

**UNIVERSIDAD AUTONOMA
CHAPINGO**
DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICAS
Y ADMINISTRATIVAS

**PROGRAMACIÓN MULTICRITERIO Y TOMA DE DECISIONES
EN LA EMPRESA AGRÍCOLA**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE :
DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA:

VÍCTOR RAFAEL VALDOVINOS CHÁVEZ



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Octubre de 2000

Chapingo, Estado de México

BIB. 94700

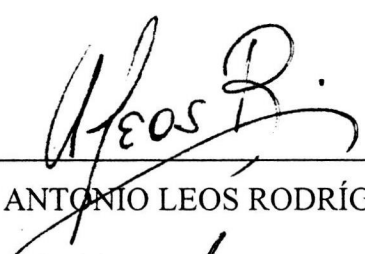


PROGRAMACIÓN MULTICRITERIO Y TOMA DE DECISIONES EN LA EMPRESA AGRÍCOLA

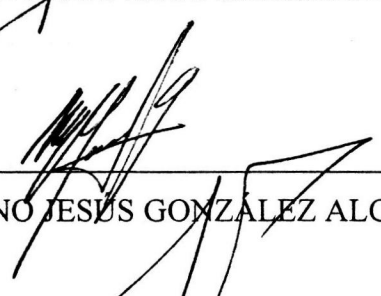
Tesis realizada por **Víctor Rafael Valdovinos Chávez**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

DIRECTOR:


JUAN ANTONIO LEOS RODRÍGUEZ

ASESOR:


MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR:


MARCOS PORTILLO VÁZQUEZ

LECTOR EXTERNO:


VINICIO HORACIO SANTOYO CORTÉS

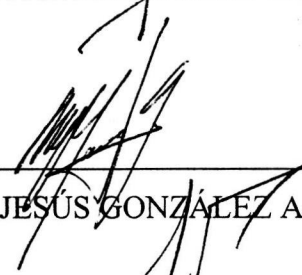
PROGRAMACIÓN MULTICRITERIO Y TOMA DE DECISIONES EN LA EMPRESA AGRÍCOLA

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Víctor Rafael Valdovinos Chávez**, autor de la presente tesis de **Doctor en Ciencias en Economía Agrícola**, estuvo constituido por:

PRESIDENTE: _____


JUAN ANTONIO LEOS RODRÍGUEZ

ASESOR: _____


MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR: _____


MARCOS PORTILLO VÁZQUEZ

LECTOR EXTERNO: _____


VINICIO HORACIO SANTOYO CORTÉS

A37751

DEDICATORIA

Con cariño,
para mis familias:

la “propia”,

la consanguínea

y la ampliada.

AGRADECIMIENTOS

Muchas son las personas e instituciones que merecen mi gratitud, por haber hecho posible la realización de este trabajo. En especial quiero agradecer:

A mi querida universidad, la Universidad Autónoma Chapingo, por las amplias facilidades que concede a todos los docentes que deseamos superarnos.

Al CONACYT, la DICEA y la Preparatoria Agrícola, por los apoyos concedidos.

A mi Director de tesis, los integrantes del H. Comité Asesor y el Revisor Externo, por sus atinadas indicaciones y por el tiempo dedicado a la revisión del borrador.

Al Dr. Pablo Lara, de la Universidad de Córdoba, al Dr. Carlos Romero, de la Universidad Politécnica de Madrid y al Dr. Francisco Amador, de la Universidad de Córdoba por las atenciones otorgadas y por su valiosa asesoría.

Al M.C. Heriberto Estrella, la Ph.D. Valentina Mariscal y los colegas de PROLEA, por su esmerado apoyo en el trabajo de campo. Y al M.C. Carlos Sánchez y el Ing. J. Guadalupe Gaytan, por su calificada asesoría en las áreas de Nutrición Animal y Maquinaria Agrícola, respectivamente.

A mi esposa Rocio, por sus excelentes revisiones y por la generosidad de su cariño y, a nuestros tres retoños: Erandi, Yunuen y Víctor, por alegrar la existencia.

A mis profesores, mis compañeros de clase y todas aquellas personas que de alguna forma fueron copartícipes de esta tarea.

De acuerdo con mis cálculos, he dedicado 3.5 (años) x 300 (días) x 8 (horas) = 8,400 horas, a mi formación doctoral. Y justo ahora me entero de que lo importante no es la cantidad de tiempo que se dedique a una tarea, sino la calidad y trascendencia de lo realizado. Por ello, sólo me queda esperar la indulgencia del devenir.

Víctor R. Valdovinos Ch.

DATOS BIOGRÁFICOS

a) Datos generales

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Nombre completo | Víctor Rafael Valdovinos Chávez |
| 2. Lugar y fecha de nac. | Tenamaxtlán, Jalisco. Septiembre 24 de 1949 |

b) Escolaridad

- | | |
|-----------------|--|
| 1. Licenciatura | 1971-76: Ing. Agrónomo especialista en Economía Agrícola. UACH |
| 2. Maestría | 1987-89: Economía del Desarrollo Rural. UACH |
| 3. Doctorado | 1997-00: Ciencias en Economía Agrícola. UACH |

c) Capacitación

- | | |
|-----------------------|---|
| 1. Estudio posgradual | 1983-85: Planeación Agropecuaria. Universidad Humboldt de Berlín, Alemania |
| 2. Diplomado | 1992: Management Contemporaneo. UACH |
| 3. Diplomado | 1994: Enseñanza de las Ciencias Básicas. UACH |
| 4. Cursos varios | 1977-00: Más de 40 cursos en los campos de la didáctica, la metodología de las ciencias, las matemáticas, la estadística y la computación. UACH |
| 5. Idiomas | Inglés (TOEFL) y Alemán (conversación) |

d) Cursos impartidos

- | | |
|-------------------------|--|
| 1. Nivel medio-superior | Algebra I y II, Geometría y Trigonometría, Geometría Analítica, Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Introducción a la Estadística e Introducción al Cómputo |
| 2. Nivel Licenciatura | Planeación Económica, Matemáticas II, Investigación de Operaciones, Programación Matemática |
| 3. Nivel Maestría | Programación Matemática |

e) Publicaciones

- | | |
|-------------|---|
| 1. Diversas | Notas de clase (2), artículos (5), folletos (1), propuestas diversas (6) (CEMEC, nuevas carreras, etc.) |
|-------------|---|

f) Comisiones

- | | |
|-------------|--|
| 1. Diversas | Coordinador de Área, Consejero Deptal., etc. |
|-------------|--|

PROGRAMACIÓN MULTICRITERIO Y TOMA DE DECISIONES EN LA EMPRESA AGRÍCOLA

Víctor Rafael Valdovinos Chávez

Resumen

Bajo la dirección de Juan Antonio Leos Rodríguez.

Se investigó la pertinencia de los enfoques de programación monocriterio y multicriterio (básicamente la programación lineal y la multiobjetivo) para resolver situaciones problema en las que se intenta satisfacer, de forma simultánea, un conjunto de objetivos conflictivos entre sí. Se presenta un repaso conceptual de algunos temas multicriterio y se contrastan ambos enfoques en términos de su adecuación a la situación problema, la eficacia de sus algoritmos de solución y sus ventajas y desventajas operativas. La información usada está referida a una explotación, con cultivos y ganado lechero, típica de la región "Altos de Jalisco". Los resultados muestran que el enfoque monocriterio tiene una adecuación menor a la situación problema, pero es más eficaz que el enfoque multicriterio; que el primero aventaja al segundo por la solidez y sencillez de la base conceptual; y que el segundo supera al primero por el número y significado de las soluciones generadas. Se recomienda que en las aplicaciones prácticas se complementen ambos enfoques.

Palabras clave: Enfoques de programación, programación multiobjetivo, programación lineal, solución eficiente y solución óptima.

MULTI-CRITERIA PROGRAMMING AND DECISION-MAKING IN AGRICULTURAL BUSINESS

Víctor Rafael Valdovinos Chávez

Abstract

Under the direction of Juan Antonio Leos Rodríguez.

Mono-criterion and multi-criteria programming approaches (basically linear and multi-objective programming) were studied to evaluate their appropriateness in the solution of problem situations in which it is intended that a set of conflicting objectives be simultaneously satisfied. Some multi-criteria themes are presented in a conceptual review, and both approaches are contrasted in terms of their suitability for a problem situation, the effectiveness of their algorithmic solutions and their operative advantages and disadvantages. The information used refers to a typical agricultural business in the region of Altos de Jalisco with crops and dairy cattle. The results showed that the mono-criterion approach is less suitable in this situation. The first one is more advantageous than the second one in terms of its conceptual basis, but the second one surpasses the first in the number and meaning of solutions found. It is recommended that in practical applications the two approaches be used to complement each other.

Key words: programming approaches, multi-objective programming, linear programming, efficient solution, optimal solution.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO CONTEXTUAL	3
2.1. Panorama regional	3
2.1.1. Aspectos físicos	3
2.1.2. Aspectos económicos	3
2.1.3. Aspectos sociales y culturales	4
2.2. Explotación de referencia	5
2.2.1. Características de la producción agrícola	5
2.2.2. Características de la producción pecuaria	7
2.3. Posible impacto del trabajo	7
III. MARCO CONCEPTUAL	9
3.1. Toma de decisiones e investigación de operaciones	9
3.1.1. Toma (análisis) de decisiones	9
3.1.2. Investigación de operaciones	10
3.2. Enfoques y temas de programación	13
3.2.1. El enfoque monocriterio	14
a) Programación lineal (PL)	15
b) Programación <i>no</i> lineal (PNL)	17
3.2.2. El enfoque multicriterio	18
a) Programación multiobjetivo (PMO)	20
b) Programación fraccional (PF)	27
c) Programación de metas (PM)	31
d) Proceso jerárquico analítico (PJA)	32
e) Funciones de utilidad multiatributo	33

IV. PROBLEMÁTICA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS	35
4.1. Problemática	35
4.2. Objetivos	36
4.3. Hipótesis	36
V. METODOLOGÍA	37
VI. COEFICIENTES TÉCNICOS	40
6.1. Coeficientes técnicos en cultivos	40
6.1.1. Costos de producción y margen bruto	40
6.1.2. Horas máquina	41
6.1.3. Jornales	43
6.1.4. Matriz de coeficientes para cultivos	45
6.2. Coeficientes técnicos en dietas	47
6.2.1. Composición de los ingredientes	47
6.2.2. Matriz de coeficientes para dietas	49
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
7.1. Modelos para cultivos	52
7.2. Modelos para dietas	57
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
8.1. Conclusiones	64
8.2. Recomendaciones	66
REFERENCIAS	66
ANEXOS	71
Anexo A1: Modelos y resultados monocriterio	
Anexo A2: Modelos y resultados multicriterio	
Anexo B: Costos de producción de los cultivos	

RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS

<u>Tabla</u>	T í t u l o	Página
1.	Tabla de pagos (resultados)	9
2.	Clases de soluciones eficientes	23
3.	Matriz decisional	33
4.	Horas máquina por hectárea para los cultivos de interés	42
5.	Jornales por hectárea para diferentes actividades	43
6.	Jornales por hectárea para los cultivos de interés	44
7.	Coeficientes para los modelos de producción	46
8.	Composición de los ingredientes (alimentos)	47
9.	Coeficientes para los modelos de dietas	49
10.	Resultados del modelo de producción 1 (mop1)	52
11.	Resultados de los modelos de producción 2 y 3 (mop2 y mop3)	54
12.	Resultados del modelo de producción 4 (mop4)	56
13.	Resultados de los modelos de dietas 1 y 2 (mod1 y mod2)	57
14.	Soluciones eficientes en el modelo de dieta 1 (mod1)	59
15.	Ensayos en diferentes dietas con PMO	62

<u>Figura</u>	T í t u l o	Página
1	Soluciones eficientes y soluciones dominadas	23

GLOSARIO

- **Algoritmo heurístico.** Un algoritmo que proporciona en forma eficiente soluciones aproximadas satisfactorias para un modelo determinado.
- **Atributo.** Aspecto de la realidad objetiva de particular interés para el centro decisor que, normalmente, es expresado mediante una función matemática.
- **Centro decisor** (decisor). Persona o colectivo en quien recae la tarea de decidir.
- **Costos de producción** (capital de operación). Desembolso por concepto de insumos, labores de cultivo, servicios (seguro, etc.) e intereses.
- **Criterio.** Término genérico para referirse a un atributo, objetivo o meta.
- **Función de distancia.** Expresión que representa una generalización de la distancia euclídea.
- **Investigación de operaciones.** Conjunto de métodos y técnicas (cuantitativos) que dan fundamento al enfoque científico de la toma de decisiones.
- **Margen bruto** (ganancia). Diferencia entre ingresos totales y costos totales.
- **Matriz (tabla) de pagos.** Tabla formada por los pagos que resultan de la combinación entre alternativas de decisión y estados de la naturaleza.
- **Meta.** Atributo con un “nivel de aspiración” específico.
- **MLP** (Multi-objective Linear Programming). Software interactivo diseñado para resolver modelos lineales con más de un objetivo.
- **NIMBUS** (Nondifferentiable Interactive Multiobjective Bundle-based optimization System). Software interactivo diseñado para resolver modelos multiobjetivo complejos, con restricciones y objetivos que pueden ser no lineales e incluso no diferenciables.
- **Objetivo.** Atributo con una “dirección de mejora”.
- **Óptimo de Pareto.** Un colectivo está en un óptimo de Pareto, cuando ninguno de sus miembros puede mejorar su situación sin que empeore al menos la de algún otro.
- **Proceso jerárquico analítico (PJA).** Procedimiento multicriterio que permite incorporar al modelo juicios de valor sobre la importancia de los atributos.
- **Programación compromiso.** Extensión de la programación multiobjetivo que permite incorporar al programa las preferencias del centro decisor.

- **Programación de metas (PM).** Procedimiento de programación que permite cuantificar la magnitud de las desviaciones entre un conjunto de metas y sus “blancos”.
- **Programación fraccional (PF).** Procedimiento de programación que permite incorporar al programa los objetivos que se expresan como cocientes (fracciones).
- **Programación monocriterio.** Abarca los programas, lineales o no lineales, que se expresan con sólo un criterio (objetivo).
- **Programación multicriterio (PMC).** Abarca los programas, lineales o no lineales, que se expresan con más de un criterio (objetivo).
- **Programación multiobjetivo (PMO).** Abarca los programas, lineales o no lineales, que se expresan con más de un objetivo.
- **Programación no lineal (PNL).** Abarca los programas para los cuales la función objetivo, una o más de las restricciones, o ambas cosas a la vez, son no lineales.
- **Programación tradicional (PL).** Abarca los programas expresados mediante una función objetivo lineal y un conjunto de restricciones lineales.
- **Punto anti-ideal.** Vector constituido por los peores valores que alcanzan los objetivos de un programa.
- **Punto ideal.** Vector constituido por los valores óptimos que alcanzan los objetivos de un programa.
- **QSB (Quantitative Systems for Business).** Software interactivo diseñado para resolver diferentes modelos en investigación de operaciones.
- **Simplex multicriterio.** Método simplex adaptado a programas con criterios múltiples.
- **Solución dominada (inferior).** Solución para la cual, existe otra solución que alcanza un valor mayor o igual en todos los objetivos y mayor en al menos uno de ellos.
- **Solución eficiente (pareto óptima).** Solución para la cual, no existe otra solución que alcance un valor mayor o igual en todos los objetivos y mayor en al menos uno de ellos.
- **Tasa de intercambio.** Monto de un objetivo que se está dispuesto a ceder por unidad de otro objetivo.
- **Toma de decisiones.** Proceso de elección entre diferentes alternativas.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los acelerados cambios que se están dando en las áreas de la producción, la comunicación, la mercadotecnia, entre otras, junto con la creciente interacción entre las actividades económicas y los fenómenos de tipo social, político y cultural, están obligando a los centros de toma de decisiones tanto públicos como privados, a decidir el curso de diferentes procesos en situaciones cada vez más complejas.

En este ambiente de complejidad generalizada las actividades agropecuarias no podían ser la excepción. Los productores agropecuarios día con día están enfrentados a situaciones problema en las que se requiere armonizar un conjunto de propósitos que, normalmente, compiten entre sí por los recursos disponibles o que se contraponen unos con otros con respecto a los fines perseguidos.

Por otra parte, el continuo desarrollo científico y tecnológico (especialmente en la rama de la informática) ofrece cada vez más instrumentos de análisis a los tomadores de decisiones, de forma tal, que el curso de los procesos puede tener un mayor control y, de alguna manera, se pueden prever mejor las consecuencias de las aplicaciones prácticas. Quizá ello explique la creciente importancia que están cobrando las diferentes *áreas* que conforman el denominado “enfoque científico” de la Toma de Decisiones: teoría de la utilidad, análisis estadístico, gestión de recursos, Investigación de Operaciones, etc.

Dentro de los procedimientos de Toma de Decisiones sobresalen, tanto por la importancia de los problemas que permiten modelar como por la gran variedad de situaciones que se ajustan a su formato de análisis, aquellos que han sido agrupados en el campo de la Investigación de Operaciones.

El siguiente diagrama ilustra la relación de la Programación Multicriterio, el principal tema estudiado, con los campos afines del proceso de toma de decisiones:

La programación multicriterio representa un enfoque de programación que permite resolver, de una manera integral, aquellas situaciones problema en que se intenta satisfacer, a un mismo tiempo, un conjunto de objetivos conflictivos entre sí. Por ello, se pensó que sería una buena opción: a) para determinar planes de cultivo que maximicen la ganancia y minimicen el financiamiento y el empleo y, b) para formular dietas, para vacas lecheras, que minimicen el costo y maximicen la autonomía de la empresa.

En el presente trabajo, se postula que la programación multiobjetivo, el principal método multicriterio ensayado, tiene una mejor adecuación a la situación problema y puede ser más efectivo que el tradicional método de programación lineal. Para corroborar tal conjetura fue analizado un conjunto de datos, referidos a una explotación (con cultivos y ganado lechero) que representa, cualitativamente, las condiciones de la región de los "Altos de Jalisco".

Sin embargo, con dicho análisis, a más de presentar un somero recuento de los *principales* temas del paradigma multicriterio, sólo se pretende constatar la importancia práctica de este "nuevo" enfoque, a través de su aplicación a un caso específico, además de contrastarlo con el enfoque "tradicional" para, de esta manera, poder ponderar sus ventajas y limitantes recíprocas. No se pretende hacer algún aporte teórico o metodológico en el campo multicriterio, ni tampoco realizar un análisis global del funcionamiento de la explotación estudiada.

II. MARCO CONTEXTUAL

2.1. Panorama regional

A continuación se hace un breve recuento de las características físicas, económicas y socioculturales más sobresalientes en la región de estudio, con el objeto de contar con una referencia que permita ubicar los resultados de la aplicación práctica.

2.1.1. Aspectos físicos

La región de *Los Altos* se localiza en la parte NE del Estado de Jalisco, abarcando un total de 22 municipios y una superficie aproximada de 1 690 000 ha. En la región se identifican (partiendo del NE hacia el SO) cuatro zonas agroclimáticas (INIFAP, 1999): (1) la zona *templada-seca*, que registra una precipitación y una temperatura *anuales* de 390 mm y 17.5 °C, respectivamente, y suelos de color gris oscuro con menos de 50 cm de profundidad; (2) la zona *templada-semiseca*, con precipitaciones de 504 mm, temperatura de 22 °C y suelos pardos con menos de 50 cm de profundidad; (3) la zona *templada-subhúmeda*, con 604 mm de precipitación, temperatura de 18 °C y suelos pardos de hasta 100 cm de profundidad; y (4) la zona *templada-húmeda*, con 782 mm anuales, 16.5 °C y suelos rojos de hasta 100 cm.

Con relación al uso del suelo, se considera que un 22% es de uso agrícola, 69% de uso pecuario, 4% de uso forestal y 5% para otros usos. En términos fisiográficos, el 78% del terreno es lomerío, 15% ondulado, 5% plano y 2% accidentado. Predomina en la región la vegetación crasicaule, espinosa y caducifolia y el pastizal abierto que, por cierto, presenta una marcada erosión debida al sobrepastoreo.

2.1.2. Aspectos económicos

La situación climática imperante junto con las condiciones de la vegetación, las fisiográficas y las edáficas, así como el peso específico de los antecedentes sociales y culturales, han interactuado de forma tal que terminaron por imprimir a la economía de la región una vocación marcadamente agropecuaria. El sector agropecuario abarca, de forma

directa o indirecta (agroindustria, servicios relacionados, etc.) alrededor del 56% de la actividad económica de la región, en tanto que, la industria de la ropa y los tejidos suma un 21%, el comercio un 13% y la construcción un 10% (INEGI, 1994).

Asimismo, su ubicación geográfica estratégica y la buena red de comunicaciones, hacen de Los Altos de Jalisco una región privilegiada con respecto a las facilidades para la compra y venta de productos y servicios con las ciudades de Guadalajara, León, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí y las ciudades de la región de El Bajío.

Se afirma (González, 1996) que, desde el arribo de la Compañía Nestlé al municipio de Lagos de Moreno, en 1942, la región fue transformando su estructura productiva, desde una producción centrada en el ganado de carne, la artesanía del cuero y el ordeño doméstico, hacia la producción especializada de leche y sus derivados, hasta llegar a ser la principal cuenca lechera de Jalisco (con el 70% de la producción estatal) y una de las más importantes en todo el país (11% de la producción nacional). También se indica que, de las 840 000 cabezas de ganado lechero del Estado (Jalisco), un 45% se encuentra en la región alteña.

2.1.3. Aspectos sociales y culturales

González (1996) señala que, desde los inicios del período colonial, la región de Los Altos se fue especializando en el abasto de productos ganaderos (carne, cueros, leche, quesos) a las regiones mineras vecinas; que hasta la primera mitad del siglo XX la ganadería para leche estuvo restringida al ámbito familiar, con algunos casos de abasto al mercado local y; que la agricultura de la región normalmente se ha caracterizado por ser una actividad de apoyo a la producción ganadera, como lo evidencia la orientación forrajera de la estructura de cultivos.

