimación de la composición corporal de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas, a partir de las mediciones hechas en rastro con un ultrasonido Ultra-FOM. Interacción dosis x dieta	64
CUADRO 6 Características de la canal de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas. Interacción dosis x dieta	65

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

### EXPERIMENTO 2

- Gráfica 1. Consumo diario estimado de energía metabolizable y de lisina digestible, en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos 44
- Gráfica 2. Eficiencia en el uso de la Energía Metabolizable y de la lisina digestible consumidas diariamente, respecto de la ganancia diaria de peso en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos 45
- Gráfica 3. Aumento en el grosor de la grasa dorsal medida en P<sub>2</sub>, con un aparato de ultrasonido en tiempo real, en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Interacción STp x sexo 46
- Gráfica 4. Ganancia diaria de tejido magro libre de grasa en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Interacción STp x sexo 47
- Gráfica 5. Eficiencia en el uso de la energía metabolizable y de la lisina consumidas, en relación a la ganancia diaria de tejido magro libre de grasa, en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y consumiendo dietas con diferente densidad de nutrimentos. 48

### EXPERIMENTO 3

- Gráfica 1. Consumo diario de alimento de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas 66
- Gráfica 2. Consumo diario de energía metabolizable en cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas 67
- Gráfica 3. Consumo diario de lisina digestible en cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas 68
- Gráfica 4. Eficiencia alimenticia de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas 69
- Gráfica 5. Profundidad de la grasa dorsal en P<sub>2</sub>, medida en las canales de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas 70
- Gráfica 6. Peso de los cortes primarios de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas 71

## Resumen

Se realizaron tres experimentos con cerdos en finalización, para observar la respuesta productiva, cuando reciben somatotropina porcina recombinante (STp). El primero, evaluó la aplicación de STp ( $3 \text{ mg-cerdo}^{-1}\text{día}^{-1}$ ), o solución salina fisiológica (i.m.) y su interacción con la localidad (templada y tropical). El uso de STp incrementó, la eficiencia alimenticia en 22% ( $0.277 \text{ vs } 0.340$ ;  $P<0.001$ ); por localidad, fueron más eficientes los cerdos producidos en el ambiente templado ( $0.317 \text{ vs } 0.299$ ,  $P<0.004$ ). Localidad y STp interactuaron en el peso de los cortes primarios ( $P<0.02$ ): los cerdos en Trópico incrementaron, por STp, el 14% vs 7% en Templado. En dos experimentos se estudiaron las condiciones de formulación de las dietas para cerdos tratados con STp en dosis de 3, 5 y 6  $\text{mg cerdo}^{-1}\text{día}^{-1}$ . Las dietas variaron en las relaciones lisina:energía: 1.9; 2.3 y 2.8 g de Lys/Mcal de EM. La diaria inyección de STp reduce el consumo de alimento (CDA;  $P<0.01$ ), promueve el crecimiento del tejido magro ( $P<0.01$ ) y reduce la proporción de grasa en la canal ( $P<0.01$ ). Además, STp permite corregir la deposición de proteína y la eficiencia del proceso. Sin embargo, la respuesta a su uso está influida por el CDA, por lo que, las estrategias para su utilización, se deberán fundamentar primero en función del consumo y luego en la capacidad de crecimiento magro.

Palabras clave: Somatotropina, cerdos, crecimiento magro.

## Introducción

La investigación pecuaria, se ha encaminado a la búsqueda de nuevas alternativas que permitan incrementar la eficiencia productiva de los animales; particularmente se ha hecho investigación enfocada a modificar la composición corporal y a mejorar la eficiencia alimenticia (Henry, 1992).

Durante los últimos 15 años, se han tenido grandes avances en el desarrollo de dos tecnologías que buscan alcanzar dichos objetivos: la utilización de la hormona del crecimiento y el uso de los compuestos  $\beta$ -adrenérgicos (NRC, 1994). En México, a partir del año 2001, se permite la comercialización de la hormona del crecimiento para cerdos, también conocida como somatotropina recombinante porcina (STp), la que en general induce aumentos en la ganancia diaria de peso (15%), en la eficiencia alimenticia (30%) y en la deposición de proteína (30 a 60%); además, reduce el consumo diario de alimento (14%) y la deposición de grasa (60%) en la canal (Machlin, 1972; Etherton *et al.*, 1987; Campbell y Taverner 1988; King *et al.*, 2000).

La mayor parte de la información generada con relación a STp, se ha producido en Estados Unidos y en Australia, donde rigen condiciones ambientales y de mercado (tanto de granos y alimentos, como del mercado de carne), muy diferentes a las del País, por lo que existen algunas interrogantes para la aplicación de la STp en México: ¿cuál será el efecto de STp con temperaturas ambientales elevadas? y en este mismo contexto, ¿se podrán obtener los beneficios de STp con reducidos consumos de alimento?.

Por otro lado, su utilización implica el uso de dietas más densas en energía y proteína, ¿será rentable el uso de STp en las condiciones de mercado y de formulación de raciones en México?.

Dado que aún en México la mayor parte de los cerdos se comercializa en pie, y porque parte de los beneficios por el uso de STp se manifiestan en la canal, repercutiendo en el productor secundario (obrador), ¿de qué magnitud será el beneficio para el productor primario (porcicultor)?.

Con el fin de responder a estos cuestionamientos y de generar información que permita un uso racional de la STp en nuestro país, se realizaron tres experimentos con cerdos en etapa de finalización, uno para evaluar la factibilidad del uso de la hormona bajo en las condiciones climáticas comunes a los principales centros de producción porcícolas del País; otro para determinar la necesidad de manipular la dieta de los animales en finalización tratados con la hormona y un tercer experimento donde se estudiaron las interacciones entre la dosificación de STp y la dieta.

## Revisión de literatura

En los cerdos, la eficiencia productiva está determinada principalmente por la proporción de nutrientes utilizados para la deposición de proteína o de grasa. Esta distribución de los nutrientes, está influenciada por el genotipo, sexo, etapa del crecimiento, así como por factores ambientales como el manejo, la alimentación y el clima (Carrol *et al.*, 1999, Claus and Weiler, 1994, Barb *et al.*, 1998). Sin embargo, en los últimos 30 años, se han desarrollado una serie de compuestos conocidos como modificadores del metabolismo; los cuales interactúan con todos los factores mencionados, permitiendo la deposición de una proporción diferente de tejidos en la canal de los animales (NRC, 1994). Dentro de este grupo de compuestos, se encuentra la hormona del crecimiento o Somatotropina (STp), la cual se ha podido producir industrialmente usando métodos de la ingeniería genética, como la tecnología de recombinación, que permite el direccionamiento de las funciones microbianas mediante la modificación de su DNA, en este caso, para la síntesis de una proteína que no contribuye a su metabolismo (Freifelder, 1988). En la mayoría de los casos, se recurre al DNA circular extranuclear (plásmido) de *Escherichia coli* (Watson *et al.*, 1992), generándose entonces en biorreactores simples: la condensación y purificación de la molécula proteica, que si bien no restan efectividad, si dan identidad al origen del producto (Sadava *et al.*, 1998; NCR, 1994).

**Somatotropina:** es una proteína de cadena simple, cuya composición de amino ácidos varía entre especies (Prosser y Mephan, 1991), en el cerdo tiene 191 amino ácidos, no es glucosidada, tiene dos puentes disulfuro intramoleculares y es producida por la porción anterior de la glándula hipófisis (Steele, 1991). Su secreción, está regulada principalmente por dos hormonas; el factor liberador de la hormona del crecimiento, quien estimula su producción, mientras que la somatostatina la inhibe; actualmente se sabe que además de los anteriores, muchos otros factores pueden regular la secreción de la somatotropina: serotonina, ácido gama aminobutírico, péptido Ghrelin, etc. (McMahon *et al.*, 2001; Hayashida *et al.*, 2001). Las preparaciones comerciales pueden tener algunos radicales aminoácidos diferentes en el N-terminus de la molécula, lo que no le resta efectividad en los cerdos pero si distancia aún más a la proteína de aquella de especies superiores (Evoock-Clover *et al.*, 1997; Sadava *et al.*, 1998).

La STp es inocua para el ser humano, porque es una hormona específica de especie y porque activada su vida media es solo del orden de minutos (Etherton y Bauman, 1998), además de que se degrada fácil y rápidamente por los procesos de preparación de los alimentos y los digestivos (Juskevich y Guyer, 1990).

Los efectos que típicamente se obtienen por la inyección diaria de 3 mg.cerdo<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup> o más (en uso comercial, de 4 a 8 mg) de STp, son incrementos promedio del 15% en la ganancia de peso y del 30% en la eficiencia alimenticia; esto a pesar de que su acción, deprime el consumo voluntario de alimento en alrededor del 14% (Machlin 1972; Etherton *et al.*, 1987; McLaren *et al.*, 1990).

**Mecanismo de acción:** los efectos de STp en el metabolismo de proteína son mediados principalmente por el factor de crecimiento parecido a insulina 1 (IGF-1) y su proteína transportadora IGFBP-3 (Etherton *et al.*, 1987; Combs *et al.*, 1997), pero también provoca incrementos en los niveles sanguíneos de insulina (Campbell *et al.*, 1988; Lee *et al.*, 2000). El tratamiento con STp inhibe los efectos de la insulina sobre el metabolismo de proteína (Vann *et al.*, 2000) y aumenta la tasa de recambio proteico, con una consecuente mayor deposición debido a que se incrementa la tasa de síntesis en mayor proporción que la tasa de degradación de proteína (Tomas *et al.*, 1992; Etherton y Bauman, 1998).

En el metabolismo de las grasas, a pesar de la mayor producción de insulina provocada por STp, la actividad lipogénica en los adipositos, se reduce principalmente por una disminución en su sensibilidad a insulina (Etherton *et al.*, 1987; Yin *et al.*, 2001), y en la actividad enzimática pro-lipogénica (Wang *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2000).

Etherton *et al.*, (1987) demostraron que la eficiencia del uso de STp en el metabolismo de los cerdos, se incrementa cuando su estado fisiológico se acerca a la madurez, obteniendo mejor respuesta en la etapa de finalización. Ésto por varias razones, sin duda consecuencia de la natural declinación de la liberación fisiológica de STp: en finalización, la energía consumida se destina principalmente a la producción de tejido graso (Thiel *et al.*, 1993; Reeds *et al.*, 1994). Así, STp incrementa y reduce respectivamente las proporciones de energía retenida como proteína y grasa en la canal (Campbell *et al.*, 1990; Roberts y Azain, 1997), lo que hace que se mejore la eficiencia alimenticia, independientemente de que se eleve en un 12% el gasto energético de mantenimiento (Verstegen *et al.*, 1990).

**Efecto de la dosis:** varios autores (Etherton *et al.*, 1987; Beermann *et al.*, 1990; Thiel *et al.*, 1993; NRC, 1994), coinciden en que los efectos de STp dependen de la dosis utilizada; la cual podrá ser diferente, dependiendo del criterio de respuesta que se desee mejorar.

McLaren *et al.* (1990), mediante un análisis matemático del comportamiento productivo ante diferentes dosificaciones de STp en cerdos en finalización (57 a 103 kg), demostraron que las dosis óptimas difieren de las necesarias para una respuesta máxima. Para la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia, la dosis óptima parece ser de 3 mg-cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>; mientras que la máxima respuesta, se obtiene con 6 mg. Esto sucede porque la reducción en el consumo de alimento se hace más severa con 5 mg diarios o más de STp.

McNamara *et al.* (1991) evaluaron la respuesta de cerdos entre 102 y 136 kg a diferentes dosis de STp, encontrando la mejor respuesta con 3 mg-cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> (ganancia diaria de peso, +20%; eficiencia alimenticia, +37%; reducción en el consumo de alimento, -10.4%). Sin embargo, al evaluar la misma dosis con animales entre 84 y 100 kg de peso y a pesar de tener respuestas similares en comportamiento productivo, las características de la canal no se modificaron drásticamente, lo cual sugiere que en animales más próximos a la madurez (cuando la capacidad de síntesis de proteína

muscular merma), ya se ha desarrollado la mayor proporción de los tejidos magros y el efecto de la hormona no es tan notable en el aumento o definición de la masa muscular (Ono *et al.*, 1995), lo que no ocurre en cortes como el tocino que tienen una mayor proporción de grasa. Entonces, los beneficios que se buscan por el uso de la STp (aumento de la masa muscular y crecimiento del tejido magro), se confunden con la respuesta en tejidos grasos. Además, la efectividad de la dosis de STp dependerá de la ontogenia de los tejidos (Harrel *et al.*, 1999). En este respecto, poca información existe.

**Efecto del ambiente:** otras consideraciones de importancia para el desarrollo de metodología para el uso de STp, son las restricciones ambientales, incluyendo los desafíos inmunológicos. Si bien STp no altera la respuesta inmune, la depresión del consumo, quizá consecuencia de una mayor producción de calor (por la mayor actividad metabólica), podría tener efectos aditivos para deprimir la respuesta animal a la hormona (en situaciones de estrés se bloquean los receptores de la hormona a nivel celular y la expresión de los receptores musculares a STp, se reducen cuando se tienen consumos deficientes en energía; Combes *et al.*, 1997).

Los animales homeotermos como el cerdo, deben mantener su temperatura corporal dentro de límites muy estrechos, existiendo un rango de temperaturas en las que sus funciones productivas no se ven alteradas; a este rango se le conoce como "zona de termo neutralidad"; para cerdos en finalización, se encuentra entre los 16 y 22 °C; fuera de este rango (temperaturas críticas superior e inferior), los animales deberán recurrir a cambios de comportamiento e inclusive metabólicos y fisiológicos para mantener su condición de homeotermos (Forcada, 1997; Collin *et al.*, 2001).

Conforme se exceden los límites de la zona de termo neutralidad, los ajustes metabólicos y fisiológicos necesarios para mantener la temperatura corporal actúan en contra de las funciones productivas del animal, ya que se busca mantener el balance calórico con el medio ambiente (Jessop, 2000). Cuando los animales se mantienen por debajo de la temperatura crítica inferior deberán incrementar la producción de calor para mantenerse calientes, lo cual conlleva a un gasto de energía (80 kcal de energía metabolizable [EM] al día, por cada °C por debajo de la zona de termoneutralidad; NRC, 1998). Al aumentar la temperatura ambiente por arriba de la zona termoneutralidad, también se modifica el metabolismo, debido a una reducción en el consumo diario de alimento (CDA), lo que reduce la producción de calor asociado a la digestión de los alimentos, pero además a una reducción en el metabolismo basal y una menor retención de nitrógeno (Collin *et al.*, 2001b). Sin embargo, se eleva el gasto de energía debido al incremento en el ritmo cardíaco y en la tasa respiratoria que se llega a elevar hasta en un 400 % (Christon, 1988; Forcada, 1997).

La temperatura es el principal factor ambiental que influye sobre el consumo voluntario de alimento en los cerdos, particularmente en aquéllos en la etapa de finalización (Christon, 1988; Carrol *et al.*, 1999). Además, se ha demostrado que mientras mayor sea la amplitud en el rango de la temperatura ambiente, mayor será el estrés ambiental, por lo que en determinadas condiciones, el cerdo no es capaz de adaptarse rápidamente a los cambios climáticos (Forcada, 1997). Al trabajar con cerdos en corraletas de frente abierto en diferentes condiciones climáticas, se ha llegado a

proponer que la producción en zonas tropicales, pudiera ser tanto o más eficiente que en zonas templadas, debido a la menor variación diaria en la temperatura (Álvarez *et al.*, 1985; Cervantes, 1991; Cisneros *et al.*, 1997).

Curtis en 1989, elaboró una serie de planteamientos, en los que sostenía que los cerdos tratados con STp, no serían capaces de adaptarse a un ambiente cálido, ante esto, se realizaron una serie de experimentos, en los cuales (Becker *et al.*, 1992 y 1993) se planteo lo contrario; Sin embargo, los resultados de estos experimentos, son limitados debido a que se realizaron en condiciones de regulación térmica artificial (controlada), utilizando cámaras climáticas con variaciones de entre 2 y 8 °C, lo cual es diferente a la realidad del altiplano mexicano en donde las variaciones llegan a más de 25 °C a lo largo del día vs las condiciones en los trópicos en los que la temperatura y humedad relativa son mucho más constantes (Christon, 1988), aún cuando sean superiores a las de termoneutralidad, los efectos de estrés serían potencialmente menores.

**Efecto de la dieta:** trabajando con cerdos en la etapa de crecimiento, la STp incrementa hasta en un 30% la eficiencia en el uso de los aminoácidos (Steel *et al.*, 1990; Caperna *et al.*, 1991). Sin embargo, en general se acepta que el porcentaje de inclusión de la proteína en la dieta debe incrementarse (Smith y Kasson, 1991; Thiel *et al.*, 1993; Roberts y Azain, 1997), debido a los cambios en el consumo y a la mayor síntesis de proteína. Esta mayor síntesis de proteína incrementa la tasa metabólica y por ende los requerimientos energéticos de mantenimiento en un 12% (Verstegen *et al.*, 1990; Vann *et al.*, 2000). Así, en condiciones de un bajo consumo de alimento (reducciones equivalentes hasta un 19%), King *et al.* (2000), encontraron la mejor respuesta animal cuando se proveyeron 0.55 g de Lys disponible por MJ de ED (lo que es, aproximadamente, 0.925% de lisina digestible con una dieta suministrando 3.3 Mcal de EM/kg).

En otros trabajos, se ha establecido que el nivel de lisina total necesario para maximizar el comportamiento productivo y las características de la canal de cerdos en finalización, cuando se utilizan 4 mg de STp, es de al menos 28 a 30 g de lisina al día (Goodband *et al.*, 1993; Johnston *et al.*, 1993), pero conviene destacar que la demanda será siempre proporcional a la tasa de síntesis de proteína, como lo propone el NRC (1998).

Con dosis elevadas de STp (100 µg / kg), en cerdos jóvenes, solo se requieren incrementos del 4% en los niveles de proteína, para lograr la máxima deposición de tejido magro (Campbell *et al.*, 1988b). Sin embargo, al aplicar la hormona en cerdos en finalización la magnitud de respuesta para eficiencia alimenticia y deposición de proteína, se mejora al incrementar los niveles de proteína en la dieta (Smith y Kasson, 1991; Roberts y Azain, 1997; King *et al.*, 2000). Los trabajos de Campbell *et al.* (1988a y 1990) demuestran que la capacidad de respuesta a STp en los machos castrados es mayor que en las hembras y aún mayor que la de los machos enteros, principalmente en deposición de proteína, lo que da lugar a que dados los incrementos en la deposición de proteína (40% o más), se modifique la relación de la dieta entre energía y proteína.

Durante la finalización de cerdos (80 kg a mercado) en México, se utilizan dietas cuyo contenido de Lys digestible es cercano al 0.60%, cuando los niveles de EM son de 3.10 a 3.20 Mcal/kg de alimento (Cuarón, 2001). Entonces, el uso de STp supone el encarecimiento de las dietas (calculado en hasta un 15% cuando se aproximan a las recomendaciones anteriores). En consecuencia, aún cuando STp incrementara la productividad animal, su uso en estas condiciones podría reducir la rentabilidad, particularmente en México, porque los costos por concepto de los alimentos, son proporcionalmente mayores (en un 38%) que en los países donde se ha desarrollado la tecnología (Lastra *et al.*, 1998).

Por lo anterior, es de primordial importancia encontrar el punto en el que se satisfagan los requerimientos nutricionales de los animales, entendiendo como necesidad nutricional a aquéllos componentes provistos vía la dieta a una concentración apropiada para una población animal bien caracterizada, la cual confiablemente logrará una composición definida en su ganancia de peso corporal (Steele *et al.*, 1991).

El uso de dietas bajas en proteína reduce las pérdidas energéticas: con menores niveles de proteína cruda en la dieta, se restringe la desaminación de los aminoácidos, con la consecuente menor síntesis y excreción de urea en la orina (Just, 1982), además, se disminuye la tasa de recambio proteico y la producción de calor (Reeds *et al.*, 1980; Tuitok *et al.*, 1997).

Con cerdos en crecimiento (65 kg), la reducción en el consumo de proteína cruda (de 19 a 12% PC), no afecta la retención de nitrógeno, pero si deprime en 40% su excreción, lo que aumenta la eficiencia y reduce la pérdida urinaria de energía, equivalente a 3.5 KJ/g de reducción en el consumo de proteína; además la producción de calor se aminora en 7 KJ/g de reducción en el consumo de proteína (Le Bellego *et al.*, 2000). Así al incrementar el porcentaje de proteína en la dieta, se reduce la energía neta disponible para crecimiento (Just, 1984) y es en parte por esta razón que las dietas altas en proteína se asocian con canales más magras (Braña, 1994, Tuitok *et al.*, 1997).

Ya que STp incrementa la tasa de recambio proteico y aumenta la eficiencia metabólica del uso de la proteína y de la energía (Wray-Cahen *et al.*, 1995; Bell *et al.*, 1998), quizá en las condiciones de estrés por calor y por el desafío antigénico, sea más conveniente el uso de dietas menos densas en proteína, lo que además se sumaría a mejorar la rentabilidad de la terapia y evitaría las drásticas reducciones en el consumo de alimento.

La mayoría de los trabajos sobre el uso de STp que se encuentran en la literatura, se han hecho en condiciones de temperatura que varían entre los 16 y 22 °C. Las condiciones de producción en México implican temperaturas de hasta 36° C, con fluctuaciones diarias de más del 50%. Por lo que, cualquier reducción del potencial de producción de calor (por ejemplo, en los niveles de proteína) podría ser de beneficio en la respuesta a esta hormonoterapia, principalmente si se considera el hecho de que remover un factor de estrés dentro de un grupo, puede mejorar substancialmente el

comportamiento productivo de los cerdos, debido a que estos factores son aditivos (Hyun *et al.*, 1998).

Es importante considerar que en la producción porcícola existe una tendencia mundial por incrementar el peso de sacrificio de los animales, con la finalidad de aminorar costos (King *et al.*, 2000). El principal inconveniente es la relativa menor eficiencia que se tiene por la predominante deposición de tejido graso (Whittemore *et al.*, 1988). Con el uso de STp el peso de sacrificio se pudiera incrementar en más de un 20%, sin menoscabo de la eficiencia y permitiendo reducir los costos de fabricación de las canales y del proceso de la carne (Cisneros y Ellis, 1996).

**Implicaciones:** de esta revisión, se desprende la necesidad de generar información que permita esclarecer algunos cuestionamientos relacionados con el uso de la STp en la porcicultura mexicana; sobresalen por su importancia los siguientes: ¿cuál será el efecto de usar la STp, en condiciones de temperatura ambiente superiores a las de la zona de termo neutralidad?; ¿se podrán obtener los beneficios por el uso de STp, aún en condiciones de un bajo consumo de alimento?; ¿es necesario utilizar la misma dosificación que se utiliza en Australia, o es factible reducir costos con menores dosificaciones?; por otro lado, dado que las recomendaciones generales para su utilización implican el uso de dietas más densas en energía y proteína, surge otro cuestionamiento: ¿será rentable la utilización de STp bajo las condiciones de mercado y de formulación de raciones que rigen en México?. Parte de los beneficios con el uso de STp, se manifiestan no solo durante su aplicación, sino en las características de la canal, repercutiendo en el productor secundario (obrador), ¿de qué magnitud será el beneficio para el productor primario (porcicultor)?.

Por lo anterior, resultó necesario realizar un estudio comparativo del comportamiento productivo y las características de la canal de cerdos tratados con STp; en diferentes localidades climáticas; además de otros dos, donde se estudió la respuesta de los cerdos en finalización, ante diferentes dietas y dosificaciones de STp.

## Experimento 1

### **Somatotropina recombinante en la finalización de cerdos en dos localidades con diferentes condiciones climáticas**

#### **Introducción**

Además de la densidad energética de los alimentos, la temperatura es el principal factor ambiental que influye sobre el consumo voluntario de alimento en los cerdos, particularmente en aquéllos en la etapa de finalización (Carrol *et al.*, 1999; Christon, 1988) y es un factor crítico al alterar los costos energéticos de mantenimiento, ya que el animal gasta energía para incrementar o reducir la termogénesis de forma que pueda mantener constante su temperatura corporal (Stahly y Cromwell, 1979; Jessop, 2000).

Por otra parte, se sabe que uno de los factores que más limita la respuesta de los cerdos al tratamiento con somatotropina recombinante porcina (STp), es la concomitante reducción en el consumo diario de alimento (CDA), que puede llegar a ser superior al 15% (Steele, 1995). Lo anterior, generó una serie de planteamientos en el pasado (Curtis, 1989), en los que se sostenía que los cerdos tratados con STp, no serían capaces de adaptarse en las condiciones de un ambiente cálido. Por esto, se realizaron una serie de experimentos, en los cuales se demostró lo contrario (Becker *et al.*, 1993). Sin embargo, estos experimentos se realizaron en situaciones de temperatura controlada artificialmente; se usaron cámaras climáticas con variaciones de entre 2 y 8 °C, lo cual es diferente a la realidad, por ejemplo del altiplano mexicano, en donde las variaciones llegan a más de 25 °C en un día, contra las condiciones en los trópicos, en los que la temperatura y humedad relativa son mucho más constantes, pero siempre por arriba de la zona de termoneutralidad de los cerdos en finalización (Christon, 1988; Serres, 1996).

Se han encontrado resultados diversos al trabajar con cerdos en corraletas de frente abierto en diferentes condiciones ambientales, llegándose a proponer que incluso la producción en zonas tropicales, pudiera ser tanto o más eficiente que en zonas templadas debido a la menor variación diaria de la temperatura (Álvarez *et al.*, 1985; Cervantes, 1991). Por lo que se presume que los resultados de experimentos en los que se ha evaluado la respuesta en cerdos en finalización, tratados con STp bajo diferentes condiciones térmicas artificiales (Becker *et al.*, 1993), pudieran no ser concluyentes.

## Hipótesis

La respuesta productiva así como las características de la canal de cerdos en finalización tratados con STp, se mejorarán, independientemente de la zona o condiciones climáticas en las que se encuentre la explotación.

## Objetivo

Este experimento fue diseñado para evaluar la respuesta productiva y las características de la canal y de la carne de cerdos, tratados diariamente durante la finalización con STp y su interacción con el medio: tropical o templado.

## Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo durante los meses de febrero y abril en dos localidades; la primera, con clima templado, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-Fisiología) ubicado en Ajuchitlán, Querétaro, localizado a 2,100 msnm, con clima BS1K' (w); semiseco templado con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 460 a 630 mm y una temperatura media anual de 14°C. (INEGI, 2001; Cervantes, 1991). La localidad tropical fue el Campo Experimental "La Posta", ubicado en Paso del Toro, Veracruz, localizado a 18 msnm, con clima Awo (tropical lluvioso, con lluvias en verano), con una precipitación media anual de 1,200 a 1,589 mm, y una temperatura media anual de 26°C (22 a 37°C y humedad relativa del 87%; INEGI, 2001; Álvarez *et al.*, 1985). Ambos centros pertenecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

En cada localidad, se cuenta con una granja de cerdos; los cuales tenían un origen genético similar: progenie del producto de la rotación o cruzamiento alterno de las razas Duroc y Landrace. Las instalaciones y las condiciones generales de los sitios se uniformaron para tener iguales condiciones de espacio, comederos, aporte de agua y manejo.

En cada granja, se seleccionó un grupo de cerdos de edad similar, con un peso de 30 kg, la mitad de cada grupo fue transportada a la otra localidad; posteriormente, en cada granja, al llegar los animales a un peso promedio de 50 kg, se seleccionaron, con base en su comportamiento productivo previo, 48 animales: 24 de cada grupo de origen (templado o tropical), por lo que en el experimento se usaron 96 cerdos.

En la distribución de los animales a los tratamientos, se consideró el sexo, la raza del padre y el origen geográfico, con lo que se tuvieron en cada localidad 12 corrales con cuatro cerdos cada uno; cada corral tenía dos cerdos hijos de padre Duroc y dos hijos de Landrace, y de estos, uno era nacido en templado y el otro en trópico.

En cada localidad se tuvieron seis corrales de machos y seis de hembras, de los cuales, tres corrales de machos y tres de hembras fueron asignados al azar a uno de los dos

tratamientos: inyección i.m. diaria de 0.6 ml de una solución que contenía 5 mg/ml de STp (equivalente a 3 mg de STp por cerdo por día); o la inyección diaria de 0.6 ml de solución salina fisiológica (Control).

Durante el transcurso del experimento, todos los animales fueron pesados individualmente desde el inicio y posteriormente cada dos semanas, hasta que el grupo de cerdos de cada corral alcanzó 105 kg de peso promedio, lo que en general ocurrió a los 57 días de iniciado el ensayo.

Durante todo el experimento, se utilizó una sola dieta basada en sorgo y pasta de soya (Cuadro 1), la cual se calculó para aportar 3.20 Mcal de energía metabolizable, 16% de proteína cruda y 0.71% de lisina digestible por kilogramo. Las vitaminas y minerales se incluyeron para exceder cuando menos en un 15% las recomendaciones del National Research Council (NRC, 1998); todos los ingredientes utilizados en la elaboración de la dieta, provinieron de un mismo lote y una vez mezclados, se distribuyeron a las dos localidades. Los animales fueron alimentados una vez al día, permitiendo un consumo *ad libitum*; el cual fue medido en función de los rechazos al día siguiente.

Cuando los animales alcanzaron el peso de sacrificio, se les retiró el alimento por un periodo de 16 h, luego del cual fueron trasladados a un rastro y empacadora comercial donde fueron pesados individualmente (peso vacío) y sacrificados por electrocución y desangrado. Se pesaron las canales (incluyendo cabeza, patas y piel), así como el hígado y el corazón. Posteriormente, las canales fueron refrigeradas durante 24 horas hasta una temperatura constante de 4°C y pesadas nuevamente para obtener el peso frío. Las mediciones de la canal fueron: la grasa dorsal en la línea media (a la altura de la 1ª, 10ª y última costillas, así como sobre la última vértebra lumbar), el largo de la canal (desde el borde anterior de la primera costilla, hasta el borde posterior de la sínfisis púbica) y el área del ojo de la chuleta, con una gradilla transparente, a la altura de la décima costilla.

Las canales se calificaron por su conformación utilizando una escala subjetiva (siendo 1 delgado y 5 muy musculoso); la cara expuesta del músculo *longissimus dorsi*, se evaluó utilizando una escala similar para color (siendo 1 pálido y 5 oscuro); el marmoleo y la firmeza del mismo corte, se juzgaron con una escala del 1 al 3 (siendo 1 suave o ausente de marmoleo). Los criterios subjetivos fueron aplicados por la misma persona en ambas localidades y fueron similares a los recomendados por el National Pork Producers Council (NPPC, 1988).

Los datos obtenidos de las mediciones en la canal, fueron utilizados para calcular: rendimiento en porcentaje (peso de la canal caliente / peso de sacrificio); grasa dorsal promedio (utilizando las mediciones de la primera, décima, última costilla, así como la de la última vértebra lumbar); rendimiento de cortes primarios (jamón, espaldilla, lomo con hueso, cabeza del lomo y tocino) como describe la National Association of Meat Purveyors (NAMP, 1986) y calculados según la ecuación de la Norma Mexicana de clasificación de canales de cerdo NMX-FF-81-1993-SCFI (D.O.F., 1993); el tejido magro libre de grasa, se estimó de acuerdo a la ecuación descrita en el manual del NPPC (1999).

Los datos de ganancia de peso y las características de la canal fueron analizados estadísticamente, considerando los datos de cada cerdo como la unidad experimental, mientras que el consumo de alimento y la eficiencia alimenticia, fueron analizados usando el corral (con 4 animales) como la unidad experimental. Todos los datos fueron analizados conforme a un modelo completamente al azar, donde el tratamiento (inyección o no de STp), sexo (hembras o machos castrados) y localidad (templado o tropical), fueron incluidos en el modelo como factores; los análisis estadísticos se realizaron con la rutina de modelos lineales generales de SAS (1996) y las comparaciones planeadas, fueron aquéllas asociadas a los efectos mayores y sus interacciones.

## Resultados

**Comportamiento productivo:** El peso inicial promedio de los animales fue de  $53.8 \pm 2.1$  kg y no fue diferente ( $P > 0.3$ ) entre tratamientos, sexos o localidades (Cuadro 2). En cambio, el consumo diario de alimento (CDA) y la ganancia diaria de peso (GDP), se modificaron por la inyección diaria de STp y se distinguieron efectos por el sexo de los cerdos. La STp redujo el CDA en 6% con relación al grupo que recibió la solución salina ( $P < 0.01$ ), mientras que las hembras consumieron 9% menos que los machos castrados ( $P < 0.001$ ).

Respecto a la GDP, se encontraron dos interacciones, una entre el sexo y la localidad ( $P < 0.05$ ) y la otra entre el tratamiento, el sexo y la localidad ( $P < 0.05$ ). Estas interacciones se debieron a que las hembras en la zona de clima templado, tuvieron una menor magnitud de respuesta a la hormona, siendo 4% mayor en las hembras inyectadas con STp en la localidad tropical, mientras que, a la inversa, la menor respuesta en los machos castrados, fue la de aquellos en el ámbito tropical; los machos tratados con STp en clima templado, tuvieron la mejor GDP cuando se compararon con su respectivo control (21.4% vs. 7.1%). Al analizar los efectos mayores, STp indujo una mejora promedio del 15% en la GDP ( $P < 0.001$ ), y los machos castrados fueron superiores a las hembras en un 12% ( $P < 0.001$ ).

La eficiencia alimenticia (Cuadro 2), resultó en una triple interacción ( $P < 0.1$ ), entre la aplicación de STp, el sexo y la localidad. La mejor respuesta fue la de los machos castrados que fueron tratados con STp en la localidad templada. Los efectos mayores de STp fueron un incremento del 22% en la eficiencia alimenticia ( $P < 0.001$ ), mientras que por efecto del sexo, los machos castrados fueron 3% más eficientes ( $P < 0.01$ ) y por localidad los cerdos engordados en la zona templada fueron 6.6% mejores ( $P < 0.001$ ).

**Características de la canal:** El experimento finalizó cuando los animales llegaron al peso objetivo, lo que fue una duración de 60 días, con una media por corral de  $104.32 \pm 2.17$  kg. El peso vacío (*i.e.*, con 24 horas de dieta), fue mayor en los animales tratados con STp (101.7 vs. 96.5 kg;  $P < 0.01$ ), y en los machos castrados (101.4 vs. 96.7 kg;  $P < 0.05$ ). Lo mismo ocurrió con el peso de la canal caliente (Cuadro 3), por lo que no hubo diferencias en rendimiento, como tampoco se encontraron en el largo de la canal

( $P > 0.3$ ). Sin embargo, el peso del corazón y del hígado fueron mayores en un 13 y en un 21%, respectivamente, por efecto de la inyección diaria de 3 mg de STp ( $P < 0.001$ ).

La grasa dorsal promedio de las cuatro mediciones sobre la línea media, así como el peso del unto (Cuadro 4), mostraron una marcada reducción (17 y 27 % respectivamente) por efecto de STp ( $P < 0.001$ ); la grasa dorsal fue similar entre localidades ( $P > 0.12$ ), pero en las hembras fue 14 % menor ( $P < 0.01$ ). El peso del unto fue 19% menor ( $P < 0.001$ ) en el ámbito templado; además interactuaron sexo y tratamiento ( $P < 0.05$ ), debido a la mayor reducción en el peso del unto en los machos castrados que recibieron STp (33% vs. 20% en las hembras).

El área del ojo de la chuleta (Cuadro 4), respondió a los efectos de tratamiento, sexo y localidad ( $P < 0.001$ ), siendo mayor el área de los animales tratados con STp (24%), de las hembras (10%) y en los animales engordados en la zona templada (24%;  $P < 0.001$ ). Estos resultados tuvieron una asociación directa con el rendimiento (por disección) de los 5 cortes primarios (pierna, espaldilla o pulpa, lomo con hueso, cabeza del lomo y tocino) que mostraron (Cuadro 5) efectos del tratamiento con STp ( $P < 0.001$ ) y del sexo ( $P < 0.05$ ). Además, en el rendimiento de los cortes primarios, se manifestó una interacción entre el tratamiento y la localidad: La inyección con STp produjo una mayor respuesta en los animales del trópico, incrementando en 16% los kilogramos de cortes, contra un 7.5% en la zona con clima templado ( $P < 0.05$ ); además, el sexo interactuó con la localidad, dado que en la zona templada los machos se expresaron con una mayor respuesta ( $P < 0.05$ ).

Al estimar los cortes primarios como porcentaje de la canal, se observó una muy alta correlación (98.4%) entre las estimaciones directas o aquellas derivadas de las ecuaciones de predicción. Al calcular el porcentaje de cortes primarios en la canal en relación al peso de la canal fría sin cabeza y el porcentaje de tejido magro libre de grasa, se notó un incremento del 10% cuando los animales se trataron con STp ( $P < 0.001$ ), siendo sobresaliente la interacción entre el tratamiento y la localidad ( $P < 0.05$ ), ya que los animales que recibieron la hormona en el ámbito tropical, incrementaron en un 14% el rendimiento de los cortes primarios; mientras que en la zona templada, solo fue del 7%. Al igual que en el peso de los cortes primarios, en el porcentaje de los mismos, interactuaron la localidad y el sexo ( $P < 0.05$ ): los machos en la zona templada fueron más productivos que las hembras, mientras que en el área tropical, los resultados fueron similares.

En cuanto a las evaluaciones subjetivas de la canal (Cuadro 6), en todas las variables se tuvo un efecto de localidad ( $P < 0.01$ ) y para marmoleo, además se tuvo una triple interacción entre el tratamiento, la localidad y el sexo ( $P < 0.05$ ): En las hembras del grupo control no se encontraron diferencias entre localidades, pero los machos de la zona tropical depositan 61% menos grasa que aquellos en la zona templada. Cuando se usó STp, la diferencia por localidad entre los machos se mantuvo y el marmoleo de las hembras en trópico fue 9% menor que el de aquellas en la zona templada.

## Discusión

**Comportamiento productivo:** los resultados confirman que el consumo de alimento se reduce (6%) por efecto de la inyección diaria de STp. La magnitud de la depresión en el consumo fue de entre el 40 y 60% de lo encontrado por otros autores en condiciones similares de dosificación y concentración de la hormona (Etherthon *et al.*, 1987; McLaren *et al.*, 1990; McNamara *et al.*, 1991), lo que pudo deberse a la diferente densidad de nutrientes en las dietas, ya que en los trabajos citados, la concentración de proteína y de lisina, excedieron a las de la dieta utilizada en este ensayo en un 12.5 a 41.5%.

Los efectos en depresión del consumo por la STp se explican por la redistribución de los nutrientes para el sustento de una mayor síntesis de proteína (Wray-Cahen *et al.*, 1995; Etherthon y Bauman, 1998), consecuencia de las alteraciones inducidas en el eje STp – IGF1, así como por el incremento en los niveles circulantes de insulina, glucosa (Hansen, *et al.*, 1997a; Vann, *et al.*, 2000) y ácidos grasos no esterificados (Etherthon y Bauman, 1998); además de la menor captación de glucosa por parte del tejido graso (Wray-Cahen *et al.*, 1995; Wang, *et al.*, 1999). Otro factor importante a considerar en la reducción del CDA, es el efecto de la mayor producción de calor metabólico (Evock-Clover *et al.*, 1997), consecuencia del mayor tamaño visceral y del incremento en el consumo de oxígeno provocados por STp (Hansen, *et al.*, 1997b).

Aún cuando se acepta que los cerdos en finalización consumen menos alimento en ambientes cálidos (Christon, 1988; Forcada, 1997; Serres, 1996), en este experimento las diferencias entre localidades no fueron significativas ( $P > 0.2$ ). Sin embargo, como se esperaba (Noblet *et al.*, 1999; Clapper *et al.*, 2000), las hembras consumieron y ganaron 9 y 12% menos que los machos castrados, independientemente de la localidad y del tratamiento con STp.

El incremento en la ganancia diaria de peso, por efecto de la diaria inyección con STP, resultó ser idéntico (15%) al de otros trabajos en donde los cerdos recibieron la hormona en dosificaciones de 30 a 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal (McLaren *et al.*, 1990; Versteegen *et al.*, 1990; McNamara *et al.*, 1991). Becker *et al.* (1993), con dosificación y peso similares, no encontraron diferencias en la GDP por efecto de la hormona, pero sí del ambiente, es muy probable que esto haya sido resultado del elevado contenido de energía en la dieta que utilizaron y que deprimió el consumo en el ambiente cálido; la consecuencia de una depresión en el consumo es que se limite con mayor severidad la oferta de energía para el sustento de la mayor síntesis de proteína y por ende la velocidad de crecimiento (Just, 1982). En este sentido, Quiniou *et al.* (2000) mencionan que la temperatura (o el estrés), disminuye la actividad de síntesis de proteína, lo que redundaría en un aumento en la eficiencia de utilización de energía en el metabolismo; como estrategia para defenderse de las agresiones del medio (hipertermia), se reduce la producción de calor metabólico, que es concomitante a la reducción del consumo y se estimula la deposición de energía en forma de grasa (Kouba *et al.*, 2001).

La eficiencia alimenticia se mejoró en 22% por efecto de STp, lo cual concuerda con reportes anteriores (McLaren *et al.*, 1990; Verstegen *et al.*, 1990; McNamara *et al.*, 1991); además, se encontró una triple interacción entre tratamiento, sexo y localidad, que pudo deberse a una diferente utilización de la energía consumida. En ambientes tropicales, la temperatura (o el estrés), disminuye la actividad de síntesis de proteína (Collin *et al.*, 2001b), reduciendo así la producción de calor metabólico, (Quiniou *et al.*, 2000); además, en ambientes tropicales, aumenta la actividad de algunas enzimas lipogénicas como la lipoprotein lipasa (Kouba *et al.*, 2001) y se incrementa la irrigación en tejidos grasos periféricos (Collin *et al.*, 2001 a), haciendo que los animales sean menos eficientes por la mayor proporción de grasa corporal depositada (Just 1994).

La menor eficiencia de los animales en la localidad tropical también pudo estar asociada a un mayor gasto energético por termorregulación (*i.e.*, incrementos superiores al 50% en la tasa respiratoria y de hasta 1.3 °C en la temperatura rectal. Stahly *et al.*, 1979; Christon, 1988; Becker *et al.*, 1993) y por ende a una menor disponibilidad de energía neta (Noblet *et al.* 1985 y 1999), lo cual pudiera haber impedido que en el ambiente tropical se expresara el potencial acumulado por efecto de la hormona, mismo que sí lograron expresar los machos en la zona templada.

**Características de la canal:** el incremento en el gasto energético de mantenimiento por el uso de STp, está asociado en parte, al incremento de hasta un 60% en la tasa de recambio proteico (Tomas *et al.*, 1992), al aumento de las masas musculares, y además, a un mayor tamaño de las vísceras: la STp exógena, provoca una hiperplasia en hígado, riñón, corazón y pulmones (Etherton *et al.*, 1987; Evock-Clover *et al.*, 1997); razón por la cual, se consideró que el mayor tamaño visceral pudiera ser un factor muy importante cuando los animales son sometidos a condiciones ambientales tropicales, donde es factible que se encuentren en condiciones de temperatura ambiental superior a la de termoneutralidad (Serres, 1996; Quiniou *et al.*, 2000). Sin embargo, a pesar de las diferencias encontradas en los pesos del hígado y corazón por efecto de STp, no se observó ningún efecto de localidad en el rendimiento de la canal.

La menor deposición de grasa en respuesta a STp, se explica principalmente por la reducción de la sensibilidad de los adipositos a la insulina, ya que por un lado reduce la captación de glucosa y por otro reduce la transcripción del RNAm de algunas enzimas lipogénicas como la ácido graso sintetasa y la lipoprotein lipasa (Etherton y Bauman, 1998; Lee *et al.*, 2000; Yin *et al.*, 2001); además de forma indirecta afecta la lipólisis ya que aumenta la sensibilidad de los adipositos a las catecolaminas (Etherton 2000). En este experimento, STp redujo la grasa dorsal y el peso del unto. Esto explica en parte la mayor eficiencia alimenticia de los animales tratados con STp, principalmente en los machos castrados, ya que se redujo la proporción de energía retenida en forma de grasa (NRC, 1994; Bell *et al.*, 1998), favoreciendo el uso de la energía para crecimiento del tejido magro (King *et al.*, 2000).

Los datos obtenidos en relación a la grasa que los animales depositaron en la canal (peso del unto, grasa dorsal y marmoleo), el crecimiento del tejido magro y la eficiencia alimenticia, sugieren que en una zona con mayor temperatura ambiental promedio (en este caso, la tropical; INEGI, 2001) se puede limitar la síntesis de proteína por los

efectos de un estrés térmico (Cisneros *et al.*, 1997; Renaudeau *et al.*, 2001; Collin *et al.*, 2001b), reduciendo así la eficiencia productiva (Stahly y Cromwell, 1979; Serres, 1996).

La aplicación de STp en dosis entre 25 y 50  $\mu\text{g}$  por kilogramo de peso, provoca incrementos lineales de 30 a 64% en la tasa de deposición diaria de proteína (Verstegen *et al.*, 1990; McNamara *et al.*, 1991). Sin embargo, los efectos en el área del ojo de la chuleta, no son constantes, variando entre 3 y 30% (Thiel *et al.*, 1993; Campbell *et al.*, 1993; Klindt *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2000), dependiendo de la ontogenia del crecimiento de las masas musculares al momento de iniciar y por la duración del tratamiento (Ono *et al.*, 1995; Harrell *et al.*, 1999). En este trabajo, dado que se inició con animales relativamente jóvenes y porque la inyección con STp fue por un período relativamente largo, los efectos benéficos de STp se expresaron en un gran crecimiento del músculo gran dorsal, incrementándose el área del ojo de la chuleta en un 24% o más. Los efectos de STp se manifestaron independientemente del potencial de crecimiento magro (esto, si se aceptan las diferencias entre machos castrados y hembras; Braña, 1994; Cisneros *et al.*, 1996; Noblet *et al.*, 1999), lo que coincide con observaciones previas (Campbell *et al.*, 1990; Klindt *et al.*, 1995).

La nutrición juega un papel crítico en el mantenimiento de un estado metabólico y para que el animal responda a un modificador metabólico externo (Davis y Reeds, 1998). Los resultados de este estudio, al ser comparados con los de otros autores (Campbell *et al.*, 1990; McNamara *et al.*, 1991; Thiel *et al.*, 1993; Hansen *et al.*, 1997a), en la magnitud de los incrementos en el comportamiento productivo (GDP y eficiencia alimenticia) y en las variables que mejor se pueden relacionar con el crecimiento proteico (área del ojo de la chuleta, porcentaje de magro y peso del hígado), hacen suponer que la magnitud de respuesta fue cercana al máximo dado por el potencial de los animales. Sin embargo, los consumos de lisina en este experimento ( $20.3 \text{ g cerdo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) fueron del 60 al 75% de lo que algunos autores calcularon como mínimo necesario para maximizar la respuesta a la STp (Goodband *et al.*, 1993; King *et al.*, 2000), lo que debe ser un factor decisivo para la utilización de STp en campo. Al respecto, deberá probarse que, más que un requerimiento absoluto, cuando menos la densidad de aminoácidos en la dieta deberá ajustarse a la intensidad de la síntesis proteica y a la capacidad de consumo de los animales (Castañeda y Cuarón, 2001; Cuarón, 2001); lo anterior confirma que la utilización práctica de STp dependerá de la estrategia alimenticia que se siga (Steele *et al.*, 1995).

En cuanto a las evaluaciones subjetivas de la canal, no se encontró ningún efecto por el uso de STp, ya que la carne permaneció inalterada en firmeza, color y apariencia general; resultados similares han sido descritos previamente (Beermann *et al.*, 1990; Lefaucheur *et al.*, 1991; Klindt *et al.*, 1995). Las diferencias asociadas a localidad, son intrascendentes y se pudieran atribuir a diferencias entre rastros como son la temperatura (Hansen *et al.*, 1997b), así como a la velocidad en el procesado y la velocidad de enfriamiento en la canal (Wood *et al.*, 1986).

## Conclusiones

El comportamiento productivo de los animales fue más eficiente en la localidad templada. Sin embargo, los factores ambientales asociados a la localidad, aunados al incremento en la tasa metabólica por el uso de STp, no comprometieron la respuesta productiva del animal.

Los efectos sobre el comportamiento productivo y las características de la canal por el uso de STp, se presentaron a pesar de la localidad o del sexo y por ende, del potencial de crecimiento magro. Por la modificación del consumo voluntario de alimento y dadas las interacciones por la aplicación de la hormona con la localidad y el sexo, la adecuada utilización práctica de STp, estará importantemente supeditada a la estrategia alimenticia que se siga.

La STp, es una herramienta que permitirá incrementar el peso de sacrificio, sin demérito de la canal o de la calidad de la carne. El uso de la somatotropina en México, es factible por el potencial de aumento en la producción y productividad de las explotaciones de cerdos.

Cuadro 1.

**Composición de las dietas experimentales y  
perfil calculado de nutrimentos**

Ingrediente	% de inclusión
Sorgo, grano	73.10
Soya, pasta	20.50
Melaza de caña	3.00
Sebo	1.34
Fosfato mono y di-Ca	1.03
Carbonato de calcio	0.84
Sal	0.35
Vitaminas <sup>a</sup>	0.12
L-Lisina	0.09
Minerales <sup>b</sup>	0.05
L-Treonina	0.02
<b>Perfil calculado de nutrimentos</b>	
Energía metabolizable	3.20 Mcal
Proteína cruda	16.00 %
Proteína digestible	12.01 %
Lisina digestible	0.71 %
Treonina digestible	0.45 %
Triptofano digestible	0.16 %
Calcio total	0.60 %
Fósforo total	0.55 %

<sup>a</sup> Premezcla de vitaminas: vitamina A 6,300 UI/g; vitamina E 50 UI/g; riboflavina 1.1 g/kg; vitamina B12 18 mg/kg; niacina 2.7 g/kg; vitamina D 630 UI/g; colina 175 g/kg; ácido pantoténico 6.6 g/kg.

<sup>b</sup> Premezcla de minerales: cobre 22.5 g/kg; selenio 25 mg/kg; fierro 25.5 g/kg; cobalto 215 mg/kg; sodio 250.2 g/kg; potasio 0.3 g/kg; manganeso 5.7 g/kg; zinc 28.5 g/kg; yodo 100 mg/kg.

Cuadro 2.

Comportamiento productivo de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades <sup>a</sup>

STp	Solución salina				Somatotropina (STp)				Media	E.E.M. <sup>b</sup>	Efectos Mayores <sup>c</sup>	Inter- acciones
	Hembras		Machos		Hembras		Machos					
	Temp.	Trop	Temp.	Trop	Temp.	Trop	Temp.	Trop				
Peso inicial (kg)	56.10	51.32	56.25	51.66	54.54	52.95	56.46	51.02	53.78	2.11	Ns	ns
Peso final (kg)	98.94	96.90	104.15	104.33	102.84	108.58	110.45	108.76	104.29	2.17	T <sup>***</sup> S <sup>*</sup>	ns
Consumo de alimento (kg día <sup>-1</sup> )	2.70	2.85	3.10	3.16	2.57	2.77	2.91	2.84	2.86	0.13	T <sup>**</sup> S <sup>***</sup>	ns
Ganancia de peso (kg día <sup>-1</sup> )	0.775	0.746	0.887	0.863	0.869	0.898	1.078	0.924	0.880	0.048	T <sup>***</sup> S <sup>***</sup>	SxL <sup>*</sup> TxSxL <sup>*</sup>
Eficiencia alimenticia (kg)	0.288	0.261	0.287	0.272	0.339	0.325	0.370	0.325	0.308	0.012	T <sup>***</sup> L <sup>***</sup> S <sup>**</sup>	TxSxL <sup>+</sup>

<sup>a</sup> Medias de mínimos cuadrados<sup>b</sup> Error estándar de la media<sup>c</sup> T = Tratamiento; S = Sexo; L = Localidad; ns = no significativo

\* P &lt; 0.1; \*\* P &lt; 0.05; \*\*\* P &lt; 0.01; \*\*\*\* P &lt; 0.001

Cuadro 3.

