UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

ESCUELA DE AGRICULTURA

Un Programa Lineal para el Incremento de Utilidades en la Agricultura de Riego.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

ORIENTACION GANADERIA

PRESENTA

GONZALO RAMIREZ RUIZ

GUADALAJARA, JALISCO, 1979

A MIS PADRES,

Gonzalo y Estela

A MI ESPOSA,

Leticia

A LAS MAS HERMOSAS,

Alfa Susana y Leticia

I N D I C E

C A P I T U L O   I

I N T R O D U C C I O N

INTRODUCCION

En los últimos años ha aparecido un gran interés entre los agrónomos mexicanos por utilizar algunas técnicas que han producido excelentes resultados en otras áreas de la actividad humana, como son la investigación de operaciones y el uso de computadoras. Es el interés de esta tesis el presentar como una de estas técnicas, la programación lineal, íntimamente ligada a las computadoras puede ser de utilidad al agrónomo.

Los objetivos de la tesis quedan especificados de la siguiente manera:

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la forma en que la programación lineal puede ayudar a producir mayores utilidades en la agricultura, auxiliando al agrónomo a tomar las decisiones que le permitan hacer un uso más eficiente de sus recursos físicos y humanos en la producción agropecuaria.

OBJETIVO ESPECIFICO

Aplicar la técnica de la programación lineal en dos casos: la selección de oleaginosas que realiza una empresa aceitera de Guadalajara para producir aceites y mantecas comestibles; y la determinación del plan óptimo de distribución de cultivos en la Empresa Ejidal La Partida, con el propósito de determinar la facilidad de aplicación de la técnica y los beneficios que proporciona.

C A P I T U L O   I I

LA PROGRAMACION LINEAL

1. Revisión de Literatura

En este capítulo se hace una revisión de los conceptos más importantes de la programación lineal y de algunas de sus aplicaciones a la agricultura. Al citar a un autor se indica entre paréntesis la referencia bibliográfica al final de la tesis.

Para los lectores interesados en un estudio más profundo de la materia, me permito sugerir el libro de Espinoza Berriel (6), como una introducción a la programación lineal y el planteamiento de problemas; si el interés es en los aspectos matemáticos, el "Linear Programming" de Hadley es un clásico libro de texto, y finalmente "Linear Programming Methods" de Heady es un magnífico libro sobre las aplicaciones en agricultura y economía agrícola.

Para hacer una breve historia de la programación lineal se puede citar a Thierauf (17); "La programación lineal principió con el método de análisis de insumo-producto desarrollado por el economista W. W. Leontief. La versión actual de esta técnica es mucho más reciente. Hitchcock interpretó primeramente un problema de tipo de transportación en 1941. En 1945, Stigler estudió el problema de la dieta (concerniente a entidades separadas que pueden escogerse y usarse en cantidades diversas, escogiéndolas, combinándolas o mezclándolas a fin de obtener un resultado deseado). El útil desarrollo actual de la programación lineal para los negocios y la industria se atribuye al doctor George D. Dantzig, un matemático que presentó su método símplex como un procedimiento sistemático para resolver un problema de programación lineal".

Agrawal y Heady (11) establecen la aplicación de la técnica diciendo: "La programación lineal es un método computacional para determinar el mejor plan de acción, de-entre los muchos que son posibles, cuando existen varias - alternativas, un objetivo específico o numérico y los me-- dios o recursos disponibles son limitados".

"Estas condiciones existen típica y ampliamente- en la agricultura. La granja individual siempre tiene re- cursos limitados o restricciones en la producción. Estas- restricciones pueden estar en la forma de la superficie to tal disponible, o en varios campos con tipos diferentes de suelo, la mano de obra familiar en diferentes meses del -- año, el capital disponible para operación, los edificios - específicos para propósitos diferentes, la capacidad de -- los tractores o maquinaria y otros recursos físicos. Las- restricciones también pueden tomar formas contractuales o- institucionales, como son la participación en un programa- gubernamental que restrinja el área de un cultivo o el nú- mero de animales, o un contrato con una compañía de alimen tos para producir determinada cosecha o número de animales. Las restricciones también pueden ser subjetivas, por ejem- plo, un granjero puede decidir que no mantendrá más de 100 animales por el riesgo involucrado; o puede decidir que no conservará menos de 25 vacas lecheras, ya sea porque le -- gusta este tipo de ganado, o porque le proporciona un in-- greso constante".

"Además, una granja siempre tiene modos alternos- y competitivos entre sí de formular su plan de acción, que compiten por los recursos escasos o restricciones y cuyas- proporciones determinarán la magnitud de la ganancia (u -- otros objetivos). Esto es obviamente cierto para un gran- jero que puede usar su tierra y otros recursos para culti- var trigo, maíz, hortalizas, soya y otras cosechas; o que- puede usar sus recursos limitados de alimento, mano de --- obra y capital para cerdos, aves, ganado de carne o vacas- lecheras. Pero aun el granjero especializado en una sola- empresa tiene alternativas al utilizar sus recursos y lo--

grar sus objetivos. Por ejemplo, suponiendo que está produciendo bajo un clima favorable que le permite varias cosechas, las diferentes siembras en varias épocas del año - son alternativas que compiten si coinciden en el uso de la tierra. Similarmente, diferentes variedades de trigo compiten por la tierra en el mismo período de tiempo, así como las diferentes tecnologías que representan varios niveles de fertilización y los métodos alternos de cosecha compiten por el uso de los fondos de operación y de capital".

"El objetivo típico de un agricultor es maximizar la ganancia neta en algún período apropiado de tiempo. La maximización de ganancias se puede también referir a un período que cubra un cierto número de años para los que se hace un sólo plan, o se puede referir a varios años, cada-uno con planes separados ligados al resto de ellos. El objetivo puede ser el máximo retorno de capital, el máximo - valor de capital al final de un período de inversión, la - máxima ganancia sujeta a un ingreso familiar fijo o mínimo, o la máxima ganancia con ciertas restricciones en su distribución en el tiempo. La granja tiene típicamente sub-planes tales como minimizar el costo de producir una cosecha o minimizar el costo de producir ganado a un peso específico para el mercado. En este último caso, puede haber-restricciones representando el mínimo nivel de un ingrediente alimenticio para lograr una ración nutricionalmente aceptable".

"Todas las entidades económicas y sociales tienen las tres características de un problema de decisión o-elección: un objetivo, recursos limitados y formas alternas de utilizar los recursos disponibles para lograr el objetivo. Si estas tres características (i.e. conjuntos de-variables o parámetros) pueden ser cuantificadas e implican matemáticas no más complejas que multiplicación de --- constantes, el cálculo de un plan óptimo puede ser logrado mediante programación lineal".

En la explicación anterior se define el problema que resuelve la programación lineal en términos familiares a los agrónomos, sin embargo, la técnica se utilizó por primera vez en la Segunda Guerra Mundial para determinar la asignación más eficiente de los recursos militares y actualmente se emplea en casi cualquier tipo de actividad económica. La industria petrolera la utilizó al principio para programar las refinerías y posteriormente para la distribución de sus productos. Otros ejemplos son: la asignación de obreros y máquinas en una fábrica, el envío de los productos de una compañía de sus diferentes plantas a los depósitos y a los centros de consumo y la selección de mezclas de alimento más baratas.

Más adelante se establecerá como plantear y resolver un programa lineal, pero es importante definir aquí los supuestos sin los cuales la solución obtenida no será correcta. Estos supuestos son consecuencia de la forma como se define la programación lineal. Si el problema que se desea resolver no se puede expresar mediante relaciones lineales, entonces deberá ajustarse o utilizar otra técnica como la programación cuadrática o dinámica.

Los supuestos de la programación lineal, de acuerdo a Heady (11) son los siguientes:

"<u>Aditividad y Linearidad</u>.- Las actividades (formas alternas de usar los recursos) deben ser aditivas en el sentido de que cuando se usan dos o más, su producto total debe ser la suma de los productos individuales. Una declaración equivalente es: la suma total de los recursos utilizados por varias actividades debe ser igual a la suma de los recursos utilizados por cada actividad individual.- De este modo, no es posible considerar la interacción en -

la cantidad de recursos requeridos por unidad de producto- sin importar si las actividades se realizan solas o en varias proporciones. La interacción que ocurre entre los forrajes y el maíz cuando se hace una rotación de estos cultivos es un ejemplo donde se obtienen resultados diferentes si se consideran por separado o en una rotación".

"Divisibilidad.- Se asume que los recursos y los productos pueden ser considerados en cantidades fraccionales. Esto es, se considera que son continuos (infinitamente divisibles). Por lo tanto, la programación lineal especificará un programa de actividades que use .7 de la tierra, ó .994 de la mano de obra, especificará actividades como 5.97 vacas, 40.29 Ha. de maíz ó 121.03 gallinas.- Este supuesto no es una limitación seria, ya que ordinariamente un programa puede ser redondeado al entero más próximo sin producir errores".

"Finitud.- Se asume que existe un límite al número de actividades alternas y a las restricciones que necesitan ser consideradas. Este es un supuesto práctico, ya- que si el agricultor tuviera un número ilimitado de alternativas no las podría programar porque nunca terminaría de describir actividades adicionales ni terminaría la tarea computacional de determinar el programa más conveniente".

"Valor Unico Esperado.- En general, los métodos- de programación lineal utilizados emplean el supuesto estándar de la programación lineal de que los suministros de recursos, los coeficientes de insumo-producto y los precios se conocen con exactitud. Este supuesto es irreal en ciertas situaciones de la agricultura, sin embargo, este mismo supuesto se utiliza en las técnicas convencionales de investigación, como el presupuesto. En este sentido, la programación lineal proporciona soluciones que son tan- realistas como los otros métodos que utilizan el mismo supuesto".

Los supuestos mencionados por Heady y encontrados en la mayoría de los libros sobre la materia son consecuencia de la forma como se plantea matemáticamente la programación lineal y si bien, es cierto que su olvido puede producir errores en algunos casos, también es cierto que la facilidad que proporcionan al plantear y resolver problemas de decisión hacen de la programación lineal una herramienta invaluable.

En la sección anterior, al hacer la revisión de literatura, se definieron las condiciones que debe reunir un modelo de programación lineal; en esta sección se mostrará un ejemplo de cómo un problema de selección de cultivos es planteado en forma de un modelo de programación lineal, se resolverá gráficamente y se describirá el método símplex.

El ejemplo seleccionado es muy sencillo, ya que únicamente se pretende mostrar cómo se define el problema. En los capítulos sobre oleaginosas y del crédito agropecuario tratados posteriormente en esta tesis, los modelos son mucho más complicados y en la literatura de la materia se encuentran algunos modelos de dimensiones exageradas. Agrawal y Heady (2) mencionan un modelo complejo interregional que tenía 195 regiones agrícolas con tres subregiones de suelos cada una, tres tipos de granjas individuales dentro de cada subregión, cuarenta y cinco zonas consumidoras y todos los productos agrícolas y ganaderos de mayor importancia, que resultaban en un modelo de cinco mil ecuaciones y cincuenta mil variables.

El ejemplo aquí planteado se debe a Palacios(14) pero es típico de la literatura: "supóngase que hay un agricultor en el noroeste de México que tiene 150 Ha. y que dispone de un pozo profundo para regar su terreno, cuyo caudal máximo es de 100 lps. Dicho agricultor pretende sembrar trigo y sorgo, para lo cual puede conseguir un avío hasta por $490,000.00. En el mes de marzo, se presenta la máxima demanda de agua para ambos cultivos, la cual es de 1.6 millares de m^3/Ha. para el trigo y 2 millares de m^3/Ha. para el sorgo. La información adicional respecto a la producción de ambos cultivos se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.1

Datos Relativos a la Producción de 2 Cultivos

Cultivo	Rendimiento Esperado	Precio Ton.	Costo Produc/Ha.	Demanda Riego Marzo
Trigo	5 ton.	$1,300	$3,000	1.6 dm
Sorgo	6 ton.	1,200	3,500	2.0 dm

El modelo se puede construir asumiendo que las - variables de decisión son el número de hectáreas que de ca da cultivo debe sembrarse; por ejemplo, x_1 puede ser el -- área de trigo y x_2 el área del sorgo.

El objetivo será la maximización del beneficio - para el agricultor. De la Tabla 2.1 se deduce que la utilidad neta por Ha. de trigo es de $3,500 y la que se obtie ne por Ha. de sorgo es de $3,700; por tanto la función objetivo a maximizar es:

(1) $$\max B = 3{,}500\ x_1 + 3{,}700\ x_2$$

la cual está sujeta a restricciones en el uso de la tierra, en el uso del agua y en la disponibilidad de capital. Pues to que sólo dispone de 150 Ha., la suma de las áreas sem-- bradas de trigo y sorgo en la misma época deberá ser menor o cuando más igual a la disponibilidad total; luego la pri mera restricción es:

(2) $$x_1 + x_2 \leq 150$$

si la bomba del pozo trabaja las 24 horas del día durante- 30 días del mes, el volumen de agua disponible para rieho- será aproximadamente 260 millares de m^3.

Luego, la segunda restricción es:

(3) $1.6x_1 + 2x_2 \leq 260$

Tomando en cuenta los costos de producción de los cultivos y la disponibilidad de capital mediante el avío se construye la tercera restricción, la cual se expresa mediante la siguiente desigualdad:

(4) $3{,}000x_1 + 3{,}500x_2 \leq 490{,}000$

Finalmente, x y x deben ser positivas, ya que en este caso no tiene sentido la negatividad de las actividades; luego las últimas restricciones son:

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

El problema para resolver se puede resumir como sigue:

$$\text{Maximizar } B = 3{,}500x_1 + 3{,}700x_2$$

sujeto a:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &\leq 150 \\ 1.6x_1 + 2x_2 &\leq 160 \\ 3{,}000x_1 + 3{,}500x_2 &\leq 490{,}000 \\ x_1 \geq 0 \quad x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Estas expresiones representan el sistema de producción del agricultor aludido y los valores máximos de -- las variables que a su vez satisfagan las restricciones serán los que optimicen el sistema.

