

66

20

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia



FORMULACION DE UNA RACION, AL MINIMO COSTO, PARA CABALLOS DE LA POLICIA DEL DISTRITO FEDERAL, POR EL METODO DE PROGRAMACION LINEAL, UTILIZANDO EL PAQUETE COMPUTACIONAL MPS - PC

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A :

CARLOS ALBERTO CRUZ GAUDIN

Asesores: M.V.Z. José Miguel Pompa Flores
M.V.Z. Gelasio David Reyes Méndez

México, D. F.

FALLA DE ORIGEN

1991





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

	<u>Página</u>
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION	2
OBJETIVOS.....	20
METODOLOGIA	21
RESULTADOS	28
DISCUSION	38
LITERATURA CITADA	46
CUADROS.....	49
ANEXOS.....	79

LISTA DE CUADROS

NUMERO	TITULO	PAGINA
1	NIVEL SUPERIOR DE SEGURIDAD DE ALGUNOS ELEMENTOS MINERALES EN EL AGUA DE BEBIDA PARA CABALLOS	49
2	RACION DE LOS CABALLOS DE LA POLICIA DEL D.F., APORTE DE NUTRIMENTOS Y EL COSTO DE DICHA RACION	50
3-A	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE EQUINOS CON 450 KG DE PESO VIVO RACION PARA CABALLOS EN MANTENIMIENTO	51
3-B	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE EQUINOS CON 450 KG DE PESO VIVO RACION PARA CABALLOS DE TRABAJO LIVIANO	52
3-C	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE EQUINOS CON 450 KG DE PESO VIVO RACION PARA CABALLOS DE TRABAJO MODERADO	53
3-D	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE EQUINOS CON 450 KG DE PESO VIVO RACION PARA CABALLOS DE TRABAJO INTENSO	54
4	INGREDIENTES DE USO FACTIBLE EN LA ALIMENTACION DE CABALLOS, NUMERO INTERNACIONAL Y VALORES DE TABLA NRC PARA LA COMPOSICION QUIMICA	55
5	INFORMACION DE PRECIOS DE ALIMENTOS O INGREDIENTES PARA CABALLOS EN LA CIUDAD DE MEXICO	56
6	CONSUMO ESPERADO POR LOS CABALLOS EN % DEL PESO VIVO	57
7	CONCENTRACION ADECUADA DE ALGUNOS MINERALES Y VITAMINAS EN LA RACION TOTAL PARA CABALLOS	58
8-A	MATRIZ DEL MODELO DE PL PARA LA RACION DE CABALLOS DE 450 KG DE PESO EN MANTENIMIENTO, RACION1	59

continuación lista de cuadros.

8-B	MATRIZ DEL MODELO DE PL PARA LA RACION DE CABALLOS DE 450 KG DE PESO CON NIVEL DE ACTIVIDAD LIVIANO, RACION2	60
8-C	MATRIZ DEL MODELO DE PL PARA LA RACION DE CABALLOS DE 450 KG DE PESO CON NIVEL DE ACTIVIDAD MODERADO, RACION3	61
8-D	MATRIZ DEL MODELO DE PL PARA LA RACION DE CABALLOS DE 450 KG DE PESO CON NIVEL DE ACTIVIDAD INTENSO, RACION4	62
9-A	RESULTADOS EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE PL, RACION1	63
9-B	RESULTADOS EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE PL, RACION2	66
9-C	RESULTADOS EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE PL, RACION3	69
9-D	RESULTADOS EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE PL, RACION4	72
10-A	RACION DE MANTENIMIENTO PARA CABALLOS CON 450 KG DE PESO VIVO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL	75
10-B	RACION PARA TRABAJO LIVIANO PARA CABALLOS CON 450 KG DE PESO VIVO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL	76
10-C	RACION PARA TRABAJO MODERADO PARA CABALLOS CON 450 KG DE PESO VIVO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL	77
10-D	RACION PARA TRABAJO INTENSO PARA CABALLOS CON 450 KG DE PESO VIVO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL	78

ANEXOS

ANEXO	TITULO	PAGINA
ANEXO A	CLAVES Y ABREVIATURAS PARA IDENTIFICAR LOS INGREDIENTES Y LOS REQUERIMIENTOS CONSIDERADOS	79
ANEXO B	SIGNIFICADO DE LOS ENCABEZADOS Y ABREVIATURAS QUE APARECEN EN EL RESULTADO COMPUTACIONAL DE LAS MATRICES	80

RESUMEN

CRUZ GAUDIN, CARLOS ALBERTO. FORMULACION DE UNA RACION AL MINIMO COSTO PARA CABALLOS DE LA POLICIA DEL DISTRITO FEDERAL POR EL METODO DE PROGRAMACION LINEAL UTILIZANDO EL PAQUETE COMPUTACIONAL MPS-PC. (Bajo la dirección de: M.V.Z. José Miguel Pompa Flores y el M.V.Z. Gelasio David Reyes Méndez).

Se desarrolló un modelo de programación lineal para formular la ración de mínimo costo para caballos de 450 Kg de peso que permita satisfacer las necesidades de mantenimiento y tres niveles de trabajo; incorporando los requerimientos mínimos para caballos con esa actividad, que recomienda el National Research Council (NRC) en la última edición de 1989. En la elaboración del modelo se incluyeron ingredientes de uso factible en la alimentación de caballos, poniendo restricciones de máximos y mínimos tanto para algunos ingredientes como para las necesidades. Por medio del método Simplex revisado se obtuvo la solución para el problema de programación lineal. El resultado muestra que en las raciones se satisfacen todas las restricciones a las cuales se sujetó la función objetivo. Además, se presenta: la composición nutricia de la ración de menor costo, la fórmula de la ración obtenida, el precio al cual los ingredientes que no integraron la ración sí podrían entrar en la ración óptima y el rango de precios en el cual los ingredientes incluidos seguirán integrando la misma.

INTRODUCCION

En México en 1988, el inventario equino era de aproximadamente 5.73 millones de cabezas, con una tasa de extracción promedio del 6% anual (29).

Tradicionalmente, la estructura del hato equino ha estado compuesta por un 18% de mulas, 25% de asnos y 57% de caballos. Los dos primeros constituyen fuerza de tracción animal para las labores del campo mientras que los caballos se dividen en animales de trabajo y para fines recreativos y deportivos (29).

Con el propósito de incrementar el inventario nacional de equinos y la utilización de estos animales, se han hecho recomendaciones para implementar programas de asistencia técnica y capacitación a productores, en materia de alimentación, reproducción, manejo y aspectos sanitarios (29).

Las investigaciones sobre nutrición y alimentación de caballos se han aumentado substancialmente en los últimos diez años, pero aún se tienen muchas lagunas (5,6,7,23).

Toda institución debe conocer los métodos y técnicas de optimización física y económica disponibles con el objeto de aplicarlos en las actividades que tenga que llevar a cabo a fin de alcanzar las metas de excelencia establecidas (12). En la Secretaria General de Protección y Vialidad se cuenta con una población de 526 caballos que desempeñan actividades

diversas, formandose grupos de trabajo a los cuales se les puede formular y aplicar una dieta en base a su actividad y tipo de esfuerzo físico.

Dentro de las técnicas matemáticas de optimización, destaca para lograr los objetivos del presente trabajo la programación lineal, ya que permite identificar la combinación de ingredientes que, al menor costo, provean las necesidades nutricionales para los caballos en función de su actividad; lo anterior empleando los recursos ya disponibles o fáciles de conseguir por la institución. Asimismo, dado que en la actualidad existe un gran desarrollo de técnicas computacionales, es necesario adoptar y aplicar algún programa específico a los problemas que el Médico Veterinario Zootecnista (M.V.Z.) se enfrenta continuamente en el ejercicio de su profesión para no quedar al margen de éstas (24,28,31).

La alimentación es el factor ambiental más importante en el caballo, por lo que alimentándolo correctamente podrá alcanzar su potencial máximo en crecimiento, conformación, reproducción, velocidad, resistencia, estilo y simpatía (4,8,10,23,25). Además la alimentación constituye el renglón más caro del costo de manutención del equino.

ALGUNOS ASPECTOS DIGESTIVOS DEL CABALLO

Comparando la alimentación de algunas especies de animales domésticos, se ha visto que desde el punto de vista

científico los equinos son los más deficientemente nutridos (3,8,16,27).

La alimentación de los caballos es más compleja y difícil que la de cualquier otro animal doméstico, sobre todo por el estrés y el esfuerzo a que son sometidos y por la absoluta necesidad de que estén sanos (11,14,30,32,34).

El caballo es considerado como herbívoro no rumiante. Aunque los caballos obviamente utilizan el heno y otros tipos de forraje de manera más eficiente que otros animales no rumiantes, como las aves o los cerdos, el orden anatómico de los órganos digestivos del equino limita esta capacidad, en comparación con el rumiante. Los sitios de fermentación en el caballo son el ciego y el intestino grueso, lugares donde grandes números de microorganismos digieren hemicelulosa y celulosa, utilizan nitrógeno protéico y no protéico, y sintetizan ciertas vitaminas. Algunos de los productos de la fermentación, como ácidos grasos volátiles y vitaminas, son absorbidos y utilizados. La proteína microbiana sintetizada a partir del nitrógeno que entra en el ciego y colon, experimenta sólo una proteólisis limitada, por lo que el aporte de los aminoácidos esenciales de una fuente dietética de nitrógeno desequilibrada, no es satisfactoriamente utilizada para la síntesis de aminoácidos de tipo microbiano. Además el proceso digestivo del equino es de tipo enzimático primero y fermentativo después; asimismo, la velocidad con que se evacúa el contenido

estomacal al intestino es mayor, en comparación con el rumiante. Por consiguiente, el caballo depende más de la calidad de la dieta que el rumiante (15,18,21).

La frecuencia y distribución de las comidas tiene mucha importancia en cuanto a la eficiencia de su utilización, en el estado de salud de los caballos y en el rendimiento físico. Un caballo no debe trabajar con el estómago lleno. La ración debe repartirse, de preferencia, en tres porciones durante el día. La administración debe hacerse regularmente y con un orden; en general se debe dar primero la ración de granos, siendo lo recomendado dividirla en tres comidas iguales; después el alimento fibroso, de esta manera los animales comerán los forrajes voluminosos más pausadamente. Debido a la anatomía del aparato digestivo y puesto que el forraje constituye un impedimento para el trabajo pesado, es mejor dar la mayor cantidad de la ración en la noche (7,8,19,22,27,32).

Es un hecho conocido que en las actividades hípicas la tradición es un factor muy importante; sobre todo en la alimentación de los caballos, los criadores son grandes imitadores (4,17).

NECESIDADES NUTRICIONALES DEL CABALLO

Para satisfacer los requerimientos de los equinos (mantenimiento, reproducción, crecimiento y trabajo) estos

deben recibir cantidades adecuadas de energía, proteínas, minerales, vitaminas y agua (15,18,22,23,32).

Los requerimientos de energía digestible (ED), para trabajo en el caballo, han sido estimados de varias formas (23). En ello pueden influir muchos factores, entre los que se encuentra la condición y entrenamiento de los animales, el peso y la habilidad del jinete, la temperatura y humedad ambiental, la clase de trabajo, el grado de fatiga y los componentes de la dieta (5,6,23,35).

Si un caballo es sometido a ejercicio o trabajo intenso sin recibir suficiente alimento para satisfacer la demanda adicional de energía, metaboliza la grasa corporal y luego el músculo, con una pérdida neta de nitrógeno (21).

El efecto del trabajo sobre los requerimientos de proteína digestible (PD) para el caballo, arriba de los de mantenimiento, no ha sido adecuadamente dilucidado. Algunos autores establecen que a una relación de PD:ED, suficiente para mantenimiento, los incrementos de ED necesarios para mantener la condición corporal en un caballo de trabajo, proveerán adecuadamente el nitrógeno adicional para satisfacer esos requerimientos de proteína (23).

Por otra parte, debido a que el esqueleto tiene una importancia fundamental para el rendimiento del caballo, las necesidades de minerales merecen cuidadosa atención. La ingestión excesiva de ciertos minerales puede ser tan lesiva

como la deficiencia; en consecuencia, los suplementos minerales deben basarse en el consumo de los alimentos básicos de la dieta. Al evaluar la ingestión mineral del animal se debe considerar el aporte y la disponibilidad mineral total de todos los componentes de la dieta: forraje, granos, productos comerciales y suplementos (10,18,21).

Las necesidades de vitaminas, así como las de otros nutrimentos, son afectadas por factores tales como la edad, tipo de actividad y/o tensiones provocadas por infecciones gastrointestinales o por ejercicio muscular intenso. La necesidad de suplementar vitaminas depende del tipo y calidad de la dieta, de la cantidad de síntesis de vitamina microbiana en el tracto digestivo y del grado de absorción vitamínica en el lugar de la síntesis (11,18,23).

Las necesidades de agua dependen, en gran parte, de la temperatura ambiental, de la cantidad de trabajo realizado, del estado fisiológico del caballo y de la ingestión de materia seca. A medida que aumente la temperatura ambiente y la actividad física, aumentará el consumo de agua. Algunos autores concluyen que los caballos necesitan de 2 a 3 litros de agua fresca y limpia por cada Kg de materia seca ingerida. En el caballo, la falta de agua puede provocarle disturbios digestivos tales como el síndrome cólico. Así mismo, al caballo de trabajo se le debe permitir tomar agua 3 ó 4 veces al día, pero se le debe dejar refrescar antes de tener acceso ilimitado al agua. El cuadro 1 muestra los

límites superiores recomendados de algunos elementos minerales en el agua de bebida para caballos, publicados por el NRC (10,21,23).

Por lo tanto la correcta alimentación del caballo es a la vez un arte y una ciencia. El arte consiste en conocer las combinaciones y las cantidades de los ingredientes para cada caballo; la ciencia está relacionada con el conocimiento de las necesidades nutricionales de los caballos y las cantidades correctas de la mezcla de ingredientes mediante los cuales se pueden satisfacer esas demandas al integrar los conceptos sobre el funcionamiento gastro-intestinal de la especie.

QUE ES LA PROGRAMACION LINEAL

La programación lineal (PL) es una técnica matemática que optimiza la función objetivo lineal sujeta a un conjunto de restricciones lineales. La naturaleza de la optimización puede ser la de encontrar el valor máximo o mínimo de la función objetivo, sujeta a las restricciones. Las restricciones pueden ser de carácter menor o igual que, mayor o igual que, o igual que (2,13,24,26,28).