Rendimiento al sacrificio de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades <sup>a</sup>

STp	Solución salina		Somatotropina (STp)				Media	E.E.M. <sup>b</sup>	Efectos Mayores <sup>c</sup>		
	Hembras		Machos		Machos						
	Temp.	Trop.	Temp.	Trop.	Temp.	Trop.					
Canal caliente (kg)	74.5	76.2	78.8	80.2	83.1	77.0	82.9	83.3	79.5	1.80	T** S**
Rendimiento en canal (%)	80.5	81.0	79.1	80.4	80.3	79.5	80.2	80.8	80.2	0.70	ns
Peso del corazón (kg)	0.38	0.35	0.39	0.40	0.41	0.43	0.44	0.45	0.40	0.02	T*** S**
Peso del hígado (kg)	1.77	1.73	1.78	1.67	2.03	2.15	2.23	2.02	1.92	0.07	T***

<sup>a</sup> Medias de mínimos cuadrados<sup>b</sup> Error estándar de la media<sup>c</sup> T = Tratamiento; S = Sexo; L = Localidad; ns = no significativo

\*\*\* P &lt; 0.01; \*\*\*\* P &lt; 0.001

Cuadro 4.

Características de la canal de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades <sup>a</sup>

STp	Solución salina		Somatotropina (STp)				Media	E.E.M. <sup>b</sup>	Efectos Mayores <sup>c</sup>		
	Hembras		Machos		Hembras					Machos	
	Temp.	Trop.	Temp.	Trop.	Temp.	Trop.				Temp.	Trop.
Peso del unto (kg) <sup>d</sup>	1.32	1.57	1.65	2.00	0.97	1.34	1.14	1.31	1.42	1.11	T*** S* L***
Área del ojo de la chuleta (cm)	32.0	25.70	29.56	21.71	38.33	32.0	35.43	29.33	30.51	1.27	T*** S*** L***
Largo de canal (cm)	83.3	83.3	85.7	83.9	85.0	85.0	86.1	84.7	84.5	1.42	ns

<sup>a</sup> Medias de mínimos cuadrados<sup>b</sup> Error estándar de la media<sup>c</sup> T = Tratamiento; S = Sexo; L = Localidad; ns = no significativo<sup>d</sup> Interacción entre TxS (P < 0.05)

\* P &lt; 0.05; \*\* P &lt; 0.01; \*\*\* P &lt; 0.001

Cuadro 5.

Datos de la canal de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades <sup>a</sup>

STp	Solución salina				Somatotropina (STp)				Media	E.E.M. <sup>b</sup>	Efectos Mayores <sup>c</sup>	Inter- acciones
	Hembras		Machos		Hembras		Machos					
	Temp.	Trop	Temp.	Trop	Temp.	Trop	Temp.	Trop				
Cortes primarios producidos <sup>d</sup> (kg)	39.54	38.3	41.0	39.08	41.60	44.62	44.67	43.54	41.53	0.64	T*** S*	TxL* SxL*
Estimados de cortes primarios <sup>e</sup> (kg)	40.07	39.39	40.79	40.27	41.70	43.83	43.96	42.98	41.60	0.75	T**	ns
Cortes primarios en la canal <sup>f</sup> (%)	58.18	57.91	56.34	55.27	60.65	61.25	59.90	58.66	58.52	0.90	T*** S**	TxL* SxL*
Magro libre de grasa <sup>g</sup> (%)	58.76	59.29	56.46	56.38	61.26	59.98	59.91	58.31	58.81	1.09	T*** S***	ns

<sup>a</sup> Medias de mínimos cuadrados; <sup>b</sup> Error estándar de la media; <sup>c</sup> T = Tratamiento; S = Sexo; L = Localidad; ns = no significativo; <sup>d</sup> Medido individualmente, como la suma de jamón, espaldilla, lomo con hueso, cabeza del lomo y tocino; Según la ecuación de la Norma Mexicana de clasificación de canales de cerdo; <sup>e</sup> Calculado como porcentaje de la canal fría sin cabeza. <sup>g</sup> Respecto de la canal caliente con cabeza y patas, según NPPC, 1999; ns = no significativo; \* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

Evaluaciones subjetivas de la carne de cerdos tratados con somatotropina en dos localidades <sup>a</sup>

STP	Solución salina		Somatotropina (STp)				Media	E.E.M. <sup>b</sup>	Efectos Mayores <sup>c</sup>		
	Machos		Hembras		Machos						
	Temp.	Trop	Temp.	Trop	Temp.	Trop					
Marmoleo <sup>d</sup>	1.92	1.92	2.58	1.58	1.61	1.47	2.17	1.39	1.83	0.15	T** L*
Muscularidad	2.17	1.25	2.17	1.33	1.92	1.64	2.33	1.73	1.83	0.14	L***
Color	2.67	2.25	2.75	2.25	2.97	2.31	2.83	2.28	2.54	0.26	L***
Firmeza	2.08	1.83	2.50	1.75	2.36	2.03	2.08	1.92	2.07	0.15	L**

<sup>a</sup> Medias de mínimos cuadrados<sup>b</sup> Error estándar de la media<sup>c</sup> T = Tratamiento; S = Sexo; L = Localidad;<sup>d</sup> Interacción entre TxSxL (P < 0.05)

\*P &lt; 0.05; \*\* P &lt; 0.01; \*\*\* P &lt; 0.001

## Experimento 2

### Interacción entre el uso de somatotropina recombinante y dos niveles de alimentación en la finalización de cerdos

#### Introducción

La situación cambiante de los mercados y su variación en el tiempo, obliga a los porcicultores a buscar alternativas de producción que permitan hacer más eficiente la producción (Lastra *et al.*, 1998) en este sentido, una alternativa es incrementar el peso de sacrificio de los cerdos, como una medida para reducir los costos de producción y proceso (Cisneros *et al.*, 1996; King *et al.*, 2000). El uso de la somatotropina recombinante porcina (STp), pudiera coadyuvar en este sentido, debido al impacto que tiene en el comportamiento productivo y de la canal de los cerdos, ya que en general induce aumentos en la ganancia diaria de peso (15%), en la eficiencia alimenticia (30%) y en la deposición de proteína (30 a 60%); además, reduce el consumo diario de alimento (14%) y la deposición de grasa (60%) en la canal (Machlin, 1972; Etherton *et al.*, 1987; Campbell y Taverner 1988; King *et al.*, 2000).

La magnitud de los efectos de STp, es más sobresaliente cuando se utiliza en la etapa de finalización (Harrel *et al.*, 1999), que es cuando se acentúa la producción corporal de grasa y declina la de proteína. (Just, 1982, Whittemore *et al.*, 1988). STp promueve un uso diferente de los nutrimentos a nivel metabólico (asociados en parte al aumento en los niveles circulantes del factor de crecimiento tipo insulina IGF-1, y la diferente sensibilidad de los tejidos a la insulina; Wray-Cahen *et al.*, 1991; Etherton, 2000; Lee *et al.*, 2000), ya que reduce la actividad y producción de enzimas lipogénicas en los adipositos (Yin *et al.*, 2001) e incrementa la tasa de recambio proteico del músculo (principalmente aumenta la tasa de síntesis, Tomas *et al.*, 1992; y deposición Vann *et al.*, 2000) promoviendo el crecimiento del tejido magro (Campbell *et al.*, 1991); estos efectos son independientes y aditivos a aquellos del consumo de energía, por lo que los máximos beneficios de STp se logran con los mayores consumos de energía (Steele *et al.*, 1995), que (bajo condiciones adecuadas en el aporte de amino ácidos) finalmente es quien gobierna la deposición de tejido magro (Campbell *et al.*, 1991; Kyriazakis y Emmans 1992).

Hahn *et al.* (1995) trabajando con cerdos 90 a 110 kg de peso, determinaron como necesario para maximizar la ganancia de tejido magro, el uso de dietas con 0.49 y 0.52% de lisina digestible respectivamente para machos castrados y hembras; en forma similar Loughmiller *et al.* (1998) estimaron que el requerimiento de lisina para optimizar el comportamiento productivo y la ganancia de tejido magro de cerdas en finalización (91 a 113, kg) es de 0.60% de lisina digestible en el alimento, que es un nivel similar a los utilizados comercialmente para la finalización de cerdos en México (Cuarón, 2001). Sin embargo al utilizar STp, el requerimiento de lisina se incrementa, por lo que se ha propuesto la finalización de cerdos de hasta 105 kg con niveles de 1.2 % de lisina (Goodband *et al.*, 1993); en forma más reciente, King *et al.* (2000) demostraron que el requerimiento es menor, encontrando el óptimo en una dieta con 0.92% de lisina y 3.4 Mcal de energía digestible, siendo este requerimiento

equivalente al incremento en la deposición de magro. Por lo que el uso adecuado de STp, dependerá de la precisión que se tenga al estimar la capacidad de respuesta de los animales en función del crecimiento magro, el consumo de alimento y en la formulación de la dieta.

## Hipótesis

Dados los efectos de STp en el metabolismo de los cerdos en finalización, principalmente aquellos relacionados con una mayor ganancia diaria de tejido magro y un menor consumo diario de alimento, se requiere incrementar la densidad de la dieta para asegurar la mayor respuesta productiva; el aumento deberá ser paralelo a la ganancia diaria de magro.

## Objetivo

Evaluar la respuesta en condiciones de producción típicas del altiplano mexicano, a la aplicación de STp a cerdos en etapa de finalización, tanto en comportamiento productivo, características de la canal y deposición diaria de tejido magro, utilizando dos dietas: una adecuada a los requerimientos nutricionales para optimizar el crecimiento magro y otra, calculada para satisfacer las demandas de nutrimentos por la esperanza de un mayor crecimiento magro por el uso de STp.

## Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en la granja "El Cuitzillo", del Grupo Agropecuario Delta S.A. de C. V., ubicada en el Municipio de Santa Ana Pacueco, Estado de Guanajuato. La explotación, es un sitio tres de flujo continuo, que engorda cerdos de un peso de 30 a los 105 kg. Por sus condiciones climáticas, la zona se describe como semicálida, subhúmeda con lluvias en verano, con una temperatura promedio anual de 18 a 20 °C y con las máximas temperaturas en los meses de mayo y junio con temperaturas promedio de 23 a 24 °C (INEGI, 2001). Las temperaturas máximas y mínimas reportadas por el servicio meteorológico de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2001) en la zona para la época en que se realizaron los experimentos fueron: mayo, 30.7–16.3; junio, 29.7–18.2 y julio, 27.9– 16.9°C.

**Animales:** se seleccionaron un total de 256 cerdos con un peso inicial promedio de  $92.4 \pm 2.46$  kg, mitad hembras y mitad machos castrados, pertenecientes a dos grupos de parición de edad y peso similar. Los cerdos provenían de un cruzamiento terminal de líneas PIC (hembras Camborough-22, con verracos línea 300). En las granjas de origen, los cerdos tienen un historial de enfermedades del síndrome respiratorio, particularmente: PRRS, *Mycoplasma hyopneumoniae* y *Actinobacillus pleuropneumoniae*, a pesar de ello, el programa de producción excluye el uso de antibióticos desde los 70 kg, lo que se mantuvo durante el curso del experimento.

**Instalaciones:** se trabajó en edificios de tipo frente abierto, con piso y bardas de mampostería, pasillo de manejo delante del corral y una charca de 2.5x1.5x0.19 m, teniendo un espacio efectivo de 60.4 m<sup>2</sup> por corral, resultando en 3.77 m<sup>2</sup> por cerdo. La superficie techada es el 70% del corral, a una altura promedio de 2.6 m. Diariamente los corrales fueron limpiados con pala y escoba, las charcas eran

vaciadas por completo y se llenaban con agua limpia. Cada corral contó con 5 bebederos automáticos y un comedero (húmedo) de tipo "holandés", con 6 bocas cada una de 27.5x30x16 cm, y una tolva con una capacidad aproximada de 270 kg.

**Registro de los pesos:** los animales se pesaron por grupo en tres ocasiones (días 1, 14 y 28 del experimento), en una báscula ganadera Revueltas de acción mecánica, con capacidad para 25 toneladas y con graduaciones mínimas de 5 kg; para los pesajes individuales se utilizó una báscula electrónica Ohaus, con graduaciones mínimas de 0.01 kg. El alimento se pesó con una báscula mecánica Revueltas con capacidad de 200 kg y graduaciones mínimas de 0.25 kg.

**Diets experimentales y alimentación:** los alimentos se elaboraron en una planta comercial (Nutrimentos Concentra, S.A. de C.V.), con capacidad de 16,000 toneladas al mes y para todas las dietas del experimento se usaron los mismos ingredientes. Los alimentos, en harina, se ensacaron en costales de rafia con capacidad de 40 kg y luego fueron almacenados en la granja hasta su uso.

Se formularon dos dietas experimentales (Cuadro 1): una de ellas para satisfacer los requerimientos de los animales conforme a la ganancia diaria de peso y tasa crecimiento magro previamente medidas en la misma granja (**DN**); la otra dieta fue más densa (**DD**) en nutrimentos y se formuló adaptando las recomendaciones de King *et al.* (2000) a la curva de crecimiento de los animales en la granja, a su capacidad de consumo de alimento y por la esperanza de respuesta a la diaria inyección de 5 mg de STp.

Al adecuar la dieta a la curva de crecimiento previamente determinada para la población objetivo, se consideró como normal una ganancia de tejido magro libre de grasa de 300 g·día<sup>-1</sup>, para el promedio de los 20 a los 120 kg de peso vivo y se hizo el supuesto de que los resultados que se podrían esperar por la aplicación de 5 mg de STp, serían cercanos a los 394 g·día<sup>-1</sup> de tejido magro libre de grasa en el mismo período. La DN tuvo 3.19 Mcal de EM por kg de alimento y 0.54% de lisina digestible y se determinó que la DD debería contener cuando menos el 0.91% de lisina digestible (por la mayor ganancia de magro) y un aporte mínimo de 3.3 Mcal/kg de EM (por la esperanza de un menor consumo). Estas densidades de nutrimentos se corroboraron con el modelo matemático del NRC (1998), usando el perfil de crecimiento descrito por la ecuación desarrollada para la misma granja, con la deformación inducida (en la ganancia de magro y el consumo de alimento). A pesar de que las dietas tuvieron una diferente relación lisina energía, las proporciones entre la lisina y el resto de los aminoácidos (al menos para los 4 primeros limitantes) se trató de mantener lo más similar posible (Cuadro 1) conforme a un patrón de Proteína Ideal (digestibilidad ileal verdadera) para cerdos en finalización (Yen *et al.*, 1986; Baker, 1993; Cuarón, 1996).

**Medición del comportamiento productivo:** ocho días antes del inicio del experimento, 256 animales fueron distribuidos al azar en 16 corrales, cuidando que fueran de tamaño similar y que hubiera el mismo número de hembras y machos dentro de cada corral. El día de inicio del experimento, los animales fueron pesados por corral y asignados al azar a uno de los cuatro tratamientos; se les retiró el alimento de los comederos y se les ofrecieron las dietas experimentales.

El alimento se sirvió cada 24 a 48 horas, tratando de tener los comederos a la mitad de la capacidad de la tolva para evitar desperdicio o restricciones, asegurando un consumo *ad libitum*; se pesó antes de servirse y una vez por semana (días 7, 14, 21 y 28), se vaciaron y limpiaron los comederos descontando el alimento restante como rechazo, con estos datos y el número de cerdos-día<sup>-1</sup> se calculó el consumo diario de alimento (CDA).

**Medición de los cambios en la composición corporal:** al inicio del experimento, en cada corral se arretaron al azar 3 cerdos de cada sexo, lo que dio un total de 96 animales que se pesaron individualmente y se midieron con un aparato de ultrasonido en tiempo real (ALOKA SSD-500), con un transductor de 3.5 Mhz y 96 mm de longitud. Se usó aceite vegetal como interfase entre la piel del animal y el transductor. Las mediciones se realizaron para registrar la profundidad de la grasa dorsal y del músculo gran dorsal, en dos puntos: a la altura de la última y décima costillas, en el punto 2 (P<sub>2</sub>), a 6.5 cm de la línea media, sobre el lado izquierdo del animal y el transductor con orientación paralela a la línea media, céfalo-caudal. Estas mediciones se realizaron los días 0, 14 y 28.

A partir de las mediciones hechas con el ultrasonido, se obtuvieron las variables: grasa dorsal al inicio, que corresponde al promedio de las dos mediciones de grasa (décima y última costilla), profundidad del músculo (promedio de las dos mediciones) y por diferencia con las mediciones tomadas en los días 14 y 28, se calculó la ganancia en la profundidad de la grasa dorsal y del músculo. El tejido magro libre de grasa, se calculó a partir de la siguiente ecuación: (Cisneros *et al.*, 1996): tejido magro libre de grasa =  $-2.17 + (0.3 \times \text{peso corporal, kg}) - (1.36 \times \text{grasa dorsal en la } 10^\circ \text{ costilla, cm}) - (1.45 \times \text{grasa dorsal en última costilla, cm}) + (1.84 \times \text{profundidad del músculo a la } 10^\circ \text{ costilla, cm})$ . La ganancia diaria de tejido magro libre de grasa se calculó por diferencia de aquella al inicio con la del final y se dividió entre 28 días.

**Características de la canal:** al final del experimento los animales utilizados en las mediciones de ultrasonido, fueron pesados individualmente; se les retiró el alimento por 14 h y fueron transportados a un rastro Tipo Inspección Federal, ubicado a 45 km de distancia de la granja. Luego de una espera de 6 horas en el rastro, fueron sacrificados humanitariamente y se obtuvo el peso de la canal caliente con cabeza y patas; en la línea de proceso, las canales calientes se sometieron a una medición (a la altura de la décima costilla y aproximadamente sobre el Punto 2) con el equipo de ultra sonido del rastro para la evaluación de canales (Ultra-FOM). Después de 16 h en refrigeración, se midió el peso de la canal fría (7°C) con y sin cabeza.

El rendimiento de la canal se obtuvo con el peso del animal en pie y en canal inmediatamente después de ser sacrificado, la merma en frío, se estimó a partir de la diferencia entre el peso de la canal caliente y la canal fría.

A una submuestra de 32 canales calientes (8 por tratamiento), con una regla metálica y de acuerdo con los procedimientos recomendados por el NPPC (1991), se les realizaron las siguientes mediciones: grasa dorsal a la altura de la décima y última costilla, en dos puntos (P<sub>2</sub> y línea media); área y profundidad del ojo de la chuleta a la altura de la décima costilla, para lo cual se realizó un corte en el lomo, del lado izquierdo del animal, el área se midió por planimetría, con una gradilla de

plástico transparente, marcada en  $\text{cm}^2$ . Finalmente, a 16 canales, de animales de cada tratamiento, se les despiezó de acuerdo a las recomendaciones del NAMP (1986) para obtener los cinco cortes primarios de mayor valor en la canal (jamón sin hueso, lomo con hueso, cabeza de lomo, espaldilla o pulpa y tocino) y se registró el peso de éstos para el total de cada uno de los grupos de 16 canales.

Además con base en ecuaciones de predicción se estimaron las siguientes variables:

Rendimiento de pie a canal, % =  $(100 \times \text{peso vivo} / \text{peso de la canal caliente con cabeza})$ .

Peso de cortes primarios según la Norma Mexicana de clasificación de canales de cerdo NMX-FF-81-1993-SCFI,  $\text{kg} = 10.07 + (0.46 \times \text{peso de la canal caliente con cabeza}) - (2.14 \times \text{Grasa dorsal en la décima costilla})$ .

Jamón en la canal (Velázquez y Belmar, 1998),  $\text{kg} = 1.962 + (0.149 \times \text{peso de la canal}) - (0.124 \times \text{grasa total}) + (0.031 \times \text{profundidad del gran dorsal})$ .

**Somatotropina porcina:** la hormona somatotropina porcina (STp) usada en este experimento fue de origen recombinante (Alpharma Animal Health Ltd, Melbourne, Australia). Para prepararla, cada dos días se reconstituyó una pastilla liofilizada de 1 g, diluyéndola en 200 ml de agua estéril, con lo cual se obtuvieron 200 dosis de 1 ml y con una concentración de 5 mg, el restante de cada día se refrigeró a  $4^\circ\text{C}$  y nunca se utilizó la hormona preparada, si esta tenía más de 48 h de reconstituida. Para su aplicación diaria, se utilizó una pistola neumática, propulsada por propano, que permitió la aplicación de 1 ml por disparo; se utilizaron agujas del número 12, de acero inoxidable y 2.54 cm de largo.

Los animales se inyectaron diariamente durante el transcurso del experimento entre las 0730 y 0930; para lo cual, se introducía en cada corral una lona detenida por dos trabajadores, que ayudaba a separar a los animales mismos que, al ser inyectados se marcaban con un crayón marcador de ganado; el sitio de aplicación fue la tabla del cuello, atrás de la oreja, promoviendo con esto que la solución fuera depositada en tejido muscular y no en el graso.

**Tratamientos y diseño experimental:** al llegar los animales a un peso de  $92.5 \pm 2.5$  kg, se distribuyeron de acuerdo a un diseño completamente al azar, en cuatro tratamientos con arreglo factorial: 2 dietas (DN o DD)  $\times$  2 dosis (0 ó 5  $\text{mg}\cdot\text{cerdo}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ). Los datos se analizaron conforme al modelo descrito en el procedimiento de los modelos lineales generales de sistema de análisis estadístico y el análisis de varianza se empleó para detectar efectos mayores de los factores o de sus interacciones. (GLM, SAS 1996).

Todos los resultados que se presentan, corresponden a las medias mínimo cuadráticas, ya sea de los efectos mayores o de sus interacciones. Los criterios de respuesta evaluados, se asociaron en tres grupos: comportamiento productivo, estimación de la composición corporal y características de la canal.

**Análisis económico:** con los datos obtenidos a partir del comportamiento productivo y las características de la canal, se realizó un análisis incluyendo los costos asociados a los tratamientos (dieta, hormona y mano de obra) y se compararon con aquellos del grupo control (sin STp y DN), obteniendo la rentabilidad de cada tratamiento por diferencia con aquella obtenida por el control y calculando además la diferencia en rentabilidad dependiendo si la venta de los animales se hubiera hecho a pie de granja por peso o en rastro contabilizando el valor de la canal en base a la producción de cortes primarios.

## Resultados

**Comportamiento productivo:** el peso inicial de los animales fue de  $92.5 \pm 2.5$  kg y no difirió ( $P > 0.9$ ) entre tratamientos (Cuadro 2). El consumo diario de alimento (CDA), se redujo ( $P < 0.05$ ) por la aplicación de STp (2.77 vs. 2.46 kg/d), principalmente durante los primeros 14 días ( $P < 0.001$ ) del experimento. Ya que la dieta no alteró el CDA ( $P > 0.6$ ), la ingesta diaria esperada (Gráfica 1), expresada en Mcal de energía metabolizable y gramos de lisina digestible, fue de 8.29 y 8.71 Mcal/día y de 13.93 y 24.26 g/día respectivamente para los animales que consumieron la DN y la DD.

Aún cuando la ganancia diaria de peso (GDP) respondió a la modificación de la dieta ( $P < 0.001$ ), los efectos (Cuadro 2) no fueron independientes de STp ( $P < 0.05$ ). La interacción resultó de una fuerte dependencia en la respuesta a STp por la densidad de nutrimentos: con la DN no se mejoró la ganancia de peso, pero con la DD, STp indujo una respuesta 16 a 30% mayor. Atendiendo a la menor influencia de STp (-11%) en el consumo, la respuesta en la eficiencia alimenticia fue paralela a la de la ganancia diaria de peso: cerdos con STp fueron más eficientes (30%) con la DD y el efecto de la dieta, se confunde en la interacción ( $P < 0.05$ ) con STp. Al considerar la eficiencia con la que los animales utilizaron la lisina y la energía de la dieta para ganar peso (Gráfica 2), los datos sugieren un exceso en el nivel de ajuste de lisina, ya que los animales que tuvieron el uso más eficiente de la lisina fueron los de la DN con STp (8% superior al control), pero el uso más eficiente de la energía se alcanzó con la DD en animales tratados con STp (ganaron 33% más peso por Mcal consumida). Lo anterior sugiere la importancia del consumo en el orden de respuesta a STp por la provisión de nutrimentos en la dieta.

De los 256 animales con que se trabajó, 3 de ellos murieron a causa de un sangrado estomacal súbito y profuso. Al momento de la necropsia, se observó que en los tres casos no había alimento en el estómago ni en el intestino y se encontró pletórica a la vesícula biliar; en el estómago había un gran contenido de sangre, al examinarlo se encontraron severas erosiones en la región del cardias; los pulmones presentaban áreas de compactación probablemente asociados con micoplasmosis. Los 3 animales que fallecieron fueron tratados con STp: un macho DD, a los 7 días; con DN una hembra a los 19 días y otro macho a los 25 días de tratamiento. Los signos de micoplasmosis, por las lesiones pulmonares, se confirmaron en prácticamente todos los cerdos que después se sacrificaron para el estudio de las canales y solo en algunos casos se pudieron identificar lesiones asociadas a *Actinobacillus pleuropneumoniae* (Ross, 1999). Los hallazgos clínicos coinciden con las fallas en consumo y del crecimiento apreciadas durante la conducción del

experimento, pero de ninguna forma impidieron que los efectos de STp se manifestaran en una magnitud similar a lo que se ha obtenido en animales sanos.

**Composición corporal (ultrasonido en tiempo real):** en las mediciones con ultrasonido (Cuadro 3), se tuvieron diferencias al inicio del experimento por efecto del sexo ( $P < 0.001$ ), debido a que las hembras desde el inicio, y durante todo el experimento tuvieron un menor grosor en la capa de grasa dorsal en  $P_2$  (13% menor).

El uso de STp (Cuadro 3) redujo en 16% ( $P < 0.001$ ) la profundidad de la capa dorsal de grasa (2.03 vs 1.71 cm), ya que limitó su crecimiento en un 74% (0.406 vs 0.106 cm;  $P < 0.001$ ); además STp interactuó con la dieta ( $P < 0.07$ ), debido a que en los animales no inyectados y que consumieron la DD el aumento fue el mayor (0.37 vs. 0.45 cm), mientras que con STp la DD tuvo el menor incremento (0.14 vs 0.08 cm). Es de notarse que, en la ganancia total de grasa, STp interactuó con el sexo ( $P < 0.09$ ), ya que la mayor reducción en la ganancia de grasa dorsal fue en los machos con STp (80 vs. 65%; Gráfica 3).