La región cuenta con aproximadamente 200,000 habitantes y una población económicamente activa (PEA) de 56,000 personas que en un 28% se dedicaban a actividades agropecuarias, un 22% a labores industriales y sólo un 13% a los servicios. Se afirma (Rodríguez y Chombo, 1998), que un sector importante de la PEA, compuesto

principalmente por jóvenes, emigra hacia la ciudad de Guadalajara, el D.F., las capitales de los Estados vecinos y, especialmente, hacia los EE.UU., de donde fluye una parte significativa de los fondos que apuntalan la producción agropecuaria de la zona.

También se afirma (González, 1996), que a pesar de que la mayoría de las explotaciones acusan una baja rentabilidad, hoy por hoy son las actividades agropecuarias (en especial las relacionadas con la producción lechera) las que le dan *sentido y tradición* a la producción alteña que, al parecer, cada vez más afianza su vocación ganadera.

2.2. Explotación de referencia

Al inicio de la investigación se captaron datos de operación en tres unidades de producción: una de tamaño “familiar” con 23 vacas, otra de tamaño “mediano” con 60 vacas y una mas de tamaño “grande” con 135 vacas en ordeño, porque se suponía que el tamaño de la explotación podría tener alguna influencia tanto en su eficiencia operativa como en la eficacia analítica de la metodología por usar. Pero como los datos resultaron muy semejantes, se optó por referir la información aportada por productores, técnicos y especialistas (costos de cultivos, ingredientes disponibles, etc.) a una *explotación “hipotética”*, que tipificara las condiciones y características de la producción agropecuaria de la zona.

Tal explotación, de naturaleza “mixta” (con cultivos y ganado lechero), presenta las características que enseguida se detallan.

2.2.1. Características de la producción agrícola

Una superficie de *cien* hectáreas con agricultura de *temporal*: 50% con pasto natural (*Boutelouva gracilis*), 20% con pasto inducido (*Cynodon dactylon*, *Chloris gayana* o *ambos*) y 30% con cultivos, principalmente forrajeros.

Los cultivos que fueron considerados son los siguientes:

1. Avena forrajera para henificar (*Ah*)

2. Frijol común (*Fc*)
3. Maíz para grano (*Mg*)
4. Maíz para henificar (*Mh*)
5. Maíz para ensilar (*Ms*)
6. Pasto par henificar (*Ph*)
7. Pasto verde, para pastoreo directo (*Pv*)
8. Sorgo para grano (*Sg*) y
9. Sorgo para ensilar (*Ss*)

Se excluyó el cultivo de la alfalfa (que tiene una evidente importancia forrajera en la zona) porque, normalmente, no es un cultivo de temporal y porque las explotaciones que disponen de agua para riego son escasas en la región. Tampoco se incluyó el cultivo del agave (que en los últimos años ha adquirido una considerable importancia económica), en gran medida, tanto por tratarse de un cultivo que *no* es anual, como por su reducido valor forrajero.

En los modelos ensayados se incluyó un mínimo de 20 ha de pasto (*Ph*, *Pv* o ambos), principalmente por dos razones: (1) en general, la pradera es menos vulnerable que el resto de los cultivos considerados a las deficiencias de humedad. Y las lluvias en la región son limitadas y erráticas; (2) las condiciones del terreno: pendiente, piedras y pobreza del suelo, dificultan seriamente el laboreo o la rentabilidad de los otros cultivos.

Aunque el cultivo del frijol es de escaso valor forrajero (sólo aporta algunas pacas de paja), se decidió incluirlo por las razones siguientes: (1) es el cultivo que ocupa el tercer lugar con respecto al margen bruto; (2) su aporte de N al suelo tiene algún impacto en el costo de fertilización; (3) la *rotación* entre frijol y gramíneas puede ayudar a combatir plagas y enfermedades; (4) el frijol es un componente básico de la dieta humana en la región; y (5) los modelos con restricciones de *rotación de cultivos* son un caso frecuente en la programación aplicada.

2.2.2. Características de la producción pecuaria

Un hato de 160 animales: 100 vacas lecheras (en lactación y secas) y 60 animales en crecimiento (vaquillas y becerras). Las vacas son de raza Holstein, con un peso aproximado de 600 kg y una producción promedio de 25 L de leche al día.

Aunque, por el número de animales, la explotación de referencia rebasa el promedio de la zona, se consideró que es un recurso valioso para contrastar las bondades y limitaciones de los enfoques de programación tradicional (PL) y multicriterio (PMC) y que puede servir como una referencia metodológica para futuras aplicaciones prácticas. Además, debe tenerse en cuenta que los datos utilizados son el resultado de una cuidadosa encuesta de campo que fue depurada con posteridad por especialistas de las diversas áreas involucradas (agronomía, maquinaria, nutrición, etc.), y que no se pretende utilizar el trabajo para derivar recomendaciones que sean válidas a nivel regional.

2.3. Posible impacto del trabajo

Aunque, a nivel mundial, día con día se incrementan las aplicaciones exitosas de la programación multicriterio, en temas tales como el control de calidad, la inversión, la ingeniería, las mezclas, la producción, etc. (Romero (1999) reporta una amplia bibliografía en diecinueve temas diferentes), seguramente a nivel de las explotaciones agropecuarias del país (México) tal aplicación seguirá siendo mínima, sobre todo por la limitada asistencia técnica que ofrecen las instituciones del ramo (SAGAR, FIRA, etc.) y por la resistencia natural de los productores a la adopción de técnicas aún no probadas.

No obstante lo anterior, la programación multicriterio es un instrumento de análisis bastante flexible, que se adecua fácilmente a las condiciones y circunstancias de la situación problema y en función de los propósitos particulares del productor. Tal vez, después de algunas aplicaciones como la presente, resulte más nítida su importancia en problemas tales como el cálculo de los recursos que demanda un volumen específico de producción, la determinación de planes de cultivo que cumplan varios objetivos a la vez o la formulación de raciones alimenticias. Sin duda, los productores serán más receptivos en la medida en que se muestren resultados prácticos positivos.

En el ámbito universitario es posible que se logre un impacto positivo, sobre todo en lo relativo a la apertura de nuevas líneas de investigación y/o en la modificación de los planes y programas de estudio en los que se incluyan materias relacionadas, tales como la investigación de operaciones, la programación matemática, o similares.

III. MARCO CONCEPTUAL

3.1. Toma de decisiones e investigación de operaciones

Antes que nada, debe tenerse presente que la programación multicriterio (y, desde luego, los temas abarcados por esta disciplina), representa un procedimiento de análisis que se articula con otras esferas de la actividad teórica y práctica en la secuencia siguiente: programación multicriterio → programación matemática → investigación de operaciones → toma de decisiones → resolución de problemas. En los siguientes apartados, se presentará un breve repaso de los conceptos, métodos y técnicas más importantes de cada una de estas temáticas.

3.1.1. Toma (análisis) de decisiones

En términos generales, la teoría de decisiones se ocupa de las decisiones “contra la naturaleza”, es decir, de situaciones en las que el resultado de una decisión depende de la acción de un agente (naturaleza) sobre el cual no se tiene control. En estos casos los resultados sólo afectan a quien toma la decisión, la naturaleza no “valora” el resultado. Tal condición hace la diferencia con la teoría de juegos.

Tabla 1. Tabla de pagos (resultados).

	e_1	e_2	...	e_j	...	e_n
d_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1j}	...	r_{1n}
d_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2j}	...	r_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
d_i	r_{i1}	r_{i2}	...	r_{ij}	...	r_{in}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
d_m	r_{m1}	r_{m2}	...	r_{mj}	...	r_{mn}

En los modelos de decisión es fundamental la información proporcionada por la *tabla de pagos* (resultados, decisiones, etc.), que registra las alternativas de decisión, los estados de la naturaleza y los respectivos resultados. El proceso de decisión es como sigue:

1. El decisor selecciona una de las alternativa de decisión $d_1, \dots, d_m$.
2. Una vez tomada la decisión, ocurre un estado de la naturaleza $e_1, \dots, e_n$.
3. El resultado r_{ij} se encuentra en la intersección de d_i y e_j . Si la decisión es d_1 y ocurre el estado e_2 , el resultado es r_{12} .

Se distinguen tres clases (tipos) de decisiones contra la naturaleza:

1. Decisiones *bajo certidumbre*. Cuando se tiene sólo un estado de la naturaleza, es decir, existe un resultado único para cada decisión. Bajo esta categoría quedan comprendidos todos los modelos del presente trabajo.
2. Decisiones *bajo riesgo*. Cuando se tiene más de un estado de la naturaleza y se dispone de datos previos que permiten estimar la probabilidad con que ocurre cada estado considerado.
3. Decisiones *bajo incertidumbre*. De nuevo, hay más de un estado de la naturaleza pero el decisor no puede o, en ocasiones, no quiere estimar la probabilidad asociada a cada estado considerado.

En éste último caso, la decisión va a depender de la actitud que el decisor adopte frente al riesgo, pudiendo decidir entre cinco *criterios* fundamentales: (1) el de Laplace, (2) el *maximin*, (3) el *maximax*, (4) el de *mínimo arrepentimiento* y (5) el de *máximo valor medio*. Una exposición detallada de estos criterios puede verse en Eppen *et al.*, (1999).

3.1.2. Investigación de Operaciones

Aunque los estudios en Investigación de Operaciones datan de los años veinte, con los trabajos realizados en torno al control de inventarios y la problemática del transporte masivo, se ha generalizado la idea de que tal cuerpo de conocimientos adquirió su fisonomía particular hasta la década de los 50', una vez concluida la segunda guerra

mundial, al fundarse en la Gran Bretaña, en el año de 1953, The Institute of Management Sciences (TIMS) que empezó a publicar, a partir de octubre de 1954, la revista Management Science (Davis y Mckeown, 1986).

Desde tales fechas hasta nuestros días, la Investigación de Operaciones ha experimentado grandes transformaciones en amplitud y profundidad, a tal grado que se le puede considerar como uno de los campos más dinámicos y fecundos de la investigación teórica y aplicada. De ello dan cuenta el número de temas que involucra (cerca de 20), algunas decenas de publicaciones periódicas de circulación mundial, y el creciente número de científicos y técnicos que cada día se involucran en este campo del conocimiento.

Una de las ramas mas importantes de la Investigación de Operaciones es, sin duda, la Programación Matemática, dentro de la cual se incluye el tema de la Programación Lineal (PL) y el conjunto de temas que fueron surgiendo como resultado de los intentos por superar las insuficiencias de la PL. De esta manera, fue conformado el núcleo de la Programación en Enteros, la Programación Dinámica, el vasto campo de la Programación *no* Lineal y la Programación Multicriterio.

En virtud de que el objeto de estudio del presente trabajo está referido a las modalidades teóricas y aplicadas de la Programación Multicriterio (PMC) y dado que, algunas de las características esenciales de la Programación *no* Lineal, la Programación en Enteros y la Programación Dinámica, serán comentados mas adelante, en lo que resta del presente apartado se tocará, principalmente, lo relativo a la PMC.

No obstante que la Programación Multicriterio inicia en los años cincuenta, se afirma que es hasta la década de los 70' que se le puede considerar como un procedimiento de análisis con fisonomía propia. De entonces a la fecha ha sido ampliamente aceptada en casi todos los ámbitos del quehacer teórico y aplicado, como lo prueba el hecho de que, en el congreso organizado por la Asociación Europea de Sociedades de Investigación de Operaciones de 1975, sólo en el 3.5% de los trabajos presentados se abordara este tema, y que diez años después, en 1985, fuese ya del 14%.

Un rasgo adicional que corrobora su indudable importancia, se refiere al hecho de contar con una revista especializada, el *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* (Romero, 1993). Y otro tanto nos indica la bibliografía disponible: Zeleny (1982) reporta 1000 títulos, Stadler (1984) 1700 y Stancu-Minasian (1997), sólo para programación fraccional, 1088 títulos.

La Programación Multicriterio es un enfoque de programación en el cual se considera que los agentes económicos no optimizan los procesos con base en un solo criterio, sino que intentan alcanzar la *mejor* combinación de un conjunto de criterios que, usualmente, son conflictivos entre sí (Romero, 1993).

Así, en una empresa que produzca algún bien en un régimen de competencia abierta, se puede estar interesado en maximizar la ganancia esperada, al mismo tiempo que se maximiza la participación en el mercado y se minimiza el monto del financiamiento. O bien, en el sector público, se puede pensar en el significado que tendría el poder armonizar la rentabilidad de las actividades económicas con la conservación (e incluso la mejora) de los recursos disponibles y el incremento de los niveles de bienestar social.

A la fecha, la programación multicriterio es poco conocida entre los académicos del país, México, y sus aplicaciones prácticas, incluso en el ámbito internacional, son aun incipientes (French, 1998). Con la investigación planteada se pretende dilucidar sus alcances y limitaciones en la toma de decisiones en la empresa agrícola.

De acuerdo con Romero (1993), el antecedente más remoto de la Programación Multicriterio lo constituye el concepto de “optimalidad paretiana”, enunciado por V. Pareto en 1896. Sin embargo, el *origen* de la “revolución multicriterio” lo constituyen los trabajos realizados por Koopmans y por Kuhn y Tucker quienes, en 1951, desarrollaron los conceptos de vector eficiente y de soluciones eficientes, respectivamente, junto con los trabajos de Charnes, Cooper y Ferguson quienes, en 1965, presentaron los aspectos esenciales de la programación por metas.

Estas ideas pioneras fueron desarrolladas por otros investigadores a lo largo de dos décadas, hasta que, en octubre de 1972, tuvo lugar la I Conferencia Mundial sobre Toma de Decisiones Multicriterio (*Multiple Criteria Decision Making*), celebrada en los Estados Unidos, en la Universidad de Carolina del Sur. Tal evento se considera que marca el “nacimiento” del paradigma multicriterio y, por tanto, el comienzo de un nuevo período de “ciencia normal” en el campo de las ciencias de la decisión (Romero, 1993).

En la Conferencia de Carolina del Sur se acordó constituir el Grupo Especial Interesado en la Toma de Decisiones Multicriterio (*Special Interest Group on Multiple Criteria Decision Making*), que más tarde se convirtió en la actual Sociedad Internacional de Toma de Decisiones Multicriterio (*International Society on Multiple Criteria Decision Making*). Este grupo ha organizado desde entonces varias conferencias en diferentes partes del mundo, la última de las cuales tuvo lugar en Ankara, Turkía, del 10 al 14 de julio del año en curso (2000).

Con respecto a la literatura generada en el contexto multicriterio sobresalen, entre otros, los trabajos de Charnes y Cooper, (1962); Goicoechea *et al.*, (1982); Ignizio, (1982); Zeleny, (1982); Yu, (1985); French, (1986); Steuer, (1986); Romero y Rehman, (1989); Saaty y Alexander, (1989); Romero, (1993); Stancu-Minasian, (1997) y Miettinen, (1999).

3.2. Enfoques y temas de programación

Atendiendo al número de objetivos involucrados en un modelo de programación matemática, los científicos en toma de decisiones e investigación de operaciones distinguen dos grandes enfoques o paradigmas de programación: la programación de criterio único (monocriterio) y la programación multicriterio y, dado que esta última queda comprendida en el campo de la programación matemática, se decidió iniciar este apartado con algunas precisiones sobre el particular.

Se puede afirmar que la Programación Matemática es una rama de la Investigación de Operaciones que aborda la resolución de problemas empíricos apoyándose básicamente en la modelación matemática.

En un modelo matemático convencional, normalmente, se pueden distinguir las componentes siguientes:

1. Un conjunto de *alternativas* de decisión, que son identificadas por medio de las llamadas *variables de decisión*
2. Un *criterio* de mejora, expresado mediante una relación específica de las variables de decisión, a través de una *ecuación matemática* y
3. Un conjunto de *ecuaciones o desigualdades* que representan las restricciones específicas del problema.

Una somera revisión bibliográfica permite constatar que los modelos de programación más conocidos hasta fines de los sesenta (y que, a la fecha, siguen siendo los más populares), fueron los *modelos lineales*, sin duda, tanto por el conjunto de problemas que permiten modelar como por su eficacia y su facilidad operativa. Sin embargo, la *Programación Lineal* (PL) está basada en un conjunto de supuestos que limitan en la práctica la eficiencia de su aplicación. Los esfuerzos que se emprendieron para superar tales limitaciones incrementaron, significativamente, el número de temas que se incluyen en el campo de la programación matemática.

3.2.1. El enfoque monocriterio

El enfoque de programación monocriterio, también denominado como enfoque tradicional o de criterio único, abarca todos aquellos modelos que son formulados con sólo un criterio. Tales como los modelos de Lagrange, la programación lineal, la programación cuadrática y otros modelos no lineales.

En el presente apartado se abordarán algunos aspectos básicos de la programación lineal y se hará un breve esbozo de la programación no lineal.

a) Programación lineal (PL)

Se puede decir que, desde que el estadounidense George B. Dantzig estableció los fundamentos de la PL en 1947 (Davis y McKeown, 1986), esta técnica se ha convertido en el caballito de batalla de la programación, en virtud de tres aspectos principales:

1. El procedimiento que da sustento a esta poderosa herramienta de análisis, el denominado *método simplex*, es una técnica conceptualmente muy sólida y de fácil aplicación.
2. Tanto la formulación de los modelos de PL como la interpretación de sus resultados son aspectos bastante accesibles para quien entienda los principios básicos de la programación.
3. Existe una buena cantidad de situaciones reales que se adaptan convenientemente al formato de PL sin que sea necesario aplicarles una “poda” excesiva.

No obstante lo anterior, la PL también es portadora de una serie de *características* que hacen difícil su aplicación en un sinnúmero de problemas interesantes. Las más importantes están referidas a su *determinismo*, su *continuidad*, su carácter *estático*, su *linealidad* y su carácter *monocriterio* (Guerras, 1989).

- a) El valor de los parámetros de un modelo PL es estimado en términos de *certeza*, cuando en realidad ese valor siempre varía dentro de un rango específico. Lo anterior constriñe en gran medida el alcance de los resultados obtenidos, ya que su validez estará restringida al valor alcanzado por los valores unitarios (c_j), los lados derechos (b_i) y la matriz de coeficientes técnicos (A_{ij}). Tal limitación fue superada con el desarrollo de tres nuevas áreas: el *análisis de sensibilidad*, que permite investigar los rangos en los que pueden variar los parámetros del modelo sin que cambie la solución óptima; la

programación paramétrica, que posibilita un análisis *ex-ante* de las variaciones posibles de los parámetros; y la *programación estocástica*, que considera a los parámetros del modelo como variables aleatorias asociadas a una distribución de probabilidad

- b) En los modelos de PL se parte del supuesto de que las variables de decisión sólo pueden tomar *valores continuos*. Sin embargo, parece evidente que no tendría sentido, por ejemplo, recomendar a la empresa Boeing la producción de 2.37 aviones al año. Para enfrentar éste y otros tipos de problemas similares se desarrolló la *programación en enteros* y sus variantes (como el uso de variables dicotómicas: 0 o 1).
- c) Otra gran limitante que está asociada con la PL es su carácter *estático*. Ocurre con relativa frecuencia que después de invertir tiempo, dinero y esfuerzo para calcular los parámetros principales de un modelo lineal (C_j , b_i y A_{ij}), cuando todo está a punto para su aplicación, la situación problema ya ha cambiado radicalmente. Aunque ésta deficiencia en parte ha sido resuelta por el mencionado *análisis de sensibilidad* y los respectivos *precios sombra*, se tuvo que desarrollar un enfoque específico de programación que aborda los problemas en su devenir temporal: la *programación dinámica* y sus variantes como la *programación multiperiodica*.
- d) Una más de las deficiencias de PL está referida al carácter *lineal y separable* de los fenómenos bajo estudio. Supuesto que descarta, por ejemplo, los rendimientos crecientes o decrecientes y las economías de escala (Pereda *et al.*, 1999). En respuesta a tal deficiencia se ha desarrollado la *programación cuadrática* y las diferentes vertientes de la *programación no lineal*, las cuales, hoy en día, posibilitan la resolución incluso de problemas con funciones no diferenciables.
- e) Por último, es característico que los modelos de PL incluyan un único criterio de optimización, es decir, se parte del supuesto de que el centro decisor está interesado en un único objetivo para cada esfuerzo de programación, cuando en la mayoría de los problemas operativos esto es más la excepción que la regla. Es ésta la complicación que

se intenta subsanar con distintas variantes de *programación multicriterio*: la teoría de la *utilidad multicriterio*, la *programación por metas* y la *programación multiobjetivo*.

Resumiendo: frente a la restricción de *continuidad* en las variables de decisión, fue desarrollado el campo de la *programación en enteros*; el carácter *estático* de la PL, motivó el desarrollo de la *programación dinámica*; la exigencia de *linealidad* tanto en la función objetivo como en las restricciones del modelo, dio origen al campo de la *programación no lineal* y; ante la limitante de un *criterio único*, tuvo lugar el desarrollo de la *programación multicriterio*.

b) Programación no lineal (PNL)

Las expresiones matemáticas que representan las relaciones esenciales de diversos fenómenos de interés en la producción, la administración, la ingeniería, las finanzas, etc., pueden *no ser lineales*, porque no lo es la(s) función(es) objetivo del modelo, alguna(s) de las restricciones, o ambas cosas a la vez.

Por ejemplo, si la cantidad vendida de una mercancía depende de su precio de venta, la respectiva función de ingreso tendría la representación siguiente:

$$\text{Ingreso} = \text{Precio} \times \text{Ventas} = p \times f(p),$$

que es una expresión no lineal en la variable p (Eppen *et al.*, 1999).

En general, algunas de las razones más importantes de la *no* linealidad en las relaciones entre variables son: (a) la ausencia de proporcionalidad, (b) el carácter no aditivo y, (c) las economías de escala.