SOLUCION GRAFICA

Es costumbre al tratar de los métodos de solución de un programa lineal el incluir la llamada "solución gráfica" a efecto de ejemplificar la técnica, ya que aun cuando el método gráfico sólo permite la resolución de modelos con dos variables, representándolos en un espacio de dos dimensiones, el concepto se extiende a espacios de más dimensiones, en el cual las líneas del método gráfico se convierten en hiperplanos y el área de soluciones en un subconjunto de un espacio n-dimensional. Aquí nos limitaremos a presentar la solución gráfica del ejemplo y las bases matemáticas de solución pueden encontrarse en Hadley (10).

"Si se consideran x_1 como las abcisas y x_2 como las ordenadas, las desigualdades (2), (3) y (4) pueden convertirse en igualdades que representan el caso extremo de utilización de los recursos tierra, agua y capital. Cada una de las expresiones se puede graficar, ya que representan una recta, a la izquierda de las cuales está la región donde la solución del problema es factible. En la figura 2.1 se muestran las tres rectas y en la figura 2.2 se define la región dentro de la cual la solución es factible (área sombreada). Los ejes de las coordenadas también son fronteras de esta región, ya que existe la condición de que x_1 y x_2 sean mayores o iguales que cero".

"La función objetivo (1) también se representa por una recta cuyo punto o puntos que sean la solución deben quedar dentro o en los límites del área sombreada. Esta línea, cuya ecuación es:

$$x_2 = .946x_1 + \frac{B}{3,700}$$

deberá moverse hasta un punto extremo del área donde la so lución es posible, con objeto de lograr el máximo valor pa ra B, por lo que el punto o puntos que definen la solución estará en el perímetro de la mencionada área y de preferen cia en un vértice. Para el ejemplo, ese punto es el A que coincide con un vértice del polígono envolvente de la re-- gión de soluciones posibles (figura 2.2). Las coordenadas del punto son $x_1 = 100$ y $x_2 = 50$. Es decir, la solución - óptima es 100 Ha. de trigo y 50 Ha. de sorgo, con un beneficio neto de $535,000.

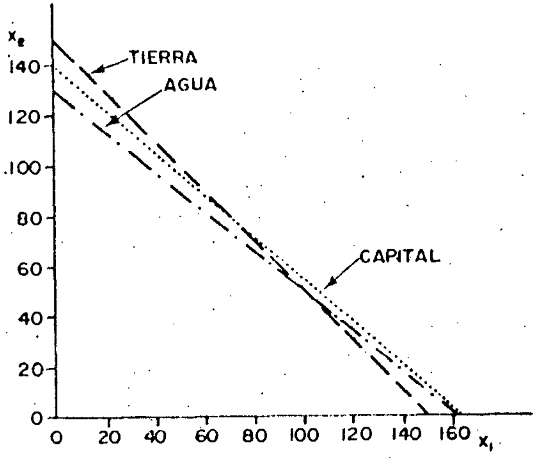

Fig. 2.1 GRAFICA DE RESTRICCIONES

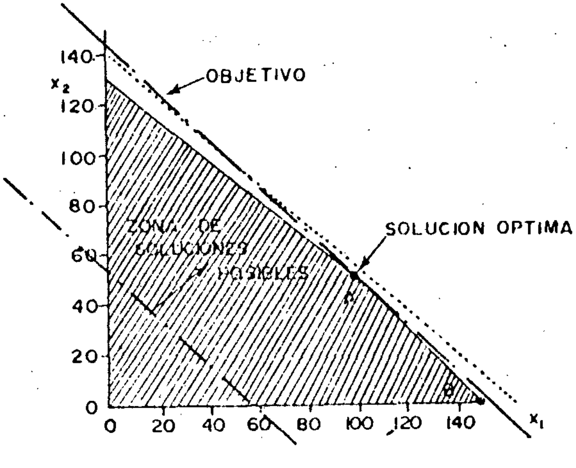

Fig. 2.2 GRAFICA DE SOLUCIONES

EL METODO SIMPLEX

El método gráfico puede ser extendido, como ya - se mencionó, a espacios n-dimensionales y con ello resol-- ver los programas lineales que involucren más de dos varia bles, que es el caso en todos los problemas prácticos.

La explicación que se da a continuación escrita- por Hadley (10) tiene el propósito de proporcionar un asomo a las bases matemáticas de la programación lineal y un- poco más adelante servir al autor de esta tesis para desarrollar su opinión sobre las formas de resolución que debe adoptar el agrónomo.

"Podemos sumarizar algunas de las situaciones -- presentadas anteriormente; cuando existen soluciones facti bles, la región que las incluye tiene lo que se llama en - geometría convexidad. Este término geométrico significa - que las regiones no contienen hoyos, es decir, son sólidos y que no contienen entradas en las fronteras. El hecho de que una región sea convexa se puede expresar simplemente - diciendo que la línea que une dos puntos cualesquiera de - una región también está contenida en la región. Más aun,- las fronteras de las regiones son líneas o planos y finalmente, existen esquinas en las fronteras y hay bordes ---- uniendo las esquinas".

"Además, se ha visto que para cualquier valor fi jo de B (el valor de la función objetivo), la función obje tivo puede ser representada por una línea o un plano. Se- encontró el interesante resultado de que cuando el valor - mínimo o máximo de Z era finito, al menos una esquina de - la región de soluciones factibles era una solución óptima. La situación es diferente cuando la función objetivo puede ser extremadamente grande. En este caso, ninguna esquina- es óptima. Como terminología, las soluciones ilimitadas -

no serán llamadas óptimas. El término "solución óptima" - deberá considerarse que implica que el valor mínimo o máximo de Z es finito".

"De una manera interesante, estas observaciones- que se derivan de simples ejemplos gráficos, se mantienen- para el problema general de programación lineal si se piensa que se representa geométricamente en un espacio n-dimensional. La región de soluciones factibles es una región - convexa, o un conjunto convexo. También tiene esquinas,- o puntos extremos, como son llamados en el caso general. - Además, si existe una solución óptima, al menos uno de los puntos extremos será óptimo".

"El lector familiarizado con los métodos del cálculo diferencial y en particular con los multiplicadores - de Lagrange, sentirá probablemente que esta técnica puede- ser utilizada para resolver cualquier programa lineal. Desgraciadamente, esto no es cierto. La dificultad proviene- del hecho de que las soluciones óptimas caen en la frontera de la región de soluciones factibles y peor aun, en esquinas de la frontera. Se puede recordar que los métodos- del cálculo diferencial determinan máximos y mínimos relativos, por ello, estos métodos tienen mucho menos valor -- cuando se trata de obtener máximos y mínimos absolutos. De hecho, si existe una solución óptima, el cálculo diferen-- cial nos dice que uno de los puntos extremos es óptimo, pero no nos dice cuál de ellos".

"Por lo tanto, la idea de utilizar el cálculo diferencial para resolver problemas de programación lineal - tiene que ser descartada y debemos concentrarnos en un procedimiento que utilice las características especiales de - los problemas de este tipo. El procedimiento mejor conocido y más utilizado es llamado el Método Símplex, desarro-- llado por George Dantzig en 1947. El término Símplex no -

ne nada que ver con el método, tal como se usa ahora, tuvo su origen en un problema especial estudiado al desarrollar el método".

"El método Símplex es un procedimiento algebráico iterativo que resolverá exactamente (no es un método de aproximación) cualquier programa lineal es un número finito de pasos o dará una indicación de que existe una solución no limitada. Al método Símplex se le puede dar una sencilla interpretación geométrica; se ha establecido que si existe una solución óptima, es posible movernos a lo que intuitivamente llamamos puntos extremos adyacentes. El método Símplex se mueve sobre un "borde" de la región factible de punto extremo al adyacente y en cada punto extremo nos dice si el punto es óptimo y si no, cuál es el siguiente punto extremo a considerar".

3. Consideraciones sobre las Formas de Cálculo

En este capítulo se ha establecido la forma de - plantear, mediante ecuaciones y desigualdades, un problema- de programación lineal, se resolvió un ejemplo y se mencionó en qué consiste el Método Símplex. En esta sección se- analiza la forma en que un agrónomo enfrentado a un problema práctico debe resolver su programa lineal.

En primer lugar, debemos descartar el método gráfico, ya que sólo permite manejar problemas con dos variables, que no tienen casi ningún interés práctico y de te-- nerlo probablemente sea más eficiente resolverlo utilizando otros métodos.

El Método Símplex (y una versión posterior llamada "el método símplex revisado") es el procedimiento generalmente utilizado para la resolución de un programa li--- neal y aunque el estudio matemático del método requiere de conocimientos previos de álgebra lineal y de un cierto nivel de preparación matemática, en la práctica se reduce a- una serie de pasos utilizando únicamente las cuatro operaciones aritméticas.

La mayor desventaja del Método Símplex es que requiere un número muy grande de operaciones aritméticas, ya que es necesario formar una matriz de m-restricciones (filas) y n-variables (columnas) y a partir de esta matriz -- crear nuevas matrices hasta alcanzar el óptimo. Cada vez- que se crea una nueva matriz hay necesidad de efectuar - - $nm-m^2+n$ multiplicaciones y m-divisiones. Para n=20 y m=5. Esto significa 100 operaciones y si se requiere crear seis matrices, esto implica 600 operaciones. Además, estas 600 operaciones deben repetirse cuando cambia el programa li-- neal por alguna causa (como variaciones en precios o cos--

tos) o simplemente si se desea estudiar diferentes planteamientos.

Afortunadamente, al consistir el Método Símplex de operaciones aritméticas, es posible enseñarlo a personas sin mayor preparación técnica, como son secretarias y auxiliares de oficina y así el agrónomo queda liberado del procedimiento de cálculo y puede dedicarse al análisis del modelo.

En la práctica, sin embargo, es más recomendable (y así se hace en la mayoría de los casos) recurrir a una computadora para efectuar los cálculos. Para la mayor parte de los problemas basta una computadora de pequeña capacidad, e incluso han aparecido en el mercado micro-computadoras a precios accesibles a particulares. De cualquier forma, el número de computadoras ha aumentado grandemente y es raro el caso de una universidad u organismo público que carezca de ella, aun en provincia; además, en muchas ciudades existen empresas dedicadas a proporcionar servicios de computación.

Un problema ligeramente mayor, es el contar con los programas de cómputo para resolver los problemas de programación lineal, pero estos pueden conseguirse fácilmente sin costo (o a un precio simbólico) en libros o en las universidades. Por otro lado, la mayoría de los proveedores de computadoras cuentan con estos programas y pueden proporcionarlos sin mayor problema.

El costo de procesar en computadora no es muy elevado, sobre todo si se toman en cuenta los beneficios que proporciona la técnica. El hacer el cálculo de un programa lineal sólo requiere de unos pocos minutos en una computadora pequeña o fracciones de segundo en las computadoras más grandes para la mayoría de los problemas.

En la experiencia del autor, la mayoría de los - centros de cómputo del sector público y de las universidades o institutos superiores, tienen tendencia a dar facilidades a personas que sin interés comercial desean utilizar la computadora. En ocasiones esta tendencia llega a manifestarse en proporcionar asesoría, perforación y el uso -- del computador sin costo alguno.

Concluyendo, si los problemas requieren de modelos sencillos, pueden resolverse con el auxilio de calculadoras y personal de oficina. En caso de modelos más com-- plejos debe recurrirse a computadoras, que son mucho más - accesibles y baratas de lo que comúnmente se cree.

C A P I T U L O I I I

SELECCION DE OLEAGINOSAS

1. Planteamiento General del Problema

El modelo matemático que se describe en este capítulo ejemplifica claramente la potencialidad de la técnica de la programación lineal en la optimización económica y permite analizar paso por paso, cómo se integran los coeficientes y las ecuaciones del modelo.

El problema seleccionado es típico en las empresas aceiteras de la zona de Guadalajara y de interés para todas las agroindustrias.

En una forma general, podemos decir que esta empresa produce diversos aceites y mantecas comestibles para la alimentación humana a partir de varios cultivos como el maíz, soya, algodón y cártamo. Algunos aceites sólo pueden producirse a partir de una determinada materia prima, mientras que otros pueden producirse con una combinación variable de diferentes oleaginosas. En otros casos, al producir un aceite, la materia prima sufre una merma que puede aprovecharse en otros productos.

Esta diversidad de combinaciones hace que el programa óptimo de producción sea extremadamente difícil de lograr y se ve complicado, más aun por la rapidez con que varían los costos de producción y los precios y disponibilidad de materia prima, de tal forma que el plan que es óptimo en una ocasión, no es el mejor en la siguiente.

Este modelo tiene gran interés debido a que muestra en una forma clara y detallada cómo se va formando a partir de los datos iniciales, la obtención de los coeficientes, especialmente los de la función objetivo, que en algunos casos parecen indicar que de venderse el producto se tendrían pérdidas, y por último, las ecuaciones que integran el modelo.

Finalmente, el problema nos señala la forma en - que las empresas aceiteras definen su programa de compras- de materia prima y este proceso es de gran interés para el productor agrícola, ya que de la demanda que exista de sus productos, depende el precio que obtenga por los mismos.

2. Datos de Entrada

A continuación se establecen los datos fuente -- del problema, que consisten en la descripción de las materias primas y los productos terminados, así como los procesos de producción pertinentes.

MATERIAS PRIMAS

Materia	Existencia	Precio/Kg.	Pérdida
Aceite de maíz	400 tons.	$ 13.00	6.0 %
Aceite de soya	-	12.80	3.5 %
Aceite de algodón	200 tons.	15.00	9.0 %
Aceite de cártamo	-	13.00	2.5 %

NOTAS:

1) En los dos casos en que no se tiene existencia, se puede adquirir cualquier cantidad en el mercado al precio indicado. En los otros dos casos, la empresa ya cuenta en sus almacenes con la existencia señalada.

