



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE
L-LISINA EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE :**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN ANIMAL**

P R E S E N T A :

ANIBAL GARCÍA GARCÍA

FEBRERO DE 1998

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO



DIR. DE VINCULACIÓN
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



**NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE L-LISINA EN DIETAS
PARA CERDOS EN CRECIMIENTO**

Tesis realizada por **Anibal García García** 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 J. GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR: _____


Ph. D. MANUEL CUCA GARCÍA

ASESOR: _____


M.C. LUIS EMILIO CASTILLO MÁRQUEZ

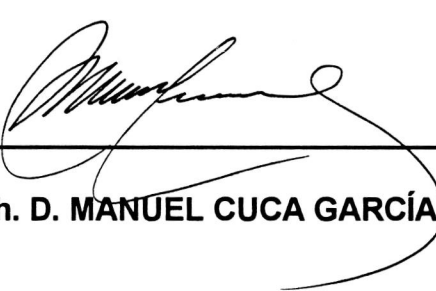
**NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE L-LISINA EN DIETAS
PARA CERDOS EN CRECIMIENTO**

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

PRESIDENTE: _____


Ph. D. MARIANO J. GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR: _____


Ph. D. MANUEL CUCA GARCÍA

ASESOR: _____


M. C. LUIS EMILIO CASTILLO MÁRQUEZ

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO Y AL DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA POR TODO...

Ph. D. MARIANO J. GONZÁLEZ ALCORTA POR LA DIRECCIÓN DE LA TESIS

Ph. D. MANUEL CUCA GARCÍA POR SU APOYO Y OBSERVACIONES PARA EL DESARROLLO Y REVISIÓN DE LA TESIS.

M.C. LUIS EMILIO CASTILLO MÁRQUEZ POR SU APOYO PARA LA REVISIÓN DE LA TESIS.

A TODO EL PERSONAL ACADÉMICO Y ADMISNISTRATIVO DEL POSGTRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL Y DEL DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA.

AL M.C. MELITON CORDOBA ALVAREZ

A MIS AMIGOS Y A TODAS LAS PERSONAS QUE EN UN MOMENTO U OTRO ME APOYARON PARA SEGUIR ADELANTE.

A TODOS GRACIAS.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con todo cariño y respeto a:

Mis Padres

HERNAN GARCÍA GARCÍA y CELINA GARCÍA VAZQUEZ, por darme la oportunidad de seguir estudiando, que considero la mejor herencia del mundo.

Mi Hermana

SANDRA GUADALUPE GARCÍA GARCÍA, por su apoyo y comprensión.

Mi Abuela

ANTONIA GARCÍA ALBORES, por sus consejos y su gran cariño.

Mis Familiares

OFELIA, MARBE, AMANDA, ELIAS, ESTHER, ARMANDO, NELY, ANTONIO, ABSALON, CIRO, ISIDRA, MERCEDES, por la confianza y apoyo moral que me han brindado.

Mis Amigos

ARBHEY, ROLANDO, ALFREDO, JOSE ALFREDO, MOISES, FERNANDO, CARLOS, JOSE FCO., VALENTE, RAUL, MANUEL, FCO. JAVIER, J. GABRIEL BARRERA GLEZ Y JOSE CORTEZ, con quienes he compartido parte de mi vida, la cual nunca olvidare.

Un hombre muribundo, da sus últimos consejos a sus hijos.

- Dos cualidades son esenciales en la vida.

La honradez y la prudencia.

¿A qué llama usted honradez, padre ?, pregunta el jóven.

Acumplir siempre las promesas hechas.

¿ Y a qué llama prudencia ?.

A no hacer ninguna promesa.

García G. A.

RESUMEN

García García Anibal y Mariano González Alcorta

NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE L-LISINA EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

(Febrero, 1998)

Dado que pueden obtenerse utilidades extras con la formulación econométrica de máxima utilidad (FMU) en comparación con la formulación a mínimo costo (FMC), se realizaron dos experimentos en la granja de la Universidad Autónoma Chapingo, para estimar los niveles óptimos biológico (NOB) y económico (NOE) de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento. Experimento 1. Los tratamientos consistieron en 0.70, 0.75, 0.80, 0.85 y 0.90% de L-lisina. Las variables de respuesta fueron consumo de alimento y ganancia de peso. Se estimó el NOB en 0.89 y NOE en 0.90% de L-lisina. Se obtuvo una utilidad extra con la FMU de \$2631.6 comparado con la FMC. Experimento 2. Los tratamientos consistieron en 0.65, 0.75, 0.80, 0.85 y 0.90% de L-lisina. Las variables de respuesta fueron consumo de alimento y ganancia de peso. El NOB y NOE de L-lisina coincidieron en 0.90%. Se obtuvo una utilidad extra con la FMU de \$7369.2 comparado con la FMC.

Palabras clave: Cerdos, L-lisina, óptimo biológico, óptimo económico.

SUMMARY

García García Anibal y González Alcorta Mariano

OPTIMAL BIOLOGICAL AND ECONOMIC DIETARY LEVELS OF L-LYSINE FOR GROWING PIGS

(February, 1998)

Previous work with growing pigs showed that it is possible to get extra profits with maximum profit feed formulation (MPFF) in comparison to minimum cost feed formulation (MCFF). Two experiments were carried out in order to estimate the optimal biological level (OBL) and economic dietary level (OEL) of L-lysine in diets for growing pigs. First experiment. The lysine levels were 0.70,0.75,0.80,0.85 and 0.90%. The response variables were feed intake and weight gain. The OBL was estimated in 0.89 and the OEL was estimated in 0.90% of L-lysine. When profits from MPFF and MCFF were compared, there was \$2631.6 as extra profits. Second experiment. The lysine levels were 0.65,0.75,0.80, 0.85 and 0.90%. The response variables were feed intake and weight gain. The OBL and OEL of L-lysine coincided in 0.90%. When profits from MPFF and MCFF were compared, there was \$7369.2 as extra profits.

Keys board: Pigs, L-lysine, Optimal Biological, Optimal Economic.

ÍNDICE

	Página
Índice de Cuadros.....	iv
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Apéndices.....	vii
I. Introducción.....	1
II. Revisión de literatura.....	3
2.1. Marco de referencia.....	3
2.1.1. Situación de la porcicultura en México.....	3
2.1.2. Inventario porcícola nacional.....	6
2.1.3. Situación de la industria de los alimentos balanceados.....	7
2.1.4. Problemática de la industria de alimentos balanceados.....	7
2.1.5. Sistemas de producción porcícola en México.....	9
2.1.5.1. Sistema de producción de traspatio.....	9
2.1.5.2. Sistema de producción organizada.....	10
2.1.6. Impacto de la formulación de máxima utilidad al productor.....	10
2.2. Marco conceptual.....	12
2.2.1. Aminoácidos esenciales y no esenciales en cerdos.....	12
2.2.2. Generalidades de la L-lisina.....	13
2.2.2.1. Estructura química de la L-lisina.....	13

	Página
2.2.2.2. Antagonismo entre L-lisina y L-arginina.....	14
2.2.2.3. Principales fuentes de L-lisina.....	15
2.2.2.4. Efecto del peso vivo, sexo y consumo de alimento sobre el nivel óptimo biológico de L-lisina en la dieta para cerdos.....	15
2.2.2.5. L-lisina como patrón de la proteína edeal.....	17
2.2.2.5.1. Formulación de dietas con el concepto de proteína ideal.....	20
2.2.3. Nivel óptimo biológico de L-lisina para cerdos en crecimiento.....	21
2.2.4. Nivel óptimo económico de L-lisina para cerdos en crecimiento.....	23
2.2.5. Teoría microeconómica.....	24
III. Problemática, Hipótesis y Objetivos.....	25
IV. Metodología global.....	27
V. Resultados.....	28
5.1. Niveles óptimos biológico y económico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento.....	28

	Página
VI. Conclusiones.....	51
VII. Recomendaciones.....	52
VIII. Literatura citada.....	53
IX. Anexos.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro Número	Página
1. Producción de carne de cerdo en canal en México (1981 a 1995).....	4
2. Producción pecuaria en México para 1996.....	4
3. Consumo per cápita anual (kg) para las principales especies en México.	5
4. Principales cuencas porcícolas de México en 1995. Volumen de producción en pie* (toneladas).....	6
5. Estados con mayor población de ganado porcino.....	7
6. Distribución de la producción de alimentos balanceados entre las especies de importancia pecuaria.....	7
7. Sistemas de producción porcícola en México.....	10
8. Análisis paramétrico de las utilidades extras que pueden obtenerse con la formulación econométrica de máxima utilidad.....	11
9. Principales fuentes de L-lisina.....	15
10. Efecto del peso vivo, sexo y consumo de alimento sobre el nivel óptimo biológico de L-lisina en cerdos.....	17
11. Comparación de las proporciones ideales de aminoácidos de la proteína de los tejidos de cerdos en crecimiento y de la proteína de la leche de la cerda.....	18
12. Proteína ideal (expresado como % de L-lisina) para cerdos en crecimiento.....	19

	Página
13. Niveles óptimos biológicos (NOB) de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento, ordenados de forma ascendente.....	22
14. Niveles óptimos económicos (NOE) de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento, ordenados en forma ascendente.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Número	Página
1. Variabilidad del precio de la pasta de soya en México.....	8
2. Variabilidad del precio del sorgo en México.....	8

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice Número	Página
1. Programa de Excel para recalcular la dieta basal de los autores Baker et al. (1975), dieta basal con 12% de PC.....	61
2. Programa de Excel para recalcular la dieta basal de los autores Baker et al. (1975), dieta basal con 16% de PC.....	62
3. Programa de Excel para recalcular la dieta basal de los autores Martínez y Knabe (1990), dieta basal con 16% PC.....	63
4. Programa de Excel para recalcular la dieta basal del experimento 1.....	64
5. Programa de Excel para recalcular la dieta basal del experimento 2.....	65
6. Base de datos.....	66
7. Estimación de parámetros de los modelos de regresión lineal y no lineal con los dos experimentos, Baker et al. (1975) y Martínez y Knabe (1990).....	67
8. Cuadrados Medios de Error (CME) de los diez modelos de regresión lineal y no lineal.....	72
8.1. CME para consumo de alimento.....	72
8.2. CME para ganancia de peso.....	72
9. Galería de modelos.....	73

	Página
9.1. Galería de modelos para ganancia de peso.....	73
9.2. Galería de modelos para consumo de alimento.....	73
10. Programas de SAS utilizados para estimar los parámetros de los modelos.....	75
11. Prueba de Friedman.....	78
12. Programas de GAMS.....	82
12.1. Programa de GAMS para el experimento 1, que maximiza la ganancia de peso (NOB).....	82
12.2. Programa de GAMS para el experimento 1, que maximiza las utilidades (NOE).....	85
12.3. Programa de GAMS para el experimento 2, que maximiza la ganancia de peso (NOB).....	88
12.4. Programa de GAMS para el experimento 2, que maximiza las utilidades de peso (NOB).....	91

I. INTRODUCCIÓN

Por muchos años en las fabricas de alimentos balanceados de México, se ha utilizado la programación lineal (Dent y Casey, 1967; Beneke y Winterboer, 1973) para formular dietas a mínimo costo (FMC) con el objetivo de obtener cierto nivel de producción. En ese método el nutriólogo establece los requerimientos nutrimentales basado en la experiencia propia o en las publicaciones de los estándares como ARC (1981) o NRC (1988). Sin embargo, el nivel de L-lisina establecido puede o no coincidir con el nivel óptimo biológico (NOB), que en el caso del cerdo se ha orientado para obtener la máxima ganancia de peso (NRC,1979; ARC, 1981; NRC, 1988). A diferencia de la FMC en donde los requerimientos son fijos, recientemente, se ha propuesto la formulación econométrica de máxima utilidad (FMU), la cual es un método que estima los niveles óptimos económicos (NOE) de los nutrimentos, los cuales son variables y están en función de las utilidades (González *et al.*, 1992). En la nutrición del cerdo, la L-lisina es el primer aminoácido limitante en dietas a base de sorgo o maíz-pasta de soya (Yen *et al.*, 1986a; Gahl *et al.*, 1994; Craig, 1995), por lo tanto es el principal NOB de aminoácido que se necesita estimar. Es importante recalcar que el NOB (máxima ganancia de peso) de L-lisina puede no coincidir con el NOE (máxima utilidad), tal como lo mencionan Crenshaw *et al.* (1995), Constantino y Gil (1996) y Orozco y González (1996), lo anterior implica que con la FMU se pueden obtener mayores utilidades comparado con la FMC (Orozco y González, 1996).

Dado que existe mucha inconsistencia en el NOB de L-lisina reportados en la literatura para cerdos en crecimiento, y a que la porcicultura nacional requiere un tipo de formulación mas eficiente que permita al productor obtener mayores utilidades, en la presente investigación se plantearon como objetivos, estimar el NOB y NOE de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento, así como evaluar el efecto de la variación del precio del kg de cerdo en pie y de la lisina sintética sobre el NOE de L-lisina.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco de referencia

2.1.1. Situación de la porcicultura en México

En el periodo comprendido de 1965 a 1983 se realizaron grandes inversiones en el sector porcícola nacional, la producción de carne se incrementó en 9.2% anual, lo que la colocó como la de mayor consumo interno, aportó hasta 53% del consumo total de carne (CANACINTRA, 1993-1994), en ese periodo se logró abastecer el mercado interno y se duplicó el consumo per cápita de 10 a 20 kg por habitante (García, 1992).

En 1970 se produjeron 550,000 toneladas de carne de cerdo en canal y en 1983 la producción se incrementó en un 170%, al llegar a 1' 485, 882 toneladas (CNG, 1996). Para 1984 la producción disminuyó a una tasa media anual de 11.2%, retroceso que alcanzó su máximo en 1989, con una caída en la producción nacional de carne del 51%, lo cual representa el año de mas baja producción, comparado con el máximo alcanzado en 1983 (Cuadro 1), esta disminución implicó el cierre de granjas de pequeños y medianos productores o la reducción en el uso de la capacidad instalada (Flores y Sagarnaga, 1996). En 1996 la producción de carne de cerdo representó el 17% del total de la producción pecuaria en México (UNA, 1996).

Cuadro 1. Producción de carne de cerdo en canal en México (1981 a 1995).

Año	Producción en canal (toneladas)
1981	1' 316, 617
1982	1' 365, 414
1983	1' 485, 882
1984	1' 453, 304
1985	1' 293, 222
1986	959, 259
1987	914, 573
1988	861, 201
1989	726, 661
1990	757, 351
1991	811, 899
1992	819, 782
1993	844, 375
1994	872, 907
1995	898,461

CNG (1996).

Cuadro 2. Producción pecuaria en México para 1996.

Productos	Producción (%)
Pollo	28.0
Huevo	28.0
Res	25.0
Cerdo	17.0
Caprino	0.4
Ovino	0.4
Pavo	0.2
Miel	1.0

UNA (1996).

En el periodo comprendido de 1980 a 1988 la carne de cerdo era la de mayor consumo (Cuadro 3), sin embargo, a partir de 1989 fue desplazada por la carne de res y pollo (CANACINTRA, 1995-1996; UNA, 1996).

Cuadro 3. Consumo per cápita anual (kg) para las principales especies en México.

Año/Especie	Porcino	Bovino	Pollo
1980	18.0	14.2	10.1
1985	19.1	15.9	11.8
1986	---	---	9.4
1987	---	---	10.2
1988	11.0	---	10.2
1989	9.1	15.0	10.8
1990	9.3	14.3	12.1
1991	9.8	15.8	14.2
1992	9.7	16.4	16.0
1993	9.6	16.1	16.4
1994	10.0	14.6	15.9
1995	9.7	15.3	16.6

Adaptado de: CANACINTRA (1995-1996) y UNA (1996).

La crisis económica que ocurrió en el mes de diciembre de 1994 afectó el costo de los insumos porcícolas al incrementarse, estos en un 70%, mientras que el precio del cerdo en pie se incrementó apenas un 26%. De marzo a mayo de 1995 el precio del cerdo en pie disminuyó 1.9%, resultado de la recuperación de las importaciones (López, 1995; Muñoz, 1995), y encareció el precio y redujo el volumen de importaciones de granos hasta en un 46%, en noviembre de 1994 se importaban mensualmente alrededor de 22,000 toneladas, en febrero de 1995 se importaron solamente 11,000. En el caso del sorgo, se importaron 2'544,000 toneladas en 1995 lo que implicó una disminución del 18% en las importaciones con respecto a las 2'350, 000 toneladas importadas en 1994 (López, 1995). Sin embargo, la producción de frijol soya no es suficiente, por lo que se recurre a la importación, esto obliga al productor a pagar el frijol soya o la pasta de soya a precios internacionales (CANACINTRA, 1995-1996).

Es importante señalar que el desarrollo de la porcicultura no fue generalizado en todo el país, en algunos estados se tendió a concentrar cuencas porcíolas, y en otras grandes extensiones del país se mantuvieron con el sistema tradicional de producción extensiva. Los estados que destacan por su desarrollo porcícola son: Jalisco, Sonora, Guanajuato, Michoacán, Puebla, Distrito Federal (D.F.) y área conurbada, Querétaro y Yucatán (Cuadro 4).

Cuadro 4. Principales cuencas porcíolas de México en 1995. Volumen de producción en pie* (toneladas).

Región	Volumen de carne (toneladas)	Participación en la producción (%)
Noroeste (Sonora, Sinaloa, Baja California Norte y Sur)	239,457	19.5
Occidente (Jalisco, Colima y Nayarit)	257,690	21.0
Centro Occidente (Michoacán y Guanajuato)	217,398	18.0
Centro (Querétaro, Hidalgo, D.F. y área conurbada)	176,733	14.0
Península de Yucatán (Yucatán, Campeche y Quintana Roo)	104,641	8.5
Subtotal	995,919	81.0
Total	1,230,768	100.0

*La estimación del volumen de producción en canal considera un rendimiento medio del 73%. CNG (1996).

2.1. 2. Inventario porcícola nacional

Los estados con mayor población de ganado porcino son: Sonora, Puebla, Jalisco, Veracruz, Guerrero y Guanajuato (Cuadro 5).

Cuadro 5. Estados con mayor población de ganado porcino.

Estado	Miles de cabezas	%
Sonora	1109	13.5
Puebla	974	11.9
Jalisco	844	10.3
Veracruz	559	6.8
Guerrero	482	5.9
Guanajuato	421	5.1

INEGI (1992).

2.1.3. Situación de la industria de los alimentos balanceados

En 1995 la industria de los alimentos balanceados poseía una capacidad de producción de 17 millones de toneladas, sin embargo, su producción real fue de 14.4 millones de toneladas, procesadas en 320 fabricas distribuidas en todo el país. Del total de la producción 10' 489, 000 toneladas (72%) fueron elaboradas por productores integrados (avicultores, porcicultores y ganaderos) y 3' 921, 000 toneladas (28%) por fabricas comerciales (CANACINTRA, 1995-1996).

Cuadro 6. Distribución de la producción de alimentos balanceados entre las especies de importancia pecuaria.

Especie	Miles de toneladas	%
Avicultura	6960	48.30
Cerdos	3055	21.20
Ganado lechero	2565	17.80
Ganado de Engorda	1450	10.08
Otros*	380	2.62
Total	14410	100.00

*incluye caballos, conejos, perros, gatos, peces y otras especies.
CANACINTRA (1995-1996).

2.1.4. Problemática en la industria de alimentos balanceados

Para la elaboración de alimentos balanceados se requiere resolver principalmente los siguientes problemas: minimizar los costos de producción, asignar de forma óptima los recursos o ingredientes disponibles que maximicen las

utilidades, y enfrentar la variabilidad en precios y calidad de los ingredientes, principalmente sorgo y pasta de soya (Figuras 1 y 2), para lograr permanecer en el mercado y ser competitivos.

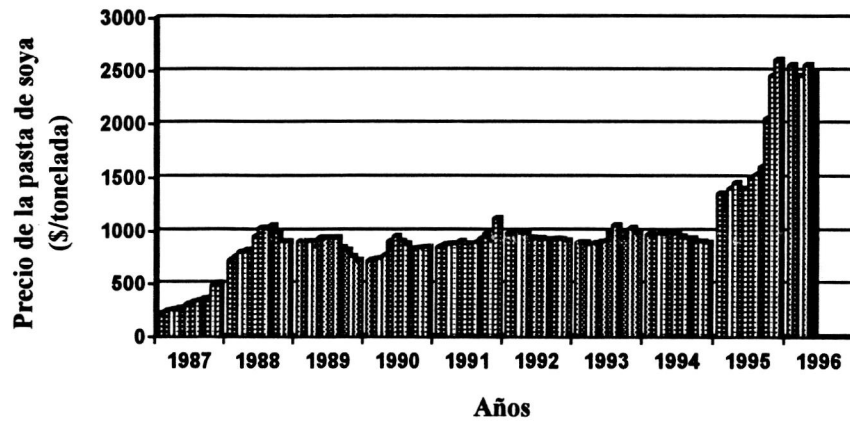


Figura 1. Variabilidad del precio de la pasta de soya en México.