Respecto a las estimaciones de la ganancia de tejido magro libre de grasa (Cuadro 3), el uso de STp la incrementó en un 27% ( $P < 0.01$ ; 0.210 vs 0.267 kg día<sup>-1</sup>). La DD también incrementó la ganancia de magro (0.213 vs. 0.264 kg día<sup>-1</sup>;  $P < 0.002$ ), pero como se ha venido discutiendo, el efecto estuvo en función de la respuesta al tratamiento con STp, por el efecto permisivo de la dieta. STp interactuó con el sexo ( $P < 0.06$ ; Gráfica 4), las mejoras en los machos castrados por efecto de STp, fueron superiores al 40% (0.238 vs 0.336 kg día<sup>-1</sup>), mientras que en las hembras el incremento fue solo del 12% (0.263 vs 0.295 kg día<sup>-1</sup>).

**Composición corporal (mediciones con ultrasonido en rastro, Ultra FOM):** de los 96 animales a los que se les dio seguimiento con el equipo del rastro (ultra FOM), no se detectaron diferencias en el rendimiento de la canal ( $P > 0.3$ ), porque lo infieren del peso de las mismas. En cambio, si se notó ( $P < 0.01$ ) un efecto de STp por la reducción, en un 14%, en el porcentaje de grasa en la canal (Cuadro 4) y su interacción con la dieta, ya que la grasa fue mayor en la DD sin STp, pero menor cuando se usó STp. No se encontraron diferencias ( $P > 0.1$ ) para la estimación del porcentaje de músculo en la canal, pero sí para el porcentaje de tejido magro donde STp lo incrementó en un 2% ( $P < 0.01$ ) y en 1.4% el porcentaje de cortes primarios en la canal ( $P < 0.05$ ). También se notó la interacción ( $P < 0.05$ ) entre la dieta y STp, ya que la mejor respuesta en rendimiento magro se tuvo con la DD cuando se usó STp, mientras que las medias del resto de los tratamientos fueron similares entre sí.

**Composición corporal (mediciones directas de la canal):** con la finalidad de comparar canales de similar peso, se seleccionó una muestra de 64 animales (16 por tratamiento) para realizar las mediciones en canal (Cuadro 5); el peso vivo 24 h antes del sacrificio fue de  $117.4 \pm 1.6$  kg, el cual no difirió entre tratamientos ( $P > 0.6$ ), de igual forma, dentro de la muestra, no existieron diferencias ( $P > 0.2$ ) entre los pesos de las canales calientes, frías o sin cabeza, pero el rendimiento de estas sí difirió, al reducirse en 2% por el uso de STp (80.8 vs 78.9%;  $P < 0.001$ ). La merma de las canales luego de alcanzar una temperatura constante de 7 °C, no difirió entre tratamientos (2.4%;  $P > 0.4$ ). La grasa dorsal medida a la altura de la décima costilla, tanto en línea media como en  $P_2$  fue menor en 16.8 y 20.2% respectivamente por

efecto de STp ( $P < 0.01$ ), en P<sub>2</sub> los machos castrados tuvieron 28% mayor profundidad de grasa que las hembras ( $P < 0.01$ ) y no se observó ningún efecto de dieta ( $P > 0.3$ ).

La profundidad del músculo al nivel de la décima costilla, se incrementó por efecto de STp (10%;  $P < 0.05$ ) y de sexo (13.8%;  $P < 0.05$ ) pero el efecto de dieta no fue significativo (5.9%;  $P > 0.2$ ). La magnitud de respuesta fue superior en los animales con STp con la DN, pues se incrementó en 21%, contra un 10% con la DD, en lo que fue una interacción STp por dieta ( $P < 0.08$ ). El área del ojo de la chuleta (Cuadro 6) fue 17.8% mayor en las hembras (45.7 vs 38.8 cm<sup>2</sup>;  $P < 0.001$ ) y por efecto de STp (9.5%;  $P < 0.05$ ); También se notó la interacción ( $P < 0.01$ ) entre la dieta y STp, ya que la menor respuesta en el área del ojo de la chuleta se tuvo con la DN sin STp (-21%), mientras que las medias del resto de los tratamientos fueron similares entre sí.

Al calcular el porcentaje de cortes primarios en relación al peso de la canal (Cuadro 7), STp incrementó su rendimiento en 2.6% (49.7 vs 51%;  $P < 0.01$ ) lo cual es muy similar al 3.06% de diferencia que se obtuvo al medir el rendimiento del despiece de 16 canales en cada tratamiento, donde se encontró que los animales tratados con la DD y STp, produjeron 3% más de estos cortes que el promedio del resto de los animales.

El tejido magro libre de grasa (Cuadro 7), se incrementó como porcentaje de la canal debido a los efectos de STp (9.5%;  $P < 0.001$ ) y de sexo (4.9% mayor en hembras  $P < 0.05$ ); la respuesta fue en aumento al incrementar la densidad de la dieta y cuando se dio el tratamiento con STp, interactuando por lo tanto STp, sexo y dieta ( $P < 0.05$ ).

Al hacer un análisis económico con los resultados obtenidos (Apéndice 1), se observa que en las condiciones de este trabajo y con los precios de las materias primas que se tuvieron al momento del experimento, únicamente se logró una ventaja económica cuando se utilizó la STp con la dieta más densa (6% con la venta de cerdos en pie y 4% con la venta en canal); siendo las variables de mayor trascendencia la GDP, el costo del tratamiento, el rendimiento en canal y el costo del alimento.

## Discusión

El comportamiento productivo se modificó por la aplicación de STp y su efecto fue de mayor magnitud durante los primeros 14 días del tratamiento, que es cuando se tuvieron las mayores reducciones en el consumo y los máximos incrementos en la GDP, esto pudiera estar relacionado con lo abrupto de los cambios que STp provoca en el metabolismo animal. Lee *et al.* (2000) encontraron que la reducción en el CDA, inició desde el primer día de aplicación de STp, y gradualmente se va reduciendo más, hasta que se estabiliza a los 7 días. Este aparente cambio en la magnitud del efecto de STp, también pudiera estar relacionado con la concentración relativa de la dosis, ya que durante todo el experimento solo se utilizó una dosis única, que al inicio del experimento equivalió a un promedio de  $54 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  de peso vivo y al incrementarse éste, la dosis se redujo hasta una media de  $43 \mu\text{g}$  (*i.e.*, una reducción del 20%). Debido a que los efectos de STp, son dependientes de la dosis (Boyd y Bauman, 1989; Smith y Kasson, 1991; Etherton, 2000), para evitar el efecto de dilución por el incremento en el peso de los animales, se ha propuesto que la dosis diaria no sea única, sino que se vaya modificando conforme aumenta el peso de los cerdos (McLaren *et al.*, 1990; Thiel *et al.*, 1993). Sin embargo, más que la efectividad en la inducción del crecimiento de la masa muscular (al acumularse al final del periodo de uso de la STp), parecen preocupantes los efectos en depresión del consumo que podría tener una sobre-dosificación inicial.

Es de notarse que el consumo promedio (2.61 kg) fue 17 a 22% menor al esperado en función del peso corporal de los cerdos (con los antecedentes de la granja) y la composición de los alimentos. Es factible que esto haya estado asociado a problemas sanitarios, particularmente a enfermedades del síndrome respiratorio, los que fueron patentes a la inspección de los pulmones al sacrificio: más del 20% de los animales sufrieron daños considerables en los pulmones (25% o más de la superficie de los pulmones mostró tejido cicatrizal). En donde, muy probablemente, la mayoría de las lesiones se produjeron en etapas previas al inicio del experimento.

Las citocinas (proteínas del sistema inmune, producidas en respuesta a infecciones y estados patológicos) como las interleucinas y el factor tumoral de necrosis, modifican el proceso de crecimiento, orquestando una respuesta homeorrética en la cual los nutrimentos son redistribuidos para apoyar la respuesta inmune en lugar del crecimiento. En cerdos enfermos, se ha demostrado que la concentración sanguínea de IGF-1 se reduce, además, se reduce la captación de nutrimentos en el músculo esquelético, provocando una menor sensibilidad a la insulina (Spurlock, 1997). Al simular estados patológicos en cerdos en crecimiento, se ha encontrado que el CDA se reduce (30%) y la temperatura rectal aumenta más ( $1.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) cuando los animales recibieron una combinación de STp y lipopolisacáridos vs. únicamente lipopolisacáridos (Evock-Clover *et al.*, 1997). En humanos se ha demostrado que mientras más avanzado es el estado de una enfermedad, la aplicación de hormona del crecimiento inhibe la síntesis de proteína muscular (Garlick *et al.*, 1998).

Los animales que fallecieron durante el transcurso de la prueba (tres) pertenecieron a los grupos que recibieron STp, es de hacerse notar que la mortalidad en el experimento apenas fue el 1.1% de la población total con que se trabajó, o bien del 2.3% de los animales que recibieron STp, que son mortalidades menores a las que

puede encontrarse en condiciones similares de infección (6% Pérez *et al.*, 2001). Los hallazgos encontrados a la necropsia fueron similares a los de Machlin (1972), quien asoció estas muertes a una cierta susceptibilidad de individuos al uso de dosis elevadas de STp (equivalentes a cinco veces la usada en este experimento). Hansen *et al.* (1997a) reportaron una mortalidad similar (2.8%) utilizando 4 mg.de STp cerdo<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>; McLaren *et al.* (1990) encontraron hasta un 18% de mortalidad por úlceras cuando utilizó una dosis de 9 mg por cerdo por día, durante 55 días; Smith y Kasson (1991) reportan un incremento lineal en la presentación de úlceras gástricas (detectadas en revisiones de rastro), conforme incrementaron la dosificación con STp (hasta 50%, con 12 mg.de STp cerdo<sup>-1</sup>.día<sup>-1</sup>). Sin embargo, el hallazgo en este experimento sugiere la necesidad futura de estudiar, con poblaciones de mayor tamaño y aplicada la terapia con STp rutinariamente, la incidencia del problema y considerar la susceptibilidad individual o las condiciones en que suceda para justificar la necesidad del estudio de las causas.

Las diferencias en el consumo de energía metabolizable entre tratamientos, fueron mínimas, lo que coincide con la argumentación anterior sobre los efectos de las enfermedades del síndrome respiratorio. Sin embargo, la diferencia en como fue utilizada la energía (Gráfica 2) marcó la pauta para que la ganancia diaria de peso fuera superior en el tratamiento con DD y STp, dando como resultado que la eficiencia alimenticia mejorara, más que por diferencias en el consumo, por la ganancia diaria de peso. Esto es, por el direccionamiento de los nutrimentos para el sustento de una mayor síntesis de proteína (Wray-Cahen *et al.*, 1995; Etherton, 2000).

Álvarez *et al.* (1985) al comparar dietas con diferente contenido de proteína y un nivel fijo de energía, encontraron que la eficiencia en el uso de la energía (Mcal consumidas / GDP) se incrementaba gradualmente conforme aumentaba el contenido de proteína en la dieta; de forma similar, en este trabajo, se mejoró la eficiencia energética cuando se incrementó la relación lisina : energía en la dieta, esto fue notorio cuando se utilizó STp, por ende, los animales respondieron a una deficiencia marginal de lisina, cuyos efectos son más notables en la eficiencia alimenticia (Stahly *et al.*, 1979; Cisneros *et al.*, 1997a, b), pero, no pueden descartarse los efectos del nivel de proteína, en la generación metabólica de calor (Evock-Clover *et al.*, 1997;) y del rendimiento de energía neta (EN) de las dietas por consideraciones digestivas (Just, 1982) o de orden metabólico (Noblet *et al.*, 1999). El uso de STp favorece un mejor rendimiento de EN (Vann *et al.*, 2000; Etherton, 2000) porque el consumo es menor y porque la energía se dirige preferentemente a la síntesis de proteína (Wray-Cahen *et al.*, 1995; Bell *et al.*, 1998), a pesar de ello, en condiciones, como las de este experimento, en las que el consumo sea tan bajo, es necesario cuidar la densidad energética de las dietas y prevenir los excesos de nitrógeno (proteína, aminoácidos) para no impedir los efectos de la terapia con STp por la pérdida de EN (Campbell *et al.*, 1988; Kyriazakis y Emmans, 1991).

En congruencia con lo anterior, es notable que la máxima eficiencia en la GDP respecto al uso de la lisina, se logró con los animales que tuvieron el menor CDA (DN con STP) y que ésta, se redujo al incrementar la densidad de la dieta, lo que podría sugerir que los animales que consumieron la dieta más densa tuvieron un exceso de aminoácidos, lo cual posiblemente hubiera provocado una pérdida energética asociada a la metabolización de los excesos de nitrógeno en la dieta (por

la desaminación de los aminoácidos; Just, 1982), con la consecuente eliminación de urea vía orina, además de una mayor producción de calor (Le Bellego *et al.*, 2001). Sin embargo, a pesar de la menor eficiencia en el uso de la lisina, de forma similar a lo reportado por King *et al.* (2000), es claro que la mayor proteína y lisina consumida con la DD permitieron un mayor crecimiento de tejido magro de los cerdos tratados con STp, lo que es un efecto confundido entre la densidad energética, proteica y de lisina. Esta confusión tendrá que ser dilucidada con investigación diseñada para ello, ya que no existen trabajos en los que se haya revisado el impacto del nivel de lisina, en función de la densidad energética, o del nivel del primero en función de la densidad proteica.

La reducción de más del 70% en la deposición de grasa dorsal, medida por el cambio en el espesor, por efecto de STp y no de dieta ( $P < 0.8$ ) muestra que este efecto fue dependiente exclusivamente de STp y no de la energía disponible para su crecimiento (*i.e.*, que el efecto fuera una consecuencia de la depresión en el consumo), lo que confirma los efectos de STp para favorecer el uso de la energía para la síntesis de proteína, además de reducir la producción de grasa (Caperna *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 2000). Uno de los mecanismos por los que STp altera la distribución de nutrimentos en el organismo, es mediante la modulación de la respuesta de los tejidos hacia la insulina (Campbell *et al.*, 1991; Etherton y Bauman, 1998); en los adipositos, este efecto incluye una menor captación de glucosa (-95%), una menor actividad enzimática (Lee *et al.*, 2000), la menor producción de enzimas lipogénicas (ácido graso sintetasa; Yin *et al.*, 2001) y un aumento en la sensibilidad a las señales metabólicas relacionadas con la lipólisis (Etherton 2000). Que STp haya tenido un impacto de mayor magnitud en los machos castrados, puede estar asociado a la diferencia en los patrones de deposición de grasa y proteína entre hembras y machos castrados, lo que finalmente es una consecuencia de la situación hormonal propia de cada género. La STp exógena puede actuar en los machos castrados encubriendo las diferencias hormonales, vía la producción de IGF-1 (Clapper *et al.*, 2000).

Debido al reducido número de observaciones (16 corrales), a la natural dispersión de los datos y para evitar la presencia de efectos confundidos, se decidió que lo mejor sería evaluar animales representativos de cada grupo, con un peso similar a la media de todos los animales. Animales más pesados, tienen más grasa dorsal y el rendimiento en canal es mayor, aún cuando los kg de músculo sean también mayores (Cisneros *et al.*, 1996b; Velásquez, 1998). Al hacer la comparación de esta forma, se pone énfasis en los cambios en rendimiento y se evitan los efectos confundidos por el tamaño corporal.

Por efecto de la diaria inyección con STp, se redujo en cerca de un 2% el rendimiento en canal ( $P < 0.001$ ), lo que fue una consecuencia directa del incremento en el tamaño de la masa visceral que, según la literatura (Machlin, 1972; Evock-Clover *et al.*, 1997), se llegan a incrementar de 10 hasta un 35%; por diferencia, el peso de las vísceras de los cerdos tratados con STp se incrementó en este experimento en un 10%.

La síntesis de proteína corporal expresada parcialmente por la ganancia diaria de tejido magro libre de grasa, se incrementó por efecto de STp en un 27% lo cual es similar a lo encontrado en trabajos previos (Beermann *et al.* 1990; Thiel *et al.*, 1993;

Vann *et al.*, 2000). Sin embargo, esta mayor síntesis de proteína también se mostró al incrementar la densidad de la dieta, lo que posiblemente se deba al efecto del mayor consumo de proteína y / o lisina (Goodband *et al.*, 1993), y a un incremento en la energía (Campbell *et al.*, 1991); la diferencia en el consumo de energía fue del 5%, mientras que la del consumo de lisina, fue de más del 60% y el incremento en la ganancia de magro por efecto de la dieta cercano al 20%. La producción de tejido magro que resulta de la síntesis de proteína, es una forma de crecimiento más eficiente que cuando se presenta una predominancia de tejido graso, ya que con la deposición de una molécula de proteína se da la deposición de 3 moléculas de agua (Caperna *et al.*, 1991). Just (1984), menciona que al depositar un gramo de grasa, se incrementa adicionalmente el peso del animal en 0.5 a 0.7 gramos, mientras que al depositar uno de proteína, hay un incremento de 2 a 4 gramos de peso vivo. La diferente eficiencia con que los animales utilizaron la energía y la lisina en la dieta, está en función de la diferente composición de la ganancia diaria de peso que se logró entre tratamientos i.e., las diferentes proporciones que se acumularon de grasa y proteína en la canal (Whittemore *et al.*, 1988; Quiniou y Noblet, 1995).

Para corroborar lo anterior, se pueden usar los datos de Just (1984), en donde la grasa depositada contiene de 7 a 8 Mcal de energía/kg y el músculo solamente tiene de 2 a 2.5 Mcal/kg. Así, los cerdos tratados con STp tuvieron una ganancia con menor densidad energética, por lo que se ratifica la apreciación previa respecto a la diferente ganancia de magro entre tratamientos como una consecuencia de la eficiencia con que se usaron los aminoácidos (particularmente lisina) y la energía consumidos, siendo que STp, incrementó en más del 40% la eficiencia en el uso de lisina y la energía consumida para depositar tejido magro (Gráfica 5).

Coincidentemente, el incremento por STp en la deposición de magro, fue mayor en los machos castrados que en las hembras (43% vs 13%), esto posiblemente esté asociado a la mayor capacidad de CDA que generalmente expresan los machos castrados sobre las hembras (Boyd y Beerman, 1992; NRC, 1998), lo que permitió una mayor cantidad de energía disponible para sostener el crecimiento de magro (Whittemore *et al.*, 1988, Kyriazakis y Emmans, 1992). Esto corrobora la importancia del aporte de nutrimentos para permitir la expresión del potencial de crecimiento y concuerda con observaciones previas de que los efectos de STp y dieta pueden ser aditivos (Steele *et al.*, 1995).

La interacción mostrada en el área del ojo de la chuleta, entre STp y la dieta ( $P > 0.01$ ), concuerda con lo anterior, pero denota que (en comparación con lo que sucedió con la profundidad del músculo gran dorsal) esta variable (el área) es más sensible a los efectos de STp, quizá por la forma que crece este músculo y las estructuras anatómicas que lo rodean, ya que a pesar de que en un principio su desarrollo es radial, con el crecimiento, los incrementos de volumen van provocando una forma oval, porque las estructuras óseas (ya formadas), limitan el crecimiento de su radio en el plano vertical, esto es una consideración de importancia al evaluar canales basándose únicamente en la profundidad del músculo gran dorsal, más que en el área de su corte transversal. De forma similar a lo encontrado en este experimento, Schinckel *et al.* (2001) encontraron una correlación mayor entre el área del ojo de la chuleta y el tejido magro libre de grasa ( $r = 0.80$ ), que cuando se usó la profundidad del músculo ( $r = 0.36$ ). Esto tiene importancia práctica con el uso de productos como la STp, cuyos efectos promueven el crecimiento de los tejidos

muscular y óseo. Al respecto, no se tienen estudios formales para encontrar las relaciones morfológicas en el crecimiento de esta masa muscular, pero son meritorios por la forma en la que actualmente se hace la clasificación de canales (Cisneros *et al.*, 1996a; Velásquez, 1988).

La producción de cortes primarios como porcentaje de la canal, fue superior cuando se utilizó STp. Sin embargo, es sobresaliente el hecho de que no existieron diferencias por efecto de dieta, esto a pesar de la gran diferencia que se tuvo en el consumo diario de lisina, lo cual indica que el porcentaje de cortes en la canal, fue más dependiente del consumo de energía y de la eficiencia con que ésta se utilizó. Debe notarse que con STp hay una reducción de la grasa corporal, lo que puede afectar (el peso puede ser mayor en función del tamaño de la masa muscular en el corte, o menor si solo se reduce la grasa) el rendimiento del Tocino (McNamara *et al.*, 1991; Thiel *et al.*, 1993), que es uno de los cortes primarios, subestimando de nuevo el mérito de STp para acrecentar el rendimiento de los cortes más deseados de la canal (los magros: pierna, lomo, cabeza de lomo, espaldilla).

En gran medida, la respuesta a STp se confunde por el efecto de la dieta, esto hace destacar la importancia que tiene el consumo para limitar la respuesta a la inyección diaria de STp, el hecho de que la eficiencia en el uso de la energía se incrementa con el uso de STp, indica que es factible el poder incrementar la magnitud de respuesta de los animales a la hormona, si se logran mayores consumos de energía, incluso a costa de tener que reducir la dosificación de STp (Steele *et al.*, 1995). A pesar de que la ganancia diaria de magro fue mayor en la DD, la eficiencia en el uso de la lisina para esta variable fue mayor en la DN y dado que no fueron diferentes el grosor de la grasa dorsal y el porcentaje de cortes primarios en la canal, es factible que los animales en la DD, no requirieran de niveles tan elevados de lisina, o bien, que tuvieron que gastar energía para eliminar excesos de nitrógeno en la dieta, lo que pudo haber limitado la magnitud de respuesta ante STp. Estos resultados son soportados por observaciones previas (Campbell *et al.*, 1985; Kyriazakis y Emmans, 1992), en el sentido de que la tasa de deposición diaria de proteína, depende en una primera fase y, hasta un cierto nivel, principalmente del aporte de proteína luego del cual, depende exclusivamente del aporte de energía. Esto subraya la reiterada recomendación de que el uso de STp, debe estar fundamentado en el consumo de alimento, ya que con consumos demasiado bajos, la respuesta será limitada si no se aportan adecuadamente los nutrimentos.

Según se muestra en el Apéndice 1, bajo las condiciones de mercado que rigieron al momento de hacer esta prueba, la ventaja económica de utilizar STp se expresó en el grupo que consumió la dieta más cara (DD). Esto resalta la importancia de la dieta como un factor para permitir la respuesta a STp. Sin embargo, dadas las condiciones variables del mercado, este análisis solo es válido para las condiciones en que se realizó el trabajo, por lo que la decisión sobre el uso de la hormona, se deberá de hacer de forma permanente y bajo las condiciones particulares de cada explotación, en donde la respuesta por la composición del crecimiento y la capacidad de consumo de los animales (por causas genéticas, del género, de la edad y crecimiento previos, así como por los efectos del medio) serán las consideraciones centrales. Lo que es un hecho, es que las optimizaciones económicas por la formulación de los alimentos (aceptando que la dieta pudo estar

excedida) y, quizá, por la dosis misma de STp, son factibles, siempre en función de la capacidad peculiar de respuesta.

### **Conclusiones**

La STp es una herramienta que permite modificar el crecimiento de los cerdos en finalización, incrementando la GDP, el crecimiento de las masas musculares y reduciendo el CDA y la acumulación de grasa, con una consecuente mejora en la eficiencia alimenticia. Sin embargo, se deberá considerar que la concentración de nutrimentos en la dieta, que satisfagan en cantidad y oportunidad los requerimientos de los animales, son un factor clave para el éxito de un programa de alimentación.

Dado que la respuesta a la STp estuvo fuertemente influenciada por el consumo, se deberá poner especial atención a excesos que pudieran limitarlo, ya que finalmente la mayor densidad de nutrimentos en la dieta no garantiza el mayor consumo de éstos por parte de los animales. Esto enfatiza la necesidad de conocer dentro de cada explotación los requerimientos de nutrimentos y la capacidad de consumo de los animales, con el objeto de definir la mejor estrategia para el uso de STp.

Cuadro 1.

**Composición de las dietas experimentales y perfil  
calculado de nutrimentos**

Dieta	Dieta Normal	Dieta Densa
Ingredientes <sup>a</sup>	Porcentaje de inclusión	
Maíz amarillo (8% PC)	77.03	63.78
Canola, pasta (35% PC)	10.00	-----
Soya, pasta (47% PC)	6.50	27.20
Melaza de caña	4.00	4.00
Calcio, carbonato	0.80	1.00
Aceite de soya	0.50	2.60
Fosfato mono-di cálcico	0.45	0.55
Sal	0.29	0.31
Premezcla <sup>b</sup>	0.29	0.32
L-Lisina-HCl	0.09	0.10
Colina-HCl, 60%	0.05	0.05
L-Treonina	-----	0.09

<sup>a</sup> PC se refiere al porcentaje de proteína cruda determinado al analizar el ingrediente.

<sup>b</sup> Cada kilogramo de premezcla, aportó: vitamina A 3,200,000 UI; vitamina E 12,000 UI; vitamina D3 600,000 UI; vitamina K3 800 mg; riboflavina 800 mg; cianocobalamina 8 mg; piridoxina 800 mg; tiamina 400 mg; nicotinamida 10 g; biotina 32 mg; ácido fólico 240 mg; pantotenato de calcio 6 g; cobre 4 g; selenio 120 mg; hierro 40 g; manganeso 15.49 g; zinc 40 g; yodo 280 mg; antioxidante 75.76 g.

Perfil calculado de nutrimentos

Energía Metabolizable (Mcal/kg)	3.20	3.30
Proteína cruda (%)	12.76	17.98
Lisina digestible (%)	0.54	0.92
Relación Lisina:Energía (g/Mcal)	1.7	2.8
Treonina digestible (%)	0.38	0.65
Triptofano digestible (%)	0.10	0.18
Metionina + Cistina (%)	0.46	0.58
Calcio total (%)	0.51	0.60
Fósforo total (%)	0.46	0.48

Cuadro 2.

