

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA



**FORMULACIÓN DE DIETAS DE MÁXIMA UTILIDAD PARA
CERDOS EN CRECIMIENTO. I SOLUCIÓN CON EL
OPTIMIZADOR DE EXCEL**

**DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

TESIS

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN ANIMAL**

P R E S E N T A :

RAFAEL OROZCO MALDONADO

AGOSTO DE 1999

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO

91142

**FORMULACIÓN DE DIETAS DE MÁXIMA UTILIDAD PARA
CERDOS EN CRECIMIENTO. I SOLUCIÓN CON EL
OPTIMIZADOR DE EXCEL**

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

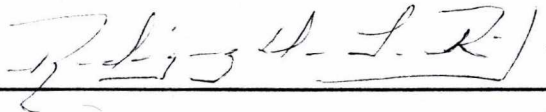
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR: _____



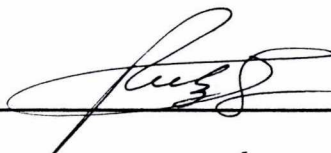
Ph. D. MARIANO J. GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR: _____



Ph. D. RAYMUNDO RODRÍGUEZ DE LARA

ASESOR _____



MC. ARTURO PRÓ MARTÍNEZ

34483

**FORMULACIÓN DE DIETAS DE MÁXIMA UTILIDAD PARA
CERDOS EN CRECIMIENTO. I SOLUCIÓN CON EL
OPTIMIZADOR DE EXCEL**

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

DIRECTOR: _____



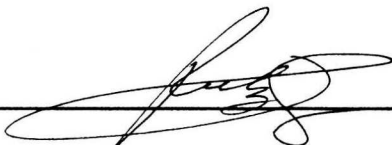
Ph. D. MARIANO J. GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR: _____



Ph. D. RAYMUNDO RODRÍGUEZ DE LARA

ASESOR _____



MC. ARTURO PRÓ MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTOS

Deseo hacer patente mi agradecimiento
a las personas, los organismos y las
instituciones que hicieron posible la
culminación de esta obra y
especialmente a

Ph. D. MARIANO GONZÁLEZ ALCORTA

DEDICATORIA

PARA TODAS LAS PERSONAS QUE ME APOYAN Y CREEN EN MI.

POR QUE...

**LAS GRANDES FANTASÍAS Y LOS SUEÑOS
QUE AL PRINCIPIO PARECEN UTÓPICOS,
ACABAN SIEMPRE POR REALIZARSE, YA
QUE POCOS SON LOS OBSTÁCULOS QUE
EL HOMBRE SE PROPONE VENCER SIN
LOGRARLOS, PORQUE LAS FANTASÍAS
DE LOS LOCOS HAN PARTIDO, POR LO
GENERAL, DE HOMBRES QUE TIENEN MUCHO
EN COMÚN CON DON QUIJOTE, QUIEN
ALGUNA VEZ DIJO...**

**"EL MUNDO ESTA MAL, NI TU
NI YO PODEMOS CAMBIARLO"
YO FUI ESE LOCO QUE CAMBIO
UN MUNDO PARA MI...
...RÍETE, LECTOR, DE MIS
FANTASÍAS, COMO YO ME RIÓ
DE MIS DESENGAÑOS.**

SINCERAMENTE...

RAFAEL OROZCO MALDONADO

RESUMEN

Orozco Maldonado, Rafael y Mariano J. González Alcorta

FORMULACIÓN DE DIETAS DE MÁXIMA UTILIDAD PARA CERDOS EN CRECIMIENTO. I SOLUCIÓN CON EL OPTIMIZADOR DE EXCEL

(Agosto, 1999)

Es necesario garantizar utilidades extras (\$) a los productores de cerdo en pie para hacerlo más competitivo. Una alternativa para ello es la implementación de nuevas metodologías como la formulación de máxima utilidad (FMU) a diferencia de la tradicional de mínimo costo (FMC). Se realizó la presente investigación con los propósitos de: 1). Estimar los niveles de L-lisina que maximizan la ganancia de peso. 2). Estimar los niveles de L-lisina que maximizan las utilidades del productor y 3). Realizar un análisis de sensibilidad de precios y su efecto sobre el nivel óptimo económico de L-lisina en cerdos de 20 a 50 kg de peso vivo. Se colectaron datos de literatura y se realizó un ensayo biológico con 4 niveles de L-lisina en la dieta (0.72, 0.92, 1.12 y 1.32%) para estimar los niveles óptimos biológicos (NOB) y económicos (NOE) de L-lisina para cerdos en crecimiento. Los NOB de L-lisina estimados con los datos de Williams *et al.* (1984), Batterham *et al.* (1985) y experimentales fueron 0.93, 1.17 y 1.32 % de L-lisina en la ración y los NOE fueron 0.91, 0.94 y 0.72 % respectivamente. Se obtuvieron utilidades extras de \$274, 518 y 140 comparado con la FMC. Los NOB y NOE de L-lisina no coincidieron. El NOE de L-lisina fué sensible a los cambios de precio del kg de cerdo en pie y de la L-lisina sintética.

PALABRAS CLAVE: Cerdos, L-lisina, formulación de máxima utilidad.

ABSTRACT

Orozco Maldonado, Rafael y Mariano J. González Alcorta

MAXIMUM PROFIT FEED FORMULATION FROM GROWING PIGS. I SOLUTION WITH EXCEL OPTIMIZER

(August, 1999)

Pigs producers need to get extra profits (\$) in order to compete successfully. The maximum profit feed formulation technique (FMU) is a choice to get extra profits than the ones obtained with the minimum cost feed formulation technique (FMC). This research was carried out in order to: 1) Estimate the dietary maximum gain L-lysine levels; 2) Estimate the dietary maximum profit L-lysine levels; 3) Perform a price sensitive analyses, and to evaluate its effect on the economic optimal L-lysine level feeding pigs from 20 to 50 kg of live weight. Data collected from literature and from biological assay were collected to perform the analyses. Four L-lysine dietary levels (0.72, 0.92, 1.12, 1.32 %) were fed to growing pigs to estimate the dietary biological (NOB) and economic (NOE) optimal levels. The estimated NOB L-lysine values were 0.93, 1.17 and 1.32% and the NOE ones were 0.91, 0.94 and 0.72% for Williams *et al.* (1984); Batterham *et al.* (1985) and for this trial, respectively. The FMU technique produced \$274, \$518 and \$140 extra profit compared with the FMC technique. The L-lysine NOB values were different from the NOE ones. The L-lysine NOE values were sensitive to pig and L-lysine source price changes.

KEY WORDS: Pigs, L-lysine, maximum profit feed formulation.

DATOS BIOGRÁFICOS

Rafael Orozco Maldonado

Vida Académica

Lugar de Nacimiento: Toluca Estado de México el 11 de Junio de 1969

Educación Básica en Toluca Estado de México

Educación Media en Toluca Estado de México

Educación Superior en Toluca Estado de México. Recibiendo el Título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista por la Universidad Autónoma del Estado de México en 1993

Estudios de Maestría en Chapingo Estado de México en el período 1993-1994

Vida Profesional

De 1994 a 1995 laboró como asesor en granjas porcícolas

Durante 1995-1996 se desempeño como Director de Investigaciones y Negociaciones Comerciales, para la Comisión Nacional de Porcicultura (CONAPOR)

De 1997 a la 1999 se desempeño como Gerente de Zona, Gerente de Mercadotecnia y Gerente de Servicios Técnicos, para Alimentos Balanceados Pénjamo S.A. de C.V. (ALBAPESA)

ÍNDICE

	Página
Índice de Cuadros.....	v
Índice de Apéndices.....	vii
I. Introducción.....	1
II. Revisión de literatura.....	3
2.1. Marco de referencia.....	3
2.1.1. Importancia mundial de la porcicultura.....	3
2.1.2. Situación actual de la porcicultura en México.....	3
2.1.3. La industria de alimentos balanceados en México.....	5
2.1.4. La industria de los alimentos balanceados y su problemática.....	6
2.1.5. La nutrición de los cerdos en México.....	7
2.1.6. Impacto económico de la FMC vs. FMU.....	9
2.2. Marco Conceptual.....	10
2.2.1. Importancia de los aminoácidos en la formulación de raciones para cerdos.....	11
2.2.1.1. Aminoácidos esenciales para cerdos en crecimiento.....	11

2.2.2. Características físicas y químicas de la L-lisina.....	12
2.2.3. Requerimientos de aminoácidos y su	
 importancia en la formulación.....	13
2.2.3.1. Requerimientos Constantes.....	14
2.2.3.2. Requerimientos Variables.....	15
 2.2.3.2.1. Modelos Empíricos.....	16
 2.2.3.2.2. Modelos Mecanísticos o Formales ...	16
2.2.3.3. Modelos propuestos para estimar	
 requerimientos variables.....	17
2.2.4. Programas comerciales para estimar	
 requerimientos variables.....	18
2.2.4.1. Modelos para estimar requerimientos	
 en cerdos en crecimiento publicados	
 por el NRC en 1998.....	19
2.2.5. Factores que afectan el consumo de alimento	
 en cerdos en crecimiento.....	21
2.2.5.1. Efecto del sexo sobre el consumo de	
 L-lisina en cerdos en crecimiento.....	22

2.2.5.2. Efecto del genotipo sobre el consumo	
de alimento en cerdos en crecimiento.....	24
2.2.5.3. Efecto de la edad y peso sobre el consumo	
de alimento en cerdos en crecimiento.....	25
2.2.6. Nivel óptimo biológico de L-lisina para cerdos en	
crecimiento.....	26
2.2.7. Nivel óptimo económico L-lisina en cerdos en	
crecimiento.....	27
2.2.8. Teoría Microeconómica.....	28
III. Problemática, Hipótesis y Objetivos.....	33
3.1. Problemática.....	33
3.2. Hipótesis.....	33
3.3. Objetivos.....	33
IV. Materiales y Métodos.....	34
4.1. Colección de datos de literatura y ensayo biológico.....	34
4.2. Descripción de las ecuaciones y procedimientos de	
estimación.....	38
4.3. Selección del mejor modelo de predicción.....	39

4.4. Construcción del modelo econométrico para la formulación de dietas de máxima ganancia de peso y máxima utilidad..	39
4.4.1. Modelo econométrico para maximizar la ganancia de peso.....	40
4.4.2. Modelo econométrico para maximizar las utilidades.....	41
4.5. Solución del modelo econométrico.....	42
4.6. Análisis de sensibilidad de precios.....	42
4.7. Comparación de utilidades entre FMC y FMU.....	43
V. Resultados.....	44
VI. Discusiones.....	51
VII. Conclusiones.....	55
VIII. Recomendaciones.....	56
IX. Literatura citada.....	57
X. Anexos.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro Número	Página
1. Producción porcícola en México de 1980 a 1997.....	5
2. Producción total de alimentos balanceados en México durante 1998	6
3. Comparación de utilidades para la FMC vs. FMU.....	10
4. Especificaciones de calidad de L-lisina HCL.....	13
5. Comparación del nivel óptimo biológico de L-lisina de diversos autores vs. NRC (1988 y 1998).....	27
6. Nivel óptimo económico de L-lisina en cerdos en crecimiento.....	28
7. Niveles de L-lisina utilizados y composición de la dieta.....	37
8. Efecto de la suplementación de L-lisina sobre el consumo acumulado de alimento (CAA) y ganancia acumulada de peso (GAP) en cerdos de 20 a 50 kg de peso vivo.....	44
9. Artículos seleccionados de la literatura.....	45
10. Valores determinados (DET) y estandarizados (EST) del porcentaje de PC, EM/kg y contenido de L-lisina de los experimentos seleccionados.....	45

11. Selección de los modelos de regresión lineal y no lineal	
a través de la prueba de Friedman.....	46
12. Solución óptima para los trabajos de Williams <i>et al.</i>, 1984;	
Batterham <i>et al.</i> , 1985 y ensayo biológico, que	
maximizan la ganancia de peso (NOB).....	47
13. Solución óptima para los trabajos de Williams <i>et al.</i>, 1984;	
Batterham <i>et al.</i> , 1985 y ensayo biológico, que	
maximizan las utilidades (NOE).....	48
14. Análisis de sensibilidad con el precio de la HCL-lisina realizado	
en los trabajos de Williams <i>et al.</i> , 1984; Batterham <i>et al.</i> , 1985	
y ensayo biológico.....	49
15. Análisis de sensibilidad con el precio del cerdo en pie realizado	
en los trabajos de Williams <i>et al.</i> , 1984; Batterham <i>et al.</i> , 1985	
y ensayo biológico.....	49
16. Comparación de utilidades con la FMC y FMU en una	
empresa porcícola semitecnificada con	
100 cerdos en crecimiento.....	50

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice Numero	Página
1. Base de datos.....	65
2. Programa SAS utilizado para realizar el análisis de varianza del ensayo biológico.....	66
3. Programa SAS utilizados para estimar los parámetros de los modelos.....	67
4. Estimación de parámetros de los modelos de regresión lineal y no lineal con los artículos de Williams <i>et al.</i> , 1984; Batterham <i>et al.</i> , 1985 y ensayo biológico.....	70
5. Cuadrados Medios de Error (CME) de los cinco modelos de regresión lineal y no lineal.....	75
6. Prueba de Friedman.....	76
7. Artículos seleccionados de la literatura.....	78
8. Valores determinados (DET) y estandarizados (EST) del %PC, EM Kcal/kg y contenido de L-lisina de los experimentos seleccionados.....	79

9. Jerarquización derivada de la prueba de Friedman

para ganancia de peso y consumo de alimento..... 80

10. Programas de EXCEL**10.1. Programa de EXCEL para los artículos de Williams *et al.*,**

1984; Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico,

que maximiza la ganancia de peso (NOB)..... 81

10.2. Programa de EXCEL para los artículos de Williams *et al.*,

1984; Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico,

que maximiza las utilidades (NOE)..... 84

I. INTRODUCCIÓN

Las metodologías de balanceo o formulación de raciones han evolucionado notoriamente en los últimos años. Los cambios se han debido a importantes aplicaciones de técnicas de investigación de operaciones y de econometría (González y Orozco, 1996). Siendo la programación lineal la principal herramienta para resolver el problema de la formulación de dietas de mínimo costo (FMC) (Dent y Casey, 1967; Beneke y Winterboer, 1973). Recientemente y a diferencia de la FMC en donde los requerimientos nutrimentales son tomados de los diferentes estándares como el ARC (1981), NRC (1988 y 1998), han sido propuestos nuevos métodos, los cuales estiman niveles variables de nutrimentos para maximizar la ganancia de peso y/o las utilidades del productor, los que han sido definidos como Formulación para Máxima Ganancia de peso (FMG) (Crenshaw, 1995) y Formulación Econométrica de Máxima Utilidad (FMU) (González *et al.*, 1992). En la FMC no se garantiza la máxima respuesta productiva, ya que los niveles de nutrimentos establecidos en la ecuación no necesariamente corresponden a los niveles de nutrimentos que maximizan el peso corporal y/o la máxima utilidad para el productor (González y Orozco, 1996).

Es importante señalar que en la nutrición del cerdo la L-lisina es el principal aminoácido limitante en raciones a base de maíz, sorgo y pasta de soya (Yen *et al.*, 1986a; Gahl *et al.*, 1994; Craig, 1995) por lo que la determinación del nivel de

L-lisina que estime la respuesta para obtener la máxima ganancia de peso es de gran importancia (Nivel óptimo biológico de L- lisina (NOB)).

Puede asegurarse que la mayor parte del esfuerzo en producción e investigación en la nutrición porcina se ha orientado hacia la determinación del NOB de L-lisina que debe estar en la dieta, asumiendo muchas veces que un incremento en el comportamiento productivo es alcanzado en respuesta a cada incremento de L-lisina adicionado en la dieta (Gahl *et al.*, 1995).

En la presente investigación se aplicó una metodología para la formulación econométrica de máxima utilidad en cerdos, ya que actualmente aunque se cuenta con las bases para su aplicación y algunos programas disponibles, estos solo se han utilizado en la nutrición del pollo de engorda. Por otro lado aunque existen optimizadores científicos que resuelven este tipo de problemas (GAMS), su uso y aplicación queda restringido. Sin embargo ha sido demostrado que el optimizador de EXCEL es igual de preciso que el método de solución GAMS (Constantino y Gil, 1996).

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) Desarrollar una metodología básica para la Formulación econométrica de máxima utilidad. 2) Estimar el NOB y NOE de L-lisina en cerdos de 20 a 50 kg de peso; 3) Demostrar mediante un análisis de sensibilidad que el NOE de L-lisina es variable y diferente al NOB, y que este depende de los costos de los ingredientes y del precio del cerdo en pie y 4) Evaluar las utilidades extras que se tendrían si se aplicara la formulación econométrica de máxima utilidad.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco de referencia

2.1.1. Importancia Mundial de la Porcicultura

Al establecer comparaciones entre los países productores de ganado porcino a nivel mundial, observamos marcadas diferencias con respecto a su producción. Así pues se encuentran países, que en forma general cuentan con algunas condiciones favorables, tales como mayor tecnología y genética mejorada así como programas bien definidos de reproducción, manejo y alimentación, entre dichos países figuran, Holanda, Dinamarca, Francia e Inglaterra (Hovenier *et al.*, 1993). A nivel mundial el consumo de carne de cerdo se ubica en el primer lugar; el segundo lugar en consumo lo ocupa la carne de bovino con 30.2 %, aves con 22 % y ovicaprinos con 5 % respectivamente (Hovenier *et al.*, 1993). En Europa, el 50 % de la carne que se consume proviene del cerdo, llegando a alcanzar un consumo Per Capita de 43 kg por año. Como se puede apreciar el consumo de carne de cerdo es más alto en los países ricos e industrializados que en las naciones subdesarrolladas (Hovenier *et al.*, 1993).

2.1.2. Situación Actual de la Porcicultura en México

En los setentas y hasta 1983, la porcicultura nacional presento un crecimiento del 9.2% anual, lo que colocó a la carne de cerdo como la de mayor consumo interno aportando hasta el 53% del consumo total de carne. Este

panorama exitoso se revirtió a partir de 1984; dentro de las concesiones para ingresar al G.A.T.T., las fracciones de productos cárnicos fueron las que más se liberaron, además del subsecuente retiro de apoyos al productor que este acuerdo comercial exigió; de un arancel promedio superior al 50% este disminuyó a niveles de entre el 10% y 20%, parámetro que demuestra la apertura anticipada del sector porcícola previa a cualquier formalización comercial (Conapor, 1996). Así pues, a partir de 1984 el sector porcícola mexicano se contrajo a una tasa media anual del -11.2%, retracción que alcanzó su máximo en 1989, cuando se produjeron 727,000 toneladas de carne de cerdo, menos de la mitad de las 1,485,000 toneladas que se alcanzaron en 1983 (Cuadro 1). Esta retracción acelerada en la actividad implicó el cierre masivo de granjas y la reducción en el uso de la capacidad instalada (Conapor, 1996). Paralelo a este proceso de retracción porcícola a partir de los ochentas la producción y consumo de la carne de res y pollo incremento, desplazando paulatinamente al cerdo; mientras que en 1983 se consumieron 21.1 kg per capita de carne de cerdo, 11.4 kg de carne de res y 7.7 kg de carne de pollo, en 1994 el consumo fue de 9.7 kg de carne de cerdo, 14.8 de carne de res y 15.6 kg de carne de pollo (considerando únicamente producción nacional) (Conapor, 1996). La porcicultura nacional vive actualmente un panorama de grandes retos, de desafíos económicos y de productividad que propician un incremento gradual en la salida de la actividad de aquellos porcicultores que fueron estimulados a invertir en tecnología. Entre diciembre de 1994 y septiembre de

1995 el precio del cerdo en pie en granja se incremento un 55.0%, en tanto el precio del sorgo, principal insumo forrajero, lo hizo en 144.4% (Conapor, 1996).

