

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

✓ OPTIMIZACIÓN BIOLÓGICA Y ECONÓMICA DE NIVELES DE
LISINA TOTAL EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO //

TESIS

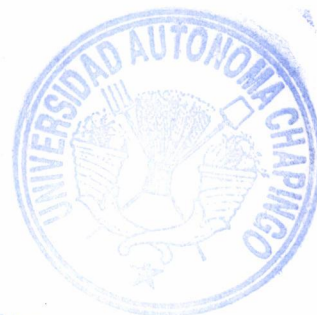
QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA:

RAFAEL MEDINA GUERRA



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

FEBRERO DE 2002

Chapingo, Estado de México

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

Bib. 96920

**OPTIMIZACIÓN BIOLÓGICA Y ECONÓMICA DE NIVELES DE LISINA
TOTAL EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO**

Tesis realizada por **Rafael Medina Guerra** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:


Ph. D. MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR:


Ph. D. JOSÉ LUIS FIGUEROA VELASCO

ASESOR:


DR. JOSÉ ARTEMIO CADENA MENESES

A.-39344

**OPTIMIZACIÓN BIOLÓGICA Y ECONÓMICA DE NIVELES DE LISINA
TOTAL EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Rafael Medina Guerra** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal estuvo constituido por:

PRESIDENTE:


Ph. D. MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR:


Ph. D. JOSÉ LUIS FIGUEROA VELASCO

ASESOR:


DR. JOSÉ ARTEMIO CADENA MENESES

DEDICATORIA

A mis padres Rodolfo y Sara, como una recompensa a su apoyo constante, que me sirvió para cumplir una más de mis metas.

A mis hermanos, Jaime, Rodolfo, Julio y Alejandro porque con su apoyo y cariño me empujaron a seguir superándome esperitualmente y profesionalmente.

A Aracely como un reconocimiento al amor y comprensión que me ha brindado desde que formamos una familia.

A mi hijo Rodolfo, porque es lo que más quiero en el mundo y mi principal fuente de inspiración.

A todos mis compañeros y amigos de posgrado, por su amistad y apoyo.

RAFAEL

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de lograr una formación académica integral.

Al Departamento de Zootecnia y al Posgrado en Producción Animal, por el apoyo brindado durante mi estancia para realizar mis estudios de Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico para la realización de mis estudios de maestría.

Al Dr. Mariano González Alcorta, por su valiosa participación como director en el desarrollo de la investigación, por sus consejos y amistad brindada.

Al Dr. José Luis Figueroa Velasco, por sugerencias y apoyo brindado para la realización del experimento.

Al Dr. José Artemio Cadena Meneses, por su importante aporte en la parte estadística del trabajo de investigación y por sus sugerencias acertadas.

A los profesores del Posgrado en Producción Animal por sus importantes aportes académicos.

RAFAEL

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos generales:

Nombre: Rafael Medina Guerra

Lugar de origen: Estación Joaquín, Municipio de Abasolo, Gto.

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula Profesional: 3338539

Formación académica:

Escuela Secundaria Técnica No. 13. "General Lázaro Cárdenas". Estación Joaquín, Abasolo, Gto. (1984 – 1987).

Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. (1988 – 1991).

Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mexico. (1991 – 1995).

RESUMEN

Rafael Medina Guerra.

OPTIMIZACIÓN BIOLÓGICA Y ECONÓMICA DE NIVELES DE LISINA TOTAL EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

(Enero de 2002)

(Bajo la dirección del Ph.D. Mariano González Alcorta)

Investigaciones anteriores con cerdos en crecimiento han demostrado que es posible optimizar utilidades, comportamiento productivo, calidad de la canal en respuesta a niveles de aminoácidos dietéticos. Se realizó un experimento, con la finalidad de evaluar el efecto de la lisina dietética sobre comportamiento productivo y características de la canal, concentración de urea en plasma y calcular los niveles óptimos biológico (NOB) para ganancia de peso y características de la canal y nivel óptimo económico (NOE) de lisina para cerdos en crecimiento. Los niveles evaluados fueron 0.80, 0.90, 0.99, 1.09 y 1.18% de lisina total. Las variables respuesta fueron ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, características de la canal y concentración de urea en plasma. La lisina sólo afectó estadísticamente ($P<0.05$) ganancia de peso, cuando no se consideró el sexo de los animales. Para machos castrados sólo se afectó grasa dorsal ($P<0.05$). En hembras, la lisina afectó ($P<0.05$) ganancia de peso y grasa dorsal, área de ojo de chuleta y ganancia de carne magra. El NOB para ganancia de peso (1.18% de lisina) fue igual al NOE (1.18%). El NOE no fue sensible a cambios de precio de la lisina y del kilogramo de cerdo. Las hembras requirieron una mayor cantidad de lisina en la dieta para maximizar ganancia de peso (1.18%) y ganancia de carne magra (1.18%) en comparación con los machos castrados que requirieron 1.086 y 1.028%, respectivamente. El nivel de lisina que minimizó la concentración de urea en hembras (1.18%) y en machos castrados (1.08%) coincidió con los niveles de lisina que presentaron los mejores parámetros productivos.

Palabras clave: Cerdos, Lisina, Características de canal, Óptimo biológico, Óptimo económico, Urea.

ABSTRACT

Rafael Medina Guerra.

BIOLOGICAL AND ECONOMIC OPTIMIZATION OF TOTAL LYSINE LEVELS IN DIETS FOR GROWING PIGS

(January 2002)

(Under the direction of PhD. Mariano González Alcorta)

Previous research with growing pigs has shown the possibility to optimize profits, growth performance and carcass quality in response to dietary amino acids. An experiment were carried out in order to evaluate the effect of dietary lysine on growth performance, carcass characteristics, plasma urea nitrogen concentration, and to calculate the optimal biological (OBL) and economical dietary level (OEL) of lysine in diets for growing pigs. The dietary lysine levels were: 0.80, 0.90, 0.99, 1.09 y 1.18%. The variables analized were: feed intake, average daily gain, feed intake/weighth gain ratio, back fat, loin eye area, fat free lean gain, and plasma urea concentration. Only average daily gain was affected ($P<0.05$) by lysine level, when the pigs were not separated by sex. For barrows, only back fat thickness was affected ($P<0.05$), while in gilts, average daily gain, back fat thickness, loin eye area, and fat free lean gain were affected ($P<0.05$). The OBL (1.18%) and OEL (1.18%) were similar. The OEL was not sensitive to lysine and pig price changes. The requirement of gilts was higher for average daily gain (1.18%) and fat free lean gain (1.18%) compared with barrows (1.086 and 1.028), respectively. The lysine level that minimized plasma urea nitrogen concentration was similar to lysine level that maximized average daily gain and, fat free lean gain in gilts (1.18%) and barrows (1.08%), respectively.

Key words: Growing pigs, Growth performance, Carcass characteristics, Lysine, Optimal biological, Optimal economic, Urea.

INDICE

CONTENIDO.....PAGS.

ÍNDICE DE CUADROS.....v

ÍNDICE DE FIGURAS.....vii

I. INTRODUCCIÓN.....1

II. REVISIÓN DE LITERATURA.....3

2.1. Marco de referencia3

2.1.1.- Situación actual de la porcicultura3

2.1.2. Situación actual de los alimentos balanceados en México4

2.1.3. Beneficios de la formulación de máxima utilidad6

2.2. Marco Conceptual.....6

2.2.1. Clasificación de Aminoácidos6

2.2.2. Aminoácidos esenciales para cerdos.....7

2.2.3. Características generales de la lisina8

2.2.4. Fuentes de lisina9

2.2.5. Digestibilidad de aminoácidos.....10

2.2.5.1. Efecto de la fuente de alimento sobre la digestibilidad de aminoácidos.11

2.2.5.2. Efecto del nivel de proteína sobre la digestibilidad de aminoácidos.....12

2.2.5.3. Efecto de la fibra sobre la digestibilidad de aminoácidos13

2.2.5.4. Efecto de la edad sobre la digestibilidad de aminoácidos13

2.2.6. Biodisponibilidad de aminoácidos.....14

2.2.8. Formulación de dietas con el concepto de proteína ideal18

2.2.9. Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento y finalización.....	21
2.3.1. Efecto del consumo de lisina sobre parámetros productivos.....	22
2.3.1.1. Efecto sobre consumo de alimento.....	22
2.3.1.2. Efecto sobre ganancia de peso.....	23
2.3.1.3. Efecto sobre conversión alimenticia.....	24
2.3.2 Efecto del nivel de lisina sobre características de la canal	25
2.3.2.1. Ganancia de carne magra.....	25
2.3.2.2. Efecto sobre grasa dorsal.....	29
2.3.2.3. Efecto sobre el área del músculo longissimus.....	30
2.3.3. Urea como estimador del requerimiento de lisina	31
III. PROBLEMÁTICA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	33
3.1. Problemática.....	33
3.2. Hipótesis.....	33
3.3. Objetivos	34
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	36
4.1. Ensayo biológico	36
4.1.1. Localización.....	36
4.1.2. Tratamientos	36
4.1.3. Diseño experimental	37
4.1.4. Variables de respuesta	38
4.1.5. Dietas	38
4.1.6. Manejo de los animales.....	38
4.1.7. Análisis y equipo de laboratorio	39

4.2. Estimación de parámetros de los modelos de regresión evaluados	40
4.3. Selección de los modelos de regresión	40
4.4. Construcción del modelo econométrico	41
4.5. Cálculo de los niveles óptimos biológico (NOB) y económico (NOE) de lisina	42
4.6. Análisis de sensibilidad	42
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
5.1. Análisis de varianza	43
5.1.1. Resultados globales	43
5.1.1.1. Respuesta productiva.....	43
5.1.1.2. Características de la canal	44
5.1.1.3. Urea en plasma	46
5.1.2. Comparación dentro de sexos.....	49
5.1.2.1. Ganancia diaria de peso.....	49
5.2.1.2. Características de la canal	50
5.1.2.3. Urea en plasma	53
5.2. Selección de los modelos de regresión	56
5.3. Niveles óptimos biológico y económico de las variables de interés.....	58
5.3.1. Resultados globales	58
5.3.2. Comparación dentro de sexos.....	61
VI. CONCLUSIONES	63

VII. BIBLIOGRAFÍA	64
VIII. ANEXOS	73

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Producción total de alimento balanceados en México durante 1998	5
Cuadro 2. Comparación de utilidades para la FMC contra FMU	6
Cuadro 3. Aminoácidos limitantes en granos utilizados en la alimentación de cerdos	8
Cuadro 4. Aminoácidos limitantes en fuentes de proteína para cerdos	8
Cuadro 5. Fuentes de Lisina.....	9
Cuadro 6. Digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos esenciales en pasta de soya, pasta de algodón y harina de carne y hueso	11
Cuadro 7. Digestibilidad ileal aparente de aminoácidos para cerdos, en caseína, cebada, pasta de canola, maíz, trigo y pasta de soya.....	12
Cuadro 8. Biodisponibilidad de aminoácidos para cerdos en crecimiento	15
Cuadro 9. Digestibilidad ileal aparente y disponibilidad de lisina en alimentos para cerdos.....	15
Cuadro 10. Niveles óptimos biológico de L-lisina de diversos autores y los niveles recomendados por el NRC (1988 y 1998).....	17
Cuadro 11. Niveles óptimos económicos encontrados para cerdos en crecimiento ..	18
Cuadro 12. Balances de aminoácidos recomendados en dietas para cerdos en crecimiento	20
Cuadro 13. Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento y finalización propuestos por NRC (1998)	21
Cuadro 14: Dietas experimentales proporcionadas en el ensayo biológico ^a y requerimientos de NRC (1998)	37

Cuadro 15. Efecto del nivel de lisina sobre comportamiento productivo, características de la canal y urea en plasma en cerdos en crecimiento	48
Cuadro 16. Efecto del nivel de lisina total sobre comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma en hembras.....	55
Cuadro 17. Efecto del nivel de lisina total sobre comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma en machos castrados	55
Cuadro 18. Cuadrados medios del error para los modelos de regresión (lineal simple, cuadrático y cúbico) y no lineal (Exponencial de Noll <i>et al.</i> (1984) y Morales <i>et al.</i> (1991) cuando se realizó el análisis global de los datos.....	56
Cuadro 19. Cuadrados medios del error para los modelos de regresión (lineal simple, cuadrático y cúbico) y no lineal (Exponencial de Noll <i>et al.</i> (1984) y Morales <i>et al.</i> (1991)) cuando se tomaron sólo los resultados de hembras.....	57
Cuadro 20. Cuadrados medios del error para los modelos de regresión (lineal simple, cuadrático y cúbico) y no lineal (Exponencial de Noll <i>et al.</i> (1984) y Morales <i>et al.</i> (1991)) cuando se tomaron sólo los resultados de machos	57
Cuadro 21. Niveles óptimos biológico (NOB) de lisina máxima ganancia diaria de peso (GDP), máxima ganancia de carne magra (GCM), máxima área de ojo de chuleta (OCH), mínima grasa dorsal (GD) y mínima concentración de urea en plasma (CUP) cuando no se consideró el sexo de los animales.....	60
Cuadro 22. Análisis de sensibilidad con el precio de la HCl-lisina y del cerdo	60
Cuadro 23. Niveles óptimos biológico (NOB) de lisina para máxima ganancia diaria de peso (GDP), máxima ganancia de carne magra (GCM), máxima área de ojo de chuleta (OCH), mínima grasa dorsal (GD) y mínima concentración de urea en plasma (CUP) cuando se consideró el sexo de los animales.....	62

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Consumo de alimento balanceado durante 1999	5
Figura 2. Estructura general de los aminoácidos	7
Figura 3. Estructura de la lisina.....	9
Figura 4. Relación entre consumo de lisina y retención de proteína	25
Figura 5. Efecto del genotipo y peso vivo sobre crecimiento magro.....	26

I. Introducción

La programación lineal es la principal herramienta para resolver el problema de la formulación de dietas de mínimo costo (FMC) (Beneke y Winterboer, 1973). Con la FMC los requerimientos nutricionales son tomados de los estándares existentes como el ARC (1981), y el NRC (1988 y 1998). Sin embargo, las metodologías de balanceo o formulación han evolucionado debido a importantes aplicaciones de técnicas de investigación de operaciones y econometría (González y Orozco, 1996).

Los nuevos métodos estiman variables de nutrimentos para maximizar la ganancia de peso y/o las utilidades del productor. Tales métodos son definidos como formulación para máxima ganancia de peso (FMG; Crenshaw *et al.*, 1995) y formulación econométrica de máxima utilidad (FMU; González *et al.*, 1992). Con la FMC no se espera el máximo comportamiento productivo de los cerdos, pues los niveles de los nutrimentos en la ecuación no corresponden necesariamente a los niveles de nutrimentos que maximicen la ganancia de peso y la máxima utilidad para el productor (González y Orozco, 1996).

La lisina es un aminoácido esencial para el cerdo y además este aminoácido es el principal limitante en dietas prácticas a base de maíz o sorgo y pasta de soya (Yen *et al.*, 1986; Gahl *et al.*, 1994; Craig, 1995). Por lo anterior, el cálculo del nivel de lisina que estime la respuesta para obtener la máxima ganancia de peso y máxima utilidad es uno de los puntos neurálgicos de la actividad porcícola.

Puede asegurarse que la mayor parte del esfuerzo en producción e investigación en la nutrición porcina se ha orientado hacia la determinación del nivel óptimo biológico (NOB) de lisina que debe contener la dieta, asumiendo muchas veces que un incremento similar en el comportamiento productivo es alcanzado en respuesta a cada incremento de lisina adicionado en la ración.

Actualmente el mercado demanda cierta calidad de la canal de los cerdos, por ello e estén desarrollando programas de alimentación en donde se pueda manipular el comportamiento productivo de los cerdos con la finalidad de tener canales con mayor cantidad de tejido magro que cubra esas características. Esto se puede lograr al manipular el nivel de proteína o lisina en la dieta, ya que son indispensables en la síntesis de proteína en la canal (Campbell, 2001). Además ha habido avances genéticos importantes, por lo que los requerimientos de lisina han aumentado, especialmente en cerdos con alta capacidad de síntesis de tejido magro (Loughmiller *et al.*, 1998), pues se ha observado que el nivel de lisina que maximiza la ganancia de carne magra es superior al nivel de lisina que maximiza la ganancia de peso, lo que sugiere que los niveles recomendados por los estándares subestiman el nivel de lisina adecuado para la máxima síntesis de tejido magro (Friesen *et al.*, 1994).

Para calcular el requerimiento de lisina se necesita llevar a cabo una gran cantidad de ensayos biológicos donde se observe el comportamiento productivo de los cerdos, sin embargo, esto implica una gran cantidad de tiempo para llevar a cabo una recomendación. Por ello, actualmente se esta tratando de calcular el requerimiento de lisina a través del nivel de urea en plasma, pues se ha observado que niveles bajos de urea en plasma indican un uso eficiente del nitrógeno, y además el nivel de urea en plasma es muy sensible a cambios en la dieta, por lo que el nivel de lisina se puede estimar en periodos cortos de tiempo (Coma *et al.*, 1995a; Wei y Zimmerman, 1998).

Debido a lo anterior, la presente investigación se realizó con los siguientes objetivos:

- 1) Calcular el nivel óptimo biológico (NOB) y económico (NOE) de lisina total en cerdos en crecimiento (25-50 kg);
- 2) Desarrollar una metodología básica para la formulación de máxima utilidad;
- 3) Evaluar el efecto de la variación del precio del kilogramo de cerdo en pie y de la lisina sobre el NOE de lisina total;
- 4) Evaluar el efecto del nivel de lisina sobre características de la canal;
- 5) Calcular el NOB para ganancia de carne magra;
- 6) Evaluar el efecto del sexo sobre el requerimiento de lisina y características de la canal; y
- 7) Evaluar el efecto de la lisina dietética sobre la concentración de urea y su relación con parámetros productivos.

II. Revisión de literatura

2.1. Marco de referencia

Con el presente trabajo se pretende aportar herramientas y conocimientos que beneficien tanto a productores como a fabricantes de alimentos balanceados. El productor se verá beneficiado directamente al obtener una mayor utilidad por kilogramo de cerdo producido al utilizar la formulación de máxima utilidad, mientras que los fabricantes de alimentos se benefician indirectamente al haber mayor demanda de alimento formulado adecuadamente, y por ende mayor venta de éste. Además se proporcionarán elementos esenciales del efecto de la lisina dietética sobre características de la canal con la finalidad de que tanto el productor como el fabricante de alimentos balanceados tengan otra alternativa con la finalidad de tratar de mejorar la calidad de la canal y cubrir con ello las características demandadas en el mercado.

2.1.1.- Situación actual de la porcicultura

Como resultado de la proximidad geográfica y de la política de apertura comercial, el sector porcino mexicano está estrechamente relacionado con su contraparte norteamericana. En años recientes, el comercio de productos porcinos entre México y Estados Unidos se ha incrementado notablemente. Desde que el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLCAN) fue instrumentado, su impacto sobre el sector porcino mexicano ha sido motivo constante de preocupación para los diversos sectores involucrados. En este sentido, el TLCAN esta teniendo un impacto negativo sobre el sector porcino nacional, que se refleja en el incremento del sacrificio y la contracción de la población porcina y el lento crecimiento de la producción en contraste con el rápido crecimiento de las importaciones (Sagarnaga, 2000).

La desaparición de los antiguos esquemas de subsidios a la producción, la apertura comercial, la devaluación del peso frente al dólar, y el incremento en el precio internacional de los granos, son algunos de los factores que han propiciado la contracción de este sector, de tal manera que la producción actual representa

aproximadamente el 50% de la producción obtenida en los años ochenta. Actualmente, el cambio en las condiciones determinantes de la rentabilidad impulsan a este sector hacia la concentración, la tecnificación y la creación de macroempresas que integren desde el pie de cría hasta la comercialización de productos procesados (Sagarnaga, 1997).

En México existen tres regiones productivas importantes: Sureste, caracterizado por la existencia de megaproyectos altamente tecnificados, la lejanía de los centros de consumo y la dependencia de las importaciones para el abastecimiento de granos; Noroeste, caracterizado por la existencia de empresas grandes, con cierto grado de desarrollo tecnológico y la lejanía a los principales centro de consumo; y Centro, caracterizado por el atraso tecnológico y altos costos de producción provocados por el elevado índice de enfermedades (Sagarnaga, 1997).

2.1.2. Situación actual de los alimentos balanceados en México

La producción de alimentos balanceados se incrementó de 13.9 millones de toneladas producidas en 1996 a 19.3 toneladas en 1999, representando una tasa de crecimiento anual de 9.2%. (Canacintra, 2000). Por ello México ocupa el octavo lugar en el mundo y el segundo en Latinoamérica en producción de alimentos balanceados (Russell, 2000). Del total de producción, alrededor del 35% de los alimentos balanceados son elaborados por empresas comerciales y el 65% restante por los productores integrados (ANFACA, 1999). Por ello, en 1999 los productores integrados produjeron el 66% (12.7 millones de toneladas) del total de alimentos balanceados en México; y las empresas comerciales produjeron el 34% (6.6 millones de toneladas) de los alimentos balanceados (Canacintra, 2000). Las cifras anteriores sugieren que los productores tienden a integrarse en mayor medida, elaborando su alimento en su propia granja (ANFACA, 1999). Durante 1998, la actividad porcícola consumió alrededor del 25% de los alimentos producidos en México (Cuadro 1).

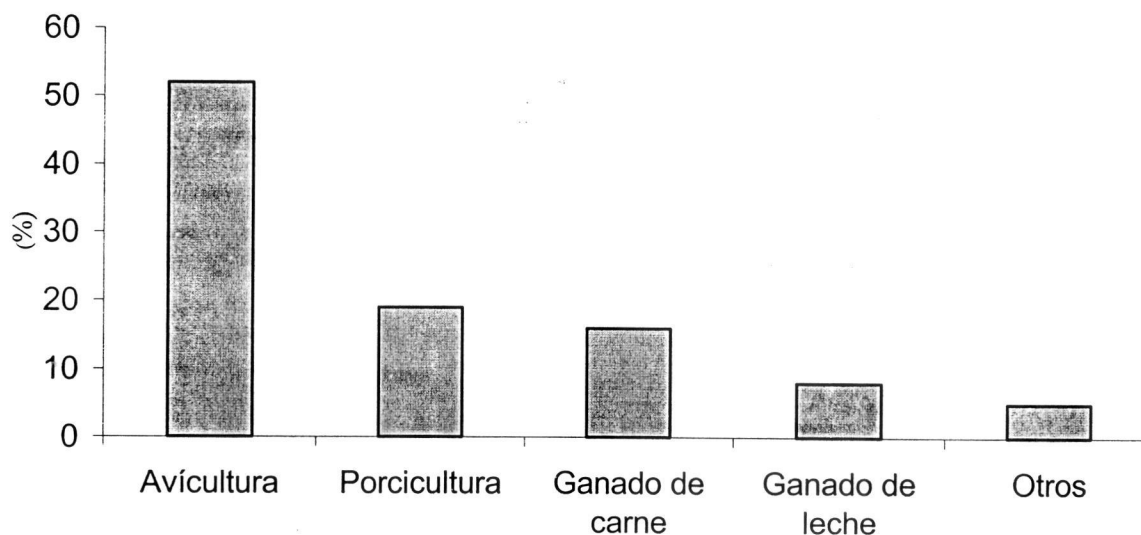
Cuadro 1. Producción total de alimento balanceados en México durante 1998

Producción por especie	Miles de toneladas	%
Avicultura.	7,550	43.14
Cerdos	4,350	24.85
Ganado Lechero	3,225	18.42
Ganado de Engorda	1,485	8.48
Otros	890	5.11
Total	17,500	100.00

Fuente. ANFACA (1999).

Sin embargo, para 1999, el consumo de alimento balanceado por las empresas porcícolas se redujo en 6 unidades porcentuales (Figura 1), mientras que en las aves y bovinos de carne aumentó (CANACINTRA, 2000).

Figura 1. Consumo de alimento balanceado durante 1999



Aunque el país es autosuficiente en alimentos balanceados, se sigue dependiendo de la importación de materias primas, principalmente sorgo y semillas de oleaginosas. Durante 1999 la industria de alimentos balanceados utilizó 12.4 millones de toneladas de granos forrajeros, de los cuales 5.9 millones de toneladas provenían del extranjero, es decir, el 47.6% fue importado (Canacintra, 2000)

2.1.3. Beneficios de la formulación de máxima utilidad

Recientemente, mediante métodos de formulación de raciones alternativos a los tradicionales de mínimo costo por programación lineal (Trujillo, 1987), han surgido otras opciones para lograr la máxima ganancia de peso y utilidad (González-Alcorta, 1994). No obstante el mejoramiento de los parámetros productivos y la innovación tecnológica, así como el desarrollo de nuevos programas computacionales para la formulación de dietas, actualmente diversas líneas de investigación en torno a la formulación de máxima utilidad (FMU) se encuentran en fase de desarrollo y experimentación.

La importancia de la FMU es que mediante esta metodología, se proporcionan los niveles de nutrientes que dan mayor utilidad al productor, además de que el comportamiento productivo de los animales no se ve afectado. Para ello en el Cuadro 2, se hace la comparación de utilidades entre FMC y FMU obtenida por García (1998) en una empresa porcícola semitecnificada con 360 cerdos.

Cuadro 2. Comparación de utilidades para la FMC contra FMU

Tipo de formulación	Lisina (%)	Costo de la dieta (\$)	Utilidades (\$)	Utilidades extras (\$) totales de la empresa
FMC	0.75	1,923.2	50,346.6	
FMU	0.90	1,973.2	52,977.6	2,631.6

Fuente: García (1998).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Clasificación de Aminoácidos

Los aminoácidos son liberados cuando las proteínas son hidrolizadas por enzimas ácidas o alcalinas. Aunque alrededor de doscientos aminoácidos han sido aislados de materiales biológicos, sólo 25 de éstos son considerados como componentes de las proteínas y de estos 25, sólo 20 están presentes en tejidos animales (Mc Donald, 1981). Los aminoácidos contienen, por lo general, un grupo amino primario (-NH₂) y un grupo

carboxilo (-COOH). En los aminoácidos derivados de las proteínas el grupo amino primario ocupa una posición alfa con relación al grupo carboxilo. Los aminoácidos naturales tienen la estructura siguiente:

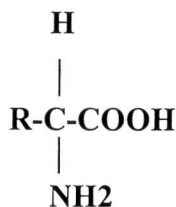


Figura 2. Estructura general de los aminoácidos

Cada aminoácido tiene un grupo lateral, R, que influencia sus propiedades físico-químicas y por lo tanto las propiedades de la proteína que los contiene (Mc Donald, 1981; Behm, 1991).