**Comportamiento productivo de cerdos tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrientes<sup>a</sup>**

STp:	0mg		5mg		Media	E.E.M <sup>b</sup>	Efectos mayores	Interacción
	Normal	Densa	Normal	Densa				
<b>Dieta:</b>								
Peso inicial (kg)	92.89	92.03	92.97	91.95	92.46	2.46	ns	ns
Peso final (kg)	114.69	115.55	114.10	119.39	115.93	2.463	ns	ns
Consumo de alimento (kg día <sup>-1</sup> )	2.73	2.81	2.45	2.47	2.615	0.117	STp*	ns
Ganancia de peso (g día <sup>-1</sup> )	778	840	755	980	838	33.8	D***	D x STp*
Ganancia/Consumo (kg)	0.284	0.301	0.309	0.399	0.323	0.0138	D*** STp****	D x STp*

<sup>a</sup> Medias mínimo cuadráticas

<sup>b</sup> Error estándar de la media

ns= no significativo; \*P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

**Composición corporal de cerdos tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Las mediciones se hicieron con ultrasonido de tiempo real en P<sub>2</sub><sup>a</sup>**

Tratamiento	STP		Dieta		Sexo		E.E.M <sup>b</sup>
	0 mg	5 mg	DN	DD	Hembras	Machos castrados	
Nivel							
Profundidad de la grasa dorsal al inicio (cm) <sup>c</sup>	1.63	1.60	1.62	1.61	1.51	1.72	0.04
Ganancia en la profundidad de la grasa dorsal (cm) <sup>d</sup>	0.406	0.106	0.251	0.261	0.217	0.296	0.038
Ganancia en la Profundidad del músculo (cm) <sup>e</sup>	0.459	0.539	0.361	0.637	0.446	0.553	0.054
Ganancia de tejido magro libre de grasa (kg día <sup>-1</sup> ) <sup>f</sup>	0.210	0.267	0.213	0.264	0.234	0.243	0.011

<sup>a</sup> Medias mínimo cuadráticas. <sup>b</sup> Error estándar de la media. <sup>c</sup> Efecto de sexo\*\*\*.

<sup>d</sup> Efecto de STP\*\*\*, y de STp x sexo+; <sup>e</sup> Efecto de dieta\*\*\*, y de dieta x sexo\*\*.

<sup>f</sup> Efecto de STp\*\*\*, de dieta\*\*\*, y de STp x sexo<sup>+</sup>.

<sup>+</sup> P<0.09; \*P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

Cuadro 4.

Composición corporal de cerdos en finalización, tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Las mediciones se hicieron en las canales con ultrasonido F-O-M<sup>a</sup>

STp	0 mg		5 mg		Media	E.E.M. <sup>b</sup>	Efectos mayores	Interacciones
	Normal	Densa	Normal	Densa				
Grasa en la canal (%)	19.52	20.44	18.67	15.64	18.57	0.976	STp**	D x STp*
Músculo en la canal (%)	42.73	43.32	40.55	44.99	42.90	1.608	ns	ns
Rendimiento Magro (%)	49.90	49.77	50.12	51.50	50.33	0.359	STp**	D x STp*
Cortes primarios en la canal (%)	52.49	52.17	52.84	53.30	52.70	0.314	STp*	ns

<sup>a</sup> Medias mínimo cuadráticas.

<sup>b</sup> Error estándar de la media.

ns= no significativo; \*P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

Cuadro 5.

**Características de la canal de cerdos tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos<sup>a</sup>**

Tratamiento	STP		Dieta		Sexo		E.E.M <sup>b</sup>	Efectos Mayores
	0 mg	5 mg	DN	DD	Hembras	Machos castrados		
Nivel								
Peso de la canal (kg)	94.85	92.68	92.97	94.56	93.08	94.44	0.949	ns
Rendimiento en canal (cm)	80.85	78.92	79.54	80.22	80.05	79.72	0.308	STp***
Grasa dorsal 10 <sup>a</sup> costilla, línea media (cm)	3.04	2.53	2.72	2.85	2.70	2.86	0.149	STp**
Grasa dorsal 10 <sup>a</sup> costilla en P <sub>2</sub> (cm)	2.14	1.71	1.99	1.85	1.69	2.16	0.127	STp** S**
Profundidad del músculo en la 10 <sup>a</sup> costilla en P <sub>2</sub> (cm) <sup>c</sup>	5.61	6.18	5.73	6.07	6.28	5.52	0.220	STp* S**

<sup>a</sup> Medias mínimo cuadráticas.

<sup>b</sup> Error estándar de la media.

<sup>c</sup> Interacción STp x dieta (P<0.08)

ns= no significativo; \*P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

Cuadro 6.

Características de la canal de cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Los datos se obtuvieron a partir del corte del lomo en la décima costilla y con las ecuaciones de predicción referidas en el texto <sup>a</sup>

STp	0 mg		5 mg		Media	E.E.M <sup>b</sup>	Efectos Mayores	Interacciones
	Normal	Densa	Normal	Densa				
Área de la chuleta (cm <sup>2</sup> )	36.34	44.40	45.89	42.53	40.98	1.94	STp* S***	D x STp**
Cortes primarios (%)	49.79	49.60	51.24	50.82	50.36	0.44	STp**	ns
Magro libre de grasa (kg)	35.83	37.41	38.97	37.99	37.02	0.99	STp* S**	STp x D x S**
Magro libre de grasa (%)	37.12	38.56	41.86	41.00	39.25	0.93	STp*** S*	STp x S x D*

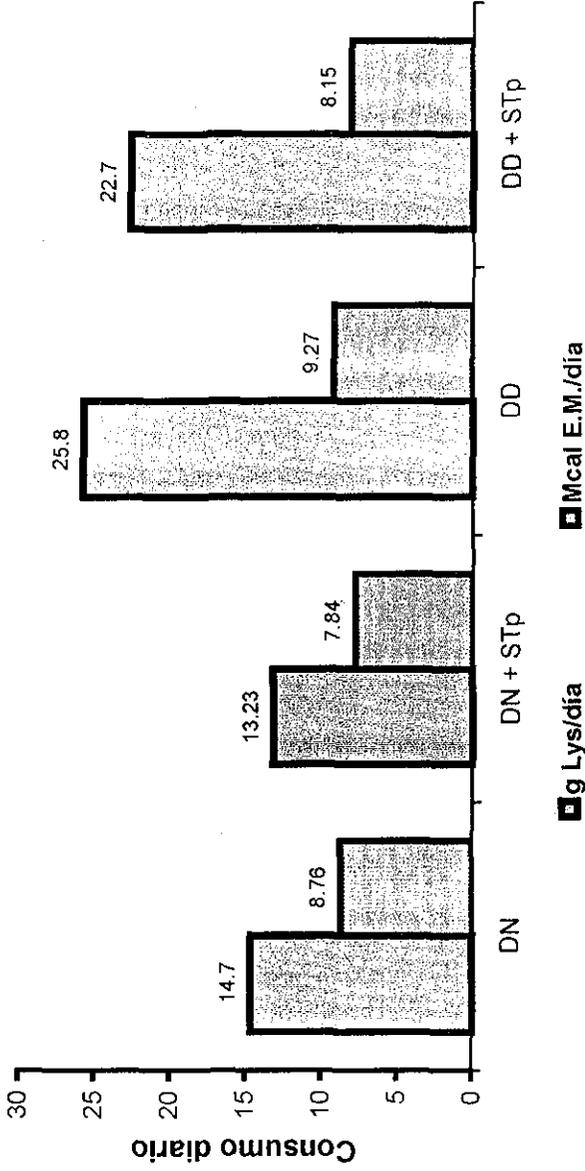
<sup>a</sup> Medias mínimo cuadráticas.

<sup>b</sup> Error estándar de la media.

ns= no significativo; \*P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

Gráfica 1.

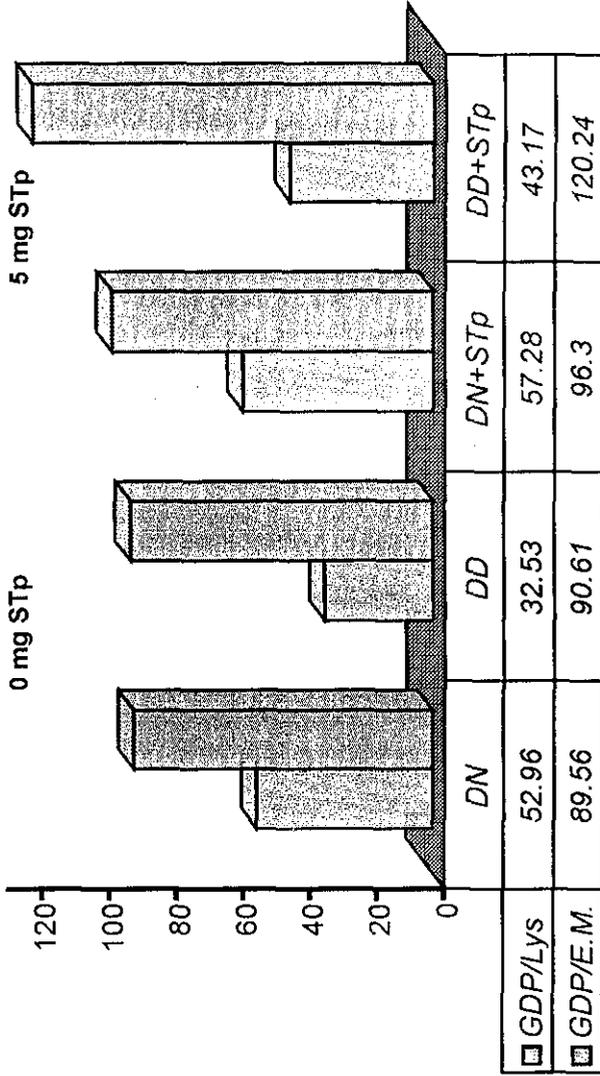
Consumo diario estimado de energía metabolizable (Mcal día<sup>-1</sup>) y de lisina digestible (g día<sup>-1</sup>), en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

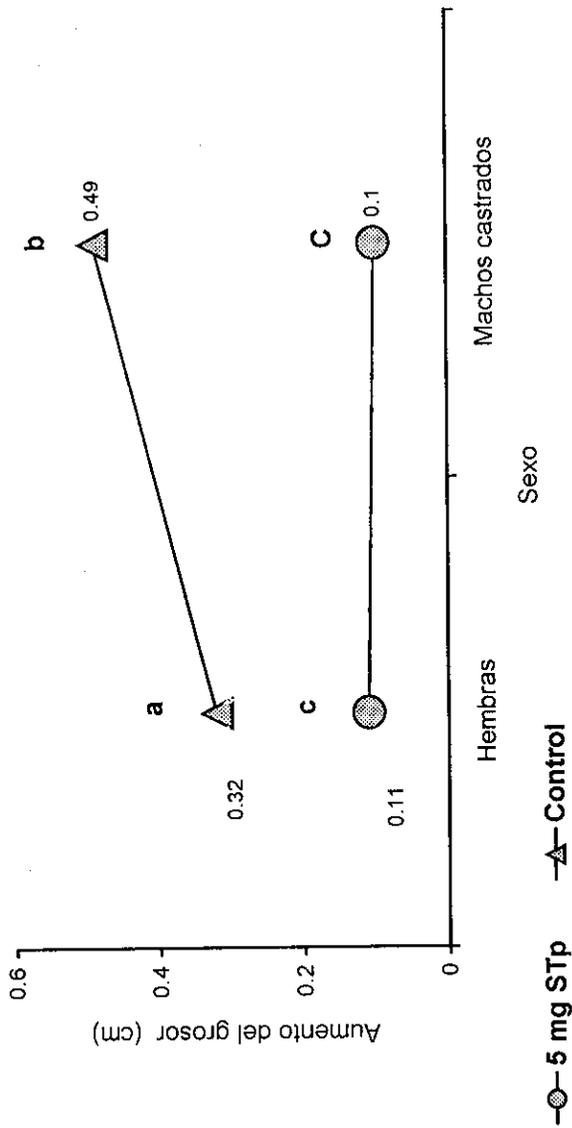
Gráfica 2.

Eficiencia en el uso de la Energía Metabolizable (Mcal) y de la lisina digestible (g) consumidas diariamente, respecto de la ganancia diaria de peso (g) en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

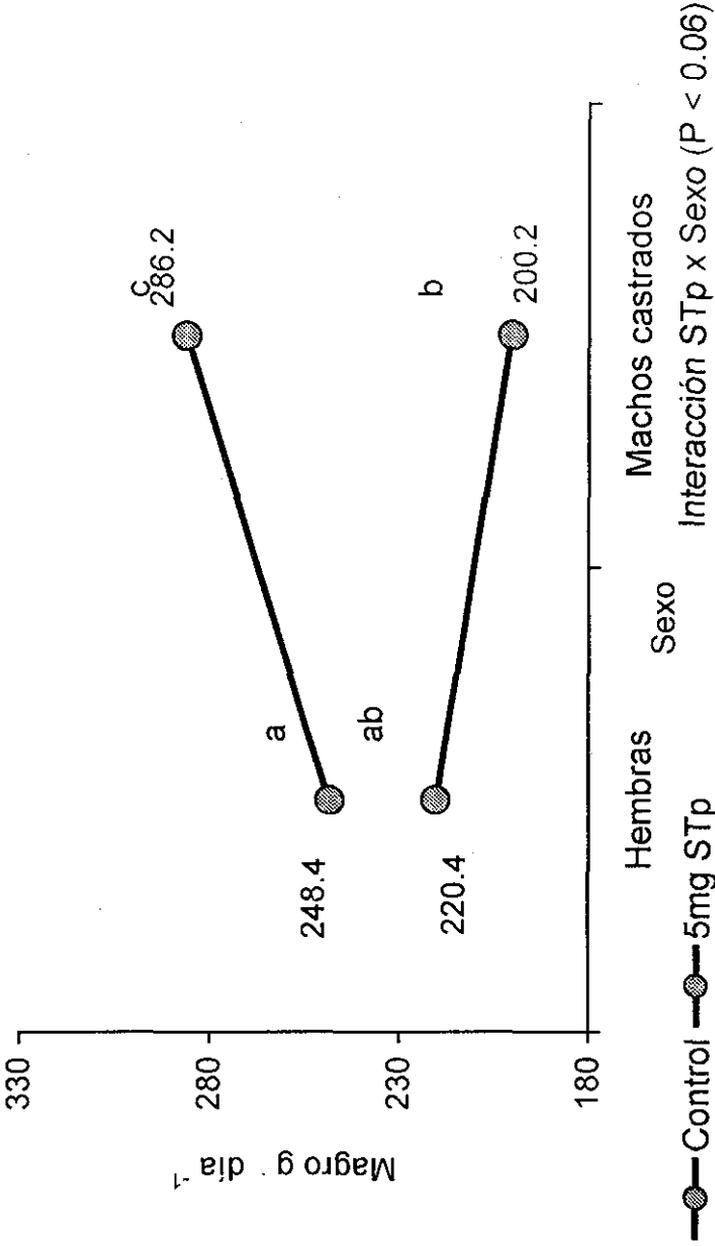
Aumento en el grosor (cm) de la grasa dorsal medida en P<sub>2</sub>, con un aparato de ultrasonido en tiempo real, en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Interacción STp x sexo ( $P < 0.09$ )



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Gráfica 4.

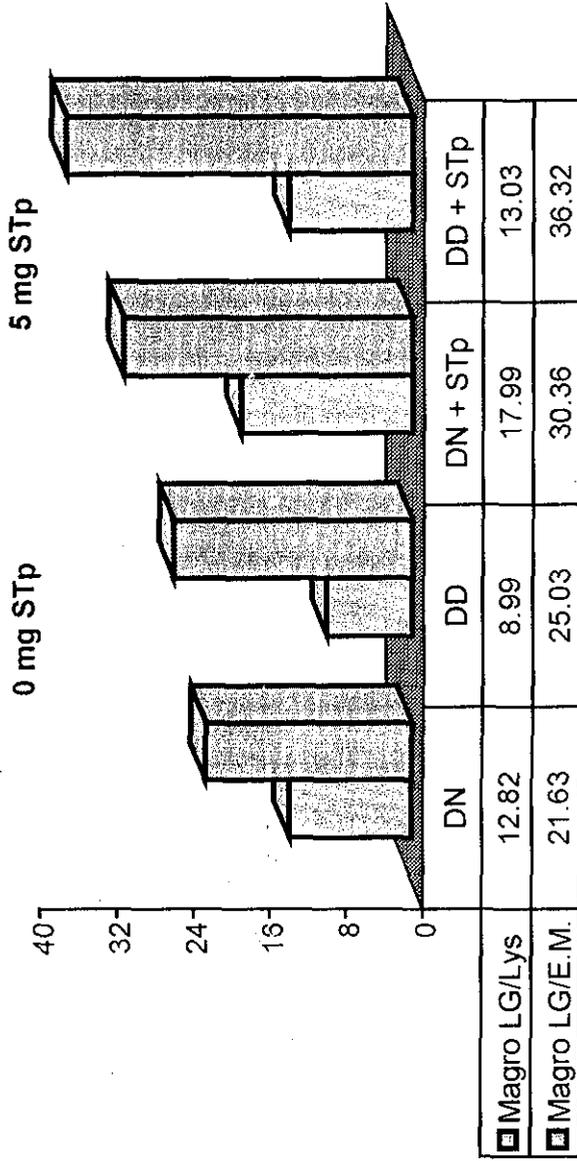
Ganancia diaria de tejido magro libre de grasa en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos. Interacción STp x sexo ( $P < 0.06$ )



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Gráfica 5.

Eficiencia en el uso de la energía metabolizable y de la lisina consumidas, en relación a la ganancia diaria de tejido magro libre de grasa, en cerdos en finalización, tratados con somatotropina y consumiendo dietas con diferente densidad de nutrimentos



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## Experimento 3

### Respuesta al uso de somatotropina recombinante en la finalización de cerdos utilizando diferentes dosificaciones y dietas

#### Introducción

La tasa de crecimiento en los cerdos es una función de la cantidad y proporción de la proteína y grasa que se depositen en la canal, lo que depende de su genética, estatus sanitario y edad fisiológica (Just, 1984), pero es principalmente influida por el aporte dietario de amino ácidos y energía (Whittemore *et al.*, 1988; Quiniou y Noblet, 1995). Cuando los consumos de proteína son insuficientes, la retención de nitrógeno depende del aporte de proteína en la dieta, pero si los consumos de proteína son adecuados, entonces la deposición depende del aporte de energía (Campbell *et al.*, 1988; Kyriazakis y Emmans, 1992). Al incurrir en excesos de proteína en la dieta, se reduce la energía neta disponible para el crecimiento (Just, 1984; Le Bellego *et al.*, 2001). Por lo que el adecuado consumo diario de alimento (CDA), es un factor crítico en la finalización de cerdos (Cuarón, 2001), que se puede limitar por efecto del estrés (Hyun *et al.*, 1998), como por la presencia de infecciones (Spurlock, 1997) o la densidad de nutrimentos en la dieta (NRC, 1998).

En el metabolismo de los cerdos, el uso de la somatotropina recombinante porcina (STp), mejora la eficiencia con que se utilizan la energía y proteína de la dieta (Verstegen *et al.*, 1990; Harrel *et al.*, 1999), reduciendo el catabolismo de los aminoácidos en el hígado (Bell *et al.*, 1998), estimulando la síntesis de proteína (Wray-Cahen *et al.*, 1995; Vann *et al.*, 2000) y reduciendo la de grasa (Wang *et al.*, 1999). Sin embargo, debido a la magnitud del incremento en la deposición de tejido magro (Evoock-Clover *et al.*, 1997), se recomienda incrementar el aporte de nitrógeno en la dieta (Caperna *et al.*, 1991; Thiel *et al.*, 1993; Roberts y Azain, 1997). Por ejemplo, de forma práctica con cerdos en crecimiento, es necesario aumentar el nivel de proteína un cuatro por ciento para alcanzar la máxima inducción del crecimiento de tejido magro en presencia de STp (Campbell *et al.*, 1988); igualmente, para cerdos en finalización, se recomiendan incrementos en el porcentaje de inclusión de lisina en la ración que van desde un 50 (0.8%, King *et al.*, 2000) hasta 80% (1%; Johnston *et al.*, 1993) del requerimiento (0.5 a 0.6 % de lisina en la dieta para cerdos de 90 a 110 kg; Hahn *et al.*, 1995; Loughmiller *et al.*, 1998; NRC, 1998).

La magnitud del cambio en los requerimientos por el uso de STp, debe de estar supeditado al efecto que se logre en la inducción del crecimiento magro (King *et al.*, 2000) y, por lo tanto, a la etapa de crecimiento en que se use (Harrel *et al.*, 1999) y a la capacidad de consumo de los animales (Steele *et al.*, 1995). Mientras mayor sea la dosificación de la hormona, mayor será el impacto en la deposición de proteína (Etherton *et al.*, 1987; McLaren *et al.*, 1990), pero el CDA se reducirá linealmente (5 a 15% con 2.5 mg·cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>, o hasta en un 30% con 9 mg; Etherton *et al.*, 1987; McLaren *et al.*, 1990; Klindt *et al.*, 1995), limitando la capacidad de respuesta de los animales.

De lo anterior, se desprende que el efecto de la dosis de STp, se encuentra confundido con el del CDA, ya que a mayores dosificaciones, menor es el CDA y por lo tanto, se puede limitar la respuesta productiva (Campbell *et al.*, 1988; Smith y Kasson, 1991). Además, la máxima respuesta biológica alcanzable con STp, se puede obtener reduciendo hasta en 25% la dosificación cuando los cerdos se mantienen con un CDA restringido (Steele *et al.*, 1995). Los efectos de STp dependen de la dosis utilizada; la cual podrá ser diferente, dependiendo del criterio de respuesta que se desee mejorar (Etherton *et al.*, 1987; Thiel *et al.*, 1993; NRC, 1994), ya que las dosis óptimas difieren de las necesarias para una respuesta máxima.

Para la ganancia diaria de peso (GDP) y la eficiencia alimenticia (GxC), la dosis óptima parece ser de 3 mg-cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>; mientras que la máxima respuesta, se obtiene con 6 mg (McLaren *et al.*, 1990). McNamara *et al.* (1991) evaluaron la respuesta de cerdos entre 102 y 136 kg a diferentes dosis de STp, encontrando la mejor respuesta con 3 mg-cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> (GDP, +20%; GxC, +37%; reducción en el CDA, -10.4%). Por lo tanto, la respuesta al uso de STp, estará dada en función de la dosificación utilizada y de la disponibilidad de nutrimentos que satisfagan los requerimientos del cerdo. Así, el mejor uso de STp en la producción comercial de cerdos, dependerá de la precisión con que se estime la capacidad de respuesta de los animales, en función del CDA y de la dosificación utilizada, del potencial de crecimiento magro y de la precisión en la formulación de la dieta para satisfacer las demandas.

## Hipótesis

Dado que la STp interactúa con la dieta y su consumo, mediante un ensayo de dosificación de STp y densidad de nutrimentos en la dieta, es factible discernir la opción más efectiva y rentable para su uso comercial en cerdos de finalización.

## Objetivo

Titular la respuesta a dosis crecientes de STp para cerdos en finalización, variando la relación lisina : energía de la dieta, para determinar las tendencias de respuesta a fin de facilitar el cálculo de los niveles más adecuados en función del comportamiento productivo, de la ganancia diaria de tejido magro y del mérito de la canal.

## Materiales y métodos

Este experimento se llevó a cabo en la misma época y granja del experimento dos, por lo que únicamente se mencionarán en esta sección, lo particular en este trabajo.

**Tratamientos y diseño experimental:** para realizar el ensayo de dosificación y densidad de nutrientes, se manejaron tres diferentes dosificaciones de STp (0, 3 y 6 mg-cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>) y tres dietas con diferente relación lisina:energía (1.87, 2.31 y 2.76 g Lys/Mcal de EM). La respuesta se evaluó en dos sexos (machos castrados y hembras), alojados en un mismo corral, por lo que, dependiendo de la variable de respuesta, se tuvieron 9 (comportamiento productivo) ó 18 (composición corporal) tratamientos,

producto del arreglo factorial, en un diseño completamente al azar, con tres dietas x tres dosis y, en el caso de observaciones individuales, x dos sexos. Los datos se analizaron conforme al modelo descrito en los procedimientos de los Modelos Lineales Generales (GLM) del paquete de análisis estadístico SAS (SAS 1996). El análisis de varianza, se usó para detectar efectos mayores de los factores o de sus interacciones. En el caso de que los efectos mayores de dieta, sexo o dosis fueran significativos, se analizaron las tendencias de comportamiento por medio de coeficientes ortogonales y se generaron ecuaciones de regresión, mediante aproximaciones paso a paso (procedimiento Stepwise; SAS, 1996).

**Animales:** se usaron un total de 275 cerdos con un peso inicial promedio de  $100 \pm 2.3$  kg, todos del mismo grupo genético (ver Capítulo 2) y de dos grupos de parición, con edad y peso similares. Los animales se distribuyeron uniformemente en 18 corrales, manteniendo dentro de cada corral, una proporción similar entre hembras y machos castrados; posteriormente, se asignó de forma aleatoria cada corral a uno de nueve tratamientos y luego de 28 días los animales fueron sacrificados en un rastro y empacadora TIF.

**Dietas experimentales y alimentación:** para la formulación de las dietas, se tomó en consideración principalmente la capacidad de consumo y la tasa crecimiento magro en la granja, además, se hicieron cálculos sobre la posible respuesta de los animales por efecto de las diferentes dosificaciones de STp, lo cual incluía reducciones en el consumo de alimento e incrementos en la ganancia diaria de tejido magro, usando para ello el modelo matemático del NRC (1998), con las ecuaciones propias de la población de cerdos en cuestión (ver Capítulo 2). Las relaciones lisina:energía (1.9, 2.3 y 2.8 g Lys/Mcal de EM), se establecieron para llenar las demandas de aminoácidos a tres supuestos de ganancia diaria de tejido magro libre de grasa, con un consumo voluntario de alimento anormalmente bajo ( $\approx 2.4$  kg·cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>).