UNA (1996).

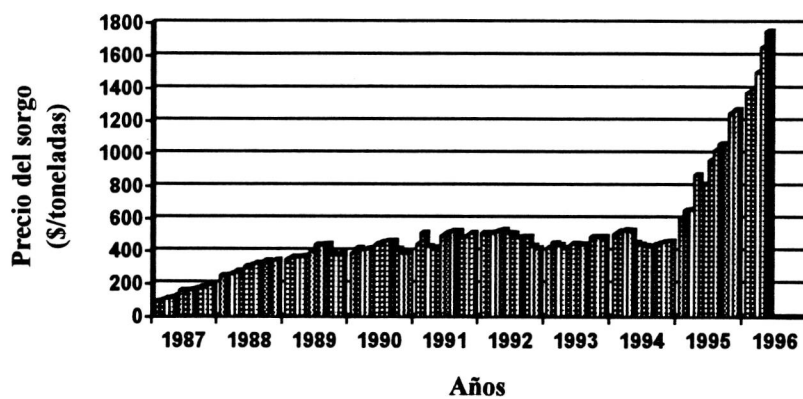


Figura 2. Variabilidad del precio del sorgo en México.

UNA (1996).

La variabilidad de los precios y la calidad de los ingredientes es uno de los principales problemas a los que se tiene que enfrentar las fabricas de alimentos balanceados y los porcicultores, por lo que es importante que el nutriólogo cuente con una herramienta para formular dietas que incluyan estos dos conceptos, como es el caso de la formulación econométrica de máxima utilidad.

2.1.5. Sistemas de producción porcícola en México

Es importante tipificar los sistemas de producción porcícola en México, para estimar las utilidades extras que se obtendrían con la formulación econométrica de máxima utilidad comparada con la formulación de mínimo costo.

Los sistemas de producción porcícola en México se clasifican en:

2.1.5.1. Sistema de producción de traspatio

Este sistema se localiza principalmente en zonas rurales, en donde se encuentran explotaciones de ciclo completo, engordadoras y productoras de lechones, en todas se explotan razas criollas y en ocasiones cruzadas con razas importadas, la alimentación es a base de desperdicios del consumo familiar y de algunos subproductos de los cultivos, no cuenta con una infraestructura específica y no realiza manejo sanitario (CONAPOR, 1996). INEGI (1990) ha estimado 8.2 millones de cabezas, cifra que representa el 40% (Ramírez, 1995) del inventario nacional (Cuadro 7).

Cuadro 7. Sistemas de producción porcícola en México.

Sistema de producción	Inventario nacional (%)	Participación en la producción (%)
Tecnificada	15	70
Semitecnificada	45	25
Traspatio	40	5
Total	100	100

Ramírez (1995).

2.1.5.2. Sistema de producción organizada

Este sistema se encuentra principalmente en las cuencas porcícolas, se divide en cuatro tipos de explotaciones: granjas de ciclo completo, productoras de lechones, engordadoras y productoras de pie de cría, en todas se explotan líneas de cerdos mejorados, cuentan con asistencia técnica e infraestructura tecnificada o semitecnificada, se proporcionan las condiciones óptimas para el desarrollo del cerdo con el objetivo de obtener mayor producción (Kato, 1995). CONAPOR (1996) estima que este sistema representa el 60% del inventario nacional.

2.1.6. Impacto de la formulación econométrica de máxima utilidad

En la actualidad se han desarrollado nuevos paquetes para la formulación de dietas, sin embargo, aún se encuentran a nivel de investigación, un ejemplo de ello, es la formulación econométrica de máxima utilidad. Un análisis paramétrico de las utilidades extras que pueden obtenerse con la formulación econométrica de máxima utilidad, muestra el impacto que tendría en la economía del productor como herramienta para la formulación de dietas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis paramétrico de las utilidades extras que pueden obtenerse con la formulación econométrica de máxima utilidad.

Utilidades extras (\$/kg de cerdo)	Semitecnificada¹	Tecnificada²
0.5	18,000	60,250
1.0	36,000	120,500
1.5	54,000	180,750
2.0	72,000	241,000

¹ : Empresa porcícola semitecnificada con 360 cerdos de 100 kg cada uno.

² : Empresa porcícola tecnificada con 1205 cerdos de 100 kg cada uno.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Los conceptos principales para la formulación econométrica de máxima utilidad son los niveles óptimos biológico (NOB) y económico (NOE) de L-lisina, por lo tanto se centrará la revisión en estos conceptos y otros colaterales.

2.2.1. Aminoácidos esenciales y no esenciales en cerdos

Los aminoácidos están clasificados como **esenciales y no esenciales**. Los aminoácidos no esenciales o dispensables son aquellos que pueden ser sintetizados rápidamente por el organismo del animal a partir de precursores para favorecer el máximo crecimiento, siempre y cuando haya una fuente de nitrógeno y de energía adecuada (NRC, 1988; Cuarón, 1991; Craig, 1995). L-glicina, L-serina, L-alanina, ácido aspártico, ácido glutámico, L-cisteína, L-prolina y L-tirosina son los aminoácidos no esenciales en cerdos (NRC, 1988).

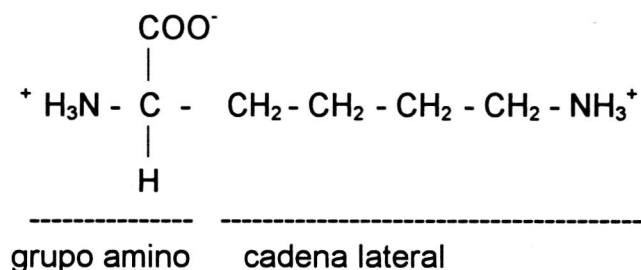
Los aminoácidos esenciales o indispensables son aquellos que no tienen una ruta metabólica para su síntesis en el organismo, o bien, su tasa de síntesis no es suficiente para cubrir el requerimiento específico del mismo, por lo que deben ser suministrados a través de la dieta (Behm, 1991; Visek, 1994). Para el crecimiento normal de los cerdos se requiere de la presencia en la dieta de los diez aminoácidos esenciales, L-arginina, L-histidina, L-isoleucina, L-leucina, L-lisina, DL- metionina, L-fenilalanina, L-treonina, L-triptofano y L-valina (NRC, 1988; Cuarón, 1991; Craig, 1995). La calidad proteínica de un ingrediente esta dada por las proporciones y biodisponibilidad de estos aminoácidos, lo cual es mas

importante que la cantidad de proteína suministrada a los animales en la dieta (Lehninger, 1985). La biodisponibilidad de un aminoácido se define como el proceso de digestión, absorción y utilización del mismo por el animal (Parson, 1990). Los factores que afectan la biodisponibilidad del aminoácido son las condiciones de procesamiento, la presencia de compuestos antinutricionales, la composición química y física de la proteína (Sauner y Ozimek, 1985), y el nivel de fibra en la dieta (Parson, 1991). La L-lisina y la L-cisteína son los mas susceptibles a los efectos de las condiciones de procesamiento, además, que la L-lisina tiende a formar complejos de aminoácidos no disponibles debido a que posee un grupo amino épsilon libre (Carpenter, 1973).

2.2.2. Generalidades de la L-lisina

En dietas a base de sorgo o maíz-pasta de soya para cerdos en crecimiento, la L-lisina es el primer aminoácido limitante (Yen *et al.*, 1986a; Gahl *et al.*, 1994; Craig, 1995).

2.2.2.1. Estructura química de la L-lisina



(Striyyer, 1988; Zubay, 1988).

La L-lisina es un aminoácido con cadena lateral básica (Strieler, 1988), o un aminoácido con grupo R cargado (Zubay, 1988).

2.2.2.2. Antagonismo entre L-lisina y L-arginina

En un antagonismo ocurre una interacción específica en la cual, el requerimiento de un aminoácido esencial, no necesariamente el primer aminoácido limitante, se incrementa por la adición de un aminoácido estructuralmente relacionado a la dieta, por ejemplo, el antagonismo entre los aminoácidos L-lisina y L-arginina (Fisher *et al.*, 1960; Jones, 1964; Dean y Scott, 1968). El catabolismo de la L-arginina es realizado por la arginasa renal secretada por el riñón, la cual cataliza la formación de urea y ornitina. Esta enzima no distingue la diferencia en estructura química entre L-arginina y L-lisina, por lo que para la L-lisina ocurre el mismo procedimiento de destrucción (Zubay, 1988). La actividad de esta enzima se incrementa con el exceso de L-arginina o L-lisina en la dieta, por lo que es de suma importancia formular una dieta con una relación mínima de 1:1, además, la L-lisina y la L-arginina comparten el sistema de transporte en los tubulos del riñón y los excesos de uno puede causar una reducción en la eficiencia de reabsorción del otro (Scott *et al.*, 1982). Sin embargo, es posible formular con un nivel mayor de L-arginina en la dieta, debido a que muchos de los ingredientes utilizados contienen grandes cantidades de L-arginina, por lo que el exceso se destruye, y no se afecta el precio de la dieta.

2.2.2.3. Principales fuentes de L-lisina

En el Cuadro 9 se presentan las principales fuentes de L-lisina que pueden ser utilizadas en la formulación de dietas para cerdos.

Cuadro 9. Principales fuentes de L-lisina.

Fuente	L-lisina (%)
Ingredientes	
Harina de sangre	7.44
Harina de pescado (anchoveta)	5.02
Pasta de soya	2.90
Harina de carne y hueso	2.89
Suero de leche	2.54
Pasta de semilla de canola	2.27
Pasta de algodón	1.70
Haba (<i>Vicia faba</i>)	1.68
Pasta de girasol	1.68
Hojuelas de maíz	1.51
Pasta de cacahuete	1.45
Cebada	1.44
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1.29
Gluten de maíz	1.03
Suplementos	
Lisina sintética	78.00
NRC (1988).	

2.2.2.4. Efecto del peso vivo, sexo y consumo de alimento sobre el nivel

óptimo biológico de L-lisina en la dieta para cerdos

El requerimiento de L-lisina en dietas para cerdos esta influenciado grandemente por el peso vivo en que se encuentren los cerdos, el sexo y el consumo de alimento (Batterham *et al.*, 1985; Yen *et al.*, 1986a; Campbell *et al.*, 1988). Hasta los 30 kg de peso vivo, las tasas de acumulación de tejido magro son similares entre los machos castrados, enteros y hembras, pero conforme llegan a

la madurez (40 a 100 kg), los machos castrados acumulan menos tejido magro que las hembras y éstas menos que los machos enteros (Hansen, 1988; Whittemore *et al.*, 1988; Kanis y Koops, 1990). Williams *et al.* (1984) informan que machos enteros, de los 27 a 55 kg de peso vivo, requieren 32% mas de L-lisina en la dieta que machos castrados de peso similar para maximizar la ganancia de peso. Asimismo, Batterham *et al.* (1990) mencionan que los machos enteros de 20 a 45 kg de peso vivo requieren 29% mas de L-lisina (en un patrón ideal), para maximizar la ganancia de peso, 13% para minimizar la eficiencia alimenticia y 24% para la máxima deposición de proteína comparados con hembras del mismo peso. Aunque la eficiencia de uso de los aminoácidos sea igual entre sexos, cuando menos hasta los 50 kg, las diferencias en las tasas de deposición de proteína resultan en un requerimiento diferente (Williams *et al.*, 1984; Batterham *et al.*, 1990). Cuarón (1991) indica que existe relativamente poca diferencia en el requerimiento de L-lisina en relación al sexo hasta los 50 kg de peso vivo, y cualquier diferencia en este nivel se debe a las diversas tasas de acumulación tisular de la proteína y no a las diferencias en la eficiencia en la utilización del aminoácido, y concluye que las dietas diseñadas para hembras utilizadas en machos castrados, no solamente puede ser un gasto innecesario, sino que además puede afectar el crecimiento de los cerdos. Batterham *et al.* (1985), Yen *et al.* (1986a) y Campbell *et al.* (1988) mencionan que la tasa de crecimiento real de tejido magro de los machos castrados y de las hembras es virtualmente la misma, sin embargo, debido a que la hembra por lo general consume menos alimento

cada día, el requerimiento de L-lisina de la hembra en crecimiento, expresado en términos porcentuales (Cuadro 10), es mayor que el del macho castrado.

Cuadro 10. Efecto del peso vivo, sexo y consumo de alimento sobre el nivel óptimo biológico de L-lisina en la dieta para cerdos.

Rango de peso (kg)	Consumo de alimento esperado (kg/día)	PC (%)	L-lisina (%)
20-50 mixto	2.33	16	0.80
50-80 hembra	2.56	15	0.70
50-80 macho castrado	2.77	14	0.65

Adaptado de: Batterham *et al.* (1985); Yen *et al.* (1986a) y Campbell *et al.* (1988).

Stahly (1991) informa que el macho castrado tiene un consumo mas alto y las diferencias entre sexos se presentan entre los 30 y 90 kg de peso corporal, y que conforme se acerca el peso al mercado, los machos castrados muestran una marcada reducción en el consumo de alimento en comparación con las hembras y los machos enteros, de tal manera que de los 100 a 110 kg el consumo de alimento es similar entre los machos castrados, enteros y hembras.

2.2.2.5. L-lisina como patrón de la proteína ideal

A finales de la década de los 70's se desarrolló el concepto de proteína ideal en un intento por resolver el problema de proporcionar algunos aminoácidos en cantidades excesivas. La proteína ideal se define como el perfil o equilibrio perfecto de los aminoácidos esenciales, en términos de concentraciones en la dieta. El objetivo de formular con proteína ideal es hacer el uso óptimo de los

aminoácidos para la síntesis de proteína (tejido magro), teóricamente se obtiene un rendimiento óptimo, sin excesos o deficiencias (Cuarón, 1996).

El estudio de la proteína ideal comenzó al considerar la composición de la proteína del cuerpo del animal (Cuadro 11) y la composición de la proteína de la leche de la cerda (Fowler, 1990).

Cuadro 11. Comparación de las proporciones ideales de aminoácidos de la proteína de los tejidos de cerdos en crecimiento y de la leche de la cerda.

Aminoácidos	Tejidos de lechón como % L-lisina	Leche de la Cerda como %L-lisina
L-lisina	100	100
DL-metionina+L-cisteina	45	43
L-fenilalanina+L-tirosina	94	111
L-treonina	55	55
L-leucina	104	113
L-valina	70	71
L-triptofano	—	17
L-isoleucina	52	54
L-histidina	39	36

Fowler (1990).

La L-lisina se utiliza como estándar en la proteína ideal debido a que, existen muchos experimentos en los que se han determinado el nivel óptimo biológico en cerdos, se ha determinado principalmente la concentración de este aminoácido en los ingredientes utilizados para la formulación de las dietas, es el primer aminoácido limitante, y tiene la función específica de formar proteína (ARC, 1981). Al tomar como estándar a la L-lisina se simplifica la formulación de la

dietas, ya que resulta sencillo calcular la necesidad de los nueve aminoácidos restantes (Cuadro 12).

El concepto de proteína ideal permite que se consideren simultáneamente las proporciones de todos los aminoácidos esenciales. Representa en muchos casos un avance considerable, sobre el concepto del primer aminoácido limitante (Fowler, 1990).

Cuadro 12. Proteína ideal (expresado como % de L-lisina) para cerdos en crecimiento.

Aminoácido	ARC (1981)	NRCP (1988)	Wang y Fuller (1989)	Baker y Chung (1992)	IIP
L-lisina	100	100	100	100	100
DL-metionina+L-cisteina	50	52	63	65	60
L-fenilalanina+L-tirosina	96	81	120	95	95
L-treonina	60	59	72	67	65
L-leucina	100	74	110	100	100
L-valina	70	59	75	68	68
L-triptofano	15	15	18	19	18
L-isoleucina	55	56	60	60	60
L-arginina	—	42	42	36	42
L-histidina	33	26	32	32	32

NRCP: Patrón ideal propuesto por NRC (1988); IIP: Patrón ideal propuesto por Illinois.

Es importante recalcar que la composición de aminoácidos de la proteína ideal propuesta por el ARC (1981) está expresada en base a aminoácidos totales, mientras que Baker y Chung (1992) la expresan en forma de aminoácidos disponibles.

2.2.2.5.1. Formulación de dietas con el concepto de proteína ideal

Cuarón (1996) menciona que una condición para la formulación de dietas con el concepto de proteína ideal es que las proporciones de los aminoácidos, en relación a la L-lisina, deben calcularse en base disponible (típicamente a nivel ileal), sin embargo, al proporcionar ingredientes en los cuales todos los aminoácidos sean disponibles igual o superior al 85%, entonces las relaciones se podrán calcular en base total. La poca información de la disponibilidad de los aminoácidos en los ingredientes, las pocas investigaciones que se han realizado para estimar el nivel óptimo biológico de L-lisina disponible en cerdos, así como la consideración de todos los aminoácidos en la formulación son algunos de los problemas que se pueden encontrar al aplicar el concepto de proteína ideal en la formulación de dietas para cerdos. Para resolver estos problemas, se han realizado un buen número de experimentos, en los que se ha ensayado la correlación que existe entre la disponibilidad de los aminoácidos de cuadros o compendios en la literatura (datos teóricos) y la disponibilidad real (analíticamente medida) y se ha determinado que las dietas basales sorgo o maíz-pasta de soya tienen una disponibilidad promedio de L-lisina entre 80 y 85%, por lo que al tener una buena aproximación en la demanda de L-lisina total, y al calcular su disponibilidad en la dieta, se puede estimar el nivel óptimo biológico de L-lisina disponible al multiplicar el porcentaje de disponibilidad promedio que se espera de las dietas, por el nivel de L-lisina total con que se trabaje. Se recomienda que para la aplicación del concepto de proteína ideal se formule para que todas

las deficiencias sean sólo de los cuatro aminoácidos L-lisina, DL-metionina, L-treonina y L-triptofano que se encuentran disponibles en el mercado en forma cristalina.

2.2.3. Nivel óptimo biológico de L-lisina para cerdos en crecimiento

El nivel óptimo biológico de L-lisina en la dieta es aquel que tiende a optimizar el comportamiento productivo de los cerdos, tradicionalmente se ha orientado para maximizar la ganancia de peso y/o minimizar la conversión alimenticia (González-Alcorta, 1994).

Se ha observado que en los experimentos realizados para estimar el nivel óptimo biológico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento, el nivel estimado es variable (0.69 a 1.32%), esto se debe a que influyen muchos factores en su determinación, tales como, factores genéticos (raza del cerdo), ambientales (temperatura) y nutrimentales (contenido de energía y proteína en la dieta), el peso inicial y final del cerdo, el método de alimentación, las diferencias en digestibilidad y disponibilidad de la L-lisina de los ingredientes utilizados entre otros. Los niveles óptimos biológicos de L-lisina que se informan en la literatura para cerdos en el rango de 18 a 60 kg de peso vivo se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Niveles óptimos biológicos (NOB) de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento, ordenados en forma ascendente.

Rango de peso (kg)	Sexo	ED (Mcal/kg)	EM (Mcal/kg)	PC (%)	NOB de L-lisina (%)	Autor (es)
18	H y M			14.00	0.69	Baker <i>et al.</i> (1975)
20-50			3.26	15.00	0.75	NRC (1988)
18	H y M			16.00	0.77	Baker <i>et al.</i> (1975)
23-45	H y MC			16.00	0.77	Easter y Baker (1980)
21-39	H y MC				0.80	Crenshaw <i>et al.</i> (1995)
20-50			3.26	11.77	0.82	Constantino y Gil (1996)
25-55	M		3.33	14.00	0.86	Williams <i>et al.</i> (1984)
21-50	H y M		3.41	16.00	0.86	Martínez y Knabe (1990)
23-60	H		3.27	15.50	0.95	Gatel y Grosjen (1992)
20-50	H y MC	3.25		15.99	0.98	Chiba <i>et al.</i> (1991)
25-55	MC	3.26		15.70	1.02	Yen <i>et al.</i> (1986a)
25-55	H	3.26		16.80	1.09	Yen <i>et al.</i> (1986a)
25-55	M	3.26		17.10	1.11	Yen <i>et al.</i> (1986a)
20.50	H y MC		3.26	15.00	1.32	Orozco y González (1996)

H hembras; M machos enteros; MC machos castrados.

Baker *et al.* (1975) mencionan que el nivel óptimo biológico de L-lisina en dietas a base de maíz-pasta de soya para cerdos en crecimiento, disminuye en 0.02% por cada 1% de disminución en el nivel de proteína en la dieta. A partir de esta publicación y con la presencia de lisina sintética en México, se originó una línea de investigación para estudiar el efecto de la disminución del nivel de proteína de la dieta sobre el comportamiento productivo del cerdo.

Easter y Baker (1980) realizaron un experimento con el concepto de Baker *et al.* (1975), y encontraron que al reducir el nivel de proteína en las dietas para cerdos en crecimiento y finalización, el consumo de alimento tendió a ser menor. Asimismo, Ramírez *et al.* (1981) confirmaron, con sorgo, el concepto de Baker *et al.*

(1975). Crenshaw *et al.* (1995) mencionan que un alto consumo de L-lisina (1.0%) no disminuye el crecimiento del cerdo, sin embargo, la adición extra de L-lisina solamente incrementa los costos de alimentación.