Cuadro 1. Producción porcícola en México de 1980 a 1997

Año	Producción (miles de ton)	Año	Producción (miles de ton)
1980	1 251	1989	727
1981	1 307	1990	767
1982	1 365	1991	801
1983	1 485	1992	820
1984	1 455	1993	822
1985	1 293	1994	873
1986	959	1995	898
1987	915	1996	910
1988	861	1997	939

(Conapor, 1997)

2.1.3. La Industria de Alimentos Balanceados en México

La industria de alimentos balanceados en México produjo durante 1994 13.9 millones de toneladas, 32 % de las cuales fueron elaboradas por empresas comerciales y el 65 % restante por los productores integrados.

Las cifras anteriores sugieren que los productores tienden a integrarse en mayor medida, elaborando en su propio alimento en la granja (ANFACA, 1999).

Cuadro 2. Producción Total de Alimentos Balanceados en México durante 1998

Producción por especie	Miles de toneladas	%
Avicultura	7,550	43.14
Cerdos	4,350	24.85
Ganado Lechero	3,225	18.42
Ganado de Engorda	1,485	8.48
Otros	890	5.11
Total	17,500	100

(ANFACA, 1999)

2.1.4. La industria de los alimentos balanceados y su problemática

En lo que al proceso de transformación se refiere, la Industria de Alimentos Balanceados Mexicana es competitiva con la de los E. U. A. y Canadá, ya que la tecnología es básicamente la misma, sin embargo las diferencias en calidad, disponibilidad y costo de las materias primas (granos y fuentes de proteína) determinan una menor competitividad global de nuestra Industria. Desde 1987 en México las importaciones de alimentos balanceados se encontraban bajo un régimen de libre importación con arancel del 10 %. En el marco de las negociaciones del T.L.C. quedo establecido un arancel del 10 % con desgravación lineal a 10 años libre de permiso de importación (ANFACA, 1999).

En función de lo anterior, con la entrada en vigor de dicho Tratado en 1994, las importaciones estuvieron sujetas a un arancel del 9 % y para 1998 del 5 %, reduciéndose linealmente en un punto porcentual para los próximos años hasta llegar a cero en el 2003. En 1990 las importaciones de alimentos balanceados representaron el 9.98 % con respecto a la producción reportada para el mismo período por las empresas afiliadas a la sección de CANACINTRA (Cámara Nacional de la Industria de Transformación) y ANFAPB (Asociación Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados) y para 1994 representaron el 15.8 %, la razón, el costo de los insumos.

La industria de alimentos balanceados como muchas otras, tiene que enfocar sus esfuerzos hacia una mayor productividad. Es claro que la tendencia actual de las empresas agropecuarias en los últimos años ha sido hacia la integración. Con esta, los industriales porcícolas y de alimentos balanceados deberán enfocar sus esfuerzos para la búsqueda de métodos de formulación de raciones que les permitan tanto al Industrial de alimentos como al porcicultor hacerle frente a la apertura comercial mundial (ANFACA, 1999).

2.1.5. La Nutrición de los Cerdos en México

En México y para la porcicultura, la nutrición de aminoácidos arrancó con la oferta de L-lisina cristalina durante la segunda mitad de la década de los setenta. Entonces, como el resto del mundo, el uso de L-lisina se centró en el objetivo de reducir los costos de alimentación al bajar la concentración de proteína en las dietas o bien, por la oportunidad de uso de fuentes alternas de

proteína (Cuarón, 1991). En los últimos 20 años, el alimento predominante en la producción de cerdos se basa en el grano de sorgo complementado proteicamente con pasta de soya. Por otra parte la factibilidad de reducir la proteína, corrigiendo los niveles de L-lisina, fue demostrada desde 1975 por Baker *et al.* y sus recomendaciones fueron válidas con raciones a base de sorgo y pasta de soya, las cuales a principios de la década de los años ochenta, fueron popularizadas ya que, en efecto, con el uso de la L-lisina cristalina se lograba abaratar las dietas, ya que en el mercado nacional había una oferta insuficiente de proteína y por ende su costo era alto. Entonces como ahora, dependíamos de la soya de importación. A pesar del éxito inicial de la práctica de reducir la concentración de proteína, utilizando L-lisina HCl, muchos porcicultores comenzaron a desafiar lo que se aceptaba como el requerimiento de proteína (NRC, 1988), al observar que con niveles más altos de estos nutrimentos, se conseguía una mejor respuesta animal. En este sentido, el efecto del nivel de proteína siempre se confundió con el nivel de L-lisina, por ende, los criterios de formulación siguieron obedeciendo al patrón de la mezcla sorgo-pasta de soya.

El aumento de los niveles de proteína en el campo coincidió con la aparición del ARC (1981) y la promoción de líneas de cerdos cuyos criterio de selección incluían el rendimiento magro, por lo que, sobre todo a partir de 1984 y 1985 más que el precio del alimento, empezaron a preocupar las curvas de crecimiento de los animales (lo que se registro como la ganancia diaria de peso), originándose desde entonces la preocupación de que tan adecuados son

los niveles de proteína y aminoácidos para estas nuevas estirpes de cerdos. Sin embargo, a la fecha poco se ha avanzado en el medio comercial para aplicar la tecnología o el conocimiento existente (Cuarón, 1993).

Estrictamente, entonces, la nutrición en cerdos se debe centrar en la determinación de los niveles óptimos biológicos y económicos de aminoácidos, el problema es que las publicaciones en nuestro país son escasas, por lo que los estándares de formulación descansan en experiencias del extranjero, con otros alimentos y con otras condiciones de explotación (Cuarón, 1993). Aunque se cuenta con mucha información teórica, siempre es necesario trabajar con datos obtenidos por los propios fabricantes de alimentos. Sobre todo en el caso de la L-lisina, que es un aminoácido limitante en la formulación de dietas avícolas y porcinas (Medina *et al.*, 1994).

2.1.6. Impacto económico de la FMC vs. FMU

Recientemente, mediante métodos de formulación de raciones alternativos a los tradicionales de mínimo costo por programación lineal (Trujillo, 1987), han surgido diferentes alternativas para lograr la máxima ganancia de peso y utilidad (González *et al.*, 1994). No obstante el mejoramiento de los parámetros productivos y la innovación tecnológica así como el desarrollo de nuevos programas computacionales para la formulación de dietas, actualmente diversas líneas de investigación en torno a la formulación de máxima utilidad se encuentran en fase de desarrollo y experimentación (García 1998).

Una comparación de utilidades para la FMC vs. FMU obtenida por García (1998) en una empresa porcícola semitecnificada con 360 cerdos se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Comparación de utilidades para la FMC vs. FMU

Tipo de formulación	L-lisina (%)	Costo de la dieta (\$/kg)	Utilidades (\$)	Utilidades Extras (\$)
FMC	0.75	1,9232	50,346.6	
FMU	0.90	1,9732	52,977.6	2,631.6

García (1998).

Es importante mencionar que contribuciones tan importantes como la FMU son desarrolladas y actualizadas a través de distintas líneas de investigación de lo cual es parte la presente investigación, en esta tesis se aportan innovaciones en la construcción y solución del modelo econométrico así como de los análisis de sensibilidad de precios, además de la solución e interpretación de resultados con el uso del optimizador de EXCEL.

2.2. Marco conceptual

Los conceptos incluidos en la formulación econométrica de máxima utilidad y la estimación de la máxima respuesta productiva del cerdo en crecimiento, así como los conceptos derivados de la L-lisina como aminoácido limitante, se describen a continuación.

2.2.1. Importancia de los aminoácidos en la formulación de raciones para cerdos

Los aminoácidos que participan en diferentes proporciones en la síntesis de proteína son clasificados de acuerdo a su disponibilidad en esenciales y no esenciales, siendo estos últimos los que pueden ser sintetizados en el organismo a partir de precursores, o su aporte en la dieta es suficiente; mismos que para el cerdo son: L-glicina, L-serina, L-alanina, L-cisteina, L-prolina, L-tirosina, ácido aspártico y ácido glutámico (NRC, 1988), e indispensables, para los cuales no existe ruta metabólica para su síntesis en el organismo, o su tasa de síntesis no es suficiente para cubrir el requerimiento específico del mismo (Vissek, 1984).

2.2.1.1. Aminoácidos esenciales para cerdos en crecimiento

Para el crecimiento normal de los cerdos se requiere la presencia en la dieta de diez aminoácidos esenciales: L-lisina, L-triptófano, L-treonina, DL-Metionina, L-isoleusina, L-histidina, L-valina, L-arginina, L-leusina, y L-fenilalanina, (Craig, 1995; Cuarón, 1991).

Los aminoácidos más limitantes de los cereales comúnmente utilizados (sorgo y maíz) en la formulación convencional de raciones para cerdos en crecimiento son primeramente la L-lisina (Yen *et al.*, 1986; Craig, 1995), haciéndolo el aminoácido más importante en la nutrición del cerdo. Después de la L-lisina, la L-treonina es el segundo en importancia y por último el L-triptófano (Craig, 1995).

Por lo que respecta a las fuentes de proteína y debido a que la pasta de soya es la única planta capaz de competir favorablemente con fuentes de proteína animal en términos de calidad y contenido de aminoácidos, resulta de suma importancia destacar que los primeros tres aminoácidos limitantes en raciones basadas en maíz y soya son: L-lisina, L-triptófano y L-treonina, además de DL-metionina y L-valina (Craig, 1995).

2.2 2. Características físicas y químicas de la L-lisina

La L-lisina tiene como nombre químico oficial ácido 2,6-diamino hexanóico, también se designa como ácido α , ϵ -diamino caprónico, fue aislado por primera vez en el Laboratorio Drechsel por Fisher y Hendin en 1898. El nombre de L-lisina lo estableció Fisher. En 1902 Fisher y Weigert lograron sintetizar la L-lisina a partir de la reacción del éster cianopropilmalónico con ácido nitroso y siguiendo con la reacción de reducción. La L-lisina cristalina fue preparada por primera vez por Vickery y Leavenworth en 1928 (Medina *et al.*, 1994).

La L-lisina es un polvo cristalino de color blanco y sin olor, su peso molecular es de 146.19, funde con descomposición a 224 °C, es soluble en agua e insoluble en etanol. La solubilidad del monoclóridato es de 53.6 g/100 ml de agua a 0 °C (Medina *et al.*, 1994).

La forma comercial de la L-lisina es el monoclóridato de L-lisina, las especificaciones de calidad para L-lisina establecidas por las normas oficiales mexicanas, NOM-Y-168 se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Especificaciones de calidad de L-lisina HCl.

Determinación	Concentración
Ensayo (base seca)	98.0 % mín.
Nitrógeno (base L-lisina)	19.4 % min
Metales pesados	0.003 % máx.
Amoníaco	0.02 % máx
Arsénico	0.0002 % máx.
Granulometría	100 % < malla 14
	80 % < malla 20
	70 % < malla 80

Medina *et al.* (1994).

2.2.3. Requerimientos de aminoácidos y su importancia en la formulación

La determinación de los requerimientos de aminoácidos no es una tarea fácil. Tradicionalmente los requerimientos de nutrimentos han sido definidos como las cantidades de nutrimentos necesarios para maximizar el comportamiento productivo del cerdo (Patience *et al.*, 1989). Los requerimientos de L-lisina para cerdos en crecimiento han sido determinados utilizando niveles crecientes del aminoácido en las dietas, y recientemente utilizando modelos matemáticos que predicen la ganancia de peso de los animales en función de las cantidades crecientes de estos en su dieta, determinando así la concentración que maximiza el comportamiento productivo (NRC, 1998).

La modelación matemática es una herramienta que cada vez cobra mas importancia para ayudar al nutriólogo a establecer el consumo óptimo biológico de nutrimentos. Numerosos autores han reportado estimaciones variables

respecto a los requerimientos de aminoácidos en cerdos en crecimiento y finalización (Southern, 1993). Independientemente del método para estimar los requerimientos, existen muchos factores que pueden afectar la respuesta al contenido dietario de aminoácidos y marcar un particular requerimiento difícil de establecer (Kerr, 1993). Un número considerable de trabajos han sido llevados a cabo durante la última década, sobre la digestibilidad de aminoácidos, los valores muestran grandes diferencias entre ingredientes y entre muestras del mismo ingrediente (Sauer *et al.*, 1986). Algunos alimentos también contienen factores antinutritivos los cuales pueden interferir con la digestión y utilización de la proteína, y en algunos casos una falta de respuesta, puede ser explicada por un imbalance entre aminoácidos esenciales como puede ser la L-lisina, mal manejo alimenticio o formulación de la dieta (Gatel *et al.*, 1992). De acuerdo con el método de formulación propuesto por el nutriólogo, los requerimientos se han clasificado como constantes o variables (González *et al.*, 1994).

2.2.3.1. Requerimientos Constantes

El requerimiento es constante, cuando queda limitado a un solo valor, o bien a un rango de valores, mismo que es prefijado por el criterio del nutriólogo, el cual es escrito del lado derecho de la ecuación en el método de formulación propuesto (González *et al.*, 1994). Aunque existen cuadros que recomiendan los niveles de nutrimentos necesarios para mantenimiento y producción (NRC, 1988), típicamente estos solo contienen un valor promedio para todos los cerdos, sobre un rango de peso específico. Dichos valores fueron estimados de

investigaciones conducidas con ingredientes que garantizaban el aporte de aminoácidos a la dieta por si mismos, o suplementando fuentes cristalinas de aminoácidos. Tales valores asumen que todos los cerdos dentro de esta descripción son iguales. Lo cual posiblemente no puede ser aplicable a todas las situaciones en particular (Kerr, 1993).

Por otra parte, existen métodos para estimar los requerimientos de aminoácidos, proteína y energía, como pueden ser los ensayos empíricos de dosis respuesta, en donde el nivel de nutrimentos que maximiza el comportamiento productivo de los cerdos es medido en función de niveles crecientes de estos componentes en la ingesta. Sin embargo las estimaciones realizadas continúan siendo una información incompleta e inaplicable a todas las situaciones, con muchas variaciones inexplicables además (Cuarón, 1993).

2.2.3.2. Requerimientos variables

Recientemente algunos investigadores han propuesto modelos matemáticos (Gahl *et al.*, 1991; Gahl *et al.*, 1995; Hansen *et al.*, 1993; Kanis *et al.*, 1988; Kanis *et al.*, 1990) para determinar y/o estimar los niveles variables de nutrimentos que maximizan el comportamiento productivo de los cerdos. Dichos niveles son determinados como parte de una función, misma que a su vez determina el valor de otra variable como puede ser el consumo de alimento, o el peso vivo del animal (González-Alcorta 1994), es por ello que son definidos como requerimientos variables. Los conceptos fundamentales involucrados en los modelos son, predecir y explicar (Cohen y Cyert, 1975). En el área de

formulación de raciones, la calidad de un modelo se puede determinar en base a su potencial para predecir y explicar las respuestas de consumo de alimento y peso vivo, a niveles (o consumos) de nutrimentos en la dieta. En general los modelos pueden ser de dos tipos: 1) Empíricos, y 2) Mecanísticos o formales (France y Thornley, 1984).

2.2.3.2.1. Modelos empíricos

Un modelo empírico es aquel que se construye a partir de datos de la realidad, y se ajusta cada vez que los datos cambian. Un tipo clásico de modelos empíricos son los modelos de regresión, los cuales estiman consumo de alimento, o peso vivo de los animales, a partir de niveles de nutrimentos de muestras de datos de diferentes poblaciones. Si las muestras son representativas, se puede tipificar a las poblaciones de donde provienen a través de inferencia estadística (Steel y Torrie, 1985). Consecuentemente, los modelos de regresión pueden ser usados con éxito en la predicción de consumo y peso vivo. Un modelo empírico se diseña principalmente para predecir globalmente los fenómenos de consumo de alimento y peso vivo, y en forma secundaria para explicarlos (González *et al.*, 1994).

2.2.3.2.2. Modelos mecanísticos o formales

Los modelos mecanísticos, o formales, se construyen a partir de las teorías que explican los mecanismos involucrados en un fenómeno (Fisher, 1992). El fenómeno a explicar puede ser el consumo de alimento, peso vivo,

etc. El modelo mecanístico no trata de predecir el fenómeno global (consumo de alimento, peso vivo), mas bien, trata de explicar los componentes de las variables (requerimientos de nutrimentos para mantenimiento, crecimiento, producción etc.) que conducen a ese fenómeno. Los modelos mecanísticos, pueden ser usados exitosamente en formulación de raciones, siempre y cuando sean ajustados con datos de la realidad, y no de simulación por computadora (González *et al.*, 1994).

2.2.3.3. Modelos propuestos para estimar requerimientos variables

Los primeros trabajos sobre los modelos de crecimiento animal fueron publicados por Gompertz en 1825 (Parks, 1982). Algunos modelos matemáticos frecuentemente utilizados en la determinación de requerimientos son la regresión lineal simple y cuadrática respectivamente. Algunos autores (Batterham *et al.*, 1985) han modificado su estructura a un modelo de regresión cuadrático múltiple, incorporado parámetros como el peso vivo del cerdo y calculando el punto de inflexión de la ecuación cuadrática (Martínez y Knabe, 1990). El modelo lineal con meseta (Morris y Blackburn, 1982) Broken line o también conocido como "Bent Stick" ha sido utilizado al estimar los niveles de requerimientos de ciertos aminoácidos en aves (González-Alcorta y Pesti, 1992) y cerdos (Robbins, 1986) y (Martínez y Knabe, 1990); el cual incorpora 3 parámetros; donde MAX es la máxima respuesta en ganancia acumulada de peso, RC es un valor constante de crecimiento, REQ es el requerimiento o nivel de L-lisina en la dieta necesario para lograr la máxima ganancia de peso y X es

el nivel de L-lisina en la dieta. El cuadrático con meseta (Gallan y Fuller, 1973) el cual es una alternativa al modelo lineal con meseta en donde las definiciones de los 3 parámetros son semejantes al modelo lineal. El método del plateau (Anderson y Nelson, 1975). El modelo logístico, el cual es una alternativa para determinar la concentración de nutrimentos de una dieta necesarios para maximizar la ganancia de peso; la ecuación predice la concentración de nutrimento en la dieta, necesaria para obtener un 50 % de la máxima respuesta en ganancia de peso (Guardabasso *et al.*, 1987). El parámetro A es la máxima respuesta en ganancia de peso respecto a la suplementación de L-lisina, y D es la mínima respuesta. El parámetro B es exponencial, y el más importante de todos es C, el cual es la concentración del nutrimento.

2.2.4. Programas comerciales para estimar requerimientos variables

Uno de los primeros intentos en el desarrollo de modelos comerciales fue propuesto por investigadores de la Universidad de Edimburgo (Emmans, 1981; 1987); dicho modelo divide la energía y la proteína que consumen los pollos de engorda entre mantenimiento diario, crecimiento de músculo y plumas. Este programa posteriormente fue comercializado para las computadoras personales como el Fortell. Simultáneo al trabajo de Edinburgo, la Universidad Hebrea desarrollo un programa usando diferentes conceptos (Hurwitz *et al.*, 1980; 1987; Talpaz *et al.*, 1986). Este modelo se basaba en determinaciones computarizadas de los requerimientos diarios de aminoácidos y energía para crecimiento y mantenimiento. El costo del alimento era estimado para cada

ganancia incremental diaria, la cual era usada para desarrollar la trayectoria de crecimiento de costo mínimo. Este programa ha sido revisado y esta disponible desde 1995 bajo el nombre de Chickopt TM. Un tercer modelo propuesto por Pesti *et al*, (1986) se basó en el tratamiento cuadrático que define el crecimiento experimental de pollos alimentados con varias dietas. El concepto de Pesti *et al*, (1986) fue que un ave podía llevarse a un peso deseado ya fuera en regímenes de proteína o energía alta/baja y que las variaciones en tiempo y consumo podían ser resueltas con base a principios económicos relativos. Por medio de manipulación matemática, el resultado era una dieta única con ingesta pronosticada que daba el pollo más barato a un peso deseado.

A partir de 1989 Novus TM International ha ofrecido un programa comercial viable de modelo de crecimiento a la industria avícola, el cual ha sido aceptado y es actualmente usado en los Estados Unidos, Latinoamérica y Europa y esta basado en ecuaciones diferenciales para el crecimiento que cuantifican los efectos nutricional y ambiental (Feedstuffs, 1995).

2.2.4.1 Modelos para estimar requerimientos en cerdos en crecimiento publicados por el NRC en 1998

La más reciente publicación del NRC de 1998 ha integrado modelos matemáticos, para generar estimaciones de los requerimientos de energía y aminoácidos en cerdos de 20 a 120 kg de peso y en cerdas gestantes y lactación, además se ofrece un programa computarizado y software que permite crear cuadros con requerimientos específicos para un peso o nivel de

productividad. Los modelos propuestos se basan en la tasa de crecimiento magro, estimando así la cantidad diaria de L-lisina digestible ileal verdadera necesaria para soportar el máximo incremento de proteína a determinado peso vivo, asumiendo igual tasa de crecimiento de tejido magro para machos castrados, hembras y machos enteros. Las ecuaciones básicas utilizadas en el modelo biológico para predecir requerimientos consideran un número de constantes o supuestos, los cuales incluyen. La tasa de ganancia magra de la canal (libre de grasa) que es una función del peso vivo y es igual para machos castrados, hembras y machos enteros; el requerimiento de L-lisina por unidad de incremento de proteína es de 0.12 g de L-lisina digestible verdadera/g de incremento de proteína; el requerimiento de L-lisina para mantenimiento es de 0.036 g/kg de peso vivo hasta llegar al peso vivo^{0.75}; la energía metabolizable es 0.96 X energía digestible; la conversión de ganancia magra de la canal (libre de grasa) a total de proteína corporal es igual a la ganancia magra de la canal / 2.55; la concentración de proteína en el tejido magro de la canal es de 23 %; la concentración de grasa en el tejido adiposo es del 90 %; los requerimientos de energía metabolizable (EM) para mantenimiento son de 106 Kcal/kg de peso vivo^{0.75}; los requerimientos de EM para síntesis de proteína son de 10.6 Kcal/g y los requerimientos de EM para síntesis de grasa son de 12.5 Kcal /g.

Los datos necesarios para estimar los requerimientos para cerdos en crecimiento son la concentración de energía de la ración, expresados en Kcal de EM/kg o Energía Digestible (ED)/kg; peso del cerdo (kg); número de hembras y el potencial de ganancia de tejido magro (g/día) de las hembras; el número de

machos castrados y el potencial de ganancia de tejido magro (g/día) de los mismos así como el de los machos enteros; el espacio por cerdo expresado en m² y la temperatura en °C. Los cálculos para las predicciones debido a su variedad se pueden revisar con detalle en el Apéndice 1 del NRC (1998). Las ecuaciones para determinar la tasa de crecimiento magro son derivadas de las investigaciones conducidas por el Consejo Nacional de Productores de cerdos (1994), NPPC por sus siglas en ingles, mismas que también se pueden revisar en el Apéndice 2 del NRC (1998).

Por otra parte un modelo cuadrático o cúbico es utilizado para la estimación de los parámetros del modelo que predice los requerimientos y que genera la curva de crecimiento magro; se considera que un valor de R² igual a 1 representa un ajuste perfecto de los valores observados y predichos (NRC, 1998).

Es importante señalar que la concentración de L-lisina en la ración es estimada en base al consumo diario de alimento, el cual esta en función del peso vivo del cerdo, sexo, condiciones ambientales y concentración de energía en la ración (NRC, 1998). Por otra parte el nivel óptimo económico (NOE) se encuentra en función del consumo de alimento, por lo tanto, es de gran importancia revisar los factores más interesantes que afectan el consumo de alimento.

2.2.5. Factores que afectan el consumo de alimento en cerdos en crecimiento

Parte de la variabilidad asociada con el consumo voluntario del alimento y los requerimientos nutritivos de los cerdos es atribuida a las diferencias

existentes entre las diferentes razas o líneas genéticas, sexo, edad, estado fisiológico, factores medio ambientales como la temperatura ambiental, tipo de alojamiento y tamaño de la población, así como de la densidad de nutrientes en la dieta consumida (NRC, 1987). Publicaciones del NRC (1979), estimaron que los requerimientos de L-lisina para cerdos (sexo indefinido) de 60 a 100 kg de peso vivo eran de 0.57 %. Posteriormente el NRC (1988), estimó que los requerimientos de L-lisina para cerdos de 20 a 50 kg de peso vivo (sexo indefinido) alimentados a base de dietas formuladas con maíz y pasta de soya eran de 0.75 %, y en su más reciente publicación de 1998 de 0.95 % para machos castrados, enteros y hembras.

2.2.5.1. Efecto del sexo sobre el consumo de L-lisina en cerdos en crecimiento

Aunque durante mucho tiempo ha sido demostrado que los machos castrados tienen una menor capacidad para la deposición de proteína y que además requieren niveles inferiores de proteína y aminoácidos para soportar un máximo crecimiento que los machos enteros o las hembras (Yen *et al.*, 1986 y Yen *et al.*, 1986a) las diferencias entre los machos enteros y las hembras no han sido bien documentadas (Campbell *et al.*, 1988). Sin embargo algunas investigaciones conducidas por Campbell *et al.* (1988) para determinar los efectos del sexo sobre los requerimientos de proteína y aminoácidos en machos enteros y hembras demostraron que los requerimientos de aminoácidos fueron

mayores para machos enteros que para hembras y para hembras que para machos castrados, especialmente durante la fase de finalización.

Batterham *et al.* (1985) reportaron para cerdos machos y hembras entre 20 y 50 kg de peso vivo, que los niveles de L-lisina que maximizaron el crecimiento fueron idénticos en ambos sexos, cuando el consumo de energía fue restringido (10 g/kg), pero que cuando el alimento se ofreció *ad libitum*, los machos enteros a diferencia de la hembras necesitaron una mayor cantidad de L-lisina dietaria para soportar el máximo crecimiento (10 g/kg y 8.6 g/kg respectivamente).

La tasa de crecimiento (g/día) y las concentraciones de proteína y L-lisina estimadas por el intercepto de las líneas de regresión que maximizar el crecimiento de machos enteros y hembras entre 20 y 50 kg de peso vivo reportadas por Campbell *et al.* (1988) fueron de 745 y 702 g/día y sus valores correspondientes para proteína y L-lisina dietaria de 192 y 10.9 g/kg y 183 y 10.3 g/kg para machos enteros y hembras respectivamente; los consumos de L-lisina fueron de 17.9 g/día y la relación L-lisina:ED de 0.75 g/MJ para machos enteros y 16.9 g/día y 0.71 g/MJ para hembras. Estimaciones muy similares han sido realizadas por Yen *et al.*, (1986) para hembras y machos entre 25 y 55 kg de peso vivo, los resultados no muestran diferencias significativas entre los sexos respecto al consumo promedio de alimento, tasa de crecimiento y conversión alimenticia, sin embargo la concentración de L-lisina dietaria mostró el principal efecto significativo ($P < 0.001$) que influencio la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia y la máxima respuesta revelo la magnitud entre machos, machos castrados y hembras por el incremento de L-lisina y proteína

dietaria adicionada. Las dietas que maximizaron la ganancia diaria de peso (798, 742 y 761 g/día) se encontraron utilizando concentraciones de 11.2, 10.1 y 10.9 g/kg de L-lisina y 175, 156 y 168 g/kg de PC para machos, machos castrados y hembras respectivamente.

Por otro lado Williams *et al.* (1984) encontraron que la máxima respuesta productiva en machos enteros de 35 a 60 kg de peso fue obtenida con un consumo diario de 18 gr de L-lisina; aunque las recomendaciones del NRC (1979) sugieren para machos castrados y hembras en el mismo rango de peso un consumo diario de L-lisina de 12.2 gr, datos que para 1988 de acuerdo con el NRC fueron de 14.3 gr en rangos de peso de 20 a 50 kg sexo indefinido y para 1998 de 17.5 g/día.

2.2.5.2. Efecto del genotipo sobre el consumo de alimento en cerdos en crecimiento

Para una óptima utilización de la proteína, los cerdos necesitan una dieta con una apropiada relación aminoácidos:energía. Esta óptima relación es probablemente dependiente de la capacidad genética de los animales para depositar eficientemente la proteína como músculo (Batterham *et al.*, 1985; Campbell *et al.*, 1985). Las variaciones genéticas en los sistemas de producción para cerdos en crecimiento demuestran que no solo existen variaciones en la ganancia de peso para todo el periodo de crecimiento, sino también dentro de cada fase del crecimiento, demostrando que la ganancia diaria de peso están

en función del peso vivo dentro de diferentes líneas genéticas (Kanis *et al.*, 1990).

Krieter (1986), citado por Kanis *et al.* (1990) demostró que la ganancia diaria de peso esta en función del peso vivo en hembras de la raza Pietrain, las cuales mostraron menores curvas de crecimiento que hembras de raza Landrace Germánica y Belga, y que estas dos últimas solo mostraron diferencias en la ganancia diaria de peso. Debido al mejoramiento genético, el potencial en la deposición de tejido demanda cada vez mayores requerimientos de aminoácidos, sin embargo la información existente concerniente a la capacidad en la deposición de proteína o aminoácidos es escasa (Bikker, 1994). Además, las determinaciones de los requerimientos de L-lisina en su mayoría se han realizado con un nivel de energía y *ad libitum* por lo cual el consumo de energía a diferente contenido de L-lisina es diferente. Es por esto que la relación proteína:energía esta afectada por el consumo de energía, teniendo menores requerimientos de proteína conforme el aumento en el consumo de energía es mayor según lo demuestra Campbell *et al.* (1984) en machos de 45 a 90 kg.

2.2.5.3 Efecto de la edad y peso sobre el consumo de alimento en cerdos en crecimiento

Algunas de las diferencia entre experimentos han sido relacionadas con los animales; aunque los requerimientos de aminoácidos no incrementan proporcionalmente respecto a la edad y peso, los de energía muestran

incrementos conforme las concentraciones de aminoácidos soportan el máximo comportamiento productivo en animales de 25 a 100 kg (Batterham *et al.*, 1985).

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

Tradicionalmente el nivel óptimo biológico (NOB) de L-lisina en dietas de cerdos en crecimiento ha sido definido como la cantidad de L-lisina necesaria para maximizar la respuesta en ganancia de peso, minimizando la conversión alimenticia (García, 1998). Por otra parte los requerimientos de L-lisina publicados por las distintas instituciones (ARC, 1981; NRC, 1988 y 1998) a diferencia del NOB no necesariamente maximizan la ganancia de peso, mas bien son un estándar que sirve como guía al establecer un requerimiento para una población dada y por otro lado, las recomendaciones del nivel de L-lisina de los distintos autores a diferencia del NOB y los requerimientos estándares muestran una posición específica y se derivan de la propia experiencia del investigador. Sin embargo los NOB y los requerimientos estimados ha sido muy variable (0.70-1.32), debido a que influyen un sin numero de factores en su determinación. En el Cuadro 5. se reportan los requerimientos publicados por el NRC (1988, 1998), y los NOB determinado por distintos autores.

Cuadro 5. Comparación del NOB de L-lisina de diversos autores y los requerimientos del NRC (1988 y 1998).

Autor (es)	Expto.	Rango de peso (kg)	Sexo ^A	Requerimientos NRC		Recomendaciones Nivel óptimo biológico de L-lisina (%)
				L-lisina (%) 1988	L-lisina (%) 1998	
Williams <i>et al.</i> , 1984	3	37-55	M	0.75	0.95	0.86
Williams <i>et al.</i> , 1984	4	30-55	M	0.75	0.95	0.86
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	23-58	M	0.75	0.95	0.86
Martínez <i>et al.</i> , 1990	2	20.5-50	H, MC	0.75	0.95	0.86
Gatel <i>et al.</i> , 1992	1	23-60	H	0.75	0.95	0.95
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	20-50	M	0.75	0.95	1.00
Batterham <i>et al.</i> , 1985	2	20-50	H	0.75	0.95	0.99
Giles <i>et al.</i> , 1987	1	20-50	M	0.75	0.95	1.20
Giles <i>et al.</i> , 1987	2	20-50	H	0.75	0.95	0.70
Giles <i>et al.</i> , 1987	3	20-50	M	0.75	0.95	1.20
Giles <i>et al.</i> , 1987	4	20-50	H	0.75	0.95	0.70
Giles <i>et al.</i> , 1986	1	20-50	M	0.75	0.95	1.22
Giles <i>et al.</i> , 1986	2	20-50	H	0.75	0.95	1.02
González y Orozco, 1996	1	20-50	H,MC	0.75	0.95	1.32

^A M=Macho entero; MC= Macho castrado y H=Hembra.

2.2.7. Nivel óptimo económico L-lisina en cerdos en crecimiento

El nivel óptimo económico de nutrimentos en la dieta, es aquel que determina la máxima utilidad (\$) para el productor (González-Alcorta, 1994). Las utilidades se calculan como la diferencia entre ingresos totales y costos totales (Binger y Hoffman, 1988). Dentro del contexto de utilidades, y del nutriólogo, los principales conceptos para determinar el ingreso y los costos son la venta del producto y los costos de alimentación respectivamente.

De acuerdo con la información disponible y debido a que se han realizado pocos trabajos para estimar el nivel óptimo económico de L-lisina de cerdos en crecimiento y a que las metodologías actuales se encuentran en fase de investigación, algunas estimaciones se presentan en el Cuadro 6 notándose claramente que existe una gran variación en cuanto a los resultados.

Cuadro 6. Nivel óptimo económico de L-lisina en cerdos en crecimiento.

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

^A M=Macho entero; MC= Macho castrado y H=Hembra.

2.2.8. Teoría Microeconómica

Dentro de los criterios que existen para realizar el análisis biológico y económico en el proceso de producción de carne de cerdo se cuenta con la metodología de la función de producción, la cual proporciona una idea muy acertada de la combinación óptima de recursos que mejora el proceso de producción. La metodología de la función de producción incluye el efecto del tiempo sobre el proceso de respuesta de una función de producción que permite obtener los resultados más próximos a la realidad. La función de producción es una relación matemática que toma en cuenta todos los factores

que influyen en el producto. En el proceso de engorda de cerdos, entonces se puede combinar esta información con datos sobre precios y costos de oportunidad para juzgar cuál sería la mejor combinación de nutrientes que habrá de emplear el productor para obtener la máxima respuesta biológica o económica. Además de estudiar los efectos que tendría sobre la producción y el empleo de insumos que influyen en los precios y en la cantidad de recursos de que dispone el productor.

En el análisis de una función de producción, el producto suele denotarse por Y y la cantidad del i -ésimo factor por X_i . Esto es: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$.

La ecuación proporciona información referente a que la cantidad de producto Y (o variable dependiente) está determinada por las cantidades de los factores $X_1, X_2, \dots, X_n$, no especificándose la forma algebraica precisa de la función de producción. Los insumos $X_1, X_2, \dots, X_n$ pueden clasificarse de varias formas. Algunos se hallan bajo el control del productor, otros no. Unos serían inciertos otros no. Algunos serían muy importantes otros de poca importancia. Normalmente la función de producción se estimará en función de un número pequeño de insumos importantes, por ejemplo $X_1, X_2, \dots, X_n$, que son variables (es decir sin tamaño fijo) y están bajo el control del productor como es el caso de la concentración de nutrientes en la dieta.

En nutrición animal la relación nutrientes-ganancia de peso sigue la ley de rendimientos decrecientes. A medida que se emplean nutrientes adicionales a la dieta, cada unidad extra ocasionará un menor aumento del producto Y , (peso vivo) traspasando cierto nivel de uso, las unidades extras del nutriente en la

dieta pueden ser la causa de un descenso del producto. Dicho de otra manera el producto físico marginal del i -ésimo insumo ($i=1, 2, \dots, n$) denotado por PFM_i y calculado como la primera derivada dy/dx_i , disminuye a medida que x_i aumenta.

Desde un punto de vista biológico y económico (definida esta como la combinación óptima de los nutrimentos para obtener la máxima ganancia de peso (NOB) y utilidad (\$) (NOE), sólo interesa esa parte de la función de producción (es decir, la región de la superficie de producción) en donde cada factor tiene un producto marginal decreciente pero positivo. Esto supone que para un análisis biológico y económico significativo, toda función de producción estimada debe tener primeras derivadas positivas, o sea, $(dy/dx_i) > 0$, y segundas derivadas negativas, o sea $(d^2y/d^2x_i) < 0$ dentro del rango pertinente de interés (Gould y Lazear, 1994).

Gahl *et al.* (1995) proponen una alternativa para predecir las respuestas biológicas a niveles de nutrimentos, y posteriormente determinar los niveles óptimos económicos de nutrimentos en dietas para cerdos (NOE), la cual utiliza los parámetros de un modelo matemático que incorpora de mejor forma el concepto de los retornos decrecientes, en lugar de asumir una eficiencia constante en términos de incremento de peso por unidad de nutrimento añadido en la dieta, estimando así el óptimo consumo de nutrimentos, basándose en los precios locales de los ingredientes. Obviamente, los días a mercado y los cambios en la composición corporal pueden ser considerados en las decisiones para la formulación final de la dieta (Gahl *et al.*, 1995).