Un problema de programación lineal es realmente un conjunto de ecuaciones lineales, las cuales son resueltas simultáneamente de manera que se maximiza o minimiza el valor de la función objetivo, a la vez que se respetan todas de las ecuaciones de restricción. Las variables de un

problema de programación se denominan comunmente como columnas o actividades. Normalmente cada actividad tiene un coeficiente en la función objetivo. Los coeficientes son comunmente llamados precios, costos o valores $c(j)$ (2,24,26,28).

Cada ecuación de restricción está compuesta también de variables de actividad. Los coeficientes de estas variables son comunmente denominados valores $a(i,j)$ (26).

Los valores de las ecuaciones de restricción que deben ser menor o igual que, igual a o mayor o igual que, se les conoce colectivamente como del lado derecho (right hand side), vector de restricciones o RHS. A cada valor individual del RHS se le denomina en ocasiones $b(i)$ (26).

Matemáticamente el problema de programación lineal puede ser expresado como:

Para $i = 1$ hasta m ; Para $j = 1$ hasta n

Maximizar o minimizar:

$$c(j) \cdot X(j)$$

sujeto a que:

$$a(i,j) X(j) \leq, = \text{ ó } > b(i)$$

$$\text{Para toda } X(j) \geq 0$$

donde:

m es el número de actividades o columnas.

n es el número de renglones de restricción.

$X(j)$ es la j -ésima actividad.

$c(j)$ es la cantidad en la que cambia la función objetivo por cada unidad de cambio de la actividad j .

$a(i,j)$ es el coeficiente de la j -ésima actividad en el i -ésimo renglón de restricción.

$b(i)$ es el valor RHS en la i -ésima ecuación de restricción.

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 más 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. Esto significa calcular alguna incógnita con una serie de ecuaciones o desigualdades, en ciertas condiciones que se expresan matemáticamente (20,24).

En adición, el modelo básico de PL incluye en forma implícita las siguientes suposiciones:

1) **Divisibilidad:** significa que todas las variables de decisión pueden ser divididas en cualquier fracción. Esto es que, 2.02251 Kg de heno de avena es tan significativo para un resultado como lo serían 2.0 Kg (1,2,24).

2) **Proporcionalidad:** significa que para cualquier variable de decisión dada, su aporte al costo (o ingreso) y a la restricción dada se suponen constantes, p.e. si un Kg de MS de heno de alfalfa aporta 2.17 Mcal, entonces 3 Kg aportarían 6.51 Mcal (1,2,24).

3) **Aditividad:** significa que el costo total (o ingreso) es la suma de los costos individuales (o ingresos) y que el aporte total en cualquier restricción es la suma del aporte individual de cada variable que fue incluida (1,20,24,28).

4) **No negatividad:** significa que las variables de decisión no podrán ser negativas, p.e. a un caballo no se le puede dar una cantidad negativa de maíz (1,20,24,28).

5) **Determinístico:** significa que los coeficientes son conocidos con certidumbre. En la realidad, estos coeficientes son estimaciones, es decir, pueden ser el resultado de un análisis, un muestreo o quizás de una extrapolación. Esto implica que los coeficientes son realmente variables aleatorias estimadas y sujetas a fluctuaciones. Afortunadamente las técnicas de análisis de

sensibilidad para la PL proporcionan formas de analizar cambios en los coeficientes (1,2,20).

COMO SE ORIGINO LA TECNICA DE PROGRAMACION LINEAL

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 (24).

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, Stackleburg, Schleisenger, Wald y John Von Newman, los cuales aportaron los antecedentes matemáticos de la programación lineal en 1936 (24).

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 (12,24).

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 SCOOP" (Scientific Computation of Optimum Programs). La aplicación de la programación lineal era esencialmente de tipo militar (1,12,24).

La contribución principal del proyecto SCOOP fué 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 (24).

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 (1,12,24).

Durante la década de los cincuenta y principio de los sesenta, el desarrollo se enfocó a crear sistemas computarizados, para implementar en forma práctica, la solución de problemas generales con PL. Fueron vastos los avances logrados durante ese periodo en la formulación de los problemas, incluyendo estudios metódicos para problemas nutricionales y económicos. En la década de los sesenta la PL se volvió ampliamente utilizada en la industria manufacturera de alimentos y en las investigaciones nutricionales. El concepto empezó a ser utilizado por los

maestros en los salones de clase. Durante los setenta, al popularizarse el uso de las computadoras, se aumentó su aplicación en las industrias, en las investigaciones aplicadas y en los salones de clase. Con el reciente desarrollo de las micro y mini computadoras, el rango de aplicación se ha extendido a pequeños manufactureros de alimentos, a distribuidores y a ganaderos individuales (1).

APLICACION DE LA PROGRAMACION LINEAL

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 (1,24).

La programación lineal se ha desarrollado dentro del campo de la administración de empresas y en otras ciencias. En Medicina Veterinaria y Zootecnia se está estudiando por los profesionistas de esta ciencia. Se pueden mencionar las diferentes aplicaciones que tiene esta técnica en sus diferentes ramas como son:

- a) En la nutrición animal (formulación de raciones).
- b) En la economía zootécnica (maximización de utilidades y minimización de costos de producción).
- c) En la administración de empresas agropecuarias (planeación, toma de decisiones y control de la producción).

- d) En la mercadotecnia (transporte y almacenamiento).
- e) En el área farmacéutica (mezcla de drogas).
- f) En la empresa agrícola (planeación de los cultivos)

EL SISTEMA MPS-PC

El sistema de programación lineal (PL), denominado MPS-PC, está diseñado para implementar completamente el uso de la PL, por medio del método simplex revisado, en un equipo de microcomputadora. Aunque el MPS-PC no está diseñado para resolver grandes problemas del tipo que se deben resolver en maxi computadoras, muchos de los problemas pequeños se pueden resolver más fácilmente y de una manera más económica utilizando el MPS-PC (26).

El sistema consta de dos diskettes denominados MPS-PC Versión de impresora (Working Diskette) y MPS-PC Versión de pantalla (Screen Display) cada uno de los cuales se compone de programas para ingresar el problema de PL, corregir o modificar la matriz, resolver la solución óptima y llevar a cabo las rutinas de post-optimización sobre la solución. El diskette MPS-PC Versión de impresora envía su salida directamente a la impresora, mientras que el MPS-PC Versión de pantalla, sólo lo hace a la pantalla, pero si se desea imprimir una copia de los resultados tiene esa opción. La versión de pantalla del MPS-PC es idéntica funcionalmente a la versión de impresora. Particularmente ambas son intercambiables, por lo tanto, es posible afinar un problema

de PL con la versión de pantalla sin tener que desperdiciar papel, y una vez que se ha obtenido y archivado un resultado aceptable, se puede utilizar la versión de impresora para generar el reporte final, a partir del previamente determinado (26).

Al consultar el directorio del diskette MPS-PC Versión de impresora, aparecen los siguientes programas:

MPS .EXE
MPS-DATA .EXE
MPS-ALG .EXE

En adición, se enlistarán los siguientes dos programas de utilería:

MPS-123 .EXE
PC-X .EXE

El **MPS** es la subrutina que permite iniciar la ejecución del programa; contiene el menú principal de donde se puede comenzar cualquier otra parte del sistema MPS-PC. Contiene también la subrutina para la configuración del sistema (para identificar el tipo de monitor y designar el "drive" de datos) y una descripción breve del sistema (26).

El **MPS-DATA** es la subrutina para crear, modificar o borrar archivos; es la parte del sistema en la cual se ingresa el problema de PL que se desea optimizar. Dentro de este programa se puede también imprimir la matriz de PL, cambiar o corregir los datos en la matriz, hacer cambios en los vectores del análisis de post-optimización y almacenar

en el diskette el archivo de los problemas para uso futuro o para modificarlos (26).

El **MPS-ALG** es la subrutina que contiene el algoritmo de solución; es el corazón del sistema MPS. A partir del mismo se optimiza el archivo del problema creado. Dependiendo del tipo de problema desarrollado, se podrá encontrar un máximo o un mínimo. El programa resuelve el problema de PL usando el método simplex revisado, el cual es una técnica de manejo de matrices numéricas sofisticada, eficiente y confiable (26).

Luego de que se alcanza la solución óptima, se tiene la oportunidad de realizar varias rutinas de post-optimización, incluyendo la obtención de rangos y la variación paramétrica de los coeficientes de la función objetivo o del vector de restricciones. Estas rutinas de post-optimización contribuyen al poder y utilidad del **MPS-PC**, para evaluar la estabilidad de las soluciones generadas ante cambios en los valores originales, de uno a la vez (26).

El programa de utilidad, **MPS-123** está diseñado para permitir el ingreso de datos empleando la hoja de cálculo (worksheet) del programa Lotus 1-2-3. El **MPS-123** lee la hoja de cálculo del Lotus 1-2-3, detecta errores en la matriz y crea un archivo del problema, compatible con el **MPS-PC**. El **PC-X** es otro programa de utilería que transforma los archivos de datos al formato requerido para el paquete **MPS-X**, que se utiliza en computadoras del tipo IBM - 360 (26).

REQUERIMIENTOS DE HARDWARE PARA EL USO DEL MPS-PC

El paquete MPS-PC, puede ejecutarse sin problemas en microcomputadoras IBM-PC y las que sean compatibles, que cuenten con monitores a color o monocromáticos (26).

El sistema opera con todas las versiones de PC-DOS y XT de la IBM-PC, requiriendo una memoria RAM mínima de 128 KB. Pero si se usa la versión 3.0 del PC-DOS o una que sea superior se requiere al menos de una memoria RAM de 192 KB (26).

El único requerimiento adicional es un "drive" (controlador de discos flexibles) para discos de doble lado/doble densidad y una impresora con capacidad mínima de 132 caracteres/línea (26).

CAPACIDAD DEL SISTEMA MPS-PC

El MPS-PC está compilado en BASIC, en tanto que el espacio destinado para memoria de programa y para memoria de datos es de 64 Kb en cada caso. Estas limitantes permiten resolver problemas de programación lineal, con un máximo de 70 columnas de actividades y 50 renglones de restricciones; adicionalmente se limita a un máximo de 75, el número de columnas más el de restricciones del tipo mayor o igual (26).

Si se pretende ingresar información que sobrepase esta capacidad, se obtendrá un mensaje de error, señalando que se ha sobrepasado el límite (26).

OBJETIVOS

1. Aplicar la técnica de programación lineal para formular raciones, de mínimo costo, que proporcionen las necesidades nutricionales mínimas de los caballos al servicio de la policía del Distrito Federal.

2. Considerar los ingredientes que la institución utiliza actualmente, así como otros, disponibles en el mercado, que por el momento no se utilizan, pero que por sus características nutricias son susceptibles de ser empleados, utilizando para esto el paquete computacional MPS-PC.

METODOLOGIA

El trabajo se desarrolló en las instalaciones de la Secretaría General de Protección y Vialidad dependiente del Departamento del Distrito Federal, que cuenta con un efectivo de 526 caballos. Además, se utilizó el Centro de Cómputo de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Para formular las raciones que satisficieran las necesidades nutricias de la especie bajo consideración, en cuanto a las actividades de mantenimiento y trabajo utilizando más de dos ingredientes, imponiendo restricciones de máximos y mínimos tanto a los ingredientes como a los nutrimentos y logrando a la vez que las raciones fueran las más económicas se elaboró un modelo consistente de los siguientes elementos:

- 1) las variables de decisión (ingredientes) que se evaluaron.
- 2) restricciones (requerimientos nutricionales) de tipo (\leq , $=$ ó \geq) y su valor.
- 3) los coeficientes nutricionales de las variables de decisión.
- 4) la información de precios para cada variable.
- 5) las restricciones para los límites máximo y/o mínimo de las variables y requerimientos.

El material sujeto de estudio (ingredientes, dietas y/o raciones) fue identificado y evaluado durante las visitas, en función de horas de caminata y tipo de trabajo que desempeñan los caballos, para conocer así su aporte a las necesidades de mantenimiento y trabajo. El cuadro 2 muestra la ración de los caballos de la policía del D.F., el aporte de nutrimentos y el costo de dicha ración.

Las necesidades nutricias se establecieron con base a caballos adultos con un peso promedio de 450 Kg para las actividades de mantenimiento y tres niveles de trabajo (liviano, moderado e intenso). La información sobre los requerimientos nutricionales para dichos animales aparece en los cuadros 3-A a 3-D.

Con respecto a los ingredientes que forman parte de la matriz del problema de PL, estos fueron seleccionados con base a si es factible su inclusión en la dieta de los animales mencionado; considerandose factibles de uso, aquellos que la institución utiliza actualmente y aquellos disponibles en el mercado. En el cuadro 4 se muestran los ingredientes considerados, su número internacional y la composición química de los mismos (ver Anexo A para el significado de las abreviaturas).

La composición nutricia de los ingredientes considerados, se obtuvo de la tabla sobre composición de los alimentos utilizados comunmente en las dietas para caballos, que aparece en la 5a. edición del Consejo Nacional de

Investigaciones-Academia Nacional de Ciencias, 1989 (NRC)
(23).

Una vez seleccionados los ingredientes a considerar en el modelo, se solicitó la información de precios siete proveedores de alimentos o ingredientes para caballos en la Ciudad de México. Se determinó el precio promedio por kilogramo para cada uno y finalmente se estimó el precio por Kg en base seca de aquellos que lo requirieron. La información de precios resumida se presenta en el cuadro 5.

Como dato adicional, el procedimiento matemático para elaborar el modelo de PL, requiere que se incluyan las restricciones para los límites máximos y/o mínimos permisibles tanto para las restricciones (nutrimentos) como para las variables (ingredientes). Estas se determinaron de acuerdo:

- a) A los requerimientos de los animales, señalados en el cuadro 3.
- b) A consideraciones técnicas, p.e. relación g de PC/Mcal, relación CA:P, máximo % de melaza, mínimo de forraje (ver cuadro 6), etc.
- c) Al nivel de aporte en la dieta, al ensayar la formulación de la ración correspondiente, p.e. nivel máximo tolerable de algunos minerales (ver cuadro 7).

Con los datos de los cuadros anteriores se procedió a formular el modelo de PL que se compone de: la función objetivo y las restricciones.

Para hacer la codificación de los coeficientes se utilizó la hoja de cálculo (worksheet) del programa Lotus 1-2-3, siguiendo el formato del sistema "spreadsheet", que permite crear las matrices para el MPS-PC. Con dicha información se alimentó el programa MPS-123 para crear los archivos compatibles con el MPS-PC.

Los cuadros 8-A a 8-D presentan las matrices de los problemas de PL para formular las raciones de mantenimiento y para los tres niveles de trabajo, RACION1, RACION2, RACION3 y RACION4 respectivamente.

Para simplificar la descripción de las expresiones matemáticas ya codificadas en las matrices, se tomó como ejemplo la RACION1 (ver cuadro 8-A).

La matriz presenta el problema que surge cuando se requiere formular una ración de mantenimiento, al mínimo costo, para caballos adultos de 450 Kg de peso. El objetivo es determinar aquella combinación de ingredientes que, al menor costo, alcance a cubrir las necesidades nutricionales diarias, sujeto a las restricciones tanto de requerimientos como de ingredientes.

Las actividades identificadas con las claves AA HE, AV HE, SALV, AV GRA, CEB, MAIZ, SOYA P, SORGO y MEL representan

ingredientes factibles de utilizarse en la alimentación para caballos. En el Anexo A se indica a que ingrediente corresponde las claves que encabezan a cada columna. Las actividades P DICAL, CC, NAOL, SELENIO, COBRE y ZINC representan la compra de sales minerales para cubrir los requerimientos diarios de esos elementos.

La última columna que aparece en el lado derecho RHS, contiene los valores de cada una de las restricciones.

El costo de cada kilogramo de materia seca para cada ingrediente es el valor indicado en la columna correspondiente a lo largo del renglón de la función objetivo, OBJ FCN.

Las claves de los renglones (ver cuadro 9) se enlistan en la primera columna a la izquierda; enseguida a su derecha se indica el tipo de restricción: L (para menor o igual); E (para igual) y G (para mayor o igual).

El primer renglón de restricciones CMS, requiere que con la combinación de ingredientes la ración provea un máximo (G) de 7.4 Kg de MS.

Los coeficientes del segundo renglón de restricción ED, representan las megacalorías (Mcal) en cada Kg de alimento, mientras que el valor de restricción en la columna RHS, requiere que el contenido de ED en la ración sea mayor o igual a 14.9 Mcal.

De manera similar, los coeficientes del tercer renglón de restricción PC, representan los gramos (g) de PC en cada Kg de alimento y el valor RHS, indica el límite mínimo permisible para este requerimiento en la ración, o sea 596 g. En el 4o. renglón de restricción LIS, se requiere que en la ración se incluyan 20.9 g de lisina a partir del contenido de ese aminoácido en las columnas de actividades.

Los coeficientes de los renglones de restricción para los macrominerales, identificados con las claves CA, P, MG, K, NA y S representan los g de cada mineral que corresponden a cada columna de ingrediente, mientras que los respectivos coeficientes en la columna RHS señalan el valor mínimo requerido.

En forma análoga, los coeficientes para las restricciones de los microminerales, identificados con las claves FE, ZN, CU, MN y SE representan los mg de cada mineral que corresponde a cada ingrediente y los valores RHS a las necesidades mínimas.

En el renglón de restricción VIT A los coeficientes representan las unidades internacionales (UI) de vitamina A en cada ingrediente. Esta restricción señala que la ración debe contener un valor mayor o igual a 13,500 UI, según lo indica el RHS.

Los renglones **MX PC**, **MX CA**, **MX P**, **MX NA**, **MX ZN**, **MX CU** y **MX SE** limitan el contenido de sus respectivos requerimientos al máximo permisible según su valor RHS.

El renglón de restricción **MIN FORR** requiere que se incluyan en la ración por los menos 4.8 Kg a partir de las columnas que representan a los forrajes (AA HE y AV HE), de manera que se permita alcanzar el nivel mínimo permisible, el cual se sugiere sea de 1 Kg de MS proveniente de forrajes por cada 100 Kg de peso corporal.

Por último, el renglón de restricción **MX MEL**, limita la inclusión de la melaza a un máximo permisible, o sea a 0.296 Kg, lo que para la ración de mantenimiento equivale al 4% del CMS.

En el capítulo de RESULTADOS se presentan las soluciones para las matrices de los problemas de PL RACION1, RACION2, RACION3 y RACION4, obtenidas al ejecutar la subrutina del algoritmo de solución del MPS-PC.

RESULTADOS

Los resultados que proporciona la computadora al ejecutar los programas del paquete MPS-PC consisten en:

- a) El costo de la ración
- b) La composición nutricia de la ración de menor costo
- c) La fórmula de la ración obtenida
- d) El precio al cual los ingredientes que no integraron la ración, pudieran ingresar a la misma
- e) El rango de precios dentro del cual los ingredientes incluidos seguirán integrando la ración.

En los cuadros 9-A a 9-D se presentan los resultados a la solución de la RACION1, RACION2, RACION3 y RACION4. Con la finalidad de describir con mayor claridad en qué consiste la solución, se procede a ejemplificar la ración para mantenimiento, RACION1 (ver cuadro 9-A).

En la 1a. página se señala el nombre del archivo, el tipo de optimización, **MIN** (que corresponde a una minimización) y en el 3er. renglón el número de iteraciones requeridas para alcanzar la solución óptima (en este caso 52).

Las tres líneas siguientes corresponden a la fecha y a las horas inicial y final de ejecución del algoritmo.

El último renglón corresponde al valor óptimo de la **F.O.** (**OBJECTIVE FUNCTION**), que se presenta sin unidades; para la **RACION1** se señala la cantidad de **3227.24536**, que corresponde al **costo de la ración** para mantenimiento/caballo/día, a partir de la combinación (mezcla) de recursos (ingredientes). Obsérvese que el resultado presenta 5 decimales, lo que en la práctica puede resultar innecesario, sin embargo lo anterior se deriva de una de las premisas básicas de la **PL**, la cual supone la infinita divisibilidad de recursos y productos.

En la siguiente página se presenta la solución dividida en 2 secciones (ver **Anexo B** para el significado de los encabezados y abreviaturas); la **1a. sección** se refiere a los renglones (**ROWS**) y se presentan 9 columnas. La primera (**NUMBER**) corresponde al número de los renglones del problema (son 25); la 2a. columna (**TYPE**) se refiere al tipo de restricción que corresponde a cada renglón (recuérdese que la **E** equivale a igual, la **G** a mayor o igual y la **L** a menor o igual); la 3a. columna (**ROW**) presenta la clave del requerimiento para el renglón, ya definidas en el cuadro 9.

La 4a. columna (**AT**) indica el nivel en que se encuentra el aporte de la restricción. La indicación **BS** señala que el nivel de aporte de los requerimientos: **CMS**, **PC**, **CA**, **P**, **MG**, **K**, **NA**, **S**, **FE**, **MN**, **VIT A**, **MX CA**, **MX P**, **MX NA**, **MX ZN**, **MX CU** y **MX SE** se encuentra en la base, ésto significa que el valor en la solución está por encima o por abajo del límite máximo

o mínimo respectivamente establecido; LL identifican a los requerimientos cuyos niveles de aporte se encuentran en el límite mínimo permisible, tal es el caso de: ED, ZN, CU, SE y MIN FORR; análogamente UL identifica a los requerimientos que presentan el nivel de aporte en el límite máximo permitido: MX PC y MX MEL; la restante indicación EQ implica, para el requerimiento LIS, que el nivel de aporte es igual al establecido.

La 5a. columna se denomina "ACTIVITY" y los valores de la misma corresponden a los niveles óptimos del aporte de los recursos (requerimientos). En esta columna se lee el aporte en las unidades correspondientes que tiene la ración para cada requerimiento. Por lo tanto, esta información representa la **composición nutricia de la ración de menor costo.**

Los valores de la 6a. columna denominada "SLACK ACTIVITY" u holgura, corresponden al número de unidades en que es menor un valor óptimo con respecto a un máximo permitido en las restricciones de tipo L, p.e. el primer valor de la columna 1.20866 es la diferencia entre el requerimiento y lo que aporta la ración (7.40000 - 6.19134) al CMS; o bien al exceso del valor óptimo sobre un mínimo requerido en las restricciones de tipo G, p.e. el tercer valor de la columna -149.00000 es el exceso de aporte con respecto al requerimiento (596.00000 - 745.00000) de PC ; en el caso de que el valor de inclusión sea igual al mínimo o

máximo señalado, el valor de la holgura será igual a 0, lo que se indica con un punto (.), p.e. para el renglón de restricción ED, el aporte fue igualado al requerimiento mínimo de 14.90000 Mcal de ED por Kg.

La séptima columna (LOWER LIMIT), señala el valor mínimo permisible y es diferente de 0, sólo en las restricciones de tipo (G); análogamente la octava columna (UPPER LIMIT), se refiere a los valores máximos permisibles y es diferente de 0, para las restricciones de tipo (L); en el caso de las restricciones de tipo (E) se presenta el mismo valor para las dos columnas, ya que los límites mínimo y máximo son iguales (obsérvese el 4o. renglón de restricción, LIS).

La última columna se denomina "DUAL ACTIVITY" y corresponde a una parte del llamado análisis de sensibilidad (a.s.); los valores diferentes de 0, representan el "premio" (en este caso reducción en el costo de la ración) o el "castigo" (aumento en el costo de la ración) resultante de permitir o limitar respectivamente la inclusión de una unidad de un recurso agotado dentro de un rango de valores c(j) en la F.O., que se establecen en la subrutina de post-optimización.

Refiriéndose a la solución de la RACION1, el primer valor de la columna "DUAL ACTIVITY" -205.52108 está indicando el "castigo" resultante de obligar la inclusión de una unidad adicional (Mcal) de ED, de la cual se requieren como mínimo 14.9 unidades; en este caso habría un aumento de

205.52108 en el valor de la F.O., si se requiriera incluir una unidad más de ED (o sea que el valor RHS fuera 15.9) o bien se reduciría el costo en 205.52108, si se redujera el requerimiento en una unidad (que el valor RHS fuera 13.9).

La 2a. sección comprende a las columnas (actividades); esta información corresponde a las unidades empleadas de cada uno de los ingredientes incluidos en la ración, esto es, la fórmula de la ración obtenida (ver cuadro 9-A).

La información se presenta dividida en 8 columnas: la primera (NUMBER) se refiere al orden progresivo de las columnas, tal como se ingresaron originalmente en la matriz; la segunda (COLUMN) contiene las claves; la tercera (AT) se refiere a la presencia (BB) o ausencia (LL) de la actividad en la solución.

La cuarta columna (ACTIVITY) presenta los valores de cada actividad (ingrediente) en la solución (valores diferentes de 0). Esta columna presenta la fórmula la ración de menor costo, para la RACION1 se compone de 2.00784 Kg de heno de alfalfa, 2.79216 Kg de heno de avena, 0.10756 Kg de salvado de trigo, 0.98362 Kg de grano de maíz, 0.30000 Kg de melaza de caña, 0.00010 Kg de óxido de cinc y 0.00006 Kg de sulfato de cobre, todo para un animal/día.

La quinta columna (INPUT COST) presenta los valores (precios) originales de cada actividad en la función objetivo. La última columna identificada como "REDUCED COST"

(costo reducido), señala las unidades en que tendría que reducirse el valor original de las actividades $[c(j)]$ en la F.O. para que fueran incluidos los ingredientes que no entraron a la solución inicialmente, p.e. el ingrediente identificado como AV GRA no entró en la RACION1 y su costo original/unidad (886.69000) tendría que disminuirse en 290.84902 para que fuera considerado; si se realiza la anterior operación, se obtiene el valor de 595.84098, lo que implicaría que para que se usara el ingrediente AV GRA, se tendría que conseguir a ese precio.

Como se observa, la última línea de la hoja de resultados indica el final de la solución.

Después de haber presentado la solución básica, se desarrolla a través de la subrutina MPS-ALG la denominada post-optimización, que incluye al resto del análisis de sensibilidad y al análisis paramétrico.

La opción correspondiente a los rangos de estabilidad de los valores óptimos de la función objetivo y del vector de restricciones, proporciona los límites, superiores (UPPER LIMIT) e inferiores (LOWER LIMIT) para cada valor de la función objetivo $[c(j)]$ y del vector de restricciones (RHS) $[b(i)]$. Lo que estos valores significan, es que cada coeficiente del problema en cuestión puede variar entre ambos límites sin que se modifique el nivel de cada actividad en la solución óptima, aunque posiblemente si existirá un cambio en el valor de la F.O.. Cualquier valor

que esté fuera de este rango, implicará un cambio en la combinación óptima. Debe señalarse sin embargo, que los rangos se refieren exclusivamente a cambios de uno a la vez; si se cambiara más de un coeficiente a la vez podría existir una nueva solución, a pesar de que los cambios individuales estuvieran contenidos en los rangos respectivos.

Después de ejecutarse esa opción se visualiza y se imprimen los rangos que aparecen en la última hoja de los resultados de cada problema de PL que se muestran en los cuadros 9-A a 9-D.

Con el fin de hacer la interpretación de esta parte del análisis de sensibilidad, el ejemplo por analizar será el mismo que se ha tomado como modelo, RACION1 (ver cuadro 9-A).

El primer renglón de la hoja, la identifica como "rangos dentro de los cuales permanece óptima esta solución"; le sigue el renglón que muestra el nombre del archivo del problema de PL, RACION1.

Bajo el encabezado "rangos c(j) de la función objetivo" aparecen columnas para el nombre de las variables, el valor en la solución y para los límites inferior y superior de las actividades no-básicas y básicas correspondientes.

Como se observa, las claves CEB, CC, SORGO, AV GRA, SOYA P, NACL y P DICAL que aparecen bajo la columna "VARIABLE NAME" identifican a los ingredientes que no se incluyen en

la solución. En la columna de la derecha (SOLUTION VALUE) se señala el valor $c(j)$ original (precio) de esas actividades en la F.O..

Los coeficientes en la columna "LOWER LIMIT" representan el nuevo valor $c(j)$ (precio) con el cual podrían entrar en la solución las actividades consideradas originalmente como no-básicas. Estos valores se obtienen al restar el coeficiente correspondiente que aparece en la columna "REDUCED COST" de la 2a. sección en la solución, de los valores $c(j)$ originales en la columna de la izquierda (SOLUTION VALUE). El primer valor 663.76676 es la diferencia entre el precio original de la cebada 734.77002 y el coeficiente de dicho ingrediente en la columna "REDUCED COST" 71.00326; de igual forma se obtienen los restantes valores de la columna.

La indicación "NONE", que aparece en la columna "UPPER LIMIT" implica que no hay límite superior puesto que si al valor $c(j)$ original no fueron incluidos esas actividades no-básicas, con menos razón lo serían a precios más elevados.