2) El porcentaje señalado como pérdida carece de utilidad en la producción de cualquier artículo, sin embargo, - puede ser vendida a razón de $2.00 por Kg.

PRODUCTO TERMINADO

Producto	Oferta Máxima	Gastos Variables/Kg	Precio Venta/Kg
Aceite puro de maíz	190 tons	$ 0.60	$ 18.00
Aceite puro de cártamo	80 tons	0.30	18.00
Aceites mixtos	ilimitada	0.35	15.00
Manteca Ala	180 tons	0.40	16.50
Manteca estándar	60 tons	0.80	18.50
Aceite puro de algodón	100 tons	0.40	18.00

NOTAS:

1) La capacidad total de la fábrica es de 1,000 tons. de producto terminado.

2) El término "oferta máxima" indica la máxima cantidad del producto que se puede colocar en el mercado en la situación actual de la empresa.

3) Al resolver este problema, no se consideraron los gastos variables, pero se indican aquí como información adicional.

4) No existe cantidad mínima a producir de ningún artículo.

MATERIAS PRIMAS CON QUE SE ELABORAN LOS PRODUCTOS

PRODUCTO	MATERIA PRIMA
Aceite puro de maíz	Aceite de maíz. Se tiene un 15% de pérdida adicional.
Aceite puro de cártamo	Aceite de cártamo. Sin pérdida adicional.
Aceites mixtos	Cualquier combinación de materias primas, se pueden incluir las pér

	didas adicionales de aceite de maíz y algodón. No debe contener más del 40% de aceite de soya.
Manteca Ala	Similar a los aceites mixtos.
Manteca estándar	Aceite de algodón. Sin pérdida adicional.
Aceite puro de algodón	Aceite de algodón. Se tiene un 30% de pérdida adicional.

3. Cuadro de Insumo-Producto

El primer paso para la formulación matemática del problema es identificar a cada una de las variables involucradas.

Inicialmente consideraremos dos grupos de variables; uno formado por las materias primas y otro compuesto por los productos terminados y que identificaremos de la siguiente forma:

MATERIAS PRIMAS:

m = aceite de maíz
s = aceite de soya
a = aceite de algodón
c = aceite de cártamo

PRODUCTOS TERMINADOS:

x_1 = aceite puro de maíz
x_2 = aceite puro de cártamo
x_3 = aceites mixtos
x_4 = manteca Ala
x_5 = manteca estándar
x_6 = aceite puro de algodón

La relación entre ambos grupos de variables puede observarse claramente en el siguiente cuadro, en el que aparece el porcentaje de producto terminado que se produce a partir de cada materia prima.

PRODUCTO TERMINADO	MATERIAS PRIMAS			
	Aceite de Maíz (m)	Aceite de Soya (s)	Aceite de Algodón (a)	Aceite de Cártamo (c)
Aceite puro de maíz (x_1)	$(.94-.15)x_{1_m}$			
Aceite puro de cártamo (x_2)				$.975\ x_{2_c}$
Aceites mixtos (x_3)	$.94x_{3_m} + x_{7_m}$	$.965x_{3_s}$	$.91x_{3_a} + x_{7_a}$	$.975\ x_{3_c}$
Manteca Ala (x_4)	$.94x_{4_m} + x_{8_m}$	$.965x_{4_s}$	$.91x_{4_a} + x_{8_a}$	$.975\ x_{4_c}$
Manteca estándar (x_5)			$.91x_{5_a}$	
Aceite puro de algodón (x_6)			$(.91-.30)x_{6_a}$	

RELACION DE MATERIA PRIMA A PRODUCTO TERMINADO

EXPLICACION DEL CUADRO

1) A cada producto se les asignó una variable (x_1, x_2, x_3 y x_4) y a cada materia prima una letra (m, s, a y c) que unidas representan la cantidad de materia prima que producirá un artículo. Así x_{1_m} indica la cantidad de aceite de maíz necesario para producir aceite puro de maíz, y x_{5_a} la cantidad de aceite de algodón para producir manteca estándar. Las variables aparecen multiplicadas por un coeficiente que es el porcentaje que se utiliza en la producción. Por ejemplo, en x_{1_m} el aceite de maíz tiene una merma inicial del 6%, que nos deja un 94% útil y una merma adicional de 15% para producir aceite puro de maíz.

2) Se crearon otras cuatro variables (x_{7_m}, x_{8_m}, y x_{7_a}) que corresponden a las mermas adicionales de los aceites de maíz y algodón al producir sus correspondientes aceites puros y esta merma ser utilizada en los aceites mixtos y la manteca Ala.

3) La suma de las variables con la misma letra (Ej: x_{3_s} y x_{4_s}) nos dará la cantidad total de esa materia prima.

4) Para obtener la cantidad total de un producto terminado hay que sumar las variables con el mismo número ya multiplicadas por los coeficientes indicados. Ej: total de aceites mixtos igual a:

$.94x_{3_m} + .965x_{3_s} + .91x_{3_a} + .975x_{3_c} + x_{7_m} + x_{7_a}$. Estas dos últimas, por ser las mermas de los aceites de maíz y algodón).

4. Formulación Matemática de la Función Objetivo

La utilidad de la empresa en nuestro estudio está representada por la diferencia entre el importe obtenido por la venta de producto terminado, menos la suma desembolsada al adquirir materia prima. Es decir:

$$U = V - C$$

donde:

U = utilidad
V = venta
C = costo

Como nos interesa obtener la máxima utilidad posible de las diversas combinaciones de productos que podemos vender y de materias primas que podemos adquirir, utilizaremos:

$$MAX(U) = V - C$$

Ahora bien, la venta y el costo están compuestos de varios productos y materias primas, por lo que debemos especificar:

$$V = a_1 p_1 + a_2 p_2 \ldots + a_n p_n + c_1 d_1 + c_2 d_2 \ldots + c_j d_j$$

donde:

a_n = precio unitario de venta del producto n
p_n = cantidad a vender del producto n
c_j = precio de venta del desecho de materia prima j
d_j = cantidad desechada de materia prima j

y

$$C = b_1m_1 + b_2m_2 \ldots + b_jm_j$$

donde:

b_j= costo unitario de la materia prima m.

m_j= cantidad a comprar de la materia prima m.

Es muy importante para el entendimiento del modelo el desarrollo del proceso que estamos detallando, ya que al ir substituyendo coeficientes y efectuar operaciones aritméticas llegaremos a cifras y expresiones que parecen no guardar relación con los datos iniciales del problema.

Los precios de venta de los productos, como se recordará de los datos fuente, son los siguientes:

Aceite puro de maíz	\$18.00
Aceite puro de cártamo	18.00
Aceites mixtos	15.00
Manteca Ala	16.50
Manteca estándar	18.50
Aceite puro de algodón	18.00

Los costos para la materia prima, como se definiera igualmente con anterioridad son:

Aceite de maíz	\$13.00
Aceite de soya	12.80
Aceite de algodón	15.00
Aceite de cártamo	13.00

Del cuadro de relación entre materias primas y productos y en base a la ecuación del costo total, substituyendo los costos de materia prima, tenemos que:

COSTO DE:

Aceite de maíz = $13.00\ (x_{1_m} + x_{3_m} + x_{4_m})$

Aceite de soya = $12.80\ (x_{3_s} + x_{4_s})$

Aceite de algodón = $15.00\ (x_{3_a} + x_{4_a} + x_{5_a} + x_{6_a})$

Aceite de cártamo = $13.00\ (x_{2_c} + x_{3_c} + x_{4_c})$

Para obtener el ingreso por venta del producto terminado tendremos que hacer una substitución igual, pero debemos recordar que la cantidad de producto aparece expresada en función de la materia prima utilizada, es decir:

Aceite puro de maíz = (.94 - .15) % de aceite de maíz
= $(.94 - .15)\ x_{1_m}$

Por lo tanto, estos coeficientes que ya se tienen deberán multiplicarse por los precios de venta, de tal forma que quedará:

VENTA DE:

Aceite puro de maíz = $18(.8x_{1_m})$

Aceite puro de cártamo = $18(.975x_{2_c})$

Aceites mixtos = $15(.94x_{3_m}+.965x_{3_s}+.91x_{3_a}+.975x_{3_c}+x_{7_m}+x_{7_a})$

Manteca Ala = $16.5\ (.94x_{4_m}+.965x_{4_s}+.91x_{4_a}+.975x_{4_c}+x_{8_m}+x_{8_a})$

Manteca estándar = $18.5\ (.91x_{5_a})$

Aceite puro de algodón = $18(.61x_{6_a})$

Al realizar las multiplicaciones, la función de venta de producto terminado queda:

$$\begin{aligned} \text{VENTA} = {} & 14.4x_{1_m} \\ & + 17.55x_{2_c} \\ & + 14.1x_{3_m}+14.475x_{3_s}+13.65x_{3_a}+14.625x_{3_c}+15x_{7_m}+15x_{7_a} \\ & + 15.51x_{4_m}+15.92x_{4_s}+15.01x_{4_a}+16.08x_{4_c}+16.5x_{8_m}+16.5x_{8_a} \\ & + 16.83x_{5_a} \\ & + 10.98x_{5_a} \end{aligned}$$

Para calcular los ingresos por la venta de los remanentes de producción o pérdida inicial, es igual a multiplicar el porcentaje de desperdicio de cada producto por \$2.00 a que se venda cada kilogramo, por lo tanto:

INGRESO POR DESPERDICIO:

$$\begin{aligned} & = .12x_{1_m} + .12x_{3_m} + .12x_{4_m} \\ & + .07x_{3_s} + .07x_{4_s} \\ & + .18x_{3_a} + .18x_{4_a} + .18x_{5_a} + .18x_{6_a} \\ & + .05x_{2_c} + .05x_{3_c} + .05x_{4_c} \end{aligned}$$

Para obtener ahora la función objetivo final, debemos substituir los términos encontrados en la ecuación.

$$U = V - C$$

donde:

U = utilidad
V = venta de productos y desperdicios
C = costo de materia prima

Al substituir, encontraremos términos iguales, - al sumar y restar algebráicamente tendremos:

$$\text{UTILIDAD} = 1.52x_{1_m} + 1.22x_{3_m} + 1.63x_{4_m} + 15x_{7_m} + 16.5x_{8_m}$$

$$+ 1.745x_{3_s} + 3.19x_{4_s}$$

$$- 1.17x_{3_a} + .19x_{4_a} + 2.01x_{5_a} - 3.84x_{6_a} + 15x_{7_a} + 16.5x_{8_a}$$

$$+ 4.60x_{2_c} + 1.67x_{3_c}$$

$$+ 3.13x_{4_c}$$

En esta ecuación los coeficientes nos indican la utilidad que nos proporciona cada Kg. de materia prima empleada para producir un producto. Así, en el término - -- $1.52x_{1_m}$, sabemos que cada kilogramo de aceite de maíz, empleado en producir aceite puro de maíz nos da una utilidad de 1.52. Nótese que algunos coeficientes aparecen negativos, lo que implica que se tiene una pérdida al producir - ese artículo. Sin embargo, están considerados por separado los remanentes de ese artículo que se pueden emplear en otro y considerando ambos casos, se tiene que, efectivamente aporta utilidades.

3. Formulación Matemática de las Restricciones

Una vez planteada la función objetivo, debemos establecer las restricciones sobre las cuales se buscará la solución óptima. A cada restricción le asignaremos un nombre, que se utilizará para referenciarla de aquí en adelante.

1) EXISTENCIAS DE ACEITE DE MAIZ

Por los datos del problema, sabemos que existen solamente 400 tons. de aceite de maíz que deben ser empleadas en su totalidad. Para el planteamiento matemático supondremos un rango de 399-401 tons.

El consumo total de aceite de maíz será igual al empleado para producir aceite puro de maíz más aceites mixtos más manteca Ala. O sea:

$$x_{1_m} + x_{3_m} + x_{4_m}$$

La primera restricción será que el consumo total de aceite de maíz será mayor o igual a 399 tons.

MAIZ MIN $x_{1_m} + x_{3_m} + x_{4_m} \geq 399$

La segunda restricción es que el consumo total debe ser menor o igual a 401 tons.

MAIZ MAX $x_{1_m} + x_{3_m} + x_{4_m} \leq 401$

2) EXISTENCIAS DE ACEITE DE ALGODON

Similar al anterior es el caso del aceite de algodón y las existencias son de 200 tons., por lo que supondremos un rango de 199-201.

ALGOMIN $x_{3_a} + x_{4_a} + x_{5_a} + x_{6_a} \geq 199$

ALGOMAX $x_{3_a} + x_{4_a} + x_{5_a} + x_{6_a} \leq 201$

3) CAPACIDAD TOTAL DE LA FABRICA

La capacidad total de producto terminado que se puede-producir es de 1,000 tons.

La producción de cada artículo está dada por la cantidad de materia prima por el coeficiente de producción.

CAPATOT $.8x_{1_m}+.94x_{3_m}+.94x_{4_m}+x_{7_m}+x_{8_m}$

$+ .965x_{3_s}+.965x_{4_s}$

$+ .91x_{3_a}+.91x_{4_a}+.91x_{5_a}+.61x_{6_a}+x_{7_a}+x_{8_a}$

$+ .975x_{2_c}+.975x_{3_c}+.975x_{4_c} \leq 1{,}000$

4) MAXIMO DE SOYA EN LOS ACEITES MIXTOS

Los aceites mixtos no deben contener más de 40% de --- aceite de soya. El aceite mixto producido está definido en forma de cada materia prima integrante multiplicada por su factor de producción. Por lo tanto:

$.965x_{3_s} \leq .40\ (.94x_{3_m}+.965x_{3_s}+.91x_{3_a}+.975x_{3_c}+x_{7_m}+x_{7_a})$

El lado izquierdo de la desigualdad identifica al aceite de soya, mientras que en el lado derecho aparece cada uno de los ingredientes de los aceites mixtos multiplicados por el 40%.