La respuesta a rendimientos decrecientes puede ser tomado en consideración cuando se formulan dietas para cerdos, por que la eficiencia de utilización de L-lisina declina conforme la máxima ganancia es alcanzada. La disminución de la curva en eficiencia es económicamente muy importante en el establecimiento de la concentración de nutrimentos para un óptimo retorno económico.

Un sistema de evaluación económica puede ser desarrollado utilizando modelos matemáticos para estimar la concentración y fuente de nutrimentos consumidos que maximize el crecimiento animal y/o el retorno económico (\$) (Gahl *et al.*, 1995). Por que la relación entre costos marginales, productos marginales y cambios en los precios pueden influenciar la óptima concentración de nutrimentos si el máximo retorno económico es definido como el objetivo, en lugar de el máximo comportamiento productivo. El impacto de rendimientos decrecientes sobre el desempeño económico es ya un viejo concepto, pero puede ser considerado como un componente importante en la formulación moderna de dietas (Gahl *et al.*, 1995).

En un análisis retrospectivo Heady *et al.* (1954), citado por Gahl *et al.* (1995), encontró que utilizando el concepto de rendimientos decrecientes marginales, en dietas formuladas para cerdos se pudieron tener ganancias superiores que con dietas formuladas para máxima ganancia de peso. Consecuentemente, la máxima utilidad económica (\$) por la venta del producto, puede no ocurrir con dietas formuladas para máxima ganancia y estas dietas puede variar según las

situaciones cambiantes, en base al tipo de ingrediente utilizado, los niveles de nutrimentos en la dieta, el costo de los ingredientes y el precio del producto en pie entre otros (Gahl *et al.*, 1995).

III. PROBLEMÁTICA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Debido a que los niveles óptimos biológico y económico de L-lisina para cerdos en crecimiento presentan mucha variabilidad y a que no son muy confiables por la falta de investigación al respecto, se plantea la siguiente problemática, hipótesis y objetivos basados en los marcos conceptuales y de referencia.

3.1. Problemática

- I. Se desconoce si los niveles óptimos biológicos de L-lisina para cerdos en crecimiento coinciden con los requerimientos del NRC (1998).
- II. Se desconoce si los niveles óptimos biológicos y económicos de L-lisina para cerdos en crecimiento coinciden.
- III. No existe una metodología básica, ni un sistema de formulación de máxima utilidad accesible y ajustable por el nutriólogo en cerdos, que optimice el uso de recursos y realice un análisis de sensibilidad de precios.

3.2. Hipótesis

- I. Los niveles de L-lisina que maximizan la ganancia de peso de cerdos en crecimiento son diferentes a los requerimientos del NRC (1998).
- II. Los niveles óptimos biológico y económico no coinciden.
- III. El nivel de L-lisina que maximiza las utilidades del productor es sensible a los cambios de precios.

3.3. Objetivos

- I. Estimar los niveles de L-lisina que maximizan la ganancia de peso.
- II. Estimar los niveles de L-lisina que maximizan las utilidades del productor.
- III. Realizar un análisis de sensibilidad de precios y su efecto sobre el nivel óptimo económico de L-lisina en cerdos de 20 a 50 kg de peso vivo.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para la formulación de dietas de máxima utilidad se encuentra en la fase de investigación. Algunos de los pasos metodológicos que se han identificado como necesarios para maximizar las utilidades en la Industria de alimentos balanceados y del productor son los siguientes: 1) Colección de datos experimentales y/o de producción; 2) Estimación de parámetros en los modelos empíricos o mecanísticos; 3) Selección del mejor modelo de predicción; 4) Construcción del modelo econométrico para formulación de dietas de máxima utilidad, y con requerimientos variables; 5) Solución del modelo econométrico; 6) Análisis de sensibilidad de precios y 7) Comparación entre los sistemas de formulación.

4.1. Colección de datos de literatura y ensayo biológico

La obtención de datos experimentales y/o de producción es necesaria dado que la técnica de FMU utiliza por lo menos dos tipos de estimaciones para elegir el nivel óptimo económico de nutrimentos en la dieta: La estimación de la respuesta de consumo de alimento y la estimación de la respuesta de ganancia de peso. Dichas estimaciones se realizan a través de modelos empíricos y/o mecanísticos. Los datos experimentales y/o de producción son requeridos para estimar los parámetros de los modelos de regresión.

Los datos utilizados para estimar los niveles óptimos biológico y económico de L-lisina en cerdos en crecimiento provienen de una revisión bibliográfica y de un ensayo biológico.

Revisión bibliográfica considerando: Artículos científicos realizados en el período de 1984 a 1995, en los cuales se plantea la determinación del requerimiento de L-lisina para cerdos en la etapa de crecimiento (20 a 60 kg de peso). Para evitar la interacción respecto a otros nutrimentos en las dietas solo se tomaron aquellas investigaciones en donde se mantuvieron niveles isoenergéticos e isoproteicos en raciones formuladas principalmente con algún cereal y pasta de soya y en donde a partir de una dieta basal se suplementaron por lo menos 3 niveles de L-lisina. El aporte de nutrimentos de los ingredientes de las dietas básicas de los autores y los de la presente investigación fueron estandarizados con los valores reportados por el NRC (1988), con los que se construyó una base de datos (Apéndice 1).

Experimento. La colección de datos experimentales para estimar los niveles óptimos biológico y económico proviene de un ensayo biológico realizado en el módulo de porcinos de la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el Municipio de Texcoco en el Estado de México, localizada a 19° 22' de latitud Norte y 98° 35' de longitud Oeste, a una altura de 2250 msnm, el clima de la zona corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano con la siguiente fórmula climática $C(W_o)(W)b(i)g$, con poca oscilación térmica (5-7 °C), una temperatura media anual de 15.2 °C. y precipitación media anual de 644.8 mm. (García, 1988).

Para el desarrollo del experimento se utilizaron 32 cerdos (16 machos castrados y 16 hembras), con 20 kg de peso promedio y una edad aproximada de 77 días, provenientes de cerdas híbridas de diferente número de partos de las razas Yorkshire X Hampshire con las que se realiza un cruzamiento rotativo con sementales Large White y Hampshire; libres de Fiebre porcina clásica y previamente desparasitados. Los cerdos se alojaron en 16 corrales, con piso de cemento, comedero automático de tolva y bebedero de pileta. Se asignó un corral por cada dos cerdos (una hembra y un macho castrado). Una dieta basal de mínimo costo, fue formulada por programación lineal con el programa UFFDA (Pesti *et al.*, 1988), garantizando todos los requerimientos nutrimentales recomendados por el NRC (1988), para la etapa de crecimiento (20-50 kg). La utilización de arena esterilizada como material inerte permitió modificar el % de L-lisina en la dieta, para lo cual mediante la sustitución de esta y la administración de HCl-lisina, se logró obtener niveles de 0.72, 0.92, 1.12, y 1.32 % en las raciones respectivamente (Cuadro 7).

Para obtener una mezcla homogénea y evitar problemas con los microelementos de la dieta se mezclaron cuidadosamente los ingredientes manteniendo un igual tiempo de mezclado y asignación de los ingredientes en todas las dietas elaboradas (Poole, 1995). Los animales se pesaron semanalmente considerando como final del experimento un peso promedio de 50 kg, asimismo se les midió el consumo de alimento ofrecido y el rechazo. Los datos fueron capturados en hojas de registro y posteriormente procesados por computadora, considerando las variables: peso inicial, peso final, consumo

acumulado de alimento y ganancia acumulada de peso. Se realizó un análisis de varianza con un modelo completamente al azar: $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$, (Apéndice 2).

Cuadro 7. Niveles de L-lisina utilizados y composición de las dietas

INGREDIENTES	0.72 %	0.92 %	1.12 %	1.32 %
Sorgo	75.52	75.52	75.52	75.52
P. Soya	18.82	18.82	18.82	18.82
Aceite	2.41	2.41	2.41	2.41
L-Lisina HCl *	0	0.25	0.51	0.76
Arena	0.76	0.51	0.25	0
Ortofosfato	0.79	0.79	0.79	0.79
CaCO ₃	1.05	1.05	1.05	1.05
Sal	0.40	0.40	0.40	0.40
Vit. y Min. **	0.25	0.25	0.25	0.25
Total kg	100	100	100	100
Análisis Calculado				
EM (Mcal / kg)	3.26	3.26	3.26	3.26
PC %	15.0	15.0	15.0	15.0
L-Lisina %	0.72	0.92	1.12	1.32
Met. + Cis. %	0.44	0.44	0.44	0.44
Treonina %	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptofano %	0.19	0.19	0.19	0.19
Ca %	0.60	0.60	0.60	0.60
P %	0.50	0.50	0.50	0.50

* Se utilizó HCl-lisina sintética de la Compañía FERMEX.

** Cada kg de premezcla de vitaminas y minerales aportó: Vit. A 8'000,000 U.I.; Vit. D₃ 1'500,000 U.I.; Vit. E 20,000 U.I.; Vit. K 1.2 g; Tiamina (B1) 1.0 g; Ribo flavina (B2) 4.0 g; Cianocobalamina (B12) 0.02 g; Ácido fólico 0.5 g; Piridoxina 1.0 g; D-Pantotenato de calcio 10.0 g; Niacina 20.0 g; Biotina 0.08 g; Cloruro de colina 250.0 g; Hierro 80.0 g; Manganeseo 20.0 g; Cobre 10.0 g; Iodo 1.0 g; Zinc 80.0 g; Selenio 0.30 g; Antioxidante 125.0 g; Vehículo c.b.p. 2,500 g. (Comercialmente la premezcla se denomina ROVIMIX 3251 Fabricado por la Compañía ROCHE).

4.2. Descripción de las ecuaciones y procedimientos de estimación

El consumo acumulativo de alimento y la ganancia acumulativa de peso (Y_i) fueron estimados a través de los modelos lineales (I, II) y no lineales (III, IV, V), mismos que predicen el comportamiento productivo a partir del nivel total de L-lisina en la dieta (X_i). Los modelos utilizados fueron los siguientes.

Modelo Lineal (Steel y Torrie, 1985).

$$[I] \quad Y_i = b_0 + b_1 X_i + e_i$$

En donde b_0 y b_1 fueron los parámetros a estimar.

Modelo Cuadrático (Steel y Torrie, 1985).

$$[II] \quad Y_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 + e_i$$

En donde b_0 , b_1 y b_2 fueron los parámetros a estimar.

Modelo Lineal con Meseta (Morris y Blackburn, 1982).

$$[III] \quad Y_i = \text{MAX} + \text{RC} * (\text{REQ} - X_i) * I + e_i$$

Sujeto a: $I = 0$ si $X_i < \text{REQ}$ o $I = 1$ si $X_i > \text{REQ}$

En donde MAX, RC y REQ fueron los parámetros a estimar.

Modelo Cuadrático con Meseta (Gallan y Fuller, 1973).

$$[IV] \quad Y_i = \text{MAX} + \text{RC} * ((\text{REQ} - X_i)^2) * I + e_i$$

Sujeto a: $I = 0$ si $X_i < \text{REQ}$ o $I = 1$ si $X_i > \text{REQ}$.

En donde MAX, RC y REQ fueron los parámetros a estimar.

Modelo Exponencial (Noll *et al.*, 1984).

$$[V] \quad Y_i = A + B * (1 - \text{EXP}(C * X_i)) + e_i$$

En donde A, B y C fueron los parámetros a estimar.

Todas las regresiones para los modelos y estimación de parámetros, fueron realizadas usando el paquete estadístico SAS (SAS, 1985). En el Apéndice 2 se muestran los programas SAS utilizados para la estimación de los parámetros (Apéndice 3) para los artículos de Williams *et al.*, 1984; Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico. Se registró el cuadrado medio del error (Apéndice 4), para posteriormente seleccionar el mejor modelo de predicción.

4.3. Selección del mejor modelo de predicción

El criterio principal utilizado para comparar los modelos, fue el tamaño relativo de los cuadrados medios del error (**CME**) obtenidos cuando los parámetros de los modelos fueron estimados. Los seis modelos fueron jerarquizados, y agrupados de acuerdo al número de parámetros. Las comparaciones fueron realizadas por medio de la prueba de Friedman (Conover, 1980; Ramírez y López, 1993) que sirve como guía para indicar el modelo que mejor predice la respuesta de consumo de alimento y ganancia de peso a partir de la suplementación de L-lisina en la ración (Apéndice 5).

4.4. Construcción del modelo econométrico para formulación de dietas de máxima ganancia de peso y máxima utilidad

Los modelos econométricos se construyeron con dos conceptos principalmente: a) La función objetivo; y b) Las restricciones; permitiendo así conocer el NOB y NOE de L-lisina respectivamente. Las restricciones consistieron de cuatro tipos de conceptos: 1) Estimación del consumo de

alimento y peso del cerdo, como respuesta a diferentes niveles de L-lisina en la dieta; 2) Aporte de nutrimentos de los ingredientes; 3) Limites de utilización de ingredientes; y 4) Condiciones de no negatividad.

4.4.1 Modelo econométrico para maximizar la ganancia de peso

La función objetivo en este modelo fue maximizar la ganancia de peso y esta se determinó bajo el siguiente modelo: $GP = b_0 + b_1 * \text{L-lisina} + b_2 * (\text{L-lisina})^2 + \text{Error}$, modelo (II) cuadrático de Steel y Torrie (1985). La ganancia de peso se maximizó con el siguiente modelo: **Max GP = f (modelo II).....[VII]**

Ecuación

sujetos a: $(Ax \geq b)$(1)

$(x \geq 0)$(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 límite de inclusión de los ingredientes con forme 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.

4.4.2 Modelo econométrico para maximizar las utilidades

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

$$\text{Max } U = p * PC * CA * (c' x) \dots\dots\dots [VIII]$$

Ecuación

$$\text{sujetos a: } NL\text{-lis} = \epsilon'x \dots\dots\dots (3)$$

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

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

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

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 de costos de los ingredientes (\$/kg), **x** es el vector de los ingredientes proporcionados en la dieta (unidades libres), **NL-lis** es el nivel de L-lisina total 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 contenida 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.

4.5. Solución del modelo econométrico

La solución del modelo econométrico se realizó a través de paquetes de computo que optimizan el empleo de recursos disponibles conforme al objetivo planteado en el modelo. Las técnicas de solución que se programan pertenecen a la ciencia de investigación de operaciones. Los supuestos matemáticos que deben cubrirse para encontrar una solución óptima se denominan condiciones Kuhn-Tucker (Winston, 1991). El programa que se utilizó para encontrar la solución óptima fue EXCEL V. 5 (Microsoft) (Apéndice 9). La solución del modelo econométrico dio como resultados: 1) El cálculo de la máxima utilidad y ganancia de peso para el productor y cerdos respectivamente; 2) La estimación del consumo de alimento y la ganancia de peso de los cerdos que maximizan la utilidad y peso vivo; 3) La estimación de niveles de L-lisina que producen el consumo de alimento y la ganancia de peso que maximiza la utilidad y peso vivo; y 4) La asignación de ingredientes de manera óptima en las dietas.

4.6. Análisis de sensibilidad de precios

El análisis de sensibilidad consiste en hacer variar un parámetro, que en este caso es el precio de la HCl-lisina o el precio del cerdo en un 10, 20 y 30 % superior e inferior a su precio normal, y observar su efecto sobre el NOE de L-lisina.

4.7 Comparación de utilidades entre FMC y FMU

Con los trabajos de Williams *et al.* (1984), Batterham *et al.* (1985) y el ensayo biológico se realizó una comparación de utilidades entre los 2 tipos de formulación (FMC vs. FMU) en una granja porcícola con 100 cerdos en crecimiento.

V. RESULTADOS

Ensayo biológico

El análisis de varianza no indicó diferencias por efecto del nivel de L-lisina en consumo acumulado de alimento (CAA) y ganancia acumulada de peso (GAP) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de la suplementación de L-lisina sobre el consumo acumulado de alimento (CAA) y ganancia acumulada de peso (GAP) en cerdos de 20 a 50 kg de peso vivo.

L-lisina (%)	CAA (kg)		GAP (kg)	
	Media	EE	Media	EE
0.72	87.512a	4.535	27.250a	1.089
0.92	89.375a	3.323	27.375a	0.625
1.12	91.775a	4.187	29.375a	0.515
1.32	91.250a	4.217	29.125a	1.712

Error estándar; Medias con distinta letra son diferentes ($P < 0.05$)

Los trabajos científicos seleccionados de la literatura y la información detallada de cada uno de ellos incluyendo los niveles de nutrimentos reportados por cada autor y estandarizados en la presente investigación, respecto al contenido de proteína cruda (PC), energía metabolizable (EM/Mcal/kg) y L-lisina en la ración se presentan en el Apéndice 6 y 7. Los trabajos seleccionados para determinar los NOB Y NOE se presentan en los Cuadros 9 y 10.

Cuadro 9. Artículos seleccionados de la literatura.

Autor	Expto.	Rango de peso (kg)	Sexo ^A	Raza ^B	Niveles de L-lisina	Dieta base
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	23-58	M	Y	4	maíz-soya
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	20-50	M	LW	4	trigo-soya

^A M=Macho entero; ^B Y=Yorkshire; LW=Large white.

Cuadro 10. Valores determinados (DET) y estandarizados (EST) del porcentaje de PC, EM/kg y contenido de L-lisina de los experimentos seleccionados.

Autor	Expto.	PC (%)		EM/kg		L-lisina (%)	
		DET	EST	DET	EST	DET	EST
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	16	16	NR ^c	3.34	0.83 a 1.06	0.80 a 1.03
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	17.4	16	3.21	3.21	0.70 a 1.00	0.74 a 1.04

^c NR=No reportado en la literatura citada.

Los resultados de la prueba de Friedman derivados de la jerarquización (Apéndice 8) de los CME, y la prueba de comparación de medias derivada de dicho procedimiento se presentan en el Cuadro 11. Pudo observarse que la variable consumo de alimento fue estimada con precisión muy semejante a través de los modelos lineal, lineal con meseta y cuadrático con meseta presentando diferencias significativas ($P < 0.1$) respecto a los modelos cuadrático y exponencial. Dado que el modelo lineal con meseta presenta el número menor de acuerdo a la jerarquización (2.285) se selecciono como el mejor modelo para predecir dicha variable. Por otra parte los modelos lineal,

cuadrático, lineal con meseta y cuadrático con meseta estimaron de manera muy similar la variable ganancia de peso mostrando diferencias significativas ($P < .05$) respecto al modelo exponencial, el cual resulto ser el peor modelo. De igual forma que en la variable consumo de alimento el modelo lineal con meseta se seleccionó como el mejor modelo dado que presentó el menor valor jerárquico (1.892).

Cuadro 11. Selección de los modelos de regresión lineal y no lineal a través de la prueba de Friedman.

Fuente de variación		Lineal	Cuadrático	Lineal con Meseta	Cuadrático con Meseta	Exponencial
Consumo de alimento ¹	de	2.785 ^b	3.142 ^a	2.285 ^b	2.785 ^b	4.0 ^a
Ganancia de peso ²	de	2.892 ^b	3.357 ^b	1.892 ^b	2.321 ^b	4.535 ^a

Hilerass sin letra común son diferentes 1= ($P < .1$) 2=($P < .05$)

La solución óptima para los modelos econométricos que maximizan la ganancia de peso y las utilidades se presentan en los Cuadros 12 y 13.