En la interpretación de las actividades básicas: MAIZ, AA HE, MEL, SALV, AV HE, ZINC, COBRE y SELENIO, las primeras dos columnas de la izquierda tienen el mismo significado que para las actividades no-básicas. Sin embargo, las otras dos columnas de la derecha "LOWER LIMIT" y "UPPER LIMIT" indican el rango de precios dentro del cual los ingredientes incluidos seguirán integrando la ración.

Para el caso particular del **maíz**, el rango de precios en el cual se seguirá incluyendo en la ración de menor costo se establece entre 668.14844 y 724.25166. Esto quiere decir que el precio del grano de maíz podría elevarse hasta **724.25166** antes de que se dejara de incluir en la ración al nivel considerado en la solución. Por otro lado el valor de **668.14844** indica hasta donde puede bajar el precio del maíz sin que se utilice en mayor cantidad, misma que podría ser determinada solucionando de nuevo el problema. Recuerdese que ante variaciones en los valores de la F.O., el valor de ésta se modificará, aún cuando se siga empleando la misma mezcla.

El siguiente encabezado se refiere a los rangos del lado derecho (**RIGHT HAND SIDE (RHS) RANGES**). Como puede observarse, la información que aparece en las primeras **tres columnas** de la derecha se refiere a la clave de los requerimientos, al tipo de restricción y a los valores RHS de la solución respectivamente.

Para la interpretación de las columnas "**LOWER LIMIT**" y "**UPPER LIMIT**" se hace referencia a la columna "**DUAL ACTIVITY**" de la **1a. sección** en la solución. Esto obedece a que el "premio" o el "castigo" establecidos en esa columna son válidos en el rango de valores indicados por estas dos últimas columnas.

Para ejemplificar el concepto, obsérvese el segundo valor que aparece en la columna "**DUAL ACTIVITY**" **-5.23358**,

éste corresponde al 4o. renglón de restricción, LIS. Para la restricción LIS significa que se seguirá "castigando" el valor de la F.O. en 5.23358/g de LIS hasta que se incluyeran en la ración 21.09768 g de LIS o bien que el valor de la F.O. se reduciría en tanto se redujera el requerimiento de LIS hasta 20.17876 g.

Por último, las raciones balanceadas para los caballos en mantenimiento y para los tres niveles de trabajo, más los ingredientes que se consideraron en forma constante en cada una de ellas, se presentan en los cuadros 10-A a 10-D.

Asimismo se presenta el costo correspondiente a las cantidades de cada ingrediente, el costo de la ración; al pie de los cuadros se hace la comparación de los nutrimentos aportados por las raciones y lo que necesitan los animales en función de su actividad.

DISCUSION

Con el presente trabajo se buscó aportar información que permita diseñar una estrategia para optimizar la eficiencia alimenticia de la ración que reciben los caballos pertenecientes a la Secretaría General De Protección y Vialidad dependiente del Departamento Del Distrito Federal, tanto en el aspecto nutricional como en el económico; ésto mediante la aplicación del método de programación lineal, utilizando el paquete computacional MPS-PC.

La programación lineal (PL), es una herramienta matemática que se agrupa en el área de investigación de operaciones, por lo que se le reconoce como un auxiliar en la toma de decisiones en materia de nutrición y alimentación (1,12,26).

El alcance de la técnica está en función del proceso integral que se maneje al desarrollar el modelo de PL, incluyendo a los principios y suposiciones que deben hacerse al utilizar la misma (1,2,26,31).

En la elaboración del modelo de mínimo costo para la formulación de raciones se incorporaron las necesidades nutricionales para caballos, según la última edición del NRC de 1989. El modelo tomó en consideración esos requerimientos, la composición nutricia de los alimentos seleccionados, las características de los animales, la

información de precios y algunas recomendaciones sobre máximos y mínimos para los nutrimentos y los alimentos.

En los cuadros 9-A a 9-D se presentaron los resultados para la formulación de las raciones de menor costo para caballos en mantenimiento y en tres niveles de trabajo en la forma como el MPS-PC ofrece la solución. Con dicha información se elaboraron los cuadros 10-A a 10-D para presentar los datos de cada ración en forma de tabla.

Como pudo observarse, las raciones satisfacen todas las restricciones a las cuales se sujetó la función objetivo. Pero se infiere que pueden haber quedado interrogantes, puesto que el actual conocimiento sobre nutrición de caballos todavía contiene lagunas que se espera se vayan eliminando en un futuro cercano. Aún así, los requerimientos utilizados representan la mejor información consultada (7,23).

Por lo tanto las dietas son útiles para ilustrar la dinámica del modelo desarrollado. Por ejemplo, bajo diferentes condiciones de consumo de materia seca (CMS), que podrían estar dadas por:

- particularidades digestivas y metabólicas entre los caballos
- variaciones en la composición nutricia de los ingredientes

- interacciones entre los nutrimentos
- condiciones climatológicas y medio ambientales

el modelo incluiría diferentes ingredientes en la ración de menor costo, con lo que se estaría atendiendo la recomendación de algunos autores, de alimentar en forma individual a los caballos de trabajo (15,23).

Al evaluar las raciones en cuanto al aporte de nutrimentos, la primera consideración es con respecto a la cantidad de energía disponible, puesto que más del 50 por ciento de la ración que consume un caballo se utiliza como fuente de energía. Esta condición se alcanzó en todas las raciones al incluirse las cantidades adecuadas de alimentos que suplen la energía requerida para mantener el peso corporal y lograr el óptimo desempeño de los animales (14,18,23).

De acuerdo a la cantidad requerida por los animales, la PC se incluyó en niveles superiores a las necesidades sin afectar negativamente el valor de la F.O., lo que indica que esta no fue una limitante en el modelo utilizado. Sin embargo, se fijó un límite máximo de PC para no exceder los 50 g de PC/ Mcal de ED/ día (23).

El próximo nutrimento a evaluar es el aminoácido lisina, el nivel de aporte en las raciones se igualó al requerido en cada una de ellas. Los requerimientos de los demás aminoácidos para caballos adultos no se han estudiado lo

suficiente para permitir hacer recomendaciones. Pero cuando en la alimentación de esta especie se utilizan ingredientes típicos para cubrir los requerimientos de proteína, aparentemente se proveen niveles adecuados de los aminoácidos esenciales (23).

En el orden de los nutrimentos a evaluar, un criterio importante a considerar en las dietas para caballos es la relación Ca:P. Un rango aceptable para esa relación en las raciones para caballos es de 1:1 hasta 3:1. El que presentan las raciones consideradas fluctúa entre 1.6:1 y 2.3:1 (23).

Siguiendo el orden de los restantes nutrimentos (macrominerales, microminerales y vitamina A), el nivel de aporte que se alcanza sobrepasa el límite mínimo requerido para cada uno de ellos, pero a la vez se mantiene por abajo del límite máximo establecido o del nivel máximo tolerable. Al único macroelemento que no se le fijó un límite máximo fue al K puesto que los efectos del exceso de este no se han estudiado en el caballo. Sin embargo, se sabe que los excesos dietéticos de potasio se excretan completamente en la orina, cuando la ingestión de agua es adecuada. Debe tomarse en cuenta que las diferencias que muestran algunos de los valores totales en los cuadros 10-A a 10-D, se derivan del efecto de redondeo al realizar los cálculos a partir de los valores en los cuadros 9-A a 9-D.

Es necesario aclarar que la diferencia que se presenta en el valor total para el Se en los cuadros 10-A y 10-B

obedece a que el nivel de aporte del selenio, a partir del ingrediente **selenito de sodio**, aún cuando fue incluido como actividad básica (ver el análisis de sensibilidad de los cuadros 9-A y 9-B), no apareció en la solución (SECTION 2 - COLUMNS) por haberse incluido en cifra del orden de más de seis decimales, o sea 0.000001076 Kg de selenito de sodio; el MPS-PC sólo despliega cifras hasta con cinco decimales (23,26).

En los modelos descritos se consideraron límites de inclusión solamente para los ingredientes: heno de alfalfa, heno de avena y melaza de caña. Para los forrajes se fijó un límite mínimo de inclusión a modo de asegurar el aporte de fibra larga. La consideración general en el manejo alimenticio del caballo es que debe recibir por lo menos el 1 por ciento de su peso vivo de materia seca/día proveniente de forraje de buena calidad. Mientras que para la melaza se fijó un límite máximo de inclusión equivalente a el 4 ó 5 por ciento de la ración total (18,23).

Es importante aclarar que el nivel al que se incluyó el **grano de sorgo** en las raciones para el trabajo moderado e intenso (ver cuadros 10-C y 10-D), puede ser cuestionado con base a la información que se maneja para las diferentes variedades de sorgo y los híbridos de sorgo-sudan cuando se contemplan como forrajes para pastura fresca, heno o ensilado. Los caballos que consumen ese tipo de forraje pueden desarrollar inflamación del tracto urinario

(cistitis) y desórdenes nerviosos y reproductivos; de ahí la contraindicación para el uso de esa gramínea (18).

Sin embargo, el grano de sorgo es otro grano más utilizado para la alimentación de los caballos. El contenido de fibra y grasa es bajo (menos de 3%), pero por ser alto en carbohidratos (alrededor de 75%) es considerado un alimento energético. La principal consideración cuando se usa este grano es que es un alimento pesado y debe ser administrado partido y rolado para reducir la posibilidad de los cólicos o la laminitis; para algunos caballos se le hace difícil masticarlo y de baja palatabilidad. Por lo tanto, se recomienda manejar el nivel de inclusión de este tipo de ingredientes a base de restricciones, análogamente a las de forrajes y melaza, aplicando el criterio nutricional (9,18,23,26,33).

En la evaluación de las raciones es importante destacar el costo de las mismas. La PL proporciona la ración de menor costo en función de la exactitud de la información con la que se elabora el modelo.

Debe mencionarse también que una ración de mínimo costo no es necesariamente sinónimo del máximo rendimiento. Y también, que la mejor ración posible puede ser parecida a la de menor costo.

Debe señalarse que la versatilidad del paquete computacional utilizado permitiría considerar con suma

facilidad otros ingredientes según las necesidades, la época del año, las preferencias de los criadores o los M.V.Z. y lo más común, las fluctuaciones en los precios de los ingredientes en la zona metropolitana, para poder conseguir la ración más económica.

Es lógico pensar que con la diversidad de ingredientes de uso factible en la alimentación de los caballos, son prácticamente incalculables las posibles combinaciones de estos para formular la ración de menor costo que satisfaga los requerimientos que se establezcan. De ahí la necesidad de apoyarse en un método cuantitativo para la toma de decisiones.

Al plantearse la necesidad de formular raciones balanceadas para caballos de trabajo y que a la vez éstas sean las de menor costo, el M.V.Z. tiene ante sí el compromiso de ofrecer solución a un problema común dentro de su profesión. En este trabajo se puso en práctica la técnica de PL como una alternativa para resolver este tipo de problema.

Por lo tanto, se reconoció la aplicación de la PL para obtener un resultado y poder ofrecer una mejor solución.

Debe señalarse que la técnica es un auxiliar para que el M.V.Z. decida cuál es la ración que debe ofrecer al integrar su criterio nutricional, por lo que la técnica no lo puede substituir.

Es importante indicar que el resultado que se ha planteado deberá ser aplicado y confirmado con una fase experimental en otro trabajo.

LITERATURA CITADA

1. Black, J.R. and Hlubik, J.: Basics of computerized linear programs for ration formulation. J. Dairy Sci., 63: 8 (1980).
2. Bueno, G.: Introducción a la Programación Lineal y al Análisis de Sensibilidad. Trillas, México, 1987.
3. Cuddeford, D.: Alternative feedstuffs for Horses. In practice, 8: 68-70 (1986).
4. Cuevas, O., J. A.: Estudio de la alimentación del caballo en diferentes actividades hípicas en el Valle de México. Tesis de licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1979.
5. Cymbaluk, N. F. and Christison, G. I.: Effect of diet and climate on growing horses. J. Anim. Sci., 67: 48-59 (1989).
6. Cymbaluk, N. F., Christison, G. I. and Leach, D.H.: Energy uptake and utilization by limit-and ad libitum-fed growing horses. J. Anim. Sci., 67: 403-413 (1989).
7. Cymbaluk, N. F., Christison, G. I., and Leach, D.H.: Nutrient utilization by limit-and ad libitum-fed growing horses. J. Anim. Sci., 67: 414-425 (1989).
8. Ensminger, M. E.: Producción Equina. 4 ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1969.
9. Evans, I. and Warren, J.: The Horse. 2nd ed. W.H. Freeman and Company, New York, U.S.A., 1990.
10. Flores, R.: Alimentación de caballos. Ganadero, 7 (4): 35-37 (1982).
11. Fonnesebeck, P. V., Lydman, R. K., Vander, G. W. and Symons, L. D.: Digestibility of proximate nutrients of forages by horse. J. Anim. Sci., 26: 1039-1045 (1967).
12. Gallagher, C.A. y Watson, H.J.: Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración. McGraw Hill, México, 1982.
13. Hardaker, J.B.: Programación de Granjas con Computadoras. Acribia, España, 1971.
14. Hintz, H. F.: Alimentación de la yegua y el potro. Pura Sangre, (178): 50-55 (1982).

15. Hintz, H.F.: Horse Nutrition. Prentice Hall Press, New York, U.S.A., 1983.
16. Hintz, H. F. y Schryver, H. F.: Guías de nutrición del programa de investigación sobre equinos. Pura Sangre, (119): 20-30 (1977).
17. Koch, C. R.: Cómo alimentan las grandes granjas. Pura Sangre. (101): 58-62 (1976).
18. Lewis, L.D.: Feeding and Care of the Horse. Lea & Febiger. Philadelphia, U.S.A., 1982.
19. Martin-Rosset, W. and Dulphy, J. P.: Digestibility interactions between forages and concentrates in horses: influence of feeding level - Comparison with sheep. Livestock Production Science, 17: 263-276 (1987).
20. Meléndez, R., Baños, A., Alonso, F., Aguilar, A., Bachtold, E., Reyes, A., Enríquez, A., Mendoza, E., Calderas, A., Tort, A. y Domínguez, F.: Mercadeo de Productos Agropecuarios. Limusa, México, 1984..
21. Merck & Co., Inc.: The Merck Veterinary Manual. 5th ed. Merck & Co., Inc., Rahway, N. Y., 1979.
22. Morrison, F.B.: Feeds and Feeding. 22nd ed. The Morrison Pubs. Co., Ithaca, N.Y., 1956.
23. National Reasearch Council: Nutrient Requirements of Horses. 5th rev. ed. National Academy Press, Washington, D.C., 1989.
24. Orcillez, A., G.: Diseño de un sistema computarizado para el manejo nutricional de cabras lecheras. Tesis de licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1990.
25. Ralston, S. L.: Nutritional management of horses competing in 160 km races. The Cornell Veterinarian, 78: 53-61 (1988).
26. Reyes, A.: Programación lineal: Teoría y su aplicación en la optimización de la producción pecuaria. empleando el paquete MPS-PC. Memorias del curso de actualización. Fac. Med. y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1991.
27. Robinson, D. W. and Slade, L. M.: The current status of knowledge of the nutrition of equine. J. Anim. Sci., 36: 1045-1066 (1974).

