

160  
207



**Universidad Nacional Autónoma de México**

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

**DISEÑO DE UN SISTEMA COMPUTA-  
RIZADO PARA EL MANEJO NUTRI-  
CIONAL DE CABRAS LECHERAS**



**T E S I S**

Que para obtener el título de:  
**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**P r e s e n t a :**

**Gustavo Orcillez Avila**

Aesor: M.V.Z. Andrés Ducsing Watty



México, D. F.

**TESIS CON  
FALSA FE ORISEN**

1990



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
RESUMEN .....	1
INTRODUCCION .....	2
DESARROLLO .....	9
RESULTADOS .....	24
DISCUSION .....	42
CONCLUSIONES .....	46
LITERATURA CITADA .....	49

## RESUMEN

ORCILLEZ AVILA GUSTAVO, DISEÑO DE UN SISTEMA COMPUTARIZADO PARA EL MANEJO NUTRICIONAL DE CABRAS LECHERAS. (Bajo la dirección del M.V.Z. Andrés Ducuing Watry).

Con el objeto de que el método numérico conocido como método simplex de programación lineal aplicado al balanceo de raciones de cabras productoras de leche pueda ser aplicado de una manera práctica, sencilla y rápida. Se elaboró un sistema para microcomputadora en lenguaje BASIC, y de acuerdo a las normas de la programación estructurada. Se resolvió un problema simple manualmente utilizando el método algebraico explicando los principios generales de que consta el algoritmo simplex de programación lineal. Posteriormente, se elaboró un ejemplo más complejo y se resolvió utilizando el sistema desarrollado en este trabajo de tesis. Se probó el correcto funcionamiento del sistema al compararse manualmente que la ración obtenida satisface completamente los requerimientos planteados en el problema. Se explican las reglas generales para expresar un problema de balanceo de raciones en términos adecuados para poder ser resueltos mediante esta técnica, y se interpretan los resultados que se obtienen del sistema. Se concluye que la aplicación de esta técnica matemática asociada al uso de un sistema computarizado es de interés general para el médico veterinario zootecnista.

## INTRODUCCION

En México en 1984, el inventario caprino era aproximadamente 10.3 millones de cabezas, y existen en el país cerca de 35 por 10<sup>6</sup> hectáreas que presentan las condiciones ecológicas adecuadas para su aprovechamiento. (12,17)

Las cabras son animales pequeños, fáciles de manejar, que producen carne y leche, además de presentar altas tasas de reproducción y son capaces de vivir en lugares con condiciones desfavorables para otras especies domésticas. Las características biológicas de este animal determinan condiciones zootécnicas y económicas que convierten a la cría de cabras como una opción rentable que ofrece un medio de productividad atractivo en nuestro país. Debe considerarse de manera muy importante también el comportamiento de estos animales, ya que su vivacidad, sus sentidos muy desarrollados y la diversidad de sus reacciones conforman un temperamento que ayuda a que existan personas adeptas a su cría, lo que en consonancia con los aspectos económicos relacionados con ésta, permite presentar la imagen de un animal productivo, que criado adecuadamente, puede especializarse para la producción de leche. (1,11,25)

Comparativamente con las vacas lecheras las cabras producen más en relación a su peso vivo y a la calidad del alimento que consumen. (28)

La producción comercial de leche a partir de esta especie requiere de sistemas intensivos y a sea de pastoreo en pradera con complementación, o el empleo de forrajes de corte, también complementados. De esta manera se han empezado a desarrollar en diferentes zonas del país, una serie de sistemas intensivos productores de leche caprina, cuya tecnología es de importación en su mayor parte, sin dejar de presentar características particulares de acuerdo a sus propias necesidades. (27,31)

La producción animal está dividida en tres ramas principales: la nutrición, la reproducción y la genética. De ellas, la nutrición es la más importante desde el punto de vista económico, ya que si se analizan los costos de la producción pecuaria, se logra subrayar el papel sobresaliente de esta rama. En el caso de los ruminantes, el costo de producción por concepto de alimentación presenta variaciones según sean los animales explotados en corral o en agostadero, pero en el primer caso siempre es superior al 60% de los costos totales de

producción. Por lo tanto, la nutrición es la rama del conocimiento zootécnico que más incide en los costos de producción pecuaria bajo tales condiciones y, por consiguiente, las mejoras económicas que se logren en el campo de la alimentación tendrán el mayor impacto en la eficiencia general de la explotación, los beneficios económicos del productor y en los precios de los productos pecuarios para el consumidor. (28,31)

Los sistemas de producción intensivos de caprinos tienen la característica de que los costos por concepto de alimentación son bastante altos debido principalmente a que los ingredientes utilizados son de precios altos y a que generalmente los animales reciben todo el alimento que consumen en el comedero, es decir, no pastan. Por lo anterior, la idea de programar las operaciones de alimentación para asegurar costos mínimos es muy atractiva para los ganaderos modernos. (3,10)

Esta actividad es especialmente importante cuando el fabricante tiene muchos ingredientes disponibles y debe calcular diferentes raciones, y donde los precios de muchos de los ingredientes pudieran variar de modo considerable. El tiempo requerido para mantener las formulaciones al nivel de los precios cambiantes de los ingredientes se ha reducido notablemente por el uso de computadoras en la formulación de raciones. Esta práctica se ha difundido en toda la industria de fabricación de alimentos balanceados. (30)

El problema creciente de seleccionar los ingredientes adecuados en las cantidades apropiadas para proporcionar todos los elementos nutritivos y lograr un resultado satisfactorio al menor costo, viene siendo notablemente favorecido por el empleo de computadoras. Esto se debe a que no se trata solo de que el alimento tenga el menor costo, sino que debe estar también condicionado al balance dictado por la nutrición de los animales, y que además la ración sea consumida por ellos; para lograrlo, se requieren más cálculos de los que un individuo puede normalmente hacer aún con la ayuda de una calculadora. (21,30)

La gran capacidad que ahora tiene la humanidad para producir bienes tendientes a satisfacer sus necesidades no tiene paralelo en la historia y sin duda se debe al aprovechamiento durante las últimas décadas de los conocimientos acumulados y en especial al concepto con el que actualmente se estudian y organizan las ciencias y disciplinas; entre estas se encuentra la administración, no solo para producir con eficiencia sino también para lograr aprovechar mejor los recursos disponibles. Siendo la profesión de Médico Veterinario

Zootecnista una actividad dedicada básicamente a producir bienes o prestar servicios a partir de los animales, los que a esta actividad se dedican, recientemente se han convencido del gran valor que representa el dominio de la economía y administración para aplicarlas en su ejercicio profesional. (3)

Las actividades económicas y administrativas solo pueden llevarse a cabo si existen elementos cuantitativos que permitan evaluar los resultados obtenidos y objetivar la tarea de identificar alternativas de acción y tomar las mejores decisiones. (5)

Por otra parte, la Economía Agropecuaria señala que "los factores de producción son escasos siempre en relación con las demandas de los productos que pueden producir" (ley de la escasez). Esto nos indica que existiendo cantidades limitadas de los factores de producción, los productos agropecuarios que son capaces de producir, resultan limitados también. Nace pues de esta ley, la necesidad de saber administrar adecuadamente los factores de producción, ya que es de máxima importancia que sean distribuidos apropiadamente. Debido a esta escasez de factores de producción, el administrador agropecuario debe poseer conocimientos sólidos de ciertos principios económicos para conseguir combinar de la manera más eficiente los factores de producción de que disponga; debe conocerlos ya que ayudan a determinar la asignación de factores escasos entre fines competitivos, siendo el propósito de esta asignación elevar al máximo el objetivo perseguido, como es el caso de la nutrición animal analizada desde un punto de vista económico. En este caso, los factores de producción escasos son los ingredientes utilizados en la formulación de raciones, en donde los fines competitivos están representados por las diferentes combinaciones de ingredientes que pueden satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales y el objetivo perseguido es encontrar cual de estas combinaciones (raciones) es la de mínimo costo. (7,23)

El método empleado para formular raciones de costo mínimo se conoce como programación lineal. Las técnicas de programación lineal están diseñadas para presentar el empleo óptimo de recursos que alcanzarán de una forma más económica un objetivo especial, cuando existen amplias alternativas en su uso. (9,10)

Aplicada al cálculo de raciones óptimas, la programación lineal es utilizada para combinar ingredientes de forma que cubran las necesidades nutritivas al menor costo. (31)

El conocimiento de la programación lineal se remonta al año de 1776 donde Monge, matemático y físico francés, tuvo interés por primera vez, por un problema de este género. (4)

Fourier, físico y matemático francés, en 1823 posiblemente tenía conocimiento de esta técnica. Durante la década de 1930, existió un grupo notable de economistas matemáticos, concentrado en Viena, que utilizaban el seminario matemático de Karl Menger, como centro de discusión de sus estudios de modelos relativos al equilibrio general. En este grupo de economistas matemáticos se encontraban Neisser, Stackelburg, Schleisenger, Wald y John von Newman, los cuales aportaron los antecedentes matemáticos de la programación lineal en 1936. (18,26)

Pero no fue sino hasta 1939 cuando se encuentra formulado por primera vez un escrito de un problema particular de programación lineal, cuyo autor fue el economista y matemático soviético L.V. Kantorovich; este problema trataba de la organización y planeación de la producción. (32)

Se puede afirmar que la programación lineal empezó a ser utilizada durante la segunda guerra mundial y fue desarrollada por un grupo de científicos en 1947, que trabajó para la fuerza aérea de los Estados Unidos y constituían un equipo llamado "Proyecto SCOP" (Scientific Computation of Optimum Programs). La aplicación de la programación lineal era esencialmente de tipo militar. (6, 8)

La contribución principal del proyecto SCOP fue el desarrollo formal y la aplicación del modelo de programación lineal. George B. Dantzig formaba parte de este proyecto y fue quien formuló en términos matemáticos precisos el problema general de la programación lineal e inventó el llamado método simplex para la resolución de estos problemas. (9)

En Enero de 1952 se llevó a cabo la primera solución exitosa de un problema de programación lineal en una computadora electrónica de alta velocidad; desde entonces, se ha codificado el algoritmo simplex o variaciones de este procedimiento para computadoras electrónicas grandes y medianas. (13)

Quizá la aseveración más general del objetivo de la programación lineal es que se desea asignar cierta clase de recurso limitado a las demandas competitivas en la forma más efectiva. (9)



Algunos otros autores designan a la programación lineal como:

- La técnica matemática para determinar la mejor asignación de los recursos limitados de una empresa.
- Desde el punto de vista matemático se puede definir en forma mas técnica como un método de solución de problemas en el que una función objetivo debe maximizarse o minimizarse cuando se consideran ciertas restricciones. (4)
- Desde el punto de vista económico se podría definir como un método para la asignación de recursos limitados en tal forma que satisfagan las leyes de la oferta y la demanda de los productos de la empresa. (4)
- Desde el punto de vista administrativo se puede considerar a la programación lineal como uno de los instrumentos de la administración para buscar soluciones de los problemas de acuerdo con los objetivos claramente definidos de la empresa. (4)

Tal vez la mejor manera de definir la programación lineal consista en examinar el significado del término.