Así, se formularon tres dietas experimentales (Cuadro 1): una de ellas, para satisfacer los requerimientos de los animales conforme a la GDP y tasa crecimiento magro, previamente medidas en la misma granja (DB); otra, fue una dieta intermedia (DM), más densa en nutrimentos, que se formuló adaptando las recomendaciones de King *et al.* (2000) a la curva de crecimiento de los animales en la granja, a su capacidad de consumo de alimento, así como por la esperanza de respuesta a la diaria inyección de 3 mg de STp (con un supuesto de incremento en la ganancia de tejido magro del 15%, equivalente a 340 g·día<sup>-1</sup>). La tercera dieta, tuvo la mayor densidad de nutrimentos (DA) y se formuló de forma similar a la dieta intermedia, pero considerando la respuesta de los animales a una dosis de 6 mg de STp (con la esperanza de una ganancia de tejido magro de 394 g·día<sup>-1</sup>).

A pesar de que las dietas tuvieron una diferente relación lisina : energía, las proporciones entre la lisina y el resto de los aminoácidos (al menos para los 4 primeros limitantes) se trató de mantener lo más similar posible (Cuadro 1) conforme a un patrón de Proteína Ideal (digestibilidad ileal verdadera) para cerdos en finalización (Baker, 1993; Cuarón, 1996).

**Somatotropina porcina:** la hormona utilizada en este experimento, se reconstituía a partir de su forma liofilizada, por lo que para preparar la dosis de 3mg, se hacía una primera dilución de una pastilla de 1 g, reconstituyéndola en 20 ml de solución fisiológica estéril (solución madre) y se tomaban de esta solución, 12 ml que se diluían nuevamente con 188 ml. Para la dosis de 6 mg, se tomaban 24 ml de la solución madre y se hacía una segunda dilución en 176 ml de solución fisiológica.

**Medición de los cambios en la composición corporal y características de la canal:** el crecimiento se midió por 28 días, evaluando los cambios en la composición corporal de los animales, con un aparato de ultrasonido en tiempo real (ver Capítulo 2). Para esto, se aretaron 108 animales (al azar, en cada corral, 3 cerdos de cada sexo), mismos a los que se les dio seguimiento al final del experimento en rastro, para conocer su rendimiento y las características de la canal con un equipo de ultra sonido especial para la evaluación de canales (Ultra-FOM), según se describió previamente (ver Capítulo 2). Además de la evaluación con el Ultra-FOM, se evaluó en las canales la conformación corporal (grasa dorsal y área del ojo de la chuleta) en una sub-muestra 54 animales (3 por tratamiento). Para evitar la presencia de efectos confundidos por diferencias en el tamaño corporal, se evaluaron animales representativos de cada tratamiento, con un peso similar a la media de todos los animales.

## Resultados

**Comportamiento productivo:** el peso inicial de los animales fue de  $100.0 \pm 2.3$  kg y luego de 28 días fue de  $121.5 \pm 4.6$  kg, en ninguno de los dos casos hubo diferencias entre tratamientos ( $P > 0.3$ ). El CDA, se redujo (Cuadro 2) por efecto de la dosis de STp (10% con 3 mg y 18% con 6 mg;  $P < 0.001$ ) y por la mayor densidad de la dieta (8% con DM y 15% con DA;  $P < 0.001$ ). Esta respuesta puede ser explicada por una regresión múltiple en la que, a medida que se incrementa la densidad de la dieta (DD), numéricamente equivalente a los gramos de lisina por Mcal de energía metabolizable (i.e.: DB 1.9, DM 2.3 y DA 2.8 g Lys·Mcal EM<sup>-1</sup>), o los miligramos de STp (0, 3 y 6), el consumo se reduce (Gráfica 1):

$$\text{CDA} = 3.4975 - (0.08764 \times \text{Dosis}) - (0.10985 \times (\text{Lisina: Energía})^2)$$

( $P < 0.001$ ;  $R^2 = 83\%$ ).

Al analizar el consumo diario de nutrimentos (Gráficas 2 y 3), se observó que debido a las diferencias en consumo y por el esquema de formulación de las dietas, al aumentar la DD, se redujo el consumo diario de energía y se incrementó el de lisina: DB = 9.12 y 17.67; DM = 8.58 y 19.81 o DA = 7.89 Mcal·día<sup>-1</sup> y 21.76 g de Lys·día<sup>-1</sup>.

Debido al menor CDA, que se tuvo al incrementar la dosificación de STp, el consumo de energía y de lisina se fue reduciendo a cada incremento en la dosificación: 0 mg = 9.39 y 21.74; 3 mg = 8.53 y 19.75 o 6 mg = 7.67 Mcal·día<sup>-1</sup> y 17.75 g de Lys·día<sup>-1</sup>. Al aumentar la DD sin STp, se deprimió el CDA, reduciendo el consumo de energía y aumentando el de lisina: DB = 9.96 y 19.30; DM = 9.44 y 21.77 o DA = 8.76 Mcal·día<sup>-1</sup> y 24.16 g de Lys·día<sup>-1</sup>. Lo mismo ocurrió con el uso de 3 mg de STp: DB = 9.12 y 17.67;

DM = 8.59 y 19.83 o DA = 7.89 Mcal·día<sup>-1</sup> y 21.76 g de Lys·día<sup>-1</sup>, como con la diaria inyección de 6 mg de STp: DB = 8.28 y 16.04; DM = 7.73 y 17.85; y DA = 7.02 Mcal·día<sup>-1</sup> y 19.37 g de Lys·día<sup>-1</sup>.

La GDP se incrementó por STp en un 10% (P < 0.07; Cuadro 2); además, se observó un efecto de sexo, debido a que las hembras ganaron 7% menos (747 vs. 804 g; P < 0.06) que los machos castrados.

La eficiencia alimenticia (GxC) mostró los efectos de dosis y de DD. La diaria inyección de STp mejoró la eficiencia en un 15 y 34% respectivamente para las dosis de 3 y 6 mg (P < 0.001). Por la DD, las mejoras fueron del 5 y del 16% para DM y DA (P < 0.001). En resumen, la respuesta de los animales a la dosis de STp y a la relación lisina:energía de la dieta, bien se describe con la siguiente ecuación:

$$GxC = 0.19422 + 0.01437 \times (\text{Dosis}) + 0.01077 \times (\text{Lisina:Energía})^2$$

(P < 0.001 y R<sup>2</sup> = 84.4%).

En esta función cuadrática, la respuesta de los animales se describe en la porción lineal de la curva (Gráfica 4) donde, en forma aditiva, la eficiencia aumenta con cada incremento de la dosis de STp o de la DD.

**Observaciones generales:** la conducta de los animales se modificó desde la primera semana en tratamiento. Los patrones generales de actividad en los animales tratados con STp se redujeron, tendían a estar echados por más tiempo y se apreciaron menos visitas al comedero que los animales no inyectados. Durante el transcurso de la prueba, murieron cinco animales y otro más debió ser retirado del experimento (Cuadro 3): cuatro animales murieron con un cuadro de sangrado estomacal idéntico a los descritos en el Capítulo dos y todos fueron de los grupos tratados con 6 mg/d de STp; la quinta muerte sucedió por un cuadro neumónico agudo que, coincidentemente, fue de uno de los animales tratados con 6 mg de STp. El animal retirado del experimento mostró un proceso poliartritico que difícilmente se puede ligar a los efectos del tratamiento con 3 mg de STp.

Durante el experimento, fue patente la presencia de problemas sub-clínicos del síndrome respiratorio. Esto fue más evidente al sacrificio, ya que al observar las vísceras en el rastro se constató la presencia de severas lesiones crónicas (compactación asociada a micoplasmosis) en los pulmones de más del 20% de los animales y en algunos casos, estas lesiones afectaron más del 30% de los pulmones; en algunos pulmones, se identificaron lesiones asociadas a *Actinobacillus pleuropneumoniae* (Ross, 1999). Al observar los estómagos, se constató la presencia en varios de ellos de lesiones ulcerosas, así como de hemorragias leves y erosiones de la mucosa, principalmente en la región pilórica y del cardias. Sin embargo, no se pudo cuantificar de ninguna forma objetiva la incidencia de estas lesiones.

**Composición corporal (ultrasonido en tiempo real):** el cambio en la profundidad de la grasa dorsal (Cuadro 4), fue linealmente menor ( $P < 0.001$ ) por efecto de STp, 67% con la dosis de 3 mg y negativo (-6.9%) con la dosis de 6 mg. En las hembras fue 55% menor ( $P < 0.06$ ) que en los machos (0.9 vs. 2.0 mm; EEM = 0.39). En cambio, la profundidad del músculo gran dorsal (Cuadro 4) se incrementó, STp y dieta interactuaron ( $P < 0.001$ ): sin STp, la DD incrementó la profundidad (7.9, 5.7 y 12.7 mm), pero con STp, independiente de la dosis, el efecto fue contrario (15.8, 7.2 y 6.5 mm).

La ganancia diaria de tejido magro libre de grasa, se incrementó linealmente por efecto de STp en 25 y 30% respectivamente para 3 y 6 mg ( $P < 0.001$ ) y se redujo cuadráticamente por efecto de la DD, i.e.: DM = -16%, y DA = -9.6% ( $P < 0.01$ ; Cuadro 4). Así, el tejido magro libre de grasa expresado como porcentaje del peso vivo, respondió en una interacción entre STp y DD ( $P < 0.05$ ); sin STp, al incrementar la DD aumentó el porcentaje de magro en un 2.4%, pero cuando se aplicó STp, no se observó ningún cambio por efecto de dieta ( $P > 0.4$ ). La respuesta a la inyección diaria de STp (Cuadro 4) fue claramente lineal ( $P < 0.001$ ), ya que al utilizar la dosis de 3 mg, se incrementó en 1.37 unidades porcentuales (equivalente a 3.6%) y con la dosis de 6 mg, el aumento fue de 2.47 unidades porcentuales (6.6%). Las hembras fueron 2.4% más magras que los machos (38.9 vs. 38.0%; EEM = 0.23;  $P < 0.01$ ).

**Composición corporal (mediciones en canal):** la grasa dorsal a nivel de la línea media (Cuadro 6), solo difirió por efecto del sexo: fue 9% menor en las hembras (2.55 vs. 2.80 cm,  $P < 0.05$ ); pero en  $P_2$ , se redujo linealmente por la dosis de STp ( $P < 0.05$ ). Además, el sexo interactuó con la dosis de STp ( $P < 0.08$ ), debido a que en las hembras no existieron diferencias, pero en los machos conforme se incrementó STp, se redujo la grasa (Gráfica 5) así, cuando no se usó STp, los machos depositaron 57% más grasa que las hembras; con 3 mg, la diferencia solo fue 16% y con 6 mg, del 11%.

La profundidad del músculo gran dorsal (Cuadro 6), a nivel de la décima costilla en  $P_2$ , mostró un efecto lineal de STp ( $P < 0.02$ ) al incrementarse en 7 y 10% respectivamente para 3 y 6 mg, pero STp aumentó el área del ojo de la chuleta de forma cuadrática (37.22; 43.97 y 39.05 cm<sup>2</sup>;  $P < 0.002$ ). Las hembras tuvieron 8.6% mayor área que los machos castrados (41.74 vs. 38.43 cm<sup>2</sup>; EEM = 1.15;  $P < 0.05$ ).

El peso de los cortes primarios (Cuadro 6 y Gráfica 6) respondió en una interacción entre STp y DD ( $P < 0.02$ ): cuando no se utilizó STp, al incrementar la DD se redujeron (52.0, 49.8 y 47.6 kg), con 3 mg la reducción fue de menor magnitud (51.25, 49.86 y 49.90 kg) y con 6 mg se revirtió el efecto (49.15, 49.41 y 51.5 kg). El porcentaje del jamón en la canal (Cuadro 5), se incrementó en 3 y 3.9% respectivamente cuando se usaron 3 y 6 mg de STp ( $P < 0.001$ ). Las hembras produjeron 2.2% más (14.69 vs. 14.37%;  $P < 0.05$ ) jamón que los machos castrados.

**Composición corporal (Ultra FOM):** la inyección diaria de STp redujo el peso estimado de la grasa en la canal ( $P < 0.001$ ), con dosis de 3 mg en el 17% y con 6 mg en 19% (Cuadro 5). Las hembras tuvieron 12% menos grasa que las de los machos castrados ( $P < 0.01$ ). El peso del tejido magro en la canal, fue 3% superior por STp ( $P < 0.001$ ), las hembras produjeron 2% más tejido magro que los machos castrados

( $P < 0.01$ ). Al comparar estos resultados con los de las mediciones en tiempo real o directas en la canal, éste automatizado de ultrasonido (de tipo A) para la evaluación de las canales subestimó el mérito del producto de las hembras o por el tratamiento con STp.

## Discusión

Independientemente de las causas y su posible asociación con el tratamiento con STp, la mortalidad (2% de la población inicial) indica la presencia de problemas infecciosos, los que redundaron en la muestra en un CDA y GDP inferiores a la esperanza de comportamiento para esta población (Castañeda y Cuarón, 2001).

Los problemas de úlceras estomacales asociados al tratamiento con STp no son una novedad, Smith y Kasson (1991) los describieron y asociaron a una sobredosificación (60 a 120 micro gramos-kg de cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>) de STp. Sin embargo, las úlceras gástricas son de etiología múltiple con muchos factores de riesgo asociados, entre otros, destacan las enfermedades respiratorias (que aumentan la incidencia y severidad en 9 a 12 veces) y fallas en el consumo de alimento (Friendship, 1999). El problema de úlceras gástricas se ha venido agravando y se asocia a la prevalencia de poblaciones más magras, con menor capacidad de consumo y al uso de dietas más procesadas (fineza y variabilidad en el tamaño de la partícula), tanto que la información resumida por Friendship (1999) da la incidencia de problemas como muy variable: del 5 al 100% de las poblaciones estudiadas. Berruecos y Robison (1972) encontraron una asociación genética, mostrando diferentes incidencias entre razas. La infección con *Helicobacter pylori* (su presencia en humanos predispone a una incidencia de ulceraciones gástricas del 40 al 80%; al erradicarse, la incidencia baja a un máximo del 4%) no debe descartarse, aún cuando no se conoce su comportamiento en cerdos (Friendship, 1999). Este breve análisis de las posibles causas de las muertes por ulceración del estómago coinciden en indicar que el uso de dosis altas de STp puede actuar como factor detonante pero, aparentemente, no es un efecto directo del tratamiento con la hormona. Como se sugirió antes (ver Capítulo 2), cuando se trabaje en condiciones adversas, como en este caso, la magnitud de la dosis deberá considerar además la posibilidad de licitar este tipo de problemas.

A pesar del bajo consumo de alimento en los grupos control (2.9 kg·día<sup>-1</sup>), los efectos de la inyección diaria de STp resultaron en una progresiva disminución del CDA: 10 o 20% por el uso de 3 o 6 mg·cerdo<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>. La disminución porcentual del consumo es muy consistente con los hallazgos de otros trabajos en los que se usaron dosificaciones similares (Etherton *et al.*, 1987; Mc Laren *et al.*, 1990; King *et al.*, 2000). Sin embargo, debe subrayarse que el consumo de los cerdos en los grupos control (sin STp) fue muy bajo, cuando menos 10 a 15% menor a lo registrado en otras condiciones de trabajo (Castañeda *et al.*, 2001).

Sin duda la DD contribuyó a reducir la media del CDA; al incrementar (exceder) el nivel de lisina en la dieta se reduce el consumo linealmente, entre otros porque se incrementa la producción de calor (Just, 1982; Johnston *et al.*, 1993; Castañeda *et al.*,

2001). Sin embargo, en relación al tratamiento con STp, es importante notar que generalmente la respuesta a la inclusión de lisina en las dietas, usando dosis similares de STp, es cuadrática ya que el consumo aumenta desde niveles deficitarios de lisina (provocados por el aumento en la síntesis de proteína inducida por STp), para luego reducirse cuando se alcanzan excesos (Goodband *et al.*, 1993; King *et al.*, 2000); en los niveles aquí probados, la reducción fue lineal ( $P < 0.001$ ), lo que posiblemente sea un indicio de que los niveles de lisina o la relación lisina : energía en la dieta, fueron superiores a los requeridos, aún con los efectos de la inyección diaria de STp.

Quizá porque el consumo fue bajo y porque las reducciones en el CDA fueron similares a las de otros trabajos, la GDP se incrementó en menor proporción (65 a 88%) a los beneficios logrados por otros autores (Mc Laren *et al.*, 1990; McNamara *et al.*, 1993; Johnston *et al.*, 1993). Esto, junto con los datos del consumo y los hallazgos de problemas respiratorios subclínicos, hacen pensar que la respuesta animal estuvo limitada por problemas sanitarios, lo cual es una situación común, dado que la exposición a patógenos, resulta en la producción de citocinas que provocan una reducción en el CDA, en la conversión alimenticia y en el crecimiento muscular (Spurlock *et al.*, 1997; Balaji *et al.*, 2000; ver Capítulo 2). Esto lleva a la reflexión de que no solo el estatus nutricional juega un papel crítico en el mantenimiento de un estado metabólico, en el que el animal pueda responder a un modificador metabólico externo (Davis y Reeds, 1999), si no que, será preponderante considerar todos aquellos factores ambientales que puedan limitar el consumo de los animales y por ende su respuesta a la STp.

Generalmente se piensa que incrementar la DD, es una alternativa para corregir el deficiente consumo de nutrimentos cuando el CDA se reduce, como al utilizar STp (Goodband *et al.*, 1993). Sin embargo, en este experimento el planteamiento de las dietas lo invalidó. Se pudo corregir el consumo de proteína y lisina, pero con la energía, conforme se incrementó la DD, el CDA se redujo, provocando que los animales que tuvieron el menor consumo de energía, tuvieran el mayor consumo de proteína y lisina (Gráficas 2 y 3).

El incrementar los niveles de proteína en la dieta por arriba del requerimiento animal, encarece el costo de las raciones e incrementa la contaminación ambiental por nitrógeno (Yen *et al.*, 1983). Visto de otra forma, satisfechos los requerimientos de aminoácidos, el reducir la concentración de proteína en una dieta para cerdos, tiene repercusiones metabólicas positivas (Tuitoek *et al.*, 1997; NRC, 1998), ya que reduce la cantidad de aminoácidos que se deberán desaminar por estar en exceso y por ende los gastos energéticos generados por la excreción de urea por la orina; además, disminuye la tasa de recambio proteico y por ende, la producción de calor, por lo que se incrementa la energía disponible para la deposición de tejidos (Just, 1984; Hahn *et al.*, 1995; Le Bellego *et al.*, 2001).

Es claro que la desproporción en la relación entre la proteína y (o) la lisina con la energía consumida contribuyó a reducir el CDA, provocando que el animal no alcanzara a consumir la energía necesaria para el sustento de la demanda para una mayor tasa de crecimiento (Robles y Ewan, 1982; Just 1982; Campbell *et al.*, 1991; Steele *et*

*al.*, 1995). Entonces la respuesta a la diaria inyección de STp fue hasta donde el aporte de energía fue suficiente para soportar la síntesis proteica, después de metabolizar los excesos de nitrógeno (Just, 1984; Le Bellego *et al.*, 2001).

Contrario a lo que se esperaría cuando se incrementa la densidad energética de la dieta, con STp, las mediciones de grasa dorsal no mostraron ningún efecto de dieta, únicamente de la dosis y de sexo. Esto corrobora la idea de que los animales consumieron menos energía de la que podían utilizar para crecimiento, lo que coincide con el cambio negativo de la grasa dorsal en el tratamiento con 6 mg de STp. Si bien es cierto que la STp tiene un efecto facilitador de la lipólisis (Etherton y Bauman, 1998; Wang *et al.*, 1999), su impacto en la composición corporal es más de la movilización para satisfacer una demanda aumentada de energía (Etherton *et al.*, 1987; Hansen *et al.*, 1997b). Por ejemplo, en este trabajo, la profundidad de la grasa dorsal a nivel de la línea media no varió entre tratamientos, pero sí al nivel de P<sub>2</sub>. De forma similar a lo ocurrido en el primer experimento (Capítulo 1), la proporción de cambio en el contenido de grasa entre los diferentes compartimientos corporales no es igual, por ejemplo, en la grasa interna (i.e., en el unto) los cambios son más bruscos en el corto plazo, debido a que tiene una mayor actividad metabólica (Christon, 1988; Noblet *et al.*, 1999), luego se alterarán otros depósitos hacia la periferia y finalmente se evitará o disminuirán los depósitos de grasa dorsal. Por lo tanto, las mediciones de en el P<sub>2</sub> vs. sobre la línea media son más sensibles para evaluar los cambios en composición corporal cuando se trabaja con animales en la última etapa de la finalización y en periodos de tiempo relativamente cortos. Schinckel *et al.* (2001) encontraron una correlación mayor entre la cantidad de grasa en la canal y la grasa dorsal, cuando las mediciones se hicieron en el punto P<sub>2</sub> ( $r = 0.80$ ), que sobre la línea media ( $r = 0.69$ ).

Aún cuando la reducción de la grasa corporal es una característica deseable, el objeto de la aplicación de STp es el de aumentar la producción de la masa de músculo esquelético. Por lo tanto, si se midiera la respuesta a la inyección de STp en los términos de la reducción de grasa dorsal se podría cometer un grave error, porque limitar la energía disponible, puede prevenir la mayor tasa de crecimiento magro. En este trabajo, las mejores tasas de crecimiento magro (Cuadro 4) y, por ende, las mejores producciones del mismo tejido, se tuvieron cuando se usó cualquiera de las dosis de STp, pero con las dietas con menor DD. Finalmente, la DD impidió la expresión del mayor crecimiento magro, quizá porque se limitó la oferta de energía disponible.

Las interacciones entre la dosis de STp y la dieta ( $P < 0.05$ ), que se observaron en la profundidad del músculo gran dorsal y en el tejido magro libre de grasa como porcentaje del peso vivo, indican que los animales tuvieron la capacidad de responder a un mayor aporte de proteína o lisina en la dieta, ya que sin STp, la DD aumentó el crecimiento muscular, pero cuando se incrementó la dosis de STp, el efecto de la mayor DD fue contrario, lo que sugiere que la magnitud de respuesta, estuvo en función de la disponibilidad de energía. En general, STp redujo el consumo de energía y la deposición de grasa, pero también incrementó la respuesta en crecimiento magro linealmente, por lo que se puede inferir que STp redireccionó el uso de la energía favoreciendo la ganancia de magro sobre la de grasa (Wray-Cahen *et al.*, 1995; Roberts

y Azain, 1997; Vann *et al.*, 2000), compensando así las fallas por el CDA. Entonces, los efectos del medio (en este caso preponderantemente las infecciones del síndrome respiratorio, como se discutió antes), limitaron la respuesta de los animales a la STp, por lo que la demanda total de aminoácidos fue menor.

Si se compara el requerimiento de lisina digestible (en gramos por día), necesario para mantener una determinada ganancia diaria de tejido magro libre de grasa, en cerdos de 107 kg de peso vivo, conforme al modelo del NRC (NRC, 1998), con la ganancia diaria de magro que en promedio se obtuvo dentro de cada dieta: DB, 300; DM, 250 y DA, 270 g, el requerimiento de lisina según NRC debió ser: 15.3, 12.94 y 13.92 g·día<sup>-1</sup>, cuando en realidad el consumo fue: 17.3, 19.7 y 21.96 g Lys día<sup>-1</sup>; por lo que es claro que la DM y la DA, excedieron el requerimiento cuando menos en el 50% por el aporte de lisina. Si se repite este ejercicio pero, comparándolo con el consumo de lisina y la ganancia de magro que se tuvo en promedio por nivel de dosis de STp: 0 = 21.74 y 232; 3mg = 19.75 y 290; 6mg = 17.75 g Lys·día<sup>-1</sup> y 300 g de tejido magro libre de grasa por día, el nivel menos excedido en lisina fue el de 6 mg (16%), seguido por 3 mg (33%) y sin STp fue el más excedido (79.5%) por haber tenido la menor ganancia de magro, sin embargo, en general, todos consumieron más lisina de la que requerían.

Reiteradamente, las máximas ganancias diarias de magro fueron las obtenidas con la DB en 3 y 6 mg (327 y 329 gramos de magro por día), estos grupos fueron los que más se aproximaron al requerimiento calculado con el modelo del NRC (1998), siendo en el grupo de 3 mg y DB el consumo diario de lisina 6% superior y en el de 6 mg DB 4% inferior a lo recomendado por el modelo. Por lo tanto, se puede deducir que en la formulación de las dietas, se incurrió en excesos de lisina o proteína, por lo que los animales debieron gastar energía para eliminarla (Le Bellego *et al.*, 2000), de forma similar a lo ocurrido en el trabajo de King *et al.* (2000), donde los excesos de lisina, además de reducir el CDA, limitaron el crecimiento de tejido magro y la acumulación de grasa de una forma cuadrática (obteniendo la menor respuesta en los niveles deficientes y en los excesivos).

Debe ser claro entonces que los excesos de nitrógeno, son un factor negativo y aditivo a la depresión del consumo por STp y que deficiencias de aminoácidos podrán impedir la expresión de la mejor respuesta a STp, por lo que en la práctica los niveles de lisina y proteína en las dietas para cerdos tratados con STp deberán calcularse en función de la respuesta que el medio permita. Dicho de otra forma, el desarrollo de programas de alimentación para cerdos tratados con STp, exige la ponderación de la capacidad de respuesta de la población. Debido a que STp promueve una mejor eficiencia de uso de los aminoácidos para la síntesis de proteína, es probable que deficiencias marginales sean de menor trascendencia que excesos en la misma proporción. Caperna *et al.* (1991) tuvieron resultados similares en la eficiencia del uso de la proteína al ir incrementando los niveles del 11 al 27%. Este efecto fue independiente del uso o no de STp.

Los efectos de dieta y STp, fueron más notorios cuando se analizó el comportamiento del peso de los cortes primarios (Gráfica 6). Al incrementar la DD sin STp, se redujo linealmente el peso de los cortes primarios, pero cuando se utilizó STp, la energía de la

dieta probablemente se destinó a promover el crecimiento magro (y no el graso), por lo que al incrementar la DD, no solo se deprime la caída en el peso de los cortes (3 mg), si no que además al usar una dosis mayor de STP (6 mg), se incrementó la producción de cortes primarios.