28. Sánchez, L., E.: Maximización del ingreso sobre el costo del alimento en un establo de Mexicali, Baja California. Tesis de maestría. Fac. de Med. Vet. y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1989.
29. S.A.R.H.: Diagnóstico integral de la ganadería equina en México. Dirección de estadística, S.A.R.H., México, 1989.
30. Smith, F. H.: Nutritional aspects associated with poor performance in the racehorse. Irish Vet. J., 40: 87-89 (1986).
31. Trujillo, F., V.: Métodos Matemáticos en la Nutrición Animal. 2a. ed. McGraw-Hill, México, D.F., 1987.
32. Ulner, D. E. y Juergenson, E. M.: Cria y Manejo del Caballo. CECSA, México, D.F., 1977.
33. Wagoner, D. M.: Feeding To Win. Equine Research Publications, Texas, U.S.A., 1973.
34. Wolter, R.: Alimentación del Caballo. Acribia, Zaragoza, España, 1975.
35. Wooden, G. K., Knox, F. L. and Wild, C. L.: Energy metabolism in light horses. J. Anim. Sci., 30: 544-548 (1970).

CUADRO 1 NIVEL SUPERIOR DE SEGURIDAD DE ALGUNOS ELEMENTOS
MINERALES EN EL AGUA DE BEBIDA PARA CABALLOS

Elemento Mineral	Nivel Superior De Seguridad (mg/litro)
Arsénico	0.2
Cadmio	0.05
Cromo	1.0
Cobalto	1.0
Cobre	0.5
Fluor	2.0
Plomo	0.1
Mercurio	0.01
Níquel	1.0
Nitrato de nitrógeno	100.0
Nitrito de nitrógeno	10.0
Vanadio	0.1
Cinc	25.0

FUENTE: Tabla NRC 1989 (22).

CUADRO 2 RACION DE LOS CABALLOS DE LA POLICIA DEL D.F., APOORTE DE NUTRIMENTOS Y EL COSTO DE DICHA RACION

Nutriemento		Aporte del Forraje	Aporte del Concentrado	Aporte Total	Requerimiento por Diario	Diferencia
Consumo materia seca	(Kg)	12.77	9.54	22.31	7.4	+ 14.91
Energía digestible	(Mcal)	24.99	34.19	59.18	14.9	+ 44.28
Proteína cruda	(g)	1354.2	1144.6	2498.8	596.	+ 1902.8
Lisina	(g)	16.36	30.69	47.05	20.9	+ 26.15
Calcio	(g)	57.22	8.91	66.13	18.	+ 48.13
Fósforo	(g)	31.74	28.54	60.28	12.6	+ 47.68
Magnesio	(g)	36.66	15.61	52.27	6.7	+ 45.57
Potasio	(g)	191.59	35.17	226.76	22.	+ 204.76
Sodio	(g)	20.92	5.66	26.58	7.4	+ 19.18
Azufre	(g)	30.13	18.01	48.14	11.2	+ 36.94
Hierro	(mg)	4712.7	646.8	5359.5	298.	+ 5061.5
Cinc	(mg)	538.93	14.3	553.23	298.	+ 255.23
Cobre	(mg)	70.88	2.73	73.61	74.5	- 0.89
Manganeso	(mg)	1157.06	331.5	1488.56	298.	+ 1190.56
Selenio	(mg)		.71	.71	.7	+ 0.01
Vitamina A	(UI)	178449.	1979.	180428.	13500.	+ 166928.
COSTO		\$6,206.98	\$8,795.59	\$15,002.57		
				COSTO TOTAL		

CUADRO 3-A
 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE EQUINOS CON 450 Kg DE PESO VIVO
 RACION PARA CABALLOS EN MANTENIMIENTO

NUTRIMENTO	BASE DE LOS REQUERIMIENTOS		PORCENTAJE	
	TOTAL			
CONSUMO MATERIA SECA	7.4	kg/día	1.66	% PV
ENERGIA DIGESTIBLE	14.9	Mcal/día	2.00	Mcal/Kg
PROTEINA CRUDA	596	g/día	8.00	%
LISINA	20.9	g/día	0.28	%
CALCIO	18.0	g/día	0.24	%
FOSFORO	12.6	g/día	0.17	%
MAGNESIO	6.7	g/día	0.09	%
POTASIO	22	g/día	0.30	%
SODIO	7.4	g/día	0.10	%
AZUFRE	11.2	g/día	0.15	%
HIERRO	298	mg/día	40.0	mg/Kg
CINC	298	mg/día	40.0	mg/Kg
COBRE	74.5	mg/día	10.0	mg/Kg
MANGANESO	298	mg/día	40.0	mg/Kg
SELENIO	0.7	mg/día	0.10	mg/Kg
VITAMINA A	13500	UI/día	1812.1	UI/Kg

FUENTE: Tabla NRC 1989 (22).

CUADRO 3-B
 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE EQUINOS CON 450 Kg DE PESO VIVO
 RACION PARA CABALLOS DE TRABAJO LIVIANO

NUTRIMENTO	BASE DE LOS REQUERIMIENTOS			
	TOTAL		PORCENTAJE	
CONSUMO MATERIA SECA	7.6	kg/día	1.69	% PV
ENERGIA DIGESTIBLE	18.6	Mcal/día	2.45	Mcal/Kg
PROTEINA CRUDA	745	g/día	9.80	%
LISINA	26.1	g/día	0.34	%
CALCIO	22.7	g/día	0.30	%
FOSFORO	16.2	g/día	0.21	%
MAGNESIO	8.6	g/día	0.11	%
POTASIO	28	g/día	0.37	%
SODIO	22.8	g/día	0.30	%
AZUFRE	11.4	g/día	0.15	%
HIERRO	304	mg/día	40.0	mg/Kg
CINC	304	mg/día	40.0	mg/Kg
COBRE	76.0	mg/día	10.0	mg/Kg
MANGANESO	304	mg/día	40.0	mg/Kg
SELENIO	.8	mg/día	0.10	mg/Kg
VITAMINA A	20250	UI/día	2663.8	UI/Kg

FUENTE: Tabla NRC 1989 (22).

CUADRO 3-C
 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE EQUINOS CON 450 Kg DE PESO VIVO
 RACION PARA CABALLOS DE TRABAJO MODERADO

NUTRIMENTO	BASE DE LOS REQUERIMIENTOS	
	TOTAL	PORCENTAJE
CONSUMO MATERIA SECA	8.4 kg/día	1.87 % PV
ENERGIA DIGESTIBLE	22.3 Mcal/día	2.65 Mcal/Kg
PROTEINA CRUDA	894 g/día	10.60 %
LISINA	31.3 g/día	0.37 %
CALCIO	27.3 g/día	0.32 %
FOSFORO	19.4 g/día	0.23 %
MAGNESIO	10.3 g/día	0.12 %
POTASIO	34 g/día	0.40 %
SODIO	25.3 g/día	0.30 %
AZUFRE	12.7 g/día	0.15 %
HIERRO	337 mg/día	40.0 mg/Kg
CINC	337 mg/día	40.0 mg/Kg
COBRE	84.3 mg/día	10.0 mg/Kg
MANGANESO	337 mg/día	40.0 mg/Kg
SELENIO	0.8 mg/día	0.10 mg/Kg
VITAMINA	20250 UI/día	2401.0 UI/Kg

FUENTE: Tabla NRC 1989 (22).

CUADRO 3-D
 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE EQUINOS CON 450 Kg DE PESO VIVO
 RACION PARA CABALLOS DE TRABAJO INTENSO

NUTRIMENTO	BASE DE LOS REQUERIMIENTOS	
	TOTAL	PORCENTAJE
CONSUMO MATERIA SECA	10.5 Kg/día	2.32 % PV
ENERGIA DIGESTIBLE	29.8 Mcal/día	2.85 Mcal/Kg
PROTEINA CRUDA	1192 g/día	11.40 %
LISINA	41.7 g/día	0.40 %
CALCIO	36.4 g/día	0.35 %
FOSFORO	25.9 g/día	0.25 %
MAGNESIO	13.7 g/día	0.13 %
POTASIO	45 g/día	0.43 %
SODIO	31.4 g/día	0.30 %
AZUFRE	15.7 g/día	0.15 %
HIERRO	418 mg/día	40.0 mg/Kg
CINC	418 mg/día	40.0 mg/Kg
COBRE	104.6 mg/día	10.0 mg/Kg
MANGANESO	418 mg/día	40.0 mg/Kg
SELENIO	1.0 mg/día	0.10 mg/Kg
VITAMINA A	20250 UI/día	1936.7 UI/Kg

FUENTE: Tabla NRC 1989 (22).

CUADRO 4 INGREDIENTES DE USO FACTIBLE EN LA ALIMENTACION DE CABALLOS. NÚMERO INTERNACIONAL Y VALORES DE TABLA NRC PARA LA COMPOSICIÓN QUÍMICA *

INGREDIENTE	'HEMO DE ALFALFA	'HEMO DE AVENA	SALVADO DE TRIGO	'GRANO DE AVENA	GRANO DE CEBADA	GRANO DE MAIZ	PASTA DE SOYA	GRANO DE SORGO	MELAZA DE CAÑA	FOSFATO DICAL- CÍCO	CARBO- NATO DE CALCIO	CLOFURO DE SODIO	OXIDO DE ZINC	SULFATO DE COBRE	SELENITO DE SODIO
NÚMERO INTERNACIONAL	1-00-049	1-03-280	4-05-190	4-07-999	4-07-339	4-02-915	5-20-617	4-04-383	4-14-696	6-01-091	6-01-069	6-04-152	6-25-533	6-01-120	6-26-013
CLAVE	AA HE	AV HE	SALV	AV GRA	CEB	MAIZ	SOYA P	SORGO	MEL	P DICAL	CC	NACL	ZINC	COBRE	SELENIO
RECONVIERNEN- TO	UNIDADES														
ED	Mcal/Kg	2.17	1.92	3.30	3.20	3.58	3.94	3.52	3.56	3.50					
FD	g Fe	170.00	95.00	174.00	100.00	110.00	104.00	459.00	127.00	58.00					
MS	g Fe	3.70		6.30	3.70	3.00	2.80	32.20	2.90						
Ca	g Fe	11.90	3.20	1.40	1.10	0.50	0.50	4.00	0.40	10.00	22.60	393.90			
P	g Fe	2.40	2.50	12.70	3.40	3.80	3.10	7.10	3.60	1.00	19.60	2.40			
Mg	g Fe	2.70	2.90	6.20	1.90	1.40	1.20	3.10	1.70	4.20	0.61	0.50			
K	g Fe	15.60	14.90	13.70	4.20	5.30	3.70	22.20	4.10	40.10	0.97	0.60			
Na	g Fe	0.70	1.50	0.60	0.70	0.20	0.30	0.40	0.10	2.20	0.00	393.40			
Z	g Fe	2.70	0.30	0.40	2.20	1.60	1.30	4.60	1.50	4.70	1.10			100.00	
Fe	mg Fe	155.00	406.00	163.00	80.00	97.19	35.00	165.00	63.00	243.00	140.00.00	300.00			
Ca	mg Kg	26.00	45.00	110.00	17.00	22.00	57.00	30.00	21.00	103.10			300.00		
P	mg Fe	9.00	4.80	14.20	5.10	4.20	22.40	6.00	65.70	17.20					
Mg	mg Fe	42.00	99.00	13.00	42.00	18.00	6.30	35.00	14.00	59.00	109.10	100.00			
Na	mg Fe			0.57	0.28	0.11	0.14	0.51	0.45						
tot A	UI Fe	26400.00	11398.00	11770.00	49.00	322.00	2458.00		520.00						

* Tabla NRC 1989

* Actualmente utilizado en la dieta de los caballos

CUADRO 5 INFORMACION DE PRECIOS DE ALIMENTOS*
O INGREDIENTES PARA CABALLOS EN LA CIUDAD DE MEXICO

ALIMENTO O INGREDIENTE	**PRECIO/Kg BASE SECA
FORRAJE:	
Heno de alfalfa	517.05
Heno de avena	480.71
CONCENTRADO:	
Salvado de trigo	574.16
Grano de avena	886.69
Cebada	734.77
Grano de maíz	720.45
Pasta de soya	1,439.96
Grano de sorgo	647.06
Melaza de caña	235.53
SALES:	
Fosfato dicálcico	1,907.22
Carbonato de calcio	225.00
Cloruro de sodio	350.00
Selenito de sodio	63,520.00
Sulfato de cobre	35,420.00
Oxido de cinc	15,640.00

* Vigente al 30 de noviembre de 1990.