Desde el punto de vista nutricional, los aminoácidos son clasificados como esenciales y no esenciales. Los aminoácidos esenciales son aquellos que no pueden ser sintetizados por el organismo en una tasa suficiente para permitir el crecimiento normal o para mantener el equilibrio de nitrógeno en adultos, por ello deben ser suministrados en la dieta (Hafez, 1972; Kopinski, 1999). Los aminoácidos no esenciales, resultan también esenciales para el funcionamiento del organismo, aunque se dispone de mecanismos para su síntesis en los tejidos (Hafez, 1972). Estos procesos de síntesis de aminoácidos no esenciales incluyen el proceso de transaminación de metabolitos intermediarios o a partir de aminoácidos no esenciales similares (Heartland Lysine, Inc, 2000).

2.2.2. Aminoácidos esenciales para cerdos

En dietas prácticas para cerdos, los aminoácidos más limitantes son lisina, metionina, treonina y triptofano (Van Weerden y Huijman, 1989), aunque en general se puede hablar de 9 aminoácidos esenciales para cerdos, los cuales son: lisina, metionina, triptofano, isoleucina, histidina, fenilalanina, treonina, leucina y valina (Kopinski, 1999).

Generalmente algunos de los ingredientes utilizados en dietas para cerdos son deficientes en aminoácidos esenciales (Cuadros 3 y 4), de ahí la importancia de suministrarlos en la dieta.

Cuadro 3. Aminoácidos limitantes en granos utilizados en la alimentación de cerdos

Aminoácidos limitantes			
Grano	Primero	Segundo	Tercero
Cebada	Lisina	Treonina	Histidina
Maíz	Lisina y triptofano	Triptofano	Treonina
Avena	Lisina		
Sorgo	Lisina	Treonina	Triptofano
Triticale	Lisina	Treonina	
Trigo	Lisina	Treonina	

Fuente: Kopinski (1999).

Cuadro 4. Aminoácidos limitantes en fuentes de proteína para cerdos

Fuente proteica	Primero	Fuente proteica	Primero
Gluten de maíz	Lisina	Soya	Histidina
Semilla de algodón	Lisina	H. de carne	Triptofano
Linaza	Lisina	H. de sangre	Isoleucina
Ajonjolí	Lisina	Legumbres	Metionina
Girasol	Lisina		
Canola	Metionina		

Fuente. Kopinski (1999).

2.2.3. Características generales de la lisina

La lisina o ácido 2,6 diaminohexanoico lis (k), pertenece al grupo de los aminoácidos con grupo R cargado positivamente a un pH de 7, con 6 átomos de carbono (Striyer, 1988; Zubay, 1988). Es un aminoácido esencial, el cual no puede ser sintetizado por el organismo a una tasa suficiente para mantener las necesidades fisiológicas del cuerpo y debe ser entonces suministrado en la dieta (Davidson, 1995; Jefe Int. Ltd. 2000). La lisina es indispensable en la estructura de las proteínas y un componente importante en el balance de aminoácidos. Es limitante en granos y en la mayoría de las fuentes de proteína, siendo necesario suministrarlo en la dieta. Sin embargo, el contenido de lisina en tejido animal es muy alto (Jefe Int. Ltd, 2000).

La lisina es un elemento estructural de las proteínas, de enzimas y tiene una importancia especial en la formación del tejido cartilaginoso y en la osificación. Además es componente de los nucleótidos, estimula la división celular y está involucrada en un gran número de procesos metabólicos, por lo que tiene gran importancia en nutrición animal (Jefo Int. Ltd, 2000). La estructura de la lisina se ilustra en la siguiente figura:

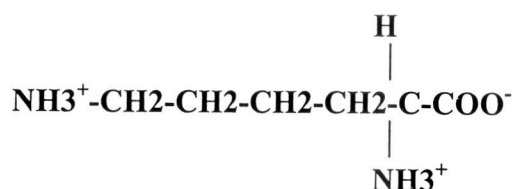


Figura 3. Estructura de la lisina

2.2.4. Fuentes de lisina

Generalmente el contenido de lisina en los ingredientes varía, por lo que en el siguiente cuadro se presentan las principales fuentes de este aminoácido y su contenido en los ingredientes.

Cuadro 5. Fuentes de Lisina

Fuentes de proteína vegetal	Lisina (%)	Fuentes de proteína animal	Lisina (%)
Pasta de soya (46% PC)	3.12	Harina de sangre	7.44
Pasta de soya (44% PC)	2.90	Harina de pescado	4.75
Harina de canola	2.27	Harina de carne y hueso	2.80
Pasta de girasol	1.68	Solubles de pescado	1.73
Pasta de algodón	1.51	Suero de leche deshidratado	0.97
Harina de alfalfa	0.80	Lisina sintética (HCl-lisina)	78.0
Gluten de maíz	0.78		
Hojuela de trigo	0.56		

Fuente. North Carolina state University, North Carolina A&T State University, U.S. Department of Agriculture and Local Governments Cooperating (1996).

2.2.5. Digestibilidad de aminoácidos

La determinación de la digestibilidad de los alimentos es usada para determinar la calidad de estos y su valor nutritivo. La información sobre digestibilidad de proteína y aminoácidos es muy importante para la formulación de la dieta, porque los cerdos requieren aminoácidos esenciales para crecimiento (Pond *et al.*, 1995), pues los cerdos no responden a aminoácidos totales, sino a la cantidad de aminoácidos absorbidos, de ahí la importancia de conocer la digestibilidad de los aminoácidos en los ingredientes (Kerr, 2000). La digestibilidad es reportada tanto verdadera como aparente. La digestibilidad verdadera cuenta con la proteína endógena o proteína no dietética que es proporcionada por el tracto digestivo o secreciones digestivas. La digestibilidad aparente no toma en cuenta la proteína endógena, pero es mucho más fácil de medir y obtener información representativa sobre la digestión (Pond *et al.*, 1995).

Las fórmulas generales para la obtención de digestibilidad aparente y verdadera se muestran a continuación.

$$\text{Digestibilidad aparente (\%)} = \frac{(\text{a.a. en alimento} - \text{a.a. en contenido digestivo})}{\text{aminoácidos en alimento}} * 100$$

$$\text{Dig. verdadera (\%)} = \frac{(\text{a.a. en alimento} - (\text{a.a. en cont. digestivo} - \text{a.a. endógenos}))}{\text{Aminoácidos en alimento}} * 100$$

Debido al metabolismo microbial y la ausencia de absorción de aminoácidos en el intestino grueso, los contenidos digestivos son rutinariamente muestreados al final del intestino delgado (ileum) para la determinación de la digestibilidad (David *et al.*, 1997). La determinación de la digestibilidad de aminoácidos en diferentes alimentos es muy importante para la formulación de dietas en producción porcina. Existen 6 diferentes métodos para la colecta de digesta ileal para cerdos (David *et al.*, 1997).

No obstante lo anterior, actualmente la medición de la digestibilidad aparente de aminoácidos en ileum es el método preferido, sin embargo, la digestibilidad aparente subestima las cantidades de aminoácidos absorbidos durante la digestión debido a la

adición de aminoácidos provenientes de los tejidos del cerdo y secreciones (aminoácidos endógenos) entéricas del lumen intestinal (Arentson y Zimmerman, 1995).

2.2.5.1. Efecto de la fuente de alimento sobre la digestibilidad de aminoácidos

La digestibilidad de los aminoácidos está íntimamente relacionada con la fuente del ingrediente empleado en la dieta (Cuadros 6 y 7). La digestibilidad aparente del maíz, trigo y pasta de soya fue determinada por Roger y Zimmerman (1995) usando el método de ^{13}C , encontrando que la digestibilidad aparente de lisina fue mayor en pasta de soya que en trigo y maíz, además de que el trigo tuvo mayores digestibilidades que el maíz, a excepción de histidina, metionina y tirosina. La digestibilidad de la lisina fue más baja para el maíz. Un estudio semejante fue realizado por Nyachoti *et al.* (1997), quienes mediante fístulas a nivel de ileum, con el método de la homoarginina encontraron que la digestibilidad verdadera de lisina en cebada, pasta de soya, pasta de canola y dietas a base de cebada – pasta de canola, fueron similares pero más bajas que la caseína.

Knabe *et al.* (1989) encontraron que la digestibilidad ileal de la lisina estuvo entre el 40 y 93%, donde se menciona que la harina de sangre, harina de gluten de maíz, harina de pescado y soya entera extruída fueron los más digestibles, seguidos de la pasta de canola, pasta de girasol, pasta de cacahuete y harina de carne y hueso. La pasta de algodón y harina de pluma fueron los menos digestibles.

Cuadro 6. Digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos esenciales en pasta de soya, pasta de algodón y harina de carne y hueso

Aminoácido	Pasta de algodón	H. de carne y hueso	Pasta de soya
Lisina	0.74	0.78	0.89
Treonina	0.76	0.72	0.85
Metionina	0.79	0.86	0.91
Triptofano	0.81	0.65	0.90

Fuente. Batterham *et al.* (1990).

Cuadro 7. Digestibilidad ileal aparente de aminoácidos para cerdos, en caseína, cebada, pasta de canola, maíz, trigo y pasta de soya

	Caseína	Cebada	Canola	Maíz	Trigo	P. soya
Aminoácidos esenciales						
Arginina	92.5	68.1	81.9	70.1	77.4	92.9
Histidina	94.7	68.8	74.8	71.3	77.2	87.5
Isoleucina	92.9	67.9	73.2	56.1	70.7	86.5
Leucina	93.9	65.3	65.1	79.3	76.2	88.7
Lisina	95.4	53.5	62.6	46.6	61.1	88.4
Metionina				77.7	78.1	91.3
Fenilalanina	94.4	77.7	71.7	72.4	77.4	88.8
Treonina	89.0	63.7	62.4	40.2	59.1	81.5
Valina	92.9	67.6	69.5	57.9	67.9	84.7
Aminoácidos no esenciales.						
Alanina	86.1	51.3	71.6	69.2	61.5	84.1
Ac. Aspartico	90.1	52.0	71.7	56.2	62.1	87.0
Ac. Glutámico	93.2	78.5	83.9	76.6	84.7	90.8
Glicina	68.3	45.8	56.7	35.4	58.8	76.0
Prolina	94.2	79.0	74.4			
Serina	88.2	55.2	72.0	61.3	72.4	86.3
Tirosina	96.3	73.0	67.5	71.9	74.7	88.7

Fuente Nyachoti et. al. (1997)

2.2.5.2. Efecto del nivel de proteína sobre la digestibilidad de aminoácidos

Se ha observado que el contenido de proteína influye directamente sobre la digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos. Esto es sustentado por las investigaciones realizadas por Fan et al. (1994) quienes evaluaron varios niveles de proteína en cerdos, encontrando que el incremento fue cuadrático en la digestibilidad de los aminoácidos conforme aumentó el nivel de proteína (de 4 a 24%). La digestibilidad verdadera no es afectada por el nivel de proteína en la dieta. Resultados similares fueron encontrados por Dunkoh y Moughan (1994), quienes evaluaron varios niveles de proteína en ratas, encontrando que la digestibilidad aumentó significativamente con el incremento del nivel de proteína en la dieta. También encontraron que la digestibilidad verdadera no es afectada por el nivel de proteína. Los niveles de aminoácidos en la dieta afectaron su respectiva digestibilidad aparente, es decir, al aumentar las concentraciones de aminoácidos se incrementó la digestibilidad de los mismos (Fan *et al.*, 1994).

2.2.5.3. Efecto de la fibra sobre la digestibilidad de aminoácidos

La fibra en la dieta de cerdos en crecimiento puede reducir la digestibilidad de los nutrientes debido a que se reduce la absorción de nutrientes y se incrementa la excreción endógena. Tanto el nivel como la fuente de fibra influyen la secreción y reabsorción de nitrógeno endógeno y aminoácidos (Lenis *et al.*, 1996; Schulze *et al.*, 1995; Sauer *et al.*, 1991). Sauer *et al.* (1991) evaluaron dos fuentes de fibra, encontrando que con excepción de leucina, la inclusión de fibra no afectó significativamente la digestibilidad ileal de los aminoácidos esenciales. Los promedios de digestibilidad para todos los aminoácidos fueron 85.3, 82.9 y 83.2% para la dieta testigo (sin fuente de fibra) y para las dos fuentes de fibra. Sin embargo, la digestibilidad fecal de los aminoácidos esenciales disminuyó significativamente con la inclusión de fibra. Resultados similares fueron reportados por Huang *et al.* (1999) quienes no encontraron diferencias significativas al evaluar varias fracciones de trigo. Schulze *et al.* (1994, 1995) encontraron que al incrementar el nivel de fibra detergente neutro (purificada o compleja) se aumentó el flujo de materia seca a nivel de ileum. Lenis *et al.* (1996) reportaron que la fibra detergente neutro reduce la digestibilidad ileal y fecal de nitrógeno y aminoácidos en cerdos en crecimiento.

2.2.5.4. Efecto de la edad sobre la digestibilidad de aminoácidos

La digestibilidad ileal de los aminoácidos se incrementa con la edad o peso del animal, debido a que las necesidades para mantenimiento y producción se incrementan (Fernández *et al.*, 1986). Sohn *et al.* (1994) encontraron que en cerdos de 25 a 53 días de edad, la digestibilidad ileal de todos los aminoácidos, excepto ácido glutámico, se incrementaron con la edad del cerdo. Resultados similares fueron obtenidos por Stein *et al.* (1999), quienes al comparar cerdas lactantes y cerdos en crecimiento observaron diferencias en digestibilidades ileales de 2 a 6 unidades porcentuales a favor de las cerdas lactantes, aunque las diferencias no fueron significativas; sin embargo las hembras lactantes presentaron mayores digestibilidades que las gestantes. Fernández *et al.* (1986) evaluaron una gran variedad de alimentos y encontraron que las hembras adultas tuvieron una mayor digestibilidad (150 g más proteína) que los cerdos en

crecimiento. Esta mayor digestibilidad de aminoácidos en hembras adultas puede ser atribuido a una mayor fermentación y a la absorción de los productos de fermentación, elevada secreción de enzimas digestivas y por ello una mayor digestión de proteínas, transporte más eficiente de los aminoácidos del lumen intestinal hacia los tejidos e incluso el mayor tamaño del tracto digestivo pudiera ayudar a una mejor utilización de los aminoácidos. Las diferencias en digestibilidad entre hembras lactantes y gestantes sugiere que la digestibilidad también está influenciada por la etapa fisiológica de los animales (Stein *et al.*, 1999).

2.2.6. Biodisponibilidad de aminoácidos

Ser disponible un aminoácido implica que puede ser absorbido y presentado en los tejidos en una forma que puede ser usado para funciones metabólicas. Los factores primarios que afectan la biodisponibilidad son la eficiencia de la digestión proteica, absorción de aminoácidos y la eficiencia del uso de los aminoácidos a nivel de tejido después de la absorción (Ammerman *et al.*, 1995; y Kopinski, 1999; Cuadros 8 y 9). Es por ello de gran importancia conocer las disponibilidades de los aminoácidos en los ingredientes utilizados en la alimentación de los cerdos para asegurar un suministro adecuado de aminoácidos, para ello la digestibilidad ileal aparente estima razonablemente las disponibilidades de los aminoácidos (Nyachoti *et al.*, 1997).

La composición de aminoácidos de los alimentos o de la dieta puede ser determinado por procedimientos químicos, tales como hidrólisis ácida, seguida por detección colorimétrica y fluorimetría. Estos procedimientos determinan la cantidad de aminoácidos que son disponibles para los cerdos (Lewis, 1991; y Kopinski, 1999).

Aunque dos fuentes de proteína pueden contener la misma cantidad de ciertos aminoácidos, la diferencia en la estructura química de la proteína, el método de procesamiento o factores antinutricionales (inhibidores de tripsina), impiden que todos los aminoácidos puedan ser disponibles para el cerdo. Esto es especialmente verdadero para subproductos alimenticios o para ingredientes que han sido sobreprocesados (Noth

Carolina State University, 1996; Easter *et al.*, 1999), afectándose principalmente la disponibilidad de lisina (Marty *et al.*, 1994). Las causas más comunes en la reducción de la digestión proteica son tratamientos de calor excesivos durante el proceso, paredes celulares indigestibles y presencia de factores antinutricionales (Lewis , 1991; y Kopinski, 1999).

Cuadro 8. Biodisponibilidad de aminoácidos para cerdos en crecimiento

Alimento	Arginina	Lisina	Metionina	Treonina	Triptofano
Harina de Sangre		91			
Pasta de canola		87			
Maíz					86
Harina de carne		79	93		
Grano de sorgo		63		89	88
Pasta de soya		90	100		95
Arginina.HCl	83				
Lisina. HCl		79			
DL-Metionina			100		
Treonina				100	
Triptofano					100

Fuente: Ammerman et. al. (1995)

Cuadro 9. Digestibilidad ileal aparente y disponibilidad de lisina en alimentos para cerdos

Alimento	Materia seca	Total	Coef. de disponibilidad	Disponible
Harina de pescado	92.89	7.85	95	7.46
Pasta de algodón	91.45	1.70	41	0.70
Harina de pescado	93.93	4.87	89	4.33
Harina de carne y hueso (<55% PC)	92.5	2.61	70	1.83
Harina de carne y hueso (>55% PC)	92.96	3.06	70	2.14
Pasta de cacahuete	92.08	1.53	57	0.87
Leche descremada en polvo	93.01	2.80	85	2.38
Pasta de soya (44%)	89.81	2.81	88	2.47
Pasta de soya (48%)	90.15	3.01	88	2.65
Pasta de girasol	91.67	1.28	60	0.77

Fuente: Heartland Lysine Inc. (1992)

2.2.7. Nivel óptimo biológico y económico de L-lisina para cerdos en crecimiento

Para estimar los niveles óptimos biológico (NOB) y económico (NOE) de cualquier nutrimento es necesario construir y solucionar modelos econométricos. El modelo econométrico utiliza los modelos de predicción seleccionados para el consumo de alimento, ganancia de peso y otras variables de interés, con el propósito de simular el comportamiento productivo de los animales (Ovando, 2001)

Los niveles óptimos biológicos son aquellos que tienden a optimizar el comportamiento productivo de los animales (González-Alcorta, 1994). Tradicionalmente, el nivel óptimo biológico (NOB) de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento se ha definido como la cantidad de L-lisina necesaria para maximizar la respuesta en ganancia de peso, minimizando la conversión alimenticia (García, 1998). Sin embargo, los niveles de lisina recomendados por los diferentes estándares (ARC, 1981; NRC, 1988 y 1998) no necesariamente maximizan la ganancia de peso, pues son sólo guías para establecer un requerimiento para una población dada (Orozco, 1999). Los NOB encontrados son muy variables (0.69 a 0.32); tal como se muestra en el Cuadro 10, pues para su determinación influyen una gran variedad de factores, tales como ambientales, genotipo, nutrimentos de la dieta, peso inicial y final del cerdo, método de alimentación, digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos de los ingredientes (García, 1998).

Los NOB pudieran tener la desventaja de que no producen las mayores utilidades para los porcicultores, por ello el NOE puede ser una alternativa que buscará incrementar las utilidades. Sin embargo, la utilización de uno u otro depende del objetivo de los productores, pues el utilizar los NOB tendría menor utilidades pero se disminuiría el periodo de engorda ya que la ganancia de peso es mayor, sin embargo el utilizar el NOE implica que el periodo de engorda sería mayor, por lo que en un año el número de cerdos gordos se reduce.

Cuadro 10. Niveles óptimos biológico de L-lisina de diversos autores y los niveles recomendados por el NRC (1988 y 1998)

Autor (es)	Rango de peso	Sexo	NOBNiveles óptimos Biológico de L-lisina
Baker <i>et al.</i> (1975)	18	H, M	0.69
Baker <i>et al.</i> (1975)	18	H, M	0.77
Easter y Baker (1980)	23-45	H, MC	0.77
Williams <i>et al.</i> , (1984)	37-55	M	0.86
Williams <i>et al.</i> , (1984)	30-55	M	0.86
Williams <i>et al.</i> , (1984)	23-58	M	0.86
Williams <i>et al.</i> , (1984)	25-55	M	0.86
Batterham <i>et al.</i> , (1985)	20-50	M	1.00
Batterham <i>et al.</i> , (1985)	20-50	H	0.99
Giles <i>et al.</i> , (1986)	20-50	M	1.22
Giles <i>et al.</i> , (1986)	20-50	H	1.02
Yen <i>et al.</i> (1986)	25-55	MC	1.02
Yen <i>et al.</i> (1986)	25-55	H	1.09
Yen <i>et al.</i> (1986)	25-55	M	1.11
Giles <i>et al.</i> , (1987)	20-50	M	1.20
Giles <i>et al.</i> , (1987)	20-50	H	0.70
Giles <i>et al.</i> , (1987)	20-50	M	1.20
Giles <i>et al.</i> , (1987)	20-50	H	0.70
NRC (1988)	20-50	H, MC, M	0.75
Martínez y Knabe (1990)	21-50	H y M	0.86
Martínez <i>et al.</i> , (1990)	20-50	H y MC	0.86
Chiba <i>et al.</i> (1991)	20-50	H y MC	0.98
Gatel y Grosjen (1992)	23-60	H	0.95
Gatel <i>et al.</i> , (1992)	23-60	H	0.95
Crenshaw <i>et al.</i> (1995)	21-39	H, MC	0.80
Constantino y Gil (1996)	20-50		0.82
González y Orozco (1996)	20-50	H, MC	1.32
García (1998)	30-50	H y MC	0.90
NRC (1998)	20-50	H, MC, M	0.95
Orozco (1999)	20-50	H y MC	1.32

Adaptado de García (1998) y Orozco (1999)

H= Hembra, M= Macho entero, MC= Macho castrado

Los niveles óptimos económicos (NOE) son aquellos que optimizan las utilidades, donde las utilidades dependerán de la diferencia entre los ingresos y los costos de producción. En general para maximizar las utilidades se tienen dos opciones: donde el nivel de producción es semifijo o poco variable, y cuando el nivel de producción es variable. Los niveles óptimos económicos dependen del precio de venta del producto y

de los costos de cada uno de los ingredientes (González-Alcorta, 1994). Según la teoría microeconómica, para maximizar la ganancia de una producción dada, el costo de producción debe ser mínimo; es decir que para cualquier peso de los cerdos, los costos de alimentación deben ser mínimos para tratar de maximizar las utilidades, por lo que una disminución en el precio de los ingredientes provocará un incremento en su uso (González *et al.*, 1992).

En los pocos experimentos realizados para la determinación de los NOE, los valores encontrados son muy variables (Cuadro 11) debido a que la metodología para estimar este nivel aún esta en fase de investigación y a la variación de los costos de insumos y productos de un año a otro e incluso de un mes a otro.

Cuadro 11. Niveles óptimos económicos encontrados para cerdos en crecimiento

Autor (es)	Rango de peso (kg)	Sexo	NOE de L-lisina (%)
Crenshaw <i>et al.</i> (1995)	21-39	H y MC	0.75
Constantino y Gil (1996)	20-50	H y MC	0.80
González y Orozco (1996)	20-50	H y MC	0.72
García (1998)	20-50	H y MC	0.90
Orozco (1999)	20-50	H y MC	0.72

Adaptado de García (1998) y Orozco (1999).

H= Hembras, MC= Machos castrados.

2.2.8. Formulación de dietas con el concepto de proteína ideal

Una proteína ideal es aquella proteína que suplementa los aminoácidos esenciales y nitrógeno no esencial en las proporciones exactas para cubrir los requerimientos de mantenimiento y producción (López *et al.*, 1994; Miller *et al.*, 1996; y Tuitoeck *et al.*, 1997). Sin embargo, Lewis (1997) menciona que es aquella que contiene aminoácidos en las proporciones exactas requeridas por el cerdo y que pueden, bajo circunstancias apropiadas, ser utilizados por completo.

Las fuentes de proteína varían grandemente en calidad y cantidad. La calidad de la proteína es directamente dependiente del contenido de los aminoácidos más limitantes para los cerdos. Si la dieta no es balanceada correctamente, la falta de uno de los

aminoácidos esenciales reduce el comportamiento productivo y la tasa de crecimiento. Un desbalance de aminoácidos puede ocurrir si un segundo aminoácido limitante es adicionado a la dieta cuando el primer aminoácido es todavía deficiente. Esto puede resultar en una reducción del consumo de alimento y del comportamiento productivo del cerdo (North Carolina State University, 1996). No existe información científica que indique que excesos de aminoácidos puedan ocurrir naturalmente en dietas a base de sorgo-maíz-pasta de soya que pudieran tener un efecto detrimental sobre el comportamiento de los cerdos, salvo los errores que pueden ocurrir al mezclar los ingredientes de una dieta. Sin embargo, Lewis (1997) menciona que bajo el concepto de proteína ideal, en dietas a base de maíz-pasta de soya, generalmente la arginina se encuentra en cantidades superiores a los requerimientos de los animales, sugiriendo que los animales no manifiestan su máximo comportamiento productivo, por ello este autor sugiere mejorar los patrones ideales de aminoácidos con la finalidad de disminuir la cantidad de arginina en la dieta.

El uso del concepto de proteína ideal reduce la cantidad de nitrógeno excretado por cerdos en crecimiento y finalización, consumiendo dietas a base de pasta de soya y maíz, aunque es importante reconocer que la respuesta en crecimiento puede también ser afectada (Miller *et al.*, 1996). Un importante beneficio del concepto de proteína ideal es que los requerimientos para todos los aminoácidos y proteína cruda pueden ser definidos para un aminoácido previamente establecido. Aunque esto mismo se convierte en una desventaja, ya que se depende de un aminoácidos para establecer las proporciones entre ellos. Para un uso efectivo del concepto de proteína ideal en formulación de raciones, la proteína ideal pudiera ser expresada en base a disponibilidad. La digestibilidad ileal aparente de aminoácidos proporciona una estimación razonable de disponibilidades de aminoácidos, especialmente en alimentos que no son tratados con calor (Tanksley y Knabe, 1984).

Tuitoeck *et al.* (1997) encontraron que bajando el contenido de proteína cruda en dietas de finalización de 14.2 a 12.8 con adecuada suplementación de aminoácidos sintéticos, de acuerdo al concepto de proteína ideal, no afectó la tasa de crecimiento, consumo de

alimento y eficiencia alimenticia. Similares resultados fueron encontrados por Gatel y Grosjean (1992). Para ello, Lewis (1997) menciona que en gran parte de los experimentos realizados con proteína ideal y dietas tradicionales, no se han encontrado diferencias significativas en comportamiento productivo entre ambos tipos de dietas, por ello, en el futuro el enfoque de la proteína ideal cambiará de intentos de incrementar comportamiento productivo hacia el esfuerzo de reducir la excreción de nutrimentos y el desperdicio.

El óptimo contenido de lisina en una proteína ideal fue de 6.5 a 7.0 g/100 de proteína cruda (ARC, 1981; Fuller *et al.*, 1989). Fuller *et al.* (1989) reportaron que la retención de proteína fue maximizada con una proporción de 7.0 g/100 de proteína cruda. Sin embargo, la proporción de lisina a proteína de 4.5 a 5.2 resulta cuando las dietas a base de maíz y pasta de soya son suplementadas con aminoácidos sintéticos. Por lo que se sugiere que 5.2% de lisina es suficiente para soportar la máxima retención de nitrógeno en cerdos en crecimiento alimentados con dietas prácticas. La más alta recomendación (6.5 a 7.0%) resulta no benéfica para el crecimiento y pudiera incrementar los costos considerablemente. Algunas proporciones ideales de aminoácidos para síntesis de proteína en cerdos en crecimiento se presentan a continuación.

Cuadro 12. Balances de aminoácidos recomendados en dietas para cerdos en crecimiento

Aminoácido	ARC (1981)	NRC (1988)	Wang y Fuller (1989)	Wang y Fuller (1990)	Chug y Baker (1992)	Cole y Van Lunen (1994)	Baker (1995) 20-50 kg	Baker (1995) 50-100 kg
Lisina	100	100	100	100	100	100	100	100
Arginina	-	17	-	-	42	-	36	30
Histidina	33	26	-	-	32	33	32	32
Isoleucina	55	54	60	-	60	50	60	60
Leucina	100	71	110	-	100	100	100	100
Met+Cist	50	49	63	61	60	50	62	65
Fen+Tir	96	79	120	-	95	100	95	95
Treonina	60	57	72	64	65	65	67	70
Triptofano	15	14	18	20	18	18	18	19
Valina	70	57	75	-	68	70	68	68

Fuente: Lewis (1997)

2.2.9. Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento y finalización

Los requerimientos de aminoácidos para cerdos en crecimiento y finalización son influenciados por su capacidad genética para la síntesis de proteína corporal, peso vivo, edad, sexo, manejo de los animales y condiciones ambientales (NRC, 1988; NRC 1998). Los niveles de lisina recomendados por NRC (1998) se presentan en el Cuadro 13.

Las líneas de cerdos de alta capacidad genética para rápido crecimiento o para mayor carne magra requieren de grandes cantidades de lisina para maximizar las tasas de crecimiento y la deposición de músculo en la canal. Los requerimientos de NRC (1988) son deficientes para las líneas de cerdos de alta capacidad de crecimiento, por ello los requerimientos para cerdos deben ser de acuerdo con el potencial genético para una óptima eficiencia (Stahly *et al.*, 1988). Por otro lado, Hansen y Lewis (1993) mencionaron que hay diferencias en apetito, tasa de eficiencia y composición de la canal entre machos enteros, machos castrados y hembras, por lo que los requerimientos son diferentes para cada sexo. Se ha encontrado que los machos enteros y hembras responden a un mayor nivel de proteína y aminoácidos.

Cuadro 13. Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento y finalización propuestos por NRC (1998)

Requerimiento de lisina	20-50 kg.	50-80 kg.	80-120 kg
Base digestibilidad ileal verdadera	0.83	0.66	0.52
Base digestibilidad ileal aparente	0.77	0.61	0.47
Base total	0.95	0.75	0.60

Fuente NRC (1998).

NRC (1998) recomienda para cerdos en crecimiento un total de 0.95% de lisina, mientras que para cerdos en finalización recomienda 0.75% de lisina, No obstante, Rea y Veum (1993), recomendaron para la mismas etapas 1.10 y 0.80% respectivamente. Baker et al. (1999) sugirieron 0.95% de lisina para cerdos de 20-40 kg; de 40- 50 kg, 0.85% y para finalización 0.77, 0.67 y 0.58% para cerdos de 55-75, 75-100 y 100-130 kg de peso, respectivamente.

2.3.1. Efecto del consumo de lisina sobre parámetros productivos

2.3.1.1. Efecto sobre consumo de alimento

Se ha sugerido que en animales en crecimiento, el consumo de proteína es regulado independientemente del consumo de energía, pues se ha encontrado que los cerdos en crecimiento tienen la capacidad de seleccionar preferentemente dietas con balances adecuados de aminoácidos con respecto a dietas deficientes (Henry, 1987). Sin embargo, Nam *et al.* (1995) mencionaron que los cerdos en crecimiento y finalización tienen la capacidad de seleccionar su consumo de proteína para cubrir sus requerimientos cuando se proporcionan dietas isoenergéticas. Aunque cabe mencionar que algunos factores influyen en la preferencia de los cerdos, tales como fuente de proteína, palatabilidad y balance de aminoácidos de las dietas (Henry, 1987; Nam *et al.*, 1995).

Por otro lado, Cline *et al.* (2000), mencionaron que al proporcionar dietas con niveles deficientes o excesivos de proteína y lisina, el consumo de alimento de los cerdos se incrementa, pero cuando el nivel de proteína es adecuado los cerdos tienden a disminuir su consumo de alimento. Sin embargo, Friesen *et al.* (1994); Loughmiller *et al.* (1998); Cline *et al.* (2000) y Witte *et al.* (2000) encontraron que los niveles de lisina no afectan el consumo de alimento de cerdos (hembras y machos castrados) de 34 a 55, de 55 a 72.5, y de 91 a 110 kg, atribuyéndolo a que las dietas no entraron dentro del rango de deficientes o con excesos. Hansen y Lewis (1993) evaluaron varios niveles de proteína en cerdos en crecimiento (hembras, machos castrados y enteros) y encontraron que las hembras disminuyeron el consumo de alimento conforme aumentó el nivel de proteína de 11 a 17% y en niveles mayores de 17% el consumo de alimento se incrementó. Efectos opuestos se encontraron en cerdos castrados donde en los niveles de 11 a 17% el consumo de alimento fue variable y con niveles mayores a 17% el consumo de alimento se redujo. Este comportamiento se atribuyó a que las hembras requieren una mayor cantidad de proteína que los machos castrados, de ahí que con dietas bajas en proteína el consumo de alimento sea menor y viceversa. También reportaron que el comportamiento fue similar entre machos enteros y hembras, ya que son animales más eficientes. Al final se observó que los machos castrados consumieron más alimento que hembras y machos

enteros. Coffey y Laurent (1995) encontraron que los machos castrados consumieron 13% más alimento que las hembras al evaluar varios niveles de lisina, aunque Friesen *et al.* (1995) reportaron que los niveles de lisina no afectaron el consumo de alimento de hembras con alto potencial genético, aunque existió una tendencia numérica a aumentar conforme se incrementó la lisina dietética.

2.3.1.2. Efecto sobre ganancia de peso

La ganancia de peso es uno de los parámetros productivos que se toma en consideración en las explotaciones comerciales, pues el periodo de engorda está en función de la ganancia diaria de peso, por ello es de vital importancia proporcionar los niveles adecuados de aminoácidos que maximicen la ganancia de peso de los cerdos en crecimiento, ya que es la etapa en la cual los cerdos utilizan más eficientemente la proteína y aminoácidos. Varios autores (Friesen *et al.*, 1994; Coma *et al.*, 1995; y Friesen *et al.*, 1996) encontraron una respuesta lineal en ganancia de peso al incrementar los niveles de lisina digestible y total, en hembras y machos castrados en crecimiento y finalización. Resultados similares fueron reportados por Cline *et al.* (2000), quienes encontraron diferencias altamente significativas en ganancia de peso. Mientras que Hansen y Lewis (1993) observaron que la ganancia de peso se comportó de manera cuadrática cuando aumentaron los niveles de proteína en cerdos enteros y castrados, sin embargo encontraron que las hembras con los niveles más altos de proteína sus ganancias se redujeron en mayor proporción y en general las hembras tuvieron una menor ganancia de peso en todos los niveles de proteína y lisina. Coffey y Laurent (1995) encontraron que las hembras presentaron una menor ganancia de peso que los machos castrados al evaluar varios niveles de lisina en la etapa de crecimiento y finalización.

Friesen *et al.* (1995) observaron que las hembras de alto potencial genético en la etapa de 72 a 104 kg responden linealmente al incremento de los niveles de lisina digestible y después de este peso su respuesta se comporta de manera cuadrática ya que a este peso sus requerimientos disminuyen debido a una menor eficiencia alimenticia. El mismo comportamiento fue encontrado por Dritz *et al.* (1999a) en cerdos en crecimiento donde

hubo un incremento lineal en ganancia de peso conforme se incrementó el nivel de lisina de 0.8 a 1.4% , aunque en el último nivel de lisina el incremento en ganancia de peso fue menor. Susenbeth *et al.* (1999) evaluaron el efecto del nivel de lisina y energía sobre el comportamiento productivo de cerdos en crecimiento y finalización y concluyeron que hay una respuesta lineal en ganancia de peso al incrementar lisina dietética independientemente del nivel de energía, aunque hubo una tendencia a tener mayor síntesis de proteína en las dietas con el mayor contenido de energía. Dritz *et al.* (1999b) encontraron que cuando se les proporcionaron dietas deficientes a cerdos en crecimiento y finalización, los cerdos tuvieron una pobre ganancia de peso, pues al final de los periodos de experimentación, estos animales pesaron menos que los animales alimentados con niveles adecuados de lisina. Mientras que Witte *et al.* (2000) al evaluar el efecto del nivel de lisina y temperatura sobre el comportamiento productivo de cerdos encontraron que el nivel de lisina no afectó significativamente la ganancia de peso.

De acuerdo a todo lo anterior, podemos mencionar que la magnitud en la respuesta en ganancia de peso dependerá de los niveles de lisina evaluados, peso del animal y calidad genética de los mismos, es decir, en algunos experimentos se encontró que la respuesta fue lineal, lo que pudiera deberse a que los niveles de lisina evaluados no sobrepasaron los requerimientos de los animales o que estos eran de una alta calidad genética, o simplemente que fueron muy pocos los niveles de lisina evaluados. Sin embargo, algunos autores mencionan que encontraron una respuesta cuadrática, ello pudiera indicar que los niveles de lisina evaluados sobrepasaron los requerimientos de los animales o que la calidad genética de los animales no era buena.

2.3.1.3. Efecto sobre conversión alimenticia

Hansen y Lewis (1993); Friesen *et al.* (1994); Loughmiller *et al.* (1998); y Cline *et al.* (2000) encontraron que al incrementar los niveles de lisina la eficiencia alimenticia se incrementó cuadráticamente en cerdos en crecimiento y finalización. Hansen y Lewis (1993) reportaron que el sexo de los animales es determinante en la eficiencia alimenticia encontrando que los machos enteros fueron los más eficientes seguidos de las hembras y por último los machos castrados. Similares resultados fueron observados

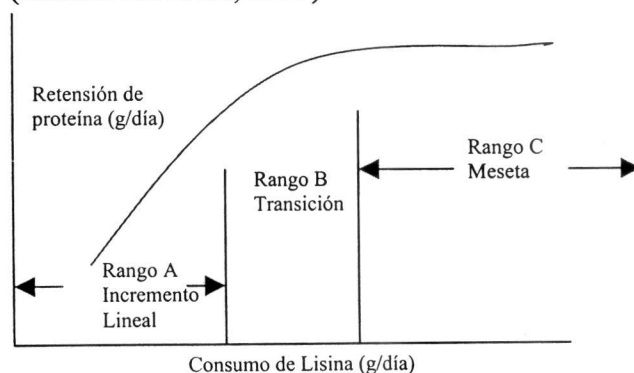
por Coffey y Lauren (1995) quienes encontraron que las hembras en la etapa de crecimiento y finalización fueron más eficientes que los machos castrados al proporcionar dietas con diferentes niveles de lisina. Por otro lado Friesen *et al.* (1995) reportaron que en hembras en finalización (72 a 104 kg) la eficiencia se aumentó de manera lineal, pero después de los 104 kg la eficiencia respondió de manera cuadrática lo que sugirió que después de este peso, los animales comienzan a ser menos eficientes. Dritz *et al.* (1999a, 1999b) encontraron que la eficiencia se comportó de manera cuadrática cuando se evaluaron varios niveles adecuados de lisina en cerdos en crecimiento y finalización, pero observaron que con dietas deficientes en lisina la eficiencia alimenticia se redujo de manera significativa.

2.3.2 Efecto del nivel de lisina sobre características de la canal

2.3.2.1. Ganancia de carne magra

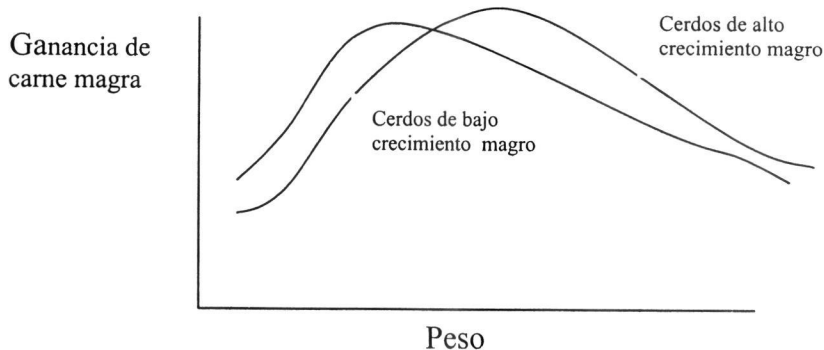
La deposición de proteína corporal está estrechamente relacionada con síntesis de músculo o tejido magro. La deposición de proteína corporal es el principal factor que determina los requerimientos diarios para los aminoácidos esenciales, como lisina, metionina, metionina + cistina, treonina, triptofano e isoleucina, principalmente (de Lange y Coudenys, 1997). Por lo que la selección para altas tasas de síntesis de tejido magro han aumentado los requerimientos de lisina (Loughmiller *et al.*, 1998). Es por ello que para cerdos en crecimiento y finalización, el proporcionar un óptimo nivel de lisina en la dieta es crucial para un máximo crecimiento de tejido magro (Wei y Zimmerman, 1998). El comportamiento que se espera en síntesis de proteína al incrementar los niveles de lisina se muestra en la siguiente figura.

Figura 4. Relación entre consumo de lisina y retención de proteína
(Susenbeth *et al.*, 1999)



Un adecuado consumo de aminoácidos determina la eficiencia con la cual la lisina es retenida en forma de proteína corporal, menos del 55% de eficiencia en dietas a base de sorgo- maíz -pasta de soya pueden limitar la deposición de proteína corporal (Susenbeth, 1995; de Lange y Mohn, 1996; de Lange y Coudenys, 1997). La retención potencial de proteína ha sido extensamente descrita como una función del peso vivo, debido a ello, el consumo de aminoácidos requerido para lograr el potencial de crecimiento cambia conforme el peso de los animales. Para ello, Mohn y de Lange (1998) encontraron que en hembras, la deposición de proteína aumentó linealmente conforme se incrementó el peso vivo de 20 a 70 kg. En investigaciones recientes se ha encontrado que la deposición de proteína es relativamente constante en cerdos de 20-90 kg y después comienza a descender (Lange y Coudenys, 1997; Loughmiller *et al.*, 1998), aunque Whittemore *et al.* (1988) mencionaron que la mayor capacidad para síntesis de carne magra es de los 55 a los 72 kg, que es donde los cerdos comienzan a tener mayor consumo de alimento. Aunque Mohn y De Lange (1998) encontraron que la máxima deposición de proteína se da de los 50 a los 90 kg. Debido a lo anterior, Friesen *et al.* (1995) observaron que los cerdos en crecimiento están limitados por su menor consumo de alimento. La magnitud de la caída en la capacidad de depositar proteína dependerá de la calidad genética de los animales. Animales con menor calidad genética su caída será mas brusca, mientras que animales con mejor genética su curva de síntesis de proteína será más prolongada (Coffey y Laurent, 1995). Esto se puede observar en la siguiente gráfica.

Figura 5. Efecto del genotipo y peso vivo sobre crecimiento magro (Coffey y Laurent, 1995).



Los programas de alimentación diseñados para maximizar la síntesis de tejido magro en cerdos en crecimiento son afectados por varios factores, incluyendo sexo, temperatura ambiental y genotipo (Hansen y Lewis , 1993; Friesen *et al.*, 1994; Coffey y Laurent, 1995).

En el NRC (1988) se presenta una gran recopilación de investigación sobre estimaciones de lisina dietética; sin embargo, hay poca información sobre el requerimiento de lisina para optimizar el crecimiento de tejido magro. No obstante, en el NRC (1998) se usó un modelo biológico para estimar los requerimientos de lisina basado principalmente sobre tasa de síntesis de tejido magro. Genotipos con ganancia de carne magra de 300, 325 y 350 g/d son considerados como genotipos de media, media-alta y alta calidad genética. Por lo que el nivel máximo de síntesis de proteína está determinado por el potencial genético de los animales (de Lange y Coudenys, 1997).

Friesen *et al.* (1994) mencionaron que el requerimiento de lisina dietética para máxima ganancia de tejido magro es mayor al requerimiento para máxima ganancia de peso. Por lo anterior es necesario incrementar los niveles de lisina en la dieta para asegurar la mayor deposición de proteína en la canal (Rao y McCracken, 1990) sugiriéndose que tanto machos como hembras requieren aumentar su consumo de lisina de 5 a 6 g por día por arriba de los requerimientos del NRC. Además de que el incremento en la selección para ganancia de carne magra ha aumentado los requerimientos de lisina dietética, especialmente en cerdos con ganancias de carne magra altas (0.34 kg/d; Friesen *et al.*, 1995; Loghmiller *et al.*, 1998). Sin embargo, después de que los cerdos exceden los 90 kg de peso la tasa de deposición de proteína comienza a disminuir junto con los requerimientos de lisina (Whittemore *et al.*, 1988; Loughmiller *et al.*, 1998), pues se incrementa en gran cantidad el consumo de alimento, pudiendo resultar en una mayor síntesis de tejido graso y disminuir la síntesis de proteína (Whittemore *et al.*, 1988).

El potencial genético para ganancia de carne magra es uno de los factores que influyen el requerimiento. Animales con alta capacidad genética para síntesis de tejido magro (>0.34 kg/d) tienen mayor requerimiento de lisina que genotipos de media

capacidad genética (0.23 a 0.33 kg/día) y baja capacidad genética (< 0.23 kg/d; Stahly *et al.*, 1988; 1991). Además los animales con mayor calidad genética responden más a adiciones de lisina dietética que animales de menor calidad (Cromwell *et al.*, 1990; Friesen *et al.*, 1992; Cromwell *et al.*, 1993). Se han encontrado diferencias en la capacidad de síntesis de tejido magro entre genotipos de hasta 35%, mientras que dentro de un mismo genotipo las diferencias pueden llegar hasta un 38% (Coffey y Laurent, 1995).

El sexo de los animales es otro de los factores que afectan el requerimiento de lisina para optimizar la ganancia de tejido magro. Se menciona que las hembras requieren mayores niveles de lisina que los machos castrados, pues tienen una mayor tasa de síntesis de tejido magro (Cline *et al.*, 2000) y en la mayoría de los genotipos, las hembras consumen de 10 a 12% menos alimento que los machos, por lo que para optimizar el potencial de las hembras es necesario aumentar la densidad de aminoácidos y proteína en la dieta para asegurar que con un menor consumo de alimento sean capaces de cubrir sus requerimientos para la máxima síntesis de tejido magro (Friesen *et al.*, 1994; Coffey y Laurent, 1995). Además, las hembras de alta genética para síntesis de carne magra tienen la mayor magnitud de la respuesta al incrementar la lisina dietética en comparación con hembras de mediana y baja calidad genética (Friesen *et al.*, 1994).

Por otro lado, Susenbeth (1995) y Susenbeth *et al.* (1999) encontraron que cuando la lisina es el primer factor limitante, este es el único responsable de la cantidad de proteína sintetizada; sin embargo es necesario conocer las proporciones de lisina con otros aminoácidos (proteína ideal) para evitar desbalances de aminoácidos que pudieran afectar la síntesis de proteína. Por ello Mnilk *et al.* (1996) mencionaron que para una óptima deposición de proteína se requiere proporcionar equilibradamente todos los aminoácidos, porque si alguno de los aminoácidos indispensables es deficiente en la dieta, relativo a otros aminoácidos, éstos pueden ser conservados por mecanismos que limiten su oxidación. Pero cuando los aminoácidos están en exceso, se puede exceder la capacidad del animal para deposición de proteína, por ello son oxidados para evitar efectos tóxicos.

2.3.2.2. Efecto sobre grasa dorsal

Generalmente se menciona que la cantidad de proteína y lisina en la dieta pueden influenciar la cantidad de grasa presente en la canal, pues dependiendo del nivel de éstas va a ser la cantidad de energía neta disponible para la síntesis de tejido adiposo. Por otro lado, la selección para ganancia de carne magra ha disminuido la cantidad de grasa en la canal, pues una mayor cantidad de energía se destina a la síntesis de proteína (Friesen *et al.* 1994; Cline *et al.*, 2000).

Cline *et al.* (2000) evaluaron varios niveles de lisina (0.80, 0.95, 1.10, 1.15 y 1.40%) en cerdos en crecimiento y encontraron que sólo los niveles más altos (1.15 y 1.40%) presentaron una menor cantidad de grasa en la canal, atribuyéndolo a que el animal gasta más energía en desaminar los aminoácidos y excretar el exceso de nitrógeno, resultando en una menor energía neta para depositar tejido adiposo. Resultados similares fueron encontrados por Dritz *et al.* (1999a) al evaluar los mismos niveles de lisina que Cline *et al.* (2000). Friesen *et al.* (1994) reportaron que en hembras en crecimiento de 34 a 55 kg y de 55 a 72.5 kg al evaluar varios niveles de lisina (0.54, 0.64, 0.74, 0.84, 0.94 y 1.04%) el contenido de grasa dorsal disminuyó conforme se incrementaron los niveles de lisina.

Por otro lado Coffey y Laurent (1995) observaron que al aumentar los niveles de lisina en el periodo de finalización, los menores niveles de grasa dorsal se encontraron en las hembras con los niveles más altos de lisina (0.80%), los machos se comportaron de manera similar, pero con un contenido de grasa mayor que las hembras (9% mayor). Friesen *et al.* (1994) encontraron resultados similares en cerdos de 44 a 104 kg donde las cerdas fueron las que presentaron los niveles más bajos de grasa (2.65 cm vs 3.02 cm). Hansen y Lewis (1993), al evaluar varios niveles de proteína en animales en crecimiento (machos enteros, castrados y hembras) encontraron que la cantidad de grasa dorsal se redujo conforme aumentaron los niveles de proteína, pero además encontraron que los machos enteros tuvieron el menor nivel de grasa, seguidos por las hembras y al final los machos castrados. Hahn *et al.* (1995) reportaron que en cerdos en finalización el nivel de

grasa fue menor en las hembras (1.8 cm) que en los machos castrados (2.35 cm). Cline *et al.* (2000) mencionaron que en tres estudios realizados con hembras alimentadas con altos niveles de lisina tuvieron grandes ganancias de carne magra (341, 334 y 380 g/d), encontrando además sólo un 10% de grasa en la carne magra. Resultados similares fueron reportados por López *et al.* (1994) quienes en hembras en finalización observaron que al alimentarlas con dietas tradicionales y dietas con base a proteína ideal, la grasa dorsal se redujo al aumentar el nivel de lisina en las dietas.

Con base en lo anterior, podemos concluir que las hembras responden mejor a niveles altos de lisina, por lo que se esperaría que tuvieran un mejor comportamiento en la ganancia de carne magra, pues tienen una mayor capacidad de síntesis de proteína corporal que los machos castrados.

2.3.2.3. Efecto sobre el área del músculo longissimus

El área del músculo longissimus es uno de los parámetros a tomar en cuenta para evaluar la calidad de la canal de los cerdos, porque tiene gran relación con la cantidad de carne magra que un cerdo sintetiza, además de que guarda una proporción estrecha con el nivel de grasa dorsal, ya que al incrementarse el área del ojo de la chuleta hay menor cantidad de energía neta disponible para la síntesis de grasa corporal. Por ello, incrementar tanto el nivel de proteína como de lisina puede asegurar que los animales manifiesten su máximo potencial de síntesis de carne magra y disminuir así la síntesis de grasa.

Hansen y Lewis (1993) evaluaron varios niveles de proteína (11, 13, 15, 17, 19, 21 y 23%) en cerdos en crecimiento, y encontraron una respuesta cuadrática en el ojo de la chuleta al incrementar los niveles de proteína en la dieta, pero la respuesta fue mayor en machos enteros que en hembras y machos castrados, aunque las hembras tuvieron una mejor respuesta (32.8 cm²) que los machos castrados (30.7 cm²). Resultados similares fueron encontrados por Witte *et al.* (2000) en cerdos en finalización al evaluar dos niveles de lisina (0.4 y 0.62%). Friesen *et al.* (1994) observaron que de los 44 a los 104 kg las hembras también tuvieron la mayor área de chuleta que los machos castrados (34.16 cm² vs. 29.75 cm²). Todo lo anterior implica que al incrementar la lisina en la

dieta se incrementa la síntesis de proteína y se disminuye la síntesis de grasa. Hahn *et al.* (1995) reportaron resultados similares, con una respuesta lineal en el ojo de la chuleta al incrementar el nivel de lisina, encontrándose los mejores resultados en hembras con respecto a machos castrados (33.38 vs 31.75 cm²). Por otro lado, Cline *et al.* (2000) no encontraron respuesta al aumentar los niveles de lisina, excepto en el nivel más alto (1.40%), en hembras en la etapa de finalización, pero las diferencias no fueron significativas, por lo que sugiere que altos niveles de lisina pueden ser tolerados por cerdos en finalización con la finalidad de incrementar el área de la chuleta con respecto a la grasa dorsal, lo que se puede explicar debido a que los animales en finalización necesitan energía metabólica adicional para excretar el exceso de N y por ende menos energía entra para la síntesis de tejido adiposo.

2.3.3. Urea como estimador del requerimiento de lisina

La concentración de urea en plasma ha sido usado para proporcionar una estimación del requerimiento de lisina para cerdos en crecimiento, gestantes y lactantes, durante periodos de experimentación largo (Coma *et al.*, 1995a). Sin embargo, se ha reportado que el metabolismo de nitrógeno tiene una respuesta rápida a cambios en la concentración de aminoácidos, pues se han encontrado cambios en la concentración de urea a las 24 horas de haber modificado la cantidad de aminoácidos, pero además se ha encontrado que a los 2 ó 3 días la concentración de urea alcanza un nuevo equilibrio (Coma *et al.*, 1995a; Coma y Zimmerman, 1993). La reducción en la concentración de urea presumiblemente refleja un uso más eficiente del nitrógeno total, por ello, los niveles más bajos de urea en cerdos pudieran indicar los niveles adecuados de lisina debido a que hay una mayor retención de nitrógeno (Coma *et al.*, 1995a).

El requerimiento de lisina para cerdos puede ser estimado por la concentración de urea en plasma sanguíneo, pues es la forma de transporte del exceso de nitrógeno hacia el riñón para su excreción (Wei y Zimmerman 1998; Frank *et al.*, 1998). Aunque es un método relativamente sencillo, en la práctica se han hecho pocos estudios (Frank *et al.*, 1998). Niveles bajos de urea en plasma pueden ser usados como un indicador de la máxima utilización de los aminoácidos. Por el contrario, niveles altos de urea indican un

uso ineficiente de los aminoácidos, por lo que el requerimiento potencial de lisina pudiera ser basado sobre el nivel bajo de urea en plasma (Coma y Zimmerman, 1993; Friesen *et al.*, 1994; Coma *et al.*, 1995a; Wei y Zimmerman, 1998). Friesen *et al.* (1994) mencionaron que el incremento de urea en plasma puede ser atribuido al incremento en el consumo de lisina por arriba de los requerimientos de los animales.

Coma *et al.* (1995b) encontraron que las concentraciones de urea en plasma están inversamente relacionadas con la calidad de la proteína, y por otro lado, la cantidad de proteína es directamente relacionada con los niveles de urea en plasma. Friesen *et al.* (1994) observaron los niveles más bajos de urea (11.64 mg/100 ml) en cerdas en crecimiento cuando la dieta contenía 0.85% de lisina digestible. Por otro lado Loughmiller *et al.* (1998) reportaron que en cerdas en finalización el nivel de urea se aumentaba linealmente conforme se aumentó el nivel de lisina; sin embargo, el mayor incremento se dio entre 0.55 y 0.75% de lisina dietética sugiriendo que el nivel adecuado esta dentro de estos dos niveles. Hahn *et al.* (1995), mencionaron que la concentración de urea en plasma respondió linealmente conforme se incrementó el nivel de lisina en dietas bajas en proteína y formuladas bajo el concepto de proteína ideal adicionadas con lisina en cerdos en finalización. López *et al.* (1994), al evaluar dos niveles lisina en dietas formuladas con base a proteína ideal en comparación a dietas tradicionales, encontraron que los niveles de urea fueron menores en dietas formuladas con proteína ideal que en dietas tradicionales, pues las dietas tradicionales, aún con los mismos niveles de lisina, contenían mayor concentración de proteína que la dieta ideal, además de que se proporcionó un balance adecuado de aminoácidos, trayendo con ello un uso más eficiente del nitrógeno. Coma *et al.* (1995a) en una serie de experimentos, observaron que en cerdos en crecimiento y finalización los niveles de urea disminuyeron linealmente conforme se incrementaron los niveles de lisina, pero mediante modelos de regresión encontraron que el punto de inflexión se dio al nivel de 0.85% de lisina en cerdos en crecimiento (32 a 36 kg), 0.76% para cerdos con peso de 44 a 49 kg y 1.05% para cerdos de 25 a 30 kg. Observaron además que al incrementar los niveles de lisina por arriba de los requerimientos, los niveles de urea se incrementan.

III. Problemática, Hipótesis y Objetivos

3.1. Problemática

Los niveles óptimos biológico y económico de lisina para cerdos en crecimiento presentan una gran variabilidad, pues falta investigación para obtener los niveles óptimos biológico y económico de L-lisina. Además la poca información sobre metodologías que sirvan como instrumento de apoyo para la determinación de los efectos de las variaciones del precio del cerdo sobre el nivel óptimo económico de L-lisina. De tal manera que, se desconoce si los niveles óptimos biológico y económico coinciden con los requerimientos del NRC (1998) y a la vez también se desconoce si los niveles óptimos biológico y económico coinciden entre sí. Debido a lo anterior, no existe una metodología básica, ni un sistema de formulación de máxima utilidad accesible, confiable y ajustable para el nutriólogo en cerdos, que optimice el uso de los recursos y realice un análisis de sensibilidad de precios.

En México se ha realizado poca investigación sobre el efecto de la lisina dietética en características de la canal, ganancia de carne magra y sobre el nivel de urea en plasma, debido a ello existe una gran dependencia de la investigación realizada en otros países. Sin embargo es difícil extrapolar los resultados a las condiciones de México, ya que las condiciones ambientales son diferentes y la genética de los animales pudiera ser otro factor que crea confusiones, por ello es necesario realizar investigación a nivel nacional con la finalidad de obtener información útil para las condiciones de México y con los genotipos característicos del país para cubrir entonces la calidad de la carne demandada en nuestro país.

3.2. Hipótesis

El nivel de lisina dietética total afecta el comportamiento productivo, características de la canal y ganancia de carne magra en cerdos en crecimiento.

El nivel de lisina total afecta la concentración de urea en plasma en cerdos en crecimiento.

El nivel óptimo de lisina que minimiza la concentración de urea en plasma coincide con los niveles óptimos de lisina para parámetros productivos.

El nivel óptimo biológico (NOB) de lisina total para ganancia diaria de peso, ganancia de carne magra y área de ojo de chuleta no coincide con el nivel recomendado por NRC (1998).

El nivel óptimo económico (NOE) de lisina total en dietas para cerdos en crecimiento puede no coincidir con el NOB para máxima ganancia de peso.

El NOE de lisina total para cerdos en crecimiento depende del precio del cerdo y de la lisina.

Las hembras requieren una mayor cantidad de lisina para maximizar comportamiento productivo y características de la canal y ganancia de carne magra.

3.3. Objetivos

Evaluar el efecto del nivel de lisina total sobre comportamiento productivo, características de la canal y ganancia de carne magra.

Evaluar el efecto de la lisina total sobre concentración de urea en plasma.

Calcular los NOB para ganancia diaria de peso, ganancia de carne magra y área del ojo de chuleta y compararlos con el nivel óptimo para concentración de urea en plasma

Calcular los NOB para ganancia diaria de peso, ganancia de carne y área de ojo de chuleta y compararlos con el nivel recomendado por NRC (1998).

Calcular el nivel óptimo económico (NOE) de lisina total para cerdos en crecimiento y compararlo con el NOB para máxima ganancia de peso.

Realizar un análisis de sensibilidad del NOE de lisina total ante variación del precio del kg de cerdo y de la lisina.

Evaluar el efecto del sexo sobre el requerimiento de lisina para ganancia de peso y ganancia de carne magra.

IV. Materiales y Métodos

4.1. Ensayo biológico

Se evaluaron diferentes niveles de lisina total en dietas para cerdos en etapa de crecimiento.

4.1.1. Localización

El experimento se llevó a cabo en el módulo de cerdos de la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el municipio de Texcoco en el Estado de México, localizada a 19°22' de latitud Norte y 98° 35' de longitud oeste, a una altura de 2250 msnm, el clima corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, cuya fórmula climática es (CWo)(W)b(i)g, con poca oscilación térmica (5 a 7 °C), con una temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988).

4.1.2. Tratamientos

Se utilizaron 45 cerdos (23 machos y 22 hembras) provenientes de cerdas York x Landrace inseminadas en cruzamientos rotativos con York o Duroc. El peso promedio inicial fue de 24.74 kg. Se probaron 5 tratamientos con tres repeticiones y tres cerdos por repetición. Se proporcionó alimento *ad libitum* en presentación de harina. Las dietas experimentales se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Dietas experimentales proporcionadas en el ensayo biológico^a y requerimientos de NRC (1998)

	NIVELES DE LISINA TOTAL (%)					
	0.80	0.90	0.99	1.09	1.18	NRC (1998)
Ingredientes (%)						
Pasta de soya	14.68	19.50	19.5	19.5	19.5	
Sorgo	79.11	74.44	74.46	74.46	74.46	
Aceite vegetal	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	
Núcleo ^b	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Salvado de trigo	0.51	0.38	0.25	0.12	0.00	
HCl-Lisina	0.03	0.00	0.11	0.25	0.37	
L-Treonina	0.05	.05	0.05	0.05	0.05	
DL-Metionina	0.03	.03	0.03	0.03	0.03	
Análisis calculado (%)						
Proteína cruda	14.0	15.6	15.7	15.8	15.9	18.0
Lisina	0.80	0.90	0.99	1.09	1.18	0.95
Arginina	0.78	0.92	0.91	0.91	0.91	0.37
Treonina	0.55	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Triptofano	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19	0.17
Metionina + Cistina	0.49	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Calcio	0.81	0.83	0.83	0.83	0.83	0.60
Fósforo total	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.50
Fósforo disponible						
EM (kcal/kg)	3248	3245	3244	3243	3241	3265
Análisis determinado (%)						
Proteína cruda	15.5	15.95	16.10	15.94	15.78	
Fósforo	0.62	0.66	0.65	0.65	0.64	
Calcio	0.75	0.84	0.88	0.87	0.83	
EB (kcal/kg)	3,978	3,991	3,975	3,950	3,981	

^a Base alimento.

^b Cada 40 kgs. de núcleo aportó: 600 g de colina, 20 mg de cianocobalamina (vit. B12), 3000 g de fósforo, 5000 g de calcio, 40 g de antioxidante (NOLHOX), 3000 g de sal, 250 mg de biotina, 1,750 g de HCL-Lisina, 25 g de ác. Nicotinami/niacinamid, 120 g de zinc, 10 g de cobre, 120 g de hierro, 850,000 UI de colecalciferol, 1 g de clorhidrato de piridoxina, 20,000 UI de acetato D-L alfatocoferol, 18 g de pantotenato de calcio, 4,500,000 UI de acetato de retinol, 1 g de clorhidrato de tiamina, 150 mg de ácido fólico, 3000 mg de yodo, 100 mg de cobalto, 2.5 g de bisulfito sódico de menadiona, 30 g de manganeso, 6 g de riboflavina, 200 mg de selenio

4.1.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un bloques al azar. Los criterios de bloqueo fueron el peso inicial de los animales y la camada de origen. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta

μ = Media general

T_i = Efecto del i-ésimo nivel de lisina sobre la variable respuesta

B_j = Efecto del j-ésimo bloque sobre la variable respuesta

E_{ij} = Error experimental

Los resultados de este experimento fueron sometidos a un análisis de varianza con el diseño antes descrito utilizando el procedimiento GLM de SAS (1988). Para el análisis global se realizó prueba de comparación de medias de Tukey para las variables en las que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Mientras que para el análisis de los datos por sexo, la comparación de medias se realizó con el método de Diferencia Mínima Significativa.

4.1.4. Variables de respuesta

Las variables de respuesta obtenidas durante el periodo experimental fueron: consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, ganancia de carne magra, grasa dorsal, ojo de chuleta y urea en plasma.

4.1.5. Dietas

Las dietas fueron formuladas con el programa Spartan Swine Ration Evaluator de la Universidad Estatal de Michigan, con base a sorgo-pasta de soya, ingredientes tradicionales en explotaciones comerciales. Sin embargo, para calcular los NOB y NOE, las dietas se reformularon con el optimizador de Excel (Solver).

4.1.6. Manejo de los animales

a) Periodo de adaptación. Ocho días antes del inicio del experimento se proporcionó una dieta estándar a todos los animales, para que todos estuvieran en las mismas condiciones. Después se les asignó la dieta experimental.

b) Alimentación. Se le proporcionó alimentación *ad libitum*, y no se alimentaron por sexos separados. No obstante, durante el periodo experimental se llevaron registros individuales de la ganancia de peso, urea en plasma, grasa dorsal y ojo de chuleta, para ver el comportamiento de las hembras y machos dentro de un mismo tratamiento.

c) Mediciones. Los animales se pesaron cada semana para estimar la ganancia de peso; también se estimó el consumo de alimento. Para las características de la canal, con el uso del ultrasonido de tiempo real, se midió grasa dorsal y área del ojo de la chuleta al inicio y final del experimento a nivel de la décima costilla. Para la determinación de urea en plasma se sangraron los animales en la vena cava anterior, al inicio y al final del experimento.

4.1.7. Análisis y equipo de laboratorio

a) Alimento. Se tomaron muestras de las dietas a las cuales se le determinó proteína cruda por el método de macrokjeldahl propuesto por Harris (1970). La determinación de calcio y fósforo se realizó por espectrofotometría de absorción atómica según la metodología propuesta por Karl *et al.* (1979); el espectrofotómetro utilizado para las lecturas fue un Perkin-Elmer 4000. En la determinación de la Energía Bruta se incineraron las muestras de alimento en una cámara de combustión Parr 1261. Para la determinación de urea en plasma se utilizó el método colorimétrico propuesto por Fawcett y Scott (1960) y Searcy *et al.* (1961) y el aparato utilizado para las lecturas fue un espectrofotómetro Perkin-Elmer, serie Lambda 2.

b) Mediciones en animales. Para las mediciones de grasa dorsal y ojo de chuleta se utilizó el equipo de ultrasonido Sono Vet 600 marca MADISON y la ganancia de carne magra se estimó a partir de la fórmula propuesta por NPPC (1991).

c) Sangrado. Se tomó muestra de sangre a nivel de vena cava para lo que se utilizaron tubos vacutainer con heparina, con capacidad de 10 ml. Las muestras de sangre se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos y el sobrenadante fue transferido a un tubo de poliuretano. El plasma se almacenó a -20°C para su posterior análisis.

4.2. Estimación de parámetros de los modelos de regresión evaluados

Los parámetros de los modelos de regresión fueron estimados a partir de los datos del ensayo biológico y utilizados para la construcción del modelo econométrico. Los resultados de las variables de respuesta fueron sometidos a regresión (lineal simple, cuadrático y cúbico) y regresión no lineal con modelos exponenciales de Noll *et al.* (1984) y Morales *et al.* (1991). Los resultados fueron analizados por el procedimiento GLM de SAS para la regresión lineal y por procedimientos de NLIN para la regresión no lineal.

Los modelos de regresión utilizados para las variables consumo de alimento (CAL), ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento (CA), grasa dorsal (GD), área de ojo de chuletas (OCH), ganancia de carne magra (GCM) y urea en plasma (UREA) fueron los siguientes:

1. Modelo lineal simple.

$$\text{CAL, GDP, CA, GD, OCH, GCM, UREA} = \beta_0 + \beta_1 (\text{Lis}) + \text{Error}$$

2. Modelo cuadrático.

$$\text{CAL, GDP, CA, GD, OCH, GCM, UREA} = \beta_0 + \beta_1 (\text{Lis}) + \beta_2 (\text{Lis} * \text{Lis}) + \text{Error}$$

3. Modelo cúbico.

$$\text{CAL, GDP, CA, GD, OCH, GCM, UREA} = \beta_0 + \beta_1 (\text{Lis}) + \beta_2 (\text{Lis} * \text{Lis}) + \beta_3 (\text{Lis} * \text{Lis} * \text{Lis}) + \text{Error}$$

4. Modelo exponencial (Noll et al. 1984)

$$\text{CAL, GDP, CA, GD, OCH, GCM, UREA} = \beta_0 + (\beta_1 (1 - (\text{EXP}(\beta_2 * \text{Lis})))) + \text{Error}$$

5. Modelo exponencial (Morales et al. 1991)

$$\text{CAL, GDP, CA, GD, OCH, GCM, UREA} = \beta_0 + (\beta_1 (\text{EXP}(\beta_2 * \text{Lis}))) + \text{Error}$$

Donde β_0 representa el intercepto, β_1 y β_2 fueron los parámetros a estimar.

4.3. Selección de los modelos de regresión

Para la selección del mejor modelo de predicción para cada variable se tomó en cuenta los cuadrados medios del error (CME), de tal manera que el modelo que tuviera el menor valor en su CME es el que mejor predice.

Una vez seleccionado el mejor modelo se procedió a la construcción del modelo econométrico para optimizar los niveles de lisina total y estimar los niveles óptimos biológico y económico para cada variable de interés. Ello con la ayuda de los estimadores de los modelos seleccionados.

4.4. Construcción del modelo econométrico

Se construyeron dos modelos econométricos, uno para calcular el nivel de lisina que maximiza las utilidades (NOE) y el otro para calcular los niveles de este aminoácido que maximiza la ganancia de peso y maximiza características de la canal de los cerdos. El cálculo de los NOB y NOE están sujetos a los siguientes criterios:

Modelo econométrico para obtener NOE

Utilidad = (Precio del cerdo/kg)*(ganancia de peso durante fase de crecimiento)-(costo del alimento/kg)*(consumo de alimento durante la fase de crecimiento).

Sujeto a:

$Ax \geq Y$

$Cx - \text{costoalimento} = 0$

$ax_{lis} - \text{lisina} = 0$

$GP = f(\text{lisina}, b)$

$\text{Conalim} = f(\text{lisina})$

$x, x_{lis} \geq 0$ Condición de no negatividad.

Donde A es el aporte de nutrimentos (lisina) de los ingredientes de la dieta, x es la cantidad de ingredientes incluidos en la dieta, a es el nivel de nutrimentos estimados que maximizan la utilidad en función de la lisina total de la dieta, la cual se deriva de la lisina de los ingredientes (x_{lis}) b es el efecto del bloque sobre la variable respuesta y Y son los requerimientos de los cerdos, previamente establecidos para la etapa de crecimiento.

Modelo econométrico para calcular NOB

La función objetivo de este modelo fue maximizar ganancia de peso (GP) y características de la canal (CCA). Los NOB para cada variable se determinaron de acuerdo a los modelos que presentaron el menor CME.

$GP, CCA = f(axlis, b)$

Sujeto a:

$Ax \geq Y$

$axlis - lisina = 0$

$x, xlis \geq 0$ Condición de no negatividad.

Donde A es el aporte de nutrimentos (lisina) de los ingredientes, X son los ingredientes usados en las dietas, a es el nivel de nutrimentos estimados que maximizan ganancia de peso en función de la lisina total de la dieta, la cual se deriva de la lisina de los ingredientes (xlis), b es el efecto del bloque sobre la variable de respuesta y Y son los requerimientos preestablecidos para la etapa de crecimiento.

4.5. Cálculo de los niveles óptimos biológico (NOB) y económico (NOE) de lisina

Los NOB y NOE de lisina se calcularon por medio del optimizador Solver de Excel 2000, que optimiza y simula la función objetivo. Una vez calculados, se obtuvo la máxima utilidad y la máxima ganancia de peso, así como las dietas para cada objetivo.

4.6. Análisis de sensibilidad

Para el NOE, se realizó un análisis paramétrico para conocer la sensibilidad de este a los cambios de precio de la lisina y del kilogramo de cerdo, por ello se hicieron variar los precios de la lisina y del cerdo en un 10, 20, y 30% por arriba y por debajo del precio actual.

V. Resultados y Discusión

5.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza se realizó con la finalidad de detectar diferencias entre tratamientos y tener una idea del rango de valores en donde se encontrarían los óptimos biológicos de lisina.

5.1.1. Resultados globales

Los resultados del comportamiento productivo, como para característica de la canal y urea en plasma, sin tomar en cuenta el sexo, se presentan a continuación.

5.1.1.1. Respuesta productiva. Con base en los resultados mostrados en el Cuadro 15, se puede mencionar que el nivel de lisina no tuvo efectos significativos ($P>0.05$) sobre el consumo de alimento. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Friesen *et al.* (1994); Loughmiller *et al.* (1998) y Cline *et al.* (2000) quienes encontraron que los niveles de lisina no afectaron significativamente el consumo de alimento, atribuyéndose a que los niveles probados no entraron dentro del rango de deficiente o excesos. Es importante hacer notar que en el nivel de 0.99% de lisina, el consumo de alimento tendió a ser menor que para los demás niveles de lisina, ya que tal vez fue el nivel que aportó los niveles adecuados de aminoácidos necesarios para los cerdos. Cline *et al.* (2000) mencionaron que en dietas deficientes o con excesos de aminoácidos el consumo de alimento se incrementa, mientras que con niveles adecuados de lisina el consumo de alimento disminuye.

La ganancia diaria de peso se incrementó a partir de 1.09% de lisina. Sólo se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) para los niveles de 0.8% y 0.90% de lisina comparados con los niveles de 1.09 y 1.18%, pues estos niveles presentaron ganancias mayores en 28 y 29% con respecto al nivel de 0.8% y de 22 y 23% con respecto al nivel de 0.9% de lisina. Sin embargo, el mayor incremento en ganancia de peso (18%) se dio cuando se paso del nivel de 0.99 a 1.09% de lisina. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Friesen *et al.* (1994); Coma *et al.* (1995) y Friesen *et al.* (1996) quienes encontraron una respuesta lineal en ganancia de peso en animales en crecimiento al aumentar el nivel de lisina dietética. Sin embargo, Hansen y Lewis

(1993) encontraron una respuesta cuadrática en ganancia de peso cuando los niveles de lisina se incrementaron. Las diferencias en la magnitud de la respuesta se pueden deber a los niveles de lisina evaluados, cantidad de aminoácidos sintéticos, potencial genético de los animales, calidad de los ingredientes y peso vivo de los cerdos. Se ha mencionado que al incrementar la cantidad de lisina en la dieta hay una mayor síntesis de proteína lo cual trae consigo una mayor de retención de humedad y una menor cantidad de grasa, de ahí que la ganancia de peso sea influenciada por la lisina dietética (<http://porcicultura.com>).

Para la conversión alimenticia, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$), aunque hubo una tendencia numérica a disminuirse conforme se incrementó el nivel de lisina, pero la mayor disminución en la conversión alimenticia se dio entre los niveles de 0.99 y 1.09% de lisina, donde se mejoró la conversión en un 10%. Aunque no hubo diferencias significativas, cabe mencionar que resultados similares fueron encontrados por Hansen y Lewis (1993); Friesen *et al.* (1994); Loughmiller *et al.* (1998) y Cline *et al.* (2000) quienes encontraron que la eficiencia alimenticia se incrementó cuadráticamente al incrementar la lisina dietética. Sin embargo, Friesen *et al.* (1995) encontraron que la respuesta fue lineal en hembras en finalización. La mejora en la conversión se debe a que al incrementar el nivel de lisina se incrementa la síntesis de proteína y con ello la retención de humedad, trayendo como consecuencia una mejor eficiencia en la utilización del alimento. Estas diferencias se pueden deber a la cantidad de niveles de lisina probados, potencial genético de los cerdos, calidad de los ingredientes empleados en las dietas, sexo de los animales, energía de la dieta y nivel de proteína. Además Susenbeth (1995) menciona que los balances de aminoácidos en la dieta afectan la eficiencia de utilización de los aminoácidos afectando con ello la conversión alimenticia.

5.1.1.2. Características de la canal. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) para grasa dorsal, aunque hay una disminución numérica al incrementar el nivel de lisina (Cuadro 15), pero para los niveles de lisina de 1.09 y 1.18% el nivel de grasa aumentó. Los niveles menores de grasa se encontraron entre los niveles de 0.99 y

(0.256 kg/d), sin embargo, el mayor incremento en ganancia de carne magra (19.3%) se observó cuando se pasó del nivel de 0.80 a 0.90% de lisina. El incremento en ganancia de carne magra fue del 7% cuando se pasó del nivel de 0.99 a 1.09%. El incremento en ganancia de carne magra se debe principalmente al incremento en el área de ojo de chuleta debida al incremento en la síntesis de proteína corporal y un incremento en la retención de humedad. La ganancia de carne magra está entonces determinada por la calidad genética de los animales, teniendo que el NRC (1998) menciona que cerdos con ganancia de carne magra de 300, 325 y 350 g/d son considerados como genotipos de media, media-alta y alta calidad genética, sin embargo Stahly *et al.* (1988; 1991) mencionan que cerdos con ganancia de carne magra de >230, 230 a 330 y >340 g son considerados como de baja, media y alta calidad genética. Con base en lo anterior se puede mencionar que los cerdos utilizados en el trabajo experimental son de media calidad genética ya que no sobrepasaron los 300 g/d. Cabe mencionar que el peso inicial de los animales pudo influir la síntesis de carne magra ya que el peso promedio de los animales fue de 25 kg, y varios autores como Whittemore *et al.* (1988) y Mohn y De Lange (1998) mencionan que la máxima síntesis de carne magra se alcanza cuando los animales tienen un peso de 50 a 90 kg. Friesen *et al.* (1995) mencionan que los cerdos en crecimiento están limitados por su menor consumo de alimento. Sin embargo, Loughmiller *et al.*, (1998) encontraron que la deposición de proteína es relativamente constante en cerdos de 20 a 90 kg.