Sin embargo, aunque los fenómenos no lineales sean más la regla que la excepción, los modelos respectivos no tienen un uso tan frecuente como el que tienen los modelos lineales, principalmente por tres (3) razones:

- 1) No existe un método de aplicación general, como sucede con el simplex de PL. De forma similar a lo que ocurre con la resolución de ecuaciones diferenciales, casi se podría decir que existe un método para cada tipo de problema.
- 2) Los algoritmos de solución encontrados, a más de que pueden resultar demasiado complicados, no siempre conducen a la solución óptima, y si lo hacen, puede ocurrir que el óptimo alcanzado sea diferente al óptimo global.
- 3) No son escasas las situaciones de la vida real, en las que, los modelos lineales proporcionan *aproximaciones satisfactorias* a los modelos no lineales. De ello y de la eficiencia y simplicidad del método simplex, se puede decir que deriva la popularidad de la PL.

No obstante la existencia de varios métodos para la resolución de los modelos no lineales (Hillier y Lieberman, 1996), los tres (3) tipos de procedimientos que registran la mayor frecuencia de uso son: (a) el gradiente reducido general, (b) la programación lineal sucesiva y, (c) la programación cuadrática sucesiva (Eppen *et al.*, 1999).

El planteamiento y resolución de modelos no lineales parece ser uno de los campos más abiertos y promisorios de la programación matemática aplicada (Hillier y Lieberman, 1996).

3.2.2. El enfoque multicriterio

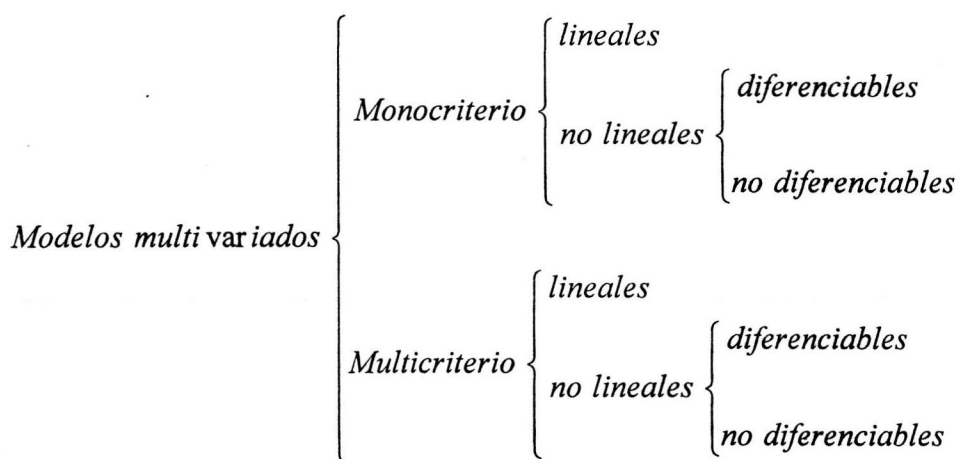
La base del enfoque multicriterio lo constituye la conjetura de que en muchos contextos decisionales los agentes económicos no pretenden optimizar sus decisiones con base en un sólo criterio sino que, ante todo, buscan un equilibrio o compromiso entre un conjunto de criterios en conflicto o bien tratan de satisfacer una serie de metas asociadas a dichos criterios (Romero, 1997).

Si la situación decisional sólo consta de un criterio relevante, no se tiene propiamente un problema de decisión, sino el problema de buscar la alternativa de acción

que mejor satisfaga al criterio. En cambio, cuando se tiene más de un criterio relevante, se estará frente a un verdadero problema de decisión, en virtud de que, la alternativa de acción que más favorezca a alguno de los criterios, normalmente, no será la más favorable para algún otro.

Los problemas de decisión de un criterio único son conocidos como problemas de asignación o tecnológicos (Friedman, 1962), mientras que sólo los problemas con criterios múltiples se pueden considerar como económicos.

A los *modelos multicriterio lineales* (nuestro objeto de estudio) es posible ubicarlos como modelos de programación con un grado de dificultad *intermedio*, entre la programación *tradicional* (monocriterio lineal) y la programación *multicriterio no lineal*, según se puede apreciar en el diagrama siguiente:



También se puede decir, que la investigación *de frontera*, en el campo de la programación matemática, la constituyen los modelos multicriterio no lineales y no diferenciables, como el expresado a continuación (Miettinen, 1999):

$$\begin{array}{ll}
\text{minimizar} & f(\mathbf{x}) = [f_1(x), \dots, f_k(x)] \\
\text{sujeto a} & g_1(x) \leq 0 \\
& \vdots \\
& g_m(x) \leq 0 \\
& A\mathbf{x} \leq \mathbf{b} \\
& \mathbf{x}^l \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}^u.
\end{array}$$

donde k representa el número de funciones objetivo; m es el número de restricciones no lineales; el vector de decisión $\mathbf{x}$ y sus cuotas inferior y superior son vectores de dimensión n ; $\mathbf{b}$ es un vector de dimensión l y A es la matriz de coeficientes de las restricciones no lineales, de dimensión $l \times n$.

Tomando como referencia el *contexto* de programación, se pueden distinguir cinco (5) *enfoques* de programación multicriterio: la programación multiobjetivo (PMO); la programación fraccional (PF); la programación de metas (PM); el proceso de jerarquía analítica (PJA); y las funciones de utilidad multiatributo.

En virtud de que el presente trabajo se sustenta principalmente en los conceptos, métodos y técnicas de la PMO y la PF y, puesto que, el software que ha sido utilizado en la aplicaciones multiobjetivo (el *Multiobjective Linear Programming, MLP*) está basado en el *Simplex Multicriterio*, se hará un breve recuento de los conceptos básicos de la PMO y la PF, un esbozo de sus algoritmos de solución y, algunos señalamientos sobre los otros tres enfoques mencionados.

a) Programación multiobjetivo (PMO)

A continuación se presentan los conceptos principales que dan fundamento a la programación multiobjetivo.

♦ *Modelo general multiobjetivo.*

Un *modelo general multiobjetivo* (lineal) se puede representar de la manera siguiente (Romero, 1993):

$$\begin{array}{ll}
 \text{Eff} & f(\mathbf{x}) = [f_1(x), \dots, f_i(x), \dots, f_q(x)] \\
 \text{sujeto a} & \mathbf{x} \in F \\
 & \mathbf{x} \geq 0
 \end{array}$$

donde *Eff* significa la búsqueda de soluciones eficientes; $f_i(x)$ es la expresión matemática del atributo i -ésimo; $\mathbf{x}$ es el vector de variables de decisión y F es el conjunto de soluciones factibles.

♦ *Atributo, objetivo, meta y criterio*

Atributo: es un aspecto (valor) de la realidad objetiva de particular interés para el centro decisor, normalmente expresado a través de una función matemática. Por ejemplo: el ingreso, el costo, la ganancia, el financiamiento, el volumen de producción, la mano de obra, el consumo de agua, etc.

Objetivo: es un atributo con una “dirección de mejora”. Por ejemplo: maximizar el ingreso, minimizar el costo, minimizar el financiamiento, etc.

Meta: es un atributo con un “nivel de aspiración”, es decir, se define una meta cuando se establece un valor deseado en la dirección de mejora de un atributo. Por ejemplo, la meta genérica $f_i(x) + n_i - p_i = b_i$, donde: $f_i(x)$ representa el atributo, n_i y p_i representan la desviación por abajo y por encima del valor deseado y, b_i es dicho valor.

Criterio: es el término genérico para referirse a un atributo, objetivo o meta.

♦ *Óptimo de Pareto.*

En 1896 el economista Vilfredo Pareto precisó un *criterio* de optimalidad que, debidamente adaptado, es crucial para la PMO. Pareto postula que un cambio es socialmente deseable si *mejora el bienestar* de todos los miembros de la sociedad, o al menos el de algunos, sin que se empeore el de ninguno.

Cuando la posibilidad de realizar mejoras se haya agotado, se estará en una situación que no se puede alterar sin empeorar el bienestar de algún miembro de la sociedad. Tal tipo de situación se denomina *eficiente o pareto óptima*.

El atractivo del criterio de Pareto consiste en la facilidad con que la mayoría de las personas lo aceptaría como válido. Su debilidad reside en que nada dice sobre los cambios potenciales que suponen mejoras para algunos y perjuicios para otros (Romero, 1997).

♦ *Soluciones posibles, eficientes débiles y eficientes fuertes*

Las *soluciones posibles* (factibles) se refieren a la región F que determinan las restricciones del modelo.

Una solución es *eficiente débil, inferior o dominada*, cuando es una solución factible tal que *no existe* otra solución que *mejore* el valor de todos los objetivos, es decir:

$$x' \in F \text{ es una solución eficiente } \mathbf{débil} \Leftrightarrow \\ \text{no existe } x \in F \ni f_i(x) > f_i(x') \text{ para todo } i$$

Una solución es *eficiente fuerte o pareto óptima*, cuando es una solución factible tal que *no existe* otra solución que *mejore* el valor de algún objetivo sin *empeorar* el valor de al menos algún otro, es decir:

$$x' \in F \text{ es una solución eficiente } \mathbf{fuerte} \Leftrightarrow \text{no existe } x \in F \\ \ni f_i(x) \geq f_i(x') \quad \forall i \text{ y } f_i(x) > f_i(x') \text{ para al menos un } i.$$

Si R^n representa el espacio de soluciones, F es el conjunto de soluciones *factibles* (posibles), S^d el conjunto de soluciones *débiles* y S^f el conjunto de soluciones *fuertes*, de las dos últimas definiciones es evidente que:

$$S^f \subset S^d \subset F \subset R^n$$

En la tabla siguiente se muestra un conjunto de soluciones hipotéticas para el caso de un modelo con tres objetivos

Tabla 2. Clases de soluciones eficientes.

<i>Sol. \ Obj.</i>	f_1	f_2	f_3	<i>Denominación</i>
a)	60	25	30	Eficiente-fuerte
b)	50	25	40	Eficiente-fuerte
c)	60	20	30	Eficiente-débil
d)	50	20	40	Eficiente-débil
e)	50	25	30	Eficiente-débil

1. Como ya fue indicado, las soluciones eficientes *fuertes* se corresponden con los *óptimos de Pareto*.
2. Las soluciones eficientes *débiles* son soluciones *dominadas* por alguna(s) de las *fuertes*: la c) está dominada por la a), la d) por la b) y la e) por ambas.

Con el propósito de reafirmar este concepto que es *crucial* en la PMO, supóngase que en la gráfica siguiente (Figura 1) se representa el espacio de los objetivos de un proceso productivo hipotético:

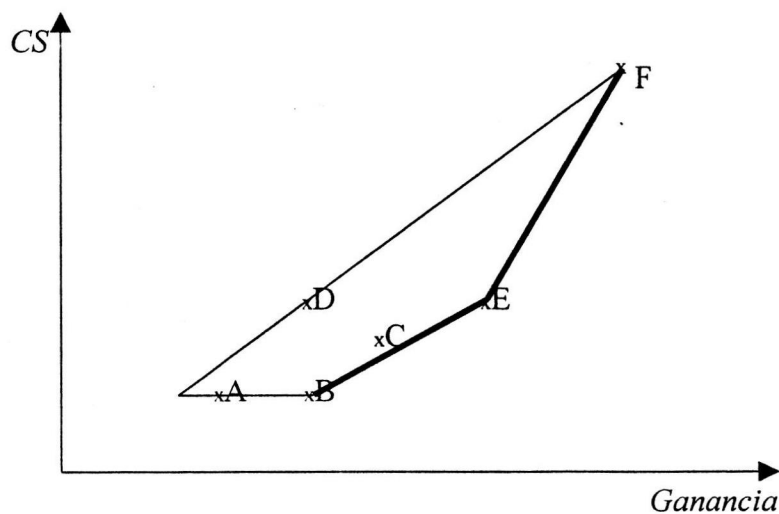


Figura 1. Soluciones *eficientes* y soluciones *dominadas*.

Si en el eje vertical se representa el Costo Social (o *externalidades*) de un proceso productivo y en el eje horizontal los diferentes niveles de la Ganancia (privada), es evidente que el punto A es un punto *dominado* (eficiente débil), ya que con el mismo nivel de CS se tiene una menor *G* que en el punto B.

Algo similar ocurre con el punto D, que es un punto *dominado* tanto por el punto B (con igual *G* y menor CS), como por el punto E (con igual CS pero con mayor *G*), e incluso es superado por el punto C, que también es dominado.

En este caso (hipotético), el conjunto de puntos *eficientes* (pareto óptimos) está formado por los puntos contenidos en la poligonal B-E-F.

♦ *Simplex multicriterio.*

Con base en estos sencillos ingredientes el *Simplex Multicriterio* (SM) genera las *soluciones eficientes* (si es que las hay) mediante un proceso iterativo que sólo difiere del *Simplex Convencional* en el criterio para pasar de una solución básica factible (extremo) a otra y en la forma de decidir si una solución específica es o no eficiente. Sin embargo, debe decirse que, aunque el SM es un método con una gran solidez teórica, también es de una baja operatividad práctica, debido principalmente a la gran cantidad de cálculos que se tienen que realizar. Por ello, la resolución de problemas que rebasen una docena de restricciones es casi imposible sin el auxilio de un buen ordenador.

Además del SM se dispone actualmente de otros métodos multiobjetivo que permiten generar el conjunto de soluciones eficientes a partir de las soluciones factibles, como el método de las *restricciones*, el método de las *ponderaciones* (Romero, 1993), la *inversa generalizada*, el método NISE (Guerras, 1989), etc..

Otra importante área de la PMO lo constituye la llamada *programación compromiso*, que se ocupa, básicamente, de incorporar en el proceso de solución las *preferencias* del centro decisor. En ello juega un papel fundamental un concepto particular de *distancia*, junto con los tres conceptos siguientes:

♦ *Matriz de pagos, punto ideal y punto anti-ideal*

La matriz de pagos (*pay-off matrix*), básicamente, permite cuantificar el nivel de conflicto que pueda haber entre los objetivos y determinar el *mejor* y el *peor* valor para cada uno de ellos. Los elementos de esta matriz resultan de optimizar, uno a la vez, los objetivos en el modelo de interés. El conjunto de los valores *óptimos* constituye el llamado *punto ideal* que, normalmente, es imposible de alcanzar por el conflicto existente entre los objetivos, y el conjunto de los *peores* valores es conocido como el *punto anti-ideal*.

♦ *Concepto no geométrico de distancia.*

Los matemáticos ampliaron el concepto de distancia introduciendo la idea de *familia de métricas o medidas de distancia* L_p , que implica una generalización de las distancia euclídea

$$L_p = \left[\sum_{j=1}^n |x_j^1 - x_j^2|^p \right]^{1/p}.$$

Por ejemplo, para los puntos $x^1 = (-1, 1)$ y $x^2 = (3, 4)$, se tiene:

$$L_1 = [| -1 - 3 | + | 1 - 4 |] = 7$$

$$L_2 = [| -1 - 3 |^2 + | 1 - 4 |^2]^{1/2} = 5$$

⋮

$$L_5 = [| -1 - 3 |^5 + | 1 - 4 |^5]^{1/5} = 4.174$$

⋮

La programación compromiso se apoya en un postulado conocido como *axioma de Zeleny* que dice: “entre dos soluciones posibles en el espacio de los objetivos f^1 y f^2 será preferida aquella que esté más próxima al punto ideal” (Zeleny, 1974). Por otra parte, si

$|f_j^* - f_j(x)|$ representa el grado de proximidad entre el objetivo j-ésimo y su ideal y ésta distancia es *homogeneizada, normalizada y ponderada* (en función de las preferencias del centro decisor), la programación compromiso, que busca las soluciones eficientes más próximas al ideal, se convierte en el siguiente problema de optimización:

$$\text{Min } L_p = \left[\sum_{j=1}^n W_j^p \left| \frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_{\cdot j}} \right|^p \right]^{1/p}$$

sujeto a: $x \in F$

donde: W_j representa el peso (preferencia) que el centro decisor otorga a la discrepancia existente entre el logro del objetivo j-ésimo y su ideal; f_j^* es el punto ideal; y $f_{\cdot j}$ el anti-ideal (Romero, 1993).

♦ *Tasa de Intercambio entre criterios.*

Los trueques posibles entre los objetivos están regulados por las denominadas tasas de intercambio. Si se tienen dos soluciones eficientes x^1 y x^2 , su tasa de intercambio (o *trade-off*) T_{jk} entre los criterios j-ésimo y k-ésimo está dada por:

$$T_{jk} = \frac{f_j(x^1) - f_j(x^2)}{f_k(x^1) - f_k(x^2)}.$$

Así, en el ejemplo hipotético representado en la Tabla 1 la tasa de intercambio entre los criterios f_1 y f_2 para las soluciones a) y d) sería:

$$T_{12} = \frac{60 - 50}{25 - 20} = 2$$

Esta tasa de intercambio indica que por cada incremento unitario de f_2 , el incremento respectivo en f_1 es de 2 unidades. Es decir, el Costo de Oportunidad de un

incremento unitario en f_2 es de 2 unidades con respecto a f_1 . De igual forma, la tasa de intercambio entre f_1 y f_3 para las mismas soluciones sería:

$$T_{13} = \frac{60 - 50}{30 - 40} = -1$$

Lo cual indica que por cada incremento unitario del criterio f_3 el criterio f_1 baja en una unidad.

b) Programación fraccional (PF)¹

Son muchas las situaciones problema que se tienen que expresar en términos de cocientes (razones o ratios), como, por ejemplo: la rentabilidad de una inversión (ganancia/inversión), la productividad del trabajo (rendimiento/jornada), la productividad de un monto gastado (rendimiento/gasto), la autonomía de un proceso productivo (recursos propios/total de recursos), etc. A la programación fraccional también se le conoce como *programación hiperbólica o programación de ratios* (Chadha, 1987).

Charnes y Cooper (1962), en un trabajo ya clásico, formalizaron la estructura de los programas con funciones fraccionales lineales y desarrollaron un algoritmo para su resolución. La estructura matemática de un programa fraccional es la siguiente:

$$(P1) \text{ Max } r(x) = n(x)/d(x)$$

$$\text{sujeto a: } x \in F$$

$$x \geq 0 \text{ y } d(x) > 0, \forall x \in F$$

donde n y d son funciones reales definidas en R^n , x es el vector de variables de decisión y F el conjunto de soluciones factibles.

En el caso en que F sea un conjunto no vacío, poliédrico y convexo, el P1 se puede expresar en la forma siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \text{(P2) Max } r(x) = n(x)/d(x) \\
 & \text{sujeto a: } Ax \leq c \\
 & \quad x \geq 0
 \end{aligned}$$

donde A es una matriz $m \times n$ y $c \in \mathbb{R}^n$. Si n y d son funciones lineales y F es un poliedro convexo, se tendrá el programa fraccional *lineal* siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \text{(P3) Max } r(x) = \frac{a^T x + \alpha}{b^T x + \beta} \\
 & \text{sujeto a: } Ax \leq c \\
 & \quad x \geq 0
 \end{aligned}$$

donde a, b y $c \in \mathbb{R}^n$, α y $\beta \in \mathbb{R}$ y r significa transpuesto.

Las funciones fraccionales son funciones *cuasicóncavas* que cumplen las propiedades siguientes: 1) un máximo local es siempre global; 2) el máximo es único si $n(x)$ es estrictamente cóncavo o $d(x)$ es estrictamente convexo; y 3) el máximo se encuentra en un punto extremo del poliedro convexo F . En especial, esta última propiedad justifica que se puedan aplicar procedimientos derivados del *Simplex* en Programación Fraccional (PF).

Se distinguen cuatro estrategias en la resolución de un PF lineal:

- a) solución directa del programa en forma iterativa
- b) Solución de un programa *no* fraccional equivalente
- c) enfoques paramétricos
- d) solución del problema dual.

¹ El contenido de este apartado está basado, principalmente, en el artículo de Stancu-Minasian y Lara (en prensa)

A continuación se esbozan las características de las tres primeras estrategias.

1) *Solución directa.*

El procedimiento que quizá sea el de mayor uso es el *método del gradiente actualizado*. En este método, en cada iteración, se calcula el gradiente de la función objetivo fraccional en un punto x^i de la región factible. El gradiente es el siguiente vector:

$$\nabla_{r_{x^i}}(x) = \frac{(b^T x^i + \beta)a - (a^T x^i + \alpha)b}{(b^T x^i + \beta)^2}$$

en el cual, las expresiones entre paréntesis son constantes y a y b son vectores. El algoritmo resuelve una secuencia de programas lineales, tomando como función objetivo a la siguiente expresión:

$$(\nabla_{r_{x^i}}(x))^T x$$

2) *Solución de un programa no fraccional equivalente.*

Schaible e Ibaraki (1982) demostraron que cualesquier problema fraccional cóncavo se puede transformar en un problema *cóncavo* mediante el siguiente cambio de variables:

$$y = \frac{1}{d(x)} x, \quad t = \frac{\gamma}{d(x)}$$

siendo γ un parámetro que normalmente, por simplicidad, se hace igual a 1. Aplicando este cambio de variable al P3, se obtiene el siguiente problema de programación lineal:

$$\begin{aligned} (P4) \quad & \text{Max} \quad a^T y + \alpha t \\ & \text{sujeto a:} \quad Ay - ct \leq 0 \\ & \quad \quad b^T y + \beta t = 1 \\ & \quad \quad y, t \geq 0 \end{aligned}$$

Aquí, la función objetivo es el transformado del *numerador* de un cociente y el transformado del *denominador* es añadido como una restricción más. Así, si $(y^*, t^*)^T$ es una solución óptima del problema transformado, entonces $x^* = y^*/t^*$ es una solución óptima del problema fraccional original.

3) Enfoques paramétricos.

Existe una amplia gama de algoritmos para resolver el PF lineal basados en el siguiente programa paramétrico:

$$\begin{aligned} (P_\lambda) = F_\lambda = \text{Max } \{n(x) - \lambda d(x)\} \\ \text{sujeto a: } \quad x \in F \\ \quad \quad \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

donde $\lambda \in R$ es un parámetro.