** Promedio de siete proveedores, en M.N.

CUADRO 6 CONSUMO ESPERADO POR LOS CABALLOS
EN % DEL PESO VIVO

CABALLOS	% DE CONSUMO DE PESO VIVO		
	FORRAJE*	CONCENTRADO*	TOTAL
Adultos			
Mantenimiento	1.5- 2.0	0.- 0.5	1.5- 2.0
De trabajo			
Trabajo Liviano	1.0- 2.0	0.5- 1.0	1.5- 2.5
Trabajo Moderado	1.0- 2.0	0.75-1.5	1.75-2.5
Trabajo Intenso	0.75-1.5	1.0- 2.0	2.0- 3.0

* aproximadamente 90% MS

CUADRO 7 CONCENTRACION ADECUADA DE ALGUNOS MINERALES Y VITAMINAS EN LA RACION TOTAL PARA CABALLOS (Base Seca)

	MANTENIMIENTO	CABALLOS DE TRABAJO	NIVEL MAXIMO TOLERABLE
Minerales:			
Sodio (%)	0.10	0.30	3*
Azufre (%)	0.15	0.15	1.25
Hierro (mg/Kg)	40	40	1000
Manganeso (mg/Kg)	40	40	1000
Cobre (mg/Kg)	10	10	800
Cinc (mg/Kg)	40	40	500
Selenio (mg/Kg)	0.1	0.1	2.0
Vitaminas:			
Vitamina A (UI/Kg)	2,000	2,000	16,000

* Como cloruro de sodio

CUADRO 8-D MATRIZ DEL MODELO DE PL PARA LA RACION DE CABALLOS DE 450 Kg DE PESO CON NIVEL DE ACTIVIDAD INTENSA. RACION-

OBJ FCN		AA HE	AV HE	SALV	AV GRA	CEB	MAIZ	SOYA F	SORGO	MEL	P DICAL	CC	NACL	RHS
		517.05	480.71	574.16	886.69	734.77	720.45	1439.96	647.06	235.53	1907.22	225.00	350.00	
CHS	G	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	10.50
ED	E	2.17	1.92	3.30	3.20	3.58	3.84	3.52	3.56	3.50				29.80
PC	G	170.00	95.00	174.00	100.00	110.00	104.00	499.00	127.00	58.00				1192.00
LIS	G	8.70		6.30	3.70	3.00	2.80	32.20	2.90					41.70
CA	G	11.99	3.20	1.40	1.10	0.50	0.50	4.00	0.40	10.00	22.68	393.90		36.40
P	G	2.40	2.50	12.70	3.40	3.80	3.10	7.10	3.60	1.00	19.62	0.40		25.90
MG	G	2.70	2.90	6.30	1.90	1.40	1.20	3.10	1.70	4.20	0.61	0.50		13.70
K	G	15.60	14.90	13.70	4.20	5.80	3.70	22.20	4.10	40.10	0.07	0.60		45.00
NA	G	0.70	1.80	0.60	0.70	0.20	0.30	0.40	0.10	2.20	0.05	0.60	393.40	31.40
E	G	2.70	2.30	2.40	2.30	1.60	1.30	4.60	1.50	4.70	1.18			15.70
FE	G	155.00	406.00	163.00	80.00	97.19	35.00	185.00	63.00	263.00	14845.00	300.00		418.00
ZN	G	26.00	45.00	110.00		17.00	22.00	57.00	30.00	21.00	103.10			418.00
CU	G	9.90	4.80	14.20		9.10	4.20	22.40	6.00	65.70	10.30			104.60
MN	G	42.00	99.00	134.00	42.00	18.00	6.00	35.00	14.00	59.00	309.30	300.00		418.00
SE	G			0.57	0.08	0.11	0.14	0.51	0.46					1.00
VIT A	G	26000.00	11898.00	1177.00	49.00	922.00	2458.00		520.00					20250.00
MX FC	L	170.00	95.00	174.00	100.00	110.00	104.00	499.00	127.00	58.00				1490.00
MX CA	L	11.90	3.20	1.40	1.10	0.50	0.50	4.00	0.40	10.00	22.68	393.90		72.60
MX P	L	2.40	2.50	12.70	3.40	3.80	3.10	7.10	3.60	1.00	19.62	0.40		36.26
MX NA	L	0.70	1.80	0.60	0.70	0.20	0.30	0.40	0.10	2.20	0.05	0.60	393.40	15.75
MIN FORR	G	1.00	1.00											4.95
MX MEL	L									1.00				0.53

CUADRO 9-A

RESULTADOS EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE PL, RACION 1

MFS-FC

LP PROBLEM FILE NAME: RACION1
PROBLEM TYPE: MIN
OPTIMAL SOLUTION REACHED IN 52 ITERATIONS

DATE: 05-04-1988
ALGORITHM START TIME = 10:36:05
ALGORITHM END TIME = 10:37:53

OBJECTIVE FUNCTION = 3225 32197

CUADRO 9-A (Continuación)

SECTION 1 - ROWS

NUMBER	TYPE	ROW	AT	ACTIVITY	SLACK ACTIVITY	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	DUAL ACTIVITY
1.	L	ONS	BS	8.19134	1.20956	NONE	7.40000	
2.	G	ED	LL	14.90000		14.90000	NONE	-205.52108
3.	G	PC	BS	745.00000	-145.00000	596.00000	NONE	
4.	E	LTS	EQ	20.90000		20.90000	20.90000	-5.20358
5.	G	CA	BS	36.47063	-18.47063	18.00000	NONE	
6.	G	P	BS	18.51445	-3.51445	12.60000	NONE	
7.	G	MG	BS	18.63640	-9.53641	6.70000	NONE	
8.	G	A	BS	90.06846	-68.06846	22.00000	NONE	
9.	G	MA	BS	7.45128	-0.65125	7.40000	NONE	
10.	G	S	BS	14.79798	-3.53798	11.20000	NONE	
11.	G	FE	BS	1575.69028	-1277.69028	298.00000	NONE	
12.	G	ZN	LL	298.00000		298.00000	NONE	-0.02005
13.	G	CU	LL	74.50000		74.50000	NONE	-0.13917
14.	G	MN	BS	398.76776	-100.76776	298.00000	NONE	
15.	G	SE	LL	0.70000		0.70000	NONE	-0.13651
16.	G	VIT A	BS	87369.34382	-74463.34382	13000.00000	NONE	
17.	L	MY PC	UL	745.00000		NONE	745.00000	0.61202
18.	L	MY CA	BS	36.47063	8.52937	NONE	45.00000	
19.	L	MY P	BS	18.51445	1.12555	NONE	17.60000	
20.	L	MY MA	BS	7.45128	3.64572	NONE	11.10000	
21.	L	MY ZN	BS	298.00000	146.00000	NONE	444.00000	
22.	L	MY OJ	BS	74.50000	36.50000	NONE	111.00000	
23.	L	MY SE	BS	0.70000	0.41000	NONE	1.10000	
24.	G	MN FERR	LL	4.80000		4.80000	NONE	-161.68073
25.	L	MY MEL	UL	0.30000		NONE	0.30000	446.26169

SECTION 2 - COLUMNS

NUMBER	COLUMN	AT	ACTIVITY	INPUT COST	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	REDUCED COST
1.	AA HE	BS	2.06784	517.04999		NONE	
2.	AV HE	BS	2.79216	480.70999		NONE	
3.	SALV	BS	0.10756	574.15997		NONE	
4.	AV ERA	LL		886.69000		NONE	290.84502
5.	CEB	LL		734.77002		NONE	71.00326
6.	MATZ	BS	0.98362	720.45001		NONE	
7.	SOYA P	LL		1439.95996		NONE	948.87071
8.	SORGO	LL		647.06000		NONE	1.85429
9.	MEL	BS	0.30000	235.53000		NONE	
10.	P DICAL	LL		1907.21997		NONE	1903.71918
11.	CC	LL		225.06000		NONE	225.00000
12.	MACL	LL		350.00000		NONE	350.00000
13.	ZINC	BS	0.00010	15640.00000		NONE	
14.	COBRE	BS	0.00006	35420.00000		NONE	
15.	SELENIO	BS		63520.00000		NONE	

END OF SOLUTION OUTPUT

CUADRO 9-A (Continuación)

***** RANGES OVER WHICH THIS SOLUTION REMAINS OPTIMAL *****

LP PROBLEM FILE NAME: RACION1

..... OBJECTIVE FUNCTION (CJ) RANGES

VARIABLE NAME	SOLUTION VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
---------------	----------------	-------------	-------------

..... NON-BASIC ACTIVITIES

CEB	734.77002	663.76676	NONE
CC	225.00000	-0.00000	NONE
SORGO	647.06000	645.20571	NONE
AV GRA	886.69000	595.84098	NONE
SOYA P	1439.88996	491.08925	NONE
NACL	350.00000	0.00000	NONE
P DICAL	1907.21997	3.50079	NONE

..... BASIC ACTIVITIES

MAIZ	720.45001	668.14844	724.25166
AA HE	517.04999	508.00848	978.48002
MEL	235.53000	NONE	681.79169
SALV	574.15997	NONE	577.68022
AV HE	480.70999	45.88918	483.75150
ZINC	15640.00000	-0.00000	14418171.37111
COBRE	35420.00000	-0.00000	5339362.92322
SELENIO	63520.00000	-0.00000	9496637.85788

..... RIGHT HAND SIDE (RHS) RANGES

ROW NAME	CONSTRAINT TYPE	SOLUTION VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
CMS	L	7.40000	6.19134	NONE
ED	G	14.90000	14.54951	15.17057
PC	G	596.00000	NONE	745.00000
LIS	E	20.90000	20.17876	21.09768
CA	G	18.00000	NONE	36.47063
P	G	12.60000	NONE	16.51445
HG	G	6.70000	NONE	16.83640
K	G	22.00000	NONE	90.06846
NA	G	7.40000	NONE	7.45128
S	G	11.20000	NONE	14.79798
FE	G	298.00000	NONE	1575.89028
ZN	G	298.00000	217.62222	444.00000
CU	G	74.50000	58.64856	111.00000
MN	G	298.00000	NONE	398.76776
SE	G	0.70000	0.19902	1.11000
VIT A	G	13500.00000	NONE	87969.34382
MX FC	L	745.00000	741.79030	750.91157
MX CA	L	45.00000	36.47063	NONE
MX P	L	17.64000	16.51445	NONE
MX NA	L	11.10000	7.45128	NONE
MX ZN	L	444.00000	298.00000	NONE
MX CU	L	111.00000	74.50000	NONE
MX SE	L	1.11000	0.70000	NONE
MIN FERR	G	4.80000	4.71452	4.90601
MX MEL	L	0.30000	0.27232	0.54060

CUADRO 9-B

RESULTADOS EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE PL, RACION 2

MPS-PC

LP PROBLEM FILE NAME: RACION2
PROBLEM TYPE: MIN
OPTIMAL SOLUTION REACHED IN 40 ITERATIONS

DATE: 05-04-1988
ALGORITHM START TIME = 10:50:27
ALGORITHM END TIME = 10:51:52

OBJECTIVE FUNCTION = 3979.24066

CUADRO 9-B (Continuación)

SECTION 1 - ROWS

NUMBER	TYPE	...ROW...	AT	...ACTIVITY...	SLACK ACTIVITY	...LOWER LIMIT...	...UPPER LIMIT...	...DUAL ACTIVITY
1.	E	CMS	EQ	7.60000		7.60000	7.60000	-466.58648
2.	E	ED	EQ	18.60000		18.60000	18.60000	-106.51747
3.	G	PC	BS	350.00000	-185.00000	745.00000	NONE	
4.	G	LTS	LL	26.10000		26.10000	NONE	-16.43643
5.	G	CA	BS	56.75000	-34.05000	22.70000	NONE	
6.	G	P	BS	24.30000	-8.10000	16.20000	NONE	
7.	G	MG	BS	21.45437	-12.86437	8.60000	NONE	
8.	G	K	BS	106.05356	-78.05356	28.00000	NONE	
9.	E	NA	EQ	22.80000		22.80000	22.80000	0.25620
10.	G	S	BS	17.72692	-6.32692	11.40000	NONE	
11.	G	FE	BS	1667.65168	-1563.65168	304.00000	NONE	
12.	G	ZN	LL	304.00000		304.00000	NONE	-0.01945
13.	G	CU	LL	76.00000		76.00000	NONE	-0.13734
14.	G	MN	BS	517.04154	-213.04154	304.00000	NONE	
15.	G	SE	LL	0.80000		0.80000	NONE	-0.13566
16.	G	VIT A	BS	36256.12392	-76006.12392	20250.00000	NONE	
17.	L	MA PC	UL	560.00000		NONE	530.00000	1.35100
18.	L	MA CA	UL	56.75000		NONE	56.75000	0.61109
19.	L	MA P	UL	24.30000		NONE	24.30000	1.96091
20.	L	MA NA	BS	22.80000	22.20000	NONE	45.00000	
21.	L	MA ZN	BS	304.00000	152.00000	NONE	456.00000	
22.	L	MA OJ	BS	76.00000	39.00000	NONE	114.00000	
23.	L	MA SE	BS	0.80000	0.34000	NONE	1.14000	
24.	G	MIX FEOR	BS	5.39016	-0.79016	4.60000	NONE	
25.	L	MA MEL	UL	0.30400		NONE	0.30400	492.89109

SECTION 2 - COLUMNS

NUMBER	COLUMN	AT	...ACTIVITY...	...INPUT COST...	...LOWER LIMIT...	...UPPER LIMIT...	...REDUCED COST...
1.	MA HE	BS	2.20339	517.04999		NONE	
2.	AV HE	BS	3.18677	490.70999		NONE	
3.	SALV	BS	0.50507	574.15997		NONE	
4.	AV GRA	LL		856.65000		NONE	212.36288
5.	CEB	LL		734.77002		NONE	50.92261
6.	MAIZ	BS	0.91272	720.45001		NONE	
7.	SOYA P	LL		1439.95996		NONE	989.19687
8.	SORGO	BS	0.41137	647.06000		NONE	
9.	MEL	ES	0.36400	235.53000		NONE	
10.	P DICAL	LL		1507.21997		NONE	1459.65928
11.	CC	BS	0.04053	225.00000		NONE	
12.	NAOL	BS	0.03612	350.00000		NONE	
13.	ZINC	BS	0.00001	19540.00000		NONE	
14.	COBRE	BS	0.00002	35420.00000		NONE	
15.	SELENTO	BS		63520.00000		NONE	

END OF SOLUTION OUTPUT

CUADRO 9-B (Continuación)

***** RANGES OVER WHICH THIS SOLUTION REMAINS OPTIMAL *****

LP PROBLEM FILE NAME: RACION2

..... OBJECTIVE FUNCTION (CJ) RANGES.....

VARIABLE NAME	SOLUTION VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
---------------	----------------	-------------	-------------

..... NON-BASIC ACTIVITIES.....

CEB	734.77002	683.84741	NONE
F DICAL	1507.21597	417.36069	NONE
SOYA P	1439.95996	450.76109	NONE
AV GRA	886.69000	674.32713	NONE

..... BASIC ACTIVITIES.....

SORGO	647.06000	636.89235	630.99662
CC	225.00000	-16850.41338	456.92268
AV HE	480.70999	380.92558	535.66933
MEL	235.53000	NONE	728.42109
NACL	350.00000	-6817.51281	19742.98023
ZINC	15640.00000	467.60095	3706798.61159
COBRE	35420.00000	466.70125	3342403.59368
SALV	574.15997	26.26984	591.64371
MAIZ	720.45001	678.23134	742.06677
AA HE	517.04999	474.51010	829.29029
SELENI0	63520.00000	387.6902075478549	58622

..... RIGHT HAND SIDE (RHS) RANGES.....

