

las cuales son diferentes entre si. En contraste a la programación lineal (PL), la SGA no intenta determinar o buscar una solución óptima. Mas bien, esta técnica está diseñada para generar alternativas de asignación de la tierra las cuales pueden o no ser óptimas en el sentido matemático, pero que son consideradas satisfactorias. La filosofía básica de la SGA es generar mas que optimizar alternativas (Mendoza, 1987).

En general, los pasos involucrados en la utilización de esta técnica para generar estrategias de asignación de uso de la tierra para un SAF son:

(1) Obtener una alternativa de asignación inicial.

(2) Generar otras asignaciones alternativas a través de resolver el siguiente modelo matemático:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar} \quad \sum_{j=1}^n x_j \\ & \text{sujeto a:} \quad L_m \leq g_1(x) \leq L_M \\ & \quad \quad \quad g_2(x) \geq S_m \\ & \quad \quad \quad g_3(x) \geq E_0 \\ & \quad \quad \quad g_4(x) \geq P_0 \\ & \quad \quad \quad f_i(x) \geq b_i; i=1,2,\dots,p \end{aligned}$$

Donde:

J= conjunto de índices de alternativas de asignación no cero en el paso 1. Es decir, un conjunto factible de alternativas de asignación de uso de la tierra.

X= conjunto de variables decisionales denotando alternativas de asignación de uso de la tierra.

$g_k(x)$ = ecuaciones de restricción describiendo los efectos de las diversas preocupaciones, $k=1,2,3,4$.

L_m, L_M = cantidad máxima y mínima de mano de obra disponible.

S_m = área mínima requerida para implementar prácticas silvícolas para SAF.

E_0 = ingreso económico mínimo del SAF.

P_0 = nivel mínimo de producción requerido para ciertos cultivos del SAF.

b_i = otros recursos (por ejemplo, disponibilidad de terrenos, capital, etc.).

$f_i(x)$ = otras ecuaciones de restