



Publicación Miscelánea No. 28  
Departamento de Economía Agrícola  
Diciembre - 1975

*Ing. Francisco Villacres*

**LA PROGRAMACION LINEAL Y LA FORMULACION DE  
RACIONES PARA ANIMALES**

*Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*

## LA PROGRAMACION LINEAL Y LA FORMULACION DE RACIONES PARA ANIMALES

Ing. Francisco Villacres (\*)

La programación lineal es una de las técnicas matemáticas que se originaron durante la segunda guerra mundial (\*\*), actualmente da solución a una serie de problemas prácticos en los sectores agrícola, industrial, financiero, económico, etc.

Ecuador tiene dos industrias de alimentos balanceados que utilizan estas técnicas en la elaboración de alimentos para animales; sin embargo, los datos son procesados en centros de computación de los Estados Unidos de Norteamérica; esta situación presenta varios inconvenientes: costos relativamente altos y tiempos de espera bastante largos para la recepción de los resultados, anulándose de esta manera, las ventajas de la computación.

Es necesario indicar que el país cuenta con los medios adecuados que harían factible preparar fórmulas alimenticias al menor costo posible. Los centros de computación de la Escuela Politécnica Nacional, de la Universidad Central del Ecuador, del Ministerio de Obras Públicas y los de IBM disponen de programas escritos y grabados para resolver este tipo de problemas.

Estudios realizados por el autor (16) han demostrado que la calidad de los alimentos balanceados constituye uno de los factores limitantes para el desarrollo de las industrias pecuarias del país, especialmente para la avicultura que consume el 92% de la producción nacional de alimentos para animales.

La programación lineal, aplicada a la formulación de raciones para animales, permitiría a las empresas ecuatorianas optimizar parte de sus recursos y mejorar su eficiencia, pudiendo producir balanceados con los requerimientos adecuados y al menor costo posible.

### I. DEFINICION DEL PROBLEMA DE LA DIETA

Históricamente el problema de la dieta de Stigler (\*\*\*) fue el primer problema de programación lineal largo y complejo que fue resuelto por el método simplex.

El problema consiste en elaborar una fórmula alimenticia al menor costo posible y, a la vez, que permita llenar los requerimientos nutricionales del animal. Por tanto será problema básico para las firmas procesadoras de balanceados producir alimentos con las características de calidad requeridas, tomando en cuenta el valor nutritivo y precios de la materia prima, los mismos que van a variar para cada zona del país y para cada empresa según su localización, por lo que la solución estará condicionada a estos factores.

Los criterios anteriormente enunciados se reafirman con los de Morrison (12) quien indica que "diversos experimentos han demostrado que no existe ración que sea imprescindible. Por tanto cuando los precios varían visiblemente se debe introducir los cambios precisos en las raciones para aprovechar las nuevas condiciones"; concluye que "es antieconómico utilizar permanentemente la misma fórmula mes tras mes y año tras año, sin tomar en cuenta el precio relativo de los diversos ingredientes individuales que se pueda disponer"

Finalmente termina diciendo que "los fabricantes de alimentos balanceados tienen la ventaja de seguir mucho más de cerca, que la mayor parte de agricultores, las variaciones de precios de los diversos ingredientes y pueden hacer las modificaciones necesarias en sus fórmulas para suministrar, a sus clientes, eficientes mezclas de alimentos y a precios mínimos".

(\*) Miembro del Departamento de Economía Agrícola del INIAP. Esta publicación se basa, fundamentalmente, en la tesis de grado del autor.

(\*\*) La programación lineal fue creada por George B. Dantzig en 1947, como una técnica para planificar las diversas actividades de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos (3). El artículo fundamental ya se había dado a conocer privadamente unos años antes de su publicación como obra de G.B. Dantzig titulada "Maximization of a linear function of variables subject to linear inequalities", en la recopilación dirigida por T.C. Koopmans, Activity analysis of production and allocation, págs. 339 - 347, John Wiley & Sons, Inc. Nueva York, 1951.

(\*\*\*) Historia del problema: 1941 planteado independientemente y propuesto aproximadamente por Jerone Confield en un memorandum que no ha sido publicado. 1945 resuelto por G.J. Stigler sin emplear la programación lineal, publicado en Journal of Farm Economics, 27: 303 - 314 (Mayo 1945), 1947 resuelto por G.B. Dantzig y J. Ladermann mediante el empleo de la programación lineal; no ha sido publicado (3).

## II. EL MODELO MATEMATICO

Este problema de programación lineal debe minimizar la función de costo:

$$(1) \quad Z_0 = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$(2) \quad \begin{array}{ccccccc} A_{11}X_1 & + & A_{12}X_2 & + & A_{13}X_3 & + & \dots + A_{1n}X_n & \geq & b_1 \\ A_{21}X_1 & + & A_{22}X_2 & + & A_{23}X_3 & + & \dots + A_{2n}X_n & \leq & b_2 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_{m1}X_1 & + & A_{m2}X_2 & + & A_{m3}X_3 & + & \dots + A_{mn}X_n & \leq & b_m \end{array}$$

$$(3) \quad X_n \geq 0$$

En donde:  $n = 1, 2, 3, \dots, i$   
 $m = 1, 2, 2, \dots, j$

Como puede observarse, la función objetivo que será minimizada (1), es una ecuación lineal que representa el costo de producir alimento balanceado.

Los coeficientes  $C_1, C_2, \dots, C_n$  se denominan coeficientes de costo, representando al costo unitario asociado a  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ , respectivamente, que son las cantidades de cada ingrediente.

La primera serie de restricciones (2) la forman un conjunto de desigualdades lineales, donde los términos  $b_1, b_2, \dots, b_n$  representan los diferentes niveles que deben cumplirse, es decir los requerimientos del problema. Los parámetros  $A_{11}, A_{22}, \dots, A_{mn}$  son coeficientes que indican la cantidad de un recurso  $b$  para cualquier variable  $X$  contemplada en la función objetivo. Así por ejemplo si  $b_2$  representa nivel de proteína,  $A_{21}$  representaría la cantidad de proteína que tiene la variable  $X_1$ .

Cuando la disponibilidad de un recurso es limitado, la desigualdad es del tipo menor o igual que ( $\leq$ ) y si queremos llegar a satisfacer un requerimiento mínimo será del tipo mayor o igual que ( $\geq$ ). Debemos indicar que para el problema de preparación de fórmulas alimenticias entran ambos tipos de desigualdades. La restricción (3) determina que todas las

soluciones deben ser positivas, siendo una condición matemática y lógica ya que no tiene sentido hablar de que los niveles de cada elemento sean negativos.

El modelo matemático planteado y las técnicas matemáticas (Método Simplex)\* permitirán llegar a obtener una solución óptima al problema propuesto.

## III.- FORMACION DE COEFICIENTES TECNICOS

Los coeficientes técnicos expresan la cantidad de insumo por unidad de actividad. Para el problema que se está tratando, la información necesaria se encuentra recopilada en los libros en forma de tablas o en revistas especializadas de zootecnia. Hace más de un siglo que los científicos han ido acumulando una gran cantidad de datos sobre los requerimientos nutritivos de los animales como de las fuentes alimenticias que los podrían satisfacer y que son utilizados para preparar fórmulas alimenticias a nivel comercial.

### A. Factores a considerar

Los aspectos más importantes que se deben tomar en cuenta son los siguientes:

1. Localizar e identificar los valores numéricos que corresponden a los requerimientos nutritivos del

\* George Dantzig, es el inventor de la primera de las técnicas de cálculo general que tuvo éxito (y que sigue siendo una de las más eficientes): el método simplex (2). Este es un proceso de carácter iterativo que lo realiza la computadora.

animal, considerando características de raza, edad y peso.

2. Hacer una posible lista de los ingredientes que se hallan disponibles en el mercado y que podrían formar parte de la ración.
3. Es necesario reunir los análisis químicos y precios de las materias primas disponibles.
4. Cada balanceado que se prepare deberá tener los elementos químicos señalados para satisfacer las necesidades fisiológicas del animal.
5. De acuerdo con las características químicas de algunos ingredientes, éstos deben formar parte de la solución en una determinada cantidad, ese podría ser el caso de la torta de algodón que por su contenido de gossypol no debe sobrepasar el 10<sup>o</sup>/o de la ración a prepararse.
6. Algunos ingredientes deben entrar en una preparación fija, tal sería el caso de una premezcla que generalmente debe formar parte de un 2<sup>o</sup>/o del producto a elaborarse.

#### B. FUENTES DE INFORMACION

Los análisis químicos de los alimentos (ingredientes) y los requerimientos nutritivos de los animales se pueden obtener de las siguientes fuentes:

1. Los datos más confiables se obtienen de los resultados de las investigaciones científicas realizadas en las Estaciones Experimentales del INIAP, por ejemplo, y en otras instituciones que determinan la composición de los alimentos y los requerimientos nutricionales de los animales (Ver Anexo 1)
2. Los análisis químicos de los ingredientes hechos por los Laboratorios de Nutrición Animal del Estado o de las Universidades (Ver Anexo 2).
3. Son importantes las publicaciones de la Academia Nacional de Ciencias (NAS) y de los Consejos Nacionales de Investigación (NCR) de países como los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, etc. (Ver Anexo 3).
4. Libros especializados de Zootécnica y Nutrición Animal (Ver Anexo 4).

Los precios de los ingredientes se pueden obtener de las siguientes fuentes:

1. Firmas comerciales que venden ingredientes.
2. Comerciantes de materias primas.
3. Industrias que venden subproductos de sus procesos.
4. Periódicos.

En algunas ocasiones se presentan rangos de variación entre datos, por lo que sería prudente comparar la información con el mayor número de fuentes posibles.

#### IV. APLICACION PRACTICA

Supongamos que se desee elaborar un alimento para cerdos durante la etapa de crecimiento y acabado que comprende desde que el animal deja de recibir la alimentación de la madre (destete a los 56 días de edad), hasta cuando éste se encuentra listo para la venta (90 kg., aproximadamente).

Al momento de la investigación se elaboró una lista de quince ingredientes que se encontraban disponibles en el mercado (Ver Cuadro 1). Los precios de estas materias primas fueron proporcionados por las industrias de balanceados de la provincia de Pichincha.

Los requerimientos de energía metabolizable, proteína y fibra se tomaron de las recomendaciones del Consejo Nacional de Investigaciones de los EE.UU. Estos requerimientos son: para proteína un mínimo de 16<sup>o</sup>/o y para fibra un máximo del 4<sup>o</sup>/o del peso total; para energía metabolizable el requerimiento es de 3.100 calorías por kilogramo.

Los coeficientes técnicos de la proteína, fibra y energía se obtuvieron de varios estudios hechos por Morrison (2), McDowell (13) y Risse (15), entre otros y se ilustran en el Cuadro 1.

El propósito es encontrar una fórmula alimenticia lo más económica posible; la función objetivo planteada en el Cuadro 2 trata de minimizar el costo. De manera que  $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots$  etc., representan el peso en kilogramos que los diferentes ingredientes pueden entrar en la solución del problema. Los valores 3.95, 3.06, 1.62, ..... etc., son los coeficientes de los precios o costos de cada uno de los ingredientes considerados.

Las tres primeras desigualdades constituyen restricciones determinadas por los requerimientos nutricionales del alimento, por ejemplo en la primera la cantidad mínima de proteína requerida es de 16<sup>o</sup>/o, en la segunda desigualdad el nivel de fibra no debe sobrepasar el 4<sup>o</sup>/o. Los coeficientes asociados a cada

elemento representan los niveles de proteína y fibra que contiene cada ingrediente.