Se usa el adjetivo lineal para describir una relación entre dos o mas variables, que son directa y precisamente proporcionales. La programación se refiere a que se utilizan ciertas técnicas matemáticas para llegar a la mejor solución, empleando los recursos limitados de la empresa. Eso significa calcular alguna incógnita con una serie de ecuaciones o desigualdades, en ciertas condiciones que se expresan matemáticamente. (14)

La programación lineal es una técnica matemática que ayuda a optimizar los recursos escasos a la vez que maximiza las utilidades y/o minimiza los costos de una empresa industrial o agropecuaria. (32)

La programación lineal se ha desarrollado mas dentro del campo de la administración de empresas y en otras ciencias. En Medicina Veterinaria y Zootecnia no ha sido estudiada en forma suficiente por los profesionistas de esta rama. Se pueden mencionar las diferentes aplicaciones que tiene esta técnica en las diferentes ramas de la Medicina Veterinaria y Zootecnia, como son:

- 1) En la nutrición animal (balanceo de raciones).

- 2) En la economía zootécnica (maximización de utilidades y minimización de costos de producción).
- 3) En la administración de empresas agropecuarias (planeación, toma de decisiones y control de la producción).
- 4) En la mercadotecnia (transporte y almacenamiento).
- 5) En el área farmacéutica (mezcla de drogas).
- 6) En la empresa agrícola (planeación de cultivos).

El objetivo principal de toda empresa es obtener la máxima utilidad a partir de los recursos de que dispone, y en este sentido, la programación lineal es un método matemático muy útil ya que proporciona información que permite utilizar los recursos disponibles de manera óptima, ya que al asegurar los costos mínimos contribuye a aumentar la utilidad. (15)

La programación lineal tiene diferentes tipos de métodos, según la naturaleza del problema por resolver, siendo el método simplex de programación lineal el más general en su alcance y aplicación que otros métodos. (4)

Cuando se trata de resolver problemas complejos de programación lineal, es posible realizarlo manualmente con ayuda de una calculadora común, pero se requiere del dominio de las matemáticas y además de mucho tiempo. Aquí es donde adquiere importancia la utilización de la computadora puesto que es menos laborioso aprender a utilizarla que hacer los cálculos manualmente, además de la ventaja de poder utilizar el número de variables que convenga y de obtener los resultados de una manera rápida y exacta. (16)

La computadora además de la ayuda indiscutible que proporciona, es una herramienta más que todo el profesionalista debe saber manejar, y que requiere del conocimiento elemental de las matemáticas y que con el solo conocimiento de un lenguaje, o de varios, según el interés, se pueden resolver infinidad de problemas. (19)

La carencia de un sistema computarizado para el manejo nutricional de cabras lecheras hace necesario su elaboración, así como también la necesidad de crear en nuestro país la

tecnología requerida para satisfacer las necesidades particulares de los productores pecuarios, la cual debe ser de costo accesible y diseñada de acuerdo a las condiciones particulares de México.

Otro factor que debe ser tomado en cuenta es el tipo de computadora para la cual será creado el sistema. Debido a la gran variedad de computadoras que existen actualmente en el mercado, debe elegirse aquella que sea de costo accesible para la mayor parte de los productores y que además sea fácil de adquirir y pueda ser utilizada para diferentes tipos de aplicaciones.

El objetivo del trabajo tesis es elaborar un sistema integral para el manejo nutricional del ganado caprino productor de leche mediante el uso de la microcomputadora.

Para alcanzar estos objetivos, se pueden aplicar diversos métodos matemáticos que se estudian dentro del gran campo de conocimientos conocido como Investigación de operaciones, que ha tenido un acelerado desarrollo en los últimos años y que tiene múltiples aplicaciones dentro de la administración científica. Entre estos métodos figura la programación lineal. (33)

## DESARROLLO

La computadora ha convertido la programación lineal en una técnica de cálculo práctica. El modelo de programación lineal que se ha empleado para computadora se hace siguiendo la misma metodología que se ha empleado para elaborar el método Simplex. (21)

El sistema de cálculo de raciones a mínimo costo se basa en el método Simplex de programación lineal. (10)

El método Simplex está compuesto por un conjunto de relaciones matemáticas lineales susceptibles de representar todas las combinaciones realizables de ingredientes dentro de una ración. Este modelo permite la resolución del problema de la elección de la combinación de ingredientes de la ración que conduzca a la mayor eficacia posible en la alimentación de los animales. La función objetivo (mínimo costo) traduce en términos monetarios esa eficacia también en forma lineal. (18)

Para comprender lo esencial de un sistema de producción en el que intervienen numerosos elementos, es necesario utilizar un sistema de representación simplificado al cual se le llama modelo. Un modelo de empresa agropecuaria puede definirse como la representación formal de los conocimientos relativos al funcionamiento de una unidad de producción agropecuaria. El modelo se convierte en modelo de decisión cuando va unido a una función objetivo, que en este caso corresponde a minimizar los costos por concepto de alimentación de los animales en una empresa dedicada a la producción de leche de cabra. (5,26)

El modelo de decisión puede concebirse como un modelo de programación lineal; en este caso está compuesto por un conjunto de relaciones matemáticas lineales susceptibles de representar todas las combinaciones de ingredientes realizables dentro de la empresa. Este modelo permite la resolución del problema, de la elección de la combinación de factores de producción (ingredientes de las raciones) que conduzca a la mayor eficacia posible desde el punto de vista económico. La función objetivo traduce en términos monetarios esa eficacia también en forma lineal. (4,21)

Matemáticamente se puede expresar un problema de programación lineal como:

Optimizar (en este caso minimizar) una función objetivo (que en este caso es costo por concepto de alimentación):

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

Sujeta a las relaciones insumo - producto y a los niveles de recursos siguientes:

$$A_{11} X_1 + A_{12} X_2 + \dots + A_{1n} X_n \geq b_1$$

$$A_{21} X_1 + A_{22} X_2 + \dots + A_{2n} X_n \geq b_2$$

$$A_{i1} X_1 + A_{i2} X_2 + \dots + A_{in} X_n \geq b_i$$

$$A_{m1} X_1 + A_{m2} X_2 + \dots + A_{mn} X_n \geq b_m$$

Donde:

Las  $X_i$  son los ingredientes que se pueden utilizar en las raciones.

Las  $C_i$  son los precios de los ingredientes por unidad de peso.

Las  $A_{ij}$  son las relaciones ingrediente - nutriente entre el ingrediente  $i$  y el nutriente  $j$ .

Las  $b_i$  son los niveles de restricciones, es decir, los niveles deseados de nutrientes o requerimientos.

Debe aclararse que en todos los casos debe cumplirse que  $X_i \geq 0$  (7)

El problema matemático de la programación lineal consiste en la optimización (minimización) de una función lineal (función objetivo) con la condición de satisfacer a un conjunto de ecuaciones o inecuaciones lineales. Las variables  $X_i$  o ingredientes definen flujos de consumo o aportación de nutrientes indispensables para la producción. Su medida cuantitativa se denomina nivel de la actividad. Los flujos de nutrientes aportados por estos ingredientes se deben encontrar dentro de los límites de las restricciones o requerimientos nutricionales, en las condiciones y proporciones definidas por el conjunto de inecuaciones lineales. (8)

En los modelos de programación lineal se mantienen las siguientes hipótesis:

1) **Proporcionalidad:** en un modelo de programación lineal las cantidades de nutrientes aportados por cada ingrediente son siempre proporcionales al nivel del ingrediente. En otros términos, los niveles de aportación de los nutrientes por unidad de ingrediente se suponen constantes. Por ejemplo, un ingrediente (alfalfa fresca) aporta determinados nutrientes (proteína cruda, fibra cruda, energía metabolizable) en proporciones definidas (un kilo de materia seca de alfalfa fresca proporciona simultáneamente 163 gramos de proteína cruda, 280 gramos de fibra cruda y 2.27 Mcal. de energía metabolizable) y en cantidades proporcionales a la cantidad del ingrediente (10 kilos de materia seca de alfalfa fresca aportarán 1,630 gramos de proteína cruda, 2,800 gramos de fibra cruda y 22.70 Mcal. de energía metabolizable).

2) **Aditividad:** cada uno de los nutrientes se caracteriza por una ecuación de equilibrio o de conservación, cuyos términos representan los flujos de aportación de nutrientes relativos a los diferentes ingredientes: la combinación de varios ingredientes (1 Kg. en base seca de alfalfa fresca, 1 Kg. en base seca de paja de cebada y 1 Kg. en base seca de ensilado de maíz) aportan en conjunto la suma de todos los nutrientes aportados individualmente por cada ingrediente, es decir, en este ejemplo:  $(163 + 41 + 80)$  gramos de proteína cruda,  $(280 + 420 + 240)$  gramos de fibra cruda,  $(2.27 + 1.72 + 2.67)$  Mcal. de energía metabolizable.

3) **Linealidad de la función económica:** existe una proporcionalidad entre la cantidad de un ingrediente y su contribución (positiva o negativa) a la función económica. Cuando el objetivo es la minimización de los costos de producción, la adición de un ingrediente tiene una contribución positiva al aportar ciertos niveles de nutrientes a la ración, sin embargo, presenta una contribución negativa debida al costo que representa su inclusión en la ración en relación a su precio.

4) **Divisibilidad y condición de no negatividad de las actividades:** si bien es admisible cualquier múltiplo de una unidad de ingrediente, los valores negativos de los ingredientes no lo son. Esta última restricción corresponde a una condición evidente, ya que los ingredientes se miden en general en unidades cuantitativas. (5)

Es, por lo tanto, necesario que la representación de un sistema de producción mediante un modelo de programación lineal se realice de acuerdo con las hipótesis enunciadas y sin

una deformación excesiva de la realidad. En particular, es necesario seleccionar cuidadosamente las variables de decisión o ingredientes, pues subordinamos su significación y su existencia a condiciones expresadas en formas lineales. (22)

A continuación es necesario definir el instrumento de programación propiamente dicho y, sobre todo, los métodos de resolución y de análisis de las soluciones.

Independientemente de la forma en que se defina la programación lineal, se necesitan ciertos requerimientos básicos (cinco).