La formulación de un problema de *programación multiobjetivo fraccional* (PMOF) es la siguiente:

$$\begin{aligned} (P5) \text{ Eff } f(x) = \left\{ \frac{n_1(x)}{d_1(x)}, \frac{n_2(x)}{d_2(x)}, \dots, \frac{n_q(x)}{d_q(x)} \right\} \\ \text{sujeto a: } \quad \quad \quad x \in F \\ \quad \quad \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

donde: Eff significa búsqueda de soluciones eficientes; $q \geq 2$; n_k y d_k ($k = 1, 2, \dots, q$) son funciones reales y continuas definidas en R^n ; $d_k > 0 \quad \forall x \in F$; y F es un subconjunto de R^n , no vacío, convexo y compacto. En lo que sigue será expuesto, brevemente, un procedimiento desarrollado por Nykowski y Zolkiewski (1985), que permite obtener los puntos extremos eficientes del PMOF (P5).

La base del procedimiento (Lara, 1993) está en el hecho de que el conjunto de soluciones eficientes S^f del PMOF esté incluido en el conjunto de soluciones eficientes S^d del PMO:

$$Eff \ f(x) = [n_1(x), n_2(x), \dots, n_n(x), -d_1(x), -d_2(x), \dots, -d_n(x)]$$

sujeto a: $x \in F$

si $f_k(x) = \frac{n_k(x)}{d_k(x)} > 0$ ($k = 1, 2, \dots, n$) $\forall x \in F$, y el conjunto $S^f \subset S^d$ del PMO;

$$Eff \ f(x) = [n_1(x), n_2(x), \dots, n_n(x), d_1(x), d_2(x), \dots, d_n(x)]$$

sujeto a: $x \in F$

si $f_k(x) < 0$ ($k = 1, 2, \dots, n$) $\forall x \in F$;

$$y \ Eff \ f(x) = [n_1(x), n_2(x), \dots, n_n(x), -d_h(x), -d_{h+1}(x), \dots, d_n(x)]$$

sujeto a: $x \in F$

si $f_k(x) > 0$ ($k = 1, 2, \dots, n$) pero $f_k(x) < 0$ ($k = h+1, h+2, \dots, n$) $\forall x \in F$ y $S^f \subset S^d$ del PMO

En otras palabras, si las funciones del PMOF tienen un *signo constante* en todo el conjunto factible, su conjunto de soluciones eficientes estará incluido en el conjunto de soluciones eficientes del correspondiente PMO. Esto permite tratar con problemas cuyos objetivos son fraccionales y lineales.

c) Programación de metas (PM)

La potencia de la *programación multiobjetivo*, sobre todo cuando está asociada con la *programación compromiso*, se ve muy disminuida cuando se tiene que tratar con un modelo grande y complicado (con varios objetivos y un conjunto complejo de restricciones). Para tales casos la mejor opción es la *programación por metas* (goal programming), un método de programación que, según Romero (1993), se ubica más dentro de una lógica *satisfaciente* que *optimizante*.

Suponiendo que existen K niveles de prioridad, m metas, p restricciones del sistema y n variables de decisión, el *modelo general de metas* puede expresarse de la manera siguiente (Davis y Mckeown, 1986):

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } Z &= \sum_{k=1}^K P_k \sum_{i=1}^m (w_{i,k}^- d_i^- + w_{i,k}^+ d_i^+) \\
 \text{sujeto a: } &\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i, \quad i = 1, \dots, m \\
 &\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \quad (\leq = \geq) = b_r, \quad r = m+1, \dots, m+p \\
 &x_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

donde: P_k = coeficiente de prioridad para la k -ésima prioridad

$w_{i,k}^-$ = peso relativo de la variable d_i^- en el k -ésimo nivel de prioridad

$w_{i,k}^+$ = peso relativo de la variable d_i^+ en el k -ésimo nivel de prioridad

Nota: las variables de *desviación*, d_i^- y d_i^+ , se corresponden con las variables n_i y p_i de la notación usada por Romero (1993).

d) Proceso jerárquico analítico (PJA)

El proceso jerárquico analítico (PJA), desarrollado por Saaty (1980), es un método de análisis que está diseñado para resolver problemas complejos con criterios múltiples. (Anderson *et al.*, 1999). El proceso requiere que el centro decisor califique la importancia relativa de cada criterio y que a continuación especifique una preferencia sobre el criterio para cada una de las alternativas de decisión. El resultado del PJA es una clasificación con prioridades que indica las preferencias para cada alternativa considerada.

El procedimiento básico es como sigue (Eppen *et al.*, 1999):

1. Obtención de las jerarquías que corresponden a cada una de las alternativas de decisión para cada criterio:

- Se genera una matriz de comparación, por parejas, para cada criterio
- Se normaliza la matriz resultante
- Se promedian los valores de cada fila para obtener la clasificación correspondiente
- Se calcula y comprueba la relación de congruencia

2. Obtención de ponderaciones para los criterios

- Se genera una matriz de comparación, por parejas, para cada criterio
- Se normaliza la matriz resultante
- Se promedian los valores de cada fila para obtener la ponderación correspondiente
- Se calcula y comprueba la relación de congruencia

3. Cálculo del promedio ponderado para cada alternativa de decisión y elección de la que tenga el puntaje más alto.

e) Funciones de utilidad multiatributo

Cuando el centro decisor enfrenta un problema multicriterio con una región factible no continua, se dice que se trata de un problema decisional multicriterio *discreto*. Este tipo de problemas generalmente se abordan por medio de las llamadas *funciones de utilidad multiatributo*.

La representación más común de un problema decisional multicriterio discreto es a través de una *matriz decisional* como la siguiente:

Tabla 3. Matriz decisional.

	A_1	A_2	...	A_j	...	A_n
E_1	R_{11}	R_{12}	...	R_{1j}	...	R_{1n}
E_2	R_{21}	R_{22}	...	R_{2j}	...	R_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
E_i	R_{i1}	R_{i2}	...	R_{ij}	...	R_{in}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
E_m	R_{m1}	R_{m2}	...	R_{mj}	...	R_{mn}

donde E_i representa las *elecciones* (alternativas) posibles, A_j son los *atributos* y R_{ij} los resultados de cada alternativa en cada atributo.

Nótese, que la única diferencia respecto a la Tabla 1, está en la notación.

La manera de abordar un problema de estas características se puede esquematizar de la siguiente manera: a) de acuerdo con el centro decisor, se determina una función de utilidad para cada uno de los atributos considerados, es decir, habrá $u_1(E)$, $u_2(E)$, ..., $u_j(E)$, ..., $u_n(E)$ de ellas; b) a partir de las funciones individuales se construye una función de utilidad global $u[u_1(E), u_2(E), ..., u_j(E), ..., u_n(E)]$ para la que se verifica:

$$u[u_1(E_i), u_2(E_i), ..., u_j(E_i), ..., u_n(E_i)] \geq u[u_1(E_k), u_2(E_k), ..., u_j(E_k), ..., u_n(E_k)] \\ \Leftrightarrow E_i \succ E_k$$

donde $\succ$ significa *preferencia o indiferencia* de la alternativa E_i con respecto a la alternativa E_k .

Por tanto, la función $u(E)$ asocia un número real (que representa la utilidad) con cada una de las alternativas que se evalúan. De esta forma se consigue una ordenación del conjunto (finito) de alternativas.

El método esbozado, desarrollado por Keeney y Raiffa (1976), constituye un enfoque formalmente sugerente pero con serias dificultades teóricas y operativas como, por ejemplo, el supuesto de la independencia preferencial y el cálculo de las funciones de utilidad, por ello se han desarrollado otros métodos multicriterio discretos, quizá con menos solidez conceptual pero de mas fácil aplicación, como los métodos de la familia ELECTRE, el PJA, etc. (Ballester y Romero, 1998).

IV. PROBLEMÁTICA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1. Problemática

Desde hace aproximadamente cinco (5) años, se planteó, por algunos investigadores del Centro Regional Universitario de Occidente (CRUOC), la necesidad de conformar un equipo de profesionales para dar apoyo técnico a un conjunto de productores agropecuarios de la región “Altos de Jalisco”.

Luego de algunas consideraciones tanto de tipo práctico como profesional, se juzgó conveniente que el suscrito abordara la problemática relacionada con el uso de métodos y técnicas cuantitativas que pudiesen apoyar la toma de decisiones de los productores. La situación de la producción agropecuaria en la región alteña era mas o menos la siguiente:

- a) La mayoría de los productores disponían de una terreno (propiedad) en el que se sembraban algunos cultivos que, luego de su cosecha, eran usados en la alimentación de ganado lechero. Debe recordarse, que la región alteña se ha convertido en la principal cuenca lechera del Estado de Jalisco y en una de las más importantes del país, junto con La Laguna, Tizayuca y Querétaro.
- b) Los productores mencionados, enfrentaban la necesidad de determinar los planes de cultivos que les reportaran el mayor Margen Bruto (MB) o ganancia bruta, con el menor gasto posible en Costos de Producción (CP) y la menor cantidad de Horas Máquina o de Jornales, para luego usar la cosecha obtenida en la alimentación de las vacas, de forma tal, que éstas pudiesen recibir una ración *bien balanceada y de mínimo costo* que estuviese compuesta, hasta donde fuese posible, por los ingredientes producidos en la propia explotación.

En pocas palabras, era necesario seleccionar un procedimiento de programación, *accesible* en términos conceptuales y *manejeable* en términos operativos, que permitiese

trabajar con un conjunto de objetivos que se pretendía *satisfacer en forma simultánea* y que resultaban un tanto *conflictivos entre sí*.

Con tales antecedentes, se decidió probar con dos *enfoques* de programación, desde una perspectiva comparativa (contrastante): (a) el *tradicional*, representado por la *programación lineal* (PL), a través del *software* QSB y (b) el *multicriterio*, representado, principalmente, por la *programación multiobjetivo lineal*, por medio del *paquete* denominado MLP.

4.2. Objetivos

1. Realizar una aplicación práctica de la programación lineal, la programación multiobjetivo y la programación de metas, en la determinación de planes de cultivo.

2. Realizar una aplicación práctica de la programación lineal, la programación multiobjetivo y la programación fraccional, en la formulación de dietas para vacas lecheras.

3. Contrastar el enfoque de programación monocriterio con el enfoque de programación multicriterio, en términos de:

- a) su adecuación a los problemas agropecuarios
- b) la eficacia de sus algoritmos de solución
- c) sus ventajas y desventajas operativas

4.3. Hipótesis

En las *situaciones problema* que involucran un conjunto de objetivos, que se pretenden satisfacer en forma simultánea y que, normalmente, son conflictivos entre sí, el enfoque de programación multicriterio (principalmente la programación multiobjetivo, PMO) supera al enfoque de programación monocriterio (básicamente la programación lineal, PL), porque desde esta perspectiva, la situación problema puede ser tratada de una manera más completa (holística) y efectiva.

V. METODOLOGÍA

En el planteamiento metodológico inicial se creyó conveniente emprender el estudio de algunas explotaciones agropecuarias de la región de los "Altos de Jalisco", en tres etapas consecutivas:

- Primero, *hacer un recuento* de los conceptos, métodos y técnicas fundamentales de la programación monocriterio y la programación multicriterio
- Segundo, *trabajar* un caso hipotético representativo, con la finalidad de precisar el tipo de información que sería usada en las aplicaciones prácticas
- Tercero, *formular* y analizar un total de doce (12) modelos, con las características que se indican en el diagrama siguiente:

Explotación	Modelo	Método
Familiar (15 vacas)	de producción	$\left\{ \begin{array}{l} \text{pro gr a mación lineal} \\ \text{pro gr a mación multicriterio} \end{array} \right.$
	de dietas	$\left\{ \begin{array}{l} \text{pro gr a mación lineal} \\ \text{pro gr a mación multicriterio} \end{array} \right.$
Mediana (60 vacas)	$\left\{ \begin{array}{l} " \\ " \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} " \\ " \end{array} \right.$
Grande (200 vacas)	$\left\{ \begin{array}{l} " \\ " \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} " \\ " \end{array} \right.$

La información recabada sería procesada con los paquetes QSB, MLP y NIMBUS.

Sin embargo, los datos que pudieron recabarse en las unidades de producción, muy pronto dejaron ver lo siguiente:

- a) Con relación a las actividades productivas: en las tres explotaciones encuestadas sólo se sembraba maíz para ensilar, sin que hubiesen variaciones de importancia en la tecnología utilizada o en los costos de producción
- b) Con relación a las actividades pecuarias: en las tres explotaciones se tenía ganado Holstein de unos 575 kg de peso, con potencial genético para llegar a 600 kg y una producción de 20 L por día, con posibilidades de llegar hasta 25
- c) La unidad de tamaño “familiar” tenía 42 animales (25 vacas y 17 en crecimiento) y 10 ha de siembra, la de tamaño “mediano” tenía 100 animales (70 vacas y 30 en crecimiento) y 26 ha, y la de tamaño “grande” 207 animales (133 y 74) y 48 ha
- d) La información obtenida resultó muy deficiente, en parte debido a las limitaciones propias de una agricultura temporalera y, sobre todo, por el hecho de que los productores no llevan registro de las actividades y los gastos, y porque no es muy claro si obtendrán algún beneficio con la información vertida.

Por tanto, dada la irrelevancia estadística del diseño original, se optó por referir la información aportada por productores, técnicos y especialistas (costos de cultivos, ingredientes disponibles, etc.) a una explotación “hipotética” que tipificara, cualitativamente, las condiciones y características de la producción agropecuaria de la zona. Además, la temática multicriterio se caracteriza por ser una metodología *ad hoc*, que tiene la misma *eficacia* cuando es aplicada a nivel de empresa, región o país.

Así, de las tres etapas del planteamiento inicial sólo se conservó la *primera*, la *segunda* y la *tercera* fueron estructuradas en una *segunda* etapa en la que se intentó incorporar las características de la situación prevaleciente.

En virtud de que los modelos formulados fueron modelos lineales relativamente simples, no fue necesario hacer uso del paquete NIMBUS, que permite resolver modelos no

lineales e incluso no diferenciables, pero que sólo puede ser usado a través de INTERNET y tiene un manejo un tanto cuanto difícil.

En lo sucesivo, se dará por sentado que todos los modelos considerados son *lineales* y, salvo que resulte imprescindible, se omitirá tal mención. Así, en lugar de mencionar la Programación Multiobjetivo *Lineal* (PMOL), sólo se dirá Programación Multiobjetivo (PMO), e incluso puede ser omitido el término multiobjetivo, como en el caso de la Programación Multiobjetivo Fraccional Lineal (PMOFL), que sólo se expresará como Programación Fraccional (PF).

VI. COEFICIENTES TÉCNICOS

Para ubicar mejor los valores que serán calculados, conviene recordar que todo modelo lineal tiene tres (3) clases de *parámetros*: (a) los *coeficientes* de las variables en la(s) función(es) objetivo, los c_j ; (b) los *coeficientes* de las variables en las restricciones, los a_{ij} y; (c) los valores críticos o lados derechos de las restricciones, los b_i .

Los c_j *representan* el cambio que tendrá la función objetivo cuando la respectiva x_j tenga un cambio unitario. También se conocen como valores marginales.

En un modelo de producción, los a_{ij} *representan* la cantidad requerida del *recurso i* para producir una unidad de la *actividad j* y los b_i representan la cantidad disponible del recurso j .

En un modelo de dieta, los a_{ij} *representan* la cantidad del *nutrimento i* que es aportada por cada unidad del *ingrediente j* y los b_i representan el nivel de requerimiento del nutrimento j .

6.1. Coeficientes técnicos en cultivos

Para el caso de los cultivos, los c_j representan los incrementos que se logran en los diferentes *atributos* del programa: el margen bruto, los costos de producción, las horas máquina, y los jornales, por cada incremento unitario de *actividad*, que en este caso es una hectárea de cultivo. Y los a_{ij} representan la cantidad de recurso: costos de producción, horas máquina, jornales o tierra, que es consumida por cada hectárea de cultivo.

6.1.1. Costos de producción y margen bruto

Los costos de producción (capital de operación), están constituidos por el desembolso que tiene lugar con los pagos a los insumos, las labores de cultivo y los servicios utilizados (seguro, asistencia, gestión), mas el costo financiero de todo el dinero

“gastado”. En el anexo B, se puede consultar el monto de los costos de producción para cada uno de los cultivos considerados.

De forma similar, el margen bruto o ganancia bruta, está referida a la cantidad que resulta de restar, del total de los ingresos generados por el cultivo, el total de los costos del proceso productivo. Se entiende que en dicho margen bruto, no está incluido el monto de los costos de estructura o costos fijos. El margen bruto, también se pueden consultar en el anexo B, al final de los cuadros de cada cultivo.

6.1.2. Horas máquina

Tomando en cuenta que:

- la preparación del terreno, la siembra, el laboreo y la cosecha, normalmente se realizan con máquinas y equipo que son diferentes en cada caso
- los tiempos y la eficiencia en el uso de la maquinaria varían de uno a otro cultivo y dentro de un mismo cultivo, en función de las condiciones del terreno, el tipo de clima, el apoyo logístico y la destreza del operador
- se presentan variaciones importantes en los costos debidas al tipo de maquinaria que se use
- a la fecha, no se cuenta con algún cálculo, aunque fuese aproximado, de las horas máquina por cultivos
- se puede considerar a la siembra como una de las actividades esenciales en la producción (junto con la cosecha y la fertilización),

se juzgó conveniente referir todas las variantes de horas máquina involucradas a *horas máquina de siembra*, en función de los *costos de cultivo* respectivos.

La *maquinaria de referencia* consiste de una sembradora de precisión para cuatro surcos, de 0.7 m de ancho cada uno, accionada por un tractor con la potencia adecuada.

Tal maquinaria rinde una *capacidad efectiva de trabajo* de una ha/h, es decir, *una hora máquina por ha* (Frank, 1977), según se deduce de la expresión siguiente:

$$C_e = a \times \alpha \times v \times \eta \times 0.1$$

donde:

C_e = capacidad efectiva (de trabajo)

a = ancho de trabajo (m)

α = coeficiente de ancho efectivo

v = velocidad de trabajo (km/h)

η = coeficiente de tiempo efectivo de trabajo

0.1 = factor para convertir el resultado a ha/h

Así, para el caso de la *siembra*, se tiene:

$C_e = (4 \times 0.7) \times 1 \times 6 \times 0.6 \times 0.1 = 1.008$ ha/hora, es decir, 1 hora/ha

Al convertir los costos de producción de las actividades a horas máquina de siembra (mediante una simple regla de tres), se encontraron los resultados que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4. Horas máquina por hectárea^{a/} para los cultivos de interés.

Actividad\Cultivo	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms	Ph	Pv	Sg	Ss
Subsoleo	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00	0.67	0.67
Barbecho	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	0.25	0.25	1.67	1.67
Estercolado	2.00	-	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Rastreo	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.12	0.12	0.83	0.83
Siembra	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.34	0.34	1.00	1.00
Sellado	-	0.33	0.33	0.33	0.33	-	-	0.33	0.33
Fertilización	-	-	0.40	0.40	0.44	0.13	0.13	0.40	0.40
Escarda o deshier.	0.75	2.06	-	-	-	-	-	-	-
Trilla	6.17	4.36	1.50	8.00	-	10.67	-	1.50	-
Ensilaje	-	-	-	-	6.67	-	-	-	3.33
Σ	13.09	10.92	8.40	14.90	13.57	14.51	3.74	8.40	10.23

Fuente: investigación directa

^a Si las horas máquina se hubiesen calculado en función de los gastos *promedio* que cotizan las actividades en las que se emplea maquinaria (aproximadamente \$ 375) y no en función de las horas máquina de la *siembra* (\$ 300), los valores presentados tendrían un incremento aproximado de 25%.

6.1.3. Jornales

A partir del rendimiento aproximado por jornada de los diferentes equipos considerados para cada actividad (hectáreas atendidas en 8 horas), se calcularon los *jornales por ha* que se indican en la Tabla 5. La conversión de los diferentes trabajos involucrados se hizo en función de las equivalencias siguientes:

un peón = un jornal

un tractorista o chofer de camión = dos jornales

un operador de sembradora de precisión o de trilladora = tres jornales.

Tabla 5. Jornales por hectárea para diferentes actividades.

<i>Labor</i>	<i>Equipo usado</i>	<i>ha/jornada</i>	<i>Jornales/ha</i>
Subsuelo	Subsuelo con 2 “ganchos”, a 0.5 m	3	0.67
Barbecho	Arado con 3 discos, a 0.3 m de prof.	3	0.67
Estercolado	Remolque de 6 m ³ de capacidad	4	0.50
Rastreo	Rastra con 26 discos, a control remoto	10	0.20
Siembra	Sembradora de 4 surcos, de precisión	8	0.37 + 0.25
Sellado, asperjado	“gavilán” de 10 m de ancho	24	0.08
Fertilización	Fertilizadora para 4 surcos	8	0.25 + 0.25
Escarda	Cultivadora para 4 surcos	7	0.43 + 0.14
Trilla	Cabezal para 4 surcos	7	0.43 + 0.57
Ensilado	Ensiladora de 4 surcos	6	0.33 + 0.67
Corte, empacado,	Equipo respectivo	7	0.29

Fuente: investigación directa

Por ejemplo, para el caso del *ensilado*: si en una jornada de 8 hr se pueden ensilar 6 ha de maíz (para el caso del sorgo sería aproximadamente de 9 ha), los respectivos jornales/ha serían entonces de *uno*: $2/6 = 0.33$ para el operador de la ensiladora, más $4/6 = 0.67$ de los dos operadores de los camiones que acarrean el material hacia el silo.

Y a partir de la tabla anterior (Tabla 5) se calcularon los jornales/ha para los cultivos de interés, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6. Jornales por hectárea para los cultivos de interés.

Actividad\Cultivo	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms	Ph	Pv	Sg	Ss
<i>Subsoleo</i>	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.33	0.33	0.22	0.22
<i>Barbecho</i>	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.10	0.10	0.67	0.67
<i>Estercolado</i>	0.50	-	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	0.50	0.50
<i>Rastreo</i>	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20
<i>Siembra</i>	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.25	0.25	0.62	0.62
<i>Sellado, asperjado</i>	-	0.08	0.08	0.08	0.08	-	-	0.08	0.08
<i>Fertilización</i>	0.50	-	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	0.50	0.50
<i>Escarda o deshier.</i>	0.08	9.22	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trilla</i>	1.43	0.86	1.14	12.00	-	1.74	-	1.00	-
<i>Ensilado</i>	-	-	-	-	1.00	-	-	-	0.50
Σ	4.22	11.87	3.93	14.79	3.79	4.22	2.48	3.79	3.29

Fuente: investigación directa

Para el caso de la *pradera* (*Ph* y *Pv*) los jornales se incrementan en un 50%, debido a las dificultades del terreno.