5.1.1.3. Urea en plasma. El nivel de urea en plasma no tuvo diferencias significativas, sin embargo, en los tres primeros niveles de lisina, hubo una tendencia numérica a incrementar el nivel de urea en plasma, pero para el nivel de 1.09% de lisina la concentración de urea en plasma disminuyó (16.45 mg/100 ml). Con el nivel de 1.18% de lisina, el nivel de urea en plasma aumentó en 10% con respecto al nivel inferior de urea. El nivel de 1.09 % de lisina fue el que a su vez presentó el mayor incremento en ganancia de peso y la mayor ganancia de carne magra, ello concuerda con lo mencionado por Coma y Zimmerman (1993), Friesen *et al.* (1994) y Coma *et al.* (1995a) quienes mencionan que cuando los cerdos son alimentados con diferentes niveles de lisina, los niveles bajos de urea en plasma pueden ser un indicador de la máxima

1.09% de lisina (0.93 y 0.99cm, respectivamente). Estos resultados concuerdan con los encontrados por Dritz *et al.* (1999a) y Cline *et al.* (2000) quienes al evaluar cinco niveles de lisina, encontraron que los niveles mayores de lisina presentaron la menor cantidad de grasa dorsal. Sin embargo, Friesen *et al.* (1994) encontraron que el nivel de grasa dorsal disminuyó conforme se incrementó la lisina dietética. La menor concentración de grasa dorsal al incrementar la lisina dietética se puede atribuir a que hay una menor cantidad de energía neta para síntesis de tejido graso, ya que se incrementa síntesis de proteína y hay gasto de energía para desaminar y excretar los excesos de aminoácidos. Mientras que el incremento en grasa dorsal se puede deber a que no se suministraron las cantidades necesarias de aminoácidos para soportar la síntesis de proteína corporal (0.8% de lisina), por lo que hay una mayor cantidad de energía neta para síntesis de tejido graso. Por otro lado, el incremento en grasa dorsal también se puede deber a excesos de aminoácidos, ya que después de gastar energía en desaminar y excretar los excesos de aminoácido, aun quedan disponibles esqueletos de carbono provenientes de los aminoácidos (1.18% de lisina).

Para el área del ojo de la chuleta no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$), sin embargo el comportamiento en los tres primeros tratamientos mostró un incremento numérico, encontrándose la mayor área de ojo de chuleta con el nivel de 0.99%. Los niveles de 1.09 y 1.18% también tuvieron chuletas más chicas con respecto al nivel de 0.99% de lisina (18.77 cm²). Estos resultados son similares a los encontrados por Hansen y Lewis (1993) y Witte *et al.* (2000), quienes mencionan que el área de ojo de chuleta se incrementó de manera cuadrática al incrementar la lisina dietética. Sin embargo Hahn *et al.* (1995) encontraron una respuesta lineal en área de ojo de chuleta al incrementar la lisina en la dieta, ello implica que el incremento en la lisina dietética trae como consecuencia que se incremente la síntesis de proteína, sin embargo el genotipo de los cerdos va a determinar la magnitud de la respuesta en la síntesis de proteína corporal.

Para ganancia de carne magra, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) pero se puede observar un incremento numérico conforme se incrementa el nivel de lisina. El nivel de 1.09% de lisina fue el que presentó la mayor ganancia de carne magra

utilización de los aminoácidos y por ende puede ser un estimador del requerimiento de lisina. Por el contrario, para el último nivel de lisina, la concentración de urea en plasma tendió a incrementarse lo que pudiera indicar que los requerimientos de los cerdos son menores a 1.18% de lisina, ya que Coma *et al.* (1995b) mencionaron que el incremento en la concentración de urea en plasma puede ser atribuido al incremento en el consumo de lisina por arriba de los requerimientos de los animales. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Loughmiller *et al.* (1998) quienes encontraron que la concentración de urea en plasma en cerdos en finalización se incrementa al aumentar el nivel de lisina, mientras que Coma *et al.* (1995a) en una serie de experimentos encontraron que la concentración de urea en plasma, en cerdos en crecimiento y finalización, se disminuyó linealmente al incrementar la lisina dietética. Estas diferencias en respuesta se pueden deber a la calidad de los ingredientes utilizados, pues se menciona que la concentración de urea en plasma está inversamente relacionada con la calidad de la proteína y directamente relacionada con la cantidad de proteína.

Cuadro 15. Efecto del nivel de lisina sobre comportamiento productivo, características de la canal y urea en plasma en cerdos en crecimiento

Nivel de lisina (%)	Media		Media		Media		Media		Media	
	0.80	± EE	0.90	± EE	0.99	± EE	1.09	± EE	1.18	± EE
Comportamiento productivo										
Consumo de alimento (kg/d)	1.60a	0.079	1.62a	0.161	1.58a	0.145	1.68a	0.185	1.69a	0.061
Ganancia de peso (kg/d)	0.575b	0.006	0.602b	0.035	0.624ab	0.029	0.737a	0.024	0.709a	0.028
Conversión alimenticia (kg)	2.81a	0.264	2.85a	0.127	2.62a	0.129	2.37a	0.247	2.36a	0.133
Características de la canal										
Grasa dorsal (cm)	1.10a	0.050	1.03a	0.019	0.93a	0.102	0.99a	0.055	1.12a	0.055
Área de ojo de chuleta (cm ²) *	15.98a	0.699	17.31a	0.576	18.77a	0.049	17.12a	1.120	17.73a	0.151
Ganancia de carne magra (kg/d)	0.192a	0.014	0.229a	0.018	0.245a	0.006	0.256a	0.008	0.251a	0.011
Urea en plasma (mg/100 mL)	17.75a	1.442	18.35a	3.425	19.13a	2.081	16.45a	0.527	18.09	1.021

Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05)

* Área del músculo longissimus

5.1.2. Comparación dentro de sexos

5.1.2.1. Ganancia diaria de peso. Como puede observarse en el cuadro 17, en machos no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$), sin embargo existió una tendencia numérica a incrementarse hasta el nivel de 0.99% de lisina, que fue el nivel que presentó la mayor ganancia de peso (0.767 kg/d). Para los niveles de lisina de 1.09 y 1.18% la ganancia diaria de peso disminuyó, sin embargo el nivel de lisina con 1.18% de lisina presentó un incremento en ganancia de peso de 24 y 12% con respecto a los niveles con 0.8 y 0.9%, respectivamente. El nivel de 1.09% de lisina, presentó un incremento del 26% en ganancia de peso con respecto al nivel inferior de lisina. Sin embargo, el mayor incremento en ganancia de peso (15%) se observó cuando se pasó del nivel 0.9 a 0.99% de lisina.

En el Cuadro 16 se observa que para hembras, sólo se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre el nivel de lisina con 1.09% de lisina, con la mayor ganancia de peso, y los niveles de 0.80 y 0.99% de lisina, que presentaron las menores ganancias de peso, representando un incremento del 34 y 36% en ganancia de peso. Sin embargo, el mayor incremento en ganancia de peso se observó cuando se pasó de nivel de 0.99 a 1.09% de lisina. Después del nivel de 1.09% de lisina, la ganancia de peso disminuyó.

El mayor incremento en ganancia de peso en machos se observó cuando se pasó del nivel de 0.9 a 0.99% de lisina, mientras que para hembras el mayor incremento se observó cuando se pasó del nivel de 0.99 a 1.09% de lisina, lo que pudiera indicar que las hembras necesitan una mayor cantidad de lisina en la dieta para maximizar su comportamiento productivo en comparación con los machos castrados. En machos se observó que la ganancia de peso se incrementó hasta el nivel de 0.99% de lisina, mientras que en hembras la ganancia de peso se incrementó hasta el nivel de 1.09% de lisina, esta diferencia se pudiera deber a que las hembras tienen una menor capacidad en consumo de alimento, por lo que pudiera limitar el comportamiento productivo de las mismas. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Witte *et al.* (2000) quienes

no encontraron diferencias significativas en ganancia de peso al incrementar el nivel de lisina en la dieta, no obstante, otros autores como Friesen *et al.* (1994); Coma *et al.* (1995) y Friesen *et al.* (1996) encontraron una respuesta lineal en ganancia de peso al incrementar el nivel de lisina digestible y total en la dieta en hembras y machos castrados en crecimiento y finalización. Hansen y Lewis (1993) encontraron una respuesta cuadrática en ganancia de peso al incrementar el nivel de proteína dietética en machos enteros, machos castrados y hembras en crecimiento. Estas diferencias en respuesta a ganancia de peso se puede deber al genotipo y sexo de los animales, niveles de lisina evaluados, calidad de los ingredientes de la dieta, proteína dietética, cantidad de aminoácidos sintéticos, nivel de fibra y edad de los animales.

Se ha encontrado que las hembras son más eficientes en la utilización de los aminoácidos encontrando entonces que requieren un nivel mayor de lisina para maximizar sus parámetros productivos (Coffey y Lauren, 1995; Cline *et al.*, 2000). Ello concuerda con los resultados encontrados en este trabajo, donde las hembras necesitaron mayor cantidad de lisina (1.09%) en la dieta para lograr la mayor ganancia de peso, que los machos castrados (0.99% de lisina). Además de que son más eficientes se ha encontrado que las hembras consumen alrededor del 12% menos alimento que los machos, por lo que se hace necesario incrementar el nivel de lisina en la dieta con la finalidad de asegurar que los animales logren su máximo comportamiento productivo (Friesen *et al.*, 1994; Coffey y Lauren, 1995).

5.2.1.2. Características de la canal. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para grasa dorsal en machos entre los tratamientos de 0.9% y 1.09% de lisina, que fueron los que presentaron la menor cantidad de grasa (1.09 y 0.96 cm, respectivamente), contra el nivel de 1.18% que presentó 20 y 36% más grasa que los niveles antes mencionados (Cuadro 17). El nivel de lisina de 1.09% también presentó diferencias significativas con los niveles de 0.8 y 0.99% de lisina, que presentaron mayor cantidad de grasa dorsal que este nivel. Cabe mencionar que los tratamientos extremos fueron los que presentaron la mayor cantidad de grasa dorsal. Por ello existe la tendencia a disminuirse hasta el nivel de 1.09, posteriormente se incrementa la grasa

dorsal. Para hembras, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre el tratamiento de 0.99% de lisina (menor contenido de grasa) y los niveles de 0.8, 0.9 y 1.09% de lisina que fueron los que presentaron la mayor concentración de grasa dorsal (Cuadro 16). Sin embargo, la cantidad de grasa tiende a disminuirse hasta el nivel de 0.99% donde se encontró el menor nivel de grasa (0.82 cm), posteriormente la cantidad de grasa fue superior. Los resultados anteriores no concuerdan con los encontrados por Cline *et al.* (2000); Dritz *et al.* (1999) y Friesen *et al.* (1994) quienes encontraron que el nivel de grasa dorsal disminuyó conforme se incrementó el nivel de lisina en la dieta, atribuyéndolo a que el animal tiene menor cantidad de energía disponible para síntesis de tejido adiposo, ya que se incrementa la síntesis de proteína y también porque se gasta una parte de la energía en excretar los excesos. Sin embargo, en machos castrados, los tratamientos extremos fueron los que presentaron la mayor cantidad de grasa dorsal, pudiendo indicar que para el nivel más bajo de lisina, no se cubrieron los requerimientos de lisina por lo que mucha de la energía consumida se destinó a síntesis de tejido adiposo, mientras que el incremento en grasa en el nivel mayor de lisina se puede deber a que el cerdo después de desaminar y excretar los excesos, aun quedaron esqueletos de carbono disponibles para la síntesis de grasa corporal.

Los machos castrados presentaron en promedio 22% más grasa que las hembras, lo que concuerda con los resultados encontrados por Coffey y Laurent (1995) y Friesen *et al.* (1994) quienes encontraron que los machos castrados en la etapa de finalización presentaron un mayor contenido de grasa (9%) que las hembras. Similares resultados fueron también encontrados por Hansen y Lewis (1993) en animales en crecimiento, mencionando que los machos enteros presentaron los menores contenidos de grasa, seguidos de las hembras y machos castrados. Estas diferencias se deben a que las hembras tienen una mayor capacidad de síntesis de proteína y un menor consumo de alimento que los machos y con ello una menor disponibilidad de energía para síntesis de grasa.

Para el área del músculo longissimus no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) en machos, no obstante se observa un incremento numérico hasta el nivel de 0.99%. Para hembras sólo se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre el tratamiento de 0.80% con los tratamientos de 0.99 y 1.18% de lisina, que fueron los que presentaron el área del músculo longissimus más chica y más grande, respectivamente. Cabe mencionar que tanto los machos castrados como las hembras presentaron el área más grande con el nivel de 0.99% de lisina. Estos resultados son similares a los encontrados por Hansen y Lewis (1993) quienes encontraron en cerdos en crecimiento una respuesta cuadrática en el área del músculo longissimus al incrementar el nivel de proteína de la dieta. No obstante, Hahn *et al.* (1995) encontraron una respuesta lineal en cerdos en la etapa de finalización. Este incremento en el área, implica que al incrementar la lisina en la dieta se incrementa la síntesis de proteína en la canal. Por otro lado, las diferencias en la magnitud de la respuesta se pueden deber a los niveles de lisina probados, calidad de los ingredientes, proteína de la dieta, fibra, genotipo de los animales y características de los trabajos experimentales.

Los machos castrados presentaron el área de ojo de chuleta mayor (19.14 cm^2) con respecto a las hembras (18.77 cm^2), por lo que estos resultados no concuerdan con los encontrados por Hansen y Lewis (1993); Witte *et al.* (2000); Friesen *et al.* (1994) y Hahn *et al.* (1995), pues encontraron que las hembras en crecimiento y finalización tuvieron un área del músculo longissimus mayor que los machos castrados al probar varios niveles de lisina, estas diferencias son debidas a que las hembras tienen una mayor capacidad de síntesis de carne magra y con ello utilizan más eficientemente los aminoácidos en la dieta. Sin embargo, los resultados encontrados en el trabajo de investigación son contrarios a los encontrados en la literatura. Estas diferencias se pueden deber a que no se utilizó un genotipo determinado o a que las hembras no consumieron la cantidad de alimento necesario para maximizar la síntesis de carne magra ya que para este nivel de lisina presentaron la menor ganancia de peso y el consumo de alimento durante el periodo experimental fue menor al reportado por NRC (1998). Friesen *et al.* (1994) mencionaron además que los cerdos en crecimiento están limitados en su comportamiento productivo por el limitado consumo de alimento.

Para ganancia de carne magra no se encontraron diferencias significativas en los machos castrados ($P>0.05$), sin embargo en los tres primeros niveles de lisina se observó un incremento numérico, encontrando la mayor ganancia de carne magra para el nivel de 0.99% de lisina (0.278 kg/d) mientras que en los dos últimos niveles de lisina la ganancia de carne magra disminuyó. Para las hembras se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre los niveles lisina de 0.80% con respecto a los demás niveles de lisina. Cabe mencionar que el comportamiento fue diferente en las hembras, ya que como se puede observar en el Cuadro 16, al incrementar el nivel de lisina en la dieta, también aumentó la ganancia de carne magra, teniendo el máximo comportamiento con el nivel de 1.18% de lisina dietética (0.262 g/d), por lo que las hembras respondieron mejor a niveles mayores de lisina. Para alcanzar la mayor ganancia de carne magra, las hembras requirieron un mayor nivel de lisina dietética debido a que como se mencionó anteriormente, utilizan más eficientemente la lisina dietética que los machos castrados. Un factor que pudo afectar el pobre desempeño de los animales, en cuanto a ganancia de carne magra, es el peso con el cual se arrancó el periodo experimental (24.7 kg), ya que algunos autores como Whittemore *et al.* (1988) y Mohn y De Lange (1998) mencionaron que la máxima síntesis de carne magra se alcanza cuando los cerdos sobrepasan los 50 kg de peso vivo.

5.1.2.3. Urea en plasma. Niveles bajos de urea en plasma indican un uso eficiente de los aminoácidos, por ello, puede ser un indicador del requerimiento de lisina en cerdos. Los resultados del Cuadro 17 muestran que para el nivel de urea en plasma, en machos no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$). Sin embargo, existió una tendencia numérica a disminuir la concentración de urea en plasma hasta el nivel de 1.09% de lisina, que fue el nivel donde se encontró el nivel más bajo de urea (17.14 mg/100 ml), pero para el nivel de 1.18% de lisina el nivel de urea en plasma se incrementó (19.48 mg/100 ml). Para las hembras no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 16), sin embargo el nivel de 0.99% de lisina presentó un valor muy elevado de urea en plasma (23.54 mg/100 ml), mientras que los niveles más bajos de urea se encontraron en los niveles de lisina de 0.90 y 1.09% de lisina. Con el nivel de 1.18% de lisina, el nivel

de urea en plasma se vuelve a incrementar tal como ocurrió en los machos. Cabe mencionar que el nivel de 1.09% de lisina que presentó los niveles más bajos de urea tanto en machos como en hembras, fue de los tratamientos que presentaron los mejores parámetros productivos, por lo que se pudiera mencionar que niveles bajos de urea en plasma puede ser un estimador del requerimiento aproximado de lisina, lo que concuerda con lo mencionado por Coma y Zimmerman (1993); Friesen *et al.* (1994) y Coma *et al.* (1995a) quienes mencionan que niveles bajos de urea en plasma indican un uso eficiente de los aminoácidos y por ende el mejor comportamiento productivo. El nivel de 1.18% de lisina, presentó un incremento en la concentración de urea en plasma en ambos sexos. Ello pudiera indicar que este nivel de lisina superó los requerimientos de los animales, pues se menciona que un incremento en el consumo de lisina por arriba de los requerimientos de los animales provoca un incremento en la concentración de urea en plasma (Friesen *et al.*, 1994). Cabe mencionar que para cada uno de los niveles de lisina, la concentración de urea en plasma fue menor en las hembras que en machos, debido a que las hembras utilizan más eficientemente los aminoácidos que los machos castrados (Friesen *et al.*, 1994; Coffey y Lauren., 1995; Cline *et al.*, 2000).

Cuadro 16. Efecto del nivel de lisina total sobre comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma en hembras

Lisina dietética (%)	Media		Media		Media		Media		Media	
	0.80	± EE	0.90	± EE	0.99	± EE	1.09	± EE	1.18	± EE
Comportamiento productivo										
Ganancia de peso (kg/d)	0.539a	0.044	0.615ab	0.005	0.551a	0.061	0.726b	0.015	0.669ab	0.063
Características de la canal										
Grasa dorsal (cm)	1.0a	0	1.0a	0.015	0.82b	0.064	1.01a	0.044	0.90ab	0.057
Área de ojo de chueta (cm ²) *	14.80a	0.573	16.82ab	0.625	18.77b	0.591	17.05ab	0.499	18.0b	1.26
Ganancia de carne magra (kg/d)	0.176a	0.008	0.236b	0.011	0.229b	0.009	0.257b	0.009	0.262b	0.022
Urea en plasma (mg/100 mL)	17.40a	2.89	13.30a	0.450	23.54a	6.557	15.06a	1.296	16.23a	0.852

Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05).

* Área del músculo longissimus.

Cuadro 17. Efecto del nivel de lisina total sobre comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma en machos castrados

Lisina dietética (%)	Media		Media		Media		Media		Media	
	0.80	± EE	0.90	± EE	0.99	± EE	1.09	± EE	1.18	± EE
Comportamiento productivo										
Ganancia de peso (kg/d)	0.594a	0.011	0.663a	0.125	0.767a	0.086	0.749a	0.027	0.741a	0.050
Características de la canal										
Grasa dorsal (cm)	1.23bc	0.145	1.09ac	0.100	1.13bc	0.100	0.96a	0.100	1.31b	0.066
Área de ojo de chueta (cm ²) *	17.01a	0.451	18.27a	1.375	19.14a	1.485	17.46a	1.529	17.33a	0.536
Ganancia de carne magra (kg/d)	0.200a	0.017	0.246a	0.050	0.278a	0.035	0.261a	0.011	0.243a	0.017
Urea en plasma (mg/100 mL)	17.27a	1.554	20.03a	5.190	18.30a	1.170	17.14a	0.450	19.48a	0.780

Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05).

* Área del músculo longissimus

5.2. Selección de los modelos de regresión

Los datos globales y por sexo, fueron analizados por regresión (lineal simple, cuadrática y cúbica) y regresión no lineal (modelo exponencial de Noll *et al.* (1984) y Morales *et al.* (1991).

Para los datos globales se encontró que el modelo lineal simple fue el que presentó los menores cuadrados medios del error (CME) para el comportamiento productivo, mientras que para características de la canal, el modelo que mejor se ajustó fue el modelo cuadrático. Para concentración de urea en plasma, el modelo que presentó el menor cuadrado medio del error fue el lineal simple (Cuadro 18).

Cuadro 18. Cuadrados medios del error para los modelos de regresión (lineal simple, cuadrático y cúbico) y no lineal (Exponencial de Noll *et al.* (1984) y Morales *et al.* (1991) cuando se realizó el análisis global de los datos

Variable	Lineal	Cuadrático	Cúbico	Exponencial Noll <i>et al.</i> (1984)	Exponencial Morales <i>et al.</i> (1991)
Consumo de alimento	0.013278	0.014118	0.015524	0.0132784	0.044276
Ganancia de peso	0.001935	0.002050	0.001955	0.006328	0.007252
Conversión alimenticia	0.043390	0.046788	0.044081	0.047338	0.133864
Área de ojo de chuleta	1.599130	1.326232	1.338119	1.902357	2.282797
Grasa dorsal	0.011351	0.006469	0.006626	0.011697	0.014634
Ganancia de carne magra	0.000531	0.000429	0.000472	0.002857	0.001076
Urea en plasma	9.85	10.7036	11.2602	10.3276	11.5149

Para el caso de las hembras, el modelo lineal simple fue el que presentó el menor cuadrado medio del error para la variable ganancia de peso, mientras que para área de ojo de chuleta el modelo que mejor se adaptó fue el cúbico. Para ganancia de carne magra fue el cuadrático y para concentración de urea en plasma el lineal simple (Cuadro 19).

Cuadro 19. Cuadrados medios del error para los modelos de regresión (lineal simple, cuadrático y cúbico) y no lineal (Exponencial de Noll *et al.* (1984) y Morales *et al.* (1991)) cuando se tomaron sólo los resultados de hembras

Variable	Lineal	Cuadrático	Cúbico	Exponencial Noll <i>et al.</i> (1984)	Exponencial Morales <i>et al.</i> (1991)
Ganancia de peso	0.00934	0.009886	0.010249	0.015311	0.014031
Área de ojo de chuleta	2.583048	2.073533	1.953884	3.556925	4.361032
Grasa dorsal	0.011223	0.011864	0.012091	0.011243	0.013700
Ganancia de carne magra	0.000631	0.000602	0.000639	0.001746	0.001873
Urea en plasma	42.30664	43.96119	48.81763	47.43464	46.887914

Para el caso de los machos castrados, el modelos cuadrático presentó los menores cuadrados medios del error para las variables ganancia de peso, área de ojo de chuleta y ganancia de carne magra, mientras que para concentración de urea en plasma, el mejor modelo fue el cúbico (Cuadro 20).

Cuadro 20. Cuadrados medios del error para los modelos de regresión (lineal simple, cuadrático y cúbico) y no lineal (Exponencial de Noll *et al.* (1984) y Morales *et al.* (1991)) cuando se tomaron sólo los resultados de machos

Variable	Lineal	Cuadrático	Cúbico	Exponencial Noll <i>et al.</i> (1984)	Exponencial Morales <i>et al.</i> (1991)
Ganancia de peso	0.007254	0.006713	0.007539	0.009452	0.014595
Área de ojo de chuleta	2.512692	2.309026	2.474227	2.779304	3.812998
Grasa dorsal	0.025230	0.013032	0.009080	0.025230	0.060146
Ganancia de carne magra	0.001739	0.001344	0.001504	0.002113	0.002011
Urea en plasma	6.382690	7.091619	6.019596	8.408727	8.732882

5.3. Niveles óptimos biológico y económico de las variables de interés

5.3.1. Resultados globales

El nivel de lisina total que maximizó ganancia de peso fue 1.18%, el cual presentó una máxima ganancia de peso de 0.771 kg/d (Cuadro 21). Estos resultados no concuerdan con los encontrados en la literatura, pues los requerimientos reportados que maximizan ganancia de peso cuando se alimentan hembras y machos mezclados son inferiores a los encontrados en este trabajo. García (1998) encontró que el nivel de lisina total que maximiza ganancia de peso en la etapa de los 20 a 50 kg es de 0.9%, mientras Crenshaw *et al.* (1995) encontraron que el nivel de lisina total que maximiza ganancia de peso fue de 0.80%, y NRC (1998) recomienda para la misma etapa un nivel de 0.95% de lisina. No obstante, Orozco (1999) encontró que el nivel de lisina total que maximiza ganancia de peso fue de 1.32%. La discrepancia en los resultados se puede deber a una gran variedad de factores tales como nivel de proteína de la dieta, nivel de energía, genotipo de los animales, calidad de los ingredientes utilizados en la alimentación de los cerdos, condiciones ambientales y manejo específico de los animales dentro de cada experimento.

El NOE de lisina (1.18%) fue igual al NOB (Cuadro 21), ello implica que con el mismo nivel de lisina, el animal cubrió sus requerimientos para expresar su máximo potencial genético y además se obtuvo la máxima utilidad, debido a que el costo extra por la adición de lisina fue menor a las utilidades obtenidas por el incremento en la producción. Tal vez, si el precio del cerdo disminuyera, el NOB sería mayor al NOE, como los resultados encontrados por Orozco (1999), quien encontró que el NOB (1.32%) fue superior al NOE (0.72%), atribuyéndolo al bajo precio del cerdo. Sin embargo, García (1998) encontró que el NOB y NOE fue igual (0.90%). Además cabe mencionar que el NOB y NOE fueron superiores al nivel recomendado por NRC (1998), donde recomienda 0.95% de lisina total para la misma etapa, sin embargo estas diferencias se pueden deber a una gran variedad de factores mencionados anteriormente. Estos resultados son similares a los encontrados por García (1998), Orozco (1999) quienes encontraron que los NOB de lisina total fue superior al nivel recomendado por NRC

(1988 y 1998). Estas diferencias se pueden deber a que los requerimientos establecidos por NRC (1988, 1998) son para una población grande de animales, donde no se considera la línea genética de los animales, ni el avance genético de los proximos años, trayendo con ello que los niveles de lisina reomendados por este estándar pueden subestimar los requerimientos de los animales.