- 1) Definir claramente una función objetivo en forma matemática.
- 2) Debe haber alternativas de acción, es decir, debe ser posible elegir una solución (acción) que satisfaga la función objetivo.
- 3) Exige que los objetivos (mínimo costo) y sus restricciones (requerimientos nutricionales) se expresen como ecuaciones o desigualdades lineales.
- 4) Las variables del problema (cantidades de ingredientes) deben interrelacionarse.
- 5) Que haya un suministro limitado de recursos. (14)

El método simplex de programación lineal utiliza conceptos básicos del álgebra matricial para determinar la intersección de dos o más líneas o planos. Comienza con alguna solución factible, que satisface todas las restricciones, y sucesivamente obtiene soluciones en las intersecciones que ofrecen mejores valores de la función objetivo. Finalmente, este método de solución proporciona un indicador que determina el punto en el cual se logra una solución óptima. (9)

Un algoritmo es un conjunto de reglas y procedimientos sistemáticos para obtener la solución de un problema. El algoritmo simplex es un método para determinar soluciones básicas factibles para un sistema de ecuaciones y verificar estas soluciones para asegurarse de que son óptimas. Puesto que por lo menos  $n - m$  variables se convierten a cero en cada etapa del procedimiento y se obtiene una solución básica, resolviendo las  $n$  ecuaciones para las  $m$  variables restantes. El algoritmo pasa de una solución básica factible a otra, mejorando siempre la solución previa, hasta llegar a la óptima. El algoritmo simplex garantiza que se llega a una solución óptima por el camino más corto, es decir, con el menor número de

iteraciones o pivoteos posibles. Esas variables se hacen iguales a cero en una etapa dada que se denomina no en la base o no en la solución. Las que no se hacen iguales a cero se denominan en la base, en la solución, o bien de modo más sencillo, variables básicas. (8)

Los métodos clásicos de resolución de este tipo de sistemas se apoyan en combinaciones lineales de ecuaciones hasta llegar a un subsistema cuyo conjunto solución es evidente, y del que dependen linealmente todas las ecuaciones del sistema ampliado. El subsistema obtenido pertenece a una categoría denominada "canónica". En ésta las variables se reparten en dos subconjuntos, el de las variables dependientes, llamadas variables de base, y el de las variables independientes, llamadas variables fuera de base. (9,23)

Para reducir un sistema de  $m$  ecuaciones y  $n$  incógnitas a una forma canónica, el procedimiento más directo consiste en realizar una serie de operaciones iterativas o de pivoteo que generan una serie de sistemas equivalentes, deducidos los unos de los otros. Cada pivoteo tiene por efecto la sustitución de un sistema por otro equivalente en el que una variable particular tiene como coeficiente 1 en una ecuación y cero en los demás lugares. Por regla general, la operación de pivoteo se repite buscando cada vez el pivote en una de las ecuaciones que no han sido previamente elegidas. (15)

El pivoteo se realiza en tres fases:

- 1) Selección del pivote, es decir, de un término cualquiera del sistema  $a_{ik}, x_i$ , tal que  $a_{ik} \neq 0$ .
- 2) Sustitución de la ecuación número  $k$  por la misma ecuación multiplicada por  $\frac{1}{a_{ik}}$ .
- 3) Sustitución de cada ecuación del sistema cuyo índice  $i$  es diferente de  $k$ , por la suma de esa ecuación y de la ecuación número  $k$  multiplicada por  $-\frac{a_{ij}}{a_{ik}}$ .

Desarrollando un ejemplo se indicarán los pasos descritos anteriormente con el fin de que sean más comprensibles.

Con fines de ejemplificación se puede plantear un problema sencillo en donde se considera que se tienen dos ingredientes y se desean cubrir tres restricciones.

El ingrediente  $X_1$  contiene por cada kilogramo 2 gramos de proteína y un gramo de fibra; el ingrediente  $X_2$  contiene por cada kilogramo 1 gramo de proteína y 3 gramos de fibra.



Se desea preparar una ración que contenga 14 gramos de proteína y 18 gramos de fibra en un total de 12 kilogramos de alimento, que corresponden al consumo del animal. Por lo tanto, las restricciones o requerimientos a cumplir son la proteína, la fibra y el consumo.

El costo de un kilogramo de  $x_1$  es de 2 pesos y el costo de un kilogramo de  $x_2$  es de 4 pesos.

Estas condiciones pueden ejemplificarse en el siguiente cuadro:

NUTRIENTES	INGREDIENTES		RESTRICCIONES (Requerimientos)
	$x_1$	$x_2$	
Proteína (gr.)	2	1	14
Fibra (gr.)	1	3	18
Consumo (Kg.)	1	1	12
Función Objetivo (costo)	2	4	MINIMIZAR

El problema se presenta algebraicamente así:

$$\text{Minimizar } c = 2x_1 + 4x_2;$$

Con las condiciones siguientes:

$$2x_1 + x_2 \geq 14$$

$$1x_1 + 3x_2 \geq 18$$

$$x_1 + x_2 \geq 12$$

Debe cumplirse que:

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0$$

Para utilizar el método simplex es necesario primero convertir las desigualdades en ecuaciones (igualdades), esto se logra agregando a las ecuaciones un término adicional denominado variable de holgura, que representa la cantidad de nutrientes no utilizados. Esto es lo que se considera transformar el problema de la forma estándar a la forma canónica. (13)

La solución particular encontrada haciendo nulaa (iguales a cero) las variables independientes se denomina solución de base.

Además de las variables de holgura, es necesario introducir las llamadas variables artificiales, las cuales representan ingredientes ficticios los cuales se supone tienen precios excesivamente altos, y son necesarias para obtener una solución artificial primaria cuyo costo será el más alto posible y de esta solución se parte para obtener soluciones (raciones) alternativas cada vez más óptimas hasta llegar a la solución final. (6,8)

$x_1$  y  $x_2$  representan los kilogramos de estos ingredientes en la ración. Si se definen las variables ficticias  $s_1, s_2, s_3$  que representan los niveles no utilizados de proteína, fibra y kilogramos de ración, se puede presentar el problema en su forma estándar directamente transformable en una forma canónica, convirtiendo las inecuaciones en ecuaciones al agregar las variables de holgura.

Se convierten las desigualdades en ecuaciones, restándoles las variables de holgura:

$$2x_1 + x_2 - s_1 = 14$$

$$x_1 + x_2 - s_2 = 12$$

$$x_1 - 3x_2 - s_3 = 18$$

En este sistema la solución de base es:

$$s_1 = -14; s_2 = -12; s_3 = -18; x_1 = 0; x_2 = 0$$

Las variables quedan como sigue:

$x_1$  kilogramos del ingrediente  $x_1$  en la ración.

$x_2$  kilogramos del ingrediente  $x_2$  en la ración.

$s_1$  gramos no utilizados de proteína.

$s_2$  gramos no utilizados de fibra.

$s_3$  kilogramos no utilizados de ración.

Se expresan las ecuaciones de restricciones en forma matricial:

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 14 \\ 12 \\ 18 \end{pmatrix}$$

A partir de esta matriz, resulta evidente que si  $x_1 = 0$  y que si  $x_2 = 0$  los valores de las variables de holgura son negativos, y la solución básica no es factible, ya que no se admiten valores negativos. Para superar el problema se deben introducir las variables artificiales.

Una variable artificial ( $A_i \geq 0$ ) es una variable ficticia agregada con la finalidad específica de generar una solución básica factible inicial. No tiene significado económico. Se debe agregar una variable artificial por cada desigualdad original "mayor o igual a". (26)

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 14 \\ 12 \\ 18 \end{pmatrix}$$

A continuación se procede a preparar la tabla simplez inicial, formando la matriz de coeficientes y una columna de constantes correspondientes a los requerimientos, encima de un renglón de indicadores que son los valores negativos de los coeficientes de la función objetivo. Este último renglón tiene coeficientes de cero para las variables de holgura y coeficientes  $M$  para las variables artificiales, en donde  $M$  es un número imposiblemente elevado para asegurar que  $A$  se excluirá de la solución óptima.

$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	CONSTANTE
2	1	-1	0	0	1	0	0	14
1	1	0	-1	0	0	1	0	12
1	3	0	0	-1	0	0	1	18
-2	-4	0	0	0	-M	-M	-M	

A continuación, se retiran los  $M$  de las columnas de variables artificiales sumando  $M$  veces ( renglón 1 + renglón 2 + renglón 3) al renglón 4. Así se obtiene la tabla inicial.

Tabla Inicial

$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	CONSTANTE
2	1	-1	0	0	1	0	0	14
1	1	0	-1	0	0	1	0	12
1	3	0	0	-1	0	0	1	18
4M-2	5M-4	-M	-M	-M	0	0	0	44M

La primera solución básica factible se puede leer directamente de la tabla inicial. Al hacer  $x_1 = x_2 = s_1 = s_2 = s_3 = 0$  la primera solución básica factible es  $A_1 = 14$ ,  $A_2 = 12$ ,  $A_3 = 18$  y la función objetivo es  $44M$ , un número imposiblemente grande. Para reducir los costos se busca un cambio de base.

A continuación, para poder disminuir el valor de la función objetivo, es necesario elegir el elemento pivote y un cambio de base con lo cual se obtiene otra solución de base. Para pasar a una nueva solución básica factible, se debe introducir una nueva variable de base y se tiene que excluir una de las variables que se encontraba anteriormente en la base. El proceso de selección de la variable que se debe incluir y la que se tiene que excluir se denomina cambio de base. Este procedimiento se realiza así:

En el renglón de la función objetivo la cifra con indicador positivo y valor absoluto mayor determina la variable para entrar a la base. Puesto que  $44M$  no se considera indicador,  $5M-4$  en la columna de  $x_2$  es el número con indicador positivo de valor absoluto mas alto,  $x_2$  se incluye en la base. Además la columna  $x_2$  se convierte en la columna pivote.

La variable que se debe eliminar se determina mediante la razón de desplazamiento menor. Las razones de desplazamiento se determinan dividiendo los elementos de la columna de constantes con su elemento correspondiente en la columna de pivote. El renglón con la razón de desplazamiento mas baja (llamada hilera pivote) no tomando en cuenta las razones menores o iguales a cero, determinan la variable que deja la base. (16)

Calculando los diferentes valores de  $\theta_{ij}$ , es decir, la razón de desplazamiento, tenemos:

$$\frac{14}{1} = 14$$

$$\frac{12}{1} = 12$$

$$\frac{18}{3} = 6$$

Puesto que la razón de desplazamiento mas baja se obtiene en el renglón 3, este renglón se convierte en el renglón pivote. La variable que deja la base es  $x_1$ , debido a que en este renglón el vector unitario con 1 se asocia a una variable. El elemento pivote en la intersección de la columna pivote y el renglón pivote es 3.

Se dispone, entonces, de la información necesaria y suficiente para realizar el primer pivoteo (primera iteración).

El proceso de pivoteo es el proceso mediante el cual se resuelven las ecuaciones en función de las variables que se encuentran en la base (20). Puesto que solo una nueva variable entra a la base en cada etapa del proceso y la etapa anterior incluye siempre una matriz de identidad, el pivoteo implica convertir a 1 el elemento pivote y todos los demás elementos de la columna pivote a cero, para esto se procede como sigue:

Se multiplica el renglón pivote por el valor recíproco del elemento pivote. En este caso, se multiplica el renglón 3 por  $\frac{1}{3}$

$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	CONSTANTE
2	1	-1	0	0	1	0	0	14
1	1	0	-1	0	0	1	0	12
$\frac{1}{5}$	1	0	0	$-\frac{1}{5}$	0	0	$\frac{1}{5}$	6
$4M-2$	$5M-4$	$-M$	$-M$	$-M$	0	0	0	$44M$

Después de reducir el elemento pivote a 1, se procede a limpiar la columna pivote, es decir, que los valores de los elementos de esta columna, exceptuando el elemento pivote, sean iguales a cero. En este caso, restando el renglón 3 del renglón 1 y del renglón 2, y  $(5M-4)$  veces el renglón 3 del renglón 4 es decir, el de la función objetivo. (22)

Segunda Tabla

$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	CONSTANTE
$\frac{4}{5}$	0	-1	0	$\frac{1}{5}$	1	0	$-\frac{1}{5}$	8
$\frac{4}{5}$	0	0	-1	$\frac{1}{5}$	0	1	$-\frac{1}{5}$	6
$\frac{1}{5}$	1	0	0	$-\frac{1}{5}$	0	0	$\frac{1}{5}$	6
$\frac{(7M-2)}{5}$	0	$-M$	$-M$	$\frac{(2M-4)}{5}$	0	0	$\frac{(2M-4)}{5}$	$14M+24$

Se sabe que la función objetivo se ha minimizado cuando no hay indicadores positivos en el último renglón. El cambio de la base y el pivote se continúan, según las reglas anteriores, hasta que todos los indicadores del renglón de la función objetivo sean negativos o iguales a cero. (7)

Repetiendo el procedimiento descrito anteriormente para el cambio de base y el pivote, la columna  $x_2$  se convierte en la nueva columna pivote debido a que en ella se encuentra el indicador con mayor valor positivo en el renglón 4. La menor razón de desplazamiento se

encuentra en el renglón 1, por lo tanto el nuevo elemento pivote es  $\frac{2}{3}$ . De esta manera,  $x_1$  entra a la base y sale  $A_1$ . Debe entonces multiplicarse el renglón 1 por la razón inversa del elemento pivote, es decir, por  $\frac{3}{2}$

$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	CONSTANTE
1	0	$-\frac{3}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$\frac{24}{3}$
$\frac{2}{3}$	0	0	-1	$\frac{1}{3}$	0	1	$-\frac{1}{3}$	6
$\frac{1}{3}$	1	0	0	$-\frac{1}{3}$	0	0	$\frac{1}{3}$	6
$\frac{(7M-2)}{2}$	0	-M	-M	$\frac{(3M-1)}{2}$	0	0	$\frac{(3M-1)}{2}$	$14M-24$

A continuación se debe limpiar la columna 1 restando  $\frac{2}{3}$  del renglón 1 al renglón 2,  $\frac{1}{3}$  del renglón 1 al renglón 3 y  $\frac{(7M-2)}{2}$  del renglón 1 al renglón 4, para obtener la tercera tabla.

Tercera Tabla

$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	CONSTANTE
1	0	$-\frac{3}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$\frac{24}{3}$
0	0	$\frac{2}{3}$	-1	$\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	1	$-\frac{1}{3}$	$\frac{12}{3}$
0	1	$\frac{1}{3}$	0	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{16}{3}$
0	0	$\frac{(7M-2)}{2}$	-M	$\frac{(3M-1)}{2}$	$\frac{(-7M+2)}{2}$	0	$\frac{(-3M-1)}{2}$	$\frac{(14M-120)}{3}$

La solución encontrada aun no es óptima, puesto que se encuentran valores positivos en el renglón de la función objetivo, por lo tanto, es necesario realizar una vez el procedimiento de cambio de base y pivoteo de acuerdo al mismo procedimiento desarrollado en las matrices anteriores. En este caso, el elemento pivote es  $\frac{2}{3}$  entonces es necesario multiplicar el renglón 2 por la razón inversa del elemento pivote, es decir,  $\frac{3}{2}$ .

$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	CONSTANTE
1	0	$-\frac{2}{3}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	$-\frac{1}{3}$	$\frac{21}{2}$
0	0	1	$-\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	-1	$\frac{3}{2}$	$-\frac{1}{2}$	7
0	1	$\frac{1}{3}$	0	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}$	$\frac{21}{2}$
0	0	$\frac{(2M-2)}{3}$	-M	$\frac{(M-1)}{3}$	$\frac{(1-7M+2)}{3}$	0	$\frac{(1-6M+1)}{3}$	$\frac{(21M+21)}{3}$

Continuando con el procedimiento descrito, se suma  $\frac{2}{3}$  veces el renglón 2 al renglón 1 y se resta  $\frac{1}{3}$  veces el renglón 2 del renglón 3 y se resta  $\frac{(2M-2)}{3}$  veces el renglón 2 del renglón 4, lo cual da como resultado la cuarta tabla.

Cuarta Tabla

$x_1$	$x_2$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	CONSTANTE
1	0	0	$-\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{3}{2}$	$-\frac{1}{2}$	9
0	0	1	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-1	$\frac{3}{2}$	$-\frac{1}{2}$	7
0	1	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3
0	0	0	-1	-1	-M	$-M+1$	$-M+1$	30



Con todos los indicadores del renglón de la función objetivo con valor negativo o de cero, se alcanza una solución factible óptima. La solución que se obtiene es:

$$x_1 = 9$$

$$x_2 = 3$$

$$s_1 = 7$$

$$s_2 = 0$$

$$s_3 = 0$$

El valor de la función objetivo se indica en el último elemento del renglón de la función objetivo, es decir,  $c = 30$

Por lo tanto, la solución contiene 9 kilogramos del ingrediente  $x_1$ , 3 kilogramos del ingrediente  $x_2$  y el costo total de esta ración es de 30 pesos.

Es conveniente hacer algunas observaciones con respecto a los resultados obtenidos. Debido a que  $s_1$  y  $s_2$  son iguales a cero, se satisfacen los requerimientos de fibra y de kilogramos de materia seca sin que exista excedente. En el caso de  $s_3$ , indica que hay excedente de 7 gramos de proteína en la ración obtenida. (13)

Con el valor absoluto de los indicadores de las variables de holgura en el renglón de la función objetivo se pueden obtener más datos. El indicador de  $s_1$ , igual a cero indica que una disminución de una unidad en los requerimientos de proteína no refleja decremento de los costos. Sin embargo, en los casos de  $s_2$  y de  $s_3$ , dado que su indicador presenta un valor de -1, indica que una disminución en los requerimientos de fibra o de kilogramos de materia seca en la ración da como resultado la reducción del costo de la misma en un peso por unidad de requerimiento reducida. (26)

Los indicadores de las variables artificiales son todos negativos en la tabla final. Esto debe ser siempre así para una solución óptima. (8)

Las variables artificiales no deben aparecer en la base de la tabla final, si se ha llegado a una solución óptima factible. (8)

Al referirse a una solución óptima se indica que ninguna otra combinación de ingredientes puede satisfacer los requerimientos establecidos a un menor costo, y que cualquier intento de modificación de esta solución daría por resultado un aumento del costo de la ración. (33)

## RESULTADOS

A continuación, se procederá a resolver un problema de nutrición utilizando el sistema computarizado con el fin de comprobar su correcto funcionamiento, así como para explicar la utilización del mismo.

Por lo tanto, el procedimiento que se describe corresponde a la utilización del sistema que se desarrolló para la resolución de problemas de balanceo de raciones a mínimo costo mediante el uso de la computadora.

Este sistema se elaboró utilizando el lenguaje de computación BASIC y de acuerdo a las normas de la programación estructurada. El algoritmo simplex fue codificado en lenguaje BASIC, y se utilizaron archivos indexados para el almacenamiento de la información de las características nutricionales de los ingredientes y de los requerimientos de nutrientes de las cabras. La versión del lenguaje utilizada fue la desarrollada para la microcomputadora I.B.M. P.C. así como para las microcomputadoras compatibles con ésta. Por consiguiente, el sistema opera en este tipo de computadoras. (20,34)

Para el desarrollo de este trabajo de tesis se utilizó la computadora Olivetti M290, con el sistema operativo MS-DOS versión 3.3, que es compatible con las microcomputadoras del tipo I.B.M. P.C.. Se utilizaron como accesorios periféricos una unidad de diskettes, un monitor de video y una impresora. (19)

El sistema está organizado en seis módulos, y un programa que controla el correcto intercambio de datos entre los módulos. En el desarrollo del ejemplo se explicará a mayor detalle cuál es la función de cada uno de esos módulos.

Para resolver un problema de nutrición animal, es necesario en primer lugar establecer claramente las características del mismo. En este caso, se puede suponer que se desea balancear una ración para cabras de 50 kilogramos de peso, con producción de 1.5 litros de leche al día que contienen 3.5% de grasa, con un período de lactación de 280 días y en estabulación. (10)

Consultando las tablas de requerimientos, se tiene que para este tipo de animales son:

**De mantenimiento:**

Energía Metabolizable (Mcal.)	Proteína Total (gr.)	Calcio (gr.)	Fósforo (gr.)	Vitamina A (U.I.)
1.91	75	3	2.1	1,400

**Requerimientos adicionales de producción:**

	Energía Metabolizable (Mcal.)	Proteína Total (gr.)	Calcio (gr.)	Fósforo (gr.)	Vitamina A (U.I.)
Por Kg. de leche	1.23	68	2	1.4	3,800
Por 1.5 Kg. de leche	1.845	102	3	2.1	5,700

A continuación, es necesario sumar a los requerimientos de mantenimiento los requerimientos de producción, para obtener los requerimientos totales:

Energía Metabolizable (Mcal.)	Proteína Total (gr.)	Calcio (gr.)	Fósforo (gr.)	Vitamina A (U.I.)
3.755	177	6	4.2	7,100

Con respecto a la materia seca, se encontró que el consumo de materia seca de las cabras es bastante variable puesto que depende de muchos factores, pero en general se considera que oscila al rededor del 3.5% del peso vivo del animal, lo que en este caso corresponde a 1.7 Kilogramos de materia seca diarios. (21,28)

Cabe aclarar que el sistema fue diseñado para almacenar en archivos de información hasta veinte grupos de requerimientos, correspondientes a igual número de situaciones productivas de los animales, y que es posible elegir cada vez uno de ellos para el balanceo de la ración, sin la necesidad de realizar la captura de los requerimientos cada vez que se quiera balancear cada grupo de animales.

Una vez establecidos los requerimientos nutricionales, es necesario determinar cuáles serán los ingredientes que se considerarán en el problema. Es obvio que los ingredientes disponibles varían mucho dependiendo de la región y la época del año, por lo que el sistema fue diseñado para almacenar en archivos hasta 20 ingredientes con sus características nutricionales y elegir entre éstos solo aquellos que se tengan disponibles en un momento dado.

Para el desarrollo de este ejemplo se consideraron diez ingredientes (entre forrajes y concentrados) utilizados en la alimentación de las cabras lecheras, los cuales son: grano de avena, alfalfa fresca, avena ensilada, maíz ensilado (con mucha mazorca), sorgo ensilado, trébol rojo fresco, ryegrass fresco, heno de alfalfa, girasol (cabezas enteras con 30% de la semilla caída) y pasto Kentucky. Las características nutricionales de los ingredientes pueden ser establecidas a partir de tablas nutricionales, o lo que es mejor, a partir de análisis químicos como el análisis químico proximal. Los análisis químicos dan información mucho más exacta que las tablas debido a que un mismo ingrediente puede tener grandes variaciones en sus características nutricionales dependiendo del lugar donde se siembre (minerales en el suelo), época del año, y otros factores. Para el desarrollo de este ejemplo, por tratarse de un problema hipotético, se obtuvieron los valores nutricionales de los ingredientes de tablas. (10,31)

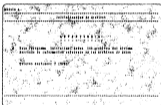
Los precios de los ingredientes son hipotéticos y se establecieron arbitrariamente para poder contar con la información necesaria para el desarrollo del ejemplo.

Contando con esta información, es posible ya comenzar a utilizar el sistema computarizado. Para ello, es necesario en primer lugar encender la computadora, e indicarle que se desea utilizar la unidad de diskettes, para lo cual se coloca el diskette conteniendo los programas del sistema en la unidad de diskettes de la computadora, se tecla `ac` y se oprime la tecla **ENTER**.

Una vez que se ha activado la unidad de **disketes**, se debe teclear el nombre del programa principal, para que la computadora lo busque y lo ejecute. Para ello se tecla **prim** y se oprime la tecla **(ENTER)**, después de lo cual aparece la siguiente pantalla:

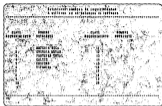


En este menú debe elegirse la opción deseada para la utilización del sistema. En este caso, se supone que se está utilizando el sistema por primera vez, por lo que es necesario oprimir la letra **A** para la inicialización de archivos, lo cual nos presenta esta pantalla:



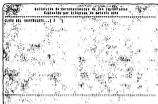
Este módulo es utilizado para limpiar todos los archivos de datos, con el fin de tener la seguridad de que éstos no contengan datos no deseados que pudieran interferir con el funcionamiento correcto del sistema. Esta opción sólo se utiliza cuando se usa el sistema por primera vez, o cuando se desean borrar todos los datos almacenados en los archivos.

Ahora que se tiene la seguridad de que los archivos están limpios, se debe proporcionar la información necesaria al sistema para efectuar los cálculos del balanceo de raciones. Se oprime a continuación la tecla B para establecer los nombres de los requerimientos:



En este módulo se establecen los nombres de los requerimientos que se utilizarán en el balanceo de raciones. Se tiene la posibilidad de utilizar hasta 20 requerimientos, en este ejemplo se utilizan 6. El cursor aparece en la posición del requerimiento 1, debe escribirse el nombre de éste y oprimir **ENTER** para pasar al renglón 2 y así sucesivamente. Cuando se ha terminado de escribir los nombres, debe oprimirse la tecla **ENTER** hasta llegar al renglón 20 y ahí una vez más para regresar al menú principal.

Una vez establecidos los nombres de los requerimientos, se procede a definir las características nutricionales de los ingredientes. Para ésto, debe oprimirse la letra C, y después aparece esta pantalla:



Aquí es necesario indicar el número correspondiente a la clave del ingrediente, como no existe ninguno se elige el número 1. En este caso, la clave 1 corresponde al grano de avena, por lo que se debe capturar la información relacionada a este ingrediente:



El cursor se posiciona en el campo descripción del ingrediente, donde se captura el nombre y se oprime [ENTER] para pasar al siguiente campo, que es precio del ingrediente, y así sucesivamente. Cabe hacer la aclaración que en los campos correspondientes al contenido de nutrientes, se indican cantidades por kilogramo de materia seca. En el caso de la materia seca, se pone 1.00 porque se supone que para fines del cálculo de raciones el alimento está en base seca (100% de materia seca), la energía metabolizable se expresa en Mcal. por kilo de materia seca, la proteína, el calcio y el fósforo en gramos por kilo de materia seca y la vitamina "A" en unidades internacionales por kilo de materia seca.



Quando se ha terminado la captura, se continúa oprimiendo la tecla **ENTER** hasta que aparece la pregunta de si los datos son correctos. Si se oprime **S** se pasa a la pantalla que pide la clave del ingrediente, desde donde se puede regresar al menú principal oprimiendo **ENTER** o bien elegir otra clave de ingrediente; si se oprime **N** se limpia lo capturado anteriormente y se vuelve a introducir los datos. En este caso, se capturaron los datos correctamente, por lo que se oprime **S**.

Entonces es posible capturar las características nutricionales de los demás ingredientes. Para ello, desde la pantalla que pide la clave del ingrediente, se oprime el número 2 que corresponde a alfalfa fresca, y cuyas características son:

Módulo de Caracterización de los Ingredientes - Selección del ingrediente a utilizar -			
CLAVE DEL INGREDIENTE... ( 0 0 )		[INGREDIENTE SELECC.]	
DESCRIPCIÓN DEL INGREDIENTE... ( )		N.º DE ÚNICA VIDA... ( ) 01.000 1	
CANTIDAD DEL INGREDIENTE... ( )		001.000 ( )	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
(1)		(2)	
ALFALFA FRESCA	1.000		0.000
ALFALFA SECA	0.000		0.000
ALFALFA TOTAL	100.000		0.000
ALFALFA	10.000		0.000
ALFALFA	0.000		0.000
ALFALFA "A"	01.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000

Siguiendo la misma metodología descrita anteriormente para el ingrediente cuya clave es 1 (grano de avena), se introducen los datos de la alfalfa fresca, y se oprime **ENTER** hasta llegar a la pantalla que pide nuevamente la clave del ingrediente, que en este caso es 3 y corresponde a avena ensilada, y tiene las características siguientes:

Módulo de Caracterización de los Ingredientes - Selección del ingrediente a utilizar -			
CLAVE DEL INGREDIENTE... ( 0 0 )		[INGREDIENTE SELECC.]	
DESCRIPCIÓN DEL INGREDIENTE... ( )		N.º DE ÚNICA VIDA... ( ) 01.000 1	
CANTIDAD DEL INGREDIENTE... ( )		001.000 ( )	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
(1)		(2)	
ALFALFA FRESCA	1.000		0.000
ALFALFA SECA	0.000		0.000
ALFALFA TOTAL	100.000		0.000
ALFALFA	1.000		0.000
ALFALFA	0.000		0.000
ALFALFA "A"	01.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000

Mediante el mismo procedimiento, se procede a realizar la captura de las características del ingrediente 4 y que en este caso corresponde a maíz ensilado, cuya información nutricional es la siguiente:

Mantenimiento de Características de los Ingredientes			
Completado por el programa de gestión más			
-----			
CLAVE DEL COMPONENTE... 4			
DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE... Maíz ensilado			
PRECIO DEL COMPONENTE... 100,000			
CANTIDAD UNIDAD... 1 00,000			
INGREDIENTE	CANTIDAD	INGREDIENTE	CANTIDAD
10	10	10	10
MAÍZ EN SILADO	1,000		1,000
CEBOLLA SECA	1,000		1,000
PIRENEO SECA	10,000		1,000
CAJALIN	1,000		1,000
YOGURTE	1,000		1,000
PIRENEO	1,000		1,000
	1,000		1,000
	1,000		1,000
	1,000		1,000

Después se hace lo mismo para introducir al sistema la información nutricional del sorgo ensilado, cuya clave es 5 y aparece en la pantalla así:

Mantenimiento de Características de los Ingredientes			
Completado por el programa de gestión más			
-----			
CLAVE DEL COMPONENTE... 5			
DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE... Sorgo ensilado			
PRECIO DEL COMPONENTE... 100,000			
CANTIDAD UNIDAD... 1 100,000			
INGREDIENTE	CANTIDAD	INGREDIENTE	CANTIDAD
10	10	10	10
MAÍZ EN SILADO	1,000		1,000
CEBOLLA SECA	1,000		1,000
PIRENEO SECA	10,000		1,000
CAJALIN	1,000		1,000
YOGURTE	1,000		1,000
PIRENEO	1,000		1,000
	1,000		1,000
	1,000		1,000
	1,000		1,000

Se continúa el proceso de captura de datos de acuerdo a las instrucciones explicadas en los ingredientes anteriores y posteriormente se realiza la captura de la información correspondiente al ingrediente 6 (trébol rojo fresco) y la pantalla con información se aparece así:

```

          Estimación de Características de los Ingredientes
          Estimación por el programa de materia seca
    -----
    CUANTO DEL INGREDIENTE... ( 1 )
    DESCRIPCIÓN DEL INGREDIENTE... (TRÉBOL RJO.)
    PRECIO DEL INGREDIENTE... ( 100.000 )    0.00 (MATERIA SECA)... ( 20.000 )

    INGREDIENTE          Cantidad          Cantidad          Cantidad
    (1)                  (2)                  (3)                  (4)

    MATERIA SECA          1.000                    0.000
    CEMENTO AZÚCAR        0.000                    0.000
    MATERIA SECA PASTA    20.000                    0.000
    CALOR                  0.000                    0.000
    FIBROSA                0.000                    0.000
    FIBROSA "A"           20.000                    0.000
    FIBROSA "B"           0.000                    0.000
    FIBROSA "C"           0.000                    0.000
    FIBROSA "D"           0.000                    0.000
    -----
  
```

En el caso del pasto ryegrass fresco, cuya clave es 7, sus características nutricionales determinan los siguientes datos que se introducen a los archivos del sistema:

```

          Estimación de Características de los Ingredientes
          Estimación por el programa de materia seca
    -----
    CUANTO DEL INGREDIENTE... ( 1 )
    DESCRIPCIÓN DEL INGREDIENTE... (PASTO RJO.)
    PRECIO DEL INGREDIENTE... ( 100.000 )    0.00 (MATERIA SECA)... ( 20.000 )

    INGREDIENTE          Cantidad          Cantidad          Cantidad
    (1)                  (2)                  (3)                  (4)

    MATERIA SECA          1.000                    0.000
    CEMENTO AZÚCAR        0.000                    0.000
    MATERIA SECA PASTA    20.000                    0.000
    CALOR                  0.000                    0.000
    FIBROSA                0.000                    0.000
    FIBROSA "A"           20.000                    0.000
    FIBROSA "B"           0.000                    0.000
    FIBROSA "C"           0.000                    0.000
    FIBROSA "D"           0.000                    0.000
    -----
  
```

El ingrediente con clave 3 es el heno de alfalfa y para la inclusión de sus características nutricionales al sistema, se siguen los mismos pasos descritos con anterioridad, y se observa en pantalla lo siguiente:

Definición de Características de los Ingredientes  
Controlado por Sistema de Gestión de Datos

---

CLAVE DEL INGREDIENTE... 3 0      ALFALFA HENO      1 00

DESCRIPCION DEL INGREDIENTE... 3      000.000 0      0 00 ALFALFA HENO... 1 00.000 0

UNIDAD DEL INGREDIENTE... 0

CONTENIDO	UNIDADES	CONTENIDO	UNIDADES
ALFALFA HENO	0.000		0.000
PROTEINA BRUTA	0.000		0.000
PROTEINA BRUTA	20.000		0.000
CELULOSA	0.000		0.000
CELULOSA	0.000		0.000
CELULOSA 1"	0.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000

---

Una vez hecho esto, se procede a introducir la información correspondiente al ingrediente ginsol, que en este caso tiene la clave 9 y cuyas características nutricionales se aprecian en la pantalla siguiente:

Definición de Características de los Ingredientes  
Controlado por Sistema de Gestión de Datos

---

CLAVE DEL INGREDIENTE... 9 0      GINSOL      1 00

DESCRIPCION DEL INGREDIENTE... 9      000.000 0      0 00 GINSOL... 1 00.000 0

UNIDAD DEL INGREDIENTE... 0

CONTENIDO	UNIDADES	CONTENIDO	UNIDADES
ALFALFA HENO	0.000		0.000
PROTEINA BRUTA	0.000		0.000
PROTEINA BRUTA	10.000		0.000
CELULOSA	0.000		0.000
CELULOSA	0.000		0.000
CELULOSA 1"	0.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000
	0.000		0.000

---

Por último, se realiza la captura de la información nutricional del último ingrediente de este ejemplo, que es el pasto Kentucky y tiene como clave el número 10 y sus características nutricionales son:

Definición de Características de los Ingredientes  
 Definidos por selección de número clave

---

Clave del ingrediente...: 10  
 Características del ingrediente...: (ver menú)  
 Definir las características...: (ver menú)

Característica	Carácter	Definición	Definición
NO	SI	NO	SI
MOJERLA 000	0.000		0.000
MOJERLA 000	0.000		0.000
PASTO DE 000	10.000		0.000
SALIN	0.000		0.000
VALOR	0.000		0.000
VALOR	10.000		0.000
VALOR	0.000		0.000
VALOR	0.000		0.000
VALOR	0.000		0.000

---

Una vez que se ha terminado con la captura de las características nutricionales de los ingredientes, en la pantalla que pide la clave del requerimiento se oprime la tecla **ENTER** para regresar al menú principal.

Desde este menú debe elegirse a continuación la letra D para entrar en el módulo de Definir niveles de requerimientos. Este módulo fue diseñado para realizar a través de él la captura de la información correspondiente a los niveles de requerimientos nutricionales de los animales en diferentes situaciones productivas. La primera pantalla que presenta pide la clave del requerimiento con que se va a trabajar, en este caso es 1:

Definición de niveles de requerimientos

---

Clave del requerimiento...: 1

---

Después de oprimir la tecla **(ENTER)** aparece la pantalla de captura, en la cual aparecen los campos de descripción de requerimiento para poner un nombre descriptivo para identificarlo, el consumo de materia seca de los animales por día, que deben expresarse en kilogramos, y una lista con los nutrientes definidos en el módulo donde se establecen los nombres de los requerimientos y una columna para introducir las cantidades que necesitan los animales de cada uno de ellos al día.

Definición de requerimientos  
Para el sistema de balanceo

---

CLAVE DE REQUERIMIENTO: (1) 1  
DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTO: (200) 000. (1) 100 0.00 0.00 0.00 1  
NUTRIENTE (1) DE MATERIA SECA: (1) 100

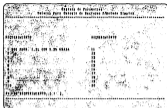
NUTRIENTE	CANTIDAD	UNIDADES	CANTIDAD
MATERIA SECA	1.170		0.000
PROTEINA BRUTA	0.170		0.000
PROTEINA TOTAL	170.000		0.000
ALUMINIO	0.000		0.000
BERILIO	0.000		0.000
BOHRIO	0.000		0.000
BROMIO	0.000		0.000
COBALTO	0.000		0.000
CROMIO	0.000		0.000
CUPRO	0.000		0.000
FLUORO	0.000		0.000
GERMANYO	0.000		0.000
ORO	0.000		0.000
PLATA	0.000		0.000
PLUTONIO	0.000		0.000
SELENIO	0.000		0.000
STRONCIO	0.000		0.000
TANTALO	0.000		0.000
TORIO	0.000		0.000
URANIO	0.000		0.000
WOLFRAMO	0.000		0.000
ZINC	0.000		0.000

¿DESEA CONTINUAR? (SI/NO)

---

Cabe hacer la aclaración que estas cantidades deben expresarse en las mismas unidades que se utilizaron al definir las características de los ingredientes. Se cambia la posición del cursor de un campo a otro oprimiendo **(ENTER)** y al terminar de llenar los campos se sigue oprimiendo **(ENTER)** hasta que el sistema pregunta si los datos son correctos. Si se oprime **N** se limpian los campos y se vuelve a realizar la captura de los datos, y si se oprime **S**, como en este caso, aparece la pantalla que pide la clave del requerimiento. El sistema está diseñado para almacenar hasta 20 diferentes grupos de requerimientos para igual número de situaciones productivas, pero en este ejemplo solo tenemos un grupo de requerimientos, por lo que se oprime **(ENTER)** para regresar al menú principal del sistema.

Ahora se cuenta con toda la información necesaria para iniciar el balanceo de raciones utilizando el método simple de programación lineal. Esto se realiza mediante la elección de la opción **E** del menú principal, que presenta inicialmente una pantalla en donde aparece la lista de claves y nombres de los requerimientos disponibles en el sistema y pregunta la clave del requerimiento que se desea utilizar en el balanceo.



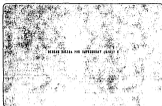
En este caso se elige la clave 1 para el único grupo de requerimientos que se tiene disponible, y al oprimir **ENTER** aparece la pantalla en donde se elige los ingredientes disponibles (ingredientes a utilizar) y los requerimientos a los cuales se desea balancear la ración. En este caso, se puede suponer que se dispone de grano de avena, alfalfa fresca, sorgo ensilado, trébol rojo fresco, heno de alfalfa y pasto Kentucky; y se desea balancear en base a materia seca, energía metabolizable, proteína total y calcio.

Para escoger estos elementos, debe introducirse la letra X en el campo correspondiente a cada uno de los ingredientes o requerimientos deseados, y oprimir **ENTER**. En los elementos que no se desean incluir se oprime **ENTER** y queda el campo en blanco. Cuando se han terminado de introducir las letras X, se puede oprimir F y **ENTER** para pasar al lado de los requerimientos y hacer lo mismo que con los ingredientes, y después se puede oprimir F y **ENTER** para terminar. Después el sistema pregunta si los datos son correctos.



Sistema de Programación Matemática para Selección de Ingredientes para una Ración			
INGREDIENTES	REQUERIMIENTOS	REQUERIMIENTOS	REQUERIMIENTOS
ARROZ COMÚN 10	1	MATERIA SECA 10	0
ARROZ COMÚN 20	1	MATERIA SECA 20	0
ARROZ COMÚN 30	1	MATERIA SECA 30	0
ARROZ COMÚN 40	1	MATERIA SECA 40	0
ARROZ COMÚN 50	1	MATERIA SECA 50	0
ARROZ COMÚN 60	1	MATERIA SECA 60	0
ARROZ COMÚN 70	1	MATERIA SECA 70	0
ARROZ COMÚN 80	1	MATERIA SECA 80	0
ARROZ COMÚN 90	1	MATERIA SECA 90	0
ARROZ COMÚN 100	1	MATERIA SECA 100	0
ARROZ COMÚN 110	1	MATERIA SECA 110	0
ARROZ COMÚN 120	1	MATERIA SECA 120	0
ARROZ COMÚN 130	1	MATERIA SECA 130	0
ARROZ COMÚN 140	1	MATERIA SECA 140	0
ARROZ COMÚN 150	1	MATERIA SECA 150	0
ARROZ COMÚN 160	1	MATERIA SECA 160	0
ARROZ COMÚN 170	1	MATERIA SECA 170	0
ARROZ COMÚN 180	1	MATERIA SECA 180	0
ARROZ COMÚN 190	1	MATERIA SECA 190	0
ARROZ COMÚN 200	1	MATERIA SECA 200	0

Si los datos no son correctos y se oprime la letra N se borra el contenido de los campos y se vuelve a elegir lo deseado; en este caso los datos si son correctos y se oprime la tecla S lo cual inicia el proceso de cálculos del sistema. En primer lugar, se realiza la conversión del precio de cada uno de los ingredientes a base seca. Es decir, se obtiene cuanto cuesta un kilo de materia seca de cada uno de los ingredientes para que el método numérico realice una comparación objetiva de los precios. Después el sistema toma los datos de los archivos de características nutricionales de los ingredientes elegidos y los incorpora al método numérico. También obtiene los datos de los archivos de requerimientos y toma el del grupo de requerimientos elegido. Con esa información desarrolla el algoritmo simple, y de los resultados que obtiene realiza la conversión a base húmeda, para que las cantidades que se obtengan finalmente estén expresadas en kilogramos reales, no en base seca. Finalmente, multiplica cada una de las cantidades de los ingredientes de la solución final por su precio (en base húmeda), suma los resultados y obtiene el precio total de la ración (valor de la función objetivo). La forma de salida de la información es a elección del usuario (impresora y/o pantalla) de acuerdo a su respuesta a la pregunta del sistema en la siguiente pantalla:



Si se elige oprime la tecla S los resultados se obtendrán por impresora y por pantalla, si se elige la letra N los resultados aparecerán por pantalla únicamente. En este caso se elige la opción N y después se oprime **ENTER** lo cual hace que aparezca la pantalla que muestra los resultados obtenidos a través del método numérico:

DESCRIPCION	RESERVAS DE CANTIDAD RESERVADAS (%)	VALOR POR RESERVAS (%)
OTROS DATOS	0.127	11.499
VALORES PERDIDA	0.181	17.279
OTROS DATOS	0.007	1.291.000
VALORES PERDIDA	0.181	121.000
OTROS DATOS	0.002	1.000.000
VALORES PERDIDA	0.181	1.000.000
VALOR DE LA INVERSION RESERVADA		1.200.000
PRES. CONTINUA TECLAS <RETURN>		

Para regresar al menú principal es necesario oprimir la tecla **ENTER** y para salir del sistema se oprime la tecla F. Cabe aclarar que todos los datos que se introdujeron al sistema quedan almacenados en archivos, por lo cual al salir del sistema y apagar la computadora éstos no se pierden, y la labor de captura solo se realiza una vez o cuando se desean modificar algunos datos.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Es el desarrollo del problema de balanceo de raciones a mínimo costo mediante la utilización del sistema desarrollado, se obtuvieron los resultados que aparecen en la pantalla que despliega el sistema después de ejecutar los cálculos correspondientes, y que se muestra a continuación:

INGREDIENTE	CANTIDAD ESCUARILLA KG	PRECIO UNO ESCUARILLA (\$)
ALFA FRESCO	0.037	75.000
ALFA SECO	0.000	10.000
SORGO ESCRILADO	0.000	11.000.000
HECHO DE ALFA	0.133	100.000
*****		*****
	0.040	1.585.990
COSTO DE LA RACION OPTIMA:		1.585.990
*****		*****
CANTIDAD OPTIMA (KG) - RACIONES:		0.040

La solución obtenida consiste en una ración conteniendo 0,137 Kg. de grano de avena, 0,065 Kg. de alfalfa fresca, 0,005 Kg. de sorgo ensilado y 0,133 Kg. de heno de alfalfa. El costo total de esta mezcla de ingredientes es de 1.585,99 pesos.

Se puede observar que en la solución no aparecen el trébol rojo fresco ni el pasto Kentucky, que habían sido elegidos como ingredientes disponibles en el menú correspondiente, y que por lo tanto fueron tomados en cuenta para el balanceo de la ración. El que no aparezcan se debe a que el método simple al ejecutar su proceso de optimización, mediante el cual obtuvo la ración de costo mínimo, excluyó a estos dos ingredientes por ser económicamente inconvenientes en relación a los demás ingredientes disponibles. Es decir que los ingredientes incluidos en la ración final son aquellos que brindan una mejor relación costo - beneficio. (24)

La ración obtenida como solución al problema es óptima. Esto significa que otras combinaciones de los ingredientes disponibles tal vez pudieran llenar los requerimientos de los animales, pero su costo sería mayor. El método simplex de programación lineal brinda la seguridad de que la solución obtenida es la del mínimo costo posible. (32)

Para verificar la exactitud de los resultados, es necesario convertir las cantidades de cada uno de los ingredientes a materia seca y multiplicar esta cantidad por su contenido de cada uno de los nutrientes en base a los cuales se balanceó la ración. Para el caso específico del precio, se multiplican las cantidades en base húmeda por el precio por kilogramo de cada ingrediente y se suman las cantidades. A continuación se deben comparar los resultados con el grupo de requerimientos en base al cual se planteó el problema. (7)

INGREDIENTES	APORTE DE NUTRIENTES				COSTO (¢)
	MATERIA SECA (Kg)	ENERGÍA METAB. (Kcal)	PROTEÍNA TOTAL (gr)	CALCIO (gr)	
Grano de Avena	0.124	0.451	20.708	0.086	75.31
Alfalfa Fresa	0.075	0.0997	3.125	0.281	19.30
Sopa Escaldada	1.431	1.902	104.03	4.643	1,261.25
Trigo de Alfalfa	0.027	0.323	30.058	0.599	139.30
<b>TOTALES</b>	<b>1.758</b>	<b>3.744</b>	<b>174.924</b>	<b>5.989</b>	<b>1,585.16</b>
REQUERIMIENTOS	1.750	3.735	177	6	Mínimo

Se observa que los aportes de nutrientes obtenidos en esta ración cubren satisfactoriamente los requerimientos de los animales de este problema. Se observan variaciones mínimas en cuanto a las cifras de los requerimientos en comparación a la suma de los aportes. Esto se debe a que el sistema fue programado para desplegar los resultados redondeándolos a tres decimales después del punto, pero la computadora en el método numérico realiza todos sus cálculos a un exactitud de nueve dígitos después del punto, pero en la realidad las cantidades de ingredientes obtenidas a través del sistema satisfacen perfectamente las necesidades nutricionales de los animales.

## DISCUSION

Es obvio que existen muchas combinaciones de ingredientes que pueden satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales. En un problema donde se desea calcular una ración para satisfacer seis requerimientos y se cuenta con diez ingredientes pueden ocurrir hasta 34 trillones de soluciones posibles. Debe, por lo tanto, buscarse la manera de reducir estas posibles soluciones a solamente una. Esto se logra agregando precios a los ingredientes y limitando la solución solo a aquella de costo mínimo. Para resolver este tipo de problemas fue creada la programación lineal. (7)

En este trabajo de tesis se han presentado dos procedimientos para resolver problemas de programación lineal, que son el método algebraico y el método por medio de la utilización de la computadora.

Los métodos matemáticos tienen la ventaja de que ofrecen resultados de una gran exactitud. Para utilizar el método algebraico se requiere del dominio de las matemáticas y, en particular, sólidas bases del álgebra matricial. Esta clase de problemas se pueden resolver con la ayuda de una calculadora común, pero esto requiere de mucho tiempo, sobre todo cuando se trata de problemas complejos, en donde intervienen un número elevado de variables (ingredientes) y de ecuaciones (requerimientos nutricionales). (15)

La utilización de la computadora es muy conveniente para la resolución de este tipo de problemas puesto que es mucho menos laborioso aprender a manejar un sistema computarizado que hacer los cálculos manualmente, además de que se puede incluir el número de variables que se considere conveniente así como un número grande de requerimientos y obtener los resultados en forma muy rápida y exacta. (19)

Sin embargo, debe enfatizarse que no debe exagerarse la importancia de la palabra computadora en este tipo de formulación de raciones, ya que una ración calculada con una computadora no tiene ningún mérito particular por provenir del aparato, y no debe ser

considerada ideal por ese solo hecho. Ante todo, debe comprenderse que los programas de alimentación formulados por una computadora no pueden ser ni mejores ni peores que el valor o exactitud de la información que el hombre suministra a la computadora. (10,24)

Debe mencionarse también que una ración de mínimo costo no es necesariamente sinónimo de máxima producción animal o economía de conversión. La mejor ración posible puede ser parecida a la de menor costo, pero no todo el conocimiento de nutrición o experiencia se puede traducir en restricciones para mejorar el resultado de los cálculos. Por ejemplo, algunos ingredientes presentan interacciones entre sí (los granos de destilería interactúan hasta cierto grado con el ensilado y resultan en una ración mejor que la suma de los valores aislados), puede mencionarse también que es muy difícil considerar factores tales como la palatabilidad o aceptabilidad de los alimentos al utilizar este método de formulación. La eficiencia de la ración depende también del consumo voluntario; lo que se puede predecir de él hasta el momento es aproximado, y lo que es más importante, no todas las relaciones entre los ingredientes son lineales. Estas limitaciones no son suficientes para negar el gran valor de la programación lineal para el balanceo de raciones. Simplemente significan que se requiere un criterio inteligente basado en la experiencia y conocimientos de la nutrición animal para utilizar las raciones preparadas por programación lineal y en algunos casos deberán ser ligeramente modificadas para adaptarse al buen criterio. (7,10,30)

Debe tomarse en cuenta que en el caso de la cabra, así como de los demás rumiantes, debe tenerse cuidado al cambiar de una ración a otra. Generalmente se requieren de dos a tres semanas para que la microflora del rumen se adapte a una nueva ración, y durante el período de adaptación baja la producción de los animales. Por lo tanto, cuando los resultados de la computadora indiquen cambios notables en la composición de la ración que se utilizaba anteriormente, estos deben realizarse paulatinamente a través de tres o cuatro ajustes moderados en un período de dos semanas. (3,24)

Es importante mencionar que el uso de las computadoras se ha extendido bastante en todos los campos, por lo que es muy común que las empresas y negocios cuenten actualmente con una computadora en sus instalaciones. Esto hace aún más aplicable esta técnica para la resolución de problemas de programación lineal, como el que se plantea en este trabajo de tesis.

Debe considerarse de manera muy importante que la mayor parte de las empresas grandes, medianas y pequeñas que cuentan con equipo de cómputo poseen máquinas del tipo I.B.M. P.C. o equipo compatible con éste, el cual con el paso del tiempo se ha establecido en el mercado de las microcomputadoras como la fuerza dominante indiscutiblemente. Esto es debido principalmente a la gran cantidad de sistemas y productos que diferentes compañías han desarrollado para este tipo de computadoras, además del gran poder de la corporación I.B.M. a nivel mundial en el campo de la informática. El resultado de este proceso ha sido que existen actualmente en el mercado una gran variedad de equipos de cómputo de diferentes marcas, características técnicas y precios que funcionan de acuerdo a las normas técnicas de la computadora personal de I.B.M., lo que ofrece amplias posibilidades de elección a los consumidores de este tipo de productos. Se observa además que continúa la tendencia de crecimiento de este grupo de computadoras, ya que los nuevos productos en el campo de las microcomputadoras ofrecen nuevas funciones, pero siguen siendo compatibles con la I.B.M. P.C. (30)

Por lo mencionado anteriormente, se eligió desarrollar el programa del trabajo de tesis para este tipo de computadoras, con el fin de que sea lo más aplicable posible y no se vuelva obsoleto en poco tiempo.