2.2.4. Nivel óptimo económico de L-lisina para cerdos en crecimiento

El nivel óptimo económico de L-lisina en la dieta es aquel que tiende a maximizar utilidades (\$), que depende del precio de venta del producto (ingresos) y de los costos de producción (González-Alcorta y Orozco, 1994). Las utilidades se calculan como la diferencia entre los ingresos totales y costos totales (Binger y Hoffman, 1988).

Se ha observado que en los pocos experimentos que se han realizado para estimar el nivel óptimo económico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento (20-50 kg), el valor estimado es variable debido a que la metodología para estimar este nivel aún esta en fase de investigación (Cuadro 14).

Cuadro 14. Niveles óptimos económicos (NOE) de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento, ordenados en forma ascendente.

RP (kg)	Sexo	EM (Mcal/kg)	PC (%)	NOE de L-lisina (%)	Autor (es)
21-39	H y MC			0.75	Crenshaw <i>et al.</i> (1995)
20-50	H y M	3.26	11.77	0.80	Constantino y Gil (1996)
20.50	H y MC	3.26	15.00	1.32	Orozco y González (1996)

RP: Rango de Peso; H hembras; M machos enteros; MC machos castrados.

2.2.5. Teoría microeconómica

La ley de rendimientos decrecientes dice que mas allá de cierto punto (NOB) los aumentos en la cantidad de un insumo variable (mientras todos los demás insumos se mantienen fijos) conducen a disminuciones en el producto marginal de ese insumo. Finalmente, la función de producción se vuelve cóncava, a medida que aumenta la cantidad del insumo variable. En la curva de producción existe un punto (NOE) en el cual al agregar una unidad del insumo variable (L-lisina), se obtiene cierto nivel de producción, sin embargo, es mayor la cantidad de dinero que se invierte en el insumo variable que la cantidad de dinero que se obtiene por el incremento en la producción. Generalmente, el NOE se encuentra antes del NOB en la curva de producción (Gould y Lazear, 1994).

III. PROBLEMÁTICA, HIPÓTESIS y OBJETIVOS

3.1. Problemática

Falta evidencia para obtener los niveles óptimos biológico y económico de L- lisina en dietas para cerdos en crecimiento. Asimismo, se encuentra un problema de tipo metodológico con respecto a la evaluación del efecto de la variación del precio del kg de cerdo en pie y de la lisina sintética sobre el nivel óptimo económico de L-lisina.

3.2. Hipótesis

En base a los marcos conceptual y de referencia de la problemática se plantean las siguientes hipótesis.

I. El nivel óptimo biológico de L-lisina recomendado por el NRC (1988) para cerdos en crecimiento no coincide con el nivel óptimo biológico estimado. El fundamento de esta hipótesis se basa en los experimentos realizados para estimar el nivel óptimo biológico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento, en los cuales se ha observado que el nivel estimado es variable (0.69 a 1.32%), debido a que influyen muchos factores en su determinación.

II. El nivel óptimo económico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento puede no coincidir con el nivel óptimo biológico. Lo que implica que dietas de

mínimo costo formuladas con el nivel óptimo biológico de L-lisina arrojan menos utilidades que dietas formuladas con el nivel óptimo económico. Esta hipótesis se fundamenta con la teoría microeconómica (ley de rendimientos decrecientes) y en la evidencia mostrada por Crenshaw *et al.* (1995), Constantino y Gil (1996) y Orozco y González (1996) en donde los niveles óptimos biológico y económico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento fueron diferentes entre sí.

III. El nivel óptimo económico de L-lisina para cerdos en crecimiento puede depender de la variabilidad del precio del kg de cerdo en pie y de la lisina sintética. El fundamento de esta hipótesis se basa en que el NOE esta en función de las utilidades, las cuales dependen del consumo de alimento y la ganancia de peso obtenidos en respuesta al nivel de L-lisina en la dieta.

3.3. Objetivos

La presente investigación tiene como objetivos.

- I. Estimar los niveles óptimos biológico y económico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento.
- II. Evaluar el efecto de la variación del precio del kg de cerdo en pie y de la lisina sintética sobre el NOE de L-lisina.

IV. METODOLOGÍA GLOBAL

Para estimar los NOB y NOE de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento y evaluar el efecto de la variación del precio del kg de cerdo en pie y de la lisina sintética sobre el NOE de L-lisina se utilizó la siguiente metodología.

- 1) Colección de datos de literatura y experimentales
- 2) Estimación de parámetros
- 3) Selección del modelo de regresión
- 4) Construcción de los modelos econométricos
 - 4.1) modelo econométrico para maximizar la ganancia de peso
 - 4.2) modelo econométrico para maximizar las utilidades
- 5) Solución de los modelos econométricos
- 6) Análisis paramétrico
- 7) Comparación de utilidades entre FMU y FMC

Nota importante : las metodologías específicas (1... 7) se mencionan en detalle en el artículo siguiente.

NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE L-LISINA EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

García García Anibal, González Alcorta, Mariano, Cuca García, Manuel y
Castillo Márquez, Luis Emilio

RESUMEN

Dado que pueden obtenerse utilidades extras para los productores con la formulación econométrica de máxima utilidad (FMU) en comparación con la formulación a mínimo costo (FMC), se realizaron dos experimentos en la granja de la Universidad Autónoma Chapingo para estimar los niveles óptimos biológico (NOB) y económico (NOE) de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento. **Experimento 1.** Los tratamientos consistieron en 0.70, 0.75, 0.80, 0.85 y 0.90% de L-lisina. Las variables de respuesta fueron consumo de alimento y ganancia de peso. Se utilizaron 30 cerdos provenientes de la craza York-Landrace con un peso promedio inicial de 30 kg (15 machos castrados y 15 hembras). Se estimó el NOB en 0.89 y NOE en 0.90% de L-lisina. Con el análisis paramétrico se encontró que el NOE de L-lisina estimado no fue sensitivo a cambios en el precio del cerdo en pie o de la lisina sintética en el rango probado. La FMU arrojó \$2631.6 de utilidades extras comparado con la FMC. **Experimento 2.** Los tratamientos consistieron en 0.65, 0.75, 0.80, 0.85 y 0.90% de L-lisina. Las variables de respuesta fueron consumo de alimento y ganancia de peso. Se utilizaron 60 cerdos híbridos comerciales (30 machos castrados y 30 hembras) con un peso promedio inicial de 20 kg. El NOB y NOE de L-lisina coincidieron en 0.90%. Con el análisis paramétrico se

encontró que el NOE de L-lisina estimado no fue sensitivo a cambios en el precio del cerdo en pie o de la lisina sintética en el rango probado. La FMU arrojó \$7369.2 de utilidades extras comparado con la FMC.

Palabras clave: Cerdos, L-lisina, óptimo biológico, óptimo económico.

ABSTRACT

García García, Anibal, González Alcorta, Mariano, Cuca García, Manuel y
Castillo Márquez, Luis Emilio

OPTIMAL BIOLOGICAL AND ECONOMIC DIETARY LEVELS OF L-LYSINE FOR GROWING PIGS

Previous work with growing pigs showed that it is possible to get extra profits with maximum profit feed formulation (MPFF) in comparison to minimum cost feed formulation (MCFF). Two experiments were carried out in order to estimate the optimal biological level (OBL) and economic dietary level (OEL) of L-lysine in diets for growing pigs. First experiment. The lysine levels were 0.70, 0.75, 0.80, 0.85 and 0.90%. The response variables were feed intake and weight gain. 30 pigs (15 barrows and 15 gilts) from crossbred York-Landrace with average initial weight 30 kg were used. The OBL was estimated in 0.89 and the OEL was estimated in 0.90% of L-lysine. The sensitive analysis showed that the OEL of L-lysine was not sensitive to the pigs and synthetic lysine price variation. When profits from MPFF and MCFF were compared, there was \$2631.6 as extra profits. Second experiment. The lysine levels were 0.65, 0.75, 0.80, 0.85 and 0.90%. The response variables were feed intake and

weight gain. 60 commercial hybrids pigs (30 barrows and 30 gilts) with average initial weight 20 kg were used. The OBL and OEL of L-lysine coincided in 0.90%. The sensitive analysis showed that the OEL of L-lysine was not sensitive to the pigs and synthetic lysine price variation. When profits from MPFF and MCFF were compared, there was \$7369.2 as extra profits.

Key board: Pigs, L-lysine, Optimal Biological, Optimal Economic.

INTRODUCCIÓN

Por muchos años en las fabricas de alimentos balanceados de México, se ha utilizado la programación lineal (Dent y Casey, 1967; Beneke y Winterboer, 1973) para formular las dietas a mínimo costo (FMC), con el objetivo de obtener cierto nivel de producción. En este método el nutriólogo establece los requerimientos nutrimentales basado en la experiencia previa o en las publicaciones de los estándares como ARC (1981) o NRC (1988). Sin embargo, el nivel de L-lisina establecido puede o no coincidir con el nivel óptimo biológico (NOB), que en el caso del cerdo se ha orientado para obtener la máxima ganancia de peso (NRC, 1988). A diferencia de la FMC en donde los requerimientos son fijos, recientemente, se ha propuesto la formulación econométrica de máxima utilidad (FMU), la cual es un método que estima los niveles óptimos económicos (NOE) de los nutrimentos, los cuales son variables y están en función de las utilidades (González *et al.*, 1992). En la nutrición del cerdo, la L-lisina es el primer aminoácido limitante en dietas a base de sorgo o maíz-pasta de soya (Yen *et al.*, 1986a; Gahl *et al.*, 1994; Craig, 1995), por lo que es el principal NOB de

aminoácido que se necesita estimar. Es importante recalcar que el NOB (máxima ganancia) de L-lisina puede no coincidir con el NOE (máxima utilidad), tal como lo informan Crenshaw *et al.* (1995), Constantino y Gil (1996) y Orozco y González (1996). Lo anterior implica que con la FMU se pueden obtener mayores utilidades comparado con la FMC (Orozco y González, 1996).

En la metodología de la FMU se estiman las utilidades, las cuales se determinan por los ingresos menos los costos de alimentación. En donde los ingresos están en función de la ganancia de peso y el costo por kg de cerdo en pie, y los costos de alimentación están en función del costo por kg de alimento y el consumo de alimento, y a su vez, tanto el consumo de alimento y la ganancia de peso, están en función del nivel de nutrimentos de la dieta. Por lo anterior se utilizan modelos de regresión lineal y no lineal, para predecir las respuestas en consumo de alimento (CA) y ganancia de peso (GP), a partir del nivel de L-lisina en la dieta de los cerdos en crecimiento. Algunos modelos que se pueden utilizar son: **[1]** Lineal (Steel y Torrie, 1985): **CA, GP = $\beta_0 + \beta_1 * \text{días} + \beta_2 * \text{L-lis} + \text{Error}$** ; **[2]** Cuadrático (Steel y Torrie, 1985): **CA, GP = $\beta_0 + \beta_1 * \text{días} + \beta_2 * \text{L-lis} + \beta_3 * (\text{L-lis}^2) + \text{Error}$** ; **[3]** Lineal con meseta (Morris y Blackburn, 1982): **CA, GP = $\text{MAX} + \text{RC} * (\text{REQ} - \text{L-lis}) * I + \text{Error}$** ; **[4]** Cuadrático con meseta (Gallan y Fuller, 1973): **CA, GP = $\text{MAX} + \text{RC} * (\text{REQ} - \text{L-lis})^2 * I + \text{Error}$** ; **[5]** Logístico (Guardabasso y Munson, 1987): **CA, GP = $\{ [(A-D) / 1 + (\text{L-lis} / C)^B] \} + D + \text{Error}$** ; **[6]** Exponencial (Noll *et al.*, 1984): **CA, GP = $\beta_0 + \beta_1 * (1 - e^{(-\beta_1 * \text{L-lis})}) + \text{Error}$** ; **[7]**

Exponencial (Wood, 1969): $CA, GP = A \cdot L-lis^B \cdot (e^{(-C \cdot L-lis)}) + Error; [8]$

Exponencial (Sikka, 1950): $CA, GP = A \cdot e^{\{-B \cdot L-lis \cdot (C \cdot L-lis^2)\}} + Error; [9]$

Exponencial (Brody *et al.*, 1923): $CA, GP = A \cdot (e^{(-B \cdot L-lis)}) + Error; [10]$

Exponencial (Cobby y Le Du, 1978): $CA, GP = A \cdot (1 - e^{(-C \cdot L-lis)}) - B \cdot L-lis + Error.$

En donde: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, MAX, RC, REQ, A, B, C$ y D son los parámetros a estimar, e es una constante. Dado que no se tiene suficiente evidencia de valores constantes del NOB y NOE de L-lisina, es que se plantearon como objetivos en la presente investigación, estimar el NOB y NOE de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento, así como realizar un análisis paramétrico para evaluar el efecto de la variación del precio del kg de cerdo en pie y de la lisina sintética sobre el NOE de L-lisina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para estimar el NOB y NOE de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento y evaluar el efecto de la variación del precio del kg de cerdo en pie y de la lisina sintética sobre el NOE de L-lisina se utilizó la siguiente metodología.

1) Colección de datos de literatura y experimentales

Los datos de literatura se obtuvieron de los experimentos de Baker *et al.* (1975) y Martínez y Knabe (1990), y para la colección de datos experimentales se realizaron dos experimentos en la granja de la Universidad Autónoma

Chapingo, para estimar el NOB y NOE de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento. La granja se ubica a 19°22' de latitud norte y 99°35' de longitud oeste a una altitud de 2250 msnm, con un clima C(Wo)(W)b(i')g que corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y una precipitación media anual de 644.8 mm (García,1988). **Experimento 1.** Los tratamientos consistieron en cinco niveles de L-lisina 0.70, 0.75, 0.80, 0.85 y 0.90%. Las variables de respuesta fueron consumo de alimento (CA) y ganancia de peso (GP). Se utilizaron 30 cerdos provenientes de la crucea York-Landrace con un peso promedio inicial de 30 kg (15 machos castrados y 15 hembras), los cuales se distribuyeron al azar en 15 corraletas, con tres repeticiones por tratamiento, cada repetición con dos cerdos por corraleta (una hembra y un macho castrado). Se formuló una dieta basal sorgo-pasta de soya (Cuadro 1), la cual proporcionó 3.17 Mcal de EM/kg, 14.87% PC, 0.70% L-lisina y 0.46% DL-metionina+L-cisteina (Cuadro 1). Al inicio del experimento se registró el peso promedio inicial, se proporcionó alimento y agua *ad libitum*. Los cerdos, el alimento ofrecido, rechazado y el desperdicio de alimento se pesaron semanalmente, siempre a la misma hora. Se realizó un análisis de varianza con el modelo completamente al azar: $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$. El experimento duró 29 días.

Experimento 2. Se realizó con el propósito de ampliar el rango de prueba de los niveles de L-lisina, así como evaluar el efecto del peso vivo inicial (bloques) sobre las variables de respuesta. Los tratamientos

consistieron en cinco niveles de L-lisina 0.65, 0.75, 0.80, 0.85 y 0.90%. Las variables de respuesta fueron CA y GP. Se utilizaron 60 cerdos híbridos comerciales, 30 machos castrados y 30 hembras, los cuales se asignaron en tres bloques por peso inicial con una repetición por bloque, cada repetición con cuatro cerdos por corraleta (dos hembras y dos machos castrados). Se formuló una dieta basal sorgo-pasta de soya (Cuadro 1), la cual proporcionó 3.23 Mcal de EM/kg, 15.3% PC, 0.65% L-lisina y 0.24% DL-metionina+L-cisteina (Cuadro 1).

Cuadro 1. Inclusión de ingredientes en las dietas basales utilizadas en los experimentos 1 y 2.

Ingredientes	Dieta basal 1 (%)	Dieta basal 2 (%)
Sorgo ¹	79.88	78.04
P. Soya ¹	16.90	16.18
Gluten de Maíz ¹	0.00	1.55
Aceite	0.00	1.00
Lisina sintética	0.05	0.00
Material Inerte	0.25	0.32
Ortofosfato	1.23	1.57
CaCO ₃	1.09	0.64
Sal	0.25	0.25
Prem.Vitamínica	0.15	0.15
Prem. Mineral	0.10	0.10
Antibiótico	0.10	0.10
Total	100.00	100.00
Análisis calculado del aporte de nutrimentos de las dietas basales (%)		
EM (Mcal/kg)	3.17	3.23
PC	14.87	15.30
L-lisina	0.70	0.65
Metionina+ Cisteina	0.46	0.49
Triptofano	0.19	0.19
Treonina	0.52	0.53
Ca	0.69	0.60
P total	0.58	0.50

¹ Proteína Cruda determinada en laboratorio: Sorgo (9.06%); Pasta de soya (45.26) y Gluten de maíz (63.51%), para los experimentos 1 y 2, respectivamente. La premezcla vitamínica aportó (por kg de premezcla) : 2500 UI de vit A; 400 mil UI de vit D₃ ; 10,000 UI de vit E; 0.4 g de vit K-3; 0.4 g de tiamina; 2 g de riboflavina; 0.5 g de piridoxina; 9 mg de vit B₁₂ ; 9 g de niacina; 7 g de ác. pantoténico; 40 mg de biotina; 0.4 g de ác. fólico; 0 g colina; 10 g de antioxidante y de vehículo c.b.p. 1,000 g. La premezcla mineral aportó (por kg de premezcla): 100 g de Hierro; 100 g de Zinc; 30 g de Manganeso; 6 g de Cobre; 0.3 g de Iodo; 0.240 g de Selenio y de excipiente c.b.p. 1,000 g.

Al inicio del experimento se registró el peso promedio inicial, se proporcionó alimento y agua *ad libitum*. Los cerdos, el alimento ofrecido, rechazado y el desperdicio de alimento se pesaron semanalmente, siempre a la misma hora. Se realizó un análisis de varianza con el modelo en bloques al azar: $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}$. El experimento duró 56 días. El contenido de nutrimentos de los ingredientes utilizados para la formulación de las dietas basales de Baker *et al.* (1975), Martínez y Knabe (1990) y de la presente investigación (Apéndices 1,2,3,4 y 5) fueron estandarizados con los valores reportados por NRC (1988), y con ellos se construyó una base de datos (Apéndice 6).

2) Estimación de parámetros

Con los dos experimentos de la presente investigación y los de Baker *et al.* (1975) y Martínez y Knabe (1990) se estimaron los parámetros de los diez modelos de regresión lineal y no lineal para predecir las respuestas en CA y GP a partir del nivel de L-lisina en la dieta (Apéndice 7), y se registró el cuadrado medio del error (Apéndice 8), para posteriormente seleccionar el mejor modelo de predicción. En el experimento 1 se utilizaron los modelos (Apéndice 9) mencionados [1],[2],[3],[4],[5],[6], [7],[8],[9], y [10], y para el experimento dos se utilizaron los mismos modelos, pero se adicionó el efecto del bloque (peso inicial). Los programas de SAS utilizados para estimar los parámetros de los modelos se encuentran en el (Apéndice 10).

3) Selección del modelo de regresión

La selección de los modelos de regresión, se realizó a través de la prueba Friedman (Conover, 1980; Ramírez y López, 1993). Esta prueba es un método no paramétrico equivalente al análisis de varianza del diseño bloques al azar, sirve como una guía que puede indicar el modelo que mejor predice el CA o la GP a partir del nivel de L-lisina en la dieta (Apéndice 11).

4) Construcción de los modelos econométricos

Se construyeron dos modelos econométricos, uno para estimar el NOB y el otro para el NOE de L-lisina, en base a dos conceptos principalmente, la función objetivo y las restricciones.

4.1) Modelo econométrico para maximizar la ganancia de peso

En los dos experimentos la función objetivo fue maximizar la ganancia de peso. En el experimento 1, la GP se maximizó con el modelo [2], y en el experimento 2, con el modelo: $GP = \beta_0 + \beta_1 * \text{bloque} + \beta_2 * L\text{-lis} + \beta_3 * (L\text{-lis}^2) + \text{Error}$, modelo [11] cuadrático de Steel y Torrie (1985). La ganancia de peso se maximizó de la siguiente manera.

$$\text{Max GP} = f(\text{modelo [2] u [11]})$$

Ecuación

$$\text{sujetos a: } (Ax \geq b) \dots\dots\dots (1)$$

$$(x \geq 0) \dots\dots\dots (2)$$

En donde: **A** es el aporte de nutrimentos de los ingredientes, **b** es el requerimiento de nutrimentos de los cerdos en crecimiento preestablecidos por los estándares, **x** es el limite de inclusión de los ingredientes conforme su disponibilidad y/o nivel óptimo recomendado. La ecuación (1) representa las restricciones en el modelo econométrico, y la ecuación (2), representa las condiciones de no negatividad, que indican la inclusión de los ingredientes a niveles superiores o iguales a cero.

4.2) Modelo econométrico para maximizar las utilidades

La función objetivo fue maximizar las utilidades (U), y se determinaron con el modelo.

$$\text{Max } U = p^* PC - CA^*(c^*x) \dots\dots\dots [12]$$

Ecuación

$$\text{Sujeto a: } NL-lis= \epsilon^*x \dots\dots\dots (3)$$

$$CA = f (NL-lis, z) \dots\dots\dots (4)$$

$$PC = g(NL\text{-}lis, z) \dots\dots\dots (5)$$

$$Ax \geq b \cdot CA \dots\dots\dots (6)$$

En donde: p es el precio del cerdo en pie (\$/kg), PC es el peso del cerdo (kg), CA es el consumo de alimento por el cerdo (kg), c es el vector del costo de los ingredientes (\$/kg), x es el vector de los ingredientes proporcionados en la dieta (unidades libres), $NL\text{-}lis$ es el nivel de L-lisina en la dieta(%), z es el vector de otros factores que afectan el consumo de alimento y la ganancia de peso (tales como peso inicial, raza y sexo). La ecuación (3), calcula el nivel de L-lisina total en la dieta proporcionada por x , mientras que ϵ es el vector de L-lisina contenido por kilogramo de cada ingrediente en la dieta. Las ecuaciones (4) y (5) son las respuestas en consumo de alimento y ganancia de peso en función del nivel de L-lisina y de otros factores discutidos anteriormente. La ecuación (6) representa el consumo de nutrimentos.

5) Solución de los modelos econométricos

Se estimaron el NOB y NOE de L-lisina en los dos experimentos, y la solución de los modelos econométricos se realizó mediante el paquete de computo "General Algebraic Mathematical Systems" (GAMS), que simula y optimiza con alta precisión (Apéndice 12) los modelos econométricos (Brooke *et al.*, 1988).

6) Análisis paramétrico

El análisis paramétrico consistió en hacer variar el precio del kg de cerdo en pie, y de la lisina sintética, en un 10, 20 y 30% superior e inferior a su precio normal, sobre el NOE de L-lisina, este análisis se realizó en los dos experimentos.

7) Comparación de utilidades entre FMU y FMC

Se realizó una comparación de utilidades con dos tipos de formulación (FMU vs FMC) para una granja porcícola semitecnificada con 360 cerdos en engorda, esta comparación se realizó en los dos experimentos.

RESULTADOS

Experimento 1. Con el análisis de varianza no se encontró efecto ($P>0.05$) del nivel de L-lisina en consumo de alimento (CA) y ganancia de peso (GP) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto del nivel de L-lisina en el consumo de alimento y ganancia de peso en cerdos en crecimiento. Análisis de varianza.

L-lisina (%)	Consumo de Alimento (kg)		Ganancia de Peso (kg)	
	Media	EE	Media	EE
0.70	61.4 a	0.9	20.2 a	1.2
0.75	69.1 a	3.5	24.2 a	1.2
0.80	63.9 a	4.1	20.9 a	1.1
0.85	61.7 a	2.4	21.2 a	0.3
0.90	66.3 a	3.3	23.8 a	2.3

Medias con distinta letra son diferentes ($P<0.05$) ; EE error estándar.

El análisis de regresión detectó efectos lineales ($P < 0.05$) del nivel de L-lisina en la GP (Cuadro 3), pero no en el CA ($P > 0.05$), la estimación del CA y GP resultó con un coeficiente de determinación de 0.97 y 0.96, respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto del nivel de L-lisina en el consumo de alimento y ganancia de peso en cerdos en crecimiento. Análisis de regresión.

Parámetros	Consumo de Alimento (kg)		Ganancia de Peso (kg)	
	Estimador	EE	Estimador	EE
Intercepto	-4.7	5.2	-5.9	2.1
Edad (días)	2.3*	0.0	0.7*	0.0
L-lisina	1.0 ns	6.4	6.2*	2.6
r^2	0.97		0.96	

*($P < 0.05$); ns ($P > 0.05$).

En la prueba de Friedman (Cuadro 4) se puede observar que la variable CA fue estimada con precisión muy semejante a través de los modelos [2],[3],[5],[6] y [7] los cuales presentan diferencias ($P < 0.05$) respecto a los modelos [1],[4],[8], [9] y [10]. Dado que el modelo [2] presentó la menor suma de los rangos jerárquicos se seleccionó como el mejor modelo para predecir la variable de respuesta CA. Asimismo, la variable GP se estimó con precisión muy semejante a través de los modelos [2] y [4] que presentan diferencias ($P < 0.05$) respecto a los modelos [1],[3], [5],[6],[7],[8],[9] y [10]. El modelo [2] presentó la menor suma de rangos jerárquicos por lo que se seleccionó como el mejor modelo para predecir la variable de respuesta GP.

Cuadro 4. Selección de los modelos de regresión lineal y no lineal a través de la prueba de Friedman.

Modelo	Consumo de Alimento	Ganancia de Peso
[1]	27.0b	27.5c
[2]	17.0*a	16.5*a
[3]	22.5 ^a	23.5bc
[4]	27.5bc	19.5ab
[5]	19.5 ^a	26.0bc
[6]	22.5ab	27.0c
[7]	19.0a	26.0b
[8]	30.0c	29.0bc
[9]	45.5d	42.0d
[10]	44.5d	38.0d

Columna sin letra común son diferentes ($P < 0.05$); * suma de rangos jerárquicos.

La solución óptima de GAMS para los modelos econométricos que maximizan la ganancia de peso y las utilidades se muestran en los Cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Solución óptima de GAMS para los experimentos 1 y 2, que maximizan la ganancia de peso (NOB).

	Experimento 1	Experimento 2
Máxima ganancia de peso (kg)	22.6100	42.7300
NOB de L-lisina (%)	0.8900	0.9000
Inclusión óptima de ingredientes en la dieta (%)		
Sorgo	0.7990	0.7990
Pasta de soya	0.1690	0.1690
Lisina sintética	0.0030	0.0030
Ortofosfato	0.0120	0.0120
CaCO ₃	0.0110	0.0110
Sal	0.0025	0.0025
Prem. Vitamínica	0.0015	0.0015
Prem. Mineral	0.0010	0.0010
Antibiótico	0.0010	0.0010

Cuadro 6. Solución óptima de GAMS para los experimentos 1 y 2, que maximizan las utilidades (NOE).

	Experimento 1	Experimento 2
Máxima utilidad (\$)	147.1900	239.7800
Consumo de alimento estimado (kg)	63.0800	121.6000
Ganancia de peso estimado (kg)	22.6400	42.0730
NOE de L-lisina (%)	0.9000	0.9000
Inclusión óptima de ingredientes en la dieta (%)		
Sorgo	0.7990	0.7990
Pasta de soya	0.1690	0.1690
Lisina sintética	0.0030	0.0030
Ortofosfato	0.0120	0.0120
CaCO ₃	0.0110	0.0110
Sal	0.0025	0.0025
Prem. Vitamínica	0.0015	0.0015
Prem. Mineral	0.0010	0.0010
Antibiótico	0.0010	0.0010

Con el análisis paramétrico se encontró que el NOE (0.90%) de L-lisina estimado en este experimento no fue sensitivo a cambios de precios del kg cerdo en pie o de la lisina sintética en el rango probado (Figuras 1 y 2). La FMU arrojó \$2631.6 de utilidades extras comparado con la FMC para una empresa porcícola semitecnificada con 360 cerdos en crecimiento (Cuadro 7).

Cuadro 7. Comparación de utilidades con dos tipos de formulación (FMC vs FMU) para una empresa porcícola semitecnificada con 360 cerdos en crecimiento.

Tipo de formulación	L-lisina (%)	Costo dieta \$/ kg	Utilidades (\$)	Utilidades Extras (\$)
FMC	0.75	1.9232	50346.6	
FMU	0.90	1.9732	52977.6	2631.6

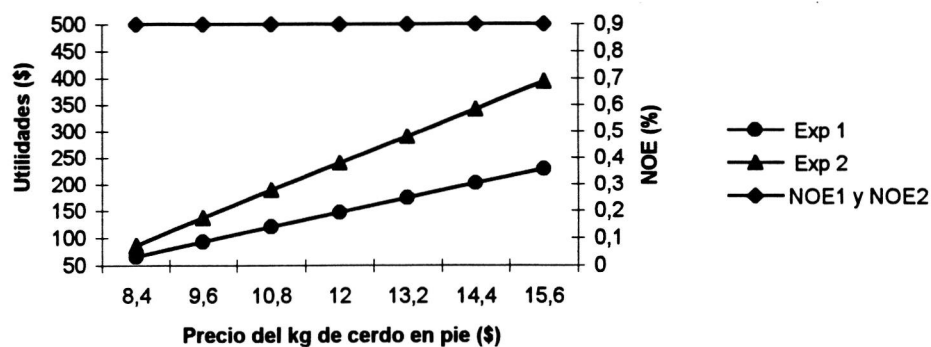


Figura 1. Análisis paramétrico con el precio del kg de cerdo en pie

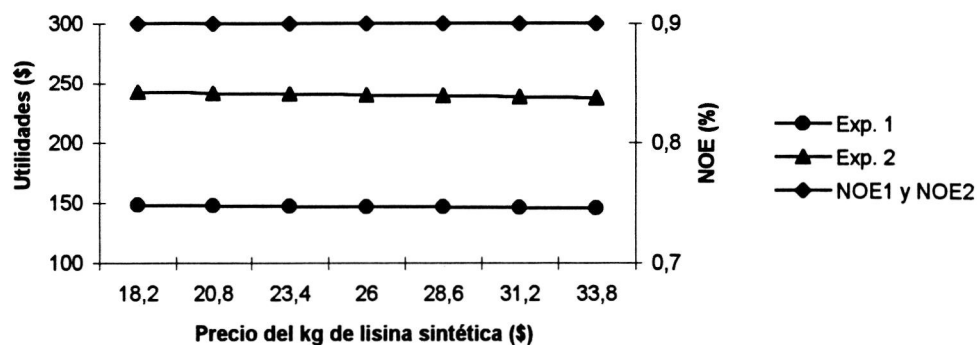


Figura 2. Análisis paramétrico con el precio del kg de lisina sintética

Experimento 2. Con el análisis de varianza no se encontró efecto ($P > 0.05$) del nivel de L-lisina en CA y GP (Cuadro 8), pero si hubo efecto por el bloque (peso inicial).

Cuadro 8. Efecto del nivel de L-lisina en el consumo de alimento y ganancia de peso en cerdos en crecimiento. Análisis de varianza.

L-lisina (%)	Consumo de Alimento (kg)		Ganancia de Peso (kg)	
	Media	EE	Media	EE
0.65	116.38a	10.90	36.88a	3.26
0.75	106.64a	7.12	35.98a	2.24
0.80	101.52a	7.37	35.90a	2.56
0.85	105.10a	8.86	36.01a	2.53
0.90	111.20a	7.63	39.25a	1.57

Medias con distinta letra son diferentes ($P < 0.05$) ; EE error estándar.

El análisis de regresión detectó efectos ($P < 0.05$) del peso inicial (bloques) sobre el CA y GP (Cuadro 9), de igual manera, los niveles de L-lisina en la dieta afectaron ($P < 0.05$) la GP (Cuadro 9), pero no el CA ($P > 0.05$), la estimación del CA y GP resultó con un coeficiente de determinación de 0.61 y 0.83, respectivamente (Cuadro 9). Dado que en la prueba de Friedman (Cuadro 4) el modelo [2] presentó la menor suma de los rangos jerárquicos se seleccionó como el mejor modelo para predecir las variables de respuesta CA y GP.

Cuadro 9. Efecto del nivel de L-lisina en el consumo de alimento y ganancia de peso en cerdos en crecimiento. Análisis de regresión.

Parámetros	Consumo de Alimento (kg)		Ganancia de Peso (kg)	
	Estimador	EE	Estimador	EE
Intercepto	535.26*	215.30	1219.24**	40.67
Bloques	-10.92*	3.01	-3.94**	0.56
L-lisina	-1033.08ns	561.71	-228.37*	106.10
L-lisina ²	650.66ns	362.87	151.81*	68.54
r ²	0.61		0.83	

* ($P < 0.05$); ** ($P < 0.01$); ns ($P > 0.05$).

La solución óptima de GAMS para los modelos econométricos que maximizan la ganancia de peso y las utilidades se muestran en los Cuadros 5 y 6. Con el análisis paramétrico se encontró que el NOE (0.90%) de L-lisina estimado no fue sensitivo a cambios de precios del kg cerdo en pie o de la lisina sintética en el rango probado (Figuras 1 y 2). La FMU arrojó \$7369.2 de utilidades extras comparado con la FMC para una empresa porcícola semitecnificada con 360 cerdos en crecimiento (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comparación de utilidades con dos tipos de formulación (FMC vs FMU) para una empresa porcícola semitecnificada con 360 cerdos en crecimiento.

Tipo de formulación	L-lisina (%)	Costo dieta \$/ kg	Utilidades (\$)	Utilidades Extras (\$)
FMC	0.75	2.184	79462.8	
FMU	0.90	2.233	86832.0	7369.2

DISCUSIÓN

Los NOB de L-lisina estimados (0.89 y 0.90%) son superiores al nivel recomendado (0.75%) por NRC (1988), para la etapa de 20-50 kg de peso. Los NOB de L-lisina son afectados por muchos factores, tales como, ambientales (temperatura) y genéticos (raza y el sexo del cerdo), el contenido nutrimental de la dieta (Mcal EM/kg y %PC), el peso inicial y final del cerdo, el método de alimentación, las diferencias en digestibilidad y disponibilidad de L-lisina de los ingredientes utilizados. Lo anterior es similar a lo informado por Baker *et al.*

(1975), Easter y Baker (1980), Williams *et al.* (1984), Yen *et al.* (1986a), Martínez y Knabe (1990), Chiba *et al.* (1991), Gatel *et al.* (1992), Crenshaw *et al.* (1995), Constantino y Gil (1996) y Orozco y González (1996), en donde los NOB estimados fueron superiores al nivel recomendado por el NRC (1988) para los cerdos en crecimiento. El NOB de L-lisina estimado en el experimento 1 no coincidió con el NOE, resultados similares a los de Crenshaw *et al.* (1995), en donde los niveles óptimo biológico (0.80%) y económico (0.75%) fueron diferentes entre sí. Asimismo, Constantino y Gil (1996) estimaron el NOB de L-lisina en 0.82% y el NOE en 0.80% en dietas para cerdos en crecimiento. Esto implica que al formular una dieta a mínimo costo (FMC) con las recomendaciones del NRC (1988), para cerdos en crecimiento, se manifieste el máximo el potencial del cerdo (máxima ganancia de peso), pero no garantice obtener la máxima utilidad (ejemplo propio). Sin embargo, en el experimento 2, el NOB y NOE de L-lisina coincidieron. Resultados similares a los de Orozco y González (1996), en donde el NOB y NOE de L-lisina coincidieron en 1.32%. Lo anterior indica que el modelo econométrico utilizado para estimar el NOB y NOE de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento influye en que estos niveles coincidan o no (Crenshaw *et al.*, 1995; Constantino y Gil, 1996; Orozco y González, 1996), como consecuencia, el uso de uno u otro afectara la estimación de dichos niveles. Asimismo, de acuerdo a la teoría microeconómica el NOB y NOE de L-lisina coincidieron, porque con el nivel de 0.90% de L-lisina en la dieta, el cerdo cubrió su requerimiento y manifestó su máximo potencial, y se obtuvo las máximas utilidades, porque el incrementó en el costo del kg de

alimento al suplementar hasta el nivel de 0.90% de L-lisina fue menor que las utilidades obtenidas por el incremento en la producción. Además, el NOB y NOE estuvieron en función de la ganancia de peso. El NOE de L-lisina no fue sensitivo a cambios en el precio del kg de cerdo en pie o de la lisina sintética, estos resultados no coinciden con los de Constantino y Gil (1996), en donde al disminuir o al incrementar un 15% al precio normal del kg de cerdo en pie, el NOE de L-lisina fluctuó de 0.68 a 0.92%. Asimismo, Orozco y González (1996), al disminuir un 15% el precio del kg de cerdo en pie o al incrementar un 25% el precio de la lisina sintética del precio normal, el NOE de L-lisina disminuyó de 1.32 a 0.72%. Los resultados de la investigación indican que, el NOE de L-lisina no fue sensitivo a cambios en el precio del kg de cerdo en pie o de la lisina sintética debido a los modelos utilizados en la predicción del CA y la GP, y al rango probado, ya que el incremento en el precio es muy poco por lo que no resultó significativo. De acuerdo a la teoría microeconómica y al análisis de resultados se concluye que los niveles óptimos biológicos estimados son superiores al NRC (1988) para cerdos en crecimiento, el nivel óptimo biológico de L-lisina puede o no coincidir con el nivel óptimo económico, y que el nivel óptimo económico de L-lisina no es sensitivo a incrementos pequeños en el precio del kg de cerdo en pie o de la lisina sintética.

LITERATURA CITADA

- ARC. 1981. The nutrient requirements of pigs. Commonwealth Agricultural Bureau. London. 124 p.
- Baker, D.H., R.S. Katz and R.A. Easter. 1975. Lysine requeriment of growing pigs at two levels of protein. J. Anim. Sci. 40:851.
- Beneke, R.R. y R. Winterboer. 1973. Linear programming and Applications to Agriculture. The Iowa State University Press. Ames. 244 p.
- Brody, S., A. D. Ragsdale y C. W. Turner. 1923. The rate of decline of milk secretion with the advance of the period of lactation. J. Gen. Physiol. 5:441.
- Brooke, A., D. Kendrick and A. Meeraus. 1988. Microeconomics with calculus. Scott, Foresman and Compsny. U.S.A. 609 p.
- Chiba, L. Y., A. J. Lewis and E.R. Poe Jr. 1991. Amino acid and energy interrelationship in pigs weighting 20 to 50 kilograms: II Rate and efficiency of protein and fat deposition. J. Anim. Sci. 69:708.
- Cobby, J. M. y Y. L. P. Le Du. 1978. On fitting curves to lactation data. Anim. Prod. 26:127.
- Conover, W.J. 1980. Practical nonparametric statistics. 2nd edición. John Wiley & Sons, Inc., New York. 343 p.
- Constantino, M.E. y S.Gil. S. 1996. Evaluación de la precisión de programas de optimización para estimar los niveles óptimos económico y biológico de L-lisina para cerdos en crecimiento. Departamento de Zootecnia. Tesis Profesional. UACH. Chapingo, México. 80 p.
- Craig, A.D. 1995. Swine nutrition, feeding & management. National Renderers Association. Inc. 24 p.
- Crenshaw, T.D., M.J. Galh, K.P. Blemings and N.J. Benevenga. 1995. Cost of additional dietary lysine must be taken into account. FEEDSTUFFS. pp.13-23.
- Dent, J.B. and H. Casey. 1967. Linear programming and animal nutrition. Lippincott Company. 111p.

- Easter, R.A and D.H. Beker.1980. Lysine and protein in corn-soybean meal diets for growing-finishing swine. 50:467-471.
- Galh, M.J., T. D. Crenshaw and N.J. Benevenga. 1994. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed six levels of lysine from three supplemental sources. J. Anim. Sci. 73:3177.
- Gallan, A. R. and W. A. Fuller. 1973. Fitting segmented polynomial regression models whose join points have to be estimated. J. of the American Stastical Association. 68:144-147.
- Gatel, F. and F. Gronsjen. 1992. Performance of pigs from two genotypes in relation to the amino acid content of the diet. Livestock Production Science 30:129.
- González-A., M. J., G. M. Pesti and J. D. Dorfman. 1992. Formulating feed for minimum cost *versus* maximum profits. Procceding 1992, Georgia nutrition conference for the feed industry. Atlanta, Georgia. pp. 87-99.
- Guardabasso, V. D. R. and P. J. Munson. 1987. A model free approach to stimation of relative potency in dose response curve analysis. Anim. J. Physiol. 252 (Endocrinol. Metab. 15):E357-E364.
- Martínez, G.M. and D.A. Knabe.1990. Digestible lysine and requirement of starter and grower pigs. J. Animal. Sci. 68: 2748-2755.
- Morris, T.R. and H.A. Blackburn. 1982. The shape of the response curve relating protein intake to egg output for flocks of laying hens. Br. Poult. Sci. 23: 405.
- National Research Council. 1988. Nutrient Requirements of Swine. 9th Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C. 93 p.
- Noll, L.S., P. E. Waibel, R. D. Cook and J.A. Witmer. 1984. Biopotency of methionine sources for young turkeys. Poultry Sci. 63:2458.
- Orozco, M. R. y 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. Organizado por la UACH los días 30 y 31 de mayo de 1996. Irapuato, Gto. pp. 143-163.
- Ramírez G., M.E. y Q. López T. 1993. Métodos estadísticos no paramétricos. Dirección de Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 223 p.

- Sikka, L. C. 1950. A study of lactation as affected by heredity and environment. J. Dairy Research. 17:231.
- Steel, R.G.D. y J. H. Torrie. 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. Ed. McGraw-Hill. México, D.F. 622 p.
- Yen, H.T., D.J.A. Cole and D. Lewis. 1986a. Amino acid requirements of growing pigs. 7. The response of pigs from 25 to 55 kg live weight to dietary ideal protein. Anim. Prod. 43:141.
- Williams, W.D., G.L. Cromwell, T.S. Stahly and R. Overfield. 1984. The lysine requirements of growing boar *versus* barrow. J. Anim. Sci. 58:657.
- Wood, P. D. P. 1969. A simple model of lactation curves for milk yield, food requirement and body weight. Anim. Prod. 28:55.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a la teoría microeconómica y al análisis de resultados se concluye lo siguiente.

- I. Los niveles óptimos biológicos de L-lisina estimados son superiores al nivel óptimo recomendado por el NRC (1988), para cerdos en crecimiento.
- II. El nivel óptimo económico de L-lisina puede o no coincidir con el nivel óptimo biológico.
- III. El nivel óptimo económico de L-lisina no es sensitivo a incrementos pequeños en el precio del kg de cerdo en pie o de la lisina sintética.

VII. RECOMENDACIONES

I. Es necesario perfeccionar los pasos necesarios para la formulación de dietas a máxima utilidad, ya que es una de las mejores alternativas para ayudar a los productores a obtener mayores utilidades.

II. Una vez validada la tecnología para la formulación de dietas a máxima utilidad, se recomienda estimar el NOB y NOE de L-lisina en todo el ciclo de engorda.

III. Se recomienda utilizar el NOE (0.90%) de L-lisina en la formulación de dietas para cerdos en crecimiento.

VIII. LITERATURA CITADA

- ARC. 1981. The nutrient requeriment of pigs. Commonwealth Agricultural Bureau. London. 124 p.
- Baker, D.H., R.S. Katz and R.A. Easter. 1975. Lysine requeriment of growing pigs at two levels of protein. J. Anim. Sci. 40:851.
- Baker, D. H. and T. K. Chung. 1992. Ideal protein for swine and poultry. FERMEX. Technical Review # 4. 16 p.
- Batterham, E.S., L.R. Giles and E.S. Dettman. 1985. Amino acid and energy interactions in growing pigs. 1. Effects of food intake, sex and live weight on the responses of growing pigs to lysine concentration. Anim. Prod. 40:331.
- Batterham, E.S., L.M. Anderson., D.R. Baiget and E. White. 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. Br. J. Nutr. 64:81.
- Behm, B. G. 1991. Los aminoácidos en la nutrición animal. Ed. Degussa. México, D.F. 250 p.
- Beneke, R. R. and R. Winterboer. 1973. Linear programing applications to agriculture. Amess: The Iowa State University Press. 244 p.
- Binger, R.B. and E. Hoffan. 1988. Microeconomics with calculus. Scott, Foresman and Company. U.S.A. 600 p.
- Brody, S., A. D. Ragsdale y C. W. Turner. 1923. The rate of decline of milk secretion with the advance of the period of lactation. J. Gen. Physiol. 5:441.
- Brooke, A., D. Kendrick and A. Meeraus. 1988. Microeconomics with calculus. Scott, Foresman and Company. U.S.A. 609 p.
- Campbell, R.G., M.R. Taverner and D.M. Curic. 1988. The effects of sex and live weight on the growing pig's response to dietary protein. Anim. Prod. 46:123.
- CANACINTRA. 1993-1994. La industria alimenticia en México (1993-1994). CANACINTRA. Sección de fabricantes de alimentos balanceados para animales. 76 p.

- CANACINTRA. 1995-1996. La industria alimenticia en México (1995-1996). CANACINTRA. Sección de fabricantes de alimentos balanceados para animales. 73 p.
- Carpenter, K. J. 1973. Acute and chronic effects of protein and carbohydrate ingestion on brain triptophan levels and serotonin synthesis. *Nutr. Abstr.* 43:431.
- Chiba, L. Y., A. J. Lewis and E.R. Poe Jr. 1991. Amino acid and energy interrelationship in pigs weighting 20 to 50 kilograms: II Rate and efficiency of protein and fat deposition. *J. Anim. Sci.* 69:708.
- Cobby, J. M. y Y. L. P. Le Du. 1978. On fitting curves to lactation data. *Anim. Prod.* 26:127.
- CNG.1996. Confederación Nacional Ganadera. Boletín de información económica pecuaria. Abril de 1996. p. 27.
- CONAPOR. 1996. Comisión Nacional de Porcicultores. Análisis de precios, costos e importaciones del cerdo. Boletín informativo. Marzo de 1996. 40 p.
- Conover, W.J. 1980. Practical nonparametric statistics. 2nd. De. John Wiley & Sons, Inc., New York. 343 p.
- Constantino, M.E. y S.Gil. S. 1996. Evaluación de la precisión de programas de optimización para estimar los niveles óptimos económico y biológico de L-lisina para cerdos en crecimiento. Departamento de Zootecnia. Tesis Profesional. UACH. Chapingo, México. 80 p.
- Craig, A.D. 1995. Swine nutrition, feeding & management. National Renderers Association. Inc. 24 p.
- Crenshaw, T.D., M.J. Galh, K.P. Blemings and N.J. Benevenga. 1995. Cost of additional dietary lysine must be taken into account. *FEEDSTUFFS*. pp.13-23.
- Cuarón, I. J.A. 1991. Uso eficiente de los aminoácidos en la alimentación de los cerdos en crecimiento en México.Tercer ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. Fermentaciones mexicanas (FERMEX). México. D. F. pp. 14-31.

- Cuarón, I. J.A. 1996. Aminoácidos digestibles en la formulación de raciones para cerdos. *In: Memorias del seminario Internacional de nutrición de no rumiantes*. Septiembre. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 40-49.
- Dean, W.F. and H.M. Scott. 1968. Ability of arginine to reverse the growth depression induced by supplementing a crystalline amino acid diet with excess lysine. *Poultry Sci.* 47:341-342.
- Dent, J. B., and H. Casey. 1967. Linear programming and animal nutrition. Lippincott company. 111 p.
- Easter, R.A. and D.H. Beker. 1980. Lysine and protein in corn-soybean meal diets for growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 50:467-471.
- Emmans, G. C. 1992. The ideas behind the models. FORTEL, Modelling Seminar. Atlanta. Georgia. p. 6.
- Fisher, H., R. Shapiro and P. Griminger. 1960. Further aspects of amino acid imbalance, with especial reference to the high arginine requirement of chicks fed casein diets. *J. Nutr.* 72: 16-22.
- Flores, V.J.J. y M. Sagarnaga V. 1996. Situación de la Porcicultura del Centro y Occidente de México. *In: Memorias del Seminario de actualización en nutrición porcina*. Organizado por la UACH los días 30 y 31 de mayo de 1996. Irapuato, Gto. pp. 1-17.
- Fowler, R.V. 1990. El concepto de proteína ideal. *In: Memorias del segundo ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. Fermentaciones mexicanas (FERMEX)*. México, D.F. pp. 15-25.
- Galh, M.J., T. D. Crenshaw and N.J. Benevenga. 1994. Diminishing returns in weight, nitrogen, and lysine gain of pigs fed six levels of lysine from three supplemental sources. *J. Anim. Sci.* 73:3177.
- Gallan, A. R. and W. A. Fuller. 1973. Fitting segmented polynomial regression models whose join points have to be estimated. *J. of the American Statistical Association.* 68:144-147.
- Gatel, F. and F. Gronsjen. 1992. Performance of pigs from two genotypes in relation to the amino acid content of the diet. *Livestock Production Science* 30:129.

- García, M.E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificaciones climáticas de Köppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. Talleres Offset Larios. México, D.F. 277 p.
- García, G.L. 1992. Definir Política Agrícola en Producción de Cárnicos e Insumos. CONAPOR. Revista Desarrollo Porcicola N^o. 7. Agosto de 1992. 40 p.
- González, A. M. J., G. M. Pesti and J. D. Dorfman. 1992. Formulating feed for minimum cost versus maximum profits. Procceding 1992, Georgia nutrition conference for the feed industry. Atlanta, Georgia. pp 87-99.
- González- Alcorta, M.J. 1994. La formulación econometrica: Un beneficio para el productor. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, México. pp. 25-27.
- González- Alcorta, M. y R. Orozco M. 1994. Análisis restrospectivo, situación actual y perspectivas en el empleo de métodos de formulación de raciones. *In*: Memorias del V Congreso Internacional de Producción Animal. Terreón, Coah. Coahuila. México, D.F. pp. 154-177.
- Gould, J. P. y E. P. Lazear. 1994. Teoría microeconómica. Tercera edición en español. Ed. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 870 p.
- Guardabasso, V. D. R. and P. J. Munson. 1987. A model free approach to stimulation of relative potency in dose response curve analysis. Anim. J. Physiol. 252 (Endocrinol. Metab. 15):E357-E364.
- INEGI. 1990. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Talleres gráficos. INEGI. México, D.F. p. 79.
- INEGI. 1992. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Talleres gráficos. INEGI. México, D.F. p. 60.
- Jones, J.D. 1964. Lysine-arginine antagonism in the chick. J. Nutr. 84:313-320.
- Kanis, E. and W.T. Koops.1990. Daily gain, food intake and food efficiency in pigs, during the growing period. Anim. Prod. 50:353.
- Kato, M.L..1995. La producción porcícola en México. Contribución al desarrollo de una visión integral . UAM. Unidad Azcapotzalco. México, D.F. 334 pp.
- Lehninger, L. A. 1985. Bioquímica. Editorial Omega. Barcelona, España. 1100 p.

- López, E. 1995. Problemática de la Porcicultura en México. *In: Memorias del Primer Reencuentro de Zootecnistas*. CONAPOR. México, D.F. pp. 67-97.
- López, E. 1995. Análisis del mercado de productores e insumos porcícolas. XII Congreso Nacional de la Porcicultura. CONAPOR. Año VII. Núm. 5. Morelia. Mich. p. 4.
- Martínez, G.M. and D.A. Knabe.1990. Digestible lysine and requirement of starter and growing pigs. *J. Animal. Sci.* 68: 2748-2755.
- Morris, T.R. and H.A. Blackburn. 1982. The shape of the response curve relating protein intake to egg output for flocks of laying hens. *Br. Poult. Sci.* 23: 405.
- Muñoz, P. J.T.1995. La Porcicultura Afronta Varios Retos.XII Congreso Nacional de la Porcicultura. CONAPOR. Núm. 12. Morelia. Mich. pp. 5-13.
- NRC. 1979. National Research Council. Predictin feed intake of food- producing animals. 8th Revised Edition. National Academy Press. Washington, D.C. 90 p.
- NRC. 1988. National Research Council. Nutrient Requirements of Swine. 9th Revised Edition. National Academy Press, Washington, D.C. 93 p.
- Orozco, M. R. y 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*. Organizado por la UACH los días30 y 31 de mayo de 1996. Irapuato, Gto. pp. 143-163.
- Parson, M. C. 1990. Formulación de dietas prácticas en aves utilizando valores de digestibilidad de aminoácidos. II ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. Fermex, México. D.F. pp. 38-47.
- Parson, M. C. 1991. Disponibilidad de aminoácidos en alimentos para aves. Publicaciones periódicas. Asociación Americana de soya. ASA/México A. N. 101:1-8.
- Ramírez, J.H., R. Gómez A., A. Robles C., A. Caurín V. E. Avila G. y A.S. Shimada.1981. Efecto de la disminución de proteína en dietas para cerdos de abasto. *Téc. Pec. Méx.* 40:40.

- Ramírez G., M.E. y Q. López T. 1993. Métodos estadísticos no paramétricos. Dirección de Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 223 p.
- Ramírez, E.I.E. 1995. Compendio de Apuntes. UACH. Departamento de Zootecnia. 90 p.
- Scott, M. L., M. C. Nesheim and R. J. Young. 1982. Nutrition of the chicken. Third edition. Published by M. L. Scott & Associates. Ithaca, New York. 260 p.
- Sikka, L. C. 1950. A study of lactation as affected by heredity and enviroment. J. Dairy Research. 17:231.
- Stahly, T.S. G.L. Cromwell and D. Terhune. 1991. Responses of high, medium and low lean growth genotypes to dietary amino acid regimes. J. Anim. Sci. 69 (Suppl. 1): 364 abstr.
- Steel, R.G.D. y J. H. Torrie. 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. Ed. McGraw-Hill, México, D.F. 622 p.
- Striyer, L. 1988. Biochemistry. 3rd. de. W.H. Freeman and Company. New York. 1089 p.
- UNA. 1996. Unión Nacional de Avicultores. Compendio de indicadores económicos del sector avícola. Ed. Agrotecnia, México, D.F. 58 p.
- Visek, W. J. 1984. An update of concepts of esencial amino acids. Ann. Rev. Nutr. 4:137.
- Wang, T.C. and M.F. Fuller. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 1. Experiments by amino acid deletion. Br. J. Nutr. 62:77-89.
- Williams, W.D., G.L. Cromwell, T.S. Stahly and R. Overfield. 1984. The lysine requirements of growing boar versus barrow. J. Anim. Sci. 58:657.
- Whittemore, C.T., J. B. Tullis and G.C. Emmans. 1988. Protein growth in pigs. Anim. Prod. 46:437.
- Wood, P. D. P. 1969. A simple model of lactation curves for milk yield, food requirement and body weight. Anim. Prod. 28:55.

Yen, H.T. , D.J.A. Cole and D. Lewis. 1986a. Amino acid requeriments of growing pigs. 7. The respose of pigs from 25 to 55 kg live weigth to dietary ideal protein. Anim. Prod. 43: 141.

Zubay, G. 1988. Biochemistry. 2nd. MacMillon Publishing Company a division of Macmillan. Inc. USA. 1266 p.

IX. ANEXOS

Apéndice 1. Programa de EXCEL para recalcular la dieta basal de los autores Baker et al. (1975), dieta basal con 12% de PC

F. O.	MAIZ	AJON	HCLLIS	DLMET	CaCO3	CaHPO4	MIN	VIT	ANTIB	VARIOS	LISDIET	RHS CAL.	TIPO	LIM. RHS
RESTRICCIONES														
COSTO	1.70	2.90	25	31.94	0.60	2.70	2.20	100	100	31.94		2.2704055	>=	0
EM	3.420	2.975	0	0	0	0	0	0	0	0		3.2602435	>=	0
PC	85.0	450	0	0	0	0	0	0	0	0		117.7705	>=	0
MINLIS	2.5	12.6	780	0	0	0	0	0	0	0		4.3000024	>=	4.3
MAXLIS	2.5	12.6	780	0	0	0	0	0	0	0		4.3000024	<=	9
MET	1.8	13.7	0	990	0	0	0	0	0	0		4.08943	>=	0
MET + CIS	4.0	19.6	0	990	0	0	0	0	0	0		6.57612	>=	0
TREO	3.6	16	0	0	0	0	0	0	0	0		4.68908	>=	0
TRIP	0.9	7.1	0	0	0	0	0	0	0	0		1.47514	>=	0
CA	0.3	20.1	0	0	380	263	0	0	0	0		9.29406	>=	0
P	2.8	13.6	0	0	0	180.7	0	0	0	0		6.39818	>=	0
MINPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1001.15158	>=	1000
MAXPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1001.15158	<=	1010
SOLUCION	0.8683	0.0977	0.00115158	0.0012	0.0085	0.0146	0.005	0.001	0.0025	0.0012	4.3			
LIM. VAR	0.8683	0.0977	0.00115158	0.0012	0.0085	0.0146	0.005	0.001	0.0025	0.0012	4.3			
TIPO LIM.	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	>=			

Apéndice 2. Programa en EXCEL para recalcular la dieta basal de los autores Baker *et al.* (1975), dieta basal con 16% de PC

F. O.	MAIZ	AJON	HCLLIS	DLMET	CaCO3	CaHPO4	MIN	VIT	ANTIB	VARIOS	LISDIET	RHS CAL.	TIPO	LIM. RHS
RESTRICCIONES														
COSTO	1.70	2.90	25	31.94	0.60	2.70	2.20	100	100	31.94		2.29668	>=	0
EM	3.420	2.975	0	0	0	0	0	0	0	0		3.251961	>=	0
PC	85.0	450	0	0	0	0	0	0	0	0		158.668	>=	0
MINLIS	2.5	12.6	780	0	0	0	0	0	0	0		4.5352	>=	4.3
MAXLIS	2.5	12.6	780	0	0	0	0	0	0	0		4.5352	<=	9
MET	1.8	13.7	0	990	0	0	0	0	0	0		4.22334	>=	0
MET + CIS	4.0	19.6	0	990	0	0	0	0	0	0		7.1404	>=	0
TREO	3.6	16	0	0	0	0	0	0	0	0		6.08688	>=	0
TRIP	0.9	7.1	0	0	0	0	0	0	0	0		2.16342	>=	0
CA	0.3	20.1	0	0	380	263	0	0	0	0		8.66194	>=	0
P	2.8	13.6	0	0	0	180.7	0	0	0	0		6.41904	>=	0
MINPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1000	>=	1000
MAXPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1000	<=	1010
SOLUCION	0.7708	0.207	0	0	0.0057	0.008	0.005	0.001	0.0025	0		4.5352		
LIM. VAR	0.7708	0.207	0	0	0.0057	0.008	0.005	0.001	0.0025	0		4.3		
TIPO LIM.	=	=	>=	=	=	=	=	=	=	>=		>=		

Apéndice 3. Programa en EXCEL para recalcular la dieta basal para los autores Martínez y Knabe (1990), dieta basal con 16% PC

	MAIZ	PCAC	PSOYA	PHDEF	HCLL	CACO3	VIT	MIN	SAL	ANTIB	VARIOS	LISDIET	REQ. CAL	TIPO	RHS
F.O															
RESTRICCIONES															
COSTO	1.7	3	3	2.7	25	0.6	100	2.2	1.3	100	31.94		2.78502	>=	0
EM	3.42	3.71	3.22	0	0	0	0	0	0	0	0		3.337329	>=	0
PC	85	492	440	0	0	0	0	0	0	0	0		159.9085	>=	0
MINLIS	2.5	16.9	29	0	780	0	0	0	0	0	0		5.4483	>=	8
MAXLIS	2.5	16.9	29	0	780	0	0	0	0	0	0		5.4483	<=	13
MET	1.8	5	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0		2.35836	>=	0
MET+CIS	4	12.5	11.8	0	0	0	0	0	0	0	0		5.48805	>=	0
TREO	3.6	12.7	17	0	0	0	0	0	0	0	0		5.31987	>=	0
TRIP	0.9	4.6	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0		1.62163	>=	0
CA	0.3	2	3	213	0	380	0	0	0	0	0		33.49231	>=	0
P	2.8	5.6	6.5	187	0	0	0	0	0	0	0		29.99776	>=	0
MINPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1120.5	>=	1000.20128
MAXPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1120.5	<=	1015
SOLUCION	0.7677	0.1745	0.02	0.143	0	0.0063	0	0.0015	0.0025	0.0025	0	5.4483			
LIM. VAR.	0.7677	0.1745	0.02	0.143	0	0.0063	0	0.0015	0.0025	0.0025	0	8			
TIPO LIM.	=	=	=	=	>=	=	=	=	=	=	>=	>=			

Apéndice 4. Programa de EXCEL para recalcular la dieta basal del experimento 1

	Sorgo	P.soya	HCLLIS	Ortofosf.	CaCO3	Sal	MIN	VIT	ANTIB	Arena	LISDIET	RHS CAL.	TIPO	LIM. RHS
F. O.														
RESTRICCIONES														
COSTO	1.80	3.00	26	4	0.80	1.00	5.90	16	14	0.2		2.0637	>=	0
EM	3.288	3.22	0	0	0	0	0	0	0	0		3.1706344	<=	3.17
PC	90.60	451.9	0	0	0	0	0	0	0	0		148.74238	=	148.7
MINLIS	2.1	29	780	0	0	0	0	0	0	0		6.99968	>=	7
MAXLIS	2.1	29	780	0	0	0	0	0	0	0		6.99968	<=	7
MET + CIS	2.9	11.8	0	0	0	0	0	0	0	0		4.31072	>=	4.6
TRIP	1	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0		1.8804	>=	1.9
TREO	2.9	17	0	0	0	0	0	0	0	0		5.18952	>=	5.2
ARG	3.4	32	0	0	0	0	0	0	0	0		8.12392	>=	9
CA	0.4	2.6	0	161.4	383.8	0	0	0	0	0		6.92756	>=	6.9
P	2.2	5.2	0	187.5	0	0	0	0	0	0		4.94241	>=	5.8
MINPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1000.04	<=	1000
MAXPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		1000.04	>=	1000
SOLUCION	0.7988	0.169	0.00054	0.0123	0.0109	0.0025	0.001	0.0015	0.001	0.0025	6.99968			
LIM. VAR	0.7988	0.169	0.00054	0.0123	0.0109	0.0025	0.0010	0.0015	0.001	0.0025				
TIPO LIM.	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=				

Apéndice 5. Programa de EXCEL para recalcular la dieta basal del experimento 2

	Sorgo	P.soya	Aceite	Gluten M.	HCLLIS	Ortofosf.	CaCO3	Sal	MIN	VIT	ANTIB	Arena
F. O.												
RESTRICCIONES												
COSTO	1.80	3.00	6.75	4.00	26	4	0.80	1.00	5.90	16	14	0.2
EM	3.288	3.22	8.75	3.72	0	0	0	0	0	0	0	0
PC	90.20	452.6	0	635.1	0	0	0	0	0	0	0	0
MINLIS	2.1	29	0	10	780	0	0	0	0	0	0	0
MAXLIS	2.1	29	0	10	780	0	0	0	0	0	0	0
MET	1.6	5.2	0	19.1	0	0	0	0	0	0	0	0
MET + CIS	3.2	11.8	0	30.2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRIP	1	6.4	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0
TREO	2.9	17	0	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0
ARG	3.4	32	0	19.3	0	0	0	0	0	0	0	0
CA	0.7	2.7	0	0	0	171.8	365.8	0	0	0	0	0
P	2.2	5.2	0	0	0	155.8	0	0	0	0	0	0
MINPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MAXPESO	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
SOLUCION	0.7804	0.1618	0.01	0.0155	0.0013	0.0157	0.0064	0.0025	0.001	0.003	0.001	0.0019
LIM. VAR	0.7804	0.1618	0.01	0.0155	0.0013	0.0157	0.0064	0.0025	0.0010	0.0025	0.001	0.0019
TIPO LIM.	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=

Apéndice 6. Base de datos

AUTOR(ES)

1: Baker, D. H., R.S. Katz and R.A. Easter (1975).
 2: Martínez, G.M. and D.A. Knabe (1980).
 3: Experimento 1.
 4: Experimento 2.

4B1: Experimento 2, bloque 1.
 4B2: Experimento 2, bloque 2.
 4B3: Experimento 2, bloque 3.
 E: Experimento.
 S: Sexo.
 M: Macho.
 H: Hembra

MC: Macho castrado.
 EM: Energía metabolizable (Mcal/kg).
 PC: Proteína cruda (%).
 LIS: L-lisina total en la dieta.
 CONAL: Consumo de alimento (kg).
 GDP: Ganancia diaria de peso (kg).
 CANACAL: Consumo de alimento calculado (kg).

GTP: Ganancia de peso total (kg).
 PVINI: Peso vivo inicial (kg).
 PVFIN: Peso vivo final (kg).
 DEXP: días del experimento.

AUTOR(ES)	E	S	EM	PC	LIS	CONAL	GDP	CANACAL	GTP	PVINI	PVFIN	DEXP
1	1 y 2	M	3.26	11.78	0.43	1.034	0.246	28.952	6.888	18	24.888	28
1	1 y 2	M	3.26	11.78	0.51	1.340	0.385	37.520	10.808	18	28.808	28
1	1 y 2	M	3.26	11.78	0.59	1.317	0.449	36.876	12.572	18	30.57	28
1	1 y 2	M	3.26	11.78	0.67	1.399	0.522	39.172	14.616	18	32.61	28
1	1 y 2	M	3.26	11.78	0.75	1.499	0.565	41.616	15.82	18	33.82	28
1	1 y 2	M	3.26	11.78	0.83	1.445	0.562	40.460	15.73	18	33.73	28
1	1 y 2	M	3.26	11.78	0.91	1.479	0.556	41.412	15.568	18	33.73	28
1	1 y 2	M	3.25	15.87	0.45	0.989	0.177	27.692	4.956	18	22.95	28
1	1 y 2	M	3.25	15.87	0.53	0.966	0.280	27.048	7.84	18	33.73	28
1	1 y 2	M	3.25	15.87	0.61	1.189	0.415	33.292	11.62	18	29.62	28
1	1 y 2	M	3.25	15.87	0.69	1.253	0.49	35.084	13.72	18	31.72	28
1	1 y 2	M	3.25	15.87	0.77	1.380	0.592	38.640	16.576	18	34.57	28
1	1 y 2	M	3.25	15.87	0.85	1.412	0.624	39.536	17.472	18	35.47	28
1	1 y 2	M	3.25	15.87	0.93	1.389	0.628	38.892	17.584	18	35.58	28
2	2	H y MC	3.34	15.99	0.54	1.396	0.431	48.860	14.455	20.5	34.955	35
2	2	H y MC	3.34	15.99	0.62	1.521	0.510	53.535	17.85	20.5	38.35	35
2	2	H y MC	3.34	15.99	0.70	1.860	0.661	65.100	23.135	20.5	43.635	35
2	2	H y MC	3.34	15.99	0.78	1.969	0.763	68.915	26.705	20.5	47.205	35
2	2	H y MC	3.34	15.99	0.86	2.019	0.809	70.665	28.315	20.5	48.815	35
2	2	H y MC	3.34	15.99	0.94	2.038	0.840	71.330	29.4	20.5	49.9	35
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.70	1.709	0.513	59.819	17.95	33.85	51.8	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.70	1.755	0.586	61.409	20.5	31	51.5	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.70	2.177	0.766	63.144	22.2	31.8	54	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.75	2.373	0.855	68.803	24.8	35.2	60	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.75	2.602	0.899	75.451	26.06	33.65	59.7	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.75	2.179	0.751	63.197	21.77	34.8	56.57	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.80	2.417	0.755	70.097	21.9	33.5	57.2	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.80	1.931	0.643	55.997	18.65	32.45	51.1	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.80	2.272	0.769	65.883	22.3	33.6	55.9	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.85	2.117	0.736	61.402	21.35	31.15	52.5	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.85	1.987	0.710	57.634	20.6	31.9	52.5	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.85	2.282	0.750	66.165	21.75	33.55	55.3	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.90	2.264	0.779	65.657	22.6	33.6	56.2	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.90	2.497	0.979	72.423	28.4	30.6	59	29
3	1	H y MC	3.17	14.87	0.90	2.104	0.710	61.011	20.6	33.3	53.9	29
4B1	2	H y MC	3.23	15.30	0.65	4.648	1.495	134.805	43.35	28.75	72	56
4B1	2	H y MC	3.23	15.30	0.75	4.168	1.395	120.858	40.45	26.55	67	56
4B1	2	H y MC	3.23	15.30	0.80	2.062	0.732	115.497	41	25.75	66.75	56
4B1	2	H y MC	3.23	15.30	0.85	2.056	0.717	115.118	40.15	26.35	67.5	56
4B1	2	H y MC	3.23	15.30	0.90	2.249	0.757	125.919	42.4	25.75	68.015	56
4B2	2	H y MC	3.23	15.30	0.65	1.733	0.616	97.072	34.5	21.05	55.5	56
4B2	2	H y MC	3.23	15.30	0.75	1.762	0.611	98.645	34.2	22.25	56.45	56
4B2	2	H y MC	3.23	15.30	0.80	1.762	0.604	98.659	33.85	21.1	54.95	56
4B2	2	H y MC	3.23	15.30	0.85	2.014	0.652	112.756	38.5	25	61.5	56
4B2	2	H y MC	3.23	15.30	0.90	1.791	0.676	100.300	37.85	33.1	60.95	56
4B3	2	H y MC	3.23	15.30	0.65	2.094	0.586	117.285	32.81	19.57	50.8	56
4B3	2	H y MC	3.23	15.30	0.75	1.793	0.595	100.430	33.3	20.5	53.8	56
4B3	2	H y MC	3.23	15.30	0.80	1.615	0.587	90.423	32.85	20.6	53.45	56
4B3	2	H y MC	3.23	15.30	0.85	1.561	0.561	87.425	31.4	18.85	50.25	56
4B3	2	H y MC	3.23	15.30	0.90	1.918	0.670	107.393	37.5	23.75	61.25	56

Apéndice 7. Estimación de los parámetros de los modelos de regresión lineal y no lineal con los dos experimentos y Baker *et al.* (1975) y Martínez y Knabe (1990)

Estimadores del modelo lineal

Consumo de Alimento						Ganancia de Peso				
Autor (es)	r^2	β_0	β_1	bloque	días	r^2	β_0	β_1	bloque	días
1	0.70	23.5883	21.5875			0.81	1.4384	17.4696		
2	0.88	15.1918	28.5375			0.93	-5.751	27.7250		
3	0.87	18.5938	60.0017			0.94	-4.7420	38.0500		
4	0.97	-4.7203	2.3143		1.0699	0.96	-5.9978	0.7951		6.2760
5	0.49	151.5067	-27.1977	-10.9241		0.75	39.7084	6.3252	-3.9490	

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16%PC; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Estimadores del modelo cuadrático

Consumo de Alimento						Ganancia de Peso						
Autor (es)	r ²	β ₀	β ₁	β ₂	bloque	días	r ²	β ₀	β ₁	β ₂	bloque	días
1	0.87	-9.0189	124.8093	-77.0312			0.99	-23.25401	95.636309	-58.3333		
2	0.92	-3.0849	86.3947	-43.1770			0.99	-26.8285	94.4458	-49.7916		
3	0.96	-68.2433	302.9794	-164.174			0.98	-38.8334	133.4406	-64.4531		
4	0.97	-39.2462	88.0634	-54.3714		2.3143	0.96	-15.2264	29.5293	-14.5333		0.7951
5	0.61	535.266	-1033.088	650.6638	-10.9241		0.83	129.2493	-228.374	151.816	-3.9490	

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16%PC; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Apéndice 7. Continaución....

Estimadores del modelo lineal con meseta

Consumo de Alimento					Ganancia de Peso			
Autor (es)	r^2	MAX	RC	REQ	r^2	MAX	RC	REQ
1	0.99	40.7540	-49.5250	0.6373	0.99	15.4335	-35.5250	0.6604
2	0.99	39.2140	-37.4150	0.7734	0.99	17.5280	-36.4000	0.7709
3	0.99	70.9275	-90.0150	0.7900	0.99	29.4000	-44.1437	0.8626
4	0.99	64.4989	-62.0380	0.9938	0.98	22.9600	-8.65333	0.9000
5	0.98	106.1723	-1.0000	0.5700	0.98	46.7789	-6.32522	2.6826

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16% PC; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Estimadores del modelo cuadrático con meseta

Consumo de Alimento					Ganancia de Peso			
Autor (es)	r^2	MAX	RC	REQ	r^2	MAX	RC	REQ
1	0.99	41.5365	-77.0312	0.8101	0.99	15.7115	-64.1475	0.7979
2	0.99	41.0312	-101.1481	0.7586	0.99	0.6413	-1.7782	0.9484
3	0.99	71.6683	-159.3260	0.9288	0.99	30.2338	-64.4531	1.0351
4	0.99	65.3108	-5235.548	0.7288	0.98	22.0946	145.2300	0.6974
5	0.98	106.0000	-1.0000	0.7271	0.98	37.5498	-0.1448	5.1404

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16% PC; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Apéndice 7. Continaución....

Estimadores del modelo logístico

Consumo de Alimento						Ganancia de Peso				
Autor (es)	r^2	A	B	C	D	r^2	A	B	C	D
1	0.99	41.1168	-5.0910	0.1840	865.295	0.99	1.4102	5.7893	0.4702	16.2290
2	0.99	26.7478	11.0568	0.6075	39.4042	0.99	2.7596	6.2865	0.5749	18.6933
3	0.99	83.7582	-2.1841	0.1384	-653.523	0.98	13.9149	11.1042	0.6812	29.6325
4	0.99	66.9386	-260.8101	0.8952	64.0831	0.98	31.2052	-1.6051	0.8577	13.9937
5	0.98	189.980	0.5400	0.7600	23.3500	0.98	4864.697	-172.6677	0.9393	34.2482

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16%PC ; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Estimadores del modelo exponencial (Noll *et al.*,1984)

Consumo de Alimento					Ganancia de Peso			
Autor (es)	r^2	β_1	β_2	β_3	r^2	β_1	β_2	β_3
1	0.99	29.3265	11.7710	9.9831	0.99	6.8450	9.5442	6.5851
2	0.99	26.3023	20.6883	2.3243	0.99	4.5799	17.2481	3.2599
3	0.99	47.6358	29.2652	4.716322	0.99	14.4989	22.0905	2.9960
4	0.99	61.4573	3.8535	180118.85	0.98	21.6846	-0.000000	-86.5507
5	0.98	114.3873	-10.2687	2535.2255	0.98	34.1693	-0.000012	-49.6151

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16% PC; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Apéndice 7. Continaución....

Estimadores del modelo exponencial (Wood, 1969)

Consumo de Alimento					Ganancia de Peso			
Autor (es)	r^2	A	B	C	r^2	A	B	C
1	0.99	405.7079	1.8880	2.3272	0.99	5141.4056	4.7793	5.8873
2	0.99	129.8878	1.3087	1.1605	0.99	18126.5937	6.1846	6.9801
3	0.99	2693.8066	3.3669	3.6392	0.98	3509.4606	4.7348	4.7711
4	0.99	1030.5434	2.2957	2.8116	0.98	5.8659	-0.8210	-1.4241
5	0.98	0.2698	-4.8015	-6.0907	0.98	0.0447	-5.1205	-6.8582

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16%PC ; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Estimadores del modelo exponencial (Sikka, 1950)

Consumo de Alimento					Ganancia de Peso			
Autor (es)	r^2	A	B	C	r^2	A	B	C
1	0.99	30.7255	1.6047	-2.1216	0.99	7.5455	4.0393	-5.3552
2	0.99	26.0237	1.7292	-1.7884	0.99	5.2202	5.7468	-6.7370
3	0.99	47.6651	2.2819	-3.2015	0.99	14.5796	3.5238	-4.4290
4	0.99	63.5317	0.3492	-1.3848	0.98	21.3689	0.1402	1.2642
5	0.98	114.7820	-1.7336	6.0617	0.98	35.0431	-0.8977	4.3837

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16% PC; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Apéndice 7. Continaución....

Estimadores del modelo exponencial (Brody *et al.*, 1923)

Consumo de Alimento				Ganancia de Peso		
Autor (es)	r^2	A	B	r^2	A	B
1	0.99	33.2598	0.5456	0.99	9.6511	1.2159
2	0.99	28.0316	0.8086	0.99	7.6601	1.9663
3	0.99	52.0477	0.9169	0.98	16.0888	1.5517
4	0.99	64.0628	0.0740	0.98	21.2343	0.3932
5	0.98	110.1508	-0.2648	0.98	33.9013	0.1874

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16%PC ; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Estimadores del modelo exponencial (Cobby y Le du, 1978)

Consumo de Alimento					Ganancia de Peso			
Autor (es)	r^2	A	B	C	r^2	A	B	C
1	0.99	23.5883	-21.5875	117.9000	0.99	1.4384	-17.4696	97.5000
2	0.99	-1478.8495	-46.4399	-0.0023	0.92	66.6325	29.5928	1.0404
3	0.99	18.5938	-60.0017	58646.85	0.98	242.1063	70.0982	0.5096
4	0.99	60.6958	-4.8053	84.1200	0.98	15.1720	-8.6533	97.4200
5	0.98	127.6585	27.1977	19465.6429	0.98	29.8100	-6.3250	6329709.3

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990), experimento con 16% PC; 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Apéndice 8. Cuadrados medios del error (CME) de los diez modelos de regresión lineal y no lineal

Apéndice 8.1. CME para consumo de alimento.

Modelos	1	2	3	4	5
[1]	6.93	3.85	14.32	11.65	4.28
[2]	3.56	3.21	5.36	11.76	3.23
[3]	3.72	3.21	2.49	29.78	21.26
[4]	3.56	3.93	4.03	27.09	24.93
[5]	1.75	1.81	7.83	30.95	21.41
[6]	2.34	3.58	7.23	29.17	21.45
[7]	3.35	2.68	5.18	31.50	21.60
[8]	3.95	2.76	4.49	34.25	23.35
[9]	7.57	4.65	18.09	31.78	22.78
[10]	6.93	21.29	14.32	31.78	21.16

1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12% PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16% PC; 3: Martínez y Knabe (1990); 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

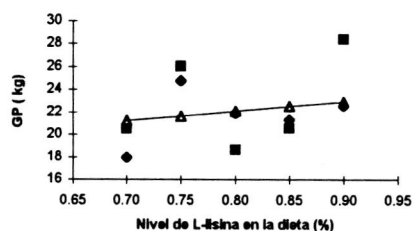
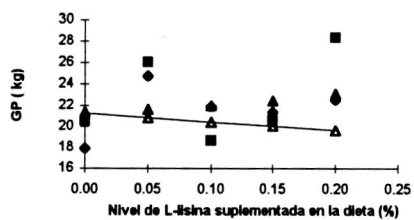
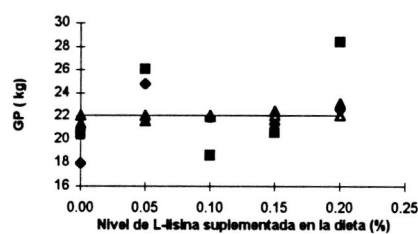
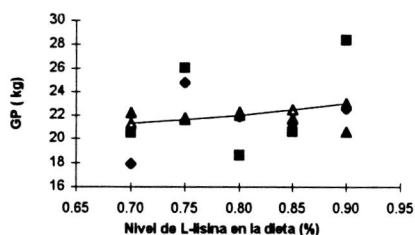
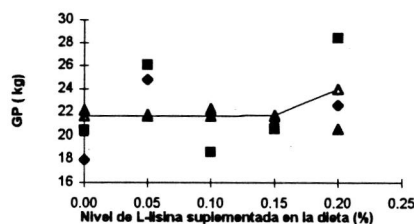
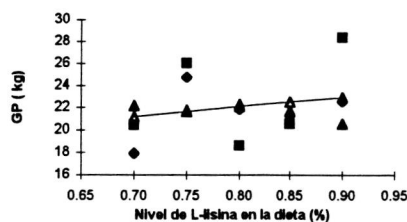
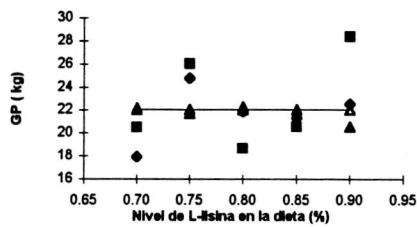
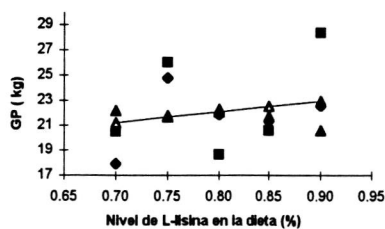
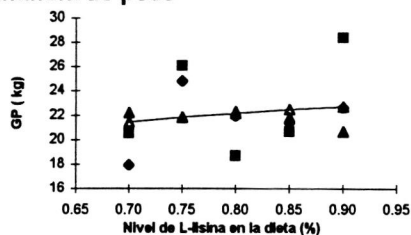
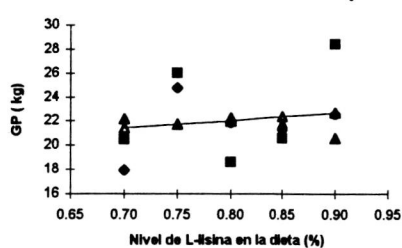
Apéndice 8.2. CME para ganancia de peso.

Modelo	1	2	3	4	5
[1]	2.42	1.91	2.23	2.49	107.34
[2]	0.10	0.26	0.86	2.52	90.62
[3]	0.33	0.09	0.84	7.25	199.43
[4]	0.10	0.00	0.51	7.13	214.81
[5]	0.24	0.22	0.07	8.57	195.30
[6]	0.20	0.46	1.10	6.78	195.30
[7]	0.14	0.10	0.64	7.85	189.60
[8]	0.30	0.15	0.47	7.83	201.60
[9]	3.34	4.32	4.05	7.25	208.21
[10]	2.42	19.23	16.90	7.25	208.46

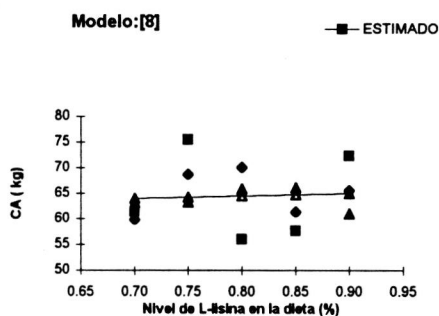
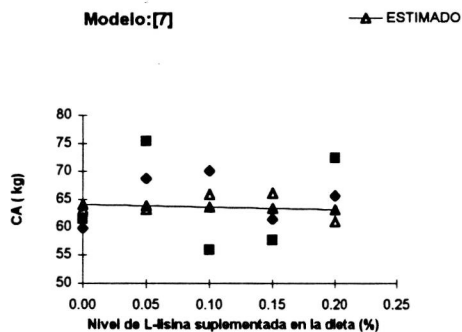
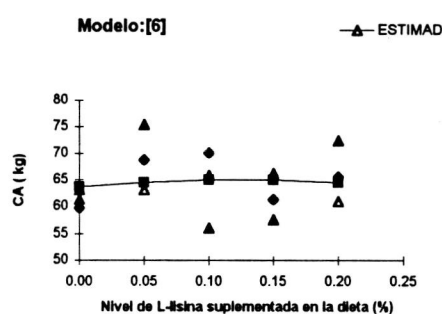
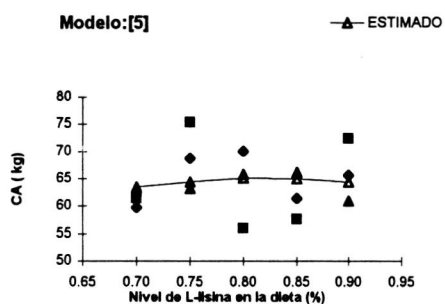
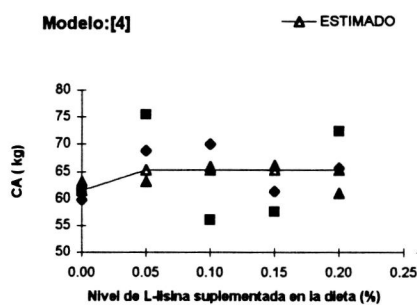
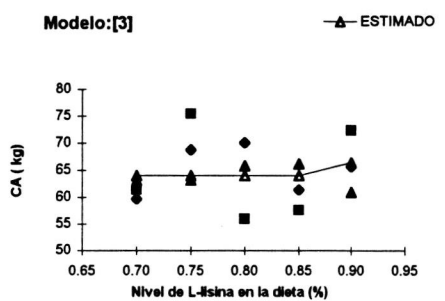
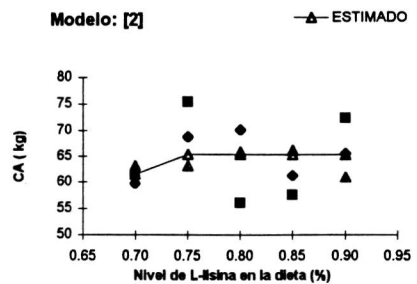
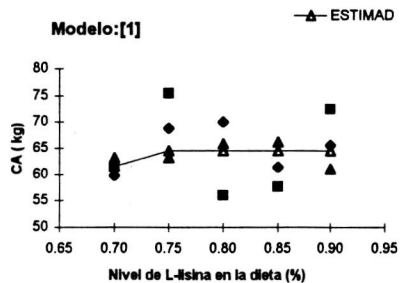
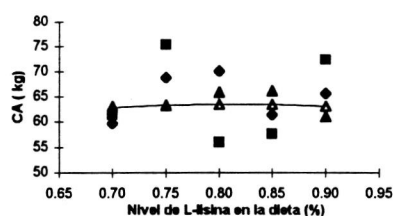
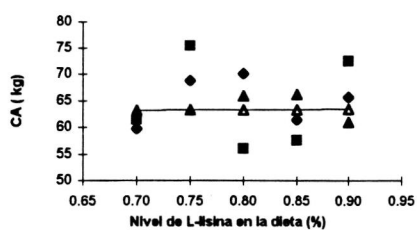
1: Baker *et al.* (1975), experimento con 12% PC; 2: Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1990); 4: Experimento 1; 5: Experimento 2.

Apéndice 9. Galería de modelos

9.1. Galería de modelos para ganancia de peso



9.2. Galería de modelos para consumo de alimento



Apéndice 10. Programas de SAS utilizados para estimar los parámetros de los modelos

```
OPTIONS NODATE ;
/*MODELO LINEAL*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LIS CONAC GPACUM ;
CARDS;
.
.
PROC GLM;
MODEL CONAC GPACUM = BLO LIS ;
RUN;

OPTIONS NODATE ;
/*MODELO CUADRATICO*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LIS CONAC GPACUM ;
CARDS;
.
.
PROC GLM;
MODEL CONAC GPACUM = BLOS LIS LIS*LIS ;
RUN;

OPTIONS NODATE;
/*MODELO LINEAL CON MESETA*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LIS CONAC GPACUM ;
CARDS;
.
.
PROC MEANS;
PROC NLIN ;
PARMS MAX= RC= REQ=;
I=0; IF LIS<REQ THEN I=1;
MODEL CONAC =BLO+MAX+RC*(REQ-LIS)*I;
RUN;

OPTIONS NODATE;
/*MODELO CAUDRATICO CON MESETA*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LIS CONAC GPACUM;
CARDS;
.
.
PROC MEANS;
PROC NLIN ;
PARMS MAX= RC= REQ=;
I=0; IF LIS<REQ THEN I=1;
MODEL CONAC=BLO+MAX+RC*((REQ-LIS)**2)*I;
RUN;
```

```

OPTIONS NODATE;
/* MODELO LOGISTICO*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LIS CONAC GPACUM;
CARDS;
.
.
PROC NLIN;
PARMS A= B= C=;
MODEL CONAC =BLO+((A-D)/(1+((LIS/C)**B)))+D;
RUN;

OPTIONS NODATE;
/*MODELO EXPONENCIAL (NOLL et al.*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LISSUP CONAC GPACUM;
CARDS;
.
.
PROC MEANS;
PROC NLIN;
PARMS B1= B2= B3=;
MODEL CONAC=BLO+B1+(B2*(1-EXP(-B3*LISSUP)));
RUN;

OPTIONS NODATE;
/*MODELO EXPONENCIAL WOOD*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LIS CONAC GPACUM;
CARDS;
.
.
PROC NLIN;
PARMS A= B= C=;
MODEL CONAC=BLO+A*(LIS**B)*EXP(-C*LIS);
RUN;

OPTIONS NODATE;
/*MODELO EXPONENCIAL SIKKA*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LISSUP CONAC GPACUM;
CARDS;
.
.
PROC NLIN;
PARMS A= B= C=;
MODEL CONAC=BLO+A*EXP((B*LISSUP)+(C*(LISSUP*LISSUP)));
RUN;

```

```

OPTIONS NODATE;
/*MODELO EXPONENCIAL BRODY*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LISSUP CONAC GPACUM;
CARDS;
.
.
PROC NLIN;
PARMS A= B=;
MODEL CONAC=BLO+A*(EXP(B*LISSUP));
RUN;

```

```

OPTIONS NODATE;
/*MODELO EXPONENCIAL COBBY*/
DATA LISINA;
INPUT BLO LIS CONAC GPACUM;
CARDS;
.
.
PROC NLIN;
PARMS A= B= C=;
MODEL CONACAL=BLO+A*(1-EXP(-C*LIS))-B*LIS;
RUN;

```

Apéndice 11. Prueba de Friedman

Esta prueba es un método no paramétrico similar al análisis de varianza del diseño de bloques al azar, en donde los modelos constituyen los bloques. El criterio principal para realizar las comparaciones es a través del tamaño relativo de los cuadrados medios del error (CME), obtenidos al estimar los parámetros de los modelos. La prueba propuesta es la siguiente.

1. Asignar rangos a los tratamientos dentro de cada bloque del mas bajo al mas alto. Esto es, se asigna el rango 1 a la observación mas pequeña de las k observaciones ordenadas, el rango 2 a la siguiente observación mas pequeña, y así sucesivamente hasta cubrir las k observaciones del i -ésimo bloque. En el caso de observaciones empatadas para un rango dado en el i -ésimo bloque, se suman los rangos sucesivos y se divide entre el número de observaciones, por ejemplo, si se tienen 2 observaciones empatadas con 7, para los rangos 4 y 5, por lo que se suma $4+5$ y se divide entre las 2 observaciones, y ahora el rango equivale a 4.5.

2. Obtener la suma de los rangos para cada tratamiento. Si $R(X_{ij})$ es el rango asignado a X_{ij} y R_j , la suma de los rangos asignados al j -ésimo tratamiento, esto es.

$$R_j = \sum_{i=1}^b R(X_{ij})$$

3. Realizar la siguiente prueba.

$$T = \frac{12}{bt(t+1)} \sum_{j=1}^t R_j^2 - 3b(t+1)$$

en donde:

t es el número de tratamientos (modelos), b es el número de bloques (autores) y R_j la suma de los rangos para i -ésimo tratamiento. 12 y 3 son constantes.

4. Nivel de significancia. Para encontrar el nivel de significancia se utilizan las tablas de la distribución χ^2 .

5. Regla de decisión.

La regla de decisión es, rechazar H_0 a un nivel de significancia α si:

$$T \geq \chi^2_{\alpha, (k-1)}$$

6. Comparaciones múltiples basadas en el procedimiento de Friedman.

En el caso de que $T \geq \chi^2_{\alpha, (k-1)}$, los pasos básicos para llevar a cabo comparaciones múltiples entre los tratamientos (modelos), son los siguientes.

a) Ordenar los modelos, de menor a mayor suma de rangos jerárquicos.

b) Calcular las diferencias absolutas entre los rangos jerárquicos (R):

$$|R_{\text{menor}} - R_{\text{mayor}}|$$

c) Calcular el valor de q con la siguiente formula: $q = \{(bk(k+1)/12)\}^{1/2}$

d) Si $|R_{\text{menor}} - R_{\text{mayor}}| \geq q$, existe diferencia significativa entre tratamientos.

Ejemplo. Resultados de la prueba de Friedman para consumo de alimento.

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
1	6.93	3.56	3.72	3.56	1.75	2.34	3.35	3.95	7.57	6.93
r	8.5	4.5	6.0	4.5	1.0	2.0	3.0	7.0	10.0	8.5
2	3.83	3.21	3.21	3.93	1.81	3.58	2.68	2.76	4.65	21.29
r	7.0	4.5	4.5	8.0	1.0	6.0	2.0	3.0	9.0	10.0
3	14.3	5.36	2.49	4.03	7.83	7.23	5.18	4.49	18.09	14.3
r	8.5	5.0	1.0	2.0	7.0	6.0	4.0	3.0	10.0	8.5
4	11.6	11.7	29.7	27.0	30.9	29.1	31.5	34.2	31.7	31.7
r	1.0	2.0	5.0	3.0	6.0	4.0	7.0	10.0	8.5	8.5
5	107.3	90.62	199.4	214.8	195.3	195.3	189.6	201.6	208.2	208.4
r	2.0	1.0	6.0	10.0	4.5	4.5	3.0	7.0	8.0	9.0
Σ	27.0	17.0	22.5	27.5	19.5	22.5	19.0	30.0	45.5	44.5

donde: r: rango jerárquico; [1]-[10]; son los modelos ; 1: Autor Baker *et al.* (1975), experimento con 12%PC; 2: Autor Baker *et al.* (1975), experimento con 16%PC; 3: Martínez y Knabe (1980), experimento con 16% PC; 4: experimento 1; 5: experimento 1.

K=10; b=5

$$T = \frac{12}{(5)(10)(11)} * [27^2 + 17^2 + 22.5^2 + 27.5^2 + 19.5^2 + 22.5^2 + 19^2 + 30^2 + 45.5^2 + 44.5^2] - 3(5)(11)$$

$$T = 0.022(8478.5) - 165 = 21.527 \text{ y } X^2_c = X^2_{9,0.05} = 16.01$$

por lo tanto, como $T > X^2_c$, existen diferencias significativas entre los modelos

Ejemplo. Resultados de la prueba de Friedman para ganancia de peso.

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
1	2.42	0.10	0.33	0.10	0.24	0.20	0.14	0.30	3.34	2.42
r	8.5	1.5	7.0	1.5	5.0	4.0	3.0	6.0	10.0	8.5
2	1.91	0.26	0.09	0.00	0.22	0.46	0.10	0.15	4.32	19.23
r	8.0	6.0	2.0	1.0	5.0	7.0	3.0	4.0	9.0	10.0
3	2.23	0.86	0.84	0.51	0.07	1.10	0.64	0.47	4.05	6.90
r	8.0	6.0	5.0	3.0	1.0	7.0	4.0	2.0	9.0	10.0
4	2.49	2.52	7.25	7.13	8.57	6.78	7.85	7.83	7.25	7.25
r	1.0	2.0	6.0	4.0	10.0	3.0	9.0	8.0	6.0	6.0
5	4.28	3.23	21.16	24.93	21.41	21.45	21.60	23.35	22.78	21.16
r	2.0	1.0	3.5	10.0	5.0	6.0	7.0	9.0	8.0	3.5
Σ	27.5	16.5	23.5	19.5	26.0	27.0	26.0	29.0	42.0	38.0

$$K=10; b=5$$

$$T = \frac{12}{(5)(10)(11)} * [27.5^2 + 16.5^2 + 23.5^2 + 19.5^2 + 26^2 + 27^2 + 26^2 + 29^2 + 42^2 + 38^2] - 3(5)(11)$$

$$T = 0.022(8091) - 165 = 13.002$$

$$X^2_c = X^2_{9,0.05} = 16.01$$

por lo tanto, como $T < X^2_c$, no hay diferencias significativas entre los modelos.

Apéndice 12. Programas de GAMS

12.1. Programa de GAMS para el experimento 1, que maximiza la ganancia el peso (NOB)

```

$ OFFSYMXREF OFFSYMLIST OFFUELLIST OFFUELXREF
SETS
T COSTO / COSTO /
I NUTRIMENTOS / EM, PC, LIS, MET, MCIS, CA, FOSF, SAL, VIT, MIN, ANTI, PESO /
J INGREDIENTES / SOR, SOY, LISSIN, CACO3, ORTO, SAL, VIT, MIN, ANTI, AREN /
K Coeficientes de regresion para consumo / A, B, C /
L Coeficientes de regresion para peso vivo / A1, B1, C1 /
M Requerimientos / MINEM, MINPC, MINLIS, MAXLIS, MINMET, MINMC,
MINCA, MINP, MINPESO, MAXPESO, IGSOR, IGSOY, IGLISSIN, IGCACO3,
IGORTO, IGSAL, IGVIT, IGMIN, IGANTI, IGAREN / ;
PARAMETERS
CLIS(K) Coeficientes de regresion para consumo de alimento
/ A -4.72037619
B 2.314340952
C 1.0692 /
PLIS(L) Coeficientes de regresion para ganancia de peso vivo
/ A1 -5.997828571
B1 0.795161905
C1 6.276 /
B(M) Requerimientos
/ MINEM 0
MINPC 0
MINLIS .7
MAXLIS .9
MINMET 0
MINMC 0
MINCA 0
MINP 0
MINPESO 1
MAXPESO 1
IGSOR .7988
IGSOY .169
LISSIN .0005
IGCACO3 .0109
IGORTO .0123
IGSAL .0025
IGVIT .0015
IGMIN .001
IGANTI .001
IGAREN 0 / ;
TABLE P(T,J) COSTO DE INGREDIENTES
SOR SOY LISSIN CACO3 ORTO SAL VIT MIN ANTI AREN
COSTO 1.6 3 26 .8 3 1 26 5.9 14 .2

TABLE A(I,J) CONTENIDO DE NUTRIMENTOS DE LOS INGREDIENTES
SOR SOY LISSIN CACO3 ORTO SAL VIT MIN ANTI AREN
EM 3.28 3.22 0 0 0 0 0 0 0 0

```

PC	9.06	45.19	0	0	0	0	0	0	0	0
LIS	.21	2.9	78	0	0	0	0	0	0	0
MET	.16	.52	0	0	0	0	0	0	0	0
MCIS	.29	1.18	0	0	0	0	0	0	0	0
CA	.04	.26	0	38.38	16.14	0	0	0	0	0
FOSF	.3	.64	0	0	18.75	0	0	0	0	0
PESO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 ;

VARIABLES

NOB	NIVEL OPTIMO BIOLOGICO
GP	Ganancia de peso
COST	Costo total de la dieta
X(J)	Cantidades de ingredientes
DIAS	DIAS DE EXPERIMENTO
LISDIET	Lisina total
LISTOTAL	LISINA TOTAL DE LA DIETA
CONS	Consumo de alimento inicial
CKG	Costo por kilogramo de dieta
CALIM	Consumo de alimento
PT	Peso total de la dieta ;

SCALAR

PCER precio del cerdo por kg / 12 / ;

POSITIVE VARIABLES GP, COS, X, DIAS, LISDIET, LISTOTAL, CAL, CKG, CALIM, PT;

LISDIET.LO=B('MINLIS');

LISDIET.UP=B('MAXLIS');

PT.LO=1 ;

EQUATIONS

GPES	OPTIMO BIOLOGICO
GANPES	Ganancia de peso
DIASEXP	DIAS DE EXPERIMENTO
COSTO	Costo de la dieta
COSTKG	Costo por kilogramo
EM	Energia metabolizable
PC	Proteina cruda
MINLIS	Minimo de lisina
MAXLIS	Maximo de lisina
LISTOT	Lisina total
MET	Metionina
MCIS	Metionina mas cisteina
CA	Calcio
FOSF	Fosforo
PESOMIN	Peso minimo de la dieta
PESOMAX	Peso maximo de la dieta
PESOTOT	Peso total de la dieta
SOR	Sorgo
SOY	Soya
LISSIN	Lisina sintetica
ORTO	Ortofosfato
CACO3	Carbonato de Calcio
SAL	Sal
VIT	Premezcla Vitaminica
MIN	Premezcla Mineral
ANTI	Antibiotico

AREN Arena
CONTAL Consumo total de alimento ;

GPES .. NOB =E= (GP) ;
GANPES .. PLIS('A1')* 1 + PLIS('B1')*DIAS + PLIS ('C1')*LISDIET - GP =E= 0 ;
DIASEXP .. DIAS =E=29;
COSTO .. SUM(J,P('COSTO',J)*X(J)) - COST =E= 0;
COSTKG .. ((COST/PT)) - CKG =E= 0;
EM .. SUM(J,A('EM',J)*X(J)) - B('MINEM')*CALIM =G= 0;
PC .. SUM(J,A('PC',J)*X(J)) - B('MINPC')*CALIM =G= 0;
MINLIS .. SUM(J,A('LIS',J)*X(J)) - B('MINLIS')*CALIM =G= 0;
MAXLIS .. SUM(J,A('LIS',J)*X(J)) - B('MAXLIS')*CALIM =L= 0;
LISTOT .. SUM(J,A('LIS',J)*X(J)) - LISDIET*CALIM =E= 0;
MET .. SUM(J,A('MET',J)*X(J)) - B('MINMET')*CALIM =G= 0;
MCIS .. SUM(J,A('MCIS',J)*X(J)) - B('MINMC')*CALIM =G= 0;
CA .. SUM(J,A('CA',J)*X(J)) - B('MINCA')*CALIM =G= 0;
FOSF .. SUM(J,A('FOSF',J)*X(J)) - B('MINP')*CALIM =G= 0;
PESOMIN .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - B('MINPESO')*CALIM =G= 0;
PESOMAX .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - B('MAXPESO')*CALIM =L= 0;
PESOTOT .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - PT =E= 0;
SOR .. X('SOR') - B('IGSOR')*CALIM =E= 0;
SOY .. X('SOY') - B('IGSOY')*CALIM =E= 0;
LISSIN .. X('LISSIN') - B('IGHLISSIN')*CALIM =G= 0;
ORTO .. X('ORTO') - B('IGORTO')*CALIM =E= 0;
CACO3 .. X('CACO3') - B('IGCACO3')*CALIM =E= 0;
SAL .. X('SAL') - B('IGSAL')*CALIM =E= 0;
VIT .. X('VIT') - B('IGVIT')*CALIM =E= 0;
MIN .. X('MIN') - B('IGMIN')*CALIM =E= 0;
ANTI .. X('ANTI') - B('IGANTI')*CALIM =E= 0;
AREN .. X('AREN') - B('IGAREN')*CALIM =G= 0;
CONTAL .. CALIM =E= 1;

MODEL MAXGP /ALL/ ;

SOLVE MAXGP USING NLP MAXIMIZING NOB ;

DISPLAY X.L, X.M ;

12.2. Programa de GAMS para el experimento 1, que maximiza las utilidades (NOE)

\$ OFFSYMXREF OFFSYMLIST OFFUELLIST OFFUELXREF

SETS

T COSTO / COSTO /
 I NUTRIMENTOS / EM, PC, LIS, MET, MCIS, CA, FOSF, SAL, VIT, MIN, ANTI, PESO /
 J INGREDIENTES / SOR, SOY, LISSIN, CACO3, ORTO, SAL, VIT, MIN, ANTI, AREN /
 K Coeficientes de regresion para consumo / A, B, C /
 L Coeficientes de regresion para peso vivo / A1, B1, C1 /
 M Requerimientos / MINEM, MINPC, MINLIS, MAXLIS, MINMET, MINMC, MINCA, MINP, MINPESO, MAXPESO, IGSOR, IGSOY, LISSIN, IGCACO3, IGORTO, IGSAL, IGVIT, IGMIN, IGANTI, IGAREN / ;

PARAMETERS

CLIS(K) Coeficientes de regresion para consumo de alimento

/ A -4.72037619
 B 2.314340952
 C 1.0692 /

PLIS(L) Coeficientes de regresion para ganancia de peso vivo

/ A1 -5.997828571
 B1 0.795161905
 C1 6.276 /

B(M) Requerimientos

/ MINEM 0
 MINPC 0
 MINLIS .7
 MAXLIS .9
 MINMET 0
 MINMC 0
 MINCA 0
 MINP 0
 MINPESO 1.000
 MAXPESO 1.0001
 IGSOR .7988
 IGSOY .169
 IGLISSIN .0005
 IGCACO3 .0109
 IGORTO .0123
 IGSAL .0025
 IGVIT .0015
 IGMIN .001
 IGANTI .001
 IGAREN 0 / ;

TABLE P(T,J) COSTO DE INGREDIENTES

	SOR	SOY	LISSIN	CACO3	ORTO	SAL	VIT	MIN	ANTI	AREN
COSTO	1.6	3	26	.8	3	1	26	5.9	14	.2

TABLE A(I,J) CONTENIDO DE NUTRIMENTOS DE LOS INGREDIENTES

	SOR	SOY	LISSIN	CACO3	ORTO	SAL	VIT	MIN	ANTI	AREN
--	-----	-----	--------	-------	------	-----	-----	-----	------	------

EM	3.28	3.22	0	0	0	0	0	0	0	0
PC	9.06	45.19	0	0	0	0	0	0	0	0
LIS	.21	2.9	78	0	0	0	0	0	0	0
MET	.16	.52	0	0	0	0	0	0	0	0
MCIS	.29	1.18	0	0	0	0	0	0	0	0
CA	.04	.26	0	38.38	16.14	0	0	0	0	0
FOSF	.3	.64	0	0	18.75	0	0	0	0	0
PESO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 ;

VARIABLES

U Utilidad del productor
 GP Ganancia de peso
 COST Costo total de la dieta
 X(J) Cantidades de ingredientes
 DIAS DIAS DE EXPERIMENTO
 LISDIET Lisina en la dieta
 CONS Consumo de alimento inicial
 CKG Costo por kilogramo de dieta
 CALIM Consumo de alimento
 PT Peso total de la dieta ;

SCALAR

PCER precio del cerdo por kg / 12 ;
 POSITIVE VARIABLES GP, COS, X, DIAS, LISDIET, CAL, CKG, CALIM, PT;
 LISDIET.LO=B('MINLIS');
 LISDIET.UP=B('MAXLIS');
 PT.LO=1 ;

EQUATIONS

UTILIDAD Utilidad del productor
 CONALI Consumo de alimento
 GANPES Ganancia de peso
 DIASEXP DIAS DE EXPERIMENTO
 COSTO Costo de la dieta
 COSTKG Costo por kilogramo
 EM Energia metabolizable
 PC Proteina cruda
 MINLIS Minimo de lisina
 MAXLIS Maximo de lisina
 LISTOT Lisina total
 MET Metionina
 MCIS Metionina mas cisteina
 CA Calcio
 FOSF Fosforo
 PESOMIN Peso minimo de la dieta
 PESOMAX Peso maximo de la dieta
 PESOTOT Peso total de la dieta
 SOR Sorgo
 SOY Soya
 LISSIN Lisina sintetica
 ORTO Ortofosfato
 CACO3 Carbonato de Calcio
 SAL Sal
 VIT Premezcla Vitaminica
 MIN Premezcla Mineral
 ANTI Antibiotico

AREN Arena
 CONTAL Consumo total de alimento ;

UTILIDAD .. $U = E = (PCER * GP) - (CKG * CONS)$;
 CONALI .. $CLIS('A') * 1 + CLIS('B') * DIAS + CLIS('C') * LISDIET - CONS = E = 0$;
 GANPES .. $PLIS('A1') * 1 + PLIS('B1') * DIAS + PLIS('C1') * LISDIET - GP = E = 0$;
 DIASEXP .. $DIAS = E = 29$;
 COSTO .. $SUM(J, P('COSTO', J) * X(J)) - COST = E = 0$;
 COSTKG .. $((COST / PT)) - CKG = E = 0$;
 EM .. $SUM(J, A('EM', J) * X(J)) - B('MINEM') * CALIM = G = 0$;
 PC .. $SUM(J, A('PC', J) * X(J)) - B('MINPC') * CALIM = G = 0$;
 MINLIS .. $SUM(J, A('LIS', J) * X(J)) - B('MINLIS') * CALIM = G = 0$;
 MAXLIS .. $SUM(J, A('LIS', J) * X(J)) - B('MAXLIS') * CALIM = L = 0$;
 LISTOT .. $SUM(J, A('LIS', J) * X(J)) - LISDIET * CALIM = E = 0$;
 MET .. $SUM(J, A('MET', J) * X(J)) - B('MINMET') * CALIM = G = 0$;
 MCIS .. $SUM(J, A('MCIS', J) * X(J)) - B('MINMC') * CALIM = G = 0$;
 CA .. $SUM(J, A('CA', J) * X(J)) - B('MINCA') * CALIM = G = 0$;
 FOSF .. $SUM(J, A('FOSF', J) * X(J)) - B('MINP') * CALIM = G = 0$;
 PESOMIN .. $SUM(J, A('PESO', J) * X(J)) - B('MINPESO') * CALIM = G = 0$;
 PESOMAX .. $SUM(J, A('PESO', J) * X(J)) - B('MAXPESO') * CALIM = L = 0$;
 PESOTOT .. $SUM(J, A('PESO', J) * X(J)) - PT = E = 0$;
 SOR .. $X('SOR') - B('IGSOR') * CALIM = E = 0$;
 SOY .. $X('SOY') - B('IGSOY') * CALIM = E = 0$;
 LISSIN .. $X('LISSIN') - B('IGHLISSIN') * CALIM = G = 0$;
 ORTO .. $X('ORTO') - B('IGORTO') * CALIM = E = 0$;
 CACO3 .. $X('CACO3') - B('IGCACO3') * CALIM = E = 0$;
 SAL .. $X('SAL') - B('IGSAL') * CALIM = E = 0$;
 VIT .. $X('VIT') - B('IGVIT') * CALIM = E = 0$;
 MIN .. $X('MIN') - B('IGMIN') * CALIM = E = 0$;
 ANTI .. $X('ANTI') - B('IGANTI') * CALIM = E = 0$;
 AREN .. $X('AREN') - B('IGAREN') * CALIM = G = 0$;
 CONTAL .. $CALIM = E = 1$;

MODEL MMAXU /ALL/ ;

SOLVE MMAXU USING NLP MAXIMIZING U ;

DISPLAY X.L, X.M ;

12.3. Programa de GAMS para el experimento 2, que maximiza la ganancia el peso (NOB)

\$ OFFSYMREF OFFSYMLIST OFFUELLIST OFFUELXREF

SETS

T COSTO / COSTO /
 I NUTRIMENTOS / EM, PC, LIS, MET, MCIS, CA, FOSF, SAL, VIT, MIN, ANTI, PESO /
 J INGREDIENTES / SOR, SOY, GLUM, ACE, LISSIN, CACO3, ORTO, SAL, VIT, MIN, ANTI, AREN /
 K Coeficientes de regresion para consumo / A, B, C, D /
 L Coeficientes de regresion para peso vivo / A1, B1, C1, D1 /
 M Requerimientos / MINEM, MINPC, MINLIS, MAXLIS, MINMET, MINMC, MINCA, MINP, MINPESO, MAXPESO, IGSOR, IGSOY, IGGLUM, IGACE, IGLISSIN, IGCACO3, IGORTO, IGSAL, IGVIT, IGMIN, IGANTI, IGAREN / ;

PARAMETERS

CLIS(K) Coeficientes de regresion para consumo de alimento

/ A 535.266516
 B -10.9241
 C -1033.08884
 D 650.663819 /

PLIS(L) Coeficientes de regresion para ganancia de peso vivo

/ A1 129.249305
 B1 -3.949
 C1 -228.37471
 D1 151.816396 /

B(M) Requerimientos

/ MINEM 0
 MINPC 0
 MINLIS .85
 MAXLIS .9
 MINMET 0
 MINMC 0
 MINCA 0
 MINP 0
 MINPESO 1
 MAXPESO 1
 IGSOR .7804
 IGSOY .1618
 IGGLUM .0155
 IGACE .0100
 IGHCLLIS 0
 IGCACO3 .0064
 IGORTO .0157
 IGSAL .0025
 IGVIT .0025
 IGMIN .001
 IGANTI .001
 IGAREN 0 / ;

TABLE P(T,J) COSTO DE INGREDIENTES

	SOR	SOY	GLUM	ACE	LISSIN	CACO3	ORTO	SAL	VIT	MIN	ANTI	AREN
COSTO	1.8	3	4	6.75	26	.8	4	1	16	6.5	14	.2

TABLE A(I,J) CONTENIDO DE NUTRIMENTOS DE LOS INGREDIENTES

	SOR	SOY	GLUM	ACE	LISSIN	CACO3	ORTO	SAL	VIT	MIN	ANTI	AREN
EM	3.28	3.22	3.72	8.75	0	0	0	0	0	0	0	0
PC	9.02	45.26	63.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIS	.21	2.9	1.0	0	78	0	0	0	0	0	0	0
MET	.16	.52	1.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MCIS	.29	1.18	3.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CA	.04	.26	0	0	0	36.58	17.18	0	0	0	0	0
FOSF	.3	.64	0	0	0	0	15.58	0	0	0	0	0
PESO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 ;

VARIABLES

NOB	NIVEL OPTIMO BIOLOGICO
GP	Ganancia de peso
COST	Costo total de la dieta
X(J)	Cantidades de ingredientes
BLOQUE	BLOQUE EN EL EXPERIMENTO
LISTOTAL	LISINA TOTAL DE LA DIETA
CONS	Consumo de alimento inicial
CKG	Costo por kilogramo de dieta
CALIM	Consumo de alimento
PT	Peso total de la dieta ;

SCALAR

PCER precio del cerdo por kg / 12 / ;

POSITIVE VARIABLES GP, COS, X, BLOQUE, LISTOTAL, CAL, CKG, CALIM, PT ;

LISTOTAL.LO=B('MINLIS');

LISTOTAL.UP=B('MAXLIS');

PT.LO=1 ;

EQUATIONS

GPES	OPTIMO BIOLOGICO
GANPES	Ganancia de peso
BLOQUEEXP	BLOQUE DEL EXPERIMENTO
COSTO	Costo de la dieta
COSTKG	Costo por kilogramo
EM	Energia metabolizable
PC	Proteina cruda
MINLIS	Minimo de lisina
MAXLIS	Maximo de lisina
MET	Metionina
MCIS	Metionina mas cisteina
CA	Calcio
FOSF	Fosforo
PESOMIN	Peso minimo de la dieta
PESOMAX	Peso maximo de la dieta
PESOTOT	Peso total de la dieta
SOR	Sorgo
SOY	Soya
GLUM	Gluten de maiz

ACE	Aceite
LISSIN	Lisina sintetica
ORTO	Ortofosfato
CACO3	Carbonato de Calcio
SAL	Sal
VIT	Premezcla Vitaminica
MIN	Premezcla Mineral
ANTI	Antibiotico
AREN	Arena
CONTAL	Consumo total de alimento ;

```

GPES .. NOB =E= (GP) ;
GANPES .. PLIS('A1')*1 + PLIS('B1')*BLOQUE+PLIS ('C1')*LISTOTAL+ PLIS
('D1')*(LISTOTAL*LISTOTAL) - GP =E= 0 ;
BLOQUEEXP .. BLOQUE =E=1;
COSTO .. SUM(J,P('COSTO',J)*X(J)) - COST =E= 0;
COSTKG .. ((COST/PT)) - CKG =E= 0;
EM .. SUM(J,A('EM',J)*X(J)) - B('MINEM')*CALIM =G= 0;
PC .. SUM(J,A('PC',J)*X(J)) - B('MINPC')*CALIM =G= 0;
MINLIS .. SUM(J,A('LIS',J)*X(J)) - B('MINLIS')*CALIM =G= 0;
MAXLIS .. SUM(J,A('LIS',J)*X(J)) - B('MAXLIS')*CALIM =L= 0;
MET .. SUM(J,A('MET',J)*X(J)) - B('MINMET')*CALIM =G= 0;
MCIS .. SUM(J,A('MCIS',J)*X(J)) - B('MINMC')*CALIM =G= 0;
CA .. SUM(J,A('CA',J)*X(J)) - B('MINCA')*CALIM =G= 0;
FOSF .. SUM(J,A('FOSF',J)*X(J)) - B('MINP')*CALIM =G= 0;
PESOMIN .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - B('MINPESO')*CALIM =G= 0;
PESOMAX .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - B('MAXPESO')*CALIM =L= 0;
PESOTOT .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - PT =E= 0;
SOR .. X('SOR') - B('IGSOR')*CALIM =E= 0;
SOY .. X('SOY') - B('IGSOY')*CALIM =E= 0;
GLUM .. X('GLUM') - B('IGGLUM')*CALIM =E= 0;
ACE .. X('ACE') - B('IGACE')*CALIM =E= 0;
LISSIN .. X('LISSIN') - B('IGLISSIN')*CALIM =G= 0;
ORTO .. X('ORTO') - B('IGORTO')*CALIM =E= 0;
CACO3 .. X('CACO3') - B('IGCACO3')*CALIM =E= 0;
SAL .. X('SAL') - B('IGSAL')*CALIM =E= 0;
VIT .. X('VIT') - B('IGVIT')*CALIM =E= 0;
MIN .. X('MIN') - B('IGMIN')*CALIM =E= 0;
ANTI .. X('ANTI') - B('IGANTI')*CALIM =E= 0;
AREN .. X('AREN') - B('IGAREN')*CALIM =G= 0;
CONTAL .. CALIM =E= 1;

MODEL MAXGP /ALL/ ;

SOLVE MAXGP USING NLP MAXIMIZING NOB ;

DISPLAY X.L, X.M ;

```

12.4. Programa de GAMS para el experimento 2, que maximiza las utilidades (NOE)

\$ OFFSYMXREF OFFSYMLIST OFFUELLIST OFFUELXREF

SETS

T COSTO / COSTO /
 I NUTRIMENTOS / EM, PC, LIS, MET, MCIS, CA, FOSF, SAL, VIT, MIN, ANTI, PESO /
 J INGREDIENTES / SOR, SOY, GLUM, ACE, LISSIN, CACO3, ORTO, SAL, VIT, MIN, ANTI, AREN /
 K Coeficientes de regresion para consumo / A, B, C, D /
 L Coeficientes de regresion para peso vivo / A1, B1, C1, D1 /
 M Requerimientos / MINEM, MINPC, MINLIS, MAXLIS, MINMET, MINMC, MINCA, MINP, MINPESO, MAXPESO, IGSOR, IGSOY, IGGLUM, IGACE, IGLISSIN, IGCACO3, IGORTO, IGSAL, IGVIT, IGMIN, IGANTI, IGAREN / ;

PARAMETERS

CLIS(K) Coeficientes de regresion para consumo de alimento

/ A 535.266516
 B -10.9241
 C -1033.08884
 D 650.663819 /

PLIS(L) Coeficientes de regresion para ganancia de peso vivo

/ A1 129.249305
 B1 -3.949
 C1 -228.37471
 D1 151.816396 /

B(M) Requerimientos

/ MINEM 0
 MINPC 0
 MINLIS .85
 MAXLIS .9
 MINMET 0
 MINMC 0
 MINCA 0
 MINP 0
 MINPESO 1.000
 MAXPESO 1.000
 IGSOR .7804
 IGSOY .1618
 IGGLUM .0155
 IGACE .0100
 LISSIN 0
 IGCACO3 .0064
 IGORTO .0157
 IGSAL .0025
 IGVIT .0025
 IGMIN .001
 IGANTI .001
 IGAREN 0 / ;

TABLE P(T,J) COSTO DE INGREDIENTES

SOR SOY GLUM ACE LISSIN CACO3 ORTO SAL VIT MIN ANTI AREN
COSTO 1.8 3 4 7 26 .8 4 2 25 6.5 14 .2

TABLE A(I,J) CONTENIDO DE NUTRIMENTOS DE LOS INGREDIENTES

	SOR	SOY	GLUM	ACE	LISSIN	CACO3	ORTO	SAL	VIT	MIN	ANTI	AREN
EM	3.28	3.22	3.72	8.75	0	0	0	0	0	0	0	0
PC	9.02	45.26	63.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIS	.21	2.9	1.0	0	78	0	0	0	0	0	0	0
MET	.16	.52	1.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MCIS	.29	1.18	3.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CA	.04	.26	0	0	0	36.58	17.18	0	0	0	0	0
FOSF	.3	.64	0	0	0	0	15.58	0	0	0	0	0
PESO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1;

VARIABLES

U	Utilidad del productor por bloque
GP	Ganancia de peso
COST	Costo total de la dieta
X(J)	Cantidades de ingredientes
BLOQUE	Bloques en el experimento
LISTOTAL	Lisina total en la dieta
CONS	Consumo de alimento inicial
CKG	Costo por kilogramo de dieta
CALIM	Consumo de alimento
PT	Peso total de la dieta ;

SCALAR

PCER precio del cerdo por kg / 12 / ;

POSITIVE VARIABLES GP, COS, X, BLOQUE, LISTOTAL, CAL, CKG, CALIM, PT;

LISTOTAL.LO=B('MINLIS');

LISTOTAL.UP=B('MAXLIS');

PT.LO=1;

EQUATIONS

UTILIDAD	Utilidad del productor
CONALI	Consumo de alimento
GANPES	Ganancia de peso
BLOQUEEXP	BLOQUES EN EL EXPERIMENTO
COSTO	Costo de la dieta
COSTKG	Costo por kilogramo
EM	Energia metabolizable
PC	Proteina cruda
MINLIS	Minimo de lisina
MAXLIS	Maximo de lisina
MET	Metionina
MCIS	Metionina mas cisteina
CA	Calcio
FOSF	Fosforo
PESOMIN	Peso minimo de la dieta
PESOMAX	Peso maximo de la dieta
PESOTOT	Peso total de la dieta
SOR	Sorgo
SOY	Soya

GLUM	Gluten de maiz
ACE	Aceite
LISSIN	Lisina sintetica
ORTO	Ortofosfato
CACO3	Carbonato de Calcio
SAL	Sal
VIT	Premezcla Vitaminica
MIN	Premezcla Mineral
ANTI	Antibiotico
AREN	Arena
CONTAL	Consumo total de alimento ;

```

UTILIDAD .. U =E= (PCER*GP) - (CKG*CONS) ;
CONALI .. CLIS('A')* 1 + CLIS('B')*BLOQUE + CLIS ('C')*LISTOTAL + CLIS
('D')*(LISTOTAL*LISTOTAL) - CONS =E= 0 ;
GANPES .. PLIS('A1')* 1 + PLIS('B1')*BLOQUE + PLIS ('C1')*LISTOTAL + PLIS
('D1')*(LISTOTAL*LISTOTAL) - GP =E= 0 ;
BLOQUEEXP .. BLOQUE =E=1;
COSTO .. SUM(J,P('COSTO',J)*X(J)) - COST =E= 0;
COSTKG .. ((COST/PT)) - CKG =E= 0;
EM .. SUM(J,A('EM',J)*X(J)) - B('MINEM')*CALIM =G= 0;
PC .. SUM(J,A('PC',J)*X(J)) - B('MINPC')*CALIM =G= 0;
MINLIS .. SUM(J,A('LIS',J)*X(J)) - B('MINLIS')*CALIM =G= 0;
MAXLIS .. SUM(J,A('LIS',J)*X(J)) - B('MAXLIS')*CALIM =L= 0;
MET .. SUM(J,A('MET',J)*X(J)) - B('MINMET')*CALIM =G= 0;
MCIS .. SUM(J,A('MCIS',J)*X(J)) - B('MINMC')*CALIM =G= 0;
CA .. SUM(J,A('CA',J)*X(J)) - B('MINCA')*CALIM =G= 0;
FOSF .. SUM(J,A('FOSF',J)*X(J)) - B('MINP')*CALIM =G= 0;
PESOMIN .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - B('MINPESO')*CALIM =G= 0;
PESOMAX .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - B('MAXPESO')*CALIM =L= 0;
PESOTOT .. SUM(J,A('PESO',J)*X(J)) - PT =E= 0;
SOR .. X('SOR') - B('IGSOR')*CALIM =E= 0;
SOY .. X('SOY') - B('IGSOY')*CALIM =E= 0;
GLUM .. X('GLUM') - B('IGGLUM')*CALIM =E= 0;
ACE .. X('ACE') - B('IGACE')*CALIM =E= 0;
LISSIN .. X('LISSIN') - B('IGLISSIN')*CALIM =G= 0;
ORTO .. X('ORTO') - B('IGORTO')*CALIM =E= 0;
CACO3 .. X('CACO3') - B('IGCACO3')*CALIM =E= 0;
SAL .. X('SAL') - B('IGSAL')*CALIM =E= 0;
VIT .. X('VIT') - B('IGVIT')*CALIM =E= 0;
MIN .. X('MIN') - B('IGMIN')*CALIM =E= 0;
ANTI .. X('ANTI') - B('IGANTI')*CALIM =E= 0;
AREN .. X('AREN') - B('IGAREN')*CALIM =G= 0;
CONTAL .. CALIM =E= 1;

```

MODEL MMAXU /ALL/ ;

SOLVE MMAXU USING NLP MAXIMIZING U ;

DISPLAY X.L, X.M ;