Para estimar NOE con optimizadores se requiere de modelos continuos, como el lineal o cuadrático. Por otra parte, el NOB se pueden estimar utilizando modelos no continuos como el lineal con meseta.

Cuadro 12. Solución óptima para los trabajos de Williams *et al.*, 1984; Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico, que maximizan la ganancia de peso (NOB).

	Williams <i>et al.</i>, 1984	Batterham <i>et al.</i>, 1985	Ensayo biológico
Máxima ganancia de peso (kg)	34.1113	30.2661	29.3323
NOB de L-lisina (%)	0.9380	1.172	1.32
Inclusión óptima de ingredientes en la dieta (%)			
Sorgo	76.011	76.084	76.130
Pasta de soya	18.022	17.272	16.795
Aceite	2.538	2.834	3.022
DL-metionina	0.035	0.039	0.041
HCl-lisina	0.323	0.666	0.884
Carbonato de calcio	0.532	0.514	0.503
Ortofosfato	1.889	1.941	1.974
Sal	0.400	0.400	0.400
Vitaminas	0.100	0.100	0.100
Minerales	0.150	0.150	0.150
Análisis Calculado			
EM (Mcal / kg)	3.260	3.260	3.260
PC %	15	15	15
L-Lisina %	0.938	1.172	1.32
Ca %	0.6	0.6	0.6
P %	0.5	0.5	0.5

Cuadro 13. Solución óptima para los trabajos de Williams *et al.*, 1984; Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico, que maximizan las utilidades (NOE).

	Williams <i>et al.</i>, 1984	Batterham <i>et al.</i>, 1985	Ensayo biológico
Máxima ganancia de peso (kg)	34.0771	29.1273	27.0436
NOB de L-lisina (%)	0.915	0.941	0.72
Inclusión óptima de ingredientes en la dieta (%)			
Sorgo	76.003	76.012	75.934
Pasta de soya	18.097	18.012	18.723
Aceite	2.508	2.542	2.261
DL-metionina	0.035	0.035	0.032
HCl-lisina	0.289	0.328	0.003
Carbonato de calcio	0.533	0.531	0.548
Ortofosfato	1.884	1.890	1.841
Sal	0.400	0.400	0.400
Vitaminas	0.100	0.100	0.100
Minerales	0.150	0.150	0.150
Análisis Calculado			
EM (Mcal / kg)	3.260	3.260	3.260
PC %	15	15	15
L-Lisina %	0.915	0.941	0.72
Ca %	0.6	0.6	0.6
P %	0.5	0.5	0.5

Con el análisis de sensibilidad se encontró que el NOE de L-lisina estimado en el ensayo biológico y en los trabajos de Williams *et al.*, 1984 y Batterham *et al.*, 1985, fue sensitivo a los cambios de precio del kg de la HCl-lisina y del cerdo en pie en el rango probado (Cuadro 14 y 15).

Cuadro 14. Análisis de sensibilidad con el precio de la HCI-lisina realizado en los trabajos de Williams *et al.*, 1984; Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico.

Williams <i>et al.</i> , 1984			Batterham <i>et al.</i> , 1985		Ensayo biológico	
N = precio	Optimo	Utilidades	Optimo	Utilidades	Optimo	Utilidades
Normal	Económico	(\$)	Económico	(\$)	Económico	(\$)
N - 30 %	0.922	144.0605	0.947	134.9854	1.32	68.588
N - 20%	0.919	143.5079	0.945	134.4979	1.32	66.730
N - 10 %	0.917	142.9659	0.943	134.0152	1.32	64.871
N (\$23)	0.915	142.4281	0.941	133.537	0.72	67.176
N + 10 %	0.913	141.8965	0.940	133.0633	0.72	67.169
N + 20 %	0.910	141.3712	0.938	132.5941	0.72	67.162
N + 30 %	0.908	140.8518	0.936	132.1293	0.72	67.156

Cuadro 15. Análisis de sensibilidad con el precio del cerdo en pie realizado en los trabajos de Williams *et al.*, 1984; Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico.

Williams <i>et al.</i> , 1984			Batterham <i>et al.</i> , 1985		Ensayo biológico	
N = precio	Optimo	Utilidades	Optimo	Utilidades	Optimo	Utilidades
Normal	Económico	(\$)	Económico	(\$)	Económico	(\$)
N - 30 %	0.905	47.3938	0.917	52.6082	0.72	-8.276
N - 20%	0.909	79.0605	0.926	79.5044	0.72	16.874
N - 10 %	0.912	110.7399	0.934	106.4834	0.72	42.025
N (\$9.3)	0.915	142.4281	0.941	133.537	0.72	67.176
N + 10 %	0.917	174.1227	0.949	160.6581	0.72	92.326
N + 20 %	0.919	205.8221	0.955	187.8407	0.72	117.477
N + 30 %	0.920	237.5253	0.961	215.0791	1.32	144.849

La FMU arrojó \$247, 518 Y 140 de utilidades extras para los trabajos de Williams *et al.*, 1984; Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico, comparado con la FMC para una empresa porcícola semitecnificada con 100 cerdos en crecimiento (Cuadro 16).

Cuadro 16. Comparación de utilidades con la FMC y FMU en una empresa porcícola semitecnificada con 100 cerdos en crecimiento.

Tipo de formulación	Autor	L-lisina (%)	Costo de la dieta \$/kg	Utilidades (\$)	Utilidades extras (\$)
FMC	Williams <i>et al.</i> , 1984	0.95	2.15	13,995	
FMU	Williams <i>et al.</i> , 1984	0.91	2.17	14,242	247
FMC	Batterham <i>et al.</i> , 1985	0.95	2.15	12,835	
FMU	Batterham <i>et al.</i> , 1985	0.94	2.18	13,353	518
FMC	Ensayo biológico	0.95	2.15	6,577	
FMU	Ensayo biológico	0.72	2.11	6,717	140

VI. DISCUSIONES

Los NOB de L-lisina estimados en el ensayo biológico (1.32 %) y en los trabajos de Williams *et al.*, 1984 (0.938 %) y Batterham *et al* 1985 (1.172 %), son diferentes a los requerimientos publicados por el NRC (1998), para la etapa de 20 a 50 kg de peso (0.95 %). Es importante señalar que el NOB de L-lisina en la ración se ve afectado por la cantidad de alimento consumido voluntariamente, mismo que depende de factores sensoriales, tales como la temperatura, el olfato y el tacto; cerebrales, tales como el control del balance energético vía el hipotálamo y la pituitaria; hormonales y metabolitos como la somatomedina, glucosa, insulina y glucagón; digestivos, como el tamaño de partícula del alimento, digestibilidad de la dieta, frecuencia de alimentación y consumo de agua y nutrimentos tales como el contenido de proteína y energía de la ración (NRC, 1987).

De acuerdo al consumo diario de nutrimentos publicados por el NRC (1988) para cerdos de 20 a 50 kg alimentados a libre acceso y a las estimaciones para 1998 se tiene en el mismo orden de ideas, un consumo diario de alimento de 1,900 y 1,855 g/día; un consumo esperado de energía metabolizable (EM) de 6,200 y 6,050 Kcal/día; un consumo de proteína de 285 y 333.9 g/día y un requerimiento diario de L-lisina de 14.3 y 17.5 g.

Los datos anteriores sugieren al igual que en los trabajos de Williams *et al.*, 1984, Martínez *et al.*, 1990, Gatel *et al.*, 1992, Batterham *et al.*, 1985, Giles *et al.*, 1986 y 1987 y Crenshaw *et al.*, 1995, en donde los NOB estimados fueron superiores

al nivel recomendado por el NRC (1988) pero muy cercanos a las estimaciones del NRC (1998) que existe un avance de selección y nutrición muy importante en la especie, notándose una disminución en el requerimiento de EM y un incremento en el consumo de proteína y aminoácidos, lo que conduce a un acercamiento entre NOB y requerimiento del NRC (1998); por lo que es importante continuar en la línea de investigación en torno a el NOB de L-lisina que nos permita dilucidar las observaciones.

Los NOB y NOE de L-lisina estimados en el ensayo biológico y en los experimentos de Williams *et al.*, 1984 y Batterham *et al.*, 1985 no coincidieron entre sí. Esos resultados son muy similares a los encontrados por Crenshaw *et al.* (1995) en donde los NOB (0.80 %) y económico (0.75 %) fueron diferentes.

Frecuentemente, al igual que en la selección de modelos de la presente investigación, ha sido utilizando un modelo lineal con meseta (Break-point) para la estimación de requerimientos (Boomgaardt y Baker, 1971, 1973; Baker *et al.*, 1975; Gahl *et al.*, 1995) sin embargo, se podría sobrestimar el requerimiento de L-lisina (Morris *et al.*, 1982), ya que la teoría original del modelo fue desarrollada para producción en gallinas ponedoras y como consecuencia, el uso de un modelo u otro afectará la estimación del NOB y NOE del modelo econométrico. Lo anterior indica que el establecimiento del requerimiento de L-lisina derivado de la máxima ganancia de peso como principal criterio (NRC, 1988) depende del modelo utilizado.

Fuller y Garthwaite (1993) examinaron la respuesta a la suplementación de aminoácidos en cerdos y basados en el cuadrado medio del error seleccionaron

un modelo de saturación cinética. Lo cual indica que debe continuar la investigación en torno al método utilizado para el establecimiento de la concentración de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento.

Por otra parte, en el ensayo biológico y en los experimentos de Williams *et al.* (1984) y Batterham *et al.* (1985) y de acuerdo a la teoría microeconómica el NOB y NOE de L-lisina fueron diferentes, debido al bajo precio del cerdo y el alto costo de la ración. Para lograr que el NOB de L-lisina en cerdos en crecimiento (máximo peso vivo del cerdo) sea igual al NOE (máxima utilidad), se necesita de un mejor precio del cerdo; una disminución en el costo de la ración o quizás una mezcla de ambos; por ejemplo, con un buen precio del cerdo en el sistema de FMU, el nivel de L-lisina con el que se logra la máxima utilidad (NOE) se tendría con la máxima ganancia de peso (NOB); por otro lado con un bajo costo del alimento, el NOE en el modelo econométrico para la FMU sería igual al NOB ya que el cerdo podría consumir el máximo de alimento, coincidiendo en este momento el NOB y NOE; o bien, serían iguales si se logrará un buen precio del cerdo y un bajo costo del alimento a la vez.

El NOE de L-lisina fue sensitivo a los cambios de precio del kg de cerdo en pie y de la L-lisina sintética, resultados que coinciden a los reportados por Constantino y Gil (1996) en donde al disminuir o incrementar en un 15 % el precio normal del cerdo en pie, el NOE de L-lisina fluctuó de 0.68 a 0.92 %. Asimismo, González y Orozco (1996), al disminuir en un 15 % el precio normal del kg de cerdo en pie o

al incrementar el precio del kg de la L-lisina sintética, el NOE de la L-lisina disminuyó de 1.32 a 0.72 %.

En contraste a las metodologías de formulación de raciones de mínimo costo por programación lineal, algunos investigadores (Heady *et al.*, 1954; Morris *et al.*, 1982; Talpaz *et al.*, 1988; González *et al.*, 1992) han sugerido métodos que utilizan modelos para estimar requerimientos variables de nutrimentos, como la L-lisina. Lo anterior se logra incorporando el concepto de rendimientos decrecientes, en vez de una eficiencia constante. La respuesta a rendimientos decrecientes debe ser tomada en consideración cuando son formuladas dietas para cerdos en crecimiento ya que la eficiencia de la utilización de L-lisina declina conforme la máxima respuesta es alcanzada (Gahl *et al.*, 1995).

La óptima concentración de L-lisina en la ración se obtiene estimando la diferencia optima entre ingresos (precio del cerdo X peso vivo) y egresos (costo de la ración X consumo de alimento).

VII. CONCLUSIONES

En base a las hipótesis y objetivos de esta investigación y considerando los resultados encontrados en este estudio se concluye que:

- I. Los niveles óptimos biológicos de L-lisina para cerdos en crecimiento estimados con los datos de Williams *et al.* (1984), Batterham *et al.* (1985) y experimentales fueron diferentes a los requerimientos publicados por el NRC (1998).
- II. Los niveles óptimos biológicos de L-lisina para cerdos en crecimiento no coincidieron con los niveles óptimos económicos.
- III. Los niveles óptimos económicos de L-lisina fueron sensibles a la fluctuación del precio del cerdo en pie y de la L-lisina sintética.

VIII. RECOMENDACIONES

I. Es importante continuar las líneas de investigación en torno a la formulación econométrica de máxima utilidad, ya que es una alternativa para que los productores de cerdo y la industria de alimentos balanceados sobrevivan en un mercado cada vez más competitivo.

II. Se recomienda perfeccionar la selección del modelo de predicción.

III. Se recomienda utilizar las estimaciones de L-lisina (0.95) publicadas por el NRC (1998) para cerdos en crecimiento ya que dicho valor se ubica en el rango de estimaciones de los NOB obtenidos en la presente investigación.

IV. Una vez perfeccionada la metodología se recomienda el desarrollo de un software accesible.

IX. LITERATURA CITADA

Anderson, R.L. and L.A. Nelson. 1975. A family of models involving intersecting straight lines and concomitant experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients. *Biometrics*. 31:303.

ANFACA. 1999. Asociación Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados para el Consumo Animal. *Organo Informativo Vol. 2*. 12 pp.

ARC. Agricultural Research Council, 1981. The nutrient requirements of pigs. Commonwealth. Agricultural Bureaux, Farnham Royal. 307 pp.

Batterham, E.S., L.R. Giles and E. D. Belinda. 1985. Aminoacid and energy interections in growing pigs. 1. Effects of food intake, sex and live weight on the responses of growing pigs to lysine concentration. *Anim. Prod.* 40:331-343.

Beneke, R. R., y R. Winterboer. 1973. *Linear Programming Applications to Agriculture*. Amess: The Iowa State University Press. 244 pp.

Biger, R.B., and E. Hoffman. 1988. *Microeconomics with calculus*. Scott, Foresman and Company. U.S.A. 609 pp.

Bikker, P. 1994. Protein and lipid accretion in body components of growing pigs: Effects of body weight and nutrient intake. Ph. D. Thesis Wageningen Agricultural University, Wageningen. 203 pp.

Boomgaardt, J., and D. H. Baker. 1971. Tryptophan requirement of growing chikcs as affected by dietary protein level. *J. Anim. Sci.* 33:595.

Boomgaardt, J., and D. H. Baker. 1973. Tryptophan requirement of growing pigs at three levels of dietary protein. *J. Anim. Sci.* 36:303.

Campbell, R. G., M. R. Taverner and D. M. Curic. 1984. Effect of feeding level and dietary protein content on the growth, body composition and rate of protein deposition in pigs growing from 45 to 90 kg. *Anim. Prod.* 38:233.

Campbell, R. G., M. R. Taverner and D. M. Curic, 1985. The influence of feeding level on the protein requirement of pigs between 20 and 45 kg live weight. *Anim. Prod.* 40:489.

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.* 46:123-130.

Cohen, K.J., and R. M. Cyert, 1975. Resource allocation in a market economy. *In: Theory of the firm*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. pp:17-28.

CONAPOR. 1996. Comisión Nacional de Porcicultura. Análisis de precios, costos e importaciones del cerdo. Boletín informativo. Marzo de 1996. 40 pp.

CONAPOR. 1997. Comisión Nacional de Porcicultura. Análisis de precios y costos de producción. Boletín informativo. Diciembre de 1997. 25 pp.

Conover, W. J., 1980. Practical Nonparametric Statistics. Segunda Edición. John Wile & Sons, Inc., New York.

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 pp.

Craig, A. D., 1995. Swine nutrition, feeding & management. National Renderers Association. Inc. 24 pp.

Crenshaw, T.D., M.J. Galh, K.P. Blemings and N.J Benevenga. 1995. Cost of additional dietary lysine must be taken into accoun. FEEDSTUFFS. pp:13-23.

Cuarón, I. J. A., 1991. Uso eficiente de los aminoácidos en la alimentación de los cerdos en crecimiento en México. *In: Memorias III Ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos*. FERMEX. México, D.F. 45 pp.

Cuarón, I. J. A. 1993. Evaluación de la nutrición de aminoácidos en cerdos en México. *In: Memorias V Ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos*. FERMEX. México, D.F. 85 pp.

Dent, J. B., y H. Casey, 1967. Linear programming and animal nutrition. Lippincott Company. 111 pp.

Emmans, G.C. 1981. A model of the growth and feed intake of as libitum fed animals, particulary poultry. *In: Computers in animal production*. Occasional Publication. Nº 5. British Society of Animal Production. pp:103-110.

Emmans, G.C. 1987. Growth, body composition an feed intake. *World's Poult. Sci. J.* 43:208-227.

EXCEL. Microsoft. 1994. Manual del usuario. Ver. 5.0. De. Microsoft Corporation. U.S.A. 848 pp.

Feedstuffs, 1995. Modelos: Una herramienta para evaluar el crecimiento y la variación en el pollo de engorda. Mayo 1. pp:21-24.

- Fisher, C. 1992. Simulation modelling with examples of the models available and their potential. *In: Fortell Modelling Seminar/ Workshop*. Atlanta. 15 pp.
- France, J., and J.H.M. Thornley. 1984. *Mathematical models in agriculture*. London. Butterworths.
- Fuller, M. F., and P. Garthwaite, 1993. The form of response of body protein accretion to dietary amino acid supply. *J. Nutr.* 123:957.
- Gahl, M.J., M.D. Finke, N.J. Benevenga, and T.D. Crenshaw. 1991. Use of a four-parameter logistic equation to evaluate the response of growing rats to ten levels of each indispensable amino acid. *J. Nutr.* 121:1721.
- Gahl, M.J., K.P. Blemings, N.J. Benevenga and T.D. Crenshaw. 1994. Protein synthesis, lysine alpha-ketoglutarate reductase activity in female rats injected with bovine somatotropin. *J. Anim. Sci.* 72 (suppl. 1):221.
- Gahl M.J., D. Crenshaw and N.J. Benevenga. 1995. 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 joinpoint have to be estimated. *J. of the American Statistical Association.* 68:144-147.
- 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 pp.
- García, G.A. 1998. *Niveles óptimos biológico y económico de L-lisina en dietas para cerdos en crecimiento*. Departamento de Zootecnia. Tesis de Maestría en Producción Animal. UACH. Chapingo, México. 93 pp.
- Gatel, F. and F.Grosjen, 1992. Performance of pigs from two genotypes in relation to the amino acid content of the diet. *Livestock Production Science* 30:129-140.
- Giles, L. R., E. S. Batterham and E. D. Belinda. 1986. Amino acid and energy interactions in growing pigs. 2. Effects of food intake, sex and live weight on response to lysine concentration in barley-based diets. 1986. *Anim. Prod.* 42:133-144.