ROW NAME	CONSTRAINT TYPE	SOLUTION VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
CMS	E	7.60000	7.51070	7.66633
ED	E	18.60000	17.91158	19.38496
PC	G	745.00000	NONE	930.00000
LIS	G	26.10000	24.93402	26.87774
CA	G	22.70000	NONE	58.75000
P	G	16.20000	NONE	24.30000
MG	G	8.60000	NONE	21.46437
K	G	28.00000	NONE	106.05356
NA	E	22.80000	8.78387	45.00000
S	G	11.40000	NONE	17.72602
FE	G	304.00000	NONE	1367.65168
ZN	G	304.00000	295.05573	456.00000
CU	G	76.00000	70.55646	114.00000
MN	G	304.00000	NONE	517.04154
SE	G	0.80000	0.60490	1.14000
VIT A	G	20250.00000	NONE	98256.12392
MX PC	L	930.00000	922.84440	940.83718
MX CA	L	56.75000	41.36878	91.89893
MX P	L	24.30000	19.84222	25.28909
MX NA	L	45.00000	22.80000	NONE
MX ZN	L	456.00000	304.00000	NONE
MX CU	L	114.00000	76.00000	NONE
MX SE	L	1.14000	0.80000	NONE
MIN FORR	G	4.60000	NONE	5.39016
MX MEL	L	0.30400	0.00000	0.39745

CUADRO 9-C

RESULTADOS EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA PL, RACION 3

MPS-PCLP PROBLEM FILE NAME: RACION3
PROBLEM TYPE: MIN
OPTIMAL SOLUTION REACHED IN 68 ITERATIONSDATE: 05-04-1988
ALGORITHM START TIME = 10:58:52
ALGORITHM END TIME = 11:00:48OBJECTIVE FUNCTION = 4677.80491

CUADRO 9-C (Continuación)

SECTION 1 - ROWS

NUMBER	TYPE	ROW	AT	ACTIVITY	SLACK ACTIVITY	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	DUAL ACTIVITY
1.	G	OMS	BS	8.81212	-0.41212	8.40000	NONE	
2.	G	ED	LL	22.36000		22.36000	NONE	-211.16902
3.	G	PC	BS	1115.00000	-221.00000	894.00000	NONE	
4.	G	LIS	BS	31.54388	-0.24388	31.30000	NONE	
5.	G	CA	BS	45.23534	-17.93534	27.30000	NONE	
6.	G	P	BS	29.10000	-9.70000	19.40000	NONE	
7.	G	MG	BS	24.56662	-14.26662	10.30000	NONE	
8.	G	K	BS	117.57079	-83.57079	34.00000	NONE	
9.	G	NA	LL	25.30000		25.30000	NONE	-0.89968
10.	G	S	BS	20.34955	-7.64955	12.70000	NONE	
11.	G	FE	BS	2020.65139	-1663.65139	357.00000	NONE	
12.	G	ZN	LL	337.00000		337.00000	NONE	-5.44663
13.	G	CU	LL	84.30000		84.30000	NONE	-44.24237
14.	G	MN	BS	547.89962	-210.89962	337.00000	NONE	
15.	G	SE	BS	1.18475	-0.38475	0.80000	NONE	
16.	G	VIT A	BS	105478.38119	-85228.38119	20250.00000	NONE	
17.	L	MX PC	UL	1115.00000		NONE	1115.00000	1.94131
18.	L	MX CA	UL	45.23534	23.01466	NONE	68.25000	
19.	L	MX P	UL	29.10000		NONE	29.10000	79.74912
20.	L	MX NA	BS	25.30000	19.70000	NONE	45.00000	
21.	G	MIN FERR	BS	5.72966	-0.92966	4.80000	NONE	
22.	L	MX MEL	UL	0.34960		NONE	0.34960	3334.27517

SECTION 2 - COLUMNS

NUMBER	COLUMN	AT	ACTIVITY	INPUT COST	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	REDUCED COST
1.	AA HE	BS	2.51133	517.04999		NONE	
2.	AV HE	BS	3.21833	480.70999		NONE	
3.	SALV	BS	0.53821	574.15997		NONE	
4.	AV GRA	LL		886.69000		NONE	675.60485
5.	CEB	BS	0.33365	734.77002		NONE	
6.	HAIZ	LL		720.45001		NONE	52.76928
7.	SOYA P	LL		1439.95996		NONE	929.73697
8.	SORGO	BS	1.82883	647.09000		NONE	
9.	MEL	BS	0.34000	235.53000		NONE	
10.	P DICAL	LL		1907.21997		NONE	2454.60950
11.	CC	LL		225.00000		NONE	256.36584
12.	HAOL	BS	0.04176	350.00000		NONE	

END OF SOLUTION OUTPUT

CUADRO 9-C (Continuación)

***** RANGES OVER WHICH THIS SOLUTION REMAINS OPTIMAL *****

LP PROBLEM FILE NAME: RACION3

OBJECTIVE FUNCTION (CJ) RANGES

VARIABLE NAME	SOLUTION VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
NON-BASIC ACTIVITIES			
SOYA P	1439.95996	510.22259	NONE
AV GRA	886.69000	211.08515	NONE
P DICAL	1907.21937	-547.38333	NONE
CC	225.00000	-31.35584	NONE
MAIZ	720.45001	667.68074	NONE

BASIC ACTIVITIES

NACL	350.00000	0.00000	28567.88006
AV HE	450.70999	367.21427	NONE
AA HE	517.04999	333.13615	697.62732
SORGO	547.05000	-1309.18562	688.77259
SALV	574.15937	-110.49013	1148.68874
CEB	734.77002	624.21844	1439.86948
MEL	235.53000	NONE	3558.80517

RIGHT HAND SIDE (RHS) RANGES

ROW NAME	CONSTRAINT TYPE	SOLUTION VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
CMS	G	8.40000	NONE	8.81212
ED	G	22.30000	21.27954	22.40185
PC	G	894.00000	NONE	1115.00000
LIS	G	31.30000	NONE	31.54358
CA	G	27.30000	NONE	45.23534
P	G	19.40000	NONE	29.10000
MG	G	10.30000	NONE	24.50862
K	G	34.00000	NONE	117.57079
NA	G	25.30000	8.87147	45.00000
S	G	12.70000	NONE	20.34955
FE	G	337.00000	NONE	2020.69139
ZN	G	337.00000	313.29672	338.51726
CU	G	84.30000	83.01444	85.64580
MN	G	337.00000	NONE	547.88062
SE	G	0.80000	NONE	1.18475
VIT A	G	20250.00000	NONE	105478.38119
MX FC	L	1115.00000	1112.49641	1134.00033
MX CA	L	63.25000	45.23534	NONE
MX P	L	29.10000	28.92306	30.32133
MX NA	L	45.00000	25.30000	NONE
MIN FERR	G	4.80000	NONE	5.72966
MX MEL	L	0.34000	0.32533	0.35950

END OF RANGE OUTPUT

RESULTADOS EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA PL, RACION 4

MPS-PC

LP PROBLEM FILE NAME: RACION4

PROBLEM TYPE: MIN

OPTIMAL SOLUTION REACHED IN 39 ITERATIONS

DATE: 05-04-1988

ALGORITHM START TIME = 11:11:05

ALGORITHM END TIME = 11:12:12

OBJECTIVE FUNCTION = 8087.72735

CUADRO 9-D (Continuación)

SECTION 1 - ROWS

NUMBER	TYPE	ROW	AT	ACTIVITY	BLACK ACTIVITY	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	DUAL ACTIVITY
1.	G	CMS	BS	11.41510	-0.91510	10.50000	NONE	
2.	E	ED	EQ	29.50000		29.50000	29.50000	-182.19528
3.	G	PC	BS	1455.88638	-253.88638	1192.00000	NONE	
4.	G	LIS	LL	41.70000		41.70000	NONE	-12.35445
5.	G	CA	BS	57.98728	-21.58727	36.40000	NONE	
6.	G	P	BS	36.26000	-10.36000	25.90000	NONE	
7.	G	MS	BS	30.60481	-16.30481	13.70000	NONE	
8.	G	K	BS	147.31151	-102.31151	45.00000	NONE	
9.	G	NA	LL	31.40000		31.40000	NONE	-0.88968
10.	G	S	BS	26.02565	-10.32565	15.70000	NONE	
11.	G	FE	BS	2413.87546	-1955.87546	418.00000	NONE	
12.	G	ZN	LL	418.00000		418.00000	NONE	-6.42636
13.	G	CU	BS	112.45940	-7.55940	104.80000	NONE	
14.	G	MN	BS	643.11812	-225.11812	418.00000	NONE	
15.	G	SE	BS	1.58798	-0.58798	1.00000	NONE	
16.	G	VIT A	BS	130626.89023	-110416.89023	20250.00000	NONE	
17.	L	MX PC	BS	1455.88638	34.11162	NONE	1450.00000	
18.	L	MX CA	BS	57.98728	14.81273	NONE	72.80000	
19.	L	MX P	UL	36.26000		NONE	36.26000	63.97028
20.	L	MX NA	BS	31.40000	23.60000	NONE	55.00000	
21.	G	MIN FOUR	BS	6.89350	-1.34350	4.95000	NONE	
22.	L	MX MEL	UL	0.53000		NONE	0.53000	475.12004

SECTION 2 - COLUMNS

NUMBER	COLUMN	AT	ACTIVITY	INPUT COST	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT	REDUCED COST
1.	AA HE	BS	3.28071	517.04999			NONE
2.	AV HE	BS	3.61279	480.70999			NONE
3.	SALV	BS	0.51041	574.15997			NONE
4.	AV GRA	LL		886.63000			474.81894
5.	CEB	LL		734.77002			179.05627
6.	MAIZ	LL		720.45001			42.85197
7.	SOYA P	LL		1439.95996			488.30506
8.	SORGO	BS	3.42836	647.05000			NONE
9.	MEL	BS	0.53000	235.53000			NONE
10.	P DICAL	LL		1907.21997			2499.66471
11.	CC	LL		225.06000			250.05454
12.	NAOL	BS	0.05284	350.06000			NONE

END OF SOLUTION OUTPUT

CUADRO 9-D (Continuación)

***** RANGES OVER WHICH THIS SOLUTION REMAINS OPTIMAL *****

LP PROBLEM FILE NAME: RACION4

..... OBJECTIVE FUNCTION (CJ) RANGES

VARIABLE NAME	SOLUTION VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
---------------	----------------	-------------	-------------

.....NON-BASIC ACTIVITIES.....

AV GRA	886.69000	411.87106	NONE
CEB	734.77002	555.68375	NONE
P DICAL	1907.21997	-592.44473	NONE
CC	225.00000	-25.05454	NONE
MAIZ	720.45001	677.58805	NONE
SOYA P	1439.95396	951.65490	NONE

.....BASIC ACTIVITIES.....

NACL	350.00000	0.00000	34584.68760
MEL	235.53000	NONE	710.65004
SORGO	647.06000	190.30308	681.48509
AV HE	480.70999	317.12866	845.42651
SALV	574.15997	0.14820	1067.29224
AA HE	517.04999	426.95418	645.65956

.....RIGHT HAND SIDE (RHS) RANGES.....

ROW NAME	CONSTRAINT TYPE	SOLUTION VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
CMS	G	10.50000	NONE	11.41510
ED	E	29.80000	26.37014	31.14086
PC	G	1192.00000	NONE	1455.88838
LIS	G	41.70000	31.80767	44.50498
CA	G	36.40000	NONE	57.98728
P	G	25.90000	NONE	36.26000
MG	G	13.70000	NONE	30.60481
K	G	45.00000	NONE	147.31151
NA	G	31.40000	10.61460	55.00000
S	G	15.70000	NONE	26.02585
FE	G	418.00000	NONE	2413.87546
ZN	G	418.00000	378.73027	436.52416
CU	G	104.60000	NONE	112.45940
MN	G	418.00000	NONE	643.11812
SE	G	1.00000	NONE	1.86798
VIT A	G	20250.00000	NONE	130666.88023
MX PC	L	1490.00000	1455.88838	NONE
MX CA	L	72.80000	57.98728	NONE
MX P	L	36.26000	33.93700	40.35779
MX NA	L	55.00000	31.40000	NONE
MIN FORR	G	4.95000	NONE	6.89350
MX MEL	L	0.53000	0.40366	2.09510

END OF RANGE OUTPUT

CUADRO 10-A RACION DE MANTENIMIENTO PARA CABALLOS CON 450 Kg DE PESO VIVO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL (RACION1)

INGREDIENTE	CANTIDAD (Kg)	CONSUMO										MINIMO DE VITAMINA A (UI)	MAXIMO DE FORRAJE (Kg)	COSTO DE LA RACION (\$)					
		MATERIA SECA (Kg)	ENERGIA DIGESTIBLE (Mcal)	PROTEINA CRUDA (g)	LISINA (g)	CALCIO (g)	FOSFORO (g)	MAGNESIO (g)	POTASIO (g)	SODIO (g)	AZUFRE (g)				FIBRA (mg)	CINCO (mg)	COBRE (mg)	MANGANESE (mg)	SELENIO (mg)
HENO DE ALFALFA	2.20884	2.00784	4.35701	341.35280	17.46821	23.89330	4.81882	5.42117	31.32230	1.40545	5.42117	311.21526	52.20384	19.87762	64.32926	52203.84	2.00784	1638.15357	
HENO DE AVENA	3.07846	2.79216	5.26095	265.25220		8.93491	6.98040	8.09726	41.60318	5.02589	6.42197	1133.61696	125.64720	13.40237	276.42384	33221.12	2.79216	1342.21923	
SALVADO DE TRIGO	0.12085	0.10756	0.25495	18.71544	0.67763	0.15058	1.36601	0.67763	1.47357	0.06454	0.25814	17.53228	11.83160	1.52735	14.41304	0.06131	126.60	61.75665	
GRANO DE MAIZ	1.11775	0.99352	3.77710	102.29648	2.75414	0.49181	3.04922	1.18034	3.63939	0.29509	1.27971	34.42670	21.63964	4.13120	5.90172	0.13771	2417.74	708.64903	
MELAZA DE CAÑA	0.40377	0.38000	1.05000	17.40000		3.00000	0.30000	1.26000	12.03000	0.66000	1.41000	78.50000	6.30000	19.71000	17.70000		0.30000	70.65900	
OXIDO DE CINCO	0.00010	0.00010											76.00000					1.56400	
SULFATO DE COBRE	0.00006	0.00006								0.00770				15.27000				2.12520	
SELENIO DE SODIO																			
TOTAL	6.92983	6.19134	14.90001	744.93992	20.89957	36.47050	16.51445	16.63640	90.06845	7.45100	14.79749	1575.63114	295.62226	73.91854	296.74788	0.19902	87969.30	4.80000	3325.12678
REQUERIMIENTOS	MINIMO	6.75000	6.07500	14.90000	596.00000	20.90000	18.00000	12.60000	6.70000	22.00000	7.40000	11.20000	296.00000	296.00000	74.50000	296.00000	0.70000	13500.00	4.80000
	MAXIMO	9.00000	8.10000	745.00000	20.90000	45.00000	17.60000	22.20000			11.10000	52.50000	740.00000	444.00000	111.00000	740.00000	1.11000	118400.00	0.30000