Para características de la canal, los niveles de lisina que maximizaron ganancia de carne magra (1.10%) y área del músculo longissimus (1.03%) fue inferior al NOB para ganancia de peso (Cuadro 21), pero fue superior al nivel de lisina recomendado por el NRC (1998). El incremento en el requerimiento de lisina para ganancia de carne magra y área del músculo longissimus se debe principalmente a que actualmente se cuenta con lineas de cerdos con alta calidad genética para síntesis de tejido magro, trayendo con ello un incremento en la necesidad de lisina para soportar la maxima síntesis de proteína corporal. Similares resultados fueron encontrados por Rao y McCracken (1990) y Friesen *et al.* (1994) quienes encontraron que tanto hembras como machos deben incrementar el consumo de lisina de 5 a 6 g por arriba del nivel recomendado por NRC para expresar el máximo potencial genético para ganancia de carne magra. El nivel de lisina que minimizó (0.892%) concentración de urea en plasma, fue inferior a los niveles de lisina que maximizaron ganancia de peso, ganancia de carne y área del músculo longissimus, ello no concuerda con los resultados encontrados Coma y Zimmerman (1993), Friesen *et al.* (1994), Coma *et al.* (1995a) y Coma *et al.* (1995b) quienes encontraron que niveles bajos de urea en plasma coincidieron con los mejores parámetros productivos, sugiriendo que la concentración de urea en plasma puede ser buen indicador del requerimiento de lisina, pues niveles bajos de urea, indican un uso eficiente del nitrógeno consumido. Ello se puede deber a que no se utilizó una línea genética específica o a que no se consideró el sexo de los animales, pues son factores que pueden influir sobre la utilización del nitrógeno consumido.

Cuadro 21. Niveles óptimos biológico (NOB) de lisina máxima ganancia diaria de peso (GDP), máxima ganancia de carne magra (GCM), máxima área de ojo de chuleta (OCH), mínima grasa dorsal (GD) y mínima concentración de urea en plasma (CUP) cuando no se consideró el sexo de los animales

Variable	Valor	NOB lisina (%)	NOE lisina (%)
GDP (kg/d)	0.771	1.18	1.18
GCM (kg/d)	0.257	1.10	-
OCH (cm ²)	18.620	1.03	-
GD (cm)	1.030	0.99	-
CUP (mg/100 mL)	19.500	0.89	-

El análisis de sensibilidad mostró que el NOE de lisina estimado en el ensayo biológico no fue sensible a los cambios de precio del kg de la HCl-lisina y del cerdo en pie en el rango probado (Cuadro 22). Estos resultados son similares a los encontrados por García (1998) quien encontró que el NOE de lisina no fue sensitivo al precio de la HCl-lisina y del cerdo en pie. Sin embargo, Constantino y Gil (1996) y Orozco y González (1996) encontraron que el NOE varió al incrementar el precio del cerdo y disminuir el precio de la HCl-lisina. Este comportamiento se debe a que tanto para ganancia de peso como para consumo de alimento, el mejor modelo fue el lineal, trayendo como consecuencia que el modelo econométrico se vaya hasta el nivel más alto de lisina probado en el experimento.

Cuadro 22. Análisis de sensibilidad con el precio de la HCl-lisina y del cerdo

Variación precio lisina	Óptimo económico	Utilidades (\$)	Variación precio cerdo	Óptimo Económico	Utilidades (\$)
-30	1.18	195.22	-30	1.18	95.94
-20	1.18	194.53	-20	1.18	128.34
-10	1.18	193.84	-10	1.18	160.74
Normal (\$30)	1.18	193.14	Normal (\$12)	1.18	193.14
+10	1.18	192.44	+10	1.18	225.54
+20	1.18	191.75	+20	1.18	257.94
+30	1.18	191.06	+30	1.18	290.34

5.3.2. Comparación dentro de sexos

Para hembras, los niveles de lisina que maximizan ganancia de peso y ganancia de carne magra fueron superiores a los encontrados en machos (Cuadro 23), ello indica que las hembras necesitan una mayor cantidad de lisina, pues se ha encontrado que las hembras son más eficientes en la utilización de los aminoácidos encontrando entonces que requieren un nivel mayor de lisina para maximizar sus parámetros productivos (Coffey y Lauren, 1995; Cline *et al.*, 2000). Ello concuerda con los resultados encontrados en este trabajo, donde se encontró que las hembras necesitaron mayor cantidad de lisina para maximizar ganancia de peso (1.18%) que los machos castrados (1.086%). Los resultados fueron similares para ganancia de carne magra, donde las hembras necesitaron 1.18% de lisina total para máxima ganancia de carne magra, mientras que los machos necesitaron solo 1.028% de lisina. Además de que son más eficientes se ha encontrado que las hembras consumen alrededor del 12% menos alimento que los machos, por lo que se hace necesario incrementar el nivel de lisina en la dieta con la finalidad de asegurar que los animales logren su máximo comportamiento productivo (Friesen *et al.*, 1994; Coffey y Lauren, 1995).

El nivel de lisina que maximizó área del músculo longissimus en hembras (0.96%) fue inferior al nivel de lisina que maximizó el área en machos castrados (0.99%). Las diferencias se pueden deber a que las hembras no tienen la capacidad de consumir la cantidad de alimento necesario para expresar su calidad genética, pues Friesen *et al.* (1994) mencionaron que los cerdos en crecimiento, y en particular las hembras, están limitadas en su comportamiento productivo por el consumo de alimento.

Para hembras, el nivel de lisina (1.18%) que minimizó concentración de urea en sangre, fue igual al nivel de lisina que maximizó ganancia de peso y ganancia de carne magra. Para machos, los resultados fueron similares, pues el nivel de lisina que minimizó concentración de urea en plasma (1.086) fue similar al nivel de lisina que maximizó ganancia de peso, ello concuerda con lo mencionado por Coma y Zimmerman (1993); Friesen *et al.* (1994) y Coma *et al.* (1995a) quienes encontraron que niveles bajos de urea en plasma indican un uso eficiente de los aminoácidos y por ende el mejor

comportamiento productivo, sugiriendo que niveles bajos de urea en plasma pueden estimar los requerimientos de lisina en cerdos en crecimiento.

Cuadro 23. Niveles óptimos biológico (NOB) de lisina para máxima ganancia diaria de peso (GDP), máxima ganancia de carne magra (GCM), máxima área de ojo de chuleta (OCH), mínima grasa dorsal (GD) y mínima concentración de urea en plasma (CUP) cuando se consideró el sexo de los animales

Variable	Hembras		Machos castrados	
	Valor	NOB de Lisina (%)	Valor	Valor de Lisina (%)
GDP (kg/d)	0.683	1.18	0.793	1.086
GCM (kg/d)	0.261	1.18	0.278	1.028
OCH (cm ²)	18.49	0.96	19.45	0.99
GD (cm)	0.942	1.18	1.15	1.05
CUP (mg/100 mL)	17.15	1.18	15.45	1.08

VI. Conclusiones

- La lisina dietética sólo afectó estadísticamente la ganancia diaria de peso en grupos mixtos, cuando no se consideró el sexo de los animales. En hembras sólo se afectó ganancia diaria de peso, mientras que en machos no hubo efecto sobre comportamiento productivo. En lo que respecta a características de la canal, la lisina dietética no las afectó estadísticamente, cuando no se consideró el sexo de los animales, pero si hubo efecto sobre características de la canal y ganancia de carne magra en hembras, mientras que en machos castrados, sólo se afectó estadísticamente grasa dorsal.
- El nivel de lisina total no afectó estadísticamente la concentración de urea en plasma.
- El NOB de lisina para concentración de urea en plasma, coincidió con el NOB de lisina para ganancia de peso, ganancia de carne magra y área de ojo de chuleta, pero no para grasa dorsal, en hembras. En machos sólo coincidió con el NOB de lisina para ganancia diaria de peso.
- El NOB de lisina para máxima ganancia de peso, ganancia de carne magra y área de ojo de chuleta fue superior al nivel recomendado por NRC (1998).
- El NOB de lisina para máxima ganancia de peso fue igual al NOE que maximiza utilidades.
- EL NOE no fue afectado por el precio de la HCl-lisina y del cerdo en pie.
- El requerimiento de lisina para maximizar ganancia de peso y ganancia de carne magra es mayor para las hembras que para machos castrados.

VII. Bibliografía

Ammerman C.B., H.B. David, and A.J. Lewis. 1995. Bioavailability of nutrients for animals. Academic Press. Inc. San Diego, Cal.

ANFACA. 1999. Asociación Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados para el consumo Animal. Organo informativo. Vol.2.

ARC.1981. The nutrient requirements of pigs. Commonwealth Agricultural Boreaux, Solough, U.K.

Arentson, R., and D.R. Zimmerman. 1995. True digestibilities of Amino acids and Protein in Pigs using ^{13}C as a label to Determine Endogenous Amino acids Excretion. Iowa State University.

Baker, D., R. Easter, G. Hollis and V. Gabert. 1999. University of Illinois recommended nutrient allowances for all classes of swine. Department of animal science. Swine Nutrition Group. University of Illinois.

Batterham, E.S., L.M. Andersen, R.D. Baigent, S.A. Beech, and R. Elliott. 1990. Utilization of ileal digestible aminoacids for pigs. Br. J. Nutr. 64:679-690.

Behm, B.G. 1991. Los Aminoácidos en la Nutrición Animal. Ed. Degussa. México, D.F.

Beneke, R.R. and R. Winterboer. 1973. Linear programming applications to agriculture. Ames: The Iowa State University press.

Campbell, R.G. 2001. Factores que afectan el desempeño productivo, la composición de la canal y los requerimientos de aminoácidos de cerdos en crecimiento. FERMEX.

CANACINTRA. 2000. La industria alimenticia animal en México (1999-2000). Sección de fabricantes de alimentos balanceados para animales. 53 p.

Cline, T.R., G.L. Cromwell, T.D. Crenshaw, R.C. Ewan, C.R. Hamilton, A.J. Lewis, D.C. Mahan, and L.L. Southern. 2000. Further assessment of the dietary requirements of finishing gilts. J. Anim. Sci. 78:987-992.

Coffey, R.D., and K.M. Laurent. 1995. Feeding growing-finishing pigs to maximize lean growth. College of Agriculture, University of Kentucky.

Coma, J., and D. R. Zimmerman. 1993. Determination of lysine requirements of growing pigs using plasma urea nitrogen in short-term trials. J. Anim. Sci. 71(suppl. 1):60 (Abstr.).

- Coma, J., D. Carrion, and D.R. Zimmerman. 1995a. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 73:472-481.
- Coma, J., D.R. Zimmerman, and D. Carrion. 1995b. Interactive effects of fed intake and stage of growth on the lysine requirement of pigs. *J Anim. Sci.* 73:3369-3375.
- Constantino, E.M. y S.S. Gil. 1996. Evaluación de la precisión de programas de optimización para estimar los niveles óptimos económico y biológico de lisina para cerdos en crecimiento. Tesis de licenciatura. Depto de Zootecnia, UACh.
- Craig, A.D. 1995. Swine nutrition, feeding and management. National Renderers Association, Inc.
- Crenshaw, T.P., M.J.Gahl, K.P. Blemingsm, and N.J. Benevenga. 1995. Cost of adicional dietary lysine must be taken into account. *Feedstuffs*. pp: 13-23.
- Cromwell, G.L., T.R. Cline, J.D. Crenshaw, T.D. Crenshaw, R.C. Ewan, C.R. Hamilton, A.J. Lewis, D.C. Mahan, E.R. Miller, J.E. Pettigrew, L.F. Tribble, and T.L. Veum. 1993. The dietary protein and (or) lysine requirements of barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* 71:1510-1519.
- Cromwell, G.L., T.S. Stahly y H. J. Monegue. 1990. Performance and carcass traits of finishing barrows and gilts fed high dietary protein levels. *J. Anim. Sci.* 68(suppl. 1):382 (Abstr.).
- David, M.A., E.W. Jennifer, and M.G., Vince. 1997. Aproaches to Collecting Ileal Digesta from Swine. University of Illinois at Urbana- Champaign.
- Davidson, M.W. 1995. Molecular Expressions. Florida State Univesity. U.S.A.
- de Lange, C.F.M., and S. Mohn. 1996. Applications of pig models: characterizing pig types and estimating amino acids requirements. *Proc. 17th Western Nutrition Conference*. Department of Nutritional, Food and Agricultural Sciences, University of Alberta, Edmonton, Canada. pp 103.
- de Lange, K., and K. Coudenys. 1997. Interactions between nutrition and the expression of genetic performance potentials in grower-finisher pigs. Ping Liand, Department of Animal Science. University of Guelph.
- Dritz, S.S., M.D. Tokach, R.D. Goodband, and J.L. Nelssen. 1999a. Influence of lysine level fed from 40 to 80 lb on growth performance and carcass composition of barrows and gilts. *Swine Day Report*. Food Animal Health and Management Center and Northeast Area Extension Office, Manhattan, K. S. Page: 81:84.
- Dritz, S.S., M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, S. Rops, and M. Heintz. 1999b. Lack of interaction between lysine levels fed in growing and finishing diets. *Swine Day*

Report. Food Animal Health and Management Center and Northeast Area Extension Office, Manhattan, K.S. Page: 84-87.

Dunkoh, A., and P.J. Moughan. 1994. The effect of dietary crude protein content on apparent and true ileal nitrogen and amino acids digestibilities. *Br. J. Nutr.* 72:59-68.

Easter, R. A., S. Kim, and L. Johnson. 1999. Apparent and true digestibility of amino acids in soybean meals as affected by heat treatments and trypsin inhibitor. Department of Animal Science, University of Illinois.

Fan, M.Z., W.C. Sauer, R.T. Hardin, and K.A. Lien. 1994. Determination of Apparent Ileal Amino acids digestibility in Pigs: Effect of Dietary Amino acids Level. *J. Anim. Sci.* 72: 2851-2858.

Fawcett, J.K., and J.E. Scott. 1960. A rapid and precise method for the determination of urea. *J. Clin. Path.* 13:156.

Fernandez, J. A., H. Jorgensen, and A. Just. 1986. Comparative digestibility experiments with growing pigs and adult sows. *Anim. Prod.* 43:127-132.

Frank, J.W., B.T. Richert, A.P. Schinckel, and M.E. Einstein. 1998. Estimating the lysine requirements of halothane carrier sired barrows and gilts. *Swine Day Report*. Purdue University.

Friesen K.G., J.L. Nelssen, R.D. Goodband, M.D. Tokach, A.P. Schinckel, and M. Einstein. 1996. The use of compositional growth curves for assessing the response to dietary lysine by high-lean growth gilts. *Anim. Sci.* 62:159-169.

Friesen K.G., J.L. Nelssen, R.D. Goodband, M.D. Tokach, J.A. Unruh, D.H. Kropf, and B.J. Kerr. 1994. Influence of dietary lysine on growth and carcass composition of high-lean-growth gilts fed from 34 to 72 kilograms. *J. Anim. Sci.* 72:1761-1770.

Friesen K.G., J.L. Nelssen, R.D. Goodband, M.D. Tokach, J.A. Unruh, D.H. Kropf, and B.J. Kerr. 1995. The effect of dietary lysine on growth, carcass composition, and lipid metabolism in high-lean growth gilts fed from 72 to 136 kilograms. *J. Anim. Sci.* 73:3392-3401.

Friesen, K.G., J.L. Nelssen, J.A. Unruh, R.D. Goodband, L.J. Kats, J. Hansen, and M.D. Tokach. 1992. The interrelationship between genotype, sex, and dietary lysine in finishing pigs fed to 104 and 127 kg. *J. Anim. Sci.* 70(suppl. 1):234(Abstr.).

Fuller, M.F., R. McWilliams, T.C. Wang, and L.R. Giles. 1989. The optimum dietary amino acids pattern for pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue accretion. *Br. J. Nutr.* 61:253-267.

Gahl, M.J., K.P. Blemings, N.J. Benevenga, and T.D. Crenshaw. 1994. Protein synthesis, lysine alpha-ketoglutarate reductase activity in female rats injected with bovine somatotropin. *J. Ani. Sci.* 72(suppl. 1): 221.

García, G.A. 1998. Niveles óptimos biológico y económico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. UACH. 93 p.

García, M.E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. Talleres Offset Larios. México.

Gatel, F., and F. Grosjean. 1992. Effect of protein content of the diet on nitrogen excretion by pigs. *Livest. Prod. Sci.* 31:109-120.

González, A.M.J., G.M. Pesti, and J.D. Dorfman. 1992. Formulating feed for minimum cost versus maximum profits. *Proceedings 1992. Georgia Nutrition Conference for the Feed Industry.* Atlanta, Georgia.

González-Alcorta, M.J. 1994. La formulación econométrica: Un beneficio para el productor. Departamento de Zootecnia, UACH. Chapingo, Mex.

González-Alcorta, M.J. y R. Orozco Maldonado. 1996. Análisis y perspectivas de la formulación de máxima utilidad (\$) en la alimentación de cerdos. In: *Memorias del Seminario de Actualización en Nutrición Porcina.* 30 y 31 de mayo. Irapuato, Gto.

Hafez, E.S.E. 1972. *Nutrición Animal.* Edit. Acribia, Zaragoza, España.

Hahn, J.D., R.R. Biehl, and D.H. Baker. 1995. Ileal digestible lysine level for early and late-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73:773-784.

Hansen, B.C., and A.J. Lewis. 1993. Effects of dietary protein concentration (corn:soybean meal ratio) on the performance and carcass characteristics of growing boars, barrows, and gilts: mathematical descriptions. *J. Anim. Sci.* 71:2122-2132.

Harris, L. 1970. *Métodos para el análisis y la evaluación de los alimentos para animales.* Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA.

Hearthland Lysine Inc. 2000. Lysine. Animal Nutrition. Chicago, U.S.A. <http://www.lysine.com>.

Heartland Lysine Inc. 1992. Ileal digestibility and availability values of lysine for formulating diets for swine. A. Formulating with available lysine. Ajimoto, Animal Nutrition. Chicago. <http://www.lysine.com/reports/tech.htm>.

Henry, Y. 1987. Self selection by growing pigs of diets differing in lysine content. *J. Anim. Sci.* 65:1257-1265.

- Huang S.X., B. Sauer, B. Marty, and R.T. Hardin. 1999. Amino acids Digestibilities in diferents samples of Wheat Shorts For growing Pigs. J. Anim. Sci. 77: 2469-2477.
- Jefo International LTD. 2000. Lysine in animal nutrition. Saint-Hyacinthe, Quebec, Canada. http://jefo.ca/lista_principal.html
- Karl R. F., L.R. Mc Dowell, P.H. Miles, N.S. Wilkinson, J.D. Funk y J.H. Conrad. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para tejidos de plantas y Animales. 2ª. Edición. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville, Florida, USA.
- Kerr, B.J. 2000. Nutrición de treonina en cerdos. Décimo segundo ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. FERMEX. México, D.F.
- Knabe, D.A., D.C. La Rue, E.J. Greg, G.M. Martinez, and T.D. Tanksley. 1989. Apparet Digestibility of Nitrogen and Amino acids in Protein Feedstuff by Growing Pigs. J. Anim. Sci. 67:441-458.
- Kopinski, J.S. 1999. Amino acids for pigs diets. DPI Queensland. The Australian Pig Institute.
- Lenis, N.P., P. Bikker, J. van der Meulen, J.Th.M. van Diepen, J.G.M. Bakker, and A. W. Jongbloed. 1996. Effect of dietary neutral detergent fiber on ileal digestibility and portal flux of nitrogen and amino acids and on nitrogen utilization in growing pigs. J. Anim. Sci. 74:2687-2699.
- Lewis, J.A. 1991. Bioavailability of amino acids in feedstuffs for swine. In: Swine Nutrition. Edited by E.R. Miller, de Ullrey, and A.J. Lewis. Butterworth-Heiman London.
- Lewis, J.A. 1997. Proteína ideal para cerdos. Hechos, fantasía y futuro. Revista Feed and Grain. Enero de 1997.
- López, J., R.D. Goodband, G.L. Alle, G.W. Jese, J.L. Nelssen, M.D. Tokach, D. Spiers, and, B.A. Becker. 1994. The effects of diets formulated on an ideal protein basis on growth performance, carcass characteristics, and thermal balance of finishing gilts housed in a hot, diurnal environment. J. Anim. Sci. 72:367-379.
- Loughmiller, J. A., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, E. C. Titgemeyer, and I. H. Kim. 1998. Influence of dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of late-finishing gilts. J. Anim. Sci. 76:1075-1080.
- Marty, B.J., E.R. Chavez, and C.F.M. de Lange. 1994. Recovery of amino acids at the distal ileum for determining apparent and true ileal amino acid digestibilities in growing pigs fed various heat-processed full-fat soybean products. J. Anim. Sci. 72:2029-2037.
- Mc Donald, P. 1981. Animal Nutrition. 3ª. Edic. Longman Inc. New York. USA.

Miller, P.S., A.J. Lewis, C.K. Wolverson, and C.A. Borland. 1996. The effects of diets formulated on an ideal protein basis on nitrogen balance, growth performance and carcass characteristics in barrows and gilts. University of Nebraska.

Mnilk, B., C.I. Harris, and M.F. Fuller. 1996. Lysine utilization by growing pigs: simultaneous measurement of protein accretion and lysine oxidation. *Bri. J. Nut.* 75:57-67.

Mohn, S., and C.F.M. de Lange. 1998. The effect of body weight on the upper limit to protein deposition in a defined population of growing gilts. *J. Anim. Sci.* 76:124:133.

Morales, B.E., E. Avila y N. Wagner. 1991. Comparación de dos fuentes de metionina en dietas para pollos de engorda. *Vet Méx.* XXII: 267-271.

Nam, D.S., F.X. Aherne, and C.S. Darroch. 1995. Growth performance of pigs given a choice of natural ingredients diets containing different levels of protein and aminoacid(s). *Anim. Feed Sci. Technol.* 56:265-276.

National Pork Producers Council. 1991. Procedures to evaluate market hogs. Third edition.

Noll, L.S., P.E. Waibel, R.D. Cook, and J.A. Witmer. 1984. Biopotency of methionina sources for young turkeys. *Poult. Sci.* 63: 2458-2470.

North Carolina State University. 1996. Swine Nutrition Guide. North Carolina A&T State University, U.S. Department of Agriculture and Local Governments Cooperating. U.S.A.

NRC. 1988. Nutrient Requirements of swine (9th ed.). National Academic Press, Washington, D.C.

NRC. 1998. Nutrient requirements of swine (10th ed.). National Academic Press, Washington, D.C.

Nyachoti, C.M., C.F.M De Lange, and H. Schulze. 1997. Estimating Endogenous Amino acids Flows at the Terminal Ileum and True Ileal Amino acids digestibilities in Feedstuffs for Growing Pigs using The Homoarginine Method. *J. Anim. Sci.* 75: 3206-3213.

Orozco, M.R. 1999. Formulación de dietas de máxima utilidad para cerdos en crecimiento. I. Solución con el optimizador de excel. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. UACH. 86 p.

Orozco, M.R. y M. M. González A. 1996. Análisis y perspectivas de la formulación de dietas de máxima utilidad (\$) en la alimentación de cerdos. In: Memorias del Seminario

de Actualización en Nutrición Porcina. 30 y 31 de mayo de 1996. Irapuato, Gto. pp 143-163.

Ovando, G.H. 2001. Perfiles óptimos biológico y económico de lisina y metionina+cistina en base a digestibilidad en pollo de engorda. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. UACH. 89 p.

Pond, W.G., D.C. Church, and K.R. Pond. 1995. Basic Animal Nutrition and Feeding. Fourth edition. John Wiley & Sons, New York, U.S.A.

Porcicultura.com. 2000. Conceptos nutricionales durante la s fases de crecimiento y finalización: Impacto de la nutrición en el crecimiento magro del cerdo. <http://porcicultura.com/articulos/visiontec/impacto2.htm>.

Rao, D.S., and K. J. McCracken. 1990. Protein requirements of boars of high genetic potential for lean growth. Anim. Prod. 51:179-185.

Rea, J.C., and T. Veum. 1993. Nutrient requirements of swine and recommendation for Missouri. Department of Animal Science. University of Missouri-Columbia.

Roger, A., and D.R. Zimmerman. 1995. True digestibilities of amino acids and protein in pigs using ^{13}C as a label to determine endogenous amino acid excretion. Report of Research. Iowa State University.

Russell, C.R. 2000. Mexico product brief the mexican market for balanced feed and ingredients. USDA's Foreign Agricultural Service for U.S. Exporters of Food and Agricultural Products. 15 p.

Sagarnaga, V.L.M. 1997. El sector pecuario mexicano. "Situación actual del sector". Departamento de Zootecnia. UACH.

Sagarnaga, V.L.M. 2000. Impacto del TLCAN en el sistema productivo mexicano. Cinco años y medio de operación. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma Chapingo. 38 p.

Sauer W.C., R. Mosenthin, F. Arhens, and L.A. Hartog. 1991. The effects of source of fiber on ileal and fecal amino acids digestibility and bacterial nitrogen excretion in growing pigs. J. Anim. Sci. 69:4070-4077.

Schulze, H., P. van Leeuwen, M.W.A. Verstegen, and J.W.O. van den Berg. 1995. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. J. Anim. Sci. 73:441-448.