Ejemplo de cálculo:

Subsoleo en *Mg*: 2 jornales(una jornada)/3 ha/3 (años) = 0.22

Subsoleo en pasto (*Ph* o *Pv*): 3 jornales (1.5 de jornada)/3 ha/3 (años) = 0.33

De pasto se siembran aproximadamente 6 ha/jornada, con una rastra de 26 discos y una camioneta para transportar la semilla (material vegetativo) y los peones. Es decir, se requiere un operador para el tractor, uno más para la camioneta, 3 peones para sembrar *sobre* la rastra, 4 peones para arrancar guía (pasto) y 3 más para cortarla en trozos, lo que da un total de 15 jornales. Y como el pasto se siembra sólo cada 10 años, el requerimiento de jornales para Ph o Pv es de: $15/6 \times 0.1 = 0.25$

6.1.4. Matriz de coeficientes para cultivos

Puesto que, las estadísticas disponibles muestran que en las explotaciones de la zona, en promedio, el 70% de la superficie está cubierta de pastos (naturales e inducidos) y sólo un 30% está dedicada a los cultivos (Rodríguez *et al*, 1998), en el modelo de producción fueron considerados los rubros siguientes:

- 1) 20 hectáreas de *pasto bermuda* o *pasto rhodes*, para pastoreo directo del ganado en la temporada de lluvias
- 2) 30 hectáreas de cultivos anuales, con rotación de frijol (10 ha) cada 3 años
- 3) 50 hectáreas de *pasto natural* (potrero), en suelos degradados, con topografía accidentada o muy pedregosos.

De la información disponible se infiere que ninguno de los cultivos considerados presenta restricciones de mercado.

La Tabla 7 muestra los *coeficientes* que se requieren para formular las diferentes variantes de los modelos de producción.

Tabla 7. Coeficientes para los modelos de producción.

<i>Objs. y Restrs. \ Cultivos</i>	<i>Avena (Ah)</i>	<i>Frijol (Fc)</i>	<i>Maíz (Mg)</i>	<i>Maíz (Mh)</i>
<i>Margen Bruto (\$)</i>	1 373	2 526	1 524	1 713
<i>Costos de Producción (\$)</i>	6 907	7 479	7 056	9 867
<i>Horas Máquina (h)</i>	13.09	10.92	8.40	14.90
<i>Jornales (8 h)</i>	3.97	11.87	3.93	14.79
<i>Tierra (ha)</i>	1	1	1	1
<i>Pradera (ha)</i>				
<i>Rotación de Cultivos</i>	-1	2	-1	-1

... continuación

<i>Maíz (Ms)</i>	<i>Pasto (Ph)</i>	<i>Pasto (Pv)</i>	<i>Sorgo (Sg)</i>	<i>Sorgo (Ss)</i>	<i>Dir. y b_i</i>
4 464	2 779	1 991	1 572	1 476	<i>Max</i>
8 316	7 001	2 789	6 608	6 804	≤ 400000
13.57	14.51	4.50	8.40	10.23	≤ 700
3.79	3.74	2.48	3.79	3.29	≤ 300
1	1	1	1	1	≤ 50
	1	1			≥ 20
-1			-1	-1	$= 0$

Fuente: investigación directa

Notas:

1. El margen bruto siempre se toma como objetivo en todos los modelos. Los costos de producción, las horas máquina y los jornales pueden fungir como objetivos o restricciones, dependiendo del modelo ensayado.
2. Los b_i o valores críticos (lados derechos o RHS) son *estimaciones* que se obtuvieron mediante un programa de metas.

6.2. Coeficientes técnicos en dietas

Para el caso de las dietas, los c_j *representan* el incremento en el costo de la dieta por cada incremento unitario del ingrediente j . Y los a_{ij} *representan* la cantidad del *nutrimento* i (EN_i , PC, etc.), expresado en %, que es aportada por cada unidad del *ingrediente* j (alfalfa, pasta de algodón, etc.).

6.2.1. Composición de los ingredientes

En la tabla siguiente se presenta la composición de los ingredientes y alimentos que están disponibles en la zona

Tabla 8. Composición de los Ingredientes (alimentos).

<i>NI</i>	<i>Var. Ingrediente \ Nutrimento</i>	MS	EN_i	PC	PDR
006	X_1 = Alfalfa, henificada	90.5	1.33	19.9	14.3
180	X_2 = Algodón, pasta (Harinolina)	92.6	1.81	44.3	22.1
176	X_3 = Algodón, semilla	92.2	2.28	23.6	13.5
300	X_4 = Avena, henificada*	90.7	1.35	9.5	7.9
052	X_5 = Barredura (desperd. Panad.)	91.2	2.06	11.1	5.1
498	X_6 = Caña, melaza	74.3	1.89	5.8	5.8
036	X_7 = Carne y hueso, harina	93.3	1.63	53.8	27.4
416	X_8 = Cártamo, pasta	91.6	1.21	23.3	15.2
492 ^{a/}	X_9 = Frijol común, paja*	87.7	0.81	5.2	5.2
500	X_{10} = Girasol, pasta	92.7	1.57	43.7	32.3
254	X_{11} = Maíz, gluten	91.3	1.92	47.3	21.3
268	X_{12} = Maíz, grano*	91.0	2.05	9.6	4.6
238	X_{13} = Maíz, henificado*	82.1	1.56	8.0	6.0
240 ^{b/}	X_{14} = Maíz, rastrojo*	85.2	1.35	6.4	6.4
262	X_{15} = Maíz, silo*	36.9	1.45	8.3	5.7
140	X_{16} = Masilla (subp. Ind. cerv.)	92.2	1.61	29.5	17.7
082 ^{c/}	X_{17} = Pasto, henificado*	91.2	0.96	10.3	10.3
080 ^{c/}	X_{18} = Pasto, verde*	28.9	1.39	14.6	14.6

462	X ₁₉ = Sorgo, grano *	88.5	1.83	11.3	5.2
466	X ₂₀ = Sorgo, silo *	28.8	1.29	6.7	6.7
484	X ₂₁ = Soya, pasta	90.0	1.98	48.1	31.3
536	X ₂₂ = Trigo, salvado	89.0	1.58	17.4	12.7
Requerimientos		-	1.67	15	9.6

... continuación

PNDR	FC	FDN	FDA	ExE	Ca	P	\$/t
5.6	28.5	42	32.1	2.9	1.63	0.21	1 600
22.2	12.9	28	18.0	5.0	0.20	1.17	2 300
10.1	19.8	37	26.0	24.3	0.15	0.73	2 400
1.6	32.0	62	38.4	2.4	0.32	0.25	1 000
6.0	1.4	18	1.8	11.9	0.15	0.24	1 200
-	0.5	-	0.4	0.2	1.00	0.10	900
26.4	2.4	-	-	11.2	10.71	5.32	2 600
8.1	34.2	59	43.7	7.2	0.27	0.77	2 000
-	44.3	-	-	1.4	1.59	0.06	600
11.4	13.7	-	-	9.2	0.43	1.15	2 200
26.0	4.9	37	9	2.4	0.16	0.51	3 600
5.0	2.6	-	-	5.3	0.05	0.31	1 400
2.0	22.6	-	-	2.3	-	-	1 000
-	34.4	69	39.0	1.3	0.57	0.10	400
2.6	21.9	-	26.7	3.8	0.22	0.24	300
11.8	14.3	46	22.9	7.1	0.32	0.55	1 300
-	31.1	76	39.3	2.1	0.47	0.17	600
-	26.6	-	31.4	2.0	0.49	0.29	100
6.1	2.5	18	4.0	3.2	0.05	0.34	1 300
-	24.4	-	38.0	2.5	0.35	0.21	300
16.8	6.5	-	-	5.2	0.29	0.69	2 500
4.7	11.3	51	14	4.3	0.14	1.27	1 300
5.4	17	28	21	5	0.53	0.34	<i>Min</i>

Fuente: Tablas NRC. (National Academy of Sciences, 1988). \$/t: investigación directa.

donde NI = número internacional, MS = materia seca (%), EN_l = energía neta para lactación (Mcal/kg), PC = proteína bruta (%), PDR = proteína degradable en rumen (%), PNDR = proteína no degradable en rumen (%), FC = fibra bruta (%), FDN = fibra detergente neutro (%), FDA = fibra detergente ácido (%), ExE = extracto etéreo (%), Ca = calcio (%), P = fósforo (%).

^a Referido a paja de soya

^b Subproducto del “maíz, grano”

^c Bermuda Cruza I

* Producido en la explotación

6.2.2. Matriz de coeficientes para dietas

La tabla siguiente muestra los *coeficientes* que se requieren para formular las diferentes variantes de los modelos de dieta.

Tabla 9. Coeficientes para los modelos de dietas.

$N^a \setminus V$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
EN_l	1.33	1.81	2.28	1.35	2.06	1.89	1.63	1.21	0.81	1.57	1.92
PC	19.9	44.3	23.6	9.5	11.1	5.8	53.8	23.3	5.2	43.7	47.3
PDR	14.3	22.1	13.5	7.9	5.1	5.8	27.4	15.2	5.2	32.3	21.3
PND	5.6	22.2	10.1	1.6	6.0	-	26.4	8.1	-	11.4	26.0
FC	28.5	12.9	19.8	32.0	1.4	0.5	2.4	34.2	44.3	13.7	4.9
FDN	42	28	37	62	18	-	-	59	-	-	37
FDA	32.1	18.0	26.0	38.4	1.8	0.4	-	43.7	-	-	9
Ca	1.63	0.20	0.15	0.32	0.15	1.00	10.71	0.27	1.59	0.43	0.16
P	0.21	1.17	0.73	0.25	0.24	0.10	5.32	0.77	0.06	1.15	0.51
$\$/k^{b/}$	1.60	2.30	2.40	1.00	1.20	0.90	2.60	2.00	0.60	2.20	3.60

... continuación

X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_{21}	X_{22}	Req.
2.05	1.56	1.35	1.45	1.61	0.96	1.39	1.83	1.29	1.98	1.58	1.67
9.6	8.0	6.4	8.3	29.5	10.3	14.6	11.3	6.7	48.1	17.4	15
4.6	6.0	6.4	5.7	17.7	10.3	14.6	5.2	6.7	31.3	12.7	9.6
5.0	2.0	-	2.6	11.8	-	-	6.1	-	16.8	4.7	5.4
2.6	22.6	34.4	21.9	14.3	31.3	26.6	2.5	24.4	6.5	11.3	17
-	-	69	-	46	76	-	18	-	-	51	28
-	-	39.0	26.7	22.9	39.3	31.4	4.0	38.0	-	14	21
0.05	-	0.57	0.22	0.32	0.47	0.49	0.05	0.35	0.29	0.14	0.53
0.31	-	0.10	0.24	0.55	0.17	0.29	0.34	0.21	0.69	1.27	0.34
1.40	1.00	0.40	0.30	1.30	0.60	0.10	1.30	0.30	2.50	1.30	<i>Min.</i>

Fuente: derivada de la Tabla 8

donde N = nutrimento y V = variable (ingrediente)

^a Para obtener *soluciones eficientes* se tuvo que eliminar de la Tabla 8 la restricción relativa al *ExE*.

^b Precios de Septiembre de 2000.

La MS no necesita ser incluida. Se recomienda que el animal consuma un 3% de su peso en MS (aproximadamente 18 k/día).

Debe aclararse, que el monto de los *requerimientos* (y las dietas) está referido al período en el que se considera como *estable* el consumo de materia seca (después de 100 días de lactación).

La *condición* de optimalidad paretiana de las soluciones multiobjetivo, les confiere una gran *sensibilidad* con respecto a los cambios en los *parámetros* del modelo. Quitar o agregar una restricción o una variable, e incluso modificar el lado derecho de una restricción o el coeficiente de una variable, puede ser la razón de la existencia o no de *soluciones eficientes* o de que se modifiquen totalmente los resultados ya obtenidos. Como

se podrá comprobar al agregar o quitar la restricción referente al *ExE*, al incluir el ingrediente grasa animal, al modificar el valor de los requerimientos para FDN, el costo de uno o más de los ingredientes, etc.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado que, en la mayoría de las explotaciones de la zona predomina la siembra de *maíz para ensilar*, el ganado lechero no presenta diferencias genéticas de importancia, las vacas son alimentadas y manejadas de forma similar, y no se pretende analizar la eficiencia global de las unidades de producción, se decidió aplicar a *la explotación de referencia*, sólo algunos modelos de producción y de dietas.

7.1. Modelos para cultivos

Con el objeto de precisar los *montos* en costos de producción, horas máquina y jornales que son necesarios para cultivar las 50 hectáreas de la explotación, se probó el modelo *mop1*, con dos objetivos: uno para maximizar el margen bruto y otro para minimizar el valor de algunas *variables de desviación* (metas). Los resultados se muestran en la tabla siguiente

Tabla 10. Resultados del modelo de producción 1 (mop1).

<i>Sol\Var</i>	<i>Ms</i>	<i>Ph</i>	<i>Pv</i>	p_1	p_2	n_2	n_3	f_1	f_2
1	29.05		20.95			11.53	87.95	171.39	0.00
2	30.00		20.00	5.26		2.90	86.70	173.74	5.26
3	30.00	0.29	19.71	6.48			86.33	173.97	6.48
4	30.00	20.00		89.50	197.30		61.50	189.50	286.80

donde f_1 representa la maximización del margen bruto, f_2 es la minimización de la suma $p_1 + p_2 + p_3$, y n_i y p_i son variables de desviación.

La solución que mejor se ajusta al monto de recursos programados es la No. 1, con $f_2 = 0$ y, la que alcanza el mayor margen bruto es la No. 4 con $f_1 = 189\,500$. En la solución 4, las variables de *desviación* tienen los valores siguientes:

$n_1 = 0$ y $p_1 = 89\,500$ (costos de producción)

$n_2 = 0$ y $p_2 = 197.3$ (horas máquina)

$n_3 = 61.5$ y $p_3 = 0$ (jornales)

lo cual indica que, con un margen bruto de \$ 189 500, la explotación tiene un déficit de \$ 89 500 en costos de producción, necesita 197.3 horas máquina adicionales y le sobran 61.5 jornales.

Con base en los valores alcanzados por las *variables de desviación* del *mop1* y, considerando la posible inclusión del cultivo del frijol (con una alta demanda de jornales), se *estimó*, para la explotación de referencia, el siguiente valor (en números redondos) de los *recursos requeridos* o b_i :

\$ 400 000 en costos de producción

700 horas máquina

300 jornales.

A continuación, se probaron dos modelos más, el *mop2* y el *mop3*, para indagar las similitudes y las diferencias que pudiesen resultar con la aplicación de ambos enfoques (PL y PMO), los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 11. Resultados de los modelos de producción 2 y 3 (mop2 y mop3).

<i>Mod-sol \ Var-obj</i>	<i>Fc</i>	<i>Ms</i>	<i>Ph</i>	<i>Pv</i>	<i>f₁</i>	<i>F₂</i>	<i>f₃</i>
QSB-mop2							
1		30.00	20.00		189 500		
MLP-mop2							
1				20.00	39 820	55 780	90.00
2		30.00		20.00	173 740	305 260	497.10
3		30.00	20.00		189 500	389 500	697.30
4				50.00	99 550	139 450	225.00
QSB-mop3							
1	10.00	20.00	20.00		170 120		
MLP-mop3							
1				20.00	39 820	55 780	90.00
2	10.00	20.00		20.00	154 360	296 890	470.60
3	10.00	20.00	20.00		170 120	381 130	670.80
4				50.00	99 550	139 450	225.00

donde f_1 representa la maximización del margen bruto, f_2 es la minimización de los costos de producción y f_3 es la minimización de las horas máquina.

De entrada, se puede apreciar que los valores de las variables de decisión en la solución PL del *mop2* son idénticos a los valores de la solución 4 del anterior *mop1*, es decir, al cultivar 30 hectáreas de *Ms* y 20 hectáreas de *Ph* el margen bruto es de \$ 189, 500.

También se puede apreciar que la *mejor* opción para el *mop2* sería la indicada en la solución *tradicional*² (QSB), la cual coincide con la solución *multiobjetivo* 3; que las soluciones *multiobjetivo* 1 y 4 parecen no tener mayor interés en términos productivos y más aún, si se considera el margen bruto alcanzado; y que la solución MO 2 sería la

² Puesto que, la solución *tradicional* es única, se hará referencia a ella como la solución PL, mientras que las soluciones *multiobjetivo* serán identificadas con su número específico.

segunda en importancia, si es que el productor estuviese interesado en reducir los costos de producción y/o las horas máquina.

De forma similar, la tabla muestra que para el *mop3* la solución de PL de nuevo resulta ser la *mejor* y que coincide con la solución MO 3; que las soluciones MO 1 y 4 son iguales a las soluciones MO 1 y 4 del *mop2*; y que la solución MO 2 es muy semejante a su homóloga del *mop2*. Y, como era de esperar, la restricción añadida al *mop3* (rotación de cultivos) empeoró el valor de los tres objetivos.

Es importante dejar constancia de que, las soluciones eficientes del modelo *mop3* cambian drásticamente con sólo cambiar el sentido de la cuarta restricción (rotación de cultivos) desde $=$ hasta $\geq$. En éste último caso sólo habría dos soluciones eficientes: la primera con $P_v = 20$ y la segunda con $P_v = 50$.

También, es un hecho interesante, que los modelos *mop2* y *mop3* arrojen idénticas soluciones eficientes con *tres* y con *dos* objetivos, i.e., resulta indiferente que en los modelos se maximice el margen bruto, se minimicen los costos de producción y se minimicen las horas máquina, a que se consideren sólo los dos primeros objetivos. Esto no siempre ocurre en todos los casos. Por ejemplo, si el objetivo de minimizar horas máquina fuese cambiado por el de minimizar jornales, las soluciones eficientes del *mop2* no variarían, pero las del *mop3* se incrementarían hasta seis.

Finalmente se probó un modelo con cuatro objetivos, el *mop4*, para ver si ocurría algún cambio de importancia (principalmente en las soluciones). En la Tabla 12 se pueden apreciar los resultados encontrados.

Se puede observar que los modelos *mop3* y *mop4* tienen idénticas soluciones. Considerando el último comentario que se hizo respecto a los resultados de la Tabla 11, se concluye que, para el programa que se analiza, da lo mismo probarlo con *dos*, con *tres* o con *cuatro* objetivos, en la secuencia: maximizar margen bruto, minimizar costos de producción, minimizar horas máquina y minimizar jornales.

Tabla 12. Resultados del modelo de producción 4 (mop4).

<i>Sol\Var</i>	<i>Fc</i>	<i>Ms</i>	<i>Ph</i>	<i>Pv</i>	<i>f₁</i>	<i>f₂</i>	<i>f₃</i>	<i>f₄</i>
1				20.00	39.82	55.78	90.00	49.60
2	10.00	20.00		20.00	154.36	296.89	470.60	244.10
3	10.00	20.00	20.00		170.12	381.13	670.80	269.30
4			50.00		138.95	350.05	725.50	167.00
5				50.00	99.55	139.45	225.00	124.00

donde f_1 representa la maximización del margen bruto, f_2 es la minimización de los costos de producción, f_3 es la minimización de las horas máquina y f_4 la minimización de los jornales requeridos.

Se entiende que, en las aplicaciones prácticas es el centro decisor (gerente, productor, etc.), quien tiene la atribución de decidir las prioridades que se deben establecer entre los objetivos.

... continuación

X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{21}	f_1	f_2/f_3	f_2	f_3
0.177		0.258			0.883			
		0.14			1.02	4.88	0.83	0.17
		0.13			1.15	5.25	0.84	0.16
		0.14			1.29	6.14	0.86	0.14
		0.11		0.01	1.24	5.67	0.85	0.15
		0.15			1.30	6.14	0.86	0.14
		0.14			1.02	4.88	0.83	0.17
		0.17			0.89	1.08	0.52	0.48
0.16		0.11			0.88	0.89	0.47	0.53
0.18		0.26			0.88	0.79	0.44	0.56
0.111	0.145	0.055			1.055			

donde f_1 representa la minimización del costo, f_2 es la maximización (uso máximo) de los productos internos y f_3 la minimización (uso mínimo) de los productos externos.

* Solución *dominada* (inferior o no eficiente)

^a Soluciones *diferentes* con igual valor en los objetivos

La solución 5 está dominada por la solución 3, porque la iguala en autonomía y tiene un costo menor, y la solución 9 está dominada por la solución 8, que tiene el mismo costo y mayor autonomía.

Dado que la *barredura* (X_5) es un ingrediente con una composición química muy variable, por depender de la naturaleza que tengan los “desperdicios” colectados, se

recomienda restringirla a un monto que sea $\leq 20\%$. Pero al incorporar ésta restricción al *mod1*, el modelo multiobjetivo deja de tener soluciones eficientes.

De forma similar a lo ocurrido con los modelos *mop2* y *mop3*, los modelos *mod1* y *mod2* arrojan resultados idénticos con *tres* y con *dos* objetivos, es decir, las soluciones del *mod1* no varían si se minimiza el costo, se maximizan los productos internos (los producidos en la explotación) y se minimizan los productos externos (quizá porque son redundantes) o si solamente se minimiza el costo y se maximizan los productos internos, y el *mod2* no tiene soluciones eficientes ni con tres ni con dos objetivos.

Se podría pensar que si el modelo PL tiene solución, el modelo MO también debiera tener al menos una solución, lo cual resulta ser incorrecto. Lo que si puede afirmarse es que, si existen soluciones MO, una de ellas corresponde a la solución PL.