El ensayo de dosificación y dietas que se realizó, muestra un complejo mosaico de interacciones, las cuales variarán entre explotaciones ya que la respuesta será diferente según la población y el ambiente con que se trabaje; la respuesta en los animales, se podrá modificar de acuerdo a las condiciones económicas presentes en determinado momento, por lo que el uso de herramientas como STp, requieren de un análisis continuo y dinámico, acorde a las condiciones de producción y mercado. Un análisis económico (Apéndice B) congruente con las características de cada explotación, mostrará la importancia de definir los objetivos de producción (dosificación, tipo de dieta, venta de cerdos en pie, en canal o venta de cortes).

## **Conclusiones**

La presencia de enfermedades subclínicas durante la finalización de cerdos tratados con STp, no negó la respuesta animal al tratamiento, pero es un factor que limitó la magnitud de respuesta.

El uso de STp mejora la eficiencia alimenticia, promueve el crecimiento del tejido magro y reduce la proporción de grasa en la canal. Sin embargo, la respuesta a su uso está influida por el CDA, por lo que, las estrategias para su utilización, se deberán fundamentar primero en el consumo y luego en la capacidad de crecimiento magro que expresen los animales, independientemente de su potencial.

Un ejercicio como el realizado en este experimento deberá de ser una rutina dentro de las explotaciones que busquen mejorar su eficiencia productiva y rentabilidad, ya que el análisis objetivo de la información, es una de las claves del éxito, puesto que solo a través del conocimiento integral de las características particulares de cada explotación, se logrará el uso eficiente de los recursos.

Cuadro 1.

**Composición de las dietas experimentales y perfil calculado de nutrimentos**

Dieta	Dieta Baja (DB)	Dieta Media (DM)	Dieta Alta (DA)
Ingredientes	Porcentaje de inclusión		
Maíz amarillo	83.45	78.23	69.58
Pasta de soya (47% PC)	7.60	13.80	21.10
Melaza	5.00	4.00	4.00
Calcio	1.05	1.05	1.05
Aceite de soya	-----	1.00	2.35
Pasta de Canola (35% PC)	1.10	-----	-----
Ortofosfato 21	0.65	0.65	0.60
Sal	0.29	0.31	0.31
Premezcla <sup>a</sup>	0.29	0.29	0.29
Lisina	0.16	0.17	0.17
Colina 60	0.05	0.05	0.05
Treonina	0.11	0.14	0.16
L/Triptosina	0.20	0.20	0.17
Metionina	0.05	0.11	0.17

<sup>a</sup> Premezcla: vitamina A 3,200,000 UI; vitamina E 12,000 UI; vitamina D3 600,000 UI; vitamina K3 800 mg; riboflavina 800 mg; cianocobalamina 8 mg; piridoxina 800 mg; tiamina 400 mg; nicotinamida 10 g; biotina 32 mg; ácido fólico 240 mg; pantotenato de calcio 6 g; cobre 4 g; selenio 120 mg; hierro 40 g; manganeso 15.49 g; zinc 40 g; yodo 280 mg; antioxidante 75.76 g.

Perfil calculado de nutrimentos

Energía			
Metabolizable (Mcal/kg)	3.20	3.25	3.30
Proteína cruda (%)	11.0	13.2	16.0
Lisina digestible (%)	0.61	0.75	0.92
Relación			
Lisina:Energía (g/Mcal)	1.91	2.31	2.79
Treonina digestible (%)	0.42	0.52	0.63
Triptofano digestible (%)	0.12	0.15	0.18
Metionina + Cistina (%)	0.45	0.56	0.68

**Comportamiento productivo de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina y alimentados con tres diferentes densidades de nutrimentos (relación lisina : energía)<sup>a</sup>**

Tratamiento	STP			Dieta <sup>*</sup>		Media	EEM <sup>b</sup>	Efectos Mayores	
	0 mg	3 mg	6 mg	DB	DM				DA
Peso inicial (kg)	100.0	100.1	99.7	101.7	100.3	97.9	100.0	2.3	ns
Peso Final (kg)	120.8	121.4	122.3	123.8	121.5	119.2	121.5	4.6	ns
Consumo diario de alimento (kg)	2.90	2.61	2.37	2.86	2.62	2.40	2.63	0.07	Dosis*** Dieta***
Ganancia diaria de peso (g)	728	806	794	786	771	770	781	25.8	Dosis + Sexo +
Eficiencia alimenticia	0.255	0.293	0.342	0.277	0.291	0.322	0.297	0.007	Dosis*** Dieta***

<sup>\*</sup> DB = 1.9; DM = 2.3 y DA = 2.8 g de Lys/Mcal de EM.

<sup>a</sup> Medias mínimo cuadráticas

<sup>b</sup> Error estándar de la media

ns= no significativo; <sup>+</sup> P < 0.7; \* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

**Animales muertos o retirados del experimento, según la fecha, tratamiento y causa**

Semana de la muerte	Dosis STp	Dieta	Sexo	Causa de la muerte o retiro	Observaciones
Segunda	6 mg	DB	Hembra	Sangrado estomacal	Ovario ciclando
Segunda	6 mg	DD	Macho	Neumonía muy severa	Aparente choque anafiláctico
Tercera	6 mg	DB	Macho	Sangrado estomacal	Grave Neumonía
Tercera	6 mg	DD	Hembra	Sangrado estomacal	
Cuarta	6 mg	DB	Hembra	Sangrado estomacal	Ovario ciclando
Tercera	3 mg	DB	Hembra	Abscesos en articulaciones	Se retiró de la prueba

Cuadro 4.

Composición corporal de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas. Las mediciones se hicieron con ultrasonido de tiempo real en P<sub>2</sub>. Interacción dosis x dieta <sup>a</sup>

STp	0mg			3mg			6mg			Media EEM <sup>b</sup>	Efectos Mayores	
	DB	DM	DA	DB	DM	DA	DB	DM	DA			
Ganancia en profundidad de la grasa en P <sub>2</sub> (mm)	3.87	4.12	4.65	1.50	1.17	1.46	-1.48	-0.28	-1.98	1.46	0.838	Dosis *** Sexo *
Ganancia en profundidad muscular (mm)	7.87	5.7	12.74	18.2	6.75	6.77	13.44	7.69	6.33	9.45	1.76	Dieta *** Dosis x Dieta ***
Ganancia diaria de tejido magro libre de grasa (g) <sup>c</sup>	244	212	241	327	258	283	329	285	287	275	16	Dosis *** Dieta **
Tejido magro libre de grasa como % del peso vivo	36.57	38.18	36.81	38.68	38.05	38.94	39.64	38.73	40.61	38.37	0.695	Dosis x Dieta * Sexo **

\* DB = 1.9; DM = 2.3 y DA = 2.8 g de Lys/Mcal de EM.

<sup>a</sup> Medias mínimo cuadráticas

<sup>b</sup> Error estándar de la media

<sup>c</sup> Efecto de dosis lineal P < 0.001; dieta cuadrático P < 0.01

\* P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

Cuadro 5.

Estimación de la composición corporal de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas, a partir de las mediciones hechas en rastro con un ultrasonido Ultra-FOM. Interacción dosis x dieta<sup>a</sup>

STp	0mg			3mg			6mg			Media	EEM <sup>b</sup>	Efectos Significativos
	DB	DM	DA	DB	DM	DA	DB	DM	DA			
Peso en canal (kg)	101.6	97.5	95.4	101.8	99.3	99.4	96.0	98.6	101.3	99.0	2.2	ns
Grasa en la canal (kg)	23.1	20.9	22.7	19.11	17.7	18.4	18.2	19.2	16.5	19.6	1.5	Dosis*** Sexo**
Tejido magro en la canal (kg)	48.5	49.3	48.8	50.0	50.7	50.5	50.4	50.0	51.2	49.9	0.56	Dosis*** Sexo**
Jamón % de la canal <sup>c</sup>	14.1	214.3	14.1	14.6	14.8	14.7	14.7	14.6	14.9	14.5	0.18	Dosis*** Sexo*

<sup>a</sup>DB = 1.9; DM = 2.3 y DA = 2.8 g de Lys/Mcal de EM.

<sup>b</sup> Medias mínimo cuadráticas.

<sup>c</sup> Error estándar de la media.

<sup>c</sup> Según la ecuación de Velázquez y Belmar, 1998.  
ns = no significativo; \*P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

Cuadro 6.

**Características de la canal de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas. Interacción dosis x dieta<sup>a</sup>**

STp	0mg			3mg			6mg			Media	EEM <sup>b</sup>	Efectos Significativos
	DB	DM	DA	DB	DM	DA	DB	DM	DA			
Grasa décima costilla línea media (cm)	3.0	2.4	2.7	2.7	2.6	2.8	2.8	2.6	2.5	2.7	0.15	Sexo*
Grasa décima costilla P <sub>2</sub> (cm)	2.3	1.6	1.9	1.7	1.7	1.4	1.6	1.6	1.3	1.7	0.22	Dosis* Sexo** Dosis x sexo <sup>+</sup>
Área del ojo de la chuleta (cm <sup>2</sup> )	37.0	38.3	36.3	42.7	40.8	48.3	40.5	37.1	39.6	40.2	2.6	Dosis** Sexo*
Profundidad del gran dorsal en P <sub>2</sub> , décima costilla (cm)	5.16	5.71	5.16	5.87	5.67	5.72	6.01	6.03	5.69	5.67	0.17	Dosis *
Peso de los cortes primarios en la canal (kg)	51.96	49.79	47.55	51.25	49.86	49.90	49.15	49.41	51.48	49.97	2.03	Dosis x Dieta *

\*DB = 1.9; DM = 2.3 y DA = 2.8 g de Lys/Mcal de EM.

<sup>a</sup> Medias mínimo cuadráticas.

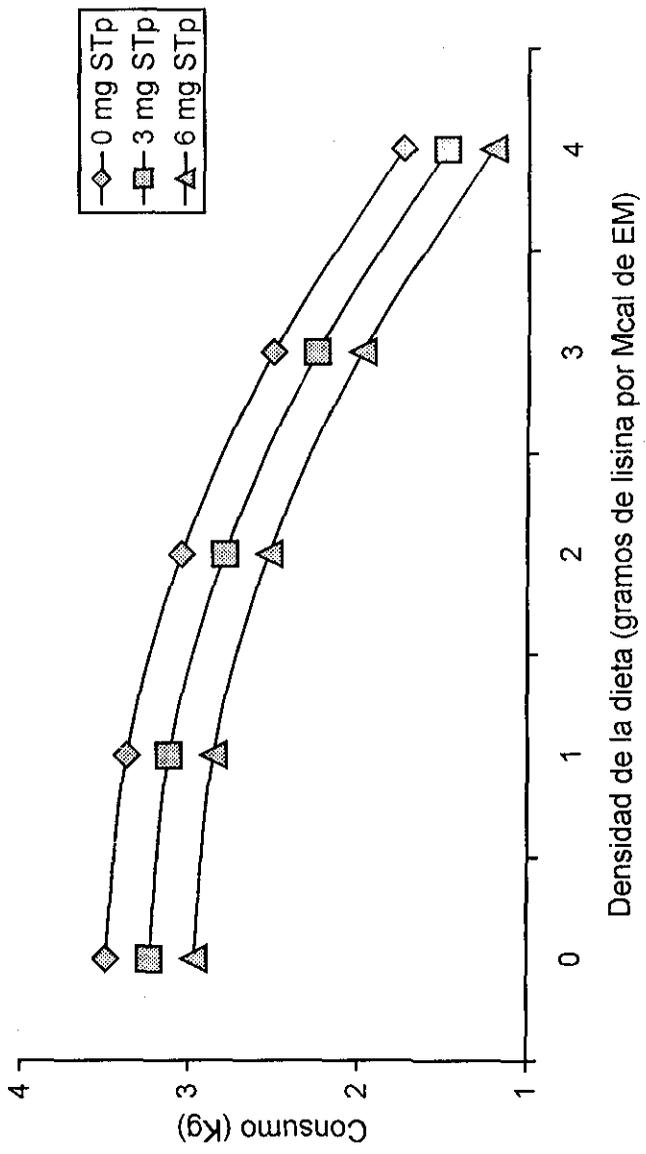
<sup>b</sup> Error estándar de la media.

\*P < 0.08; \*P < 0.05; \*\* P < 0.01; \*\*\* P < 0.001

Gráfica 1.

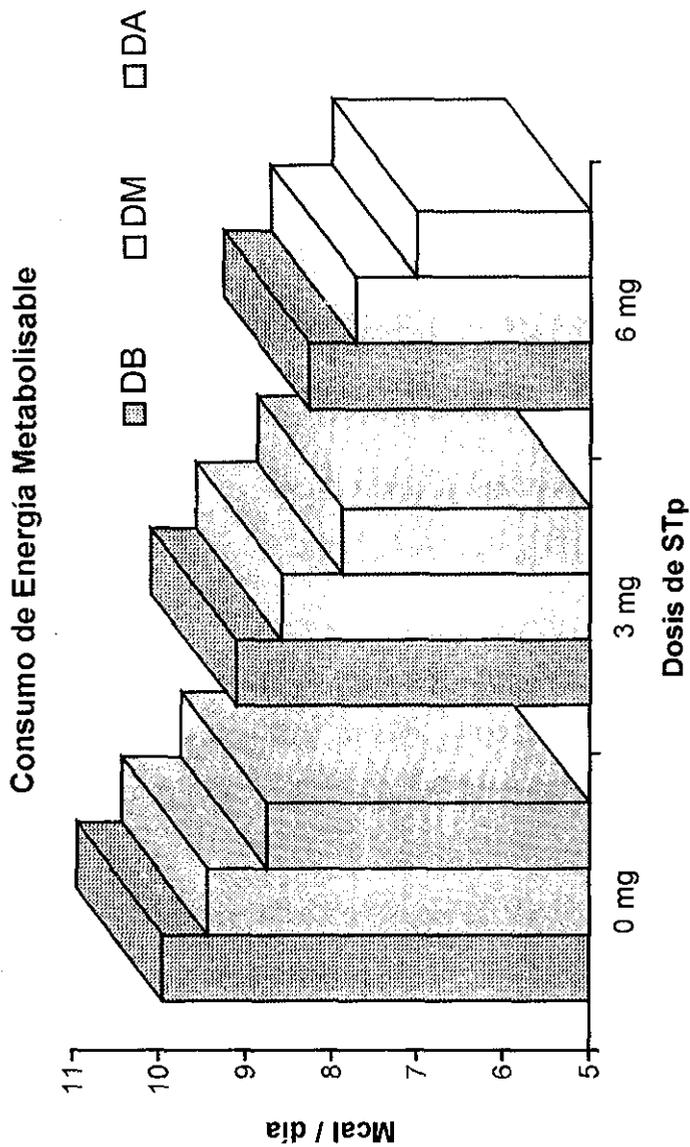
Consumo diario de alimento de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas de acuerdo con la ecuación:

$$CDA = 3.49749 - (0.08764 \times \text{dosis}) - [0.10985 \times (\text{Lys Ener})^2]. \quad (P < 0.001; R^2 = .81)$$



Gráfica 2.

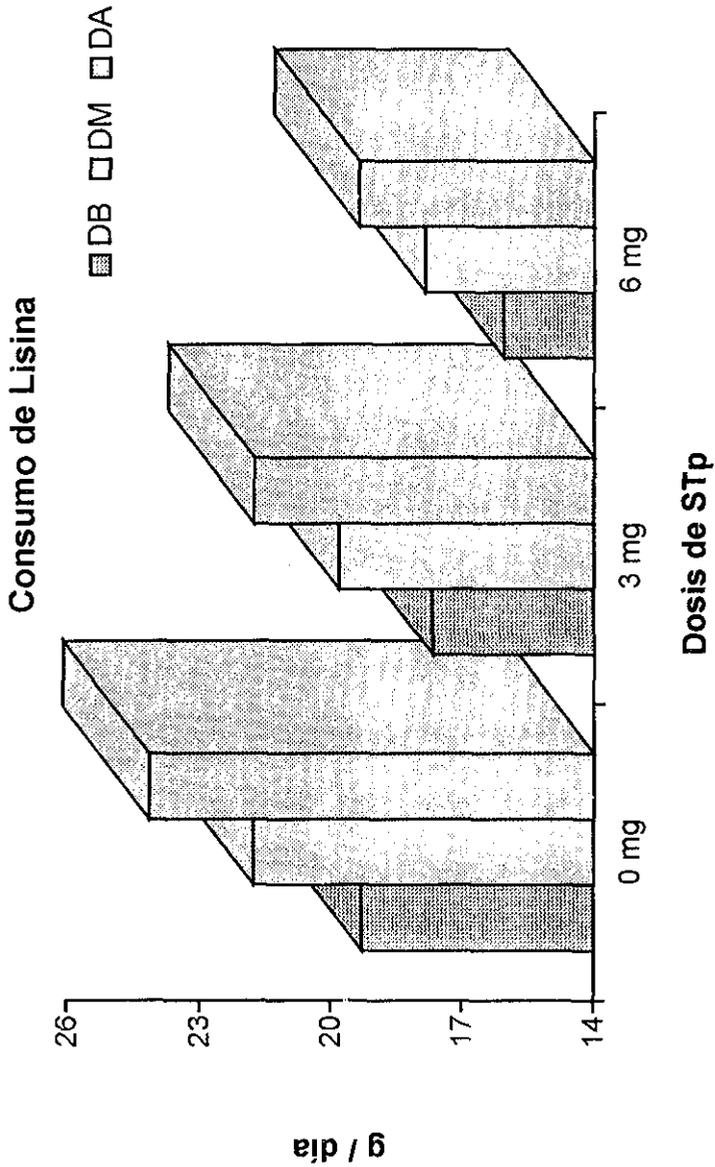
Consumo diario de energía metabolizable en cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 3.

Consumo diario de lisina digestible en cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas

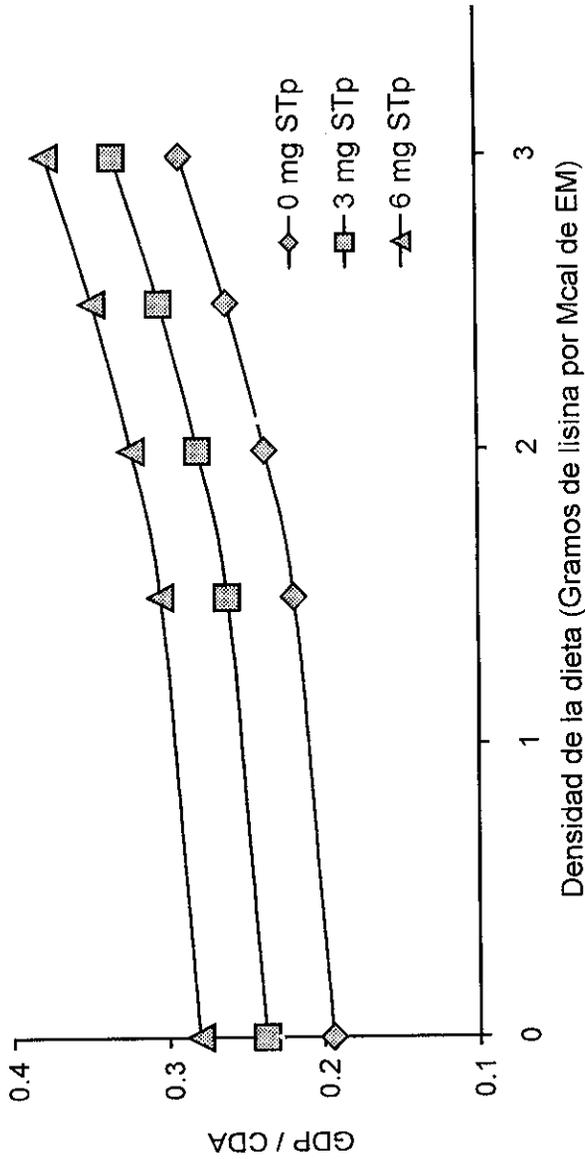


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 4.

Eficiencia alimenticia de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas de acuerdo con la ecuación:

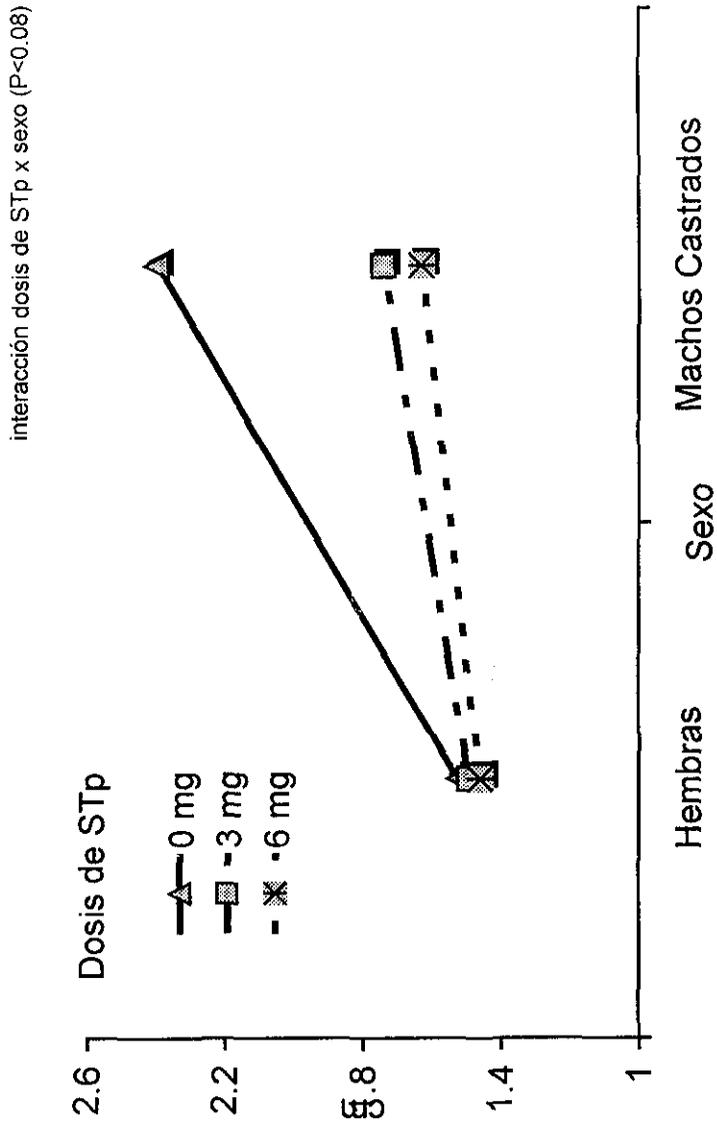
$$G \times C = 0.1942 + (0.01437 \times \text{Dosis}) + (0.01077 \times \text{Lys:Ener2}) \quad (P < 0.001; R^2 = 84\%)$$



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 5.

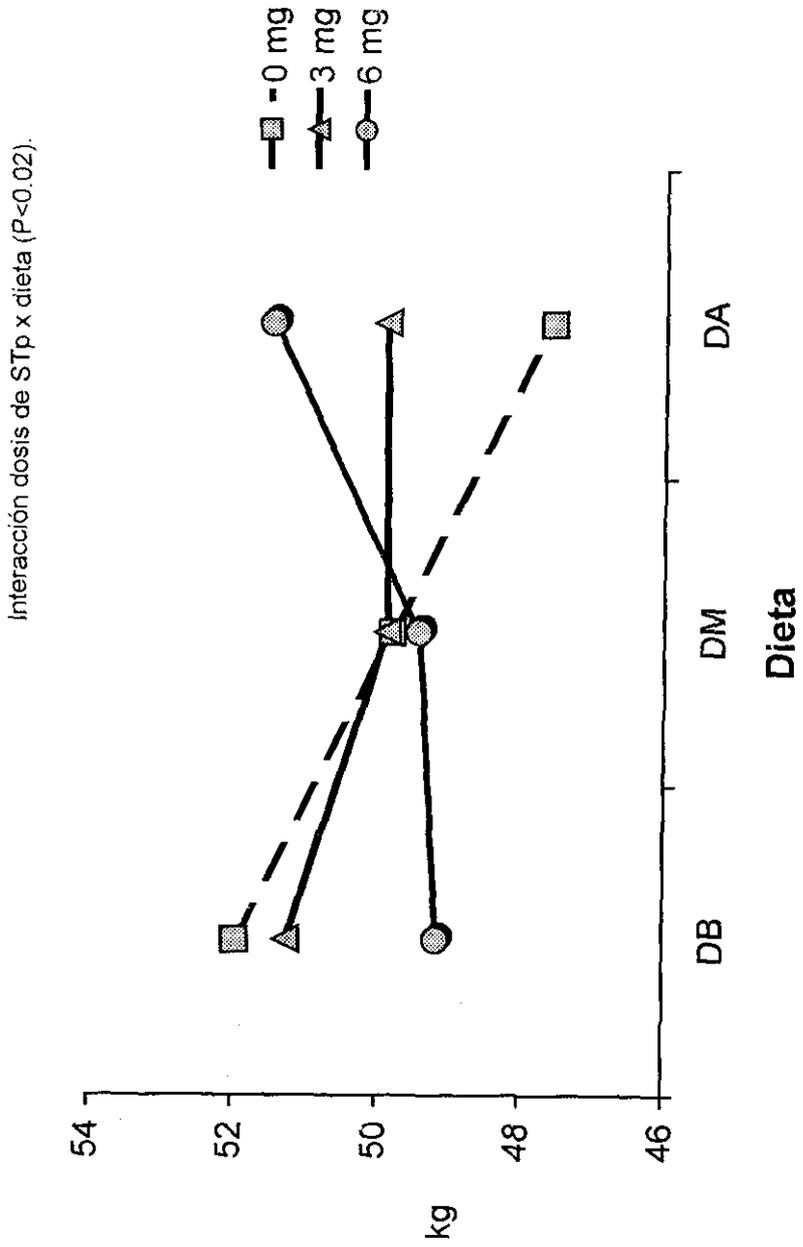
Profundidad de la grasa dorsal en P2, medida en las canales de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Gráfica 6.