Debe quedar muy claro que los datos que la programación lineal aporta a los productores serán precisos solo en la medida en que se utilice información confiable para alimentar el sistema. La programación lineal es una técnica de cálculo que se aplica a la resolución de

problemas de elección económica dentro de una empresa. Sin embargo, esta representación formal de los mecanismos de producción con ayuda de funciones matemáticas lineales presenta algunas dificultades. (6)

Algunas de ellas se refieren al conocimiento del fenómeno estudiado (problemas de información técnico - económica). Pero, aún cuando este conocimiento sea suficiente, existen todavía algunas consideraciones que provienen de la necesidad de dar al modelo un formato que no sea excesivamente grande, de traducir en un sistema de ecuaciones lineales las relaciones que gobiernan el funcionamiento de la nutrición y de expresar también mediante una función lineal el objetivo del productor (ración de costo mínimo). Se debe tomar en cuenta que las funciones de producción que se utilizan con este método deben ser lineales, es decir, deben cumplir con las características de proporcionalidad, aditividad y divisibilidad que se mencionaron en el desarrollo. (16)

Debe entenderse, por lo tanto, que la programación lineal ofrece mayores datos para la toma de decisiones de tipo económico, pero que los resultados deben ser interpretados tomando en cuenta lo mencionado anteriormente.

Es importante mencionar que la solución de un problema de programación lineal puede variar si cambian los valores de la precios de los ingredientes y si cambian las características nutricionales de los mismos, por lo cual es necesario volver a calcular la solución cada vez que existan modificaciones al problema original para detectar si la solución no ha sufrido variaciones. (8)

El problema desarrollado con objeto de ejemplificación es, necesariamente, sencillo, sin embargo, esta no es una limitante del método simplex de programación lineal. En realidad una de las mayores ventajas de la programación lineal es la complejidad en la escala de los problemas que pueden resolverse. (7)



## CONCLUSIONES

La programación lineal es una técnica matemática que proporciona información económica que sirve de apoyo en la toma de decisiones para la utilización óptima de los factores productivos dentro de la empresa, es decir, como se pueden utilizar mas eficazmente estos factores productivos, seleccionando y distribuyendo con mayor eficacia estos elementos. Puede obtenerse la utilización mas eficaz de la fuerza humana y las máquinas como solución a un problema lineal bien estructurado. (4)

Aplicada al cálculo de raciones óptimas, la programación lineal es muy útil para el médico veterinario zootecnista, ya que permite realizar los cálculos de raciones a costo mínimo con una gran exactitud, y apoyada en un programa de computadora, se pueden obtener los resultados con una gran rapidez. (10)

La elaboración de un sistema computarizado que resuelva problemas de minimización de costos por concepto de alimentación en una empresa agropecuaria hace más aplicable esta técnica para los médicos veterinarios zootecnistas. Mediante el uso de la computadora la programación lineal se convierte en una técnica práctica, ya que el tiempo necesario para realizar los cálculos manualmente no solo es excesivo, aún con la utilización de calculadoras, sino que los errores aritméticos simples harían casi imposible obtener una solución correcta en un problema de dimensiones medianas o grandes. La utilización del programa de computadora permite obtener soluciones a este tipo de problemas con una gran rapidez y exactitud. Esto es particularmente importante en el área agropecuaria debido a que los mercados de los diferentes productos sufren fluctuaciones considerables frecuentemente. (7,30)

Es importante mencionar que el precio de los productos y los niveles de restricciones en los requerimientos nutricionales pueden cambiar constantemente según el problema

planteado, por lo que, si ya se obtuvieron los resultados en un problema y ocurren cambios como los mencionados anteriormente, es necesario calcular la solución con los nuevos valores para observar si se presentaron cambios en la solución previa.

La programación lineal es un método matemático de origen relativamente reciente que ha tenido una influencia favorable en muchos problemas de negocios. Se considera al método simplex como uno de los grandes éxitos del campo de estudio conocido como investigación de operaciones, ya que ha demostrado ser una de las técnicas matemáticas más significativas. La investigación en el área de programación lineal aún no ha terminado, y se considera que otras investigaciones darán como resultado modificaciones a la técnica básica que resultarán en la extensión de la técnica a otras áreas de negocios. Se considera que aún quedan muchas variaciones por descubrir. La utilización más extensa de las computadoras en el área de investigación de operaciones acelerará la aparición de esos nuevos perfeccionamientos. (6,18)

Por lo tanto, la programación lineal es un instrumento de la administración y un proceso de análisis que ofrece grandes ventajas para determinar las soluciones óptimas a una gran cantidad de problemas de las empresas agropecuarias. (5)

Es necesario aclarar que la técnica de programación lineal, como otros instrumentos matemáticos y de cómputo, ayudan al médico veterinario zootecnista, administrador o productor en la tarea de decidir cual es la solución más apropiada en un problema de tipo económico en un negocio, pero no lo substituyen. Esto es particularmente válido en el caso de la nutrición animal, ya que se requiere que la formulación de raciones por medio de este método matemático sea realizada por una persona con experiencia y conocimientos de nutrición animal para poder interpretar adecuadamente los resultados obtenidos de la computadora y aplicar su criterio cuando así se requiera. (7,21)

En este trabajo de tesis se establecen los conceptos fundamentales para resolver problemas de balanceo de raciones por medio de un sistema computarizado, formularlos como modelos de programación lineal y utilizar la técnica de cómputo apropiada para resolver

esta clase de problemas. Sin embargo, es necesario aclarar que es importante extender el estudio y el campo de aplicación de esta técnica matemática dentro de la Medicina Veterinaria y Zootecnia y en las empresas agropecuarias. Cabe mencionar tan solo dos ejemplos en donde es necesario profundizar el estudio de este método relacionado al área agropecuaria como son el análisis económico marginal asociado a la programación lineal y el problema dual asociado a esta clase de problemas matemáticos. (5)

Por último, se puede concluir que el conocimiento de esta técnica matemática asociada al uso de la computadora a través de un sistema adecuado para ello, es de interés general para el médico veterinario zootecnista y otros profesionistas del área agropecuaria, así como también para administradores y productores.

## LITERATURA CITADA

- 1).- Agraz, C.A.: Cría y Explotación de la cabra en América Latina. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina, 1981.
- 2).- Aguilar, V.A., Zavala, M.D., Mendoza, G.E., Rubalcava, C.E., Juárez, G.J., Pastrana, G.H. y Huerta, R.E.: Administración Agropecuaria. Ed. Limusa. México, 1982.
- 3).- Arriba, S. y Orcasterro, R.: Nutrición de las cabras. Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, U.N.A.M., México, 1982.
- 4).- Arrow, K.J., Hurwicz, L. and Uzawa, H.: Studies in Linear and Non - Linear Programming. Stanford University Press. U.S.A., 1958.
- 5).- Bachold, E., Aguilar, A., Alonso, F., Juárez, J., Casas, V.M., Meléndez, R., Huerta, E., Mendoza, E. y Espinoza, A.: Economía Zootécnica. Ed. Limusa, México, 1982.
- 6).- Baumol, W.J.: Teoría Económica y Análisis de Operaciones. Prentice Hall. U.S.A., 1985.
- 7).- Condonnier, P.: Economía de la Empresa Agraria. Ediciones Mundí Prensa, Madrid, España, 1973.
- 8).- Charnes, A. and Cooper, W.W.: Management Models and Industrial Application of Linear Programming. John Wiley & Sons. U.S.A., 1971.
- 9).- Danzig, G.B.: Linear Programming and Extensions. Princeton University Press. U.S.A., 1963.
- 10).- De Alba, J.: Alimentación del ganado en América Latina. La Prensa Médica Mexicana, México, D.F., 1983.
- 11).- Devendra, C. and Burr, M.: Goat Production in the Tropics. Commonwealth Agriculture Bureau, England, 1980.
- 12).- D.G.E.A.: Información Agropecuaria. Dirección General de Economía Agrícola S.A.B.H., México, D.F., 1983.
- 13).- Dorfman, R.P., Samuelson, P.A. and Solow, R.M.: Linear Programming and Economic Analysis. Mc. Graw Hill Book Company. U.S.A., 1978.

- 14).- Ferguson, C.E.: Teoría Microeconómica. **Fondo de Cultura Económica**, México, 1974.
- 15).- Frazer, J.R.: Programación Lineal Aplicada. **Editora Técnica**, México, 1972.
- 16).- Gale, D.: The Theory of Linear Economic Models. **Mc. Graw Hill Book Company**, U.S.A., 1960.
- 17).- García, E.: Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. **Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México**, México, D.F., 1983.
- 18).- Gass, S.L.: Linear Programming Methods and Applications. 3rd. Edition. **Mc. Graw Hill Book Company**, U.S.A., 1968.
- 19).- Getz, A.R. y Grijalva, L.E.: El enfoque de Sistemas. **Ed. Limusa**, México, 1976.
- 20).- Gómez, G. y Mendoza, E.: Introducción a la Computación. **Centro de Servicios de Computo, U.N.A.M.**, México, 1979.
- 21).- Hutton, R.F.: Use of Linear Programming in Feed Manufacturing. **Ernststaffs**, U.S.A., 1958.
- 22).- Intriligator, M.D.: Mathematical Optimization and Economic Theory. **Frontier Hall**, U.S.A., 1981.
- 23).- Juárez, G.J.: Relación entre la Economía Zootécnica y la Administración Agropecuaria, Primera Parte. En: Memorias del Curso de Actualización: La enseñanza de la Economía Zootécnica en Medicina Veterinaria y Zootecnia. **Fac. de Med. Vet. y Zoot.** México, 1980.
- 24).- Lloyd, L.E., Mc. Donald, B.E. and Crampton, E.W.: Fundamentals of Animal Nutrition. **W.B. Eversman and Co.** U.S.A., 1978.
- 25).- López, P.J.: Ganado Caprino. **Editorial Salas**, México, D.F., 1953.
- 26).- Luenberger, D.G.: Introduction to Linear and Non - Linear Programming. **Addison Wesley**, U.S.A., 1983.
- 27).- Muyen, M.J.: Manual para la cría y explotación del ganado caprino en México. Tesis de Licenciatura, **Fac. de Med. Vet. y Zoot.** Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1984.

- 28).- Peraza, C.: Algunas Consideraciones Actuales sobre la Nutrición y la Alimentación de la Cabra Lechera. Explotación caprina (La serpiente de Cerro Prieto). Querétaro, México, 1978.
- 29).- Schaum, B.S.: Programación Básica. Ed. Mac Graw - Hill, México, 1984.
- 30).- Scott, M.L., Nesheim, M.C. and Young, R.J.: Nutrition of the chicken. Scott and Assoc., U.S.A., 1982.
- 31).- Shimada, A.S.: Fundamentos de Nutrición Animal Comparativa. Comentarios en Producción Animal, México, D.F., 1984.
- 32).- Simonard, M.A.: Programación Lineal. Ed. Paraninfo, Madrid, 1972.
- 33).- Thierauf, J.R.: Introducción a la Investigación de Operaciones. Ed. Limusa, México, 1982.
- 34).- Welsh, J.A. and Mc. Reang, M.E.: Structured System Programming. Prentice Hall, U.S.A., 1980.