Eliminando paréntesis, la desigualdad queda:

$.965x_{3_s} \leq .37x_{3_m}+.386x_{3_s}+.36x_{3_a}+.39x_{3_c}+.4x_{7_m}+.4x_{7_a}$

Reacomodando los términos:

$$\text{MIX 40} \; -.37x_{3_m}+.579x_{3_s}-.36x_{3_a}-.39x_{3_c}-.4x_{7_m}-.4x_{7_a} \leq 0$$

5) <u>MAXIMO DE SOYA EN LA MANTECA ALA</u>

El razonamiento es igual al anterior y por lo tanto la desigualdad es:

$$\text{ALA 40} \; -.37x_{4_m}+.579x_{4_s}-.36x_{4_a}-.39x_{4_c}-.4x_{8_m}-.4x_{8_a} \leq 0$$

6) <u>MAXIMA OFERTA DE CADA PRODUCTO</u>

Cada producto puede producirse hasta cierto límite que es la oferta máxima que la empresa puede colocar en el mercado. El lado derecho de las restricciones refleja las cantidades para cada producto.

Aceite puro de maíz	MAIZOFER	$.8x_{1_m} \leq 190$
Aceite puro de cártamo	CARTAOFE	$.975x_{2_c} \leq 80$
Manteca Ala	ALAOFER	$.94x_{4_m}+.965x_{4_c}+.91x_{4_a}$ $+ .975x_{4_c}+x_{8_m}+x_{8_a} \leq 180$
Manteca Estándar	STANOFER	$.91x_{5_a} \leq 60$
Aceite puro de algodón	ALGOFER	$.61x_{6_a} \leq 100$

7) <u>REMANENTES DE MAIZ EN ACEITES MIXTOS Y MANTECA ALA</u>

Al producir aceite puro de maíz, como se dijo en los datos iniciales, se desaprovecha un 15% que puede ser empleado en los aceites mixtos o en la manteca Ala. Para identificar a este remanente se utilizaron las variables x_{7_m} y x_{8_m} según el producto (aceites mixtos o manteca ala). La desigualdad queda como:

$$x_{7_m} + x_{8_m} \leq .15x_{1_m}$$

y colocando todos los términos de un lado:

MAIZREM $\quad -14x_{1_m} + x_{7_m} + x_{8_m} \leq 0$

8) REMANENTES DE ALGODON EN ACEITES MIXTOS Y MANTECA ALA

Similar al anterior, pero el porcentaje de aceite de algodón no utilizado al producir aceite puro de algodón es de 30%. La desigualdad queda como:

$$x_{7_a} + x_{8_a} \leq .30x_{6_a}$$

ALGOREM $\quad -.30x_{6_a} - x_{7_a} + x_{8_a} \leq 0$

6. Procesamiento Electrónico del Modelo

```
PRIMER PROBLEMA DE MEZCLAS DE ACEITES

***DATOS DE ENTRADA ***

RESTRICCIONES
        O GANAR     GANANCIAS A OPTIMIZAR
         - MAIZMIN
         + MAIZMAX
         - ALGOMIN
         + ALGOMAX
         + CAPATOT
         + MIX40
         + ALA40
         + MAIZOFER
         + CARTAOFE
         + ALAOFER
         + STANOFER
         + ALGOFER
         + MAIZREM
         + ALGOREM
MATR
     MAIZ1     GANAR                  1.320000
     MAIZ1     MAIZMIN                1.000000
     MAIZ1     MAIZMAX                1.000000
     MAIZ1     CAPATOT                0.300000
     MAIZ1     MAIZOFER               0.300000
     MAIZ1     MAIZREM     -          0.140000
     MAIZ3     GANAR                  1.220000
     MAIZ3     MAIZMIN                1.000000
     MAIZ3     MAIZMAX                1.000000
     MAIZ3     CAPATOT                0.940000
     MAIZ3     MIX40       -          0.370000
     MAIZ4     GANAR                  1.330000
     MAIZ4     MAIZMIN                1.000000
     MAIZ4     CAPATOT                0.940000
     MAIZ4     ALA40       -          0.370000
     MAIZ4     ALAOFER                0.940000
     MAIZ7     GANAR                 15.000000
     MAIZ7     CAPATOT                1.000000
     MAIZ7     MAIZREM                1.000000
     MAIZ7     MIX40       -          0.400000
     MAIZ8     GANAR               - 16.300000
     MAIZ8     CAPATOT                1.000000
     MAIZ8     MAIZREM                1.000000
     MAIZ8     ALA40       -          0.400000
     MAIZ8     ALAOFER                1.000000
     SOYA3     GANAR                  1.745000
     SOYA3     CAPATOT                0.965000
     SOYA3     MIX40                  0.375000
     SOYA4     GANAR                  3.190000
     SOYA4     CAPATOT                0.965000
     SOYA4     ALA40                  0.375000
     SOYA4     ALAOFER                0.965000
     ALGO3     GANAR       -          1.170000
     ALGO3     ALGOMIN                1.000000
     ALGO3     ALGOMAX                1.000000
     ALGO3     CAPATOT                0.910000
```

```
PRIMER PROBLEMA DE MEZCLAS DE ACEITES
        ALG03     MIX40      -        0.360000
        ALG04     GANAR               0.190000
        ALG04     ALGOMIN             1.000000
        ALG04     ALGOMAX             1.000000
        ALG04     CAPATOT             0.910000
        ALG04     ALA40      -        0.360000
        ALG04     ALAOFER             0.910000
        ALG05     GANAR               2.010000
        ALG05     ALGOMIN             1.000000
        ALG05     ALGOMAX             1.000000
        ALG05     CAPATOT             0.910000
        ALG05     STANOFER            0.910000
        ALG06     GANAR      -        3.340000
        ALG06     ALGOMIN             1.000000
        ALG06     ALGOMAX             1.000000
        ALG06     CAPATOT             0.610000
        ALG06     ALGOFER             0.610000
        ALG06     ALGOREM    -        0.300000
        ALG07     GANAR              15.000000
        ALG07     CAPATOT             1.000000
        ALG07     ALGOREM             1.000000
        ALG07     MIX40      -        0.400000
        ALG08     GANAR              16.500000
        ALG08     CAPATOT             1.000000
        ALG08     ALGOREM             1.000000
        ALG08     ALA40      -        0.400000
        ALG08     ALAOFER             1.000000
        CARTA2    GANAR               4.600000
        CARTA2    CAPATOT             0.975000
        CARTA2    CARTAOFE            0.975000
        CARTA3    GANAR               1.670000
        CARTA3    CAPATOT             0.975000
        CARTA3    MIX40      -        0.390000
        CARTA4    GANAR               3.130000
        CARTA4    CAPATOT             0.975000
        CARTA4    ALA40      -        0.390000
        CARTA4    ALAOFER             0.975000
LADO                                  0.0
              MAIZMIN      399.000000
              MAIZMAX      401.000000
              ALGOMIN      199.000000
              ALGOMAX      201.000000
              CAPATOT     1000.000000
              MIX40          0.0
              ALA40          0.0
              MAIZOFER     100.000000
              CARTAOFE      30.000000
              ALAOFER      100.000000
              STANOFER      50.000000
              ALGOFER      100.000000
              MAIZREM        0.0
              ALGOREM        0.0
FIN                          0.0
```

PRIMER PROBLEMA DE MEZCLAS DE ACEITES

-- ESTADISTICAS DEL PROBLEMA -----

TOTAL DE RESTRICCIONES	14
TOTAL DE VARIABLES	16
RESTRICCIONES MENOR-IGUAL	12
RESTRICCIONES MAYOR-IGUAL	2
RESTRICCIONES IGUAL	0
LADOS DERECHO	14
ELEMENTOS MATRIZ NO CERO	72

---- INVERSIONES DE LA MATRIZ ----

ITERACION	VARIABLE ENTRANTE	VARIABLE SALIENTE	VALOR FUNCION
1	MAIZ1	MAIZOFER	361.000
2	MAIZ3		558.030
3	ALGO3		325.200
--- LA SOLUCION ES FACTIBLE ---			
4	MAIZ8	MAIZREM	873.825
5	ALGO8	ALGOREM	873.825
6	CARTA2	CARTAOFE	1251.261
7	SOYA4	ALA4C	1324.537
8	CARTA4	ALAOFER	1729.233
9	ALGO5	STANOFER	1938.903
10	SOYA3	MIX4C	2263.372
11	MAIZ7	CAPATO1	2329.272
12	ALGO6	MAIZ8	2364.856
13	ALGO7	ALGO8	2409.425
14	CARTA3	ALGO3	2569.707
15	MAIZ8	MAIZ7	2569.792
16	ALGO8	ALGO7	2569.894

PRIMER PROBLEMA DE MEZCLAS DE ACEITES

--- SOLUCION OPTIMA ----

ULTIMA ITERACION	16
VALOR OPTIMO DE LA FUNCION	2569.894

VARIABLE	VALOR	COEFICIENTE	CONTRIBUCION
MAIZ3	161.500	1.220000	197.030
CARTA3	96.879	1.670000	161.788
MAIZ8	33.250	16.500000	548.625
SOYA3	168.459	1.745000	293.961
SOYA4	74.611	3.190000	238.010
MAIZ1	237.500	1.520000	361.000
CARTA2	82.051	4.600000	377.436
CARTA4	35.723	3.130000	111.814
ALGO5	65.934	2.010000	132.527
ALGO6	133.066	-3.840000	-510.973
ALGO8	39.920	16.500000	658.676

RESTRICCION	DIFERENCIA	COEFICIENTE	MINIMO	
MAIZMAX	2.000	0.0	-0.391	
ALGOMAX	2.000	0.0	-0.921	****
ALGOFER	13.830	0.0	-1.510	

C A P I T U L O   I V

OPTIMIZACION DEL CREDITO EN LA BANCA OFICIAL AGROPECUARIA

1. Introducción

Una de las decisiones más importantes que debe - hacer un agricultor al iniciarse un ciclo agrícola, es definir cuáles cultivos establecerá y en qué superficies. Un agricultor tradicionalista (y quizá con pocos recursos) generalmente sembrará los mismos cultivos que ha venido sembrando desde hace muchos años, pero un agricultor reflexivo hará consultas con otros agricultores sobre sus experiencias en cultivos diferentes y se informará sobre los - precios probables en el momento de la cosecha.

En base a esta información y junto con su experiencia personal, e inclusive considerando sus preferencias individuales, sembrará un cierto número de hectáreas- de cada cultivo en una combinación que él espera le produzca el mayor beneficio económico.

Al realizar este proceso, lo que el agricultor - está haciendo, quizás en una forma inconsciente, es diseñar diversas alternativas (como son, por ejemplo, sembrar- 100 Ha. de algodón y 50 de cártamo, o sembrar 100 de algodón, 20 de maíz y 30 de cártamo), evaluar el beneficio que cada una le proporciona y seleccionar la mejor alternativa.

Debido al gran número de combinaciones posibles- y a que cada combinación necesita el calcular los requerimientos de capital, mano de obra, agua, posibilidades de - mercado, etc., en la práctica la selección se realiza sobre un número limitado de combinaciones basadas en la experiencia y preferencias del agricultor.

La programación lineal proporciona un medio eficiente de evaluar rápidamente un número muy grande de combinaciones y seleccionar la mejor, ayudando al agricultor- a tomar una mejor decisión.

Al desarrollar este capítulo, el lector podrá observar cómo se integran las opciones que tiene el agricultor de sembrar los diferentes cultivos en un modelo de programación lineal y cómo el poder evaluar un número mucho mayor de alternativas, puede aumentar sus ingresos.

2. Material y Métodos

El problema planteado es el lograr que el crédito que otorga la Banca Oficial Agropecuaria produzca un máximo de utilidades al agricultor beneficiario del crédito a través de seleccionar la combinación de cultivos más redituable económicamente.

La explotación agrícola seleccionada para el estudio fue la Empresa Ejidal La Partida, situada a pocos kilómetros de la Ciudad de Torreón, Coah.

Se investigaron los diferentes cultivos que se pueden establecer en la empresa seleccionada, partiendo de la experiencia de los agricultores y los datos de los diferentes organismos de extensión e investigación agrícola de la zona.

Una vez seleccionados los cultivos, se obtuvieron los principales recursos que insume el producir cada cultivo, como son: capital, mano de obra y agua.

En base a estos datos, se formuló un programa lineal que maximizara las utilidades económicas haciendo una adecuada combinación de cultivos.

Finalmente, los resultados del programa lineal fueron comparados con el plan de producción de los agricultores, estableciéndose las conclusiones del estudio.

3. Empresa Ejidal La Partida

Ubicación.-

El Ejido La Partida está ubicado en el Municipio de Torreón, Coah. y su comunicación es por la carretera Torreón-San Pedro, Coah. y al llegar al poblado Ana, a la derecha a 18 Km. se encuentra el ejido. Todo el recorrido se hace por camino asfaltado.

Obras de Infraestructura.-

Las obras de infraestructura con que cuenta el ejido son: electrificación, camino asfaltado, una escuela primaria y un Centro de Estudios Técnicos Agropecuarios, canales no revestidos sin constituir un sistema, un centro médico y agua potable mediante un pozo profundo (9).

Recursos de Tierra y Agua.-

La Partida cuenta con las tierras siguientes, que se clasifican de acuerdo a su uso actual:

a) Superficie total	560 Ha.
b) Superficie de riego por gravedad (mediante las aguas de las presas General Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco)	286 Ha.
c) Superficie susceptible de regarse por bombeo, mediante pozos profundos	274 Ha.

Los suelos de La Partida pertenecen a la Serie Coyote (13 citado en 3) que son los suelos más importantes de la región por su calidad y presentan las siguientes características:

a) Textura	Migajón-arcilloso
b) Estructura	Terronosa

c)	Color en seco	Café claro
d)	Consistencia	Media
e)	Porosidad	Poroso
f)	Permeabilidad	Permeable
g)	Drenaje	Bueno

La topografía de los terrenos es en general plana, con muy pequeñas irregularidades en el microrrelieve.