La inexistencia de soluciones eficientes es en realidad un fenómeno más drástico que lo observado en el *mod2*. Tales soluciones desaparecen con solo agregar una restricción más, sin importar que ésta se refiera a un *nutrimento* (caso del *ExE*) o a uno o más *ingredientes* (caso de la barredura, el pasto, el Ms, etc.).

Si al *mod1*, que tiene dos objetivos: minimizar costo y maximizar producción interna, se le agrega un tercer objetivo: minimizar producción externa, existen soluciones eficientes. Pero si se agrega una restricción más, cualesquiera que ésta sea: barredura, Ms, Mg, etc., el modelo “colapsa”. Lo cual indica que, al menos éste modelo, tiene una sensibilidad mayor a las restricciones que a los objetivos.

Luego de eliminar del modelo “MLP-mod1” las soluciones *dominadas*, las siete soluciones restantes (mostradas en la Tabla 14) fueron sometidas a la evaluación de tres expertos en nutrición animal, para que decidieran cual de ellas les parecía *la mejor*. Los animales de referencia son vacas Holstein de 600 kg de peso que producen 25 L de leche con 3.5% de grasa y tienen una ganancia de peso de 300 g diarios.

Tabla 14. Soluciones eficientes en el modelo de dieta 1 (mod1).

<i>Concepto \ Dieta</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Ingredientes							
(X ₂) Algodón, pasta	0.14	0.11	0.02	0.09	0.14	0.12	0.02
(X ₃) Algodón, semilla	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04
(X ₄) Avena, henif.		0.23	0.39	0.40			
(X ₅) Barredura						0.33	0.29
(X ₇) Carne y h, harina	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
(X ₁₁) Maíz, gluten			0.06				
(X ₁₂) Maíz, grano	0.33	0.34	0.33	0.34	0.34		
(X ₁₄) Maíz, rastrojo	0.34	0.14			0.36	0.27	0.19
(X ₁₅) Maíz, silo	0.02					0.09	0.17
(X ₁₆) Masilla							0.16
(X ₁₇) Pasto, henif.							
(X ₁₈) Pasto, verde	0.14	0.13	0.14	0.11	0.14	0.17	0.11
(X ₁₉) Sorgo, grano							
(X ₂₁) Soya, pasta				0.01			
<i>Costo</i>	<i>1.02</i>	<i>1.15</i>	<i>1.29</i>	<i>1.24</i>	<i>1.02</i>	<i>0.89</i>	<i>0.88</i>
Nutrimientos							
EN _l	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
PC	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
PDR	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60	9.60
PNDR	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
FC	18.80	18.51	18.22	18.32	18.85	18.80	17.00
FDN	28.00	28.00	28.00	28.00	28.87	28.00	28.00
FDA	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Ca	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
P	0.46	0.49	0.47	0.52	0.46	0.42	0.41

Como resultado de esta consulta, se encontró que la dieta con el mejor balance de *nutrimentos* es la número 2 y que, la que mejor cumple los *requerimientos* y tiene el menor *costo* es la número 8. Por ello se decidió hacer algunos “ajustes” a ésta última, que se puedan consultar en el anexo A, dando como resultado el *mod2*. Sin embargo, la variante multiobjetivo resultó sin soluciones eficientes.

Las soluciones 3 y 4 parecen un tanto *caras*, pero tanto éstas como cualesquiera de las soluciones restantes se pueden “ajustar” a las condiciones de la explotación y/o las preferencias del productor. Curiosamente, las soluciones 1 y 6, que difieren un poco en los ingredientes, *coinciden* en el valor de los objetivos.

Lo más sobresaliente en el *mod1* (Tabla 13), es el hecho de que la solución MO 9 muestra que el óptimo de PL es una solución *dominada* (inferior) y que, por tanto, debiera ser eliminada. Tal situación no es posible detectarla cuando se trabaja sólo con PL. Habrá que investigar lo que le ocurre a un modelo PL, con solución óptima *dominada*, cuando se le agregan nuevas restricciones. En las escasas aplicaciones de la programación fraccional a la formulación de raciones (Lara, 1993) no hay anotaciones sobre el particular.

No debe perderse de vista que el modelo aquí presentado es un modelo *reducido* (le faltan algunas restricciones) y un tanto *hipotético*. Antes de intentar “aplicarlo” se tendría que ajustar el contenido de *vitaminas y minerales*, indagar el *volumen* consumido por los animales, revisar la forma y manera en que se suministra la dieta, etc. En otras palabras, el responsable de su aplicación debe ser un experto en nutrición animal.

Dado que, los ingredientes que se adquieren en el mercado a más del costo de producción incluyen también un costo de comercialización, se esperaba que al incrementar el uso de la producción interna, i.e., a medida que se ganase autonomía, el costo de las dietas se fuera reduciendo. Pero como ha ocurrido el efecto contrario (a mayor autonomía mayor costo), se decidió ensayar con cuatro modelos más, a fin de indagar si el fenómeno se debía al *balance* de los ingredientes producidos en la explotación (predominio de forrajes), o bien, a su *precio unitario*.

En la tabla siguiente se exponen los resultados alcanzados por los *objetivos* (no se incluye el valor de las variables).

Tabla 15. Ensayos en diferentes dietas con PMO.

<i>Mod., Obj. \ Sol.</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
MLP-mod3							
Costo	0.88	0.89	1.03	1.07	1.16	1.331	1.36
Forraje	0.47	0.52	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71
Concentrado	0.53	0.48	0.34	0.33	0.32	0.30	0.29
MLP-mod4							
Costo	0.88	0.89	0.99	1.03	1.07	1.56	
Concentrado	0.56	0.58	0.67	0.71	0.73	1.00	
Forraje	0.44	0.42	0.33	0.29	0.27	0.00	
MLP-mod5							
Costo	0.88	0.89	1.02	1.07	1.41	1.75	
Forr.-Conc. (a)	0.62	0.73	0.80	0.82	0.93	1.00	
Forr.-Conc. (b)	0.38	0.27	0.20	0.18	0.07	0.00	
MLP-mod6							
Costo	0.50	0.57	0.59	0.72	0.87		
Forr.-Conc. (a)*	0.73	0.80	0.82	0.90	1.00		
Forr.-Conc. (b)	0.27	0.20	0.18	0.10	0.00		

1. El *forraje* incluye las variables $X_1, X_4, X_9, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{17}, X_{18}$ y X_{20}
2. El *concentrado* incluye las *trece* variables no incluidas en el *forraje*
3. La combinación forraje-concentrado de los grupos (a) y (b) es arbitraria, sólo se cuidó el balance cualitativo de los ingredientes.
4. El grupo *forraje-concentrado* (a) incluye las variables X_1, X_2, X_5, X_7, X_9 a X_{12}, X_{15}, X_{18} y X_{21}

5. El grupo *forraje-concentrado (b)* incluye las *once* variables no incluidas en el grupo *forraje-concentrado (a)*
6. En el *mod6*, los *costos* del grupo *forraje-concentrado (a)** son un 50% más bajos que los costos del grupo *forraje-concentrado (a)* del *mod5*
7. En todos los modelos el *costo* representa a f_1 , la *segunda* fila a f_2 y la *tercera* a f_3
8. En todos los casos f_1 se *minimiza*, f_2 se *maximiza* y f_3 se *minimiza*
9. Las soluciones se ordenaron de forma *ascendente* con respecto a f_2 (autonomía)
10. Sólo se han registrado en la tabla las soluciones *no* dominadas
11. El costo esta expresado en \$/kg y f_2 y f_3 se expresan en %, aunque también son válidas las unidades absolutas (kg, t, etc.).

En el *mod6*, se aprecia con claridad que, si la empresa produce *ingredientes baratos*, el costo de las dietas *baja* significativamente. Sin embargo, se mantiene la relación costo-autonomía ya señalada: el incremento en el *costo* es *directamente* proporcional al incremento en la *autonomía*.

De nuevo, se tiene que recordar que en la programación multiobjetivo, normalmente, se trabaja con objetivos en *conflicto*, es decir, entre los objetivos considerados se da siempre una cierta “tensión natural” que es la responsable de la *inexistencia* de un óptimo general para el modelo. Por ello, cuando alguno de los objetivos es *forzado* a “mejorar” su situación, al menos uno de los objetivos restantes se verá “dañado” en alguna forma.

Así, en el caso de la alimentación del ganado es “natural” que se dé un conflicto entre la autonomía de la empresa y el costo de la dieta. Dicho en otras palabras, la pretensión de ganar autonomía trae aparejado un “castigo” para el productor, que se manifiesta en el costo de la dieta. Y se pueden señalar muchos otros ejemplos: la extracción continua de ganancias extraordinarias, normalmente, se contrapone con el aprovechamiento “sustentable” de los recursos; la intervención excesiva del Estado en la economía distorsiona los precios de los factores; la concentración y centralización del capital está reñida con la satisfacción de las necesidades sociales; etc.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

1. Sin olvidar que todo *modelo* es una “representación simplificada de la realidad”, es posible afirmar que con la programación multicriterio (PMC) se logra una mejor *adecuación* a la situación problema, en virtud de que, el común de las situaciones problema involucran más de un objetivo (Sumpsi *et al.*, 1996), en tanto que, con el enfoque de programación monocriterio o tradicional (PL), tiene lugar un *mayor* forzamiento del fenómeno bajo estudio para que se “ajuste” a la exigencia de un criterio único.
2. Al comparar la *eficacia* de los algoritmos de solución, se puede observar que el enfoque tradicional tiene algunas ventajas sobre el enfoque multicriterio, sobre todo porque la PL normalmente proporciona “pistas” sobre las complicaciones operativas, mientras que la programación multiobjetivo aún presenta deficiencias en dicho aspecto. Sin duda, las ventajas del enfoque multicriterio se harán evidentes cuando se cuente con un software más amigable y completo.
3. A partir de los modelos de *producción* se puede apreciar la *importancia* de la programación de metas (PM), cuando se combina con la programación multiobjetivo (PMO), para determinar el *monto* de los recursos que demanda un proceso de producción (*mopI*). Y los modelos de *dietas* muestran la *efectividad* de la programación fraccional (PF) para incorporar a los modelos aquellos objetivos que deben ser expresados mediante una *razón* (fracción). Como es el caso de la *autonomía* de la empresa, pero que también puede ser la *productividad* del trabajo, la *rentabilidad* de una inversión, etc.
4. De los resultados de los modelos ensayados se puede concluir, que cuando *existan* soluciones (eficientes) para el modelo multiobjetivo *siempre* habrá una solución (óptima) para el modelo PL y ésta coincidirá con una de las soluciones MO. Pero la

existencia de una solución para el modelo PL no implica la existencia de soluciones MO. También se encontró que los modelos MO probados, son más *sensibles* al número de restricciones que al número de objetivos.

5. Al considerar las propiedades más importantes de ambos enfoques (el monocriterio o PL y el multicriterio o MO), se puede concluir lo siguiente:
 - a) La PL cuenta con una base conceptual mucho más sólida que la alcanzada hasta ahora por la programación MO, además de que, los algoritmos de solución, el proceso de formulación de los modelos y la interpretación de los resultados, es mucho más sencillo que en el caso MO. Y lo mismo se puede decir sobre el software disponible, donde la eficacia y sencillez de los paquetes PL (QSB, LINDO, etc.) aventajan con mucho lo que se ha logrado en PMO (MLP, NIMBUS, etc.).
 - b) Se puede decir que en el enfoque de PL predomina una lógica de *eficacia*. Si la situación problema *no es anormal* (un modelo infactible o no acotado), el algoritmo PL siempre va a encontrar un óptimo, sin importar que entre los objetivos haya fuertes tensiones y desequilibrios (por ejemplo, una autonomía excesiva de la empresa a expensas del costo de la dieta, o la obtención de altas ganancias con un rápido deterioro de los recursos, etc.), mientras que, en el enfoque MO, subyace una lógica de *equilibrio*, de ahí la relativa facilidad con la que se “pierden” las soluciones eficientes
 - c) En el enfoque multiobjetivo, no es necesario que las unidades de los diferentes objetivos del programa (\$, kg, L, t, etc.) tengan que ser reducidas a una unidad única, por ejemplo, pesos o toneladas, como sucede cuando se tiene que definir un objetivo global, como en el caso monocriterio de PL. Así, en los modelos de producción, el margen bruto y los costos de producción fueron expresados en pesos, las horas máquina en horas y el empleo en jornales.
 - d) Como los modelos MO normalmente arrojan más de una solución eficiente, para el centro decisor es relativamente fácil elegir la(s) alternativa(s) que mejor resuelva(n) el problema considerado. En tanto que en la PL sólo es posible analizar la única solución

proporcionada, sin siquiera saber si es o no *inferior*. No obstante, se debe destacar la importancia exploratoria del *análisis de sensibilidad* de PL, opción que, hasta la fecha, no ha sido incorporada a la programación MO.

8.2. Recomendaciones

1. Si un modelo multiobjetivo, bien formulado, carece de soluciones eficientes, una buena salida puede consistir en resolver un modelo similar de PL, dejando como objetivo del modelo de PL el objetivo prioritario de PMO. Como ya fue apuntado, parece que la mejor opción será una integración cuidadosa de ambos enfoques.
2. En investigaciones posteriores se podría *indagar* si en los modelos multiobjetivos existen rangos de valores para las variables en cada solución eficiente, de una manera semejante a como existen para los precios sombra en PL, y la manera de aprovechar las ventajas analíticas y operativas que ofrece la dualidad.
3. Se puede decir que hay un campo casi virgen para las aplicaciones de la programación multicriterio, en las áreas de la administración, la economía de los recursos naturales, las finanzas, la ingeniería, la mercadotecnia, etc. Específicamente, en la región Altos de Jalisco, habrá que determinar planes de cultivos para las explotaciones que cuenten con agua para riego, e incorporar a los modelos otros elementos de análisis como, por ejemplo, el factor riesgo y la no linealidad.

REFERENCIAS

- Anderson, D., Sweeney, D. y Williams, T. (1999). *Métodos cuantitativos para los negocios*, 7ª edición. Thomson Editores. México
- Avila T, S. (1988). *Producción intensiva de ganado lechero*. CECSA, 4ª impresión. México.
- Ballesteros, E. y Romero, C. (1998). *Multiple criteria decision making and its applications to economic problems*. Kluwer Academic Publishers. Boston.

- Buxadé, C. (Coordinador y Director) (1996). *Producción vacuna de leche y carne*. Serie: Zootecnia, bases de producción animal. T. VII. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Canudas L, E. G. (1999). *El pastoreo racional intensivo para la sostenibilidad de la agricultura en el trópico*. En: Memorias del 1^{er} Simposio Internacional de Agricultura Sostenible y Orgánica. Pachuca, Hgo.
- Castellanos R, J. Z. (1989). *Estiércol y gallinaza para uso agrícola*. Revista AgroSíntesis. Julio, pp. 54-62.
- Chadha, S. (1987). *Hyperbolic programming-new criteria*. Economic computation and economic cybernetics studies research, 22(4): 83-88.
- Charnes, A. y Cooper, W. (1962). *Programming with linear fractional functionals*. Navals Research Logistics Quarterly, 9: 181-186.
- Charnes, A., Cooper, W. y Ferguson, R. (1965). *Optimal estimation of executive compensation by linear programming*. Management Science, 1: 138-151.
- Cochrane, J. y Zeleny, M. (Editores) (1973). *Multiple criteria decision making*. University of South Carolina Press, Columbia.
- Crespo, G., Valdés, G., Cino, D., del Poso, P. y Vega, J. (1987). *El estiércol vacuno, su uso en la producción de pastos*. Instituto de Ciencia Animal, del Ministerio de Educación Superior. La Habana.
- Davis, K. y Mckeown, P. (1986). *Modelos cuantitativos para administración*. Iberoamérica. México.
- Domínguez V, A. (1997). Tratado de Fertilización. 3^a edición, Mundi Prensa, España.
- Eppen, G., Gould, F., Schmidt, C., Moore, J. y Weatherford, L. (1999). *Investigación de operaciones en la ciencia administrativa*. 5^a edición. Prentice Hall. México.
- FIRA. (1991). *Situación actual de la lechería mundial y sistemas de producción en México*. Boletín Informativo. Vol. XXIII, Núm. 227.
- Fraga, M^a. J. (1984). *Alimentación práctica de bovinos*. Mundi-prensa. Madrid.
- Frank G, R. (1977). *Costos y administración de la maquinaria agrícola*. Hemisferio Sur S. A. Argentina.
- French, S. (1986). *Decision theory*. John Wiley & Sons. New York.
- French, S. (1998). *Decision making not decision theory*. In: Journal of Multi-criteria Decision Analysis, 7: 303-304.

- Friedman, M. (1962) *Price theory: a provisional text*. Aldine, Chicago.
- Goicoechea, A., Hansen, D. y Duckstein, L. (1982). *Multiobjective decision analysis with engineering and business applications*. John Wiley and Sons, New York.
- González, C. (Compilador) (1996). *Los Altos de Jalisco al fin de siglo*. Simposium, Tepatitlán, Jalisco, 28 y 29 de junio. México.
- Guerras M, L. A. (1989). *Gestión de empresas y programación multicriterio*. Editorial ESIC. España.
- Hillier, F. y Lieberman, G. (1996). *Introducción a la investigación de operaciones*. McGraw Hill. México.
- Ignizio, J. (1982). *Linear Programming in single & multiple objective systems*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs.
- INEGI (1994). *Censo agrícola y ganadero. Resultados definitivos*. Tomo II. México.
- INIFAP (1999). CEAJAL-CIPAC. *Resultados y avances de investigación*, 1999.
- Keen, P. G. W. (1977). *The evolving concept of optimality*. En: Multiple Criteria Decision Making, Starr, M. K. and Seleny, M. (Eds.) North Holland Publishing. Amsterdam, 31-58.
- Keeney, R. y Raiffa, H. (1976). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*. John Wiley & Sons. New York.
- Koopmans, T. (1951). *Analysis of production as an efficient combination of activities*. In: Activity Analysis of Production and Allocation. John Wiley & Sons. New York.
- Kuhn, H, y Tucker, A. (1951). *Nonlinear programming*, en Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistical and Probability. University of California Press. Berkeley.
- Lara, P. (1993). *Multiple objective fractional programming and livestock ration formulation: A Case Study for Dairy Cow Diets in Spain*. Agricultural Systems, 41: 321-334. England.
- Larson, R., Hostetler, R. y Edwards, B. (1995). *Cálculo* (V. I y V. II). 5ª edición. McGraw-Hill. Madrid.
- Marshall, H. J. (1993). *Animal feeding and nutrition*. 7th Edition. Kendall/Hunt Publishing Company, U.S.A.

- Miettinen, K. (1999). *Nonlinear multiobjective optimization*. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- National Academy of Sciences. (1988). National Research Council. *Nutrient requirements of dairy cattle*. Sixth revised edition, Washington D. C.
- Nykowski, I. y Zolkiewski, Z. (1985). *A compromise procedure for the multiple objective linear fractional programming problem*. European journal of operational research, 19: 91-97.
- Ortiz-Cañavate, J. (1993). *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. 4ª edición revisada. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Pareto, V. (1971). *Manual of Political Economy*. A.M. Kelley, New York.
- Patrick, G. F. and Kliebenstein, J. B. (1980). *Multiple goals in farm firm decision making: a social science perspective*. Department of Agricultural Economics Agricultural Experimental Station. Purdue University.
- Peña, Mª T., Castrodeza, C. y Lara, P. (en prensa). *Un nuevo enfoque para la introducción del riesgo en un modelo de planificación agraria*. (en prensa), España.
- Pereda, M., Bueno, G. y González, S. (1999). *Optimización de formulación de dietas para ganado con modelos lineales y no lineales mediante el sistema NUTRICEC*. En Revista Agrociencia, Enero-marzo. México.
- Pratt, P. F. (1982). *El valor del estiércol como fertilizante*. En: La Utilización de los Estiercoles en la Agricultura. Castellanos R, J. Z. y J. L. Reyes C. (eds.). Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, A. C. Torreón Coah., pp. 79-89.
- Rehman, T. and Romero, C. (1987). *Multiobjective and goal programing techniques for solving agricultural planning problems*. In: Agriculture and economic instability, Bellamy, M. and Greenshields, B. (Ed.s.) Gower Publishing Company. Aldershot.
- Rodríguez, G. y Chombo, P. (1998). *Los juegos de poder. Globalización y cadenas agroindustriales de la leche en Occidente*. CIESAS, etc. México.
- Romero, C. (1993). *Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones*. Alianza Editorial. Madrid.
- Romero, C. (1997). *Economía de los recursos naturales y ambientales*. 2ª Edición, Alianza Editorial. España.

- Romero, C. y Rehman, T. (1989). *Multiple criteria analysis for agricultural decisions*. Elsevier Science Publishers. Amsterdam.
- Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. New York.
- SAGAR. (2000). *Situación actual y perspectivas de la producción de leche de ganado bovino*. Revista Claridades Agropecuarias. Enero.
- Schaible, S. e Ibaraki, T (1982). *Fractional programming*. European journal of operational research, 12: 325-338.
- Simon, H. (1955). *A Behavioral model of rational choice*. Quaterly journal of Economics, 69: 99-118.
- Stadler, W. (1984). *A comprehensive bibliograhpy on multicriteria decision making, en MCDM past decade and future trends*. JAI Press Inc.
- Stancu-Minasian, I. y Lara, P. (en prensa). *Programación fraccional: una herramienta para la valoración de la sostenibilidad*.
- Stancu-Minasian, I. (1997). *Fractional programming. Theory, methods and applications*. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- Steuer, R. (1986). *Multiple criteria optimization: Theory, computation and application*. John Wiley & Sons. New York.
- Sumpsi, J. M. Amador, F. y Romero, C. (1996). *On farmers' objectives: a multi-criteria approach*. In: European Journal of Operational Research, 96: 64-71.
- Vincke, Ph. (1992). *Multicriteria decision-aid*. John Wiley & Sons. Chichester.
- Weber, J. (1991). *Matemáticas para administración y economía*. Harla. México.
- Yu, P. (1985). *Multiple criteria decision making: concepts, techniques and extensions*. Plenum Press, New York.
- Zeleny, M. (1974). *A concept of compromiso solutions and the method of the displaced ideal*. Computers and Operations Research, 1: 479-496.
- Zeleny, M. (1982). *Multiple criteria decision making*. McGraw Hill. New York.