CUADRO 10-E RACION DE TRABAJO LIVIANO PARA CABALLOS CON 450 Kg DE PESO VIVO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL (RACION)

INGREDIENTE	CONSUMO																MINIMO DE FORRAJE (Kg)	MAXIMO DE MELAZA (Kg)	COSTO DE LA RACION (\$)	
	CANTIDAD (Kg)	MATERIA SECA (Kg)	ENERGIA DIGESTIBLE (Mccl)	PROTEINA CRUDA (g)	LISINA (g)	CALCIO (g)	FOSFORO (g)	MAGNESIO (g)	POTASIO (g)	SODIO (g)	ACUFRE (g)	HIERRO (mg)	ZINC (mg)	COBRE (mg)	MANZANESO (mg)	SELENIO (mg)				VITAMINA A (UI)
HENO DE ALFALFA	2.42397	2.20339	4.78136	374.57630	19.16949	26.22034	5.28814	5.94915	34.37288	1.54237	5.94915	341.52545	57.28814	21.51356	91.54238		57288.14	2.20339	1139.26280	
HENO DE AVENA	3.51353	3.18677	6.11860	302.74315		10.19766	7.95693	5.24163	47.48287	5.73619	7.32957	1293.82862	143.40465	15.29650	315.49023		37916.19	3.18677	1531.91221	
SALVADO DE TRIGO	0.56749	0.50507	1.66673	87.88218	3.16194	0.70710	6.41439	3.18194	6.91346	0.32304	1.21217	52.23641	55.55770	7.17199	67.67936	0.28789	584.47		289.99099	
GRANO DE MAIZ	1.03719	0.91272	3.50484	94.92286	2.55562	0.45636	2.82943	1.09526	3.37706	0.27582	1.18654	31.94520	20.07984	3.83342	5.47632	0.11778	124.47		657.56911	
GRANO DE SOYA	0.45857	0.41137	1.46448	52.24359	1.19287	0.14455	1.48092	0.69922	1.68862	0.74114	0.61795	25.91621	12.34112	2.46822	5.75916	0.18922	112.91		266.18107	
MELAZA DE CANA	0.40915	0.36400	1.06400	17.63290		3.04300	0.39400	1.27660	12.19400	0.66880	1.43880	79.95200	6.38400	19.87280	17.92800			0.30400	71.60112	
CARBONATO DE CALCIO	0.04053	0.04053				15.96477	0.01621	0.02027	0.02422	0.02422		12.15900			12.15900				9.11925	
CLORURO DE SODIO	0.03612	0.03612								14.20941									12.64206	
OXIDO DE ZINC	0.00091	0.00091											7.80000						0.15640	
SULFATO DE COBRE	0.00002	0.00002												5.09000					0.70840	
SELENIO DE SODIO																				
TOTAL	9.46456	7.60906	16.60001	936.00050	26.10002	56.75078	24.30003	21.46439	106.05361	22.79928	17.72228	1867.65299	302.85542	75.64850	517.04249	0.60456	98256.18	5.39016	0.30400	2979.14336
REQUIERI- MIENTO	MINIMO 11.25000	MINIMO 10.12500	16.60000	745.00000	26.10000	22.70000	15.20000	8.50000	26.00000	22.80000	11.40000	304.00000	304.00000	76.00000	304.00000	0.80000	29250.00	4.60000	0.30400	
	MAXIMO 11.25000	MAXIMO 10.12500		930.00000		55.75000	24.30000	22.80000		45.00000	95.00000	7600.00000	456.00000	114.00000	7600.00000	15.20000	121600.00		0.30400	

CUADRO 10-C RACION DE TRABAJO MODERADO PARA CABALLOS CON 450 Kg DE PESO VIVO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL (FRACCION)

INGREDIENTE	CONSUMO														MINIMO DE (Kg)	MAXIMO DE (Kg)	COSTO DE LA RACION (\$)				
	CANTIDAD (Kg)	MATERIA SECA (Kg)	ENERGIA DIGESTIBLE (Mcall)	PROTEINA CRUDA (g)	LISINA (g)	CALCIO (g)	FOSFORO (g)	MAGNESIO (g)	POTASIO (g)	SODIO (g)	AZUFRE (g)	HIERRO (mg)	CINCO (mg)	COPRE (mg)				MANGANESO (mg)	SELENIO (mg)	VITAMINA A (UI)	FOSFORO (Kg)
HENO DE ALFALFA	2.76274	2.51133	5.44959	426.92610	21.54657	29.88483	6.02719	6.78059	39.17675	1.75793	6.78059	389.25615	65.29458	24.86217	105.47596		65254.58	2.51133		1298.48218	
HENO DE AVENA	3.54832	3.21833	6.17519	305.74135		10.29866	8.04583	9.33316	47.95212	5.79299	7.40216	1366.54196	144.82485	15.44796	218.61487		38291.69	3.21833		1547.89341	
SALVADO DE TRIGO	0.68473	0.52821	1.77899	93.64354	3.39072	0.75349	6.83527	3.39672	7.37348	0.22293	1.29170	57.72823	59.25216	7.64255	72.12514	0.39678		633.47		315.01548	
CEBADA	0.37655	0.33365	1.19447	36.70150	1.00095	0.16663	1.26767	0.45711	1.93517	0.06673	0.52384	31.42744	5.67205	3.03521	6.00576	0.03670		277.63		245.15670	
GRANO DE SORGO	2.02978	1.82883	6.51063	232.26141	5.30361	6.73153	6.58379	3.19091	7.49620	0.16288	2.74225	115.21629	54.85490	19.97238	25.60362	0.64124		359.99		1182.86274	
MELAJA DE CAÑA	0.45760	0.34300	1.19000	19.72980		3.40000	0.54000	1.42500	12.65400	0.74500	1.59800	89.42000	7.14000	22.53800	20.06000				0.34000	80.86000	
CLORURO DE SODIO	0.04176									16.42538										14.61500	
TOTAL	9.82152	8.81211	22.29967	1114.99890	31.53855	45.23533	29.63954	24.82859	117.57172	25.29285	20.34954	2020.59005	326.59946	84.29933	547.67999	1.16774		105478.36	5.72968	0.34000	6777.83019
REQUIE- MIENTO	MINIMO 11.25000	MINIMO 10.12500	MINIMO 22.30000	MINIMO 894.00000	MINIMO 31.30000	MINIMO 27.30000	MINIMO 19.40000	MINIMO 10.30000	MINIMO 34.00000	MINIMO 25.20000	MINIMO 12.70000	MINIMO 237.00000	MINIMO 337.00000	MINIMO 84.30000	MINIMO 237.00000	MINIMO 0.80000		MINIMO 20250.00	MINIMO 4.80000		MINIMO 0.34000
	MAXIMO 11.25000	MAXIMO 10.12500	MAXIMO 22.30000	MAXIMO 1115.00000	MAXIMO 31.30000	MAXIMO 68.25000	MAXIMO 29.10000	MAXIMO 25.20000	MAXIMO 117.57172	MAXIMO 45.20000	MAXIMO 165.00000	MAXIMO 8400.00000	MAXIMO 4200.00000	MAXIMO 6720.00000	MAXIMO 8400.00000	MAXIMO 16.80000		MAXIMO 114400.00000	MAXIMO 5.72968		MAXIMO 0.34000

CUADRO 16-6 RACION DE TRABAJO INTENSO PARA CABALLOS CON 450 Kg DE PESO VIVO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL RACION*

INGREDIENTE	CANTIDAD (Kg)	CONSUMO				LISINA (g)	CALCIO (g)	FOSFORO (g)	MAGNESIO (g)	POTASIO (g)	SODIO (g)	AZUFRE (g)	HIERRO (mg)	ZINC (mg)	COBRE (mg)	MANGANESO (mg)	SELENIUM (mg)	VITAMINA A (UI)	FORRAJE (Kg)	MINIMO	MAXIMO	COSTO	
		MATERIA SECA (Kg)	ENERGIA DIGESTIBLE (Mcal)	PROTEINA CRUDA (g)	DE RACION (g)															DE RACION (Kg)	DE RACION (Kg)		
HENO DE ALFALFA	3.6091	1.29071	7.11914	557.72076	28.54216	39.04645	7.97370	6.85792	51.17908	1.29650	6.85792	508.51065	55.29846	32.47963	137.76982		85296.46	3.28071		16.76	29111		
HENO DE AVENA	3.98512	1.61279	6.92656	343.21505		11.66192	9.95199	10.47709	53.53018	6.55201	6.33942	1466.79374	162.87855	17.34139	257.66621		12904.98	3.61279		1736	7629		
SALVADO DE TRIGO	0.57349	0.51641	1.68425	66.81134	3.21558	0.71457	6.48221	3.21558	6.99262	0.30625	1.22498	63.19681	56.14510	7.27782	66.33434	1.29393	600.75			292	16761		
GRASA DE SOY	3.92596	3.42216	11.51219	435.40172	6.94211	1.37113	12.34216	5.82921	14.05623	0.34284	5.14284	215.98665	100.65080	20.57616	47.99701	1.57705	1761.75			104	3540		
MELAZA DE CANA	0.71332	0.83096	1.85530	36.74000		5.30003	0.52000	2.22600	31.25300	1.16600	1.43100	139.39000	11.12200	34.62100	31.27000					0.51332		104	3309
CLORURO DE SODIO	0.18154	0.18154								26.75726												18	4966
TOTAL	12.73799	11.41510	25.11429	1455.63861	41.70000	57.06706	36.15396	38.60450	147.31154	31.40166	26.02586	2413.87630	417.99991	112.45940	643.11600	1.86708	129666.94	6.89260	0.51332	6197	73151		
REQUERI-MINIMO	9	8.10000	29.50000	1192.00000	41.70000	36.40000	22.90000	12.70000	48.00000	31.40000	15.70000	418.00000	418.00000	164.50000	418.00000	1.00000	120000.00	6.85000	0.50000				
BIEN- MAXIMO	13.5	12.15	29.50000	1495.00000		71.30000	36.26000	31.85000		55.00000	131.25000	1680.00000	5250.00000	5400.00000	12500.00000	21.00000	150000.00		0.50000				

ANEXO A CLAVES PARA IDENTIFICAR LOS INGREDIENTES Y LOS REQUERIMIENTOS
CONSIDERADOS EN LA MATRIZ DE LOS MODELOS DE PL

CLAVE	INGREDIENTE (COLUMNA)	CLAVE	REQUERIMIENTO (REGLOW)
AA HE	Heno de alfalfa	OMS	Consumo Materia Seca
AV HE	Heno de avena	ED	Energía Digestible
SALV	Salvado de trigo	PC	Proteína Cruda
AV GRA	Grano de avena	LIS	Lisina
CEB	Cebada	CA	Calcio
MAIZ	Grano de maiz	P	Fosforo
SOYA P	Pasta de soya	MG	Magnesio
SORGO	Grano de sorgo	K	Potasio
MEL	Melaza de caña	NA	Sodio
P DICAL	Fosfato dicálcico	S	Azufre
CC	Carbonato de calcio	FE	Hierro
NACL	Cloruro de sodio	ZN	Cinc
SELENIO	Selenito de sodio	CU	Cobre
CORRE	Sulfato de cobre	MN	Manganeso
ZINC	Oxido de cinc	SE	Selenio
		VIT A	Vitamina A

ANEXO B SIGNIFICADO DE LOS ENCABEZADOS Y ABREVIATURAS QUE APARECEN EN EL RESULTADO COMPUTACIONAL DE LAS MATRICES

SECCION 1

**ENCABEZADO O
ABREVIATURA**

SIGNIFICADO

ROW	REGLON DE LA MATRIZ (REQUERIMIENTO O RESTRICCIÓN).
AT	NIVEL EN QUE SE ENCUENTRA EL APORTE.
UL	SEÑALA QUE EL NIVEL DEL APORTE SE ENCUENTRA EN EL LIMITE MAXIMO PERMISIBLE.
LL	SEÑALA QUE EL NIVEL DE APORTE SE ENCUENTRA EN EL LIMITE MINIMO PERMISIBLE.
EQ	IMPLICA QUE EL NIVEL DE APORTE ES IGUAL AL SEÑALADO.
BS	PARA EL CASO DE LAS RESTRICCIONES IMPLICA HOLGURA, ES DECIR EL APORTE NO ES IGUAL A MAXIMOS O MINIMOS ESTABLECIDOS.
ACTIVITY	SEÑALA EL NIVEL DE APORTE EN UNIDADES DE LA RESTRICCIÓN.
SLACK ACTIVITY	DIFERENCIA ENTRE EL APORTE Y EL REQUERIMIENTO; EN OCASIONES SE LE REFIERE COMO HOLGURA.
RHS VALUE	VALORES DE LOS REQUERIMIENTOS, VECTOR DE RESTRICCIONES.
DUAL ACTIVITY	"PREMIO" O "CASTIGO" OTORGADO AL RELAJAR LA RESTRICCIONES EN UNA UNIDAD, CUANDO ESTAS ESTAN EN SU LIMITE. ESTE "PREMIO" O "CASTIGO" ES VALIDO EN EL RANGO SEÑALADO EN LA SECCION "RIGHT HAND SIDE (RHS) RANGES" EN LAS COLUMNAS: "LOWER LIMIT" Y "UPPER LIMIT (VALOR INFERIOR Y SUPERIOR DEL RANGO RESPECTIVAMENTE.

ANEXO B (continuación)

SECCION 2

ENCABEZADO O
ABREVIATURA

SIGNIFICADO

COLUMN	COLUMNA DE LA MATRIZ O ACTIVIDAD.
AT	NIVEL DE ACTIVIDAD DE LAS VARIABLES.
BS	PARA ACTIVIDADES, IMPLICA LA CANTIDAD CON LAS QUE ESTAN PRESENTE LAS MISMAS EN LA SOLUCION.
LL	INDICA QUE LA VARIABLE ESTA AUSENTE DE LA SOLUCION.
ACTIVITY	NIVEL DE USO DE LOS INGREDIENTES EN Kg.
INPUT COST	COSTO ORIGINAL DE CADA INGREDIENTE.
REDUCED COST	DISMINUCION REQUERIDA EN EL PRECIO DE LOS INSUMOS NO INCLUIDOS PARA QUE PUEDA SER UTILIZADOS, EN LA MEZCLA DE MINIMO COSTO.