Schulze, H., P. van Leeuwen, M.W.A. Verstegen, J. Huisman, W.B. Souffrant, and F. Ahrens. 1994. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. J. Anim. Sci. 72: 2362

- Searcy, R.L., G.S. Gouch, J.L. Korotzer, and L.B. Bergquist. 1961. Evaluation of a new technique for estimation of urea nitrogen in serum. *Am. J. Med. Tech.* 27:255.
- Shon K.S., C.V. Maxwell, L.L. Southern, and D.S. Buchanan. 1994. Soybean Protein sources for early-weaned pigs: II. Effects on Ileal Amino acids digestibility. *J. Anim. Sci.* 69: 4070-4077.
- Stahly, T.S., G.L. Cromwell, and D. Terhune. 1988. Responses of pigs from high and low lean growth genotypes to dietary lysine levels. *J. Anim. Sci.* 66 (Suppl. 1):137-145.
- Stahly, T.S., G.L. Cromwell, and D. Terhune. 1991. Responses of high, medium and low lean growth genotypes to dietary amino acid regimen. 69 (Suppl. 1): 364.
- Stein, H.H., S. Aref, and R.A. Easter. 1999. Comparative Protein and Amino acids digestibilities in Growing Pigs And Sows. *J. Anim. Sci.* 77: 1169-1179.
- Striyer, L. 1988. *Biochemistry*. 3rd. Ed. W.H. Freeman and Company. New York. 1089 p.
- Susenbeth A. 1995. Factors affecting lysine utilization in growing pigs: an analysis of literature data. *Livestock Production Science* 43:193-204.
- Susenbeth, A., T. Dickel, A. Diekenhorst, and D. Hohler. 1999. The effect of energy intake, genotype, and body weight on protein retention in pigs when dietary lysine is the first-limiting factor. *J. Anim. Sci.* 77:2985-2989.
- Tanksley T.D., and D.A. Knabe. 1984. Ileal digestibilities of amino acids in pigs feeds and their use in formulating diets. In: W. Haresign and D.J.A. Cole (Ed.). *Recent Advances in animal nutrition*. Butterworths, London.
- Trujillo, F.V. 1987. *Métodos matemáticos en la nutrición animal*. Editorial Mc Graw-Hill. México.
- Tuitoeck K., L.A. Young, C.F.M. de Lange, and B.J. Kerr. 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: An evaluation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75:1575-1583.
- Van Weerden, E.J. and J., Huijman. 1989. *For Agricultural Publishing & documentation*. Wageningen, Netherlands.
- Wei, R., and D. R. Zimmerman. 1998. Lysine requirements of PIC barrows during growing-finishing period. Department of Animal Science, Iowa State University.
- Whittemore, C. T., J. B. Tullis, and G. C. Emmans. 1988. Protein growth in pigs. *Anim. Prod.* 46:435-440.

Witte, D.P., M. Millis, F.K. McKeith, and E.R. Wilson. 2000. Effect of dietary lysine level and enviromental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. J. Anim. Sci. 78:1272-1276.

Yen, H.T., D.J.A. Cole, and D. Lewis. 1986. Amino acids requirements of growing pigs. The response of pigs from 50 to 90 kg live weight to dietary ideal protein. Anim. Prod. 43:155-165.

Zubay, G. 1988. Biochemistry. 2nd. Macmillan Publishing Company. USA. 1266 p.

VIII. ANEXOS

Apéndice 1. Programa de SAS para el análisis de los datos globales.

```
data globales;
input blo tra urea gcm gd och cal gdp ca;
cards;
1      0.80      18.18      0.166      1.167      14.81      1.764      0.579      3.311
2      0.80      20.00      0.197      1.133      17.23      1.547      0.562      2.410
3      0.80      15.06      0.214      1.000      15.89      1.509      0.585      2.711
1      0.90      14.55      0.264      1.067      18.46      1.940      0.661      3.073
2      0.90      15.32      0.224      1.033      16.63      1.526      0.608      2.633
3      0.90      25.19      0.199      1.000      16.85      1.406      0.539      2.843
1      0.99      18.18      0.257      1.067      18.87      1.845      0.684      2.800
2      0.99      23.12      0.234      1.000      18.70      1.539      0.600      2.703
3      0.99      16.10      0.246      0.733      18.76      1.345      0.590      2.371
1      1.09      15.58      0.271      1.100      18.90      1.981      0.785      2.780
2      1.09      16.36      0.255      0.933      17.43      1.695      0.713      2.414
3      1.09      17.40      0.242      0.933      15.05      1.339      0.712      1.927
1      1.18      16.10      0.230      1.067      17.97      1.667      0.690      2.620
2      1.18      19.48      0.257      1.233      17.77      1.798      0.787      2.278
3      1.18      18.70      0.267      1.067      17.45      1.589      0.750      2.181
proc glm;
classes blo tra;
model urea gcm gd och cal gdp ca= blo tra;
means tra blo/tukey;
proc means stderr; by tra;
run;
```


Apéndice 2. Programa de SAS para análisis de los datos de hembras.

```
data hembras;
input blo tra gdp gd och gcm urea;
cards;
1      0.80      0.577      1.00      13.98      0.166      19.48
2      0.80      0.451      1.00      15.90      0.169      21.04
3      0.80      0.589      1.00      14.50      0.193      11.69
1      0.90      0.597      1.00      17.88      0.247      14.42
2      0.90      0.608      1.03      16.63      0.224      15.32
3      0.90      .          .          .          .          .
1      0.99      0.591      0.95      17.75      0.229      17.92
2      0.99      0.406      0.80      19.80      0.212      36.62
3      0.99      0.590      0.73      18.76      0.246      16.10
1      1.09      0.754      1.00      18.00      0.276      12.47
2      1.09      0.699      0.95      16.87      0.245      16.36
3      1.09      0.726      1.10      16.30      0.250      16.36
1      1.18      0.563      0.90      18.49      0.237      15.19
2      1.18      0.783      1.00      19.90      0.307      17.92
3      1.18      0.663      0.80      15.60      0.242      15.58
proc glm;
classes blo tra;
model gdp gd och gcm urea = blo tra;
lsmeans blo tra; means blo tra/lsd;
proc means stderr; by tra;
run;
```

Apéndice 3. Programa de SAS para análisis de datos de machos castrados.

```
data machos;
input blo tra gdp gd och gcm urea;
cards;
1      0.80      0.583      1.5      16.50      0.167      15.58
2      0.80      0.617      1.2      17.91      0.212      19.48
3      0.80      0.583      1.0      16.62      0.224      16.75
1      0.90      0.789      1.2      19.60      0.299      14.81
2      0.90      .          .          .          .          .
3      0.90      0.539      1.0      16.85      0.199      25.19
1      0.99      0.869      1.3      21.10      0.315      18.7
2      0.99      0.697      1.1      18.13      0.245      16.36
3      0.99      .          .          .          .          .
1      1.09      0.800      1.2      19.36      0.269      17.14
2      1.09      0.743      0.9      18.60      0.276      16.36
3      1.09      0.706      0.9      14.44      0.238      17.92
1      1.18      0.640      1.4      16.90      0.217      17.92
2      1.18      0.789      1.4      16.70      0.233      20.26
3      1.18      0.794      1.2      18.40      0.277      20.26
proc glm;
classes blo tra;
model gdp gd och gcm urea = blo tra;
lsmeans blo tra; means blo tra/lsd;
proc means stderr; by tra;
run;
```

Apéndice 4. Programa de SAS para el análisis de regresión lineal de los datos globales.

```

/* ARCHIVO: REGLINCERDOS.SAS */
/* BASE DE DATOS DE ENSAYO BIOLÓGICO DE NIVELES DE LISINA EN DIETAS PARA CERDOS EN
CRECIMIENTO */
/* FECHA DE INICIO. 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 45 CERDOS, CINCO TRATAMIENTOS, TRES BLOQUES, TRES CERDOS POR CORRA= UNIDAD
EXPRIMENTAL */
/* GRANJA EXPERIMENTAL. MODULO DE PORCINOS */
/* DEFICIÓN DE VARIABLES: */
    /* BLO: BLOQUE */
    /* TRA: TRATAMIENTO */
    /* UREA: UREA EN PLASMA */
    /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
    /* GD: GRASA DORSAL */
    /* OCH: ÁREA DE OJO DE CHULETA */
    /* CAL: CONSUMO DE ALIMENTO POR DÍA */
    /* CALA: CONSUMO DE ALIMENTO ACUMULADO */
    /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */
    /* GDPA: GANANCIA DIARIA DE PESO ACUMULADA */
    /* CA: CONVERSIÓN ALIMENTICIA */

data MUESTRA1;
input blo tra urea gcm gd och cal cala gdp gdpa ca;
cards;
1 0.80 18.18 0.166 1.167 14.81 1.764 61.74 0.579 20.26 3.311
2 0.80 20.00 0.197 1.133 17.23 1.547 54.14 0.562 19.67 2.410
3 0.80 15.06 0.214 1.000 15.89 1.509 52.81 0.585 20.47 2.711
1 0.90 14.55 0.264 1.067 18.46 1.940 67.90 0.661 23.13 3.073
2 0.90 15.32 0.224 1.033 16.63 1.526 53.41 0.608 21.28 2.633
3 0.90 25.19 0.199 1.000 16.85 1.406 49.21 0.539 18.86 2.843
1 0.99 18.18 0.257 1.067 18.87 1.845 64.57 0.684 23.94 2.800
2 0.99 23.12 0.234 1.000 18.70 1.539 53.86 0.600 21.00 2.703
3 0.99 16.10 0.246 0.733 18.76 1.345 47.07 0.590 20.65 2.371
1 1.09 15.58 0.271 1.100 18.90 1.981 69.33 0.785 27.47 2.780
2 1.09 16.36 0.255 0.933 17.43 1.695 59.32 0.713 24.95 2.414
3 1.09 17.40 0.242 0.933 15.05 1.339 46.86 0.712 24.92 1.927
1 1.18 16.10 0.230 1.067 17.97 1.667 58.34 0.690 24.15 2.620
2 1.18 19.48 0.257 1.233 17.77 1.798 62.93 0.787 27.54 2.278
3 1.18 18.70 0.267 1.067 17.45 1.589 55.61 0.750 26.25 2.181
;
PROC MEANS DATA = MUESTRA1;

/* REGRESION LINEAL SIMPLE */
PROC GLM DATA = MUESTRA1;
MODEL UREA GCM GD OCH CAL CALA GDP GDPA CA = BLO TRA;

/* REGRESION CON EFECTOS LINEALES Y CUADRÁTICOS */
PROC GLM DATA = MUESTRA1;
MODEL UREA GCM GD OCH CAL CALA GDP GDPA CA = BLO TRA TRA*TRA;

/*REGRESIÓN CON EFECTOS LINEALES CUADRÁTICOS Y CÚBICOS */
PROC GLM DATA = MUESTRA1;
MODEL UREA GCM GD OCH CAL CALA GDP GDPA CA = BLO TRA TRA*TRA TRA*TRA*TRA;
RUN;

```

Apéndice 5. Programa de SAS para el análisis de regresión lineal para los datos de hembras.

```

/* FECHA DE INICIO: 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 23 HEMBRAS, CINCO TRATAMIENTOS, TRE BLOQUE */
/* GRANJA EXPERIMENTAL. MODULO DE PORCINOS */
/* DEFINICION DE VARIABLES: */
    /* BLO: BLOQUE */
    /* TRA: TRATAMIENTO */
    /* UREA: UREA EN PLASMA */
    /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
    /* GD: GRASA DORSAL */
    /* OCH: AREA DE OJO DE CHULETA */
    /* CAL: CONSUMO DE ALIMENTO POR DIA */
    /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */
    /* CA: CONVERSIÓN ALIMENTICIA */

data hembras;
input blo tra gdp gd och gcm urea;
cards;
1      0.80      0.577      1.00      13.98      0.166      19.48
2      0.80      0.451      1.00      15.90      0.169      21.04
3      0.80      0.589      1.00      14.50      0.193      11.69
1      0.90      0.597      1.00      17.88      0.247      14.42
2      0.90      0.608      1.03      16.63      0.224      15.32
1      0.99      0.591      0.95      17.75      0.229      17.92
2      0.99      0.406      0.80      19.80      0.212      36.62
3      0.99      0.590      0.73      18.76      0.246      16.10
1      1.09      0.754      1.00      18.00      0.276      12.47
2      1.09      0.699      0.95      16.87      0.245      16.36
3      1.09      0.726      1.10      16.30      0.250      16.36
1      1.18      0.563      0.90      18.49      0.237      15.19
2      1.18      0.783      1.00      19.90      0.307      17.92
3      1.18      0.663      0.80      15.60      0.242      15.58
;
PROC MEANS DATA = HEMBRAS;

/* REGRESIÓN LINEAL SIMPLE */
PROC GLM DATA = HEMBRAS;
MODEL GDP GD OCH GCM UREA = BLO TRA;

/* REGRESIÓN CON EFECTOS LINEALES Y CUADRÁTICOS */
PROC GLM DATA = HEMBRAS;
MODEL GDP GD OCH GCM UREA = BLO TRA TRA*TRA;

/* REGRESIÓN CON EFECTOS LINEALES, CUADRÁTICOS Y CÚBICOS */
PROC GLM DATA = HEMBRAS;
MODEL GDP GD OCH GCM UREA = BLO TRA TRA*TRA TRA*TRA*TRA;

RUN;

```

Apéndice 6. Programa de SAS para el análisis de regresión lineal para los datos de machos castrados

```
/* FECHA DE INICIO 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 22 MACHOS CASTRADOS, CINCO TRATAMIENTOS, TRES BLOQUE */
/* GRANJA EXPERIMENTAL, MODULO DE PORCINOS */
/* DEFINICIÓN DE VARIABLES: */
  /* BLO: BLOQUE */
  /* TRA: TRATAMIENTO */
  /* UREA: UREA EN PLASMA */
  /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
  /* GD: GRASA DORSAL */
  /* OCH: AREA DE OJO DE CHULETA */
  /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */

data machos;
input blo tra gdp gd och gcm urea;
cards;
1      0.80  0.583      1.50      16.50      0.167      15.58
2      0.80  0.617      1.20      17.91      0.212      19.48
3      0.80  0.583      1.00      16.62      0.224      16.75
1      0.90  0.789      1.20      19.60      0.299      14.81
3      0.90  0.539      1.00      16.85      0.199      25.19
1      0.99  0.869      1.30      21.10      0.315      18.70
2      0.99  0.697      1.10      18.13      0.245      16.36
1      1.09  0.800      1.15      19.36      0.269      17.14
2      1.09  0.743      0.90      18.60      0.276      16.36
3      1.09  0.706      0.85      14.44      0.238      17.92
1      1.18  0.640      1.40      16.90      0.217      17.92
2      1.18  0.789      1.35      16.70      0.233      20.26
3      1.18  0.794      1.20      18.40      0.279      20.26
;
PROC MEANS DATA = MACHOS;

/* REGRESIÓN LINEAL SIMPLE */
PROC GLM DATA = MACHOS;
MODEL GDP GD OCH GCM UREA = BLO TRA;

/* REGRESIÓN CON EFECTOS LINEALES Y CUADRÁTICOS */
PROC GLM DATA = MACHOS;
MODEL GDP GD OCH GCM UREA = BLO TRA TRA*TRA;

/* REGRESIÓN CON EFECTOS LINEALES CUADRÁTICOS Y CÚBICOS */
PROC GLM DATA = MACHOS;
MODEL GDP GD OCH GCM UREA = BLO TRA TRA*TRA TRA*TRA*TRA;

RUN;
```

Apéndice 7. Programa de SAS para análisis de regresión no lineal para los datos globales, con modelo exponencial de Noll *et al.* (1984).

```

/* ARCHIVO: expo1global.SAS */
/* BASE DE DATOS DE ENSAYO BIOLÓGICO DE NIVELES DE LISINA EN DIETAS PARA CERDOS EN
CRECIMIENTO */
/* FECHA DE INICIO. 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 45 CERDOS, CINCO TRATAMIENTOS, TRES BLOQUES, TRES CERDOS POR CORRAL = UNIDAD
EXPRIMENTAL */
/* GRANJA EXPERIMENTAL. MODULO DE PORCINOS */
/* DEFICIÓN DE VARIABLES: */
    /* BLO: BLOQUE */
    /* TRA: TRATAMIENTO */
    /* UREA: UREA EN PLASMA */
    /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
    /* GD: GRASA DORSAL */
    /* OCH: ÁREA DE OJO DE CHULETA */
    /* CAL: CONSUMO DE ALIMENTO POR DÍA */
    /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */
    /* CA: CONVERSIÓN ALIMENTICIA */

data MUESTRA1;
input blo tra urea gcm gd och cal gdp ca;
cards;
1      0.80      18.18      0.166      1.167      14.81      1.764      0.579      3.311
2      0.80      20.00      0.197      1.133      17.23      1.547      0.562      2.410
3      0.80      15.06      0.214      1.000      15.89      1.509      0.585      2.711
1      0.90      14.55      0.264      1.067      18.46      1.940      0.661      3.073
2      0.90      15.32      0.224      1.033      16.63      1.526      0.608      2.633
3      0.90      25.19      0.199      1.000      16.85      1.406      0.539      2.843
1      0.99      18.18      0.257      1.067      18.87      1.845      0.684      2.800
2      0.99      23.12      0.234      1.000      18.70      1.539      0.600      2.703
3      0.99      16.10      0.246      0.733      18.76      1.345      0.590      2.371
1      1.09      15.58      0.271      1.100      18.90      1.981      0.785      2.780
2      1.09      16.36      0.255      0.933      17.43      1.695      0.713      2.414
3      1.09      17.40      0.242      0.933      15.05      1.339      0.712      1.927
1      1.18      16.10      0.230      1.067      17.97      1.667      0.690      2.620
2      1.18      19.48      0.257      1.233      17.77      1.798      0.787      2.278
3      1.18      18.70      0.267      1.067      17.45      1.589      0.750      2.181
;

PROC MEANS DATA = MUESTRA1;

/* REGRESIÓN NO LINEAL CON MODELO DE NOLL ET AL., 1984 */
PROC NLIN DATA = MUESTRA1 BEST = 10 STEP = 60 METHOD = MARQUARDT SMETHOD = ARMGOLD
MAXITER = 1000;
PARMS B0=.656 B1=0 B2=1 B3=1;
BOUNDS B0 >= 0.656, B1 >= 0;
MODEL GDP = B0 + (B1*(1-(EXP(B2*BLO+B3*TRA))));
IF _MODEL_ THEN RETURN;

RUN;

```

Apéndice 8. Programa de SAS para análisis de regresión no lineal de los datos globales con el modelo exponencial de Morales *et al.* (1991).

```

/* ARCHIVO: expo2global.SAS */
/* BASE DE DATOS DE ENSAYO BIOLÓGICO DE NIVELES DE LISINA EN DIETAS PARA CERDOS EN
CRECIMIENTO */
/* FECHA DE INICIO. 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 45 CERDOS, CINCO TRATAMIENTOS, TRES BLOQUES, TRES CERDOS POR CORRA= UNIDAD
EXPRIMENTAL */
/* GRANJA EXPERIMENTAL. MODULO DE PORCINOS */
/* DEFINICIÓN DE VARIABLES: */
    /* BLO: BLOQUE */
    /* TRA: TRATAMIENTO */
    /* UREA: UREA EN PLASMA */
    /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
    /* GD: GRASA DORSAL */
    /* OCH: ÁREA DE OJO DE CHULETA */
    /* CAL: CONSUMO DE ALIMENTO POR DÍA */
    /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */
    /* CA: CONVERSIÓN ALIMENTICIA */

data MUESTRA1;
input blo tra urea gcm gd och cal gdp ca;
cards;
1      0.80      18.18      0.166      1.167      14.81      1.764      0.579      3.311
2      0.80      20.00      0.197      1.133      17.23      1.547      0.562      2.410
3      0.80      15.06      0.214      1.000      15.89      1.509      0.585      2.711
1      0.90      14.55      0.264      1.067      18.46      1.940      0.661      3.073
2      0.90      15.32      0.224      1.033      16.63      1.526      0.608      2.633
3      0.90      25.19      0.199      1.000      16.85      1.406      0.539      2.843
1      0.99      18.18      0.257      1.067      18.87      1.845      0.684      2.800
2      0.99      23.12      0.234      1.000      18.70      1.539      0.600      2.703
3      0.99      16.10      0.246      0.733      18.76      1.345      0.590      2.371
1      1.09      15.58      0.271      1.100      18.90      1.981      0.785      2.780
2      1.09      16.36      0.255      0.933      17.43      1.695      0.713      2.414
3      1.09      17.40      0.242      0.933      15.05      1.339      0.712      1.927
1      1.18      16.10      0.230      1.067      17.97      1.667      0.690      2.620
2      1.18      19.48      0.257      1.233      17.77      1.798      0.787      2.278
3      1.18      18.70      0.267      1.067      17.45      1.589      0.750      2.181
;

PROC MEANS DATA = MUESTRA1;

/* REGRESIÓN NO LINEAL CON MODELO DE MORALES ET AL., 1991 */
PROC NLIN DATA = MUESTRA1 BEST = 10 STEP = 60 METHOD = MARQUARDT SMETHOD = ARMGOLD
MAXITER = 1000;
PARMS B0=.656 B1=1 B2=1 B3=1;
BOUNDS B0 >= 0.656, B1 >= 0;
MODEL GDP = B0 + (B1*(EXP(B2*BLO+B3*TRA)));
IF _MODEL_ THEN RETURN;

RUN;

```

Apéndice 9. Programa de SAS para el análisis de regresión no lineal para datos de hembras, con el modelo exponencial de Noll *et al.* (1984).

```

/* FECHA DE INICIO: 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 23 HEMBRAS, CINCO TRATAMIENTOS, TRE BLOQUE */
/* GRANJA EXPERIMENTAL. MODULO DE PORCINOS */
/* DEFINICION DE VARIABLES: */
    /* BLO: BLOQUE */
    /* TRA: TRATAMIENTO */
    /* UREA: UREA EN PLASMA */
    /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
    /* GD: GRASA DORSAL */
    /* OCH: AREA DE OJO DE CHULETA */
    /* CAL: CONSUMO DE ALIMENTO POR DIA */
    /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */
    /* CA: CONVERSIÓN ALIMENTICIA */

data hembras;
input blo tra gdp gd och gcm urea;
cards;
1      0.80      0.577      1.00      13.98      0.166      19.48
2      0.80      0.451      1.00      15.90      0.169      21.04
3      0.80      0.589      1.00      14.50      0.193      11.69
1      0.90      0.597      1.00      17.88      0.247      14.42
2      0.90      0.608      1.03      16.63      0.224      15.32
1      0.99      0.591      0.95      17.75      0.229      17.92
2      0.99      0.406      0.80      19.80      0.212      36.62
3      0.99      0.590      0.73      18.76      0.246      16.10
1      1.09      0.754      1.00      18.00      0.276      12.47
2      1.09      0.699      0.95      16.87      0.245      16.36
3      1.09      0.726      1.10      16.30      0.250      16.36
1      1.18      0.563      0.90      18.49      0.237      15.19
2      1.18      0.783      1.00      19.90      0.307      17.92
3      1.18      0.663      0.80      15.60      0.242      15.58
;
PROC MEANS DATA = HEMBRAS;

/* REGRESIÓN NO LINEAL CON MODELO DE NOLL ET AL., 1984 */
PROC NLIN DATA = HEMBRAS BEST = 10 STEP = 60 METHOD = MARQUARDT SMETHOD = ARMGOLD
MAXITER = 1000;
PARMS B0=17.605 B1=1 B2=1 B3=1;
BOUNDS B0 >= 17.605, B1>=0;
MODEL UREA = B0 + (B1*(1-(EXP(B2*BLO+B3*TRA))));
IF _MODEL_ THEN RETURN;

RUN;

```


Apéndice 10. Programa de SAS para análisis de regresión no lineal para datos de hembras, con modelo exponencial de Morales *et al.* (1991).

```

/* FECHA DE INICIO: 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 23 HEMBRAS, CINCO TRATAMIENTOS, TRE BLOQUE */
/* GRANJA EXPERIMENTAL. MODULO DE PORCINOS */
/* DEFINICION DE VARIABLES: */
    /* BLO: BLOQUE */
    /* TRA: TRATAMIENTO */
    /* UREA: UREA EN PLASMA */
    /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
    /* GD: GRASA DORSAL */
    /* OCH: AREA DE OJO DE CHULETA */
    /* CAL: CONSUMO DE ALIMENTO POR DIA */
    /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */
    /* CA: CONVERSIÓN ALIMENTICIA */

data hembras;
input blo tra gdp gd och gcm urea;
cards;
1      0.80      0.577      1.00      13.98      0.166      19.48
2      0.80      0.451      1.00      15.90      0.169      21.04
3      0.80      0.589      1.00      14.50      0.193      11.69
1      0.90      0.597      1.00      17.88      0.247      14.42
2      0.90      0.608      1.03      16.63      0.224      15.32
1      0.99      0.591      0.95      17.75      0.229      17.92
2      0.99      0.406      0.80      19.80      0.212      36.62
3      0.99      0.590      0.73      18.76      0.246      16.10
1      1.09      0.754      1.00      18.00      0.276      12.47
2      1.09      0.699      0.95      16.87      0.245      16.36
3      1.09      0.726      1.10      16.30      0.250      16.36
1      1.18      0.563      0.90      18.49      0.237      15.19
2      1.18      0.783      1.00      19.90      0.307      17.92
3      1.18      0.663      0.80      15.60      0.242      15.58
;
PROC MEANS DATA = HEMBRAS;

/* REGRESIÓN NO LINEAL CON MODELO DE MORALES ET AL., 1991 */
PROC NLIN DATA = HEMBRAS BEST = 10 STEP = 60 METHOD = MARQUARDT SMETHOD = ARMGOLD
MAXITER = 1000;
PARMS B0=17.605 B1=1 B2=1 B3=1;
BOUNDS B0>= 17.605, B1>=0;
MODEL UREA = B0 + (B1*(EXP(B2*BLO+B3*TRA)));
IF _MODEL_ THEN RETURN;

RUN;