Las seis desigualdades restantes, esquematizadas en el Cuadro 2, se caracterizan por ser restricciones de carácter especial, las mismas que se originan por la naturaleza de los elementos. El caso de la torta de algodón es notorio, pues estudios realizados por MORRISON (12), RISSE (15) y otros, señalan que este alimento no debe sobrepasar el 10<sup>0</sup>/o de la composición del balanceado, por cuanto el contenido de gossypol resultaría nocivo para la salud de los animales, situaciones similares se presentan con los otros elementos anotados en este cuadro.

tadora, los mismos que constan en el Cuadro 3, con las recomendaciones entregadas por técnicos especialistas en nutrición animal (11) descritas en el Cuadro 4.

La fórmula computada tiene un costo de 4.603 sucres por tonelada (Cuadro 3), mientras la otra tiene un costo de 5.699 sucres por tonelada, es decir que la segunda respecto a la primera presenta un incremento de precios de 48 sucres por quintal. Este aspecto es muy importante para la industria de balanceados que podría incentivar sus ventas al colocar productos de calidad y bajo costo en el mercado, también lo es para el consumidor que adquiere a precio conveniente respecto al de sus similares;

Cuadro 1

CONTENIDO DE PROTEINA, FIBRA Y ENERGIA METABOLIZABLE  
EN ALGUNOS PRODUCTOS USADOS EN LA ELABORACION DEL  
ALIMENTO BALANCEADO

P R O D U C T O	Contenido de Proteína	Contenido de Fibra	Energía Metabolizable	Precio
	o/o del peso		K.cal/kilo	S./Kg.
Maíz	7.60	2.40	3.095	3.96
Cebada	8.70	5.70	3.305	3.08
Afrechillo de Trigo	15.80	9.50	2.818	1.82
Polvillo de Arroz	12.70	4.00	3.126	1.65
Harina de Banano	3.90	4.50	3.337	2.97
Harina de Yuca	1.90	11.80	3.100	1.21
Alfarina	11.40	18.50	1.710	5.06
Torta de Maní	42.70	8.90	2.610	6.38
Torta de Ajonjolí	39.60	6.10	2.650	6.16
Torta de Algodón	25.90	24.30	2.100	4.00
Torta de Palma Real	16.80	24.30	2.730	1.32
Quinoa	12.30	4.60	3.331	6.16
Harina de Pescado	50.50	0.40	3.040	5.28
Premezcla	-----	-----	-----	90.00
Melaza	2.80	-----	2.878	0.45

FUENTE: Varios Estudios  
ELABORACION: El Autor

Para apreciar las ventajas que la metodología utilizada presenta, podemos establecer un análisis comparativo entre los resultados entregados por la compu-

además existe un considerable ahorro de recursos económicos para la empresa y para el consumidor.

El solo cambio de una variable o de una restricción al problema planteado produce modificaciones en el resultado final debido a que la función objetivo trata de optimizar los recursos disponibles.

En resumen, el autor está completamente de acuerdo con el criterio de Alba de J. (1) al señalar que: "Lo importante es poner énfasis en lo indispensable que es el esfuerzo y la atención al preparar las restricciones y los requerimientos, así como la decisión de incluir o no un ingrediente en la lista de componentes a escoger. Sólo así puede la

computadora dar soluciones útiles. Los errores en algunos de los pasos iniciales o en la aceptación o rechazo de las soluciones pueden originar un mediocre comportamiento animal. La culpa no provendrá del hecho de que las raciones sean computadas, sino de la mala información utilizada".

Factor decisivo es el criterio inteligente del técnico quien basado en su experiencia y conocimiento práctico de nutrición animal, utilizará las raciones programadas en la debida forma.

Cuadro 2

REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL MODELO

Función Objetivo:	A L I M E N T O S $3.96X_1 + 3.06X_2 + 1.82X_3 + 1.65X_4 + 2.97X_5 + 1.21X_6 + 5.06X_7 + 6.38X_8 + 6.16X_9 + 4.X_{10} + 1.32X_{11} + 6.16X_{12} + 5.26X_{13} + 90X_{14} + 0.45X_{15}$	Cantida Requerid
Restricciones:		
proteína	$0.76X_1 + 0.87X_2 + 1.58X_3 + 1.27X_4 + 0.39X_5 + 0.10X_6 + 1.14X_7 + 0.427X_8 + 0.396X_9 + 0.269X_{10} + 0.168X_{11} + 0.123X_{12} + 0.505X_{13} + 0X_{14} + 0.28X_{15}$	$\geq .160$
fibra	$0.024X_1 + 0.057X_2 + 0.095X_3 + 0.003X_4 + 0.045X_5 + 0.118X_6 + 0.185X_7 + 0.060X_8 + 0.061X_9 + 0.243X_{10} + 0.240X_{11} + 0.046X_{12} + 0.004X_{13} + 0X_{14} + 0X_{15}$	$\leq .040$
energía	$3095X_1 + 3305X_2 + 2818X_3 + 3126X_4 + 3337X_5 + 3100X_6 + 1710X_7 + 2610X_8 + 2660X_9 + 2100X_{10} + 2730X_{11} + 3331X_{12} + 3040X_{13} + 0X_{14} + 2878X_{15}$	$\geq 3100$
frechillo de Trigo	$1X_3$	$\leq .400$
polvillo de arroz	$1X_4$	$\leq .150$
ortiga de algodón	$1X_{10}$	$\leq .100$
ortiga de Real	$1X_{11}$	$\leq .100$
mezcla	$1X_{14}$	$= .20$
melaza	$1X_{15}$	$\leq .150$

LABORACION: El Autor

Cuadro 3

FORMULA COMPUTADA PARA CRECIMIENTO  
Y ENGORDE DE CERDOS

INGREDIENTE	Peso Kg.	Precio S/. / Kg.	Costo S/. / Kg.
Harina de Peseado	191,70	5.28	1.012,18
Polvillo de Arroz	150,00	1.65	247,50
Cebada	456,46	3.08	1.405,90
Harina de Yuca	73,86	1.21	89,37
Melaza	107,98	0.45	48,59
Premezcla	20,00	90.00	1.800,00
<b>T O T A L</b>	<b>1.000,00</b>	<b>----</b>	<b>4.603,55</b>

ELABORACION: El Autor



Cuadro 4

## FORMULA PARA CRECIMIENTO Y ENGORDE DE CERDOS

INGREDIENTE	Peso Kg.	Precio S/. / Kg.	Costo S/. / Kg.
Maíz	300	3,96	1.188,00
Cebada	150	3,08	462,00
Polvillo de Arroz	200	1,65	330,00
Afrechillo de Trigo	100	1,82	182,00
Torta de Ajonjolí	40	6,16	246,40
Torta de Algodón	40	4,00	160,00
Torta de Palma Real	20	1,32	26,40
Harina de Pescado	50	5,28	264,00
Alfarina	50	2,63	131,50
Melaza	20	0,45	9,00
Premezcla	30	90,00	2.700,00
TOTAL	1.000	---	5.699,30

FUENTE: ITALCONSULT (11)

ELABORACION: El Autor.

## B I B L I O G R A F I A

---

1. ALBA, J. de. Alimentación del Ganado en América Latina. Ing. Jarrín, A. Nutrición Animal. Quito, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria, 1974. s.p. Poligrafiados.
2. BAUMOL, N.J. Teoría Económica y Análisis de Operaciones. 2da. ed. traducido al español por Ramón Palazón. Herrero Hermanos sucesores S.A. Editores. México, 1969. 532 p.
3. DORFMAN, R., Samuelson, P.A. y Solon, R.M. Programación Lineal y Análisis Económico. 2da. edición, traducido del Inglés por Anselmo Calleja. Madrid, Ediciones Aguilar. 1964. 572 p.
4. DOW, Kamal. El uso de la Programación Lineal en la Solución de Problemas Prácticos y de Investigación en las Ciencias Agropecuarias. Quito. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Misceláneo No. 5. 1973. 14 p.
5. ESPINOSA, B. Programación Lineal. Cuarta Edición. México, Editorial Pax-México, 1973. 263 p.
6. FISHER, W.D. y SCHRUBE, L.W. Linear Programming Applied to Feed Mixing under Different Price-Conditions. Journal of Farm Economics. 35 (4) 471-483. 1953.
7. FREUND, J.R. Linear Programming on High Speed Computers. Virginia Polytechnic Institute. Journal of Farm Economics. 41 (5) 1439 - 1444. 1960
8. GASS, S. Programación Lineal. Traducido de la segunda edición en Inglés por el Dr. A. Lanuza Escobar. Cuarta Edición. México, Compañía Editorial Continental, S.A. 1964. 342 p.
9. HADLEY, G. Nonlinear and Dynamic Programming. Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, INC. 1964. p. 53-74, p. 185-211.
10. HEADY, E.O. y CANDLER, W. Linear Programming Methods. Fifth Printing. Michigan, Cushing Malloy, 1966. 597 p.
11. ITALCONSULT. Elementos para la programación Agropecuaria. Aspectos de la Nutrición Animal y Desarrollo de la Ganadería de Granja. Tomo IV. Roma 1963. 64 p.
12. MORRISON, F.B. Alimentos y Alimentación del Ganado. Traducido de la 21a. edición en Inglés por José L. de la Loma. Barcelona UTEHA. 1965. 1.370 p.
13. McDOWELL, L.R. et al. Latin American Tables of Feed Composition. University of Florida, Gainesville, 1974. 509 p.
14. McPHERSON, W.K. Manual for the computer formulation of livestock Feed Mixtures. Florida, Gainesville, 1974.
15. RISSE, J. La Alimentación del Ganado. Traducido del francés por Pedro Costa Batllori. Barcelona, Editorial Blume, 1970. 374 p.
16. VILLACRES, F. La Industria de Alimentos Balanceados en Ecuador. Tesis Ing. Agr. Quito. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria. 1974. 148 p.

BIBLIOGRAFIA DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS EN ECUADOR

1. ALVARADO ESPINOSA, P. Evaluación de la harina de banano verde sin cáscara en crecimiento y engorde de cerdos en confinamiento. Tesis Ing. Agr. Quito, 1971. 35 p.
2. CALLES LLANOS, A. Las cáscaras de cacao en dietas para engorde y acabado de cerdos. Tesis Med. Vet. Quito, 1968. 17 p.
3. CEDENO E, y COLAMARCO, T. Engorde precoz de terneros. Tesis Med. Vet. Quito, 1972. 48 p.
4. CELLERI CASTELU, H. Empleo de tortas de algodón, palma real y banano maduro en cerdas en gestación confinadas. Tesis Med. Vet. Quito, 1972 56 p.
5. CLAVIJO, V. El polvillo de arroz en dietas para engorde y acabado de cerdos en confinamiento. Tesis Med. Vet. Quito, 1968. 36 p.
6. CHAVES OLEAS, M.R. Estudio sobre el valor nutritivo de los subproductos del trigo para el ganado porcino. Tesis Ing. Agr. Quito, 1968. 17 p.
7. ESCOBAR RENGIFO, N.A. Evaluación de fórmulas alimenticias de uso comercial para pollos de carne. Tesis Med. Vet. Quito, 1970. 48 p.
8. ESTRELLA ESPINOSA, W. Y LOZADA CARDENAS, G. Relación necesaria entre energía metabolizable/proteína para crecimiento y acabado de pollos de carne. Tesis Ing. Agr. Quito, 1971, 64 p.
9. IZURIETA MORA BOWEN, P. Efectos de diferentes niveles de energía y vitamina A en el engorde de pollos broilers. Tesis Ing. Agr. Quito, 1968. 45 p.
10. LUNA GONZALEZ, R. Reemplazo de maíz amarillo tipo semivitreo por polvillo fino de arroz, en las dietas inicial y final de pollos de carne. Tesis Ing. Agr. Quito, 1971. 99 p.
11. OLIVA SUAREZ, F. Evaluación de la harina de banano verde con cáscara en crecimiento y acabado de cerdos en confinamiento. Tesis Med. Vet. Quito, 1968. 41 p.
12. ORTIZ RIVADENEIRA, H. Estudio sobre el valor nutritivo de los sub-productos de arroz para animales monogástricos y rumiantes. Tesis Ing. Agr. Quito, 1968. 68 p.
13. RAMOS, B.C. El piretro extractado en la alimentación de pollos de carne. Tesis Ing. Agr. Quito. 1969. 26 p.
14. RODRIGUEZ ORTIZ, B. Comportamiento de la harina de banano en parte de alimentación de pollos de carne. Tesis Med. Vet. Quito, 1970. 35 p.
15. SAAVEDRA MENDOZA, S. Grado de digestibilidad de la yuca en la alimentación del cerdo. Tesis Med. Vet. Quito, 1968, sp.
16. VITERI, J. Investigaciones sobre alimentación de cerdos, INIAP. Boletín Técnico No. 11.
17. VITERI, J. Alimentación de cerdos. INIAP. Poli grafiado. 1972.