Giles, L. R., E. S. Batterham, E. D. Belinda and R. F. Lowe, 1987. Amino acid and energy interactions in growing pigs. 3. Effects of sex and live weight and cereal on the responses to dietary lysine concentration when fed *ad libitum* or to a restricted food scale on diets based on wheat or barley. *Anim. Prod.* 45:493-502.

González, A.M.J., G.M. Pesti and J.D. Dorfman. 1992. Formulating feed for minimum cost versus maximum profits. Proceeding 1992, Georgia nutrition conference for the feed industry. Atlanta, Georgia. pp:87-99.

González-Alcorta, M.J. 1994. La formulación econométrica: Un beneficio para el productor. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, México. pp:25-27.

González-Alcorta, M. J. y R. Orozco-Maldonado, 1994. Análisis retrospectivo, situación actual y perspectivas en el empleo de métodos de formulación de raciones. *In: Memorias V Reunión bienal de nutrición animal.* Saltillo, Coahuila. México. pp:154-178.

González-Alcorta, M. J. y R. Orozco-Maldonado, 1996. Análisis y perspectivas de la formulación de máxima utilidad (\$) en la alimentación de cerdos. *In: Memorias del Seminario de Actualización en Nutrición Porcina.* 30 y 31 de mayo. Irapuato, Gto., México. 143 pp.

Gould, J. P. y E. P. Lazear. 1994. Teoría microeconómica. Tercera edición en español. Fondo de Cultura Económica. México. D.F. 870 pp.

Guardabasso, V.D.R. and P.J. Munson. 1987. A model free approach to estimation of relative potency in dose response curve analysis. *Am. J. Physiol.* 252: E357-E364.

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

Heady, E.O., R. Woodworth, D.R. Catron, and G. C. Ashton. 1954. New procedures in estimating feed substitution rates and in determining economic efficiency in pork production. *In: Agric. Exp. Sta. Res. Bull.* Iowa State College, Ames. pp:893-976.

Hovenier, R., E. Kanis, Th. Van Asseldonk, and N.G. Westerink. 1993. Breeding for pig meat quality in halothane negative populations a review. *Pig News and Information.* 14:17-25.

Hurwitz, S., I. Plavnik, and S. Bornstein. 1980. The amino acid requirement for chicks: Experimental validation of model-calculated requirements. *Poultry Sci.* 59:2470-2479.

- Hurwitz, S., H. Talpaz, and I.E. Waibel. 1987. The use of simulation in the evaluation of economic and management of turkey production: Dietary nutrient density, Marketing age on environmental temperature. *Poul. Sci.* 66:1451-1462.
- Kanis, E. 1988. Effect of average daily food intake on production performance in growing pigs. *Anim. Prod.* 46:111-122.
- Kanis, E. and W. J. Koops, 1990. Daily gain, food intake and food efficiency in pigs during the growing period. *Anim. Prod.* 50:353-364.
- Kerr, B. J., 1993. Optimizing lean tissue deposition in swine. *Fermex Technical Review-6*. 13 pp.
- Martínez, G. M. and D. A. Knabe. 1990. Digestible lysine requirements of starter and grower pigs. *J. Anim. Sci.* 68:2748-2755.
- Medina, J. C. y M. Romero, 1994. Métodos analíticos para la determinación de lisina en insumos y alimentos terminados. *In: VI Ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. FERMEX. México, D. F.* 59 pp.
- 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.
- Noll, L.S., P.E. Waibel, R.D. Cook, and J.A. Witmer. 1984. Biopotency of methionine sources for young turkeys. *Poul. Sci.* 63:2458.
- NRC. National Research Council, 1979. Nutrient Requirements of swine. Eight Revised Edition. National Academy Press, Washington, D. C.
- NRC. National Research Council, 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. National Academy Press, Washington, D. C. pp:29-37.
- NRC. National Research Council, 1988. Nutrient Requirements of Swine. Ninth Revised Edition. National Academy Press, Washington, D. C.
- NRC. National Research Council, 1998. Nutrient Requirements of Swine. Tenth Revised Edition. National Academy Press, Washington, D. C.
- Parks, J.R. 1982. A Theory of feeding and growth of animals. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Patience, J.F. y P.A. Thacker. 1989. Swine nutrition guide. Prairie swine center. University of Saskatchewan. Canada. 560 pp.
- Pesti, G.M., R.A. Arraes and B.R. Miller. 1986. Use of the quadratic growth response to dietary protein and energy concentrations in least cost feed formulation. *Poultry Sci.* 65:1040-1061.

Pesti, G.M. and B.R. Miller. 1988. Animal Feed Formulation Economics and computers applications (User Friendly Feed Formulation Done Again). An AVI Book. New York, U.S.A. 163 pp.

Poole, D. R. 1995. Mezcla de alimentos. *In*: Memorias del curso precongreso. Temas selectos para asegurar calidad en la fabricación de piensos. VII Congreso Nacional AMENA. 1º de Noviembre de 1995. pp:8-21.

Ramírez G. M.E. y T.Q. López. 1993. Métodos estadísticos no paramétricos. UACH. Dirección de Difusión Cultural. México. 1993. 223 pp.

Ramírez V. R., 1994 Comparación de ecuaciones y procedimientos para la estimación de curvas de lactancia en angus, suizo pardo y sus cruza. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 105 pp.

Robbins, K.R. 1986. A method, SAS program, and example for fitting the broken-line model to growth data. Agric. Exp. Sta. Res. Rep. 86-09. Univ. of Tennessee, Knoxville.

SAS. 1985. SAS User's Guide: Statistics. SAS Inst. Inc., Cary NC.

Sauer, W. C. and L. Ozimek. 1986. Digestibility of amino acids in swine: results and their practical applications. A review. Livest. Prod. Sci. 15:368-388.

Southern, L. L., 1993. Digestible amino acids and digestible amino acid requirements for swine. Fermex Technical Review-2. 16 pp.

Steel, R. G. y J. H. Torrie, 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. Ed. McGraw-Hill. México. 622 pp.

Talpaz, H., J. R. de la Torre, P. J. H. Sharpe, and S. Hurwitz. 1986. Dynamic optimization model for feeding of broilers. Agr. Systems. 20:121-132.

Talpaz, H., S. Hurwitz, J. R. de la Torre and P. J. H. Sharpe, 1988. Economic optimization of a growth trajectory for broilers. Am. J. Agric. Econ. 70:382-390.

Trujillo, F. V., 1987. Métodos matemáticos en la nutrición animal. Editorial McGraw-Hill. México. 240 pp.

Visek, W. J., 1984. An update of concepts of essential amino acids. Ann. Rev. Nutr. 4:137.

Williams, W.D., G.L. Cromwell, T.S. Stahly and J.R. Overfield. 1984. The lysine requirement of the growing boar versus barrow. J. Anim. Sci. 58:657-665.

Winston, W.L. 1991. Operations research. Applications and algorithms. PWS-Kent Publishing Co., Boston. 1262 pp.

Yen, H. T., D. J. A. Cole and D. Lewis, 1986. Amino acid requirements of growing pigs. 7. The response of pigs from 25 to 55 kg live weight to dietary ideal protein. Anim. Prod. 43:141-154.

Yen, H. T., D. J. A. Cole and D. Lewis, 1986a. Amino acid requirements of growing pigs. 8. The response of pigs from 50 to 90 kg live weight to dietary ideal protein. Anim. Prod. 43:155-165.

IX. Anexos

Apéndice 1. Base de Datos

BASE DE DATOS DE LOS NIVELES DE L-LISINA EMPLEADOS EN CERDOS DE 20 A 50 kg

*Ref.=Autor; T=Tratamiento; Ex=Experimento; S=SEXO donde: Macho=1, Hembra=2, Castrado=3 y Mixto=4; EM=Energía Metabolizable (Mcal/kg);

*/EM1=Energía Metabolizable estandarizada; PC=Proteína Cruda (%); PC1=Proteína Cruda Estandarizada; Lis.=L-lisina en la ración;

*/Lis1=L-lisina estandarizada; PI=Peso Inicial (kg); PF=Peso Final (kg); GP=Ganancia de peso en el período (kg); CA=Conversión Alimenticia;

*/GDP= Gananci diaria de peso (g); SCA=Consumo Total de alimento (kg); SGP= Ganancia Total de peso en la prueba (kg); DIAS=Días de Prueba.

Ref.	T	Ex	S	EM	EM1	PC	PC1	Lis.	Lis1	PI	PF	GP	CA	GDP	SCA	SGP	DIAS
14	1	5	1	0,00	3,34	16,0	16,0	0,8	0,8	23,00	58,00	35,0	2,00	0,8	85,4	35,0	40
14	2	5	1	0,00	3,34	16,0	16,0	0,9	0,9	23,00	58,00	35,0	2,03	0,9	83,0	35,0	40
14	3	5	1	0,00	3,34	16,0	16,0	1,0	1,0	23,00	58,00	35,0	1,99	0,8	82,5	35,0	40
14	4	5	1	0,00	3,34	16,0	16,0	1,1	1,0	23,00	58,00	35,0	2,02	0,8	84,0	35,0	40
14	1	3	1	0,00	3,31	14,0	14,0	0,6	0,6	37,00	55,00	18,0	2,14	0,7	54,7	18,0	21
14	2	3	1	0,00	3,31	14,0	14,0	0,7	0,7	37,00	55,00	18,0	2,10	0,8	48,5	18,0	21
14	3	3	1	0,00	3,31	14,0	14,0	0,8	0,8	37,00	55,00	18,0	2,06	0,8	48,6	18,0	21
14	4	3	1	0,00	3,31	14,0	14,0	0,9	0,9	37,00	55,00	18,0	2,13	0,8	46,6	18,0	21
14	5	3	1	0,00	3,31	14,0	14,0	1,0	1,0	37,00	55,00	18,0	1,97	0,8	45,9	18,0	21
14	1	4	1	0,00	3,31	14,0	14,0	0,6	0,6	30,00	55,00	25,0	2,15	0,8	69,8	25,0	30
14	2	4	1	0,00	3,31	14,0	14,0	0,7	0,7	30,00	55,00	25,0	2,04	0,8	67,6	25,0	30
14	3	4	1	0,00	3,31	14,0	14,0	0,8	0,8	30,00	55,00	25,0	2,11	0,9	60,5	25,0	30
14	4	4	1	0,00	3,31	14,0	14,0	0,9	0,9	30,00	55,00	25,0	2,05	0,8	62,0	25,0	30
14	5	4	1	0,00	3,31	14,0	14,0	1,0	1,0	30,00	55,00	25,0	2,12	0,8	63,7	25,0	30
126	1	2	23	3,27	3,33	16,0	16,0	0,5	0,5	20,50	35,59	15,1	1,40	0,4	48,9	15,1	35
126	2	2	23	3,27	3,33	16,0	16,0	0,6	0,6	20,50	38,35	17,9	1,52	0,5	53,2	17,9	35
126	3	2	23	3,27	3,33	16,0	16,0	0,7	0,7	20,50	43,64	23,1	1,86	0,7	65,1	23,1	35
126	4	2	23	3,27	3,33	16,0	16,0	0,8	0,8	20,50	47,21	26,7	1,97	0,8	68,9	26,7	35
126	5	2	23	3,27	3,33	16,0	16,0	0,9	0,9	20,50	48,82	28,3	2,02	0,8	70,7	28,3	35
126	6	2	23	3,27	3,33	16,0	16,0	0,9	0,9	20,50	49,90	29,4	2,04	0,8	71,3	29,4	35
99	1	1	2	3,13	3,27	15,6	16,0	0,8	0,8	22,80	60,50	37,7	1,53	0,5	106,3	38,0	59
99	2	1	2	3,13	3,27	15,6	16,0	0,9	0,9	22,80	60,80	38,0	1,54	0,6	96,9	38,2	59
99	3	1	2	3,13	3,27	15,5	16,0	1,0	1,0	22,80	60,90	38,1	1,53	0,6	93,3	38,0	59
99	4	1	2	3,13	3,27	15,5	16,0	1,1	1,1	22,90	60,90	38,0	1,54	0,6	91,6	38,3	59
12	1	1	1	3,21	3,21	17,4	16,0	0,7	0,7	20,00	50,00	30,0	1,66	0,7	73,2	30,0	39
12	2	1	1	3,21	3,21	17,4	16,0	0,8	0,8	20,00	50,00	30,0	1,54	0,7	66,1	30,0	39
12	3	1	1	3,21	3,21	17,4	16,0	0,9	0,9	20,00	50,00	30,0	1,66	0,8	65,1	30,0	39
12	4	1	1	3,21	3,21	17,4	16,0	1,0	1,0	20,00	50,00	30,0	1,74	0,8	68,4	30,0	39
12	1	2	2	3,21	3,21	17,4	16,0	0,7	0,7	20,00	50,00	30,0	1,86	0,7	75,8	30,0	38
12	2	2	2	3,21	3,21	17,4	16,0	0,8	0,8	20,00	50,00	30,0	1,76	0,7	72,6	30,0	38
12	3	2	2	3,21	3,21	17,4	16,0	0,9	0,9	20,00	50,00	30,0	1,86	0,8	71,8	30,0	38
12	4	2	2	3,21	3,21	17,4	16,0	1,0	1,0	20,00	50,00	30,0	1,70	0,7	70,9	30,0	38
128	1	1	1	3,07	2,98	15,3	16,0	0,7	0,8	20,00	50,00	30,0	2,03	0,9	66,5	30,0	32
128	2	1	1	3,07	2,98	15,3	16,0	0,8	0,9	20,00	50,00	30,0	1,87	0,8	66,3	30,0	32
128	3	1	1	3,07	2,98	15,3	16,0	0,9	1,0	20,00	50,00	30,0	1,99	0,9	65,5	30,0	32
128	4	1	1	3,07	2,98	15,3	16,0	1,0	1,1	20,00	50,00	30,0	2,01	0,9	66,7	30,0	32
128	5	1	1	3,07	2,98	15,3	16,0	1,1	1,2	20,00	50,00	30,0	2,07	0,9	71,4	30,0	32
128	6	1	1	3,07	2,98	15,3	16,0	1,2	1,3	20,00	50,00	30,0	2,02	0,9	65,8	30,0	32
128	7	1	1	3,07	2,98	15,3	16,0	1,3	1,4	20,00	50,00	30,0	2,02	0,9	64,6	30,0	32
128	8	1	1	3,07	2,98	15,3	16,0	1,4	1,5	20,00	50,00	30,0	1,85	0,8	65,5	30,0	32
128	1	2	2	3,07	2,98	15,3	16,0	0,7	0,8	20,00	50,00	30,0	2,15	0,9	74,5	30,0	31
128	2	2	2	3,07	2,98	15,3	16,0	0,8	0,9	20,00	50,00	30,0	2,13	0,9	71,8	30,0	31
128	3	2	2	3,07	2,98	15,3	16,0	0,9	1,0	20,00	50,00	30,0	2,14	0,9	69,4	30,0	31
128	4	2	2	3,07	2,98	15,3	16,0	1,0	1,1	20,00	50,00	30,0	2,08	0,9	72,9	30,0	31
128	5	2	2	3,07	2,98	15,3	16,0	1,1	1,2	20,00	50,00	30,0	2,16	0,9	73,1	30,0	31
128	6	2	2	3,07	2,98	15,3	16,0	1,2	1,3	20,00	50,00	30,0	1,94	0,8	70,1	30,0	31
128	7	2	2	3,07	2,98	15,3	16,0	1,3	1,4	20,00	50,00	30,0	2,25	0,9	71,2	30,0	31
128	8	2	2	3,07	2,98	15,3	16,0	1,4	1,5	20,00	50,00	30,0	2,07	0,9	70,3	30,0	31
128	1	3	1	3,24	2,92	17,7	19,0	0,7	0,9	20,00	50,00	30,0	1,94	0,8	69,3	30,0	29
128	2	3	1	3,24	2,92	17,7	19,0	0,8	1,0	20,00	50,00	30,0	2,01	0,9	66,3	30,0	29
128	3	3	1	3,24	2,92	17,7	19,0	0,9	1,1	20,00	50,00	30,0	2,15	1,0	63,6	30,0	29
128	4	3	1	3,24	2,92	17,7	19,0	1,0	1,2	20,00	50,00	30,0	1,99	0,9	64,2	30,0	29
128	5	3	1	3,24	2,92	17,7	19,0	1,1	1,3	20,00	50,00	30,0	2,11	0,9	69,7	30,0	29
128	6	3	1	3,24	2,92	17,7	19,0	1,2	1,4	20,00	50,00	30,0	2,01	0,9	66,8	30,0	29
128	7	3	1	3,24	2,92	17,7	19,0	1,3	1,5	20,00	50,00	30,0	2,12	1,0	65,3	30,0	29
128	8	3	1	3,24	2,92	17,7	19,0	1,4	1,6	20,00	50,00	30,0	2,04	1,0	63,0	30,0	29
128	1	4	2	3,24	2,92	17,7	19,0	0,7	0,9	20,00	50,00	30,0	2,10	0,9	69,7	30,0	31
128	2	4	2	3,24	2,92	17,7	19,0	0,8	1,0	20,00	50,00	30,0	2,04	0,9	69,1	30,0	31
128	3	4	2	3,24	2,92	17,7	19,0	0,9	1,1	20,00	50,00	30,0	2,12	0,9	69,7	30,0	31
128	4	4	2	3,24	2,92	17,7	19,0	1,0	1,2	20,00	50,00	30,0	2,07	0,9	71,5	30,0	31
128	5	4	2	3,24	2,92	17,7	19,0	1,1	1,3	20,00	50,00	30,0	2,06	0,9	65,5	30,0	31
128	6	4	2	3,24	2,92	17,7	19,0	1,2	1,4	20,00	50,00	30,0	2,10	0,9	72,2	30,0	31
128	7	4	2	3,24	2,92	17,7	19,0	1,3	1,5	20,00	50,00	30,0	2,11	1,0	65,4	30,0	31
128	8	4	2	3,24	2,92	17,7	19,0	1,4	1,6	20,00	50,00	30,0	2,00	0,9	67,2	30,0	31
11	1	1	1	3,26	3,01	17,8	17,0	0,8	0,8	20,00	50,00	30,0	1,80	0,8	68,1	30,0	37
11	2	1	1	3,26	3,01	17,8	17,0	0,9	0,9	20,00	50,00	30,0	1,65	0,7	66,3	30,0	37
11	3	1	1	3,26	3,01	17,8	17,0	0,9	0,9	20,00	50,00	30,0	1,70	0,7	69,8	30,0	37
11	4	1	1	3,26	3,01	17,8	17,0	1,0	1,0	20,00	50,00	30,0	1,77	0,8	69,9	30,0	37
11	5	1	1	3,26	3,01	17,8	17,0	1,0	1,1	20,00	50,00	30,0	1,69	0,8	65,8	30,0	37
11	6	1	1	3,26	3,01	17,8	17,0	1,1	1,1	20,00	50,00	30,0	1,73	0,7	72,9	30,0	37
11	7	1	1	3,26	3,01	17,8	17,0	1,2	1,2	20,00	50,00	30,0	1,73	0,8	67,1	30,0	37
11	8	1	1	3,26	3,01	17,8	17,0	12,2	1,2	20,00	50,00	30,0	1,73	0,8	64,2	30,0	37
11	1	2	2	3,26	3,01	17,8	17,0	0,8	0,8	20,00	50,00	30,0	1,83	0,7	76,1	30,0	3

Apéndice 2. Programa SAS utilizado para realizar el análisis de varianza y la comparación de medias por rangos múltiples a través de la prueba de Tukey, para la ganancia de peso y consumo de alimento semanal y para la ganancia de peso y consumo de alimento acumulativo a partir de la suplementación de L-lisina.

```

OPTIONS NODATE;
/* S=SEMANA; T=TRATAMIENTO CAXS=CONSUMO DE ALIMENTO SEMANAL*/
/* GSPX=GANACIA SEMANAL DE PESO; SMCAS=SUMATORIA CONSUMO
SEMANAL*/
/* SMGPS=SUMATORIA GANANCIA DE PESO SEMANAL*/

```

```

DATA BASE;
INPUT S T CAXS GSPX SMCAS SMGPS;
NIVLIS=0;
IF T = 1 THEN NIVLIS = 0.72;
IF T = 2 THEN NIVLIS = 0.92;
IF T = 3 THEN NIVLIS = 1.12;
IF T = 4 THEN NIVLIS = 1.32;
CARDS;
9 4 16.500 3.500 87.000 28.000

```

```

;

DATA SEM1; SET BASE; IF S=9;
PROC MEANS DATA = SEM9;
PROC SORT DATA = SEM9; BY T ;
PROC MEANS DATA = SEM9 MAXDEC = 6 NOPRINT; BY T;
VAR S T CAXS GSPX SMCAS SMGPS;
OUTPUT OUT=SALIDA9
MEAN= CAXSM GSPXM SMCASM SMGPSM;
STDERR = CAXSSE GSPXSE SMCASSE SMGPSSE;
PROC PRINT DATA=SALIDA9;

```

```

PROC GLM DATA= SEM9; CLASS T;
MODEL CAXS GSPX SMCAS SMGPS=T;
MEANS T/TUKEY;
RUN;

```

Apéndice 3. Programa SAS utilizado para correr los Modelos Lineales para predecir la ganancia de peso y consumo de alimento, a partir de la suplementación de L-lisina.

```
OPTIONS NODATE;
DATA BASE;
INPUT REF EXP LIS1 SCA SGP;
CARDS;
01 1 0.720 87.513 27.250
.
.
.

DATA REF 01; SET BASE; IF REF = 01 AND EXP = 1;
PROC GLM DATA=REF 01;
MODEL SCA SGP = LIS1;
RUN;
```

Apéndice 3. Continuación...