Peso de los cortes primarios de cerdos tratados con tres diferentes dosis de somatotropina porcina y alimentados con tres tipos de dietas



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## Bibliografía

- Álvarez ML, Loeza RC, Cuarón JAI. Niveles de energía y proteína en raciones para cerdos en desarrollo. 1. Influencia del medio ambiente y valor de incremento calórico. *Téc Pecu Méx* 1985;49:29-41.
- Baker DH. Ideal Protein for Pigs. En: *Manipulating Pig Production IV. Proc. Biennial Conf. Australasian Pig Science Association, Canberra, Australia, 1993*:191.
- 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(7):1885-91.
- Barb CR, Yan X, Azain MJ, Kraeling RR, Rampacek GB, Ramsay TG. Recombinant porcine leptin reduces feed intake and stimulates growth hormone secretion in swine. *Domest Anim Endocrinol* 1998;15(1):77-86.
- Becker BA, Knight CD, Buonomo FC, Jesse GW, Hedrick HB, Baile CA. Effect of hot environment on performance, carcass characteristics, blood hormones and metabolites of pigs treated with porcine somatotropin. *J Anim Sci* 1992;70:2732-2741.
- Becker BA, Knight CD, Veenhuizen JJ, Jesse GW, Hedrick HB, Baile CA. Performance, carcass composition, and blood hormones and metabolites of finishing pigs treated with porcine somatotropin in hot and cold environments. *J Anim Sci* 1993;71:2375-2387.
- Beermann DH, Fishell VK, Roneker K, Boyd RD, Armbruster G, Souza L. Dose-response relationships between porcine somatotropin, muscle composition, muscle fiber characteristics and pork quality. *J Anim Sci* 1990;68:2690-2697.
- Bell AW, Bauman DE, Beermann DH, Harrel RJ. Nutrition, development and efficacy of growth modifiers in livestock species. *J Nutr* 1998;128[Suppl-1]:360S-363S.
- Berruecos JM, Robison OW. Inheritance of gastric ulcers in swine. *J Anim Sci* 1972;35:20-24.
- Boyd RD, Beermann DH. Manipulation of body composition (73). En: *Diseases of swine 7<sup>ed</sup>*. Leman AD, Straw B, Glock R, Mengeling WL, Penny RH, Scholl E (editors). Iowa, USA: Iowa State University Press; 1992:909-921.
- Braña VD. Comparación de tres sistemas de formulación a proteína y amino ácidos en dietas para cerdos. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México; 1994.
- Campbell RG, King RH. The influence of dietary protein and level of feeding on the growth performance and carcass characteristics of entire and castrated male pigs. *Anim Prod* 1982;35:177-184.
- Campbell RG, Taverner MR. Genotype and sex effects on the relationship between energy intake and protein deposition in growing pigs. *J Anim Sci* 1988a;66:676-686.

- Campbell RG, Steele NC, Caperna TJ, McMurtry JP, Solomon MB, Mitchell AD. Interrelationships between energy intake and endogenous porcine growth hormone administration on the performance, body composition and protein and energy metabolism of growing pigs weighing 25 to 55 kilograms live weight. *J Anim Sci* 1988b;66:1643-1655.
- Campbell RG, Johnson RJ, King RH, Taverner MR. Effects of gender and genotype on the response of growing pigs to exogenous administration of porcine growth hormone. *J Anim Sci* 1990;68:2674-2681.
- Campbell RG, Johnson RJ, King RH, Taverner MR. Interrelationships between exogenous porcine somatotropin (PST) administration and dietary protein and energy intake on protein deposition capacity and energy metabolism of pigs. *J Anim Sci* 1991;69:1522-1531.
- Caperna TJ, Komarek DR, Gavelek D, Steele NC. Influence of dietary protein and recombinant porcine somatotropin administration in young pigs: II. Accretion rates of protein, collagen, and fat. *J Anim Sci* 1991;69:4019-4029.
- Carrol JA, Buonomo FC, Becker BA, Matteri RL. Interactions between environmental temperature and porcine growth hormone (pGH) treatment in neonatal pigs. *Domest Anim Endocrinol* 1999;16(2):103-113.
- Castañeda EOS, Cuarón IJA. Lysine to protein ratios in growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 2001;79, Suppl. 1:321s.
- Cervantes LJ. Crecimiento y composición corporal de cerdos alimentados con dietas ricas en melaza en dos zonas climáticas [tesis maestría]. Cuautitlán Izcalli, Edo. de México. Universidad Nacional Autónoma de México; 1991.
- Christon R. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. *J Anim Sci* 1988;66:3112-3123.
- Cisneros F, Ellis M, Miller KD, Novakofsky J, Wilson ER, McKeith FK. Comparison of transverse and longitudinal real-time ultrasound scans for prediction of lean cut yields and fat-free lean content in live pigs. *J Anim Sci* 1996a;74:2566-2576.
- Cisneros F, Ellis M, McKeith FK, McCaw J, Fernando RL. Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *J Anim Sci* 1996b;74:925-933.
- Cisneros F, Ellis M, McKeith F. Effect of Environmental Temperature and Dietary Lysine Level on the Performance of Pair-Fed Pigs. <http://www.aces.uiuc.edu/~pork/topics/envirolynsine.shtml>. Department of Animal Sciences, University of Illinois 1997a.
- Cisneros F, Ellis M, McKeith F. Effect of Graded Levels of Lysine on the Performance of Growing Pigs Exposed to Hot Environmental Conditions. <http://www.aces.uiuc.edu/~pork/topics/lysinelevels.shtml>. Department of Animal Sciences, University of Illinois 1997b.

- Clapper JA, Clark TM, Rempel LA. Serum concentrations of IGF-1, estradiol 17-B, testosterone, and relative amounts of IGF binding proteins (IGFBP) in growing boars, barrows, and gilts. *J Anim Sci* 2000;78:2581-2588.
- Claus R, Weiler U. Endocrine regulation of growth and metabolism in the pig: a review. *Livest Prod Sci* 1994;(37):245-260.
- CNA. Comisión Nacional del Agua. Sistema Meteorológico Nacional. Página WEB: <http://www.smn.cna.gob.mx> información climatológica por entidad federativa. 2001.
- Collin A, Lebreton Y, Fillaut M, Vincent A, Thomas F, Herpin P. Effects of exposure to high temperature and feeding level on regional blood flow and oxidative capacity of tissues in piglets. *Exp Physiol* 2001;86(1):83-91.
- Collin A, Van Milgen J, Dubois S, Noblet J. Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets. *J Anim Sci* 2001;79:1849-1857.
- Combes S, Louveau I, Bonneau M. Moderate food restriction affects skeletal muscle and liver growth hormone receptors differently in pigs. *J Nutr* 1997; (127):1944-1949.
- Cuarón IJA. Criterios para un uso práctico del concepto de Proteína Ideal. En: Temas de actualidad para la industria porcícola. Balconi R. editor, 1996:77-84.
- Cuarón IJA. Curvas de crecimiento: su estimación e importancia en la nutrición. En: Portal veterinaria, sección de capacitación profesional. Página WEB: [www.portalveterinaria.com/sections.php?op=viewarticle&artid=77](http://www.portalveterinaria.com/sections.php?op=viewarticle&artid=77). Argentina, noviembre de 2001.
- Curtis SE. Potential side-effects of exogenous somatotropin in pigs. In: Proceedings international symposium biotechnology for control of growth and product quality in swine: Implications and acceptability. Wageningen, The Netherlands. 1989.
- Davis TA, Reeds PJ. The roles of nutrition, development and hormone sensitivity in the regulation of protein metabolism: an overview. *American Society for Nutritional Sciences J Nutr* 1998;(128):340S-341S.
- Ellis M. Estimación del crecimiento magro en cerdos: curvas de crecimiento en granja. En: Taller evaluación de canales y calidad de la carne de cerdo. Asociación local de poricultores de la Piedad Michoacán. Talleres de la Asociación Americana de la Soya, México 1998:11-35.
- Etherton TD, Wiggins JP, Evock CM, Chung CS, Rebhun JF, Walton PE, Steele NC. Stimulation of pig growth performance by porcine growth hormone: determination of the dose-response relationship. *J Anim Sci* 1987;64:433-433.
- Etherton TD, Bauman ED. Biology of somatotropin in growth and lactation of domestic animals. *Physiol Rev* 1998;78(3):745-763.
- Etherton TD. The biology of somatotropin in adipose tissue growth and nutrient partitioning. *J Nut* 2000;130:2623-2625.
- Evock-Clover CM, Myers MJ, Steele NC. Effects of an endotoxin challenge on growth performance, carcass accretion rates, and serum hormone and metabolite

- concentrations in control pigs and those treated with recombinant porcine somatotropin. *J Anim Sci* 1997;75:1784-1790.
- Forcada MF. Alojamiento para Ganado Porcino. Mira Editores 1ª ed. Zaragoza, España; 1997.
- Freifelder D. Fundamentos de biología molecular. Traducción de Montoya JV. 1ª ed. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España; 1988.
- Friendship R. Gastric Ulcers. En: Diseases of Swine, 8<sup>th</sup> Ed., Chapt. 48., BE Straw, SE D'Allaire, WL Mengeling, DJ Taylor (editores). Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA. 1999.
- Garlick PJ, McNurlan MA, Bar T, Lang CH, Gelato MC. Hormonal regulation of protein metabolism in relation to nutrition and disease. *J Nut* 1998;128:356s-359s.
- Goodband RD, Nelssen JL, Hines RH, Kropf DH, Stoner GR, Thaler RC, Lewis AJ, Schrickler BR. Interrelationships between porcine somatotropin and dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of finishing swine. *J Anim Sci* 1993;71:663-672.
- Hansen JA, Yen JT, Nelssen JL, Nienaber JA, Goodband RD, Wheeler TL. Effects of somatotropin and salbutamol in three genotypes of finishing barrows: growth, carcass, and calorimeter criteria. *J Anim Sci* 1997a;75:1798-1809.
- Hansen JA, Yen JT, Klindt J, Nelssen JL, Goodband RD. Effects of somatotropin and salbutamol in three genotypes of finishing barrows: blood hormones and metabolites and muscle characteristics. *J Anim Sci* 1997b;75:1810-1821.
- Harrell RJ, Thomas MJ, Boyd RD, Czerwinski SM, Steele NC, Bauman DE. Ontogenic maturation of the somatotropin/insulin-like growth factor axis. *J Anim Sci* 1999;77(11):2934-2941.
- Hayashida T, Murakami K, Mogi K, Nishihara M, Nakazato M, Mondal MS, Horii Y, Kojima M, Kangawa K, Murakami N. Ghrelin in domestic animals: distribution in stomach and its possible role. *Domest Anim Endocrinol* 2001;21(1):17-24.
- Henry Yves. 1992. Recent developments in pig production systems: effects on carcass and meat quality. In: Proceedings international workshop on the certification system for agroindustrial products and their quality: Fresh meat (bovine and pork) Cariplo Foundation for Scientific Research. Cremona, Italia; 1992.
- Hyun Y, Ellis M, Johnson RW. Effects of feeder type, space allowance, and mixing on the growth performance and feed intake pattern of growing pigs. *J Anim Sci* 1998; 76:2771-2778.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadísticas Geografía e Informática. Página WEB: <http://www.inegi.gob.mx> información geográfica por entidad federativa. 2001.
- Jessop NS. Aspects of cellular energetics. In: D'Mello JPF editor. Farm animal metabolism and nutrition. 1<sup>st</sup> ed. Wallingford, Oxon, U.K.: CABI Publishing 2000: 149-160.
- Juskevich JC, Guyer G. Bovine growth hormone: human food safety evaluation. *Science* 1990;249:875-884.

- Just A. The net energy value of crude (catabolized) protein for growth in pigs. *Livest Prod Sci* 1982;9:329-360.
- Just A. Nutritional manipulation and interpretation of body compositional differences in growing swine. *J Anim Sci* 1984;58 (3):740-751.
- King RH, Campbell RG, Smits RJ, Morley WC, Ronnfeld K, Butler K, Dunshea FR. Interrelationships between dietary lysine, sex, and porcine somatotropin administration on growth performance and protein deposition in pigs between 80 and 120 kg live weight. *J Anim Sci* 2000;78:2639-2651.
- Klindt J, Buonomo FC, Yen JT. Administration of porcine somatotropin by sustained-release implant: growth, carcass, and sensory responses in crossbred white and genetically lean and obese boars and gilts. *J Anim Sci* 1995;73:1327-1339.
- Kouba M, Hermier D, Le Dividich J. Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig. *J Anim Sci* 2001;79(1):81-7.
- Kyriazakis I, Emmans GC. The effects of varying protein and energy intakes on the growth and body composition of pigs. *Br J Nutr* 1992;68:615-625.
- Lastra MI, Galarza MJM, Villamar AL, Olvera NR, Barrera WM, López LN, Sandoval GA, Sánchez HA, Moctezuma G. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 1990-1998. 1<sup>a</sup> Ed. México, D.F. Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, SAGARPA. 1999.
- Le Bellego L, Van Milgen J, Dubois S, Noblet J. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J Anim Sci* 2001;79:1259-1271.
- Lee KC, Azain MJ, Hausman DB, Ramsay TG. Somatotropin and adipose tissue metabolism: substrate and temporal effects. *J Anim Sci* 2000;78:1236-1246.
- Lefaucheur L, Dividich J, Le-Mouroit J, Monin G, Ecolan P, Krauss D. Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. *J Anim Sci* 1991;69:2844-2854.
- Loughmiller JA, Nelssen JL, Goodband RD, Tokach MD, Titgemeyer EC, Kim IH. Influence of dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of late finishing gilts. *J Anim Sci* 1998;76:1075-1080.
- Machlin LJ. Effect of porcine growth hormone on growth and carcass composition of the pig. *J Anim Sci* 1972;35(4):792-800.
- McLaren DG, Bechtel PJ, Grebner GL, Novakofski J, McKeith FK, Jones RW, Dalrymple RH, Easter RA. Dose response in growth of pigs injected daily with porcine somatotropin from 57 to 103 kilograms. *J Anim Sci* 1990; 68:640-651.
- McMahon CD, Radcliff RP, Lookingland KJ, Tucker HA. Neuroregulation of growth hormone secretion in domestic animals. *Domest Anim Endocrinol* 2001;20(2):65-87.
- McNamara JP, Brekke CJ, Jones RW, Dalrymple RH. Recombinant porcine somatotropin alters performance and carcass characteristics of heavyweight swine and swine fed alternative feedstuffs. *J Anim Sci* 1991;69:2273-2281.

- Mejía CGA, Montaño BM, Velázquez MPA, Cuarón IJA. Estimación *in vivo* del rendimiento de las canales porcinas mediante ultrasonografía. *Tec Pecu Mex* 1999;37(2):31-38.
- Messias de Branganca M, Prunier A. Effects of low feed intake and hot environment on plasma profiles of glucose, nonesterified fatty acids, insulin, glucagon, and IGF-1 in lactating sows. *Domest Anim Endocrinol* 1999; 16(2):89-101.
- NAMP. National Association of Meat Purveyors. The meat buyers guide. 7<sup>a</sup> ed. McLean, Virginia, USA. Litho USA; 1986.
- Noblet J, Le Dividich J, Bikawa T. Interaction between energy level in the diet and environmental temperature on the utilization of energy in growing pigs. *J Anim Sci* 1985;61(2):452-459.
- Noblet J, Karege C, Dubois S, Van Milgen J. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J Anim Sci* 1999;77:1908-1216.
- Norma Mexicana para la evaluación de la carne de cerdo en canal. NMX-FF-81-1993-SCFI. Diario Oficial de la Federación. Tomo CDLXXVII No. 7. 1993.
- NPPC. National Pork Producers Council. Fat-Free: Lean predictions equations, 1999 Results. USA. National Pork Producers Council; 1999.
- NPPC. National Pork Producers Council. Procedures to evaluate market hogs. 2a. ed. revised. USA. National Pork Producers Council. 1988.
- NRC. National Research Council. Metabolic Modifiers: Effects on the nutrient requirements of food-producing animals. USA.; National Academy of Sciences Press; 1994.
- NRC. National Research Council. Nutrient Requirements of Swine. 10<sup>th</sup> ed. Washington, DC, USA: National Academy Press; 1998.
- NCR. North Central Regional Extension Publications, Porcine somatotropin (pST), Biotechnology information series, (NCR #529). Extension Service, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., (Obtenido en internet [http://www.bioethics.iastate.edu/biotech\\_info\\_series/bio4.html](http://www.bioethics.iastate.edu/biotech_info_series/bio4.html)); 1994.
- Owens PC, Gatfor KL, Walton PE, Morley W, Campbell RG. The relationship between endogenous insulin-like growth factors and growth in pigs. *J Anim Sci* 1999;77:2098-2103.
- Ono Y, Solomon MB, Evock-Clover CM, Steele NC, Maruyama K. Effects of porcine somatotropin administration on porcine muscles located within different regions of the body. *J Anim Sci* 1995;73(8):2282-8.
- Pérez SS, Martínez MA, Castañeda SE, Cuarón IJA. *Saccharomyces cerevisiae* for growing-finishing pigs in a septic environment. *J Anim Sci* 2001;79, Suppl-1:454s.
- Prosser CG, Mephan TB. Mechanims of action of bovine somatotropin in increasing milk secretion in dairy ruminants. In: Sejrsen K, Vestergaard M, Neimann-Sorensen A. Editor. Use of somatotropin in livestock production. 1st ed. Great Britain, Galliard printers Ltd. Great Yarmoc;1990:1-17.

- Quiniou N, Noblet J. Prediction of tisular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J Anim Sci* 1995;73:1567-1575.
- Quiniou N, Renaudeau D, Colin A, Noblet J. Effets de l'exposition au chaud sers les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques. <http://www.inra.fr/Internet/Produits/PA/an2000/num204/quiniou/nq204.htm>. INRA. *Orod Anim* 2000 13: 233-245.
- Rao DS, McCracken KJ. Energy : Protein interaction in growing boars of high genetic potential for lean growth. 2. Effects on chemical composition of gain and whole-body protein turnover. *Anim Prod* 1992; 54:83-93.
- Reeds PJ, Fuller MF, Cadenhead M. Effects of changes in the intakes of protein and non protein energy on whole body protein turnover in growing pigs. *Br J Nut* 1980;45:539-546.
- Reeds PJ, Burrin DG, Davis TA, Fiorotto MA, Mersman MJ, Pond WG. Growth regulation with particular reference to the pig. In: Hollis GR editor. *Growth of the pig*. 1<sup>st</sup> ed. Urbana, Illinois, USA: CAB International; 1994:1-30.
- Renaudeau D, Quiniou N, Noblet J. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *J Anim Sci* 2001;79:1240-1249.
- Roberts TJ, Azain MJ. Somatotropin treatment reduces energy intake without altering protein intake in pigs selecting between high and low protein diets. *J Nutr* 1997;(127):2047-2053.
- Robles A, Ewan RC. Utilization of energy of rice and rice bran by young pigs. *J Anim Sci* 1982;55(3):572-577.
- Ross RF. *Actinobacillus pleuropneumoniae*. En: *Diseases of Swine*, 8<sup>th</sup> Ed. B.E. Straw, S.D. D'Allaire, W.L. Mengeling, D.J. Taylor (editores). Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA. 1999.
- Sadava D, Purves WK, Orians GH, Heller HC. Recombinant DNA and biotechnology. In: *Life the Science of Biology*. 5<sup>th</sup> ed. USA. Courier Companies Inc;1998:351-372.
- SAS. Statistical Analysis System. SAS for Windows (Release 6.12). SAS Inst. Inc. Cary, North Carolina. 1996.
- Schinckel AP, Wagner JR, Forrest JG, Einstein ME. Evaluation of alternative measures of pork carcass composition. *J Anim Sci* 2001;79:1903-1119.
- Serres H. *Manual of pig production in the tropics*. 1<sup>st</sup> Ed. UK: Redwood Press, C.A.B. International 1996.
- Simmen FA, Bandinga L, Green ML, Kwak I, Song S, Simmen RCM. The porcine insulin-like growth factor system: at the interface of nutrition, growth and reproduction. *J Nutr* 1998;128:315s-320s.
- Smith VG, Kasson CW. The interrelationship between crude protein and exogenous porcine somatotropin on growth, feed and carcass measurements of pigs. *J Anim Sci* 1991;69:571-577.

- Stahly TS, Cromwell GL, Aviotti MP. The effect of environmental temperature and dietary lysine source and level on the performance and carcass characteristics of growing swine. *J Anim Sci* 1979a;49(5):1242-1251.
- Stahly TS, Cromwell GL. Effect of environmental temperature and dietary fat supplementation on the performance and carcass characteristics of growing and finishing swine. *J Anim Sci* 1979b;49(6): 1478-1488.
- Steele NC, Caperna TJ, Campbell RG, Boyd RD. Metabolism modifiers, lean tissue growth and the dietary protein requirement of growing pigs. In proceedings: Maryland Nutrition Conference. EU 1992:82-89.
- Steele, NC, McMurtry JP, Campbell RG, Caperna TJ, Rosebrough, RW. Effect of dietary energy intake and exogenous porcine growth hormone administration on circulating porcine growth hormone concentration and response to human growth hormone-releasing factor administration in growing swine. *Domest Anim Endocrinol* 1995;12:293-298.
- Spurlock ME. Regulation of metabolism and growth during immune challenge. An overview of cytokine function. *J Anim Sci* 1997;75:1773-1783.
- Thiel LF, Beermann DH, Krick BJ, Boyd RD. Dose-dependent effects of exogenous porcine somatotropin on the yield, distribution, and proximate composition of carcass tissues in growing pigs *J Anim Sci* 1993;71:827-835.
- Thomas FM, Campbell RG, King RH, Johnson RJ, Chandler CS, Taverner MR. Growth hormone increases whole-body protein turnover in growing pigs. *J Anim Sci* 1992;70:3138-3143.
- Tuitok K, Young LG, de Lange CF, Kerr BJ. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an elevation of the ideal protein concept. *J Anim Sci* 1997;75(6):1575-83.
- Vann RC, Nguyen HV, Reeds PJ, Steele NC, Deaver DR, Davis TA. Somatotropin increases protein balance independent of insulin's effects on protein metabolism in growing pigs. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000;279(1):E1-E10.
- Velázquez MA. Predicción del rendimiento de cortes primarios en canales porcinas. En: Taller "Evaluación de canales y calidad de la carne de cerdo". Asociación local de porcicultores de la Piedad Michoacán. Talleres de la Asociación Americana de la Soya, México 1998:1-10.
- Velázquez MA, Belmar CR. Predicción del contenido de cortes primarios en canales porcinas. Centro de Investigación Regional del Sureste. INIFAP, SAGARPA. México 1998.
- Verstegen MW, Van der Hel W., Henken AM, Huisman J, Kanis E, Van Der Wal P, Van Weerden EJ. Effect of exogenous porcine somatotropin administration on nitrogen and energy metabolism in three genotypes of pigs. *J Anim Sci* 1990;68:1008-1016.
- Wang Y, Fried SK, Petersen RN, Schoknecht PA. Somatotropin regulates adipose tissue metabolism in neonatal swine. *J Nutr* 1999;129(1):139-45

- Watson JD, Gilmain M, Witkowski J, Zoller M. The genetic elements that control gene expression. In: Recombinant DNA. 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA: Cientific American Books 1992:49-59.
- Whittemore CT, Tullis JB, Emmans GC. Protein growth in pigs. Anim Prod 1988;46:437-445.
- Wood JD, Jones RCD, Francombe MA, Whelehan OP. The effects of fat thickness and sex on pig meat quality with special reference to the problems associated with over-leanness. Anim Prod 1986;45:535-542.
- Wray-Cahen D, Ross DA, Bauman DE, Boyd RD. Metabolic effects of porcine somatotropin: nitrogen and energy balance and characterization of the temporal pattern of blood metabolites and hormones. J Anim Sci 1991;69:1503-1514.
- Wray-Cahen D, Bell AW, Boyd RD, Ross DA, Bauman DE, Krick BJ, Harrell RJ. Nutrient uptake by the hind limb of growing pigs treated with porcine somatotropin and insulin. J Nutr 1995;125(1):125-35.
- Yen TH, Cole DJA, Lewis D. Amino acid requirement of growing pigs. 8. The response of pigs from 50 to 90 kg live weight to dietary ideal protein. Anim Prod 1986;43:155-165.
- Yin D, Clarke SD, Etherton TD. Transcriptional regulation of fatty acid synthase gene by somatotropin in 3T3-F442A adipocytes. J Anim Sci 2001;79:2336-2345.

### Apéndice 1.

Análisis económico, calculo de la rentabilidad por venta en pie y en canal de cerdos tratados o no con somatotropina y alimentados con dos densidades de nutrimentos Experimento 2

STp	0 mg	5 mg	0 mg	5 mg
Dieta	DN	DN	DD	DD
Peso inicial, kg	90.000	90.000	90.000	90.000
Peso final (28 días), kg	111.795	111.134	113.514	117.440
CDA, acumulado a 28 días, kg	2.730	2.450	2.810	2.470
Consumo en 28 días, kg	76.440	68.600	78.680	69.160
GDP, acumulada a 28 días, kg	0.778	0.755	0.840	0.980
Peso en canal, kg	90.340	86.997	91.834	93.426
Rendimiento en canal, %	80.809	78.281	80.901	79.552
Rendimiento de cortes primarios,	49.795	51.238	49.605	50.825
Cortes primarios, kg	44.985	44.576	45.554	47.484
Valor del cerdo en pie, \$	1565.133	1555.882	1589.202	1644.160
Valor de los cortes primarios, \$	1439.507	1426.428	1457.742	1519.490
Valor del resto de la canal, \$	362.846	339.369	370.238	367.533
Valor de la canal, \$	1802.353	1765.797	1827.980	1887.024
Costo del Tratamiento, \$	0.000	60.000	0.000	60.000
Costo del alimento, \$/kg	1.510	1.510	1.780	1.780
Costo por alimentación, \$	115.424	103.586	140.050	123.105
Valor inicial del cerdo, \$	1260.000	1260.000	1260.000	1260.000
Rentabilidad en pie, \$	189.708	132.296	189.151	201.055
Rentabilidad en canal, \$	426.929	342.211	427.929	443.919
Incremento en Pie		0.697	0.997	1.060
Incremento en canal		0.802	1.002	1.040