```

Apéndice 11. Programa de SAS para el análisis de regresión no lineal para datos de machos castrados, con modelo exponencial de Noll *et al.* (1984).

```

/* FECHA DE INICIO 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 22 MACHOS CASTRADOS, CINCO TRATAMIENTOS, TRES BLOQUE */
/* GRANJA EXPERIMENTAL, MODULO DE PORCINOS */
/* DEFINICIÓN DE VARIABLES: */
    /* BLO: BLOQUE */
    /* TRA: TRATAMIENTO */
    /* UREA: UREA EN PLASMA */
    /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
    /* GD: GRASA DORSAL */
    /* OCH: AREA DE OJO DE CHULETA */
    /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */

data machos;
input blo tra gdp gd och gcm urea;
cards;
1      0.80  0.583      1.50      16.50      0.167      15.58
2      0.80  0.617      1.20      17.91      0.212      19.48
3      0.80  0.583      1.00      16.62      0.224      16.75
1      0.90  0.789      1.20      19.60      0.299      14.81
3      0.90  0.539      1.00      16.85      0.199      25.19
1      0.99  0.869      1.30      21.10      0.315      18.70
2      0.99  0.697      1.10      18.13      0.245      16.36
1      1.09  0.800      1.15      19.36      0.269      17.14
2      1.09  0.743      0.90      18.60      0.276      16.36
3      1.09  0.706      0.85      14.44      0.238      17.92
1      1.18  0.640      1.40      16.90      0.217      17.92
2      1.18  0.789      1.35      16.70      0.233      20.26
3      1.18  0.794      1.20      18.40      0.279      20.26
;
PROC MEANS DATA = MACHOS;

/* REGRESION NO LINEAL CON MODELO DE NOLL ET AL., 1984 */
PROC NLIN DATA = MACHOS BEST = 10 STEP = 60 METHOD = MARQUARDT SMETHOD = ARMGOLD MAXITER
= 1000;
PARMS B0=18.21 B1=1 B2=1 B3=1;
BOUNDS B0 >= 18.21, B1>=0;
MODEL UREA = B0 + (B1*(1-(EXP(B2*BLO+B3*TRA))));
IF _MODEL_ THEN RETURN;

RUN;

```

Apéndice 12. Programa de SAS para análisis de regresión no lineal para datos de machos castrados con modelo exponencial de Morales *et al.* (1991).

```

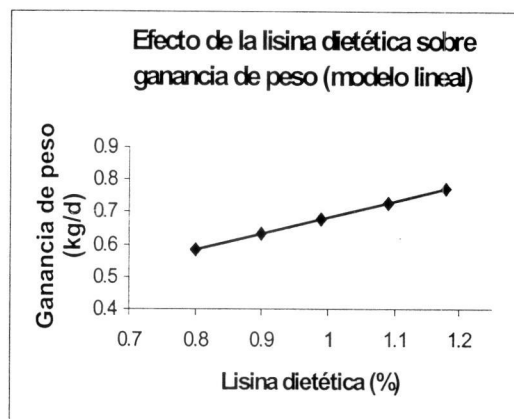
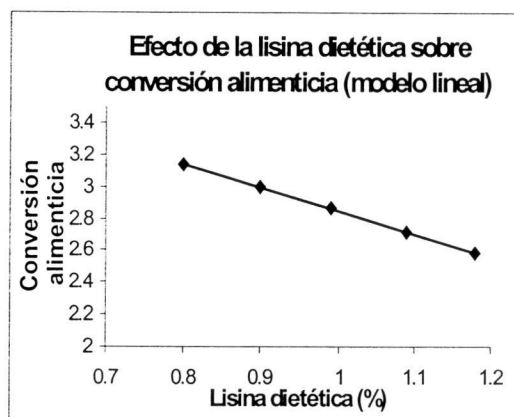
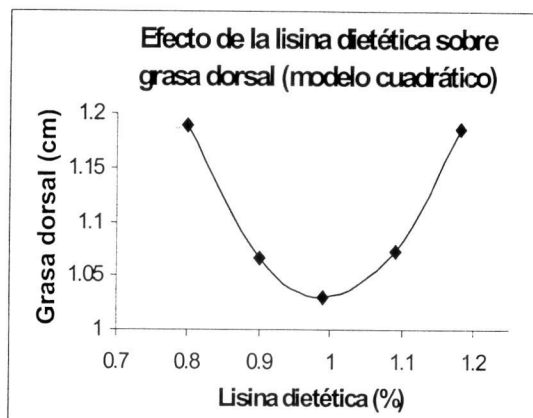
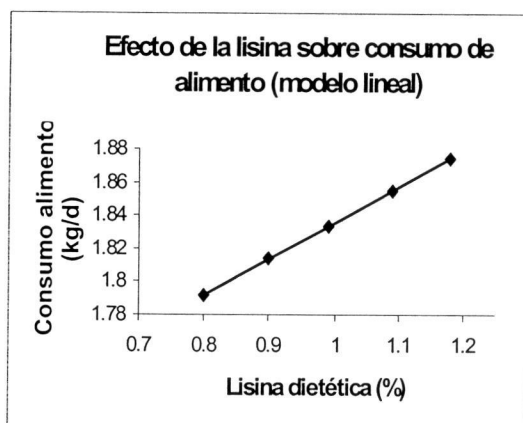
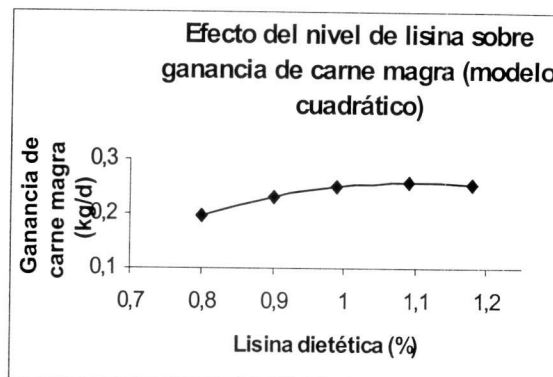
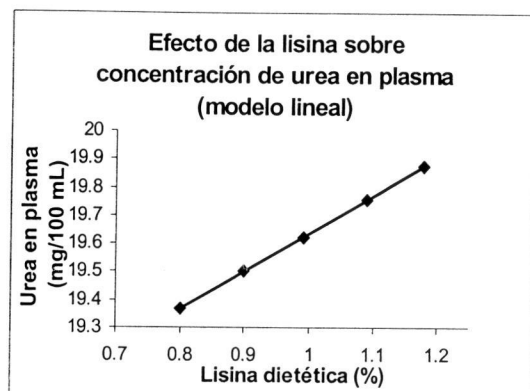
/* FECHA DE INICIO 12 DE MAYO DE 2001 */
/* INVESTIGADOR: RAFAEL MEDINA GUERRA */
/* 22 MACHOS CASTRADOS, CINCO TRATAMIENTOS, TRES BLOQUE */
/* GRANJA EXPERIMENTAL, MODULO DE PORCINOS */
/* DEFICIÓN DE VARIABLES: */
    /* BLO: BLOQUE */
    /* TRA: TRATAMIENTO */
    /* UREA: UREA EN PLASMA */
    /* GCM: GANANCIA DE CARNE MAGRA */
    /* GD: GRASA DORSAL */
    /* OCH: AREA DE OJO DE CHULETA */
    /* GDP: GANANCIA DIARIA DE PESO */

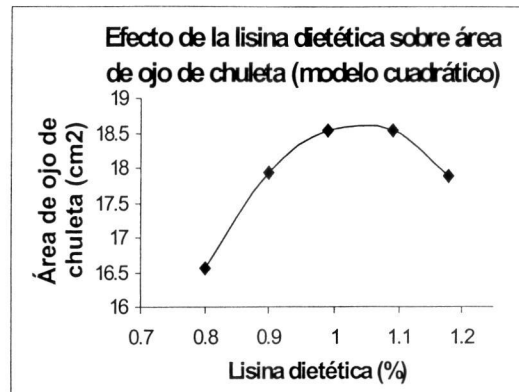
data machos;
input blo tra gdp gd och gcm urea;
cards;
1      0.80   0.583      1.50      16.50      0.167      15.58
2      0.80   0.617      1.20      17.91      0.212      19.48
3      0.80   0.583      1.00      16.62      0.224      16.75
1      0.90   0.789      1.20      19.60      0.299      14.81
3      0.90   0.539      1.00      16.85      0.199      25.19
1      0.99   0.869      1.30      21.10      0.315      18.70
2      0.99   0.697      1.10      18.13      0.245      16.36
1      1.09   0.800      1.15      19.36      0.269      17.14
2      1.09   0.743      0.90      18.60      0.276      16.36
3      1.09   0.706      0.85      14.44      0.238      17.92
1      1.18   0.640      1.40      16.90      0.217      17.92
2      1.18   0.789      1.35      16.70      0.233      20.26
3      1.18   0.794      1.20      18.40      0.279      20.26
;
PROC MEANS DATA = MACHOS;

/* REGRESION NO LINEAL CON MODELO DE MORALES ET AL., 1991 */
PROC NLIN DATA = MACHOS BEST = 10 STEP = 60 METHOD = MARQUARDT SMETHOD = ARMGOLD MAXITER
= 1000;
PARMS B0=18.21 B1=1 B2=1 B3=1;
BOUNDS B0>=18.21, B1>=0;
MODEL UREA = B0 + (B1*(EXP(B2*BLO+B3*TRA)));
IF _MODEL_ THEN RETURN;
RUN;

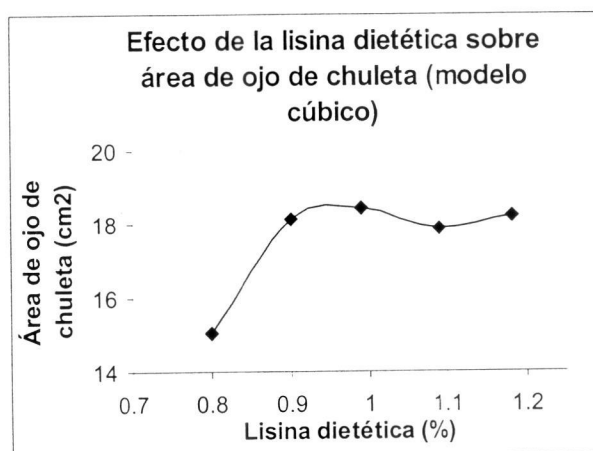
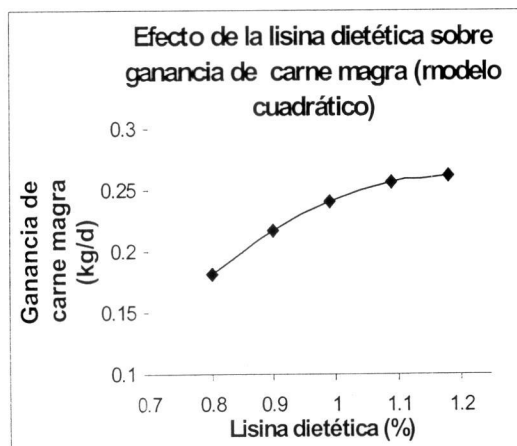
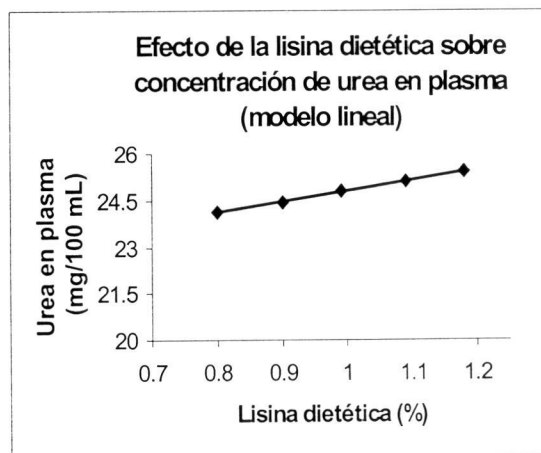
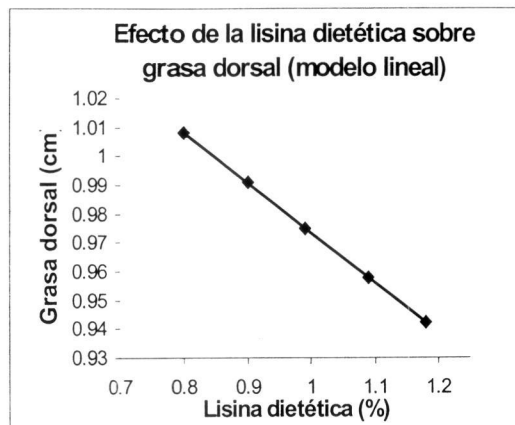
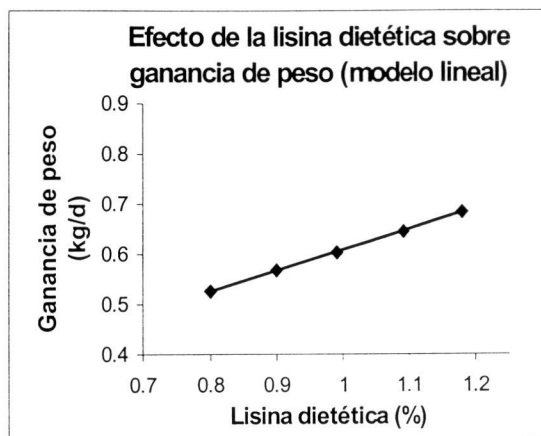
```

Apéndice 13. Gráficas para cada una de las variables evaluadas, con el mejor modelo de predicción, cuando no se consideró el sexo de los animales.

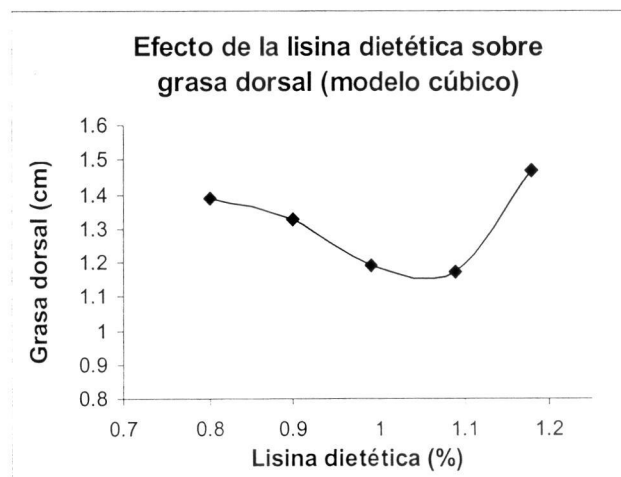
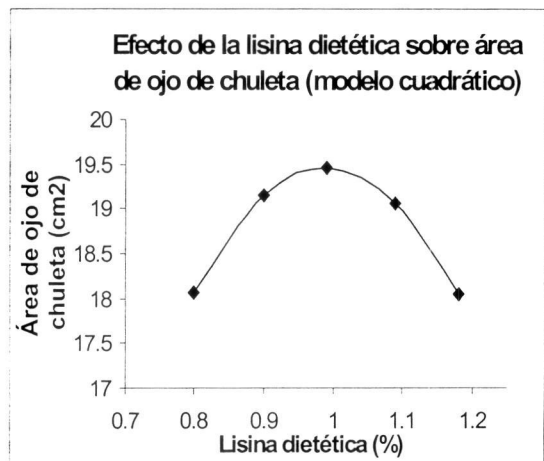
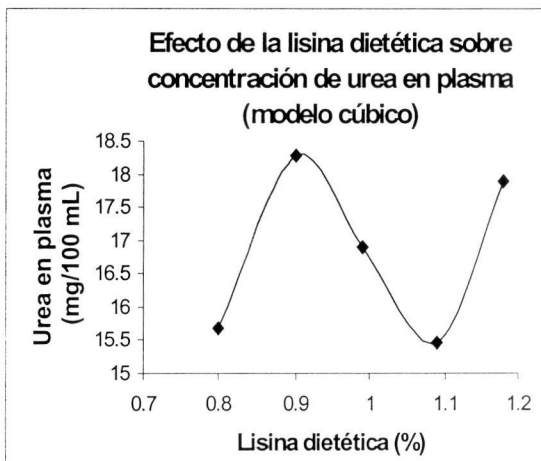
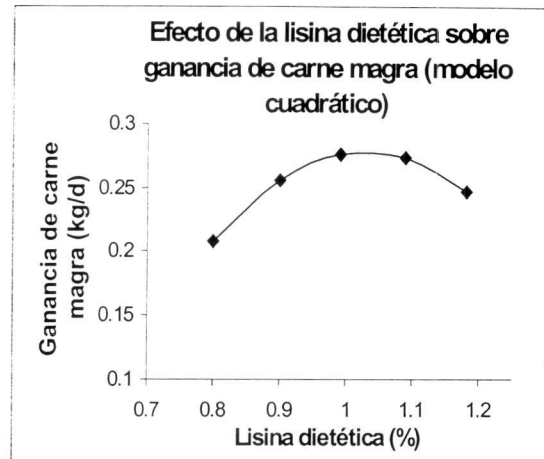
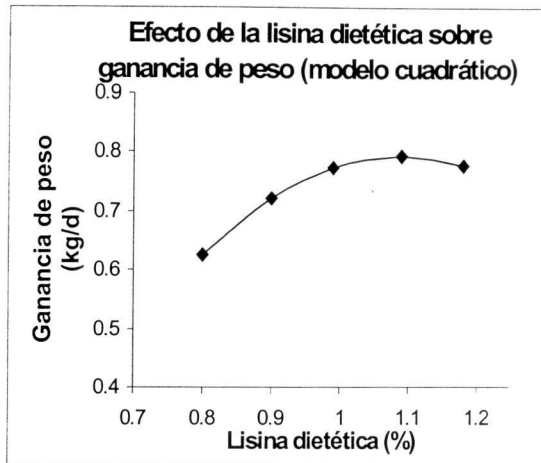




Apéndice 14. Gráficas para cada una de las variables evaluadas, con el mejor modelo de predicción, en hembras.



Apéndice 15. Gráficas para cada una de las variables de evaluadas, con el mejor modelo de predicción, en machos castrados



Apéndice 16. Modelos de regresión que presentaron los menores cuadrados medios del error para cada una de las variables evaluadas, cuando no se consideró el sexo de los animales

Variable	Modelo	Intercepto	bloque	β_0	β_1	$P \leq$
UREA	Lineal	17.3101	0.986	-1.3382		0.6086
GCM	Cuadrático	-0.5809	-0.002	1.5267	-0.6932	0.0098
OCH	Cuadrático	-20.3662	-0.501	76.1001	-36.6606	0.1041
GD	Cuadrático	5.3833	-0.0735	-8.6384	4.3592	0.0104
CAL	Lineal	1.8201	-0.2009	0.2159		0.0005
GDP	Lineal	0.2109	-0.0223	0.4939		0.0002
CA	Lineal	4.5514	-0.2551	-1.4491		0.0007

Modelos de regresión que presentaron los menores cuadrados medios del error para cada una de las variables, en hembras

Variable	Modelo	Intercepto	bloque	β_0	β_1	β_2	$P \leq$
GDP	Lineal	0.1833	0.0065	0.4186			0.1197
GD	Lineal	1.1760	-0.0286	-0.1739			0.5071
UREA	Lineal	21.4997	-0.2014	-3.5112			0.9571
GCM	Cuadrático	-0.4875	-0.00086	1.26	-0.5290		0.0076
OCH	Cúbico	-361.569	-0.3502	1111.527	-1077.168	345.939	0.0674

Modelos de regresión que presentaron los menores cuadrados medios del error para cada una de las variables, en machos castrados

Variable	Modelo	Intercepto	bloque	β_0	β_1	β_2	$P \leq$
GDP	Cuadrático	-1.5881	-0.0355	4.4509	-2.0490		0.0674
GD	Cúbico	-30.4817	-0.1638	105.5382	-114.4947	40.7797	0.0029
UREA	Cúbico	-707.4142	1.6085	2230.421	-2271.794	763.860	0.2545
GCM	Cuadrático	-1.1456	-0.0063	2.7822	-1.3531		0.1509
OCH	Cuadrático	-17.5432	-0.9624	76.7364	-38.7845		0.1776

Definición de variables:

UREA = Concentración de urea en plasma

GCM = Ganancia de carne magra

OCH = Área de ojo de chuleta

GD = Grasa dorsal

CAL = Consumo de alimento

GDP = Ganancia diaria de peso

CA = Conversión alimenticia

Apéndice 17. Modelo econométrico para calcular los niveles óptimos biológicos de las variables de interés.

	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=1%)	(UA=1PESO)	NIVEL	RESTR.	RHS MIN.
Función objetivo	p. de soya	sorgo	aceite	nucleo	s.trigo	HCl-lisina	Treonina	DL-M	LISTOT	COSTOTOT	OPTIMO		
GANPESO											27.0001 =		MAX
Restricciones													
COSTO(\$)	2.7	1.5	5	4	1.3	30	41	40			-1	0 =	0 COSTO(PESOS)
MAXEM/kcal)	3180	3340	8400	0	978	0	0	0				3248 <=	3248 MAXEM/KCAL)
MINEM(kcal)	3180	3340	8400	0	978	0	0	0				3248 >=	3242 MINEM(KCAL)
MINPC (%)	43.8	9.2	0	4.2	15.5	95.8	0	0				15.9691 >=	15.5 MINPC (%)
MAXPC (%)	43.8	9.2	0	4.2	15.5	95.8	0	0				15.9691 <=	16.1 MAXPC (%)
LISINA (%)	2.83	0.23	0	4.38	0.56	78	0	0			-1	0 =	0 LISINA (%)
MINREQLIS (%)											1	1.18 >=	0.8 MINREQLIS (%)
MAXREQLIS (%)											1	1.18 <=	1.18 MAXREQLIS (%)
ARG (%)	3.23	0.38	0	0	0.85	0	0	0				0.92 <=	0.92 ARGININA (%)
TREO (%)	1.73	0.31	0	0	0.41	0	99	0				0.56973 <=	0.61 TREONINA (%)
TRIP (%)	0.61	0.1	0	0	0.25	0	0	0				0.19525 >=	0.19 TRIPTOFANO (%)
MET+CIS (%)	1.31	0.34	0	0	0.43	0	0	99				0.50928 <=	0.54 MET+CIS (%)
CALCIO (%)	0.81	0.03	0	16.8	0.13	0	0	0				0.85432 >=	0.85 CALCIO (%)
P. TOT. (%)	0.62	0.29	0	7.5	1.16	0	0	0				0.64523 >=	0.64 FOSFORO TOTAL (%)
P. DISP. (%)	0.24	0.06	0	6.37	0.41	0	0	0				0.35 <=	0.35 FOSFORO DISP. (%)
NUCLEO	0	0	0	1	0	0	0	0				0.04 =	0.04 NUCLEO
IG PESO	1	1	1	1	1	1	1	1				1 =	1 IG PESO

SOLUCIÓN KG DE:	0.1964	0.7275	0.0218	0.0400	0.0108	0.0035	0	0	1.18	2.010495321
	p. de soya	sorgo	aceite	nucleo	s.trigo	HCl-lis	Treo	DL-metio.	LIS Tot	COSTO(PESOS)

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO			
GANANCIA DE PESO			
VARIABLE	ESTIMADOR	VALOR	
INTERCEPTC	7.376201		1
BLOQUE	-0.78		1
LISINA	17.291463		1.18
PREDICHO	27.00012734	kgs	

Apéndice 18. Modelo econométrico para el cálculo del nivel óptimo económico de lisina con el optimizador de Excel

	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=KG)	(UA=1%)	(UA=1PESO)	NIVEL	REST. RHS min.
función objetivo	p. de soya	sorgo	aceite	nucleo	s.trigo	HCl-lisina	Treonina	DL-metio.	LISINATOT	COSTOTOT	OPTIMO	
UTILIDAD											262.65857	=
restricciones												MAX
Costos(pesos)	2.7	1.5	5	4	1.3	30	41	40			-1	0.00000 =
MINEM (KCAL)	3180	3340	8400	0	978	0	0	0			3241.00000 >=	3241
MAXEM(KCAL)	3180	3340	8400	0	978	0	0	0			3241.00000 <=	3248
MINPC (%)	43.8	9.2	0	4.2	15.5	95.8	0	0			15.98750 >=	15.5
MAXPC (%)	43.8	9.2	0	4.2	15.5	95.8	0	0			15.98750 <=	16.1
LIS (%)	2.83	0.23	0	4.38	0.56	78	0	0			-1	0.00000 =
MINREQLIS (%)											1	1.18000 >=
MAXREQLIS (%)											1	1.18000 <=
ARG (%)	3.23	0.38	0	0	0.85	0	0	0				0.92
TREO (%)	1.73	0.31	0	0	0.41	0	99	0				0.57141 <=
TRIP (%)	0.61	0.1	0	0	0.25	0	0	0				0.19489 >=
MET+CIS (%)	1.31	0.34	0	0	0.43	0	0	99				0.51091 <=
Ca (%)	0.81	0.03	0	16.8	0.13	0	0	0				0.85417 >=
PTOTAL (%)	0.62	0.29	0	7.5	1.16	0	0	0				0.64000 >=
P DISP. (%)	0.24	0.06	0	6.37	0.41	0	0	0				0.34764 <=
NUCLEO	0	0	0	1	0	0	0	0				0.04000 =
IG PESO	1	1	1	1	1	1	1	1				1.00001 =

Solución kg de: 0.19704 0.73993 0.01670 0.04000 0.00281 0.00353 0 0 1.18 1.994996438
p. de soya sorgo aceite nucleo s.trigo HCl-lis Treo DL-met. Lis Tot Costos(peso)

	Ganancia de peso	
VARIABLE	Estimador	Valor
INTERCEPTO	7.3762	1
BLOQUE	-0.78	1
LISINA	17.291	1.18
PREDICHO		26.99958 kgs

	Consumo de Alimento	
VARIABLE	Estimador	Valor
INTERCEPTO	63.7098	1
BLOQUE	-7.032	1
LISINA	7.5546	1.18
PREDICHO		65.592228 Kgs

Estimación Indirecta de Utilidades		
Utilidad = Ingresos menos egresos		
193.1386988	323.99496	130.8562612
Ingresos = precio del cerdo por ganancia de peso		
323.99496	12	26.99958
Egresos = Costo de la dieta por consumo de alimento		
130.8562612	1.994996438	65.592228