ANEXOS

Anexo A1: Modelos y resultados monocriterio

Anexo A2: Modelos y resultados multicriterio

Anexo B: Costos de producción de cultivos

mop2

Variable -->	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms
Maximize	1373	2526	1524	1713	4464
Capital de Trabajo	6907	7479	7056	9867	8316
Horas Máquina	13.09	10.92	8.40	14.90	13.57
Jornales	3.97	11.87	3.93	14.79	3.79
Tierra	1	1	1	1	1
Pradera					
LowerBound	0	0	0	0	0
UpperBound	M	M	M	M	M
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

Ph	Pv	Sg	Ss	Direction	R. H. S.
2779	1991	1572	1476		
7001	2789	6608	6804	<=	400000
14.51	4.50	8.40	10.23	<=	700
3.74	2.48	3.79	3.29	<=	300
1	1	1	1	<=	50
1	1			>=	20
0	0	0	0		
M	M	M	M		
Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

Combined Report for mop2

	14:24:22		Thursday	October	31	1996		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	Ah	0	1.373,0000	0	-3.091,0000	at bound	-M	4.464,0000
2	Fc	0	2.526,0000	0	-1.938,0000	at bound	-M	4.464,0000
3	Mg	0	1.524,0000	0	-2.940,0000	at bound	-M	4.464,0000
4	Mh	0	1.713,0000	0	-2.751,0000	at bound	-M	4.464,0000
5	Ms	30,0000	4.464,0000	133.920,0000	0	basic	2.779,0000	M
6	Ph	20,0000	2.779,0000	55.580,0000	0	basic	1.991,0000	4.464,0000
7	Pv	0	1.991,0000	0	-788,0000	at bound	-M	2.779,0000
8	Sg	0	1.572,0000	0	-2.892,0000	at bound	-M	4.464,0000
9	Ss	0	1.476,0000	0	-2.988,0000	at bound	-M	4.464,0000
	Objective	Function	(Max.) =	189.500,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	Capital de Trabajo	389.500,0000	<=	400.000,0000	10.500,0000	0	389.500,0000	M
2	Horas Máquina	697,3000	<=	700,0000	2,7000	0	697,3000	M
3	Jornales	188,5000	<=	300,0000	111,5000	0	188,5000	M
4	Tierra	50,0000	<=	50,0000	0	4.464,0000	20,0000	50,1990
5	Pradera	20,0000	>=	20,0000	0	-1.685,0000	12,0152	22,8723

Variable -->	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms
Maximize	1373	2526	1524	1713	4464
Costos de Producción	6907	7479	7056	9867	8316
Horas Máquina	13.09	10.92	8.40	14.90	13.57
Jornales	3.97	11.87	3.93	14.79	3.79
Tierra	1	1	1	1	1
Pradera					
Rotación de Cultivos	-1	2	-1	-1	-1
LowerBound	0	0	0	0	0
UpperBound	M	M	M	M	M
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

Ph	Pv	Sg	Ss	Direction	R. H. S.
2779	1991	1572	1476		
7001	2789	6608	6804	<=	400000
14.51	4.50	8.40	10.23	<=	700
3.74	2.48	3.79	3.29	<=	300
1	1	1	1	<=	50
1	1			>=	20
		-1	-1	=	0
0	0	0	0		
M	M	M	M		
Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

Combined Report for mop3

	11:35:28		Wednesday	November	27	1996		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	Ah	0	1.373,0000	0	-3.091,0000	at bound	-M	4.464,0000
2	Fc	10,0000	2.526,0000	25.260,0000	0	basic	-591,0000	M
3	Mg	0	1.524,0000	0	-2.940,0000	at bound	-M	4.464,0000
4	Mh	0	1.713,0000	0	-2.751,0000	at bound	-M	4.464,0000
5	Ms	20,0000	4.464,0000	89.280,0000	0	basic	2.905,5000	M
6	Ph	20,0000	2.779,0000	55.580,0000	0	basic	1.991,0000	3.818,0000
7	Pv	0	1.991,0000	0	-788,0000	at bound	-M	2.779,0000
8	Sg	0	1.572,0000	0	-2.892,0000	at bound	-M	4.464,0000
9	Ss	0	1.476,0000	0	-2.988,0000	at bound	-M	4.464,0000
	Objective	Function	(Max.) =	170.120,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	Costos de Producción	381.130,0000	<=	400.000,0000	18.870,0000	0	381.130,0000	M
2	Horas Máquina	670,8000	<=	700,0000	29,2000	0	670,8000	M
3	Jornales	269,3000	<=	300,0000	30,7000	0	269,3000	M
4	Tierra	50,0000	<=	50,0000	0	3.818,0000	20,0000	52,3016
5	Pradera	20,0000	>=	20,0000	0	-1.039,0000	8,8092	36,0146
6	Rotación de Cultivos	0	=	0	0	-646,0000	-30,0000	11,3985

mod1

Variable -->	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
Minimize	1.6	2.3	2.4	1	1.2	0.9	2.6	2
EN-I	1.33	1.81	2.28	1.35	2.06	1.89	1.63	1.21
PC	19.9	44.3	23.6	9.5	11.1	5.8	53.8	23.3
PDR	14.3	22.1	13.5	7.9	5.1	5.8	27.4	15.2
PNDR	5.6	22.2	10.1	1.6	6		26.4	8.1
FC	28.5	12.9	19.8	32	1.4	0.5	2.4	34.2
FDN	42	28	37	62	18			59
FDA	32.1	18	26	38.4	1.8	0.4		43.7
Ca	1.63	0.2	0.15	0.32	0.15	1	10.71	0.27
P	0.21	1.17	0.73	0.25	0.24	0.1	5.32	0.77
Peso	1	1	1	1	1	1	1	1
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17
0.6	2.2	3.6	1.4	1	0.4	0.3	1.3	0.6
0.81	1.57	1.92	2.05	1.56	1.35	1.45	1.61	0.96
5.2	43.7	47.3	9.6	8	6.4	8.3	29.5	10.3
5.2	32.3	21.3	4.6	6	6.4	5.7	17.7	10.3
	11.4	26	5	2		2.6	11.8	
44.3	13.7	4.9	2.6	22.6	34.4	21.9	14.3	31.3
		37			69		46	76
		9			39	26.7	22.9	39.3
1.59	0.43	.16	0.05		0.57	0.22	0.32	0.47
0.06	1.15	.51	0.31		0.1	0.24	0.55	0.17
1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
M	M	M	M	M	M	M	M	M
Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous

X18	X19	X20	X21	X22	Direction	R. H. S.
0.1	1.3	0.3	2.5	1.3		
1.39	1.83	1.29	1.98	1.58	>=	1.67
14.6	11.3	6.7	48.1	17.4	>=	15
14.6	5.2	6.7	31.3	12.7	>=	9.6
	6.1		16.8	4.7	>=	5.4
26.6	2.5	24.4	6.5	11.3	>=	17
	18			51	>=	28
31.4	4	38		14	>=	21
0.49	0.05	0.35	0.29	0.14	>=	0.53
0.29	0.34	0.21	0.69	1.27	>=	0.34
1	1	1	1	1	=	1
0	0	0	0	0		
M	M	M	M	M		
Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

... continuación

Combined Report for mod1

	14:27:47		Thursday	October	31	1996		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0	1,6000	0	0,9591	at bound	0,6409	M
2	X2	0,0330	2,3000	0,0759	0	basic	2,2308	2,4213
3	X3	0,0265	2,4000	0,0637	0	basic	2,2415	2,6922
4	X4	0	1,0000	0	0,5441	at bound	0,4559	M
5	X5	0,3084	1,2000	0,3701	0	basic	1,0000	1,3211
6	X6	0	0,9000	0	0,4739	at bound	0,4261	M
7	X7	0,0175	2,6000	0,0456	0	basic	2,0103	8,9916
8	X8	0	2,0000	0	1,2329	at bound	0,7671	M
9	X9	0	0,6000	0	1,6997	at bound	-1,0997	M
10	X10	0	2,2000	0	1,4209	at bound	0,7791	M
11	X11	0	3,6000	0	0,9706	at bound	2,6294	M
12	X12	0	1,4000	0	0,3667	at bound	1,0333	M
13	X13	0	1,0000	0	0,9019	at bound	0,0981	M
14	X14	0,1798	0,4000	0,0719	0	basic	0,3195	0,5499
15	X15	0	0,3000	0	0,0121	at bound	0,2879	M
16	X16	0,1768	1,3000	0,2299	0	basic	1,2256	1,3375
17	X17	0	0,6000	0	0,8956	at bound	-0,2956	M
18	X18	0,2579	0,1000	0,0258	0	basic	-0,3484	0,1136
19	X19	0	1,3000	0	0,4696	at bound	0,8304	M
20	X20	0	0,3000	0	0,3219	at bound	-0,0219	M
21	X21	0	2,5000	0	0,6575	at bound	1,8425	M
22	X22	0	1,3000	0	0,7167	at bound	0,5833	M
	Objective	Function	(Min.) =	0,8828				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	EN-I	1,6700	>=	1,6700	0	1,7672	1,6517	1,7481
2	PC	16,5864	>=	15,0000	1,5864	0	-M	16,5864
3	PDR	11,1864	>=	9,6000	1,5864	0	-M	11,1864
4	PNDR	5,4000	>=	5,4000	0	0,0751	4,9216	8,2383
5	FC	17,0000	>=	17,0000	0	0,0080	16,7134	17,8339
6	FDN	28,0000	>=	28,0000	0	0,0030	13,3327	39,7841
7	FDA	21,0000	>=	21,0000	0	0,0124	20,4893	21,3541
8	Ca	0,5300	>=	0,5300	0	0,0660	0,3455	0,7113
9	P	0,4152	>=	0,3400	0,0752	0	-M	0,4152
10	Peso	1,0000	=	1,0000	0	-2,9889	0,9389	1,0090

... continuación

X18	X19	X20	X21	X22	Direction	R. H. S.
0.1	1.3	0.3	2.5	1.3		
1.39	1.83	1.29	1.98	1.58	>=	1.67
14.6	11.3	6.7	48.1	17.4	>=	15
14.6	5.2	6.7	31.3	12.7	>=	9.6
	6.1		16.8	4.7	>=	5.4
26.6	2.5	24.4	6.5	11.3	>=	17
	18			51	>=	28
31.4	4	38		14	>=	21
0.49	0.05	0.35	0.29	0.14	>=	0.53
0.29	0.34	0.21	0.69	1.27	>=	0.34
1	1	1	1	1	=	1
					>=	0.10
					>=	0.20
1					>=	0.20
0	0	0	0	0		
M	M	M	M	M		
Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

... continuación

Combined Report for mod2

	14:29:12		Thursday	October	31	1996		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0	1,6000	0	1,2263	at bound	0,3737	M
2	X2	0	2,3000	0	0,2939	at bound	2,0061	M
3	X3	0,1328	2,4000	0,3188	0	basic	2,1994	3,0905
4	X4	0	1,0000	0	0,6565	at bound	0,3435	M
5	X5	0,1759	1,2000	0,2111	0	basic	0,7279	1,3095
6	X6	0	0,9000	0	0,6468	at bound	0,2532	M
7	X7	0,0255	2,6000	0,0662	0	basic	1,3468	8,8000
8	X8	0	2,0000	0	1,5584	at bound	0,4416	M
9	X9	0	0,6000	0	2,6274	at bound	-2,0274	M
10	X10	0	2,2000	0	1,6908	at bound	0,5092	M
11	X11	0	3,6000	0	0,9835	at bound	2,6165	M
12	X12	0,1000	1,4000	0,1400	0	basic	0,7495	M
13	X13	0	1,0000	0	1,4647	at bound	-0,4647	M
14	X14	0,0547	0,4000	0,0219	0	basic	0,1441	0,8397
15	X15	0,2000	0,3000	0,0600	0	basic	-0,6485	M
16	X16	0,1111	1,3000	0,1444	0	basic	0,6490	1,4615
17	X17	0,1452	0,6000	0,0871	0	basic	-0,1471	0,8531
18	X18	0,0548	0,1000	0,0055	0	basic	-0,1531	0,8471
19	X19	0	1,3000	0	0,6032	at bound	0,6968	M
20	X20	0	0,3000	0	1,4100	at bound	-1,1100	M
21	X21	0	2,5000	0	0,8331	at bound	1,6669	M
22	X22	0	1,3000	0	0,4540	at bound	0,8460	M
	Objective	Function	(Min.) =	1,0550				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	EN-I	1,6700	>=	1,6700	0	2,1674	1,6676	1,7510
2	PC	15,0000	>=	15,0000	0,0000	0	-M	15,0000
3	PDR	9,6000	>=	9,6000	0	0,0145	9,6000	10,9330
4	PNDR	5,4000	>=	5,4000	0	0,0555	5,4000	5,4121
5	FC	17,0507	>=	17,0000	0,0507	0	-M	17,0507
6	FDN	28,0000	>=	28,0000	0	0,0197	27,8540	33,6567
7	FDA	21,2148	>=	21,0000	0,2148	0	-M	21,2148
8	Ca	0,5300	>=	0,5300	0	0,1166	0,5157	0,9649
9	P	0,4608	>=	0,3400	0,1208	0	-M	0,4608
10	Peso	1,0000	=	1,0000	0	-4,0435	0,9542	1,0013
11	Mg	0,1000	>=	0,1000	0	0,6505	0,0904	0,2502
12	Ms	0,2000	>=	0,2000	0	0,9485	0,1978	0,3255
13	Pasto	0,2000	>=	0,2000	0	0,8627	0,0724	0,2062

mop1

CONSTRAINT COEFFICIENTS

	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms	Ph	Pv	Sg		
1)	6.91	7.48	7.06	9.87	8.32	7.00	2.79	6.61	2)	13.09
10.92	8.40	14.90	13.57	14.51	4.50	8.40	3)	3.97	11.87	3.93
14.79	3.79	3.74	2.48	3.79	4)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	5)						1.00	1.00
	Ss	n1	p1	n2	p2	n3	p3			
1)	6.80	1.00	-1.00					EQ	300.00	
2)	10.23			1.00	-1.00			EQ	500.00	
3)	3.29					1.00	-1.00	EQ	250.00	
4)	1.00							LE	50.00	
5)								GE	20.00	

OBJECTIVE COEFFICIENTS

	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms	Ph	Pv	Sg	
1)	1.37	2.53	1.52	1.71	4.46	2.78	1.99	1.57	
2)									
	Ss	n1	p1	n2	p2	n3	p3		
1)	1.48							MAX	
2)			1.00		1.00		1.00	MIN	

Solution no. 1

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values
Ms =	29.05	n3 =	87.95	F1 = 171.39
Pv =	20.95	S05- =	.95	F2 = .00
n2 =	11.53			

Solution no. 2

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values
Ms =	30.00	n2 =	2.90	F1 = 173.74
Pv =	20.00	n3 =	86.70	F2 = 5.26
p1 =	5.26			

... continuación

Solution no. 3

Basic Variables			Basic Variables			Objective Values		
-----			-----			-----		
Ms	=	30.00	p1	=	6.48	F1	=	173.97
Ph	=	.29	n3	=	86.33	F2	=	6.48
Pv	=	19.71						

Solution no. 4

Basic Variables			Basic Variables			Objective Values		
-----			-----			-----		
Ms	=	30.00	p2	=	197.30	F1	=	189.50
Ph	=	20.00	n3	=	61.50	F2	=	286.80
p1	=	89.50						

mop2

-----+
CONSTRAINT COEFFICIENTS

1)	Ah	3.97	Fc	11.87	Mg	3.93	Mh	14.79	Ms	3.79	Ph	3.74	Pv	2.48	Sg	3.79	2)	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Ss																	
1)	3.29	LE	300.00															
2)	1.00	LE	50.00															
3)		GE	20.00															

OBJECTIVE COEFFICIENTS

1)	Ah	1.37	Fc	2.53	Mg	1.52	Mh	1.71	Ms	4.46	Ph	2.78	Pv	1.99	Sg	1.57
2)	6.91	7.48	7.06	9.87	8.32	7.00	2.79	6.61								
3)	13.09	10.92	8.40	14.90	13.57	14.51	4.50	8.40								
	Ss															
1)	1.48	MAX														
2)	6.80	MIN														
3)	10.23	MIN														

Solution no. 1

Basic Variables	Basic Variables	Objective Values
-----	-----	-----
Pv = 20.00	S02+ = 30.00	F1 = 39.82
S01+ = 250.40		F2 = 55.78
		F3 = 90.00

Solution no. 2

Basic Variables	Basic Variables	Objective Values
-----	-----	-----
Ms = 30.00	S01+ = 136.70	F1 = 173.74
Pv = 20.00		F2 = 305.26
		F3 = 497.10

...continuación

Solution no. 3

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values	
-----		-----		-----	
Ms	= 30.00	S01+	= 111.50	F1	= 189.50
Ph	= 20.00			F2	= 389.50
				F3	= 697.30

Solution no. 4

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values	
-----		-----		-----	
Pv	= 50.00	S03-	= 30.00	F1	= 99.55
S01+	= 176.00			F2	= 139.45
				F3	= 225.00

mop3

-----+
CONSTRAINT COEFFICIENTS

1)	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms	Ph	Pv	Sg	2)	1.00
1.00	3.97	11.87	3.93	14.79	3.79	3.74	2.48	3.79		
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3)			
		1.00	1.00		4)	-1.00	2.00	-1.00	-1.00	-1.00
		-1.00								
	Ss									
1)	3.29	LE	300.00							
2)	1.00	LE	50.00							
3)		GE	20.00							
4)	-1.00	EQ	0							

OBJECTIVE COEFFICIENTS

1)	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms	Ph	Pv	Sg
	1.37	2.53	1.52	1.71	4.46	2.78	1.99	1.57
2)	6.91	7.48	7.06	9.87	8.32	7.00	2.79	6.61
3)	13.09	10.92	8.40	14.90	13.57	14.51	4.50	8.40
	Ss							
1)	1.48	MAX						
2)	6.80	MIN						
3)	10.23	MIN						

Solution no. 1

Basic Variables	Basic Variables	Objective Values
Pv = 20.00	S02+ = 30.00	F1 = 39.82
S01+ = 250.40		F2 = 55.78
		F3 = 90.00

Solution no. 2

Basic Variables	Basic Variables	Objective Values
Fc = 10.00	Pv = 20.00	F1 = 154.36
Ms = 20.00	S01+ = 55.90	F2 = 296.89
		F3 = 470.60

...continuación

Solution no. 3

Basic Variables

 Fc = 10.00
 Ms = 20.00

Basic Variables

 Ph = 20.00
 S01+ = 30.70

Objective Values

 F1 = 170.12
 F2 = 381.13
 F3 = 670.80

Solution no. 4

Basic Variables

 Pv = 50.00
 S01+ = 176.00

Basic Variables

 S03- = 30.00

Objective Values

 F1 = 99.55
 F2 = 139.45
 F3 = 225.00

mop4

-----+
CONSTRAINT COEFFICIENTS

	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms	Ph	Pv	Sg	
1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2)
0.00	-1.00	-1.00			1.00	1.00		3)	-1.00
				-1.00					2.00
	Ss								
1)	1.00	LE	50.00						
2)		GE	20.00						
3)	-1.00	EQ	0						

OBJECTIVE COEFFICIENTS

	Ah	Fc	Mg	Mh	Ms	Ph	Pv	Sg
1)	1.37	2.53	1.52	1.71	4.46	2.78	1.99	1.57
2)	6.91	7.48	7.06	9.87	8.32	7.00	2.79	6.61
3)	13.09	10.92	8.40	14.90	13.57	14.51	4.50	8.40
4)	3.97	11.87	3.93	14.79	3.79	3.74	2.48	3.79
	Ss							
1)	1.48	MAX						
2)	6.80	MIN						
3)	10.23	MIN						
4)	3.29	MIN						

Solution no. 1

Basic Variables

Pv = 20.00

Basic Variables

S01+ = 30.00

Objective Values

F1 = 39.82
F2 = 55.78
F3 = 90.00
F4 = 49.60

Solution no. 2

Basic Variables

Fc = 10.00
Ms = 20.00

Basic Variables

Pv = 20.00

Objective Values

F1 = 154.36
F2 = 296.89
F3 = 470.60
F4 = 244.10

...continuación

Solution no. 3

Basic Variables		
Fc	=	10.00
Ms	=	20.00

Basic Variables		
Ph	=	20.00

Objective Values	
F1 =	170.12
F2 =	381.13
F3 =	670.80
F4 =	269.30

Solution no. 4

Basic Variables		
Ph	=	50.00

Basic Variables		
S02-	=	30.00

Objective Values	
F1 =	138.95
F2 =	350.05
F3 =	725.50
F4 =	187.00

Solution no. 5

Basic Variables		
Pv	=	50.00

Basic Variables		
S02-	=	30.00

Objective Values	
F1 =	99.55
F2 =	139.45
F3 =	225.00
F4 =	124.00

mod1

CONSTRAINT COEFFICIENTS

	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	X08		
1)	1.33	1.81	2.28	1.35	2.06	1.89	1.63	1.21	2)	19.90
44.30	23.60	9.50	11.10	5.80	53.80	23.30	3)	14.30	22.10	13.50
7.90	5.10	5.80	27.40	15.20	4)	5.60	22.20	10.10	1.60	6.00
	26.40	8.10	5)	28.50	12.90	19.80	32.00	1.40	0.5000	2.40
.20	6)	42.00	28.00	37.00	62.00	18.00			59.00	7)
2.10	18.00	26.00	38.40	1.80	0.4000		43.70	8)	1.63	0.2000
500	0.3200	0.1500	1.00	10.71	0.2700	9)	0.2100	1.17	0.7300	0.2500
00	0.1000	5.32	0.7700	10)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0	1.00									
	X09	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16		
1)	0.8100	1.57	1.92	2.05	1.56	1.35	1.45	1.61	2)	5.20
43.70	47.30	9.60	8.00	6.40	8.30	29.50	3)	5.20	32.20	21.30
4.60	6.00	6.40	5.70	17.70	4)		11.40	26.00	5.00	2.00
	2.60	11.80	5)	44.30	13.70	4.90	2.60	22.60	34.40	21.90
.30	6)			37.00			69.00		46.00	7)
		9.00			39.00	26.70	22.90	8)	1.59	0.4300
600	0.0500		0.5700	0.2200	0.3200	9)	0.0600	1.15	0.5100	0.3100
	0.1000	0.2400	0.5500	10)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
.00	1.00									
	X17	X18	X19	X20	X21	X22				
1)	0.9600	1.39	1.83	1.29	1.98	1.58	GE	1.67		
2)	10.30	14.60	11.30	6.70	48.10	17.40	GE	15.00		
3)	10.30	14.60	5.20	6.70	31.30	12.70	GE	9.60		
4)			6.10		16.80	4.70	GE	5.40		
5)	31.30	26.60	2.50	24.40	6.50	11.30	GE	17.00		
6)	76.00		18.00			51.00	GE	28.00		
7)	39.30	31.40	4.00	38.00		14.00	GE	21.00		
8)	0.4700	0.4900	0.0500	0.3500	0.2900	0.1400	GE	0.530000		
9)	0.1700	0.2900	0.3400	0.2100	0.6900	1.27	GE	0.340000		
10)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	EQ	1.00		