Programa SAS utilizado para correr los Modelos Cuadráticos para predecir la ganancia de peso y consumo de alimento, a partir de la suplementación de L-lisina.

```
OPTIONS NODATE;
DATA BASE;
INPUT REF EXP LIS1 SCA SGP;
CARDS;
01 1 0.720 87.513 27.250
.
.
.

DATA REF 01; SET BASE; IF REF = 01 AND EXP = 1;
PROC GLM DATA=REF 01;
MODEL SCA SGP = LIS1 LIS1*LIS1;
RUN;
```

Apéndice 3. Continuación...

Programa SAS utilizado para correr los Modelos Lineal con Plateu, para predecir la ganancia de peso y consumo de alimento, a partir de la suplementación de L-lisina.

```
OPTIONS NODATE;
DATA BASE;
INPUT REF EXP LIS1 SCA SGP;
CARDS;
01 1 0.720 87.513 27.250
.
.
.

DATA REF 01; SET BASE; IF REF= 01 AND EXP = 1;
PROC NLIN DATA= REF 01;
PARMS MAX=1 RC = -1 REQ = 0.72 TO 1.32 BY 0.01;
BOUNDS REQ <= 1.32;
I=0; IF LIS1 < REQ THEN I=1;
MODEL SCA= MAX + RC * (REQ - LIS1) * I;
RUN;
```

Apéndice 3. Continuación...

Programa SAS utilizado para correr los Modelos Cuadráticos con Plateu, para predecir la ganancia de peso y consumo de alimento, a partir de la suplementación de L-lisina.

```
OPTIONS NODATE;
DATA BASE;
INPUT REF EXP LIS1 SCA SGP;
CARDS;
01 1 0.720 87.513 27.250
.
.
.

DATA REF 01; SET BASE; IF REF= 01 AND EXP = 1;
PROC NLIN DATA = REF 01;
PARMS MAX= 1 RC = -1 REQ = 0.72 TO 1.32 BY 0.01;
BOUNDS REQ <= 1.32; BOUNDS REQ >= 0.72;
I=0; IF LIS1 < REQ THEN I = 1;
MODEL SCA= MAX + RC *((REQ - LIS1)**2) * I;
RUN;
```

Apéndice 3. Continuación...

Programa SAS utilizado para correr los Modelos Exponenciales para predecir la ganancia de peso y consumo de alimento, a partir de la suplementación de L-lisina.

```
OPTIONS NODATE;
DATA BASE;
INPUT REF EXP LIS1 SCA SGP;
CARDS;
01 1 0.720 87.513 27.250
.
.
.

DATA REF 01; SET BASE; IF REF = 01 AND EXP = 1;
PROC NLIN DATA= REF 01;
PARMS A= 1 B=1 C=1;
MODEL SCA=A+B*(1-EXP(C * LIS1));
RUN;
```

Apéndice 4. Estimación de parámetros de los modelos de regresión lineal y no lineal con los experimentos de Williams *et al.*, 1984, Batterham *et al.*, 1985 y ensayo biológico.

Estimadores de los modelos lineales para consumo de alimento a partir de la suplementacion de L-lisina.

Autor	Exp.	B ₀		B ₁		R ²	SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE			
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	79.2602**	4.7666	1.2456	5.1870	0.0280	1.5551	0.7775
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	52.0637	12.7135	13.6700	14.1734	0.3174	20.0887	10.0443
Ensayo biológico	1	83.0366**	2.3489	6.8055	2.2494	0.8206	2.0240	1.0120

Indica el nivel de significancia * P<0.05 ** P<0.01

Estimadores de los modelos lineales para ganancia de peso a partir de la suplementacion de L-lisina.

Autor	Exp.	B ₀		B ₁		R ²	SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE			
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	30.9478*	3.4896	2.9204	3.7974	0.2282	0.8335	0.4167
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	17.5344*	2.9807	12.0900	3.3230	0.8687	1.1042	0.5521
Ensayo biológico	1	24.3909**	1.5547	3.8145	1.4889	0.7664	0.8867	0.4433

Indica el nivel de significancia * P<0.05 ** P<0.01

Apéndice 4. Continuación...

Estimadores de los modelos cuadráticos para consumo de alimento a partir de la suplementación de L-lisina.

Autor	Exp.	B ₀		B ₁		B ₂		R ²	SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE	Est.	EE			
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	79.2602	86.5179	1.2456	190.3178	-0	103.9215	0.0280	1.5551	1.5551
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	201.0452	91.7405	-326.4880	208.6264	191.1000	117.0581	0.8137	5.4810	5.4810
Ensayo biológico	1	68.2611	9.7554	37.2397	19.8217	-14.9187	9.6793	0.9468	0.5996	0.5996

Indica el nivel de significancia * P<0.05 ** P<0.01

Estimadores de los modelos cuadráticos para ganancia de peso a partir de la suplementación de L-lisina.

Autor	Exp.	B ₀		B ₁		B ₂		R ²	SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE	Est.	EE			
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	-21.6188	35.0968	118.8204	77.2044	-63.3333	42.1568	0.7630	0.2559	0.2559
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	0.8119	37.5899	50.2710	85.4830	-21.4500	47.9636	0.8906	0.9202	0.9202
Ensayo biológico	1	22.0697	11.6260	8.5957	23.6223	-2.3437	11.5353	0.7757	0.8516	0.8516

Indica el nivel de significancia * P<0.05 ** P<0.01

Apéndice 4. Continuación...

Estimadores de los modelos lineal con meseta para consumo de alimento a partir de la suplementacion de L-lisina.

Autor	Exp.	MAX.		RC.		REQ.		SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE	Est.	EE		
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	80.5432	0.7417	-1.2456	0	1.03	0	1.5551	0.7757
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	63.6145	2.2984	-2.5000	0	0.74	1.8168	30.9472	15.4736
Ensayo biológico	1	91.6109	0	-9.8923	1.0118	1.1278	0.0198	0.2250	0.1125

Estimadores de los modelos lineal con meseta para ganancia de peso a partir de la suplementacion de L-lisina.

Autor	Exp.	MAX.		RC.		REQ.		SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE	Est.	EE		
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	33.7753	0	-1.3510	0	1.03	0	0.9046	0.3015
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	30.1080	0	-12.0900	0	1.04	0	1.1042	0.5521
Ensayo biológico	1	29.4261	0	-3.8145	0	1.32	0	0.8867	0.4433

Apéndice 4. Continuación...

Estimadores de los modelos cuadrático con meseta para consumo de alimento a partir de la suplementacion de L-lisina.

Autor	Exp.	MAX.		RC.		REQ.		SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE	Est.	EE		
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	80.2138	0	9.0673	0	1.03	0	1.8876	0.6292
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	64.2496	0	-0.5624	0	1.04	0	29.2890	9.7630
Ensayo biológico	1	91.6070	0	-11.6344	2.0744	1.32	0	0.6747	0.3373

Estimadores de los modelos cuadrático con meseta para ganancia de peso a partir de la suplementacion de L-lisina.

Autor	Exp.	MAX.		RC.		REQ.		SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE	Est.	EE		
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	33.4242	0	9.3966	0	1.03	0	1.7639	0.5879
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	29.6511	0	-38.7612	0	1.04	0	1.0507	0.5253
Ensayo biológico	1	29.1259	0	-6.0298	0	1.32	0	0.9462	0.4731

Apéndice 4. Continuación...

Estimadores de los modelos exponenciales para consumo de alimento a partir de la suplementación de L-lisina.

Autor	Exp.	A		B		C		SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE	Est.	EE		
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	78.7036	0	3.2135	13.5388	-0.8228	0.1690	1.5549	0.7774
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	68.9216	207.2790	19.2126	7251.00	0.2301	142.0768	38.8210	38.8210
Ensayo biológico	1	87.2216	0	-0.4084	0.1241	1.9266	0.4113	3.5138	1.7569

Estimadores de los modelos exponenciales para ganancia de peso a partir de la suplementación de L-lisina.

Autor	Exp.	A		B		C		SCE	CMR
		Est.	EE	Est.	EE	Est.	EE		
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	34.4614	24.9691	0.0790	15.7473	2.5182	92.6831	1.5435	1.5435
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	27.7911	34.2780	-0.0769	25.7469	2.6277	185.79	6.3604	6.3604
Ensayo biológico	1	22.3943	19.8264	10.7095	18.4133	-0.7978	6.1446	0.8639	0.8639

Apéndice 5. Cuadrados medios del error (CME) para el consumo de alimento en cerdos de 20 a 50 kg correspondientes a cinco ecuaciones, estimadas por cuadrados mínimos lineales y no-lineales.

Autor	Exp.	Lineal	Cuadrático	Lineal con Meseta	Cuadrático con Meseta	Exponencial
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	0.7775	1.5551	0.7757	0.6292	0.7774
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	10.0443	5.4810	15.4736	9.7630	38.8210
Ensayo biológico	1	1.0120	0.5996	0.1125	0.3373	1.7569
Promedios		3.9446	2.5445	5.4539	3.5765	13.7851

Apéndice 5. continuación...

Cuadrados medios del error (CME) para ganancia de peso en cerdos de 20 a 50 kg correspondientes a cinco ecuaciones, estimadas por cuadrados mínimos lineales y no-lineales.

Autor	Exp.	Lineal	Cuadrático	Lineal con Meseta	Cuadrático con Meseta	Exponencial
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	0.4167	0.2559	0.3015	0.5879	1.5435
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	0.5521	0.9202	0.5521	0.5253	6.3604
Ensayo biológico	1	0.4433	0.8516	0.4433	0.4731	0.8639
Promedios		0.4703	0.6759	0.4323	0.5287	2.9226

Apéndice 6. Prueba de Friedman

La prueba de Friedman es un método no-paramétrico equivalente al análisis de varianza del diseño de bloques al azar, donde los bloques en este caso son cada uno de los datos colectados. Las diferencias entre las ecuaciones i y j se obtiene por: $\frac{1}{2}R_j - R_i \frac{1}{2} > t_{1-\alpha/2} [2b(A_2-B_2)/(b-1)(k-1)]^{1/2}$ y son consideradas estadísticamente diferentes si esta desigualdad es satisfecha. Donde R_i y R_j son la suma de los valores jerárquicos por cada ecuación, b es el número de estimaciones consideradas, k es el número de modelos, A_2 es calculado como la suma de los cuadrados de los valores jerárquicos obtenidos para cada estimación y modelo, y B_2 es igual a $1/\text{número de estimaciones}$, que multiplica a la suma de los cuadrados de los valores jerárquicos por ecuación.

Una descripción más detallada de la prueba de Friedman y las comparaciones múltiples entre tratamientos es presentada por Conover (1980), Ramírez y López (1993) y García, (1998).

Papajcsik y Bordero (1988) citado por Ramírez (1994) utilizaron una prueba no-paramétrica similar, en la comparación de ecuaciones para estimar curvas de lactancia en ganado lechero, y sugieren su utilización porque la variable respuesta CME no es de esperarse que tenga distribución normal. De la misma forma Ramírez (1994) utilizó la prueba de Friedman en un estudio en la comparación de modelos de curvas de lactancia en bovinos. Dado que se tuvo que seleccionar entre modelos lineales y no-lineales, no fue conveniente utilizar

el coeficiente de determinación (R^2). El R^2 no es apropiado en modelos no-lineales (Ramírez, 1994). Algunos de los criterios más utilizados en otro tipo de investigaciones en donde se pretende seleccionar modelos de predicción son, la suma de cuadrados del error (**SCE**), el cuadrado medio del error (**CME**), y el porcentaje de curvas atípicas (**%A**) (Ramírez, 1994). La utilización de R^2 como criterio para comparar ecuaciones y procedimientos de estimación de parámetros requiere de modelos lineales medidos en la misma escala. En el caso de modelos no-lineales la descomposición de los modelos no es aditiva y se considera como una medida no apropiada en estos análisis (Ratkowsky, 1990).(citado por Ramírez, 1994).

La utilización del CME como criterio de comparación requiere que los modelos tengan la misma escala, es decir que para poder ser considerado es necesario que los niveles de suplementación de lisina evaluados estén tomados en la misma escala, lo cual no se aplica en la presente investigación imposibilitando las comparaciones de los modelos. Por otra parte, la SCE además de tener el mismo inconveniente que CME, requiere de que la comparación de modelos sea con el mismo numero de parámetros, situación que en la presente investigación no se cumple. Para utilizar el %A en la comparación de ecuaciones, se requiere conocer con precisión lo que es típico, por lo tanto su uso es restringido hasta no determinar cual es el comportamiento típico del fenómeno. Los CME además de no tener las inconvenientes de las medidas anteriores, tienen la ventaja de su utilización cuando el propósito principal del

estudio es conocer que ecuación y procedimiento de estimación de parámetros se ajusta mejor a los valores observados. Las menores diferencias entre observados y predichos (residuales) indican un mejor ajuste (Ramírez 1994).

Apéndice 7. Artículos seleccionados de la literatura

Autor	Expto.	Rango de peso (kg)	Sexo ^A	Raza ^B	Niveles de L-lisina	Dieta base
Williams <i>et al.</i> , 1984	3	37-55	M	Y*H	5	maíz-soya
Williams <i>et al.</i> , 1984	4	30-55	M	Y	5	maíz-soya
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	23-58	M	Y	4	maíz-soya
Martínez <i>et al.</i> , 1990	2	21-50	H,MC	YL*DH	6	maíz-soya
Gatel <i>et al.</i> , 1992	1	23-60	H	LW	4	maíz-cacahuete
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	20-50	M	LW	4	trigo-soya
Batterham <i>et al.</i> , 1985	2	20-50	H	LW	4	trigo-soya
Giles <i>et al.</i> , 1987	1	20-50	M	LW	8	trigo-soya
Giles <i>et al.</i> , 1987	2	20-50	H	LW	8	trigo-soya
Giles <i>et al.</i> , 1987	3	20-50	M	LW	8	cebada-soya
Giles <i>et al.</i> , 1987	4	20-50	H	LW	8	cebada-soya
Giles <i>et al.</i> , 1986	1	20-50	M	LW	8	cebada-soya
Giles <i>et al.</i> , 1986	2	20-50	H	LW	8	cebada-soya

^A M=Macho entero, MC= Macho castrado y H=Hembra.

^B Y=Yorkshire; H=Hampshire; L=Landrace; D=Duroc; LW=Large white y P=Pietrain.

Apéndice 8. Valores determinados (DET) y estandarizados (EST) del porcentaje de PC, EM/kg y contenido de L-lisina de los experimentos seleccionados

Autor	Expto.	PC (%)		EM/kg		L-lisina (%)	
		DET	EST	DET	EST	DET	EST
Williams <i>et al.</i> , 1984	3	14	14	NR ^c	3.31	0.60 a 1.00	0.64 a 1.04
Williams <i>et al.</i> , 1984	4	14	14	NR	3.31	0.60 a 1.00	0.64 a 1.04
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	16	16	NR	3.34	0.83 a 1.06	0.80 a 1.03
Martínez <i>et al.</i> , 1990	2	16	16	3.27	3.33	0.54 a 0.94	0.54 a 0.94
Gatel <i>et al.</i> , 1992	1	15.5	16	3.13	3.27	0.76 a 1.05	0.76 a 1.05
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	17.4	16	3.21	3.21	0.70 a 1.00	0.74 a 1.04
Batterham <i>et al.</i> , 1985	2	17.4	16	3.21	3.21	0.70 a 1.00	0.74 a 1.04
Giles <i>et al.</i> , 1987	1	15.3	16	3.07	2.98	0.70 a 1.40	0.80 a 1.50
Giles <i>et al.</i> , 1987	2	15.3	16	3.07	2.98	0.70 a 1.40	0.80 a 1.50
Giles <i>et al.</i> , 1987	3	17.7	19	3.24	2.92	0.70 a 1.40	0.94 a 1.64
Giles <i>et al.</i> , 1987	4	17.7	19	3.24	2.92	0.70 a 1.40	0.94 a 1.64
Giles <i>et al.</i> , 1986	1	17.8	17	3.26	3.01	0.80 a 1.22	0.81 a 1.23
Giles <i>et al.</i> , 1986	2	17.8	17	3.26	3.01	0.80 a 1.22	0.81 a 1.23

^c NR=No reportado en la literatura citada.

Apéndice 9. Jerarquización derivada de la prueba de Friedman para consumo de alimento

Autor	Exp.	Lineales	Cuadráticos	Lin.con Mes.	Cuad. con Mes	Exponencial
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	4	5	2	1	3
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	3	1	4	2	5
Ensayo biológico	1	4	3	1	2	5
Promedio		3.6666	3.0	2.3333	1.6666	4.3333

Apéndice 9 continuación...