Esta Bibliografía puede obtenerse en  
 las Bibliotecas de INIAP y  
 de la Universidad Central  
 del Ecuador

Cuadro 1

## COMPOSICION QUIMICA DE LOS ALIMENTOS

Gr./Kg.

A L I M E N T O	Materia seca	Ceniza cruda	Proteína cruda	Extracto etéreo	Fibra cruda	E.N.N.*
Avena	900	32	112	28	126	612
Avena forrajera	288	21	18	14	66	169
Banano verde entero	209	10	10	4	7	178
Banano pulpa sola	301	10	13	2	2	274
Banano maduro entero	250	12	14	5	13	206
Banano hojas deshidratadas	951	96	113	28	350	367
Cebada	895	23	127	14	43	688
Centeno	885	15	118	12	19	721
Camote con cáscara	198	15	4	1	5	173
Ceibo, flores;	879	64	84	13	294	424
Ceibo, fruto	834	64	68	55	257	378
Colza	331	28	29	16	72	186
Colza (variedad Regina)	923	31	199	277	71	345
Colza (variedad Mandarin)	910	34	191	432	69	184
Colza (variedad Pequinensis)	916	37	189	430	68	192
Fruto de pan	905	17	58	30	28	772
Granza de trigo	896	27	87	14	58	770
Germen de trigo	863	371	245	46	157	90
Germen de maíz (semolina)	893	20	127	40	28	678
Harina extractada de ajonjolí	963	81	515	13	67	287
Harina extractada de algodón	928	78	501	4	60	293
Harina de banano verde	807	51	39	21	45	751
Harina de carne y huesos	935	320	495	107	5	8
Harina de chicharrón	915	210	546	125	---	44
Harina extractada de palma real	900	54	99	6	280	461
Harina de plátano	906	26	28	2	7	843
Harina extractada de maní	953	38	406	4	242	246
Harina de pescado	925	151	578	152	1	43
Harina de pescado (Vigor)	920	157	568	171	1	23
Harina de pescado (Cobo)	912	152	570	149	2	39
Harina de pescado (Herco)	870	178	593	18	3	78
Harina de pescado (Proaño)	930	432	338	63	---	97
Harina de pescado (Pescarina)	957	180	688	68	3	18
Harina de sangre	894	39	825	8	---	22
Harina de Tagua	897	53	44	14	266	520
Harina extractada de soya	920	81	501	4	60	293
Maíz amarillo	883	14	76	17	24	752
Maíz blanco (morochillo)	861	14	98	35	2	712
Maíz Santo Domingo	887	35	103	13	63	673
Maíz podrido	951	16	80	41	17	797
Melaza de caña	627	62	29	1	---	533
Melaza Santo Domingo	741	168	46	---	---	527
Moyuelo de trigo	897	27	136	43	88	603
Papa con cáscara	200	10	4	1	7	178
Papa china	158	13	17	1	9	108
Paparina (residuo de papa)	906	25	43	8	85	745
Piretro extractado	877	84	113	7	162	511
Polvillo fino de arroz	898	98	111	138	25	525
Polvillo grueso de arroz	890	175	64	36	303	312
Sorgo	883	13	95	31	17	727
Torta de algodón	933	66	444	155	66	202
Torta de algodón (Cedosa)	936	77	523	3	61	262
Torta de algodón (Manta)	916	69	406	148	61	222
Torta de coco	914	32	103	112	218	440
Torta de colza	926	64	306	101	112	346
Trigo	857	190	119	10	33	676
Trigo, afrechillo	891	44	137	44	113	553
Trigo, afrecho	899	129	191	36	256	287
Vainas de algarrobo	858	41	40	5	116	656
Yuca	345	10	17	3	12	303
Yucarina (residuo de yuca)	933	26	19	9	118	761
Yuca (hojas deshidratadas)	921	118	231	56	116	350

E.N.N.\* Extracto no nitrogenado

FUENTE: Laboratorio de Nutrición Animal.- Facultad de Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria de la Universidad Central del Ecuador.- Quito.