OBJECTIVE COEFFICIENTS

	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	X08
1)	1.60	2.30	2.40	1.00	1.20	.90000	2.60	2.00
2)				1.00				
3)	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00
	X09	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16
1)	.60000	2.20	3.60	1.40	1.00	.40000	.30000	1.30
2)	1.00			1.00	1.00	1.00	1.00	
3)		1.00	1.00					1.00
	X17	X18	X19	X20	X21	X22		
1)	.60000	.10000	1.30	.30000	2.50	1.30	MIN	
2)	1.00	1.00	1.00	1.00			MAX	
3)					1.00	1.00	MIN	

... continuación

Solution no. 1

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values				
-----		-----		-----				
X02	=	.14	X15	=	.02	F1	=	1.02
X03	=	.01	X18	=	.14	F2	=	.83
X07	=	.02	S05-	=	1.80	F3	=	.17
X12	=	.33	S09-	=	.12			
X14	=	.34						

Solution no. 2

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values	
-----		-----		-----	
X02 =	.11	X14 =	.14	F1 =	1.15
X03 =	.02	X18 =	.13	F2 =	.84
X04 =	.23	S05- =	1.51	F3 =	.16
X07 =	.03	S09- =	.15		
X12 =	.34				

Solution no. 3

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values				
-----		-----		-----				
X02	=	.02	X12	=	.33	F1	=	1.29
X03	=	.03	X18	=	.14	F2	=	.86
X04	=	.39	S05-	=	1.22	F3	=	.14
X07	=	.03	S09-	=	.13			
X11	=	.06						

Solution no. 4

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values				
-----		-----		-----				
X02	=	.09	X18	=	.11	F1	=	1.24
X03	=	.02	X21	=	.01	F2	=	.85
X04	=	.40	S05-	=	1.32	F3	=	.15
X07	=	.03	S09-	=	.18			
X12	=	.34						

... continuación

Solution no. 5

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values	
X03	= .04	X18	= .15	F1	= 1.30
X04	= .39	S05-	= 1.21	F2	= .86
X07	= .03	S06-	= .13	F3	= .14
X11	= .08	S09-	= .12		
X12	= .33				

Solution no. 6

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values	
X02	= .14	X18	= .14	F1	= 1.02
X03	= .01	S05-	= 1.85	F2	= .83
X07	= .02	S06-	= .87	F3	= .17
X12	= .34	S09-	= .12		
X14	= .36				

Solution no. 7

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values	
X02	= .12	X15	= .09	F1	= .89
X03	= .01	X18	= .17	F2	= .52
X05	= .33	S05-	= .80	F3	= .48
X07	= .02	S09-	= .08		
X14	= .27				

Solution no. 8

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values	
X02	= .02	X15	= .17	F1	= .88
X03	= .04	X16	= .16	F2	= .47
X05	= .29	X18	= .11	F3	= .53
X07	= .02	S09-	= .07		
X14	= .19				

...continuación

Solution no. 9

Basic Variables		Basic Variables		Objective Values	
X02	= .03	X16	= .18	F1	= .88
X03	= .03	X18	= .26	F2	= .44
X05	= .31	S02-	= 1.59	F3	= .56
X07	= .02	S03-	= 1.59		
X14	= .18	S09-	= .08		

mod2

CONSTRAINT COEFFICIENTS

	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var 5	Var 6	Var 7	Var 8		
1)	1.33	1.81	2.28	1.35	2.06	1.89	1.63	1.21	2)	19.90
44.30	23.60	9.50	11.10	5.80	53.80	23.30	3)	14.30	22.10	13.50
7.90	5.10	5.80	27.40	15.20	4)	5.60	22.20	10.10	1.60	6.00
	26.40	8.10	5)	28.50	12.90	19.80	32.00	1.40	0.5000	2.40
.20	6)	42.00	28.00	37.00	62.00	18.00			59.00	7)
2.10	18.00	26.00	38.40	1.80	0.4000		43.70	8)	1.63	0.2000
500	0.3200	0.1500	1.00	10.71	0.2700	9)	0.2100	1.17	0.7300	0.2500
00	0.1000	5.32	0.7700	10)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0	1.00	11)								
2)									13)	
	Var 9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15	Var16		
1)	0.8100	1.57	1.92	2.05	1.56	1.35	1.45	1.61	2)	5.20
43.70	47.30	9.60	8.00	6.40	8.30	29.50	3)	5.20	32.20	21.30
4.60	6.00	6.40	5.70	17.70	4)		11.40	26.00	5.00	2.00
	2.60	11.80	5)	44.30	13.70	4.90	2.60	22.60	34.40	21.90
.30	6)			37.00			69.00		46.00	7)
		9.00			39.00	26.70	22.90	8)	1.59	0.4300
600	0.0500		0.5700	0.2200	0.3200	9)	0.0600	1.15	0.5100	0.3100
	0.1000	0.2400	0.5500	10)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
.00	1.00	11)				1.00				
2)							1.00		13)	
	Var17	Var18	Var19	Var20	Var21	Var22				
1)	0.9600	1.39	1.83	1.29	1.98	1.58	GE	1.67		
2)	10.30	14.60	11.30	6.70	48.10	17.40	GE	15.00		
3)	10.30	14.60	5.20	6.70	31.30	12.70	GE	9.60		
4)			6.10		16.80	4.70	GE	5.40		
5)	31.30	26.60	2.50	24.40	6.50	11.30	GE	17.00		
6)	76.00		18.00			51.00	GE	28.00		
7)	39.30	31.40	4.00	38.00		14.00	GE	21.00		
8)	0.4700	0.4900	0.0500	0.3500	0.2900	0.1400	GE	0.530000		
9)	0.1700	0.2900	0.3400	0.2100	0.6900	1.27	GE	0.340000		
10)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	EQ	1.00		
11)							GE	0.100000		
12)							GE	0.200000		
13)	1.00	1.00					GE	0.200000		

OBJECTIVE COEFFICIENTS

	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var 5	Var 6	Var 7	Var 8
1)	1.60	2.30	2.40	1.00	1.20	.90000	2.60	2.00
2)				1.00				
3)	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00
	Var 9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15	Var16

... continuación

1)	.60000	2.20	3.60	1.40	1.00	.40000	.30000	1.30
2)	1.00			1.00	1.00	1.00	1.00	
3)		1.00	1.00					1.00

	Var17	Var18	Var19	Var20	Var21	Var22	
1)	.60000	.10000	1.30	.30000	2.50	1.30	MIN
2)	1.00	1.00	1.00	1.00			MAX
3)					1.00	1.00	MIN

**COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”**

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Avena forr. (Ah)	Descripción
------------------------------	------------------	-------------

a) Costos de Producción (CP)

1. Preparación del Terreno	(1 550)	
Subsoleo	200	Cada 3 años
Barbecho	500	A 30 cm de profundidad
Rastreo	250	1 paso de rastra
Nivelación		
Aplic. de Estiércol ^{a/}	600	5 volteos de 6 m ³ x \$120
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(1 300)	
Semilla	600	100 k a \$6/k
Fertilizante	400	100 k Urea y 100 k Superf.
Pesticida (plagas del suelo)		
Siembra	300	
Herbicida		
Aplic. de Herbicida (sellado)		
3. Fertilización	(220)	
Fertilizante	180	100 k Urea
1 ^a Fertilización	40	
2 ^a Fertilización		
4. Labores Varias	(225)	
Escarda		
Deshierbe		
Herbicida	125	2.5 L de 2,4D Amina

Aplic. de Herbicida	100	
Insecticida		
Aplic. de Insecticida		
5. Cosecha	(1 950)	
Trilla (grano)		
Corte	250	
Hilerado	200	
Empacado	1 500	300 pacas a \$5/paca
Acarreo		
6. Diversos	(1 662)	
Renta de la Tierra	1 000	(promedio regional)
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	150	
• Total de Gastos	6 395	
Costo Financiero	512	(6 395 x 4 x 0.02)
♦ Costos de Producción	6 907	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	7.5	300 pacas de 25 k
2. Precio de Venta	1 000	\$/t
3. Subproductos		
4. Apoyos Gubernamentales	780	Procampo
♦ Total de Ingresos	8 280	

❖ Margen Bruto (I - CP)	1 373	
-------------------------	-------	--

^a Se estima, que 5 volteos de estiércol de 6 m³ c/u, aportan 210 k de N, 102 k de P₂O₅, 195 k de K₂O y 18 m³ de Materia Orgánica (Domínguez, 1997).

COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Frijol común (Fc)	Descripción
a) Costos de Producción (CP)		
1. Preparación del Terreno	(950)	
Subsoleo	200	Cada 3 años
Barbecho	500	A 30 cm de profundidad
Rastreo	250	1 paso de rastra
Nivelación		
Aplic. de Estiércol		
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(1 940)	
Semilla	400	50 k a \$8/k
Fertilizante	540	200 k Nitr. y 100 k Superf.
Pesticida (plagas del suelo)		
Siembra	300	
Herbicida	600	1 L de Flex (preemergente)
Aplic. de Herbicida (sellado)	100	
3. Fertilización		
Fertilizante		
1ª Fertilización		
2ª Fertilización		
4. Labores Varias	(1 500)	
Escarda	500	2 escardas
Deshierbe	800	10 jornales (manual) ^{a/}
Herbicida		

Aplic. de Herbicida		
Insecticida	80	1 L de Metasixtos
Aplic. de Insecticida	120	
5. Cosecha	(1 385)	
Trilla (grano)		
Paso de Cuchilla	250	
Recolección	200	
Afinación	500	
Limpia	360	4% del producto
Empacado	75	15 pacas a \$5/paca
Acarreo		
6. Diversos	(1 704)	
Renta de la Tierra	1 000	(promedio regional)
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	150	
• Total de Gastos	6 925	
Costo Financiero	554	$(6\,925 \times 4 \times 0.02)$
♦ Costos de Producción	7 479	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	1.5	t/ha
2. Precio de Venta	6 000	\$/t
3. Subproductos	225	15 pacas a \$15/paca
4. Apoyos Gubernamentales	780	Procampo
♦ Total de Ingresos	10 005	

❖ Margen Bruto (I - CP)	2 526	
-------------------------	-------	--

^a Se considera que cada jornal tiene un costo de \$80

COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Maíz grano (Mg)	Descripción
------------------------------	-----------------	-------------

a) Costos de Producción (CP)

1. Preparación del Terreno	(1 550)	
Subsoleo	200	Cada 3 años
Barbecho	500	A 30 cm de prof.
Rastreo	250	
Nivelación		
Aplic. de Estiércol	600	5 volteos de 6 m ³ x \$120
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(2 090)	
Semilla	600	1.33 sacos a \$450
Fertilizante	440	200 k 18-46-00 a \$2.2
Pesticida (plagas del suelo)	300	
Siembra	300	
Herbicida	350	(preemergente)
Aplic. de Herbicida (sellado)	100	
3. Fertilización	(660)	
Fertilizante	540	300 k Urea a \$1.8
1ª Fertilización	120	
2ª Fertilización		
4. Labores Varias		
Escarda		
Deshierbe		
Herbicida		
Aplic. de Herbicida		

Insecticida		
Aplic. de Insecticida		
5. Cosecha	(850)	
Trilla (grano)	450	
Corte y Molida		
Empacado	400	80 pacas (rastrojo) a \$5/paca
Ensilaje		
Acarreo		
6. Diversos	(1 906)	
Renta de la Tierra	1 000	
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	150	
• Total de Gastos	6 300	
Costo Financiero	756	$(6\,300 \times 6 \times 0.02)$
♦ Costos de Producción	7 056	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	5 t	t/ha
2. Precio de Venta	1 400	\$/t
3. Subproductos	800	80 pacas a \$10/paca
4. Apoyos Gubernamentales	780	Procampo
♦ Total de Ingresos	8 580	

❖ Margen Bruto (I - CP)	1 524	
-------------------------	-------	--

COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Maíz henif. (Mh)	Descripción
a) Costos de Producción (CP)		
1. Preparación del Terreno	(1 550)	(ver Mg)
Subsoleo	200	
Barbecho	500	
Rastreo	250	
Nivelación		
Aplic. de Estiércol	600	
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(2 090)	
Semilla	600	
Fertilizante	440	
Pesticida (plagas del suelo)	300	
Siembra	300	
Herbicida	350	
Aplic. de Herbicida (sellado)	100	
3. Fertilización	(660)	
Fertilizante	540	
1ª Fertilización	120	
2ª Fertilización		
4. Labores Varias		
Escarda		
Deshierbe		
Herbicida		
Aplic. de Herbicida		

Insecticida		
Aplic. de Insecticida		
5. Cosecha	(3 360)	
Trilla (grano)		
Corte	960	12 jornales
Molida	2 400	12 x \$200
Acarreo		
6. Diversos	(2 207)	
Renta de la Tierra	1 000	
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	150	
• Total de Gastos	8 810	
Costo Financiero	1 057	
♦ Costos de Producción	9 867	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	12 t	
2. Precio de Venta	900	
3. Subproductos		
4. Apoyos Gubernamentales	780	
♦ Total de Ingresos	11 580	

❖ Margen Bruto (I - CP)	1 713	
-------------------------	-------	--

COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Maíz silo (Ms)	Descripción
------------------------------	----------------	-------------

a) Costos de Producción (CP)

1. Preparación del Terreno	(1 550)	(ver Mg)
Subsoleo	200	
Barbecho	500	
Rastreo	250	
Nivelación		
Aplic. de Estiércol	600	
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(2 090)	
Semilla	600	
Fertilizante	440	
Pesticida (plagas del suelo)	300	
Siembra	300	
Herbicida	350	
Aplic. de Herbicida (sellado)	100	
3. Fertilización	(660)	
Fertilizante	540	
1ª Fertilización	120	
2ª Fertilización		
4. Labores Varias		
Escarda		
Deshierbe		
Herbicida		
Aplic. de Herbicida		

Insecticida		
Aplic. de Insecticida		
5. Cosecha	(2 250)	
Trilla (grano)		
Corte y Molida		
Ensilaje	2 250	(45 t x \$50)
Acarreo		
6. Diversos	(1 766)	
Renta de la Tierra	1 000	
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	150	
• Total de Gastos	7 700	
Costo Financiero	616	
♦ Costos de Producción	8 316	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	40 t	
2. Precio de Venta	300	
3. Subproductos		
4. Apoyos Gubernamentales	780	
♦ Total de Ingresos	12 780	

❖ Margen Bruto (I - CP)	4 464	
-------------------------	-------	--

COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Pasto henif. (Ph) ^{a/}	Descripción
------------------------------	---------------------------------	-------------

a) Costos de Producción (CP)

1. Preparación del Terreno	(1 012)	
Subsoleo	300	50% más que Mg
Barbecho	75	Para 10 años ^{b/}
Rastreo	37	Para 10 años
Nivelación		
Aplic. de Estiércol	600	5 volteos de 6 m ³
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(300)	
Semilla	200	Mate. Veget. (para 10 años)
Fertilizante		
Pesticida (plagas del suelo)		
Siembra	100	Para 10 años
Herbicida		
Aplic. de Herbicida (sellado)		
3. Fertilización	(220)	
Fertilizante	180	100 k de Urea
1 ^a Fertilización	40	
2 ^a Fertilización		
4. Labores Varias		
Escarda		
Deshierbe		
Herbicida		
Aplic. de Herbicida		

Insecticida		
Aplic. de Insecticida		
5. Cosecha	(3 900)	
Trilla (grano)		
Corte	500	2 cortes
Hilerado	400	2 veces
Empacado	3 000	600 pacas a \$5/paca
Acarreo		
6. Diversos	(1 569)	
Renta de la Tierra	1 000	
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	50	
• Total de Gastos	6 482	
Costo Financiero	519	
♦ Costos de Producción	7 001	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	15 t	600 pacas de 25 k
2. Precio de Venta	600	\$/t
3. Subproductos		
4. Apoyos Gubernamentales	780	
♦ Total de Ingresos	9 780	

❖ Margen Bruto (I - CP)	2 779	
-------------------------	-------	--

^a Las labores en la pradera incrementan su costo en un 50%, debido a las dificultades del terreno (piedras, pendiente, etc.)

^b Se considera que el pasto tiene 10 años de vida útil

COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Pasto verde (Pv)	Descripción
a) Costos de Producción (CP)		
1. Preparación del Terreno	(1 012)	
Subsoleo	300	50% más que Mg
Barbecho	75	Para 10 años
Rastreo	37	Para 10 años
Nivelación		
Aplic. de Estiércol	600	5 volteos de 6 m ³
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(300)	
Semilla	200	Mate. veget. (para 10 años)
Fertilizante		
Pesticida (plagas del suelo)		
Siembra	100	Para 10 años
Herbicida		
Aplic. de Herbicida (sellado)		
3. Fertilización	(220)	
Fertilizante	180	100 k de Urea
1ª Fertilización	40	
2ª Fertilización		
4. Labores Varias		
Escarda		
Deshierbe		
Herbicida		
Aplic. de Herbicida		

Insecticida		
Aplic. de Insecticida		
5. Cosecha		Pastoreo directo
Trilla (grano)		
Corte y Molida		
Ensilaje		
Acarreo		
6. Diversos	(1 257)	
Renta de la Tierra	1 000	
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	50	
• Total de Gastos	2 582	
Costo Financiero	207	
♦ Costos de Producción	2 789	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	40 t	Verde, 71.1% de agua
2. Precio de Venta	100	\$/t
3. Subproductos		
4. Apoyos Gubernamentales	780	
♦ Total de Ingresos	4 780	

❖ Margen Bruto (I - CP)	1 991	
-------------------------	-------	--

**COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”**

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Sorgo grano (Sg)	Descripción
------------------------------	------------------	-------------

a) Costos de Producción (CP)

1. Preparación del Terreno	(1 550)	
Subsoleo	200	(ver Mg)
Barbecho	500	
Rastreo	250	
Nivelación		
Aplic. de Estiércol	600	
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(2 090)	
Semilla	600	
Fertilizante	440	
Pesticida (plagas del suelo)	300	
Siembra	300	
Herbicida	350	
Aplic. de Herbicida (sellado)	100	
3. Fertilización	(660)	
Fertilizante	540	
1ª Fertilización	120	
2ª Fertilización		
4. Labores Varias		
Escarda		
Deshierbe		
Herbicida		

Aplic. de Herbicida		
Insecticida		
Aplic. de Insecticida		
5. Cosecha	(450)	
Trilla (grano)	450	
Corte y Molida		
Ensilaje		
Acarreo		
6. Diversos	(1 858)	
Renta de la Tierra	1 000	
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	150	
• Total de Gastos	5 900	
Costo Financiero	708	
♦ Costos de Producción	6 608	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	6 t	
2. Precio de Venta	1 200	
3. Subproductos	200	Rastrojo en campo
4. Apoyos Gubernamentales	780	
♦ Total de Ingresos	8 180	

❖ Margen Bruto (I – CP)	1 572	
-------------------------	-------	--

COSTOS DE PRODUCCIÓN/ha EN CULTIVOS DE LA REGIÓN
“ALTOS DE JALISCO”

Concepto \ Cultivo y Caracs.	Sorgo silo (Ss)	Descripción
------------------------------	-----------------	-------------

a) Costos de Producción (CP)

1. Preparación del Terreno	(1 550)	
Subsoleo	200	(ver Mg)
Barbecho	500	
Rastreo	250	
Nivelación		
Aplic. de Estiércol	600	
Aplic. de Gallinaza		
Aplic. de Cal, etc.		
2. Siembra	(1 940)	
Semilla	450	1 saco
Fertilizante	440	
Pesticida (plagas del suelo)	300	
Siembra	300	
Herbicida	350	
Aplic. de Herbicida (sellado)	100	
3. Fertilización	(660)	
Fertilizante	540	
1ª Fertilización	120	
2ª Fertilización		
4. Labores Varias		
Escarda		
Deshierbe		
Herbicida		
Aplic. de Herbicida		

Insecticida		
Aplic. de Insecticida		
5. Cosecha	(1 000)	
Trilla (grano)		
Corte y Molida		
Ensilaje	1 000	20 t x \$50
Acarreo		
6. Diversos	(1 654)	
Renta de la Tierra	1 000	
Seguro Agrícola		
Asistencia Técnica		
Costo de Gestión	150	
• Total de Gastos	6 300	
Costo Financiero	504	
♦ Costos de Producción	6 804	

b) Ingresos (I)

1. Rendimiento	25 t	
2. Precio de Venta	300	
3. Subproductos		
4. Apoyos Gubernamentales	780	
♦ Total de Ingresos	8 280	

❖ Margen Bruto (I - CP)	1 476	
-------------------------	-------	--