En general, son suelos de buena calidad agrícola; el único factor negativo es el contenido de carbonato de sodio en los primeros 20 cm. que puede corregirse con la aplicación de yeso y lavado.

Población.-

El poblado del Ejido La Partida tiene aproximadamente 3,000 personas, con un número aproximado de 500 jefes de familia. De estos, sólo 182 tienen derechos en el ejido, el resto se infiere que son avencidados provenientes de otros lugares en busca de trabajo, principalmente en la época de cosecha del algodón.

Integración de la Empresa Ejidal.-

El Ejido La Partida fue dotado en 1936, según la documentación agraria con 200 ejidatarios y 724 Ha., todas susceptibles de regarse con agua de río (3).

Desde el punto de vista crediticio comenzaron a operar con el Banco Nacional de Crédito Ejidal, que les otorgaba créditos básicamente para el cultivo del algodonero y la forma de trabajo era mixta, ya que las norias las trabajaban en forma colectiva, pero las parcelas eran cultivadas individualmente.

Bajo la forma anterior trabajaron hasta 1945, fecha en que se separó el primer grupo, de 50 ejidatarios, que inició el desmembramiento del ejido y para 1954 ya había 16 grupos que podrían operar sus créditos como Grupos Solidarios con el Banco Agrario de La Laguna (18).

En 1960 se reunieron nuevamente en un solo grupo formado por 182 ejidatarios (ya había 18 bajas por muertes y abandono) con el objeto de consolidar su cartera y solicitar utilidades al banco, pero al año siguiente se separaron nuevamente formando ahora ocho grupos solidarios(18).

En 1973 se trató de unificar a los grupos debido a la política gubernamental y al interés en manejar eficientemente los recursos campesinos para mejorar el nivel de vida de los mismos. Para ello intervinieron principalmente el Banco Agrario de La Laguna (ahora Banco de Crédito Rural del Centro-Norte), la Secretaría de Recursos Hidráulicos (hoy fusionada para formar la SARH) y el Departamento de Asuntos Agrarios y Colonización (actualmente Secretaría de la Reforma Agraria) (1).

A la empresa ejidal formada como consecuencia de esta unión ingresaron 140 ejidatarios, con 560 Ha. de las cuales 286 Ha. son de riego por gravedad y el resto es susceptible de regarse por bombeo, mediante 9 norias.

4.- Los Datos y el Modelo

Primeramente se hizo una selección de los cultivos a establecer en el ejido. Para ello se consideran los cultivos que se habían sembrado con anterioridad en el ejido y que eran fundamentalmente el algodón y la alfalfa. -- También se había sembrado esporádicamente maíz forrajero y avena y se contaba con una superficie ya establecida de -- nogal.

Posteriormente, en base a los estudios técnicos-del Banco Rural y las recomendaciones del CIANE se consideraron factibles de establecerse el cártamo, trigo y maíz y sorgo grano. El criterio fundamental en estos cultivos -- fue la aceptación de los ejidatarios a los mismos y el conocimiento de su producción en la zona.

Al haber considerado únicamente los cultivos más importantes en La Laguna, podemos establecer que no existen limitaciones con respecto a insumos, tales como semillas, fertilizantes, e insecticidas. Por la misma razón - no existen problemas de mercado para las cosechas en los - volúmenes que produciría la empresa ejidal.

El costo de producción para cada cultivo está -- formado por la suma de los costos de todos los insumos necesarios en el proceso productivo, así como los gastos diversos que se realizan en la región. El precio que usó en el estudio para la venta de la cosecha es el que se paga - normalmente al productor en la zona, de acuerdo a los datos de comercialización de Banrural.

Para calcular el ingreso neto de cada cultivo -- por hectárea, se multiplicó el rendimiento por el precio - para tener el ingreso bruto y a este resultado se le restaron los cotsos del cultivo para tener finalmente el ingreso neto.

Para conocer los suministros de agua disponible- para riego se tienen dos casos: el riego por gravedad, a - base de agua proporcionada por el Distrito de Riego No. 17 y el riego por bombeo, con agua obtenida de los pozos del- ejido.

En el caso del riego por gravedad, se considera- que existe una cuota fija a cada usuario fijada anualmente por el Distrito de Riego en base a los volúmenes de las --

presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco.

Tanto esta cuota, como la disponible mediante el bombeo de los pozos profundos debe ser afectada por las -- pérdidas de conducción que existen al llevar el agua a una parcela determinada. En este estudio se consideró una eficiencia de conducción del 67% aproximadamente, esto es, de cada 100 m^3 de agua disponibles, se consideran utilizados 67.

Se ajustaron los coeficientes de necesidades de riego para cada cultivo, tomando en cuenta las pérdidas de conducción, a fin de determinar la lámina bruta que requiere cada cultivo mediante la siguiente fórmula:

$$W_i = \frac{w_i}{E_c}$$

donde:

W_i = lámina de riego (en cms) a extraer para el cultivo i.

w_i = lámina de riego (en cms) requerida por hectárea del cultivo i.

E_c = eficiencia de conducción

Usando esta fórmula se obtuvieron los coeficientes corregidos que se utilizan en el modelo para calcular las necesidades totales de agua para riego.

Al considerar los calendarios de los cultivos y ya que algunos de ellos pueden variar bastante en sus fechas de siembra, como es el caso del maíz, en que los rendimientos varían muy poco sembrándolos en cualquier fecha de marzo a junio, se consideró para efecto del estudio, la fecha de siembra que permitiera alternar ese cultivo con algún otro.

En las tablas 4.1 a 4.4 de las páginas siguientes se representan los datos obtenidos para cada uno de los cultivos seleccionados y en base a los cuales se diseñó el modelo de programación lineal.

En la Tabla 4.5 se muestran los pozos con que cuenta el ejido y sus capacidades, junto con otras características pertinentes.

TABLA 4.1 UTILIDAD BRUTA, COSTOS DE PRODUCCION Y UTILIDAD NETA EN LOS CULTIVOS ANALIZADOS EN LA COMARCA LAGUNERA (1978-79)

Cultivo	Utilidad Bruta	Costos de Producción	Utilidad Neta
Algodón bombeo	$ 31,500	$ 23,927	$ 7,573
Algodón Grav.	31,500	23,366	8,134
Alfalfa	22,400	14,841	7,559
Avena	6,872	5,538	1,334
Cártamo	9,200	7,124	2,076
Maíz Forr. Bombeo	11,167	7,977	3,190
Maíz Forr. Grav.	11,167	7,650	3,517
Maíz Grano Bombeo	11,600	8,677	2,923
Maíz Grano Grav.	11,600	8,368	3,232
Nogal	21,200	12,903	8,297
Sorgo Grano Bombeo	10,150	8,770	1,380
Sorgo Grano Grav.	10,150	8,450	1,700
Trigo	9,100	7,294	1,806

Fuente: "Banco de Crédito Rural del Centro-Norte, S. A., - Costos de Producción de los Ciclos Primavera-Verano 1978-78 e Invierno 1978-79". Fideicomiso de Desarrollo Agropecuario.

TABLA 4.2 FECHAS DE SIEMBRA, DE COSECHA Y REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA LOS CULTIVOS ANALIZADOS EN LA COMARCA LAGUNERA

Cultivo	Lámina Riego Neta	Lámina Riego Bruta	Fecha Siembra	Fecha Cosecha
Algodón	78 cm	117 cm	Abril	140 días desp
Alfalfa	161	240	Nov-Dic	Variable
Avena	80	119	1-15 Dic	Marzo
Cártamo	52	77	15 Dic a 15 Ene	Mayo
Maíz Grano	34	50	Mar-Jun	120 días desp
Maíz Forrajero	34	50	Mar-Jun	90 días desp
Sorgo Grano	45	67	Mar-Jun	120 días desp
Trigo	76	113	10 Dic a 31 Ene	Mayo-Junio
Nogal	154	230	Variable	Sep-Oct

FUENTE:

1) Informes Anuales del CIANE, Centro de Investigaciones-Agrícolas del Noroeste.

2) Modelo Hidroagrícola Nacional, la. Parte, Secretaría - de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1977.

TABLA 4.4 REQUERIMIENTOS MENSUALES DE MANO DE OBRA EN LOS CULTIVOS ANALIZADOS EN LA COMARCA LAGUNERA

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Algodón				7.33	5.64	10.78	9.25	14.6				
Alfalfa	1.62	0.80	0.80	1.62	1.62	1.62	0.80	1.62	0.80	0.80	0.80	0.80
Avena	2.00	3.00	1.65								3.00	4.08
Cártamo	4.50	2.10	1.50	1.11	1.70							
Maíz Grano						6.97	5.02	4.00	4.47			
Maíz Forr						8.15	7.50	6.35				
Nogal	1.00	1.00	1.41	1.41	1.41	1.50	2.00	3.50	5.00	10.80	10.00	3.15
Sorgo Grano						4.75	4.75	4.00	4.30			
Trigo	2.50	1.00	1.00	1.00	1.60							4.00

FUENTE: Informe Estadístico Núm. 81, "Costos de Producción de los Cultivos en los Distritos de Riego de la Zona Norte-Centro", Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1976.

TABLA 4.5 CARACTERISTICAS DE LOS POZOS PROFUNDOS EN LA EMPRESA EJIDAL LA PARTIDA

P O Z O S				B O M B A			
No. Sría.	Profundidad	Ademe (Diámetro)	Estado	Diámetro	Columna	Gasto lps	Estado
1964	495'	16"	Regular	8"	280'	35	Regular
0775	300'	16"	Regular	8"	150'	30	Regular
0776	740'	16"	Regular	8"	300'	35	Regular
1999	400'	16"	Bueno	8"	300'	40	Regular
1774	490'	16"	Bueno	8"	280'	40	Bueno
0773	606'	16"	Bueno	8"	300'	40	Bueno
1297	450'	16"	Bueno	8"	300'	40	Bueno
1949	1,000'	16"	Bueno	8"	350'	60	Bueno
1544	1,030'	16"	Bueno	8"	300'	60	Bueno
					Total:	380	

FUENTE: Proyecto de Financiamiento de la Empresa Ejidal La Partida.

EL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

Para alcanzar los objetivos establecidos en este estudio se diseñó un modelo de programación lineal, haciendo uso de la siguiente notación:

n = número de cultivos seleccionados.

x_i = cantidad de Ha. del cultivo i (Ej. cártamo, -- maíz)

u_i = utilidad neta por Ha. del cultivo i (Tabla - 4.1)

a_i = requerimientos brutos de agua del cultivo i, expresados como lámina de riego en cm. (Ta-- bla 4.2).

m_{ij} = requerimientos de mano de obra del cultivo i en el mes j.

t_{ij} = ocupación de la tierra por el cultivo i en - el mes j (1 ó 0, según el cultivo ocupe la - tierra ese mes o no lo haga, Tabla 4.3).

La función objetivo del problema es maximizar el ingreso neto de la empresa, dado por:

$$(1) \qquad \text{Max } Z = \sum_{i=1}^{n} u_i \, x_i$$

Esta función nos dice que la utilidad de los --- agricultores está dada por la suma de las utilidades por - Ha. de cada cultivo multiplicada por el número de Ha. sembradas y nos interesa la combinación que produzca las mayores utilidades.

Las restricciones impuestas para maximizar la -- función en virtud de los recursos disponibles son:

(2) $\sum_{i=1}^{n} a_i x_i \leq$ Volumen agua disponible

El total de agua utilizada por los cultivos no - debe exceder la total disponible y el consumo total se obtiene al multiplicar los requerimientos brutos de agua por Ha. de cada cultivo por el número de Ha. sembradas y des-- pués sumar los resultados de todos los cultivos.

(3) $\sum_{i=1}^{n} t_{ij}\ x_i \leq 560$, para j = 1,2 ... 12

El número de hectáreas sembradas de todos los -- cultivos no puede exceder del total que posee la empresa - ejidal en ningún mes del año.

(4) $\sum_{i=1}^{n} M_{ij}\ x_i \leq 3{,}500$, para j = 1,2 ... 12

El total de jornadas necesarias para atender los cultivos sembrados no puede exceder de los jornales disponibles, que es igual a 140 ejidatarios por 25 días del mes excepto en el período de cosecha del algodón que se contratan jornaleros.

(5) $X_{nog} = 34$

No se desea considerar una ampliación del nogal- ya que requiere de una inversión muy alta y su recupera--- ción es a largo plazo.

5. Resultados y Conclusiones

El programa lineal generado en la sección anterior fue procesado electrónicamente de acuerdo al programa de cómputo que se elaborará previamente; el proceso se efectuó en el computador IBM 370-145 del Banco Nacional de Crédito Rural y utilizó aproximadamente cuatro segundos tiempo del procesador central.

En la Tabla 4.7 se encuentra el Plan de Producción obtenido, especificando el número de hectáreas de cada cultivo que se deben sembrar; en la Tabla 4.8 se muestra la ocupación de la tierra por los cultivos en los diferentes meses del año.

La Tabla 4.9 contiene la distribución de cultivos que los técnicos de FIRA y Banrural formularon de acuerdo con los ejidatarios.

Finalmente, en la Tabla 4.10 se tiene una comparación entre los planes obtenidos en forma tradicional y mediante la programación lineal y donde fácilmente se puede ver que existe una diferencia de casi 400,000 pesos a favor del segundo método.

TABLA 4.7 RESULTADOS DEL MODELO-PLAN DE PRODUCCION

Cultivo	Superficie	Utilidades Proyectadas
Riego por Gravedad:		
Algodón	286 Ha.	$ 2,326,324
Riego por Bombeo:		
Algodón	170 Ha.	1,287,410
Alfalfa	58.5 Ha.	442,201
Nogal	34 Ha.	282,098
Cártamo	11 Ha.	22,836
Maíz Forrajero	11 Ha.	35,090

TABLA 4.8   RESULTADOS DEL MODELO

CALENDARIO DE UTILIZACION DE LA TIERRA

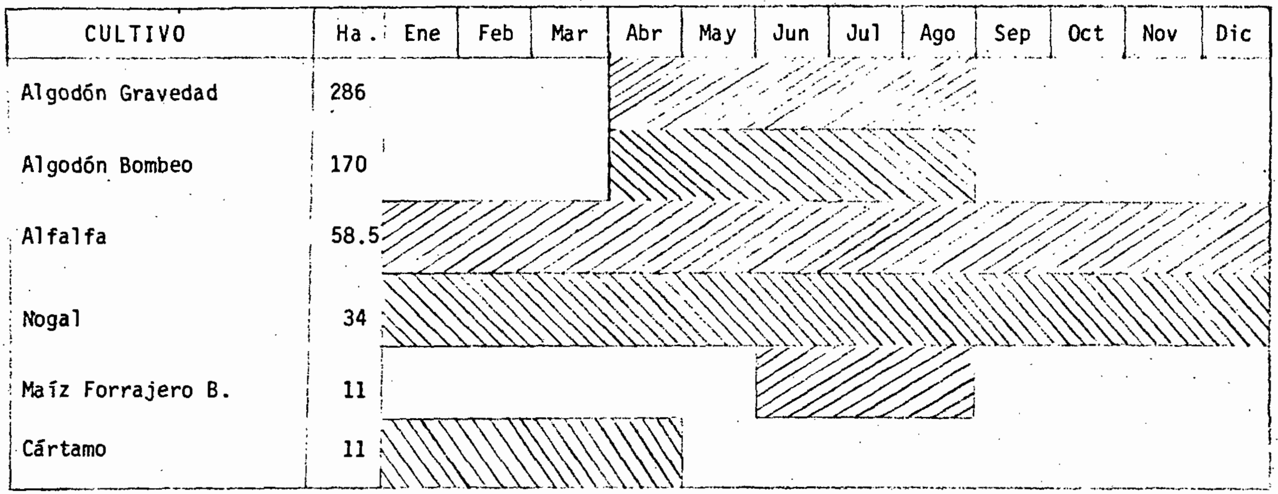

TABLA 4.9 DISTRIBUCION DE CULTIVOS EN LA EMPRESA EJIDAL LA PARTIDA

Cultivo	Número Hectáreas
Riego por Gravedad:	
Algodón	286
Riego por Bombeo:	
Algodón	108
Alfalfa	80
Nogal	34
Superficie en descanso	52 Ha.

FUENTE: "Evaluación de Resultados del Proyecto de Finan-- ciamiento de la Empresa Ejidal La Partida".

TABLA 4.10 COMPARATIVO ENTRE LO PLANEADO EN FORMA TRADICIONAL Y UTILIZANDO PROGRAMACION LINEAL

Cultivo	Forma Tradicional		Programación Lineal		Diferencia
	Ha.	Utilidad	Ha.	Utilidad	
Riego por Gravedad					
Algodón	268	$2,326,324	286	$2,326,324	
Riego por Bombeo					
Algodón	108	817,884	170	1,287,410	$ 469,526
Alfalfa	80	604,720	58.5	442,201	- 162,519
Nogal	34	282,098	34	282,098	-
Maíz Forrajero	-	-	11	35,090	35,090
Cártamo	-	-	11	22,836	22,836
		$4,031,026		$4,395,959	$ 364,933

Las utilidades en el programa obtenido con Programación Lineal son superiores en $364,933 al plan obtenido en forma tradicional.

C A P I T U L O   V

ANALISIS FINAL Y CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En el plan de producción obtenido mediante programación lineal se proyectan ganancias superiores a las que se tienen con el plan de producción obtenido en forma tradicional, esto se debe a:

1) Análisis de más Alternativas

Al hacer manualmente la distribución de cultivos, la redituabilidad de esta distribución depende en gran parte de la experiencia y capacidad de la persona que la realiza, e inclusive del tiempo que dedica a esta tarea. Por otra parte, la programación lineal considera todas las alternativas posibles y selecciona la mejor basándose en los datos del modelo sin consideraciones subjetivas que afecten su toma de decisiones.

2) Distribución Eficiente de Recursos

Al analizar un número mayor de alternativas se selecciona aquella que utiliza más eficientemente los recursos y puede ser una alternativa difícil de considerarsi se hace un análisis de poca o mediana profundidad.

En el caso de la Empresa Ejidal, ésta es la situación con el uso del agua de bombeo, que en la solución del modelo se utiliza en un número mayor de hectáreas.

Por otro lado, al comparar el plan de producción tradicional y el calculado mediante programación lineal, se observa que son muy parecidos y que prácticamente lo forman los mismos cultivos con diferente distribución de superficies. Esto es indicativo de que la experiencia de los agricultores a través de muchos años les permite formular planes de acción cercanos al óptimo, y por ello, cualquier sugerencia de cambiar radicalmente un plan ya establecido debe ser vista con descon--

fianza y analizada en forma muy profunda.

En resumen, bajo condiciones normales la experiencia de los agricultores es una buena guía sobre lo que es el plan óptimo de producción y la programación lineal proporcionará un plan mejor, pero no demasiado diferente, que sin embargo, compensará sobradamente el esfuerzo extra desarrollado para utilizar esta técnica.

Al desarrollar este estudio y analizar los resultados obtenidos pueden formularse las siguientes conclusiones:

1. La Programación Lineal es Sencilla

   Aunque la teoría matemática requiere de un estudio formal, no es necesaria para diseñar los modelos, calcular la solución óptima e interpretar los resultados. De hecho es una de las herramientas de decisión más sencillas de aprender y usar y su única limitante en la práctica es el elevado número de operaciones aritméticas que deben efectuarse, limitante que por otro lado se soluciona fácilmente utilizando una computadora.

2. La Programación Lineal Requiere de Más Planeación

   El utilizar la programación lineal para seleccionar el mejor plan de acción requiere de un mayor esfuerzo de planeación que el hacerlo en la forma tradicional. Esto es así porque se requiere cuantificar cada elemento que entra al modelo mientras que en la práctica tradicional la planeación se hace utilizando algunos criterios subjetivos, además debe analizarse cada actividad que pueda ingresar al modelo y una vez aceptada estudiar su interacción con las demás actividades; posteriormente deben establecerse cuidadosamente los recursos necesarios para cada actividad, primero considerándolas aisladas y después, en forma conjunta. Si esto-se realiza correctamente, el definir el modelo matemático será más o menos sencillo y la solución será correcta.

En ocasiones, este esfuerzo adicional de planeación rinde tan buenos resultados que aun cuando no se llegue a formular el modelo, los datos obtenidos justifican sobradamente el esfuerzo.

3. <u>Obtener los Datos no es Sencillo</u>
En la mayoría de las ocasiones, el obtener los datos necesarios en el punto anterior, no es una labor sencilla. En particular, situaciones como las necesidades de insecticida, los precios probables de venta de la cosecha y el agua disponible por lluvia son casos en que es necesario investigar detenidamente bajo pena de considerar datos erróneos y con ello obtener soluciones incorrectas. Esta es la limitante más seria para utilizar la programación lineal, pero no es una limitación de la técnica, sino en todo caso se debe al desconocimiento de muchos de los fenómenos de la producción agropecuaria por parte de los agricultores y agrónomos y es también, una limitación para hacer planes en la forma tradicional o utilizando otras técnicas.

4. <u>No Deben Esperarse Soluciones Sorpresa o Maravilla</u>
Como ya se mencionó, la experiencia de los agricultores a través de los años es una buena guía para obtener resultados cercanos al óptimo; la programación lineal rinde excelentes resultados aun en estos casos, pero difícilmente dará una solución radicalmente diferente a la obtenida en forma tradicional. Esto sólo es posible cuando junto con la programación lineal se introducen situaciones que modifican el valor de la experiencia, como puede ser una nueva variedad o culti

vo, una mayor disponibilidad de agua, e inclusive, el contar con mayor capital para inversiones.

6. La Programación Lineal Mejora las Utilidades
Este punto está soportado directamente por los resultados de los casos estudiados en la tesis y junto con los puntos anteriores es una indicación clara de que la programación lineal puede y debe ser usada por los agrónomos para tomar mejores decisiones que redunden en mayores beneficios económicos.

C A P I T U L O   V I

APENDICE: PROGRAMA "SIMPLEX" PARA COMPUTADORA

1. DESCRIPCION GENERAL

El programa de cómputo fue desarrollado originalmente por IBM y ha sido modificado extensamente por el autor de esta tesis, especialmente en lo que se refiere a entrada/salida de datos.

Propósito

El objetivo del programa es el de resolver problemas de programación lineal, planteados de la siguiente forma:

Encontrar el máximo de una función lineal multivariada, sujeta a restricciones lineales:

$$\text{Maximizar } F = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n$$

$$\text{Sujeta a } \quad a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \ldots + a_{in}x_n \;\substack{\le \\ \ge \\ =}\; b_i, \quad i=1,2\ldots m$$

$$x_1, x_2 \ldots, x_n \ge 0$$

Donde las a_{ij}, b_i y c_j son constantes dadas y las x_j son las variables.

Método

El procedimiento utilizado está basado en el algoritmo Símplex desarrollado por George Dantzig. El método es una técnica iterativa que tiende a encontrar el óptimo global de la función objetivo dentro de la región aceptable establecida por las restricciones. El algoritmo procede de la siguiente manera:

1) Se genera una tabla inicial representando la función objetivo y las restricciones. Los valores del lado de

recho de las restricciones se almacenan en un vector - separado y deben ser todos valores positivos.

2) Se generan automáticamente variables positivas de holgura para las restricciones de tipo menor-igual y se - colocan en la base inicial. Para las restricciones -- del tipo mayor-igual se generan automáticamente variables negativas de holgura y no aparecen en la base inicial. Las variables artificiales son generadas automáticamente para las restricciones mayor-igual e igual y son colocadas en la base inicial.

3) La primera fase del método intenta eliminar las variables artificiales sin importar la función objetivo. En caso de lograrlo, esta fase produce una solución inicial factible.

4) Se determina si esta solución es la óptima. Se eliminan las variables básicas de la función objetivo y se verifica el signo de cada variable no-básica. Si alguno de estos coeficientes es positivo, la optimalidad - no se ha alcanzado y la solución continúa al paso 5. - De otra manera, el procedimiento de solución termina y se imprimen todos los resultados (Paso 8).

5) Se determina la variable básica a ingresar mediante la selección de la variable no-básica que incrementaría - la función objetivo en la mayor cantidad. Se selecciona la variable no-básica cuyo coeficiente en la función objetivo actual es el mayor. Se denota por k el subíndice de la variable básica que ingresa.

6) Se determina la variable básica a salir seleccionando la variable básica que alcance cero primero al incrementar la variable básica que ingresa (paso 5). Se -- consideran todos los cocientes B_i/A_{ik} mayor que cero y

se selecciona la variable asociada con el cociente menor como la variable saliente.

7) Se determina la nueva solución básica factible. Se emplean operaciones elementales de filas para solucionar por las variables básicas en términos de las variables no básicas. La tabla entera es transformada, incluyendo la fila objetivo. Se regresa al paso 4.

8) Se incluyen códigos para indicar:

a) Que se encontró la solución óptima.
b) Que no existe una solución finita
c) Que no existe una solución factible básica

Descripción del Programa

1) Lenguaje y Utilización:
El programa fue escrito en Fortran IV y consiste de un sólo programa principal. El problema se resuelve totalmente en la memoria principal. La salida incluye un registro de iteración (mostrando el valor de la función objetivo en cada iteración), la solución óptima y los rangos de costos y los costos reducidos de las variables artificiales y de holgura no incluídas en la solución óptima.

2) Subrutinas Utilizadas:
Ninguna.

3) Descripción de Variables y Parámetros:

B= Matriz M x N representando la tabla de programación lineal.

RQ= Vector de dimensión M conteniendo los lados derecho de las restricciones.

CDID= Encabezado del grupo de tarjetas.
Se perfora RESTRICCIONES para identificar columnas. Se perfora MATRIZ para el encabezado de la matriz. Se perfora LADOS B para encabezado de lados derecho. Se perfora FIN para indicar fin del problema.

LGE= Indica tipo de restricción (-por mayor-igual, -- por menor-igual y cero por igualdad).

RNM1- Primeros cuatro caracteres del nombre de restricción.

RNM2= Segundos cuatro caracteres del nombre de restricción.

CLNM1= Primeros cuatro caracteres del nombre de la variable.

CLNM2= Segundos cuatro caracteres del nombre de la variable.

SYMB= Indicador del signo (blanco para positivo y - para negativo).

VALUE=Valor numérico del elemento de la matriz o valor del lado derecho.

NI= Número de la unidad de lectura.

NO= Número de la impresora.

2. Registros de Entrada

Una vez formuladas la función objetivo y las restricciones a que se encuentra sujeta, deben ser codifica--

dos y perforados a fin de ser procesados por el computador.

El primer paso es asignar un nombre simbólico a cada restricción y a la función objetivo. Este nombre puede estar compuesto de letras y números hasta 8 caracteres. Por ejemplo:

MINMAIZ	por mínimo de maíz
PROTEINA	por contenido de proteína

El siguiente paso es realizar la misma operación en las variables utilizadas (x_1, x_2, x_3, ... etc.) por --- ejemplo:

MAIZ	por variable de maíz
FIBRA	por variable de fibra

El programa asumirá en los coeficientes que estos tienen, 6 dígitos decimales, pero esta convención puede anularse fácilmente perforando la cantidad con el punto decimal en el lugar necesario.

El orden de las tarjetas es el siguiente: (ver - los diseños de registro para una mejor explicación).

1. Encabezado
2. Separación: RESTRICCIONES
3. Restricciones
4. Separación: MATRIZ
5. Matriz (coeficientes no cero)
6. Separación: LADOS B
7. Lados B (derechos de las restricciones)
8. Final: FIN

DISEÑOS DE REGISTRO

1. Encabezado

   Una tarjeta con el título del problema en cols. 2/55.- Se imprimirá al iniciar cada página del reporte.

2. Separación

   Una tarjeta con la palabra RESTRICCIONES a partir de - la columna 1. (El programa sólo considerará las primeras cuatro letras).

3. Restricciones

   Se perforará una tarjeta por cada restricción que se - tenga, la primer tarjeta debe corresponder a la fun--- ción objetivo. El diseño es el siguiente:

Col. 10	Signo de la restricción. Perforar cero si- es una igualdad, el signo más si es una restricción menor igual y el signo menos si es una restricción mayor igual.
Col.12/19	Nombre de la restricción.
Col.20/79	Comentarios.

4. Separación

   Una tarjeta con la palabra MATRIZ a partir de la columna 1. (El programa sólo considerará las cuatro primeras letras).

5. Matriz

   Se perforará una tarjeta por cada coeficiente no cero- que intervenga en la función objetivo o en una de las- restricciones, especificando el nombre de la variable- y de la restricción en que aparece. El diseño es el - siguiente:

Col.8/15	Nombre de la variable
Col. 16	En blanco
Col.17/24	Nombre de la restricción
Col.25	Signo menos si el coeficiente es negativo
Coo.26/38	Valor del coeficiente. Se asumen 6 decimales si no se perfora punto decimal.

Las tarjetas correspondientes a cada variable deben aparecer juntas, ya que de otra forma el programa las consideraría como variables diferentes y la solución sería incorrecta.

6. Separación
Una tarjeta con las palabras LADOS B, a partir de la columna 1. (El programa sólo considera las primeras cuatro letras).

7. Lados B
Se perforará una tarjeta con el valor del lado derecho de cada restricción del problema. El diseño es el siguiente:

Col.14/21	Nombre de la restricción
Col.22/33	Valor del lado derecho. Se asumen 6 decimales si no se perfora punto decimal.

8. Final del Problema
Una tarjeta con la palabra FIN en las cols. 1/3.

3. Sistema de Cómputo

A continuación se detallan las características requeridas para procesar el programa "Símplex" en un computador determinado, así como del lenguaje utilizado.

Lenguaje de Programación

El programa fue escrito en su totalidad en FORTRAN IV, cuidando especialmente evitar el uso de instrucciones no compatibles entre distintos compiladores, así como aquellas instrucciones del lenguaje que sólo se encuentran implementadas en los compiladores de mayor capacidad. El resultado es un programa fuente que puede procesarse sin modificación en cualquier máquina que disponga del compilador de FORTRAN IV. En particular, el programa ha sido procesado en las siguientes computadoras: IBM 3-10 y 3-15, IBM 370-145 y Burroughs B-6700.

Requerimientos de Hardware

El programa resuelve los problemas utilizando únicamente la memoria principal, por lo que sólo requiere de una unidad de entrada para leer los datos (usualmente una lectora de tarjetas) y una impresora para emitir los resultados. El tamaño de memoria utilizado depende directamente del número de restricciones y variables que se establezca como máximo. En términos generales, se requiere de 25K bytes para procesar problemas de hasta 40 restricciones y 40 variables.

4. Interpretación de Resultados

La salida impresa realizada por el programa se divide en cinco secciones, a saber:

1. Datos de Entrada
2. Estadísticas del Problema
3. Inversiones de la Matriz
4. Solución Optima
5. Costos Reducidos

A continuación se describe cada una de las secciones y que para mayor claridas se recomienda leer simultáneamente con el ejemplo anexo.

1. Datos de Entrada

En la primera hoja se imprimen los datos proporcionados al programa, tal como fueron leídos por este. Debe revisarse cuidadosamente a fin de asegurar que los datos leídos, son efectivamente los que existen en la formulación del problema.

2. Estadísticas del Problema

En esta sección el programa presenta el número de variables y restricciones del problema. Estas últimas también aparecen acumuladas por restricciones menor-igual, mayor-igual e igualdades. Otro dato que se describe es el número de elementos de la matriz diferentes de cero.

El estudio de esta sección permite observar el tamaño del problema y facilita una revisión de los datos perforados, ya que se verá fácilmente si el número de restricciones y variables corresponde al formulado manualmente.

3. Inversiones de la Matriz

Esta sección se imprime conforme el programa avanza en la resolución del problema. Se imprime un renglón por cada iteración que se produce, en el que aparecen el número de la iteración, la variable que ingresa a la matriz y la saliente, así como el valor de la función en este punto del cálculo.

Al ir avanzando en la solución, el programa detecta si el problema es factible de resolver o, de lo contrario, si es insoluble, imprimiendo un aviso de tal situación.

4. Solución Optima

Al alcanzar por medio de las iteraciones el valor ópti mo de la función, se imprime esta sección, que en su parte superior tiene el número de la última iteración y del valor alcanzado.

A continuación se imprime un renglón para cada una de las variables que intervienen en la solución con los siguientes datos:

a) Nombre de la variable
b) Valor de la variable
c) Coeficiente con que aparece en la función objetivo
d) Valores mínimo y máximo con que permanece en la solución óptima.

Si alguno de los valores llega a ser demasiado grande para la capacidad del formato de impresión, el lugar aparece cubierto con asteriscos.

En la solución óptima pueden aparecer nombres de restricciones, con un coeficiente de cero. Esto indica que la variable artificial correspondiente a esa desigualdad aparece en la solución óptima y el valor que aparece corresponde a la cantidad necesaria para convertir esa desigualdad en igualdad. Dicho de otro modo, indica la cantidad ociosa en esa desigualdad.

5. Listado del Programa Fuente

```
C       PROGRAM GRROC1
        INTEGER   RNM1,RNM2,CLNM1,CLNM2,BLNK,NEG,POS,SYMB,CDIG,RO,MA,FI,
     1            EO,IBN1(50),IBN2(50),NBN1(50),NBN2(50)
        INTEGER DESCRI(15), LINEAS,PAGINA,AUX1(50),AUX2(50)
        REAL*8    PIVOT,EST,XNOP,FN,OBBAR,X,VALOL,BP(50),RO(50),B(50,50),
     1            PI(50),NEP(50),XFI(50)
        REAL*8   EXCESO(50),COEF(50), MINIMO(50), MAXIMO(50),CONTRI,PERCEN
        DATA     RO,MA,POS,NEG,FI,EO,BLNK/'REST','MATR','+','-',
     1           'LADO','FIN','    '/
C
C** TAMANO MAXIMO DE LA MATRIZ
        NMAX= 50
C
C** INICIALIZA VARIABLES .
54523   M = 0
        N= 1
        ISW= 0
        NROWS= 0
        NGE= 0
        NLE= 0
        NEQ= 0
        NEL= 0
        NRFS= 0
        NCOLS= 0
C
        IX = 0
        DO 9008 I=1, NMAX
        AUX1(I) = BLNK
        AUX2(I) = BLNK
        EXCESO(I) = 0.0
        COEF(I) = 0.0
        MINIMO(I) = 0.0
 9008   MAXIMO(I) = 0.0
        PAGINA = 1
C
C** DEFINE UNIDADES DE ENTRADA/SALIDA
        NI= 5
        NO= 6
C
C** INICIALIZA LA MATRIZ CON CEROS.
      5 DO 12 I=1,NMAX
        DO 12 J= 1,NMAX
     12 B(I,J)= 0.0
C
C** IMPRIME TITULO DE PROGRAMACION LINEAL
        WRITE  (NO,999) PAGINA
   999 FORMAT ('1','--- OPTIMIZACION A TRAVES DE PROGRAMACION LINEAL-',
     1            3X,'PAGINA=',I2//)
C
C** LEE TITULO DEL PROBLEMA A RESOLVER
        READ (NI,800,END=99999)
        WRITE  (NO,800)
   800 FORMAT (1X,'                                                    ')
C
C** LEE PRIMER DATO, DEBE SER RESTRICCIONES
        LINEAS = 9
        WRITE  (NO,9005)
  9005 FORMAT (//1X,'***DATOS DE ENTRADA ***'/)
```

```
      READ   (NI,2) CDID,DESCRI
    2 FORMAT (A4,15A4)
      WRITE  (NO,9001) CDID,DESCRI
 9001 FORMAT (1X,16A4)
      IF (CDID - RC)  3,680,3
    3 WRITE  (NO,3333)
 3333 FORMAT (//,' --- FALTA TARJETA DE RESTRICCIONES ---'//)
 3334 GO TO 998
C
C**       LEE Y ALMACENA TARJETAS DE RESTRICCIONES
C**       INCLUYENDO UNA LECTURA DUMMY
C**       PARA EL NOMBRE DE LA FUNCION OBJETIVO.
C**       GENERA SLACKS POSITIVOS Y NEGATIVOS SEGUN SE REQUIERA.
C*
  680 READ   (NI,681)
  681 FORMAT (2X,'                                                      ')
      WRITE  (NO,681)
  101 READ   (NI,102) CDID,LGE,RNM1,RNM2,DESCRI
  102 FORMAT (A4,5X,A1,1X,2A4,15A4)
      WRITE  (NO,9002) CDID,LGE,RNM1,RNM2,DESCRI
 9002 FORMAT (1X,A4,5X,A1,1X,2A4,1X,15A4)
      LINEAS = LINEAS + 1
C
      IF (CDID - MA) 103,504,103
  504 CONTINUE
      GO TO 104
  103 M= M + 1
      NROWS= NROWS + 1
      IF  (LGE - PLS) 105,106,105
  105 IF  (LGE - NEG) 107,108,107
  106 IBN1(M)= RNM1
      IBN2(M)= RNM2
      NLE= NLE + 1
      BP(M)= 0.0
      GO TO 101
  108 IBN1(M)= RNM1
      IBN2(M)= RNM2
      NGE= NGE + 1
      BP(M)= -1.0
      B(M,N)= -1.0
  401 NBN1(N)= RNM1
      NBN2(N)= RNM2
      NBP(N)= 0.0
      N= N + 1
      GO TO 101
  107 IBN1(M)= RNM1
      IBN2(M)= RNM2
      NEQ= NEQ + 1
      BP(M)= -2.0
      GO TO 101
C
C** LEE Y ALMACENA EL PRIMER ELEMENTO DE LA MATRIZ
  104 READ   (NI,195) CLID,CLNM1,CLNM2,RNM1,RNM2,SYMB,VALUE
  195 FORMAT (A4,3X,2A4,1X,2A4,A1,F13.0)
      WRITE  (NO,9003) CDID,CLNM1,CLNM2,RNM1,RNM2,SYMB,VALUE
 9003 FORMAT (1X,A4,3X,2(2A4,1X),A1,F15.6)
      LINEAS = LINEAS + 1
      GO TO 119
```

```
  109 IF (NBN1(N) - CLNM1) 111,600,111
  600 IF (NBN2(N) - CLNM2) 111,601,111
  601 CONTINUE
  112 DO 113 I= 1,M
      IF (IBN1(I) - RNM1) 113,602,113
  602 IF (IBN2(I) -RNM2) 113,603,113
  113 CONTINUE
      WRITE  (NO,8113)
 8113 FORMAT (/' *** NOMBRE INCORRECTO DE RESTRICCION ***'/)
      GO TO 996
  603 CONTINUE
  114 IF (SYMB - NEG) 116,115,116
  115 B(I,N)= -VALUE
      GO TO 117
  116 B(I,N)= VALUE
C
C** LEE Y ALMACENA LOS ELEMENTOS DE LA MATRIZ
C
  117 READ   (NI,195) CDID,CLNM1,CLNM2,RNM1,RNM2,SYMB,VALUE
      WRITE  (NO,9003) CDID,CLNM1,CLNM2,RNM1,RNM2,SYMB,VALUE
      NEL= NEL + 1
      LINEAS = LINEAS + 1
      IF (LINEAS .LT. 60) GO TO 109
      PAGINA = PAGINA + 1
      WRITE  (NO,999) PAGINA
      WRITE  (NO,800)
      LINEAS = 5
      GO TO 109
  111 N = N + 1
      NCOLS= NCOLS + 1
      IF (CDID - FI) 119,190,119
  119 NBN1(N)= CLNM1
      NBN2(N)= CLNM2
  201 IF (SYMB - NEG) 202,203,202
  202 NEP(N)= VALUE
      GO TO 117
  203 NEP(N)= -VALUE
      GO TO 117
C
C** LEE Y ALMACENA LOS LADOS-DERECHO
C
  190 DO 191 I= 1,M
  191 RS(I)= 0.0
      GO TO 120
C
  120 READ   (NI,121) CDID,RNM1,RNM2,VALUE
  121 FORMAT (A4,9X,2A4,F12.0)
      WRITE  (NO,9004) CDID,RNM1,RNM2,VALUE
 9004 FORMAT (1X,A4,9X,2A4,F14.6)
      LINEAS = LINEAS + 1
      IF (LINEAS .LT. 60) GO TO 9006
      PAGINA = PAGINA + 1
      WRITE  (NO,999) PAGINA
      WRITE  (NO,800)
      LINEAS = 10
 9006 CONTINUE
      IF (CDID - EL) 122,193,122
  122 DO 124 I= 1,M
```

```
      IF (IBN1(I) - RNM1)  124,610,124
  610 IF (IBN2(I) - RNM2) 124,611,124
  124 CONTINUE
      WRITE  (NO,8124) RNM1,RNM2
 8124 FORMAT (///' NO HAY RESTRICCION PARA ',2A4//)
      GO TO 998
  611 CONTINUE
  125 RC(I)= VALUE
      NRHS= NRHS + 1
      GO TO 120
C*
C** TERMINA LECTURA E INICIA PROCESO.
  193 N= N - 1
      PAGINA = PAGINA + 1
      WRITE  (NO,999) PAGINA
      WRITE  (NO,800)
      WRITE  (NO,551) NROWS,NCOLS,NLE,NGE,NEQ,NRHS,NEL
  551 FORMAT (//'  -- ESTADISTICAS DEL PROBLEMA -----'
     1        //' TOTAL DE RESTRICCIONES',9X,I3
     2        /' TOTAL DE VARIABLES ',12X,I3
     3        //' RESTRICCIONES MENOR-IGUAL ',5X,I3
     4         /' RESTRICCIONES MAYOR-IGUAL ',5X,I3
     5         /' RESTRICCIONES IGUAL ',11X,I3
     6        //' LADOS DERECHO ',17X,I3
     7         /' ELEMENTOS MATRIZ NO CERO ',4X,I5//////)
C
C** BORRA NOMBRES ARTIFICIALES
      DO 10 I= 1,M
      IF (BP(I) + 1.0) 15,11,10
   11 IBN1(I) = BLNK
      IBN2(I) = BLNK
      GO TO 10
   15 BP(I) = -1.0
      IBN1(I) = BLNK
      IBN2(I) = BLNK
   10 CONTINUE
C
C** CUENTA LAS INFACTIBILIDADES
      NINF= 0
      DO 6000 I=1,M
      IF (BP(I)) 6001,6000,6000
 6001 NINF= NINF + 1
 6000 CONTINUE
C
C** GENERA INDICADORES PARA LA MINIMIZACION DE INFACTIBILIDADES
C
      DO 6101 J= 1,N
      XPI(J) = 0.0
      DO 6101 I= 1,M
      IF (BP(I)) 6102,6101,6101
 6102 XPI(J)= XPI(J) - B(I,J)
 6101 CONTINUE
      DO 6002 I= 1,M
 6002 BP(I)= 0.0
      IPHASE= 1
C
C
C
```

```
C** RUTINA PRINCIPAL
 9201 WRITE  (NO,9202)
 9202 FORMAT (//' ----- INVERSIONES DE LA MATRIZ -----'//
     1          14X,'VARIABLE',4X,'VARIABLE',7X,'VALOR'/
     2          ' ITERACION',4X,'ENTRANTE',4X,'SALIENTE',6X,'FUNCION'/)
      II= 0
54325 CONTINUE
C
C** CALCULA PRECIOS SOMBRA
      DO 194 J= 1,N
      PI(J)= -NBP(J)
      DO 194 I= 1,M
  194 PI(J)= PI(J) + BP(I)*B(I,J)
C
C** SELECCIONA EL PEJOR VECTOR NO-BASE
 9101 LST= -.0000001
      KCOL= 0
      GO TO (751,552), IPHASE
  751 IF (NINF) 54321,54321,552
  552 CONTINUE
C
C
C** IGNORA VARIABLES ARTIFICIALES
      DO 9102 J= 1,N
      IF (NBN1(J)-BLNK + NBN2(J)-BLNK) 651,9102,651
  651 CONTINUE
      GO TO (6003,6004), IPHASE
 6003 IF (XPI(J) - LST) 6005,6006,6006
 6005 KCOL= J
      LST= XPI(J)
      GO TO 9102
 6004 CONTINUE
      IF (PI(J) - LST) 9103,9102,9102
 9103 KCOL= J
      LST= PI(J)
 6006 CONTINUE
 9102 CONTINUE
C
C
C** DETERMINA KEYROW
      IF (KCOL) 54321,54321,9104
 9104 KROW= 0
      CJBAR= LST
      LST= 1.0E20
      DO 9105 I= 1,M
      IF (B(I,KCOL)) 9105,9105,9106
 9106 RATIO= RW(I) / B(I,KCOL)
      IF (RATIO - LST) 9107,9105,9105
 9107 LST= RATIO
      KROW= I
 9105 CONTINUE
      IF (KROW) 9112,9112,9114
 9112 WRITE  (NO,9113) NBN1(KCOL),NBN2(KCOL)
 9113 FORMAT (' VARIABLE ',2A4,' IRRESTRICTA'//)
      GO TO 54323
 9114 CONTINUE
C
C** TRANSFORMACION- DIVIDE ENTRE PIVOTE
```

```
      PIVOT = B(KROW,KCOL)
      DO 9108 J= 1,N
 9108 B(KROW,J)= B(KROW,J) / PIVOT
      RW(KROW)= RW(KROW) / PIVOT
      DO 9109 I = 1,M
      IF (I - KROW) 9110,9109,9110
 9110 RW(I) = RW(I) - RW(KROW)*B(I,KCOL)
      DO 4444 J= 1,N
      IF (J - KCOL) 9111,4444,9111
 9111 B(I,J)= B(I,J) - B(KROW,J)*B(I,KCOL)
 4444 CONTINUE
 9109 CONTINUE
      DO 9300 I= 1,M
 9300 B(I,KCOL) = -B(I,KCOL) / PIVOT
      B(KROW,KCOL)= 1.0 / PIVOT
C
C** INTERCAMBIA VARIABLES BASE Y NO BASE
      RNM1= NBN1(KCOL)
      RNM2= NBN2(KCOL)
      NBN1(KCOL)= IBN1(KROW)
      NBN2(KCOL)= IBN2(KROW)
      IBN1(KROW)= RNM1
      IBN2(KROW)= RNM2
      LST= NBP(KCOL)
      NBP(KCOL)= BP(KROW)
      BP(KROW)= LST
      IT= IT + 1
      IF (NBN1(KCOL)-BLNK + NBN2(KCOL)-BLNK) 6201,6200,6201
 6200 NINF = NINF - 1
 6201 CONTINUE
C
C** CALCULA LA FUNCION OBJETIVO
      FN= 0.00
      DO 9301 I= 1,M
 9301 FN= FN + BP(I)*RW(I)
      GO TO (7000,7001), IPHASE
 7000 SAVE= PI(KCOL)
      DO 7003 J= 1,N
      PI(J)= PI(J) - SAVE*B(KROW,J)
      XPI(J)= XPI(J) - CJBAR*B(KROW,J)
 7003 CONTINUE
      PI(KCOL)= -SAVE / PIVOT
      XPI(KCOL)= -CJBAR / PIVOT
      GO TO 7004
 7001 CONTINUE
      DO 9302 J= 1,N
 9302 PI(J)= PI(J) - CJBAR*B(KROW,J)
      PI(KCOL)= -CJBAR / PIVOT
 7004 CONTINUE
C
C** VERIFICA EL CERO ESENCIAL
      DO 6111 I= 1,M
      DO 6111 J= 1,N
      X = B(I,J)
      IF (DABS(X) - .0000001) 6112,6112,6111
 6112 B(I,J) = 0.0
 6111 CONTINUE
C
```

```
C
C** ITERACION DE IMPRESION
      WRITE  (NO,9120) IT,IBN1(KROW),IBN2(KROW),NBN1(KCOL),NBN2(KCOL),
 9120 FORMAT (I9,6X,2(2A4,2X),F13.3)
      GO TO 9101
C
C
54321 CONTINUE
      IF (IPHASE - 1) 8000,8000,54322
 8000 IPHASE = 2
      IF (NINF) 8003,8003,8004
 8004 WRITE (NO,8005)
 8005 FORMAT ('0 *** SOLUCION IMPOSIBLE ******************************'
      GO TO 54322
 8003 CONTINUE
      WRITE  (NO,8002)
 8002 FORMAT (1X/' --- LA SOLUCION ES FACTIBLE ---')
      GO TO 54325
54322 CONTINUE
C
C** RUTINA DE SALIDA
      PAGINA = PAGINA + 1
      WRITE  (NO,999) PAGINA
      WRITE  (NO,800)
      WRITE  (NO,301) IT,FN
  301 FORMAT (/,' --- SOLUCION OPTIMA ----'//
     1          1X,'ULTIMA ITERACION',20X,I5/
     2          ' VALOR OPTIMO DE LA FUNCION',4X,F15.3//)
      WRITE  (NO,302)
  302 FORMAT (3X,'VARIABLE',14X,'VALOR',08X,'COEFICIENTE',9X,
     1          'CONTRIBUCION',7X,'PORCENTAJE',10X,'MINIMO',9X,'MAXIMO'/
C
C** LOOP DE IMPRESION DE LA MATRIZ OPTIMA
      DO 3033 I= 1,M
      VALUE= 1.0E20
      LST= 1.0E20
      DO 12300 J= 1,N
      IF (NBN1(J)-BLNK + NBN2(J)-BLNK) 12305,12300,12305
12305 CONTINUE
      IF (B(I,J)) 12301,12300,12302
12302 X= PI(J) / B(I,J)
      IF (X - LST) 12303,12300,12300
12303 LST= X
      GO TO 12300
12301 X= -PI(J) / B(I,J)
      IF (X - VALUE) 12304,12300,12300
12304 VALUE= X
12300 CONTINUE
      LST= BP(I) - LST
      VALUE= BP(I) + VALUE
      IF (BP(I) .EQ. 0.0)  GO TO 9005
      CONTRI = RQ(I) * BP(I)
      PERCEN = (CONTRI / FN) * 100.0
      WRITE (NO,304) IBN1(I),IBN2(I),RQ(I),BP(I),CONTRI,PERCEN,
     1          LST,VALUE
  304 FORMAT (4X,2A4,4X,F14.3,3X,F16.6,5X,2F10.3,5X,2(F12.3,5X))
      GO TO 3033
C
```

```
 9009 IX = IX + 1
      AUXI(IX) = IBNI(I)
      AUX2(IX) = IBN2(I)
      EXCESU(IX) = RG(I)
      COEF(IX) = BP(I)
      MINIMO(IX) = LST
      MAXIMO(IX) = VALUE
 3033 CONTINUE
C*
C** LOOP DE IMPRESION DE RECURSOS OCIOSOS.
      WRITE (NC,9012)
 9012 FORMAT (///1X,'RESTRICCION',10X,'DIFERENCIA',5X,'COEFICIENTE',
     1        11X,'MINIMO',9X,'MAXIMO'/)
      DO 9010 I = 1,IX
 9010 WRITE (NC,9011) AUXI(I),AUX2(I),EXCESU(I),COEF(I),MINIMO(I),
     1               MAXIMO(I)
 9011 FORMAT (4X,2A4,7X,F14.3,3X,F10.3,5X,2(F14.3,1X))
C*
C** IMPRESION DE PRECIOS SOMBRA
      PAGINA = PAGINA + 1
      WRITE (NC,999) PAGINA
      WRITE  (NC,800)
      WRITE (NC,305)
  305 FORMAT    (/'  VARIABLE',7X,'COSTO REDUCIDO'//)
      DO 309 J= 1,N
      IF (NBNI(J) - BLNK + NBN2(J) - BLNK) 311,309,311
  311 WRITE  (NO,310) NBNI(J),NBN2(J),PI(J)
  310 FORMAT (2X,2A4,8X,F12.5)
  309 CONTINUE
      GO TO 54323
C
C** LOOP PARA TERMINAR DE LEER DATOS EN CASO DE ERROR
  998 READ   (NI,2,END=99999) CDIO,DESCRI
      WRITE  (NO,9025) CDIO,DESCRI
 9025 FORMAT (1X,12A4)
      LINEAS = LINEAS + 1
      IF (LINEAS .LT. 60) GO TO 9007
      LINEAS = 9
      PAGINA = PAGINA + 1
      WRITE (NC,999)  PAGINA
      WRITE (NC,800)
 9007 CONTINUE
      IF (CDIO - EC) 998,54323,998
99999 STOP
      END
```

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

1. Acta Constitutiva de la Empresa Ejidal La Partida, --- 1973, Torreón, Coah.

2. AGRAWAL Y HEADY, "Operations Research Methods for - -- Agricultural Decisions", The Iowa State University --- Press, Ames, Iowa, 1972.

3. Banco de Crédito Rural del Centro-Norte, "Evaluación - de Resultados del Proyecto de Financiamiento de la Empresa Ejidal La Partida", 1976, Torreón, Coah.

4. R. B. BENEKE y R. WINTEBOER, "Linear Programming - -- Applications to Agriculture", The Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1973.

5. CIANE, "Informes Anuales del CIANE".

6. H. M. ESPINOZA BERRIEL, "Programación Lineal, Aplica-- ciones a la Economía", Ed. Pax-México, México, 1975.

7. Fideicomiso de Desarrollo Agropecuario, "Banco de Crédito Rural del Centro-Norte, Costos de Producción del- Ciclo Primavera-Verano 1978-78", México, 1978.

8. Fideicomiso de Desarrollo Agropecuario, "Banco de Crédito Rural del Centro-Norte, Costos de Producción del- Ciclo Invierno 1978-79", México, 1978.

9. FIRA-BALSA, "Empresa Ejidal La Partida, Proyecto de -- Financiamiento", Torreón, Coah., 1973.

10. G. HADLEY, "Linear Programming", Addison-Wesley Publishing Company, Reading, 1978.

11. E. O. HEADY y W. CANDLER, "Linear Programming Methods" The Iowa State University Press, Ames, Io., 1964.

12. KUESTER y MIZE, "Optimization Techniques with FORTRAN" McGraw-Hill Book Company, 1973.

13. OJEDA, O.D., "Estudio Agrológico del Distrito de Riego de la Comarca Lagunera, Estados de Durango y Coahuila" Dirección de Agr-logía, S.R.H., México, 1951.

14. E. PALACIOS VELEZ, "Introducción a la Teoría de la -- Operación de Distritos y Sistemas de Riego", Colegio - de Postgraduados, Chapingo, Méx., 1977.

15. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, "Modelo Hidro-Agrícola Nacional, primera parte", México, - 1977.

16. Secretaría de Recursos Hidráulicos, "Informe Estadístico No. 81, Costos de Producción de los Cultivos en los Distritos de Riego de la Zona Norte-Centro", México, - 1976.

17. R. J. THIERAUF y R. H. GROSSE, "Toma de Decisiones por Medio de Investigación de Operaciones", Ed. Limusa, México, 1976.