ELABORACION: Doctor Jaime Viteri S. (Boletín Técnico No. 11, INIAP.- 1973)

Cuadro 2

## COMPOSICION QUIMICA DE LOS ALIMENTOS

En base a lo ofrecido y en forma seca

A L I M E N T O	Fibra cruda	Grasa	Proteína	E.D. Bovinos	E.D. Ovinos	E.D. Suinos	EMn Pollos
	o/o	o/o	o/o	Mcal./Kg.	Mcal./Kg.	Kcal./Kg.	Kcal./Kg.
<b>M A I Z</b>							
Grano	2.2	4.6	9.9	3.24	3.62	3.344	---
	2.5	5.2	11.1	3.63	4.07	3.752	---
Grano molido	2.5	4.0	8.9	3.08	3.36	3.310	---
	2.8	4.5	10.0	3.47	3.79	3.727	---
Afrecho con germen	9.4	8.6	14.5	---	3.48	---	---
	10.5	9.6	16.3	---	3.90	---	---
Grano amarillo	2.3	4.2	9.0	3.16	3.37	3.307	---
	2.6	4.8	10.2	3.58	3.87	3.748	---
Grano Blanco	2.9	4.1	9.4	3.17	3.35	3.314	---
	3.2	4.7	10.7	3.59	3.80	3.752	---
<b>C E B A D A</b>							
Grano	5.6	1.8	10.2	2.97	3.30	3.305	---
	6.3	2.0	11.3	3.31	3.68	3.686	---
Grano con cáscara	9.8	1.3	10.6	2.75	3.15	3.054	---
	11.1	1.5	12.0	3.09	3.54	3.437	---
<b>A V E N A</b>							
Afrecho	25.3	3.7	6.4	2.56	2.37	---	---
	27.3	4.0	6.9	2.76	2.56	---	---
Cáscara	27.4	1.7	4.9	1.43	1.43	1.130	272
	29.6	1.8	5.3	1.55	1.55	1.224	295
Paja	36.5	2.0	4.4	2.13	1.76	---	---
	39.6	2.2	4.8	2.31	1.91	---	---
Grano sin cáscara	3.0	6.6	11.8	3.50	3.47	3.427	---
	3.3	7.3	13.0	3.88	3.85	3.795	---
Grano	12.6	4.7	9.9	2.69	2.88	2.735	1.262
	14.2	5.3	11.2	3.03	3.24	3.077	1.420
<b>T R I G O</b>							
Afrecho	9.2	3.6	15.6	2.64	2.91	2.844	---
	10.4	4.1	17.6	2.99	3.29	3.220	---
Afrecho molido en seco	10.5	4.6	16.2	2.79	2.89	2.517	1.048
	11.8	5.2	18.1	3.12	3.23	2.816	1.172
Sub-producto harina cernido	6.8	4.6	16.6	3.09	3.29	2.975	2.420
	7.7	5.2	18.7	3.49	3.72	3.364	2.737
Germen	4.8	8.7	24.7	3.14	3.59	3.534	2.892
	5.4	9.9	28.0	3.56	4.08	4.008	3.281
<b>C E N T E Ñ O</b>							
Grano	2.2	1.5	11.5	3.19	3.35	3.459	1.921
	2.5	1.7	12.9	3.59	3.77	3.890	2.160
<b>S O R G O</b>							
Grano	3.7	2.9	9.4	2.98	2.70	3.253	---
	4.2	3.3	10.8	3.42	3.10	3.733	---
Grano gramífero	2.3	3.1	8.9	3.06	3.36	3.318	3.370
	2.6	3.5	10.0	3.46	3.79	3.751	3.810
<b>A R R O Z</b>							
Cáscara	38.2	1.9	4.1	---	1.60	---	---
	42.1	2.1	4.5	---	1.76	---	---
Paja	31.7	2.1	4.8	1.66	1.81	---	---
	35.7	2.4	5.4	1.87	2.04	---	---
Grano y cáscara molidos	7.4	3.9	9.9	2.25	2.94	2.945	2.663
	8.4	4.4	11.1	2.53	3.30	3.306	2.989
Grano sin cáscara molido	1.8	4.1	9.1	3.02	3.58	3.298	3.102
	2.0	4.6	10.2	3.39	4.02	3.704	3.483
Afrecho y germen molido	11.3	14.5	13.4	3.45	3.09	3.268	1.627
	12.4	16.0	14.7	3.80	3.41	3.597	1.791
Afrecho con germen y cáscara	25.2	5.8	7.6	---	1.88	---	---
	27.9	6.4	8.3	---	2.08	---	---
Puliduras (polvillo)	5.7	14.7	12.9	3.45	3.65	3.808	3.059
	6.4	16.4	14.5	3.86	4.08	4.624	3.426