Jerarquización derivada de la prueba de Friedman para ganancia de peso

Autor	Exp.	Lineales	Cuadráticos	Lin.con Mes.	Cuad. con Mes	Exponencial
Williams <i>et al.</i> , 1984	5	3	1	2	4	5
Batterham <i>et al.</i> , 1985	1	2.5	4	2.5	1	5
Ensayo biológico	1	1.5	4	1.5	3	5
Promedio		2.3333	3.0	2.0	2.6666	5

Apéndice 10. Programas de EXCEL

10.1 Programa de EXCEL para el Artículo de Williams *et al.*, 1984, que maximiza la ganancia de peso (NOB)

ARCHIVO: NOBCEX.XLS

WILLIAMS, 84 (E8)

MODELO DE MÁXIMA GANANCIA DE PESO CON REQUERIMIENTOS EN LHS Y RHS

% L-Lesna en la ración

	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1%)	(UA=1%)	0,938			
	SORGO	P. SOYA	ACEITE	DL-MET	HCL-LIS	ARENA	CARBONATO	ORTOFOSF	SAL	VIT	MIN	VARLIS	VARCOSTO	NIVEL	TIPO	RHS	UNIDADES
PESO (KG.)														34,11131	MAX		PESOS
COSTO(PESOS)	1,8	3	4	27,35	23	1	2,6	3	0,9	4,3	3,1		-1	2,71E-10	=	0	PESOS
EM(KCal/kg)	3280	3220	7350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3260	=	3260	KCAL
PC(%)	8,9	44	0	0	94,4	0	0	0	0	0	0	0	0	15	=	15	%
MET(%)	0,16	0,52	0	98,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	=	0,25	%
SUMLIS(%)	0,23	2,9	0	0	74,42	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1,14E-08	=	0	%
MINLIS(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,938056	>=	0,72	%
MAXLIS(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,938056	<=	1,32	%
SUMINERTE(%)	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	%
MININER(%)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	0	%
MAXINER(%)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	0,77	%
CALC(%)	0,03	0,3	0	0	0	0	38	17	0	0	0	0	0	0,6	=	0,6	%
FOSF(%)	0,28	0,65	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0,5	=	0,5	%
SAL(KG.)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,004	=	0,004	KG.
VIT(KG.)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,001	=	0,001	KG.
MIN(KG.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,0015	=	0,0015	KG.
PESOKG8)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	=	1	KG.

KG. DE:	0,7601058	0,18022473	0,025378142	0,000351941	0,003232736	0	0,005315063	0,018891589	0,004	0,001	0,0015	0,938056283	2,177399653
% EN LA	SORGO	P. SOYA	ACEITE	DL-MET	HCL-LIS	ARENA	CARBONATO	ORTOFOSF	SAL	VIT	MIN	PRECIO	\$/KG
RACIÓN	76,011	18,022	2,538	0,035	0,323	0,000	0,532	1,889	0,400	0,100	0,150	RACIÓN	2,18

PREDICCIÓN DE VARIABLES:

	GANANCIA DE PESO	VARIABLES	CONSUMO DE ALIMENTO	VARIABLES
INTERCEPTO	-21,618800	1	79,2902	1
PARÁMETROS LIS	118,8204000	0,938056283	1,2456	0,938056283
LIS*LIS	-63,3333000	0,87994959	0	0,87994959

GANANCIA DE PESO PREDICHA A LOS 50 KG.: 34,1113114

CONSUMO DE ALIMENTO PREDICHO A LOS 50 KG.: 80,42864291

INGRESO:	\$ CERDO X	PFIN=	RESULTADO
	9,3	34,1113114	317,235196
EGRESOS:	\$/KG DE DIETA	X CA=	
	2,177399653	80,42864291	175,1252991
UTILIDADES:	INGRESOS -	EGRESOS=	142,1098968
			UTILIDAD/CERDO A 50 Kg

Apéndice 10. Continuación...

10.1 Programa de EXCEL para el Artículo de Batterham *et al.*, 1985, que maximiza la ganancia de peso (NOB)

ARCHIVO: NOBCER.XLS

BATTERHAM, 1985 E1

MODELO DE MAXIMA GANANCIA DE PESO CON REQUERIMIENTOS EN LHS Y RHS

% L-Lisina en la ración

1,172

FMG

	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1KG)	(UA=1%)	(UA=1%)	NIVEL	TIPO	RHS	UNIDADES
	SORGO	P. SOYA	ACEITE	DL-MET	HCL-LIS	ARENA	CARBONAT	ORTOFOSF	SAL	VIT	MIN	VARLIS	VARCOSTO	OPTIMO			
PESO (KGS)														30,266136	MAX		PESOS
COSTO(PESOS)	1,8	3	4	27,35	23	1	2,6	3	0,9	4,3	3,1	0	-1	1,053E-10	=	0	PESOS
EM(KCal/kg)	IGUALDAD	3280	3220	7350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3260	=	3260	KCAL
PC(%)	IGUALDAD	8,9	44	0	0	94,4	0	0	0	0	0	0	0	15	=	15	%
MET(%)	IGUALDAD	0,16	0,52	0	98,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	=	0,25	%
SUMLIS(%)	VARIABLE	0,23	2,9	0	0	74,42	0	0	0	0	0	-1	0	-4,43E-09	=	0	%
MINLIS(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,1718182	>=	0,72	%
MAXLIS(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,1718182	<=	1,32	%
SUMINERTE(%)	VARIABLE	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	%
MININER(%)	VARIABLE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	0	%
MAXINER(%)	VARIABLE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	0,77	%
CALC(%)	IGUALDAD	0,03	0,3	0	0	0	38	17	0	0	0	0	0	0,6	=	0,6	%
FOSF(%)	IGUALDAD	0,28	0,65	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0,5	=	0,5	%
SAL(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,004	=	0,004	KGS
VIT(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,001	=	0,001	KGS
MIN(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,0015	=	0,0015	KGS
PESOKGS)	IGUALDAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	=	1	KGS

KGS DE:	0,760835103	0,172715087	0,028342623	0,000390401	0,008664235	0	0,005141288	0,019411283	0,004	0,001	0,0015	1,171818182	2,249124956
% EN LA	SORGO	P. SOYA	ACEITE	DL-MET	HCL-LIS	ARENA	CARBONAT	ORTOFOSF	SAL	VIT	MIN	PRECIO	\$/KG
RACION	76,084	17,272	2,834	0,039	0,866	0,000	0,514	1,941	0,400	0,100	0,150	RACION	2,25

PREDICCIÓN DE VARIABLES:

	GANANCIA DE PESO	VARIABLES	CONSUMO DE ALIMENTO	VARIABLES
INTERCEPTO	0,811900	1	201,0452	1
PARAMETROS	50,2710000	1,171818182	-326,488	1,171818182
LIS*LIS	-21,4500000	1,373157851	191,1	1,373157851

GANANCIA DE PESO PREDICHA A LOS 50 KGS: 30,26613591

CONSUMO DE ALIMENTO PREDICHO A LOS 50 KG: 80,87109083

INGRESO:	\$ CERDO X	PFIN=	RESULTADO
	9,3	30,26613591	281,475064
EGRESOS:	\$/KG DE DIETA X CA=		
	2,249124956	80,87109083	181,8891886
UTILIDADES:	INGRESOS -	EGRESOS=	99,58587539 UTILIDADICERDO A 50 KGS

10.1 Programa de EXCEL para el ensayo biológico, que maximiza la ganancia de peso (NOB)

OROZCO, 1996

% L-Lisina en la ración

1,32
FMG

KGS DE:	0,761297409	0,16795472	0,03022181	0,000414781	0,008839464	0	0,005031132	0,019740684	0,004	0,001	0,0015	1,32	2,29459187
% EN LA	SORGO	P. SOYA	ACEITE	DL-MET	HCL-LIS	ARENA	CARBONAT	ORTOFOSF	SAL	VIT	MIN	PRECIO	\$/KG
RACION	76,130	16,795	3,022	0,041	0,884	0,000	0,503	1,974	0,400	0,100	0,150	RACION	2,29

GANANCIA DE PESO	VARIABLES	CONSUMO DE ALIMENTO	VARIABLES
22,069700	1	68,2611	1
8,5957000	1,32	37,2397	1,32
-2.3437000	1.7424	-14.9187	1.7424

GANANCIA DE PESO PREDICHA A LOS 50 KGS:	29,33236112
---	-------------

CONSUMO DE ALIMENTO PREDICHO A LOS 50 KG :	91,42316112
--	-------------

INGRESO:	\$ CERDO X	PFIN=	RESULTADO
	9,3	29,33236112	272,7909584
EGRESOS:	\$/KG DE DIETA	X CA=	
	2,294591671	91,42316112	209,7788241
UTILIDADES:	INGRESOS -	EGRESOS=	63,01213434 UTILIDAD/CERDO A 50 KGS

10.2 Programa de EXCEL para el Artículo de Williams *et al.*, 1984, que maximiza las utilidades (NOE)

Utilidad por cerdo	142,4281 \$
% L-Lisina en la ración	0,915

	(UA=1KG) SORGO	(UA=1KG) P. SOYA	(UA=1KG) ACEITE	(UA=1KG) DL-MET	(UA=1KG) HCL-LIS	(UA=1KG) ARENA	(UA=1KG) CARBONAT	(UA=1KG) ORTOFOSF	(UA=1KG) SAL	(UA=1KG) VIT	(UA=1KG) MIN	(UA=1%) VARLIS	(UA=1\$) VARCOSTO	NIVEL OPTIMO	TIPO	RHS	UNIDADES
PESO (KGS)														142,42812	MAX		PESOS
COSTO(PESOS)	1,8	3	4	27,35	23	1	2,6	3	0,9	4,3	3,1	0	-1	2,877E-10	=	0	PESOS
EM(KCal/kg)	IGUALDAD	3280	3220	7350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3260	=	3260	KCAL
PC(kg)	IGUALDAD	8,9	44	0	94,4	0	0	0	0	0	0	0	0	15	=	15	%
MET(%)	IGUALDAD	0,16	0,52	0	98,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	=	0,25	%
SUMLIS(%)	VARIABLE	0,23	2,9	0	74,42	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1,21E-08	=	0	%
MINLIS(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	>=	0,72	%
MAXLIS(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,91482	<=	1,32	%
SUMINERTE(%)	VARIABLE	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	%
MININER(%)	VARIABLE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	%
MAXINER(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	0,77	%
CALC(%)	IGUALDAD	0,03	0,3	0	0	0	38	17	0	0	0	0	0	0,6	=	0,6	%
FOSF(%)	IGUALDAD	0,28	0,65	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0,5	=	0,5	%
SAL(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,004	=	0,004	KGS
VIT(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,001	=	0,001	KGS
MIN(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,0015	=	0,0015	KGS
PESOKGS)	IGUALDAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	=	1	KGS

KGS DE:	0,760033306	0,180971201	0,025083468	0,000348118	0,002891639	0	0,005332336	0,018839833	0,004	0,001	0,0015	0,914819958	2,170270037
% EN LA	SORGO	P. SOYA	ACEITE	DL-MET	HCL-LIS	ARENA	CARBONAT	ORTOFOSF	SAL	VIT	MIN	PRECIO	%K
RACION	76,003	18,097	2,508	0,035	0,289	0,000	0,533	1,884	0,400	0,100	0,150	RACIÓN	2,17

PARAMETROS		INTERCEPTO	1	79,2602	1
LIS		118,8204000	0,914819958	1,2456	0,914819958
LIS*LIS		-83,3333000	0,836895556	0	0,836895556

GANANCIA DE PESO PREDICHA A LOS 50 KGS:	34,07711606
CONSUMO DE ALIMENTO PREDICHO A LOS 50 KG :	80,39969974

INGRESO:	\$ CERDO X	PFIN=	RESULTADO
		9,3	34,07711605 316,9171783
EGRESOS:	\$/KG DE DIETA X CA=		
	2,170270037	80,39969974	174,4890594
UTILIDADES:	INGRESOS -	EGRESOS=	142,4281199 UTILIDAD/CERDO A 50 KGS

85

10.2 Programa de EXCEL para el Artículo de Batterham *et al.*, 1985, que maximiza las utilidades (NOE)

BATTERHAM, 1985 E1

Utilidad por cargo	133 537 \$
--------------------	------------

% L-Lisina en la ración
0,941

		(UA=1KG) SORGO	(UA=1KG) P. SOYA	(UA=1KG) ACEITE	(UA=1KG) DL-MET	(UA=1KG) HCL-LIS	(UA=1KG) ARENA	(UA=1KG) CARBONAT	(UA=1KG) ORTOFOSF	(UA=1KG) SAL	(UA=1KG) VIT	(UA=1KG) MIN	(UA=1%) VARLIS	(UA=1%) VARCOSTO	FMU NIVEL OPTIMO	TIPO	RHS	UNIDADES
PESO (KGS)															133,63688	MAX		PESOS
COSTO(PESOS)		1,8	3	4	27,35	23	1	2,6	3	0,9	4,3	3,1	0	-1	2,705E-10	=	0	PESOS
EM(KCa/kg)	IGUALDAD	3280	3220	7350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3260	=	3260	KCAL
PC(%)	IGUALDAD	8,9	44	0	0	94,4	0	0	0	0	0	0	0	0	15	=	15	%
MET(%)	IGUALDAD	0,16	0,52	0	98,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	=	0,25	%
SUMLIS(%)	VARIABLE	0,23	2,9	0	0	74,42	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1,13E-08	=	0	%
MINLIS(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,9414082	>=	0,72	%
MAXLIS(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9414082	<=	1,32	%
SUMINERTE(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	%
MININER(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0	%
MAXINER(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	0	%
CALC(%)	IGUALDAD	0,03	0,3	0	0	0	0	38	17	0	0	0	0	0	0,6	=	0,77	%
FOSF(%)	IGUALDAD	0,28	0,65	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0,5	=	0,5	%
SAL(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,004	=	0,004	KGS
VIT(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,001	=	0,001	KGS
MIN(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,0015	=	0,0015	KGS
PESOKGS)	IGUALDAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	=	1	KGS

KGS DE:	0,760116257	0,180117049	0,02542065	0,000352493	0,00326194	0	0,005312571	0,018899041	0,004	0,001	0,0015	0,941408183	2,178426118
% EN LA	SORGO	P. SOYA	ACEITE	DL-MET	HCL-LIS	ARENA	CARBONAT	ORTOFOSF	SAL	VIT	MIN	PRECIO	\$/KG
RACION	76,012	18,012	2,542	0,035	0,328	0,000	0,531	1,890	0,400	0,100	0,150	RACIÓN	2,18

PREDICCIÓN DE VARIABLES:

PREDICCIÓN DE VARIABLES:		GANANCIA DE PESO		CONSUMO DE ALIMENTO	
PARAMETROS	INTERCEPTO	VARIABLES	VARIABLES	VARIABLES	VARIABLES
	LIS	0,811900	1	201,0452	1
	LIS*US	50,27710000	0,941408183	-326,488	0,941408183
	LIS*US	-21,45200000	0,866249368	191,1	0,866249368

CONSUMO DE ALIMENTO PREDICHO A LOS 50 KG :	63,0489792
--	------------

INGRESO:	\$ CERDO X	PFIN=	RESULTADO
		9,3	29,12738185
EGRESOS:	\$/KG DE DIETA	X CA=	
		2,178428118	63,0489792
UTILIDADES:	INGRESOS -	EGRESOS=	137,3476691
			133,5369821
			UTILIDAD/CERDO A 50 KGS

Apéndice 10. Continuación...

10.2 Programa de EXCEL para el ensayo biológico, que maximiza las utilidades (NOE)

ARCHIVO: NOECER.XLS

OROZCO, 1996

Utilidad por cerdo 67,176 \$

% L-Lisina en la ración

0,720

FMU

MODELO DE MAXIMA UTILIDAD CON REQUERIMIENTOS EN LHS Y RHS

	(UA=1KG) SORGO	(UA=1KG) P. SOYA	(UA=1KG) ACEITE	(UA=1KG) DL-MET	(UA=1KG) HCL-LIS	(UA=1KG) ARENA	(UA=1KG) CARBONAT	(UA=1KG) ORTOFOSF	(UA=1KG) SAL	(UA=1KG) VIT	(UA=1KG) MIN	(UA=1%) VARLIS	(UA=1%) VARCOSTO	NIVEL OPTIMO	TIPO	RHS	UNIDADES
PESO (KGS)														67,175631	MAX		PESOS
COSTO(PESOS)	1,8	3	4	27,35	23	1	2,6	3	0,9	4,3	3,1	0	-1	4,259E-10	=	0	PESOS
EM(KCal/Kg)	IGUALDAD	3280	3220	7350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3260	=	3260	KCAL
PC(%)	IGUALDAD	8,9	44	0	0	94,4	0	0	0	0	0	0	0	15	=	15	%
MET(%)	IGUALDAD	0,16	0,52	0	98,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	=	0,25	%
SUMLIS(%)	VARIABLE	0,23	2,9	0	0	74,42	0	0	0	0	0	-1	0	-1,8E-08	=	0	%
MINLIS(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,72	>=	0,72	%
MAXLIS(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,72	<=	1,32	%
SUMINERTE(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	=	0	%
MININER(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	>=	0	%
MAXINER(%)	VARIABLE	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<=	0,77	%
CALC(%)	IGUALDAD	0,03	0,3	0	0	0	0	38	17	0	0	0	0	0,6	=	0,6	%
FOSF(%)	IGUALDAD	0,28	0,65	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0,5	=	0,5	%
SAL(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,004	=	0	KGS
VIT(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,001	=	0	KGS
MIN(KGS)	IGUALDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,0015	=	0	KGS
PESOKGS)	IGUALDAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	=	1	KGS

KGS DE:	0,759425496	0,187229826	0,022612834	0,000316065	3,17874E-05	0	0,005477162	0,01840683	0,004	0,001	0,0015	0,72	2,11049331
% EN LA	SORGO	P. SOYA	ACEITE	DL-MET	HCL-LIS	ARENA	CARBONAT	ORTOFOSF	SAL	VIT	MIN	PRECIO	\$/KG
RACION	75,943	18,723	2,261	0,032	0,003	0,000	0,548	1,841	0,400	0,100	0,160	RACION	2,11

PREDICCION DE VARIABLES:

PARAMETROS
INTERCEPTO
LIS
LIS*LIS

GANANCIA DE PESO	VARIABLES	CONSUMO DE ALIMENTO	VARIABLES
22,069700	1	68,2611	1
8,5957000	0,72	37,2397	0,72
-2,3437000	0,5184	-14,9187	0,5184

GANANCIA DE PESO PREDICHA A LOS 50 KGS: 27,04362992

CONSUMO DE ALIMENTO PREDICHO A LOS 50 KG : 87,33982992

INGRESO:	\$ CERDO X	PFIN=	RESULTADO
	9,3	27,04362992	251,5057583
EGRESOS:	\$/KG DE DIETA X CA=		
	2,110493313	87,33982992	184,330127
UTILIDADES:	INGRESOS -	EGRESOS=	67,17563122 UTILIDAD/CERDO A 50 KGS