A L I M E N T O	Fibra cruda	G r a s a	Proteína	E.D. Bovinos	E.D. Ovinos	E.D. Suinos	EMn Pollos
	o/o	o/o	o/o	Mcal./Kg.	Mcal./Kg.	Kcal./Kg.	Kcal./Kg.
<b>YUCA</b>							
Parte aérea secada y molida	24.7	4.7	10.9	2.39	2.32	---	---
	27.3	5.2	12.1	2.64	2.57	---	---
Raíz secada y molida	7.6	0.3	2.4	3.03	3.20	3.476	---
	8.7	0.4	2.8	3.48	3.66	3.982	---
<b>QUINOA</b>							
Grano	3.4	4.6	12.8	3.18	3.31	3.331	---
	3.8	5.1	14.3	3.55	3.70	3.720	---
<b>COLZA</b>							
Torta extraída mecánicamente y molida	12.5	6.5	35.1	3.04	3.32	2.992	2.043
	13.3	6.9	37.4	3.24	3.54	3.189	2.177
Torta extraída por solvente y molida	11.6	1.5	37.6	2.70	2.96	2.714	1.757
	12.7	1.7	41.2	2.95	3.24	2.971	1.924
<b>GIRASOL</b>							
Afrecho	---	---	---	---	---	---	---
	29.8	23.9	26.0	---	---	---	---
Torta sin cáscara extraída por solvente y molida	12.2	2.7	45.4	2.67	3.07	---	1.756
	13.1	2.9	48.9	2.88	3.31	---	1.892
<b>MANI</b>							
Torta elaborada mecánicamente	6.8	7.0	45.8	3.35	3.61	---	---
	7.4	7.6	49.5	3.62	3.91	---	---
Torta elaborada por solventes	9.6	1.3	60.7	---	2.63	---	2.199
	10.5	1.4	66.1	---	2.86	---	2.391
<b>SOYA</b>							
Cáscara de soya	33.3	2.6	12.3	2.27	2.78	---	---
	36.4	2.8	13.5	2.48	3.04	---	---
Grano	5.5	22.3	35.6	---	3.99	---	---
	6.2	25.3	40.5	---	4.54	---	---
Harina	3.7	1.8	50.7	3.14	3.04	---	---
	4.1	2.0	56.3	3.49	3.37	---	---
Torta extraída por solvente	4.7	1.1	47.9	3.12	3.01	---	---
	5.3	1.2	54.2	3.53	3.40	---	---
Torta extraída mecánicamente	5.7	3.9	41.0	2.97	3.07	---	---
	6.7	4.6	48.4	3.50	3.63	---	---
<b>AJONJOLI</b>							
Torta extraída mecánicamente	7.0	5.0	43.3	2.98	3.16	3.100	2.378
	7.6	5.4	46.7	3.21	3.41	3.344	2.566
Torta extraída por solvente	6.5	2.1	45.3	2.71	2.89	---	---
<b>ALGODON</b>							
Torta con cáscara extraída mecánicamente	12.5	5.5	37.1	2.95	3.25	---	---
	13.4	5.9	39.8	3.17	3.48	---	---
Torta extraída mecánicamente y molida	13.3	1.2	41.6	2.13	2.79	2.762	2.093
	14.5	1.3	45.4	2.33	3.05	3.017	2.286
Torta extraída mecánicamente y molida	10.8	4.3	40.9	3.00	3.06	---	2.322
	11.6	4.7	44.1	3.23	3.30	---	2.504
Torta pre-prensada y extraída por solventes	12.5	3.3	39.8	2.81	3.13	2.757	2.458
	13.6	3.6	43.2	3.05	3.40	2.992	2.667
Torta sin cáscara	6.5	3.1	45.0	3.28	3.34	---	---
	7.2	3.4	49.8	3.63	3.69	---	---
<b>ARVEJA</b>							
Harina	8.9	1.3	22.3	3.50	3.32	3.322	2.153
	10.0	1.5	25.1	3.93	3.73	3.729	2.418
<b>ALFALFA</b>							
Alfarina	24.0	2.8	18.7	2.49	2.41	---	---
	25.9	3.0	20.2	2.69	2.60	---	---
Alfarina de crecimiento avanzado	26.0	1.9	18.0	2.34	2.29	---	---
	28.2	2.0	19.5	2.54	2.48	---	---
Alfarina	26.6	2.2	15.3	2.36	2.32	1.819	1.348
	29.0	2.4	16.7	2.57	2.53	1.982	1.251
Alfarina	24.1	2.6	17.4	2.49	2.38	1.958	1.363
	26.2	2.8	19.0	2.71	2.58	2.130	1.484
Alfarina	20.2	2.9	20.0	2.66	2.46	2.040	1.631
	22.1	3.2	21.9	2.91	2.68	2.229	1.782

A L I M E N T O	Fibra cruda	Grasa	Proteína	E.D. Bovinos	E.D. Ovinos	E.D. Suinos	EMn P.
	o/o	o/o	o/o	Mcal./Kg.	Mcal./Kg.	Kcal./Kg.	Kcal.
<b>C A F E</b>							
Cáscara arábigo cocida	14.6	0.9	7.6	1.92	2.06	---	---
	17.7	1.0	9.1	2.33	2.49	---	---
Pulpa desecada molida (arábigo)	22.2	2.6	10.7	2.31	2.21	---	---
Pulpa desecada	25.8	3.1	12.5	2.68	2.57	---	---
	17.0	1.6	10.3	2.20	2.18	---	---
	20.3	1.9	12.3	2.63	2.60	---	---
Pulpa con cáscara	---	---	---	---	---	---	---
	27.5	2.7	8.3	2.64	2.54	---	---
<b>B A N A N O</b>							
Sin cáscara	0.6	0.2	1.4	---	1.15	1.196	---
	2.0	0.7	4.7	---	3.85	4.000	---
Hoja fresca	18.6	4.2	16.1	2.80	2.66	---	---
	19.2	4.3	16.6	2.89	2.75	---	---
<b>M E L A Z A</b>							
Ingenio	0.3	0.3	2.4	---	---	2.650	---
	0.4	0.3	3.4	---	---	3.648	2.042
Melaza ingenio 79.5 grados Brix	7.7	0.2	4.2	3.27	2.42	2.593	2.645
Melaza 79.5 grados Brix	9.9	0.3	5.4	4.23	3.13	---	1.990
	---	0.2	6.1	---	2.63	---	2.515
	---	0.3	7.7	---	3.33	---	---
<b>H U E S O S</b>							
Cocido, desecado y molido	1.8	6.2	23.2	---	0.78	---	---
	2.0	7.0	26.2	---	0.88	---	---
Desecado con vapor y molido	1.9	4.6	20.3	---	---	---	1.068
Desecado y molido	2.0	4.8	21.4	---	---	---	1.127
	1.6	9.4	20.3	---	---	---	---
	1.7	9.8	21.1	---	---	---	---
<b>S A N G R E</b>							
Desecada y molida (animal)	1.1	2.1	74.2	---	2.46	2.654	2.784
	1.3	2.3	84.5	---	2.80	3.021	3.169
Desecada y molida (bovino)	0.6	0.5	87.6	---	---	---	---
	0.7	0.6	95.6	---	---	---	---
<b>P E S C A D O</b>							
Harina	0.7	9.6	60.5	---	2.57	3.283	2.823
	0.8	10.5	66.1	---	2.81	3.590	3.086
Harina	1.0	10.4	62.0	---	2.90	---	---
	1.1	11.3	67.7	---	3.17	---	---
<b>L E C H E</b>							
Fresca	---	3.6	3.5	0.71	0.71	690	---
	---	28.5	27.8	5.66	5.61	5.476	---
Deshidratada y desnatada	8.5	2.9	31.6	3.22	3.56	3.818	2.541
	9.1	3.0	33.6	3.42	3.78	4.058	2.701
<b>S U E R O</b>							
De queso	0.2	2.0	11.9	---	---	3.420	---
	0.2	2.1	12.6	---	---	3.612	---
De mantequilla deshidratada	4.7	5.0	31.6	3.28	3.46	2.282	2.767
Afrecho de cerveza	5.1	5.5	34.3	3.56	3.76	3.478	3.005
	15.2	6.8	25.3	2.68	2.81	1.780	2.080
	16.7	7.5	27.6	2.93	3.07	1.945	2.273
Granos destilería	12.8	7.4	27.4	3.21	3.35	---	---
	13.8	8.0	29.6	3.46	3.67	---	---

FUENTE: McDowell, L.R. et al. Latin American Tables of Feed Composition. University of Florida. Gainesville, 1974.  
 ELABORACION: El Autor.

A N E X O      3

Academia Nacional de Ciencias

Número		Número	
1	Requerimientos nutritivos de las aves de corral, 1966, pub. 1345.	2	Requerimientos nutritivos de porcinos, 1968, pub. 1599.
3	Requerimientos nutritivos del ganado lechero, 1966, pub. 1349.	4	Requerimientos nutritivos del ganado de carne, 1970.
5	Requerimientos nutritivos de las ovejas, 1968, pub. 1693.	6	Requerimientos nutritivos de los caballos, 1966, pub. 1401.
7	Requerimientos nutritivos de los perros, 1962, pub. 989.	8	Requerimientos nutritivos de los conejos, 1966, pub. 1194.

Academia Nacional de Ciencias, Estados Unidos del Canadá, Tablas de la composición de los alimentos (segunda revisión), publicación 1648, Washington, D.C., 1970.

Estas publicaciones pueden obtenerse en la siguiente dirección:

Printing and Publishing Office National Academy of Sciences, 2101 Constitution Avenue, Washington, D.C. 20418

A N E X O      4

- |   |   |
|---|---|
| 1. ABRAMS, J. Animal Nutrition and Veterinary dietetics. Edimburgh, W. Green and Son, 1961 826 p.       | 2. BOLTON, W. Nutrition Aviar. Traducido del Inglés por Elías Fernández González. Zaragoza, Acubia, 1962 157 p.                                       |
| 3. CANCELLON, M. Nutrición Animal Práctica; fundamentos y racionamientos. Barcelona AEDOS, 1967 359 pp. | 4. CRAMPTON, E. y LLOYD, E. Fundamentals of nutrition. San Francisco W.A. Freeman, 1959 494 pp.   |
| 5. GOUIN, R. Alimentación Racional de los animales domésticos. 2a. ed. Barcelona, Salvat, 1935 446 p.   | 6. MORRISON, F.B. Alimentos y Alimentación del Ganado. Traducido de la 21a. edición en Inglés por José Luis de la Loma. Barcelona UTEHA. 1965 1370 p. |
| 7. REVUELTA, G. Bromatología Zootécnica y Alimentación animal 2a. ed. Bogotá, Salvat, 1963. 1088 p.     | 8. RISSE, J. La alimentación del ganado. Traducido del francés por Pedro Costa Batllori. Barcelona, Editorial Blume, 1970. 374 p.                     |

Esta Bibliografía puede obtenerse en las Bibliotecas del INIAP y de la Universidad Central del Ecuador.



A N E X O 5

F A C T O R E S D E C O N V E R S I O N

Los resultados de los análisis biológicos o químicos de los alimentos, se expresan de diferentes maneras. La unidad preferida es el porcentaje o el sistema decimal ej.: mg/kg; kcal/kg; etc.; las unidades

internacionales (IU)/g.

Los factores de conversión de otras unidades o medidas, se presentan en el siguiente cuadro:

FACTORES DE CONVERSION

Para convertir	A	Multiplique por
o/o	mg/kg	10.000
kcal/g	kcal/kg	1.000
kcal/100g	kcal/kg	10
g/100g	o/o	1
ppm	mg/kg	1
ICU/100 g.	ICU/g	0.01
IU/100 g.	IU/g	0.01
g/kg o mg/g	o/o	0.01
IU/kg	IU/g	0.001
mg/100g	o/o	0.001
mg/kg	o/o	0.0001
pp <sup>m</sup>	o/o	0.0001
megacal/lb	kcal/kg	2.2046
megacal/100 lb	kcal/kg	22.046
kcal/lb	kcal/kg	2.2046
mg/lb	mg/kg	2.2046
mg/lb	mg/kg	2.2046
g/lb	o/o	0.22046
ICU/lb	ICU/g	0.002205
IU/lb	IU/g	0.002205
mg/lb	mg/kg	0.002205
mg/lb	o/o	0.00022
BTU/kg	kcal/kg	0.252
BTU/lb	kcal/kg	0.5556
o/o en proteína	o/o total contenido en el alim.	o/o de proteína x 0.01
o/o en ceniza	o/o " " " "	o/o de ceniza x 0.01
ppm en ceniza	o/o " " " "	o/o de ceniza x 0.00001
ppm en ceniza	mg/kg de " " "	o/o de ceniza x 0.01

FUENTE: WEAST, R. Handbook of chemistry and Physics. 49th edition The Chemical Rubier Company, 18901 Cranwood Parkway, Cleveland, Ohio.

**PRODUCCION:**  
**DEPARTAMENTO DE COMUNICACION DEL INIAP - D9 D32 D33**  
**Casilla 2600 -- Quito - Ecuador**  
**Diciembre 1975 -- SPI-010**  
**Publicación Miscelánea No. 28**  
**Editor: Ismael Tuffiño**  
**Impresión: INIAP**  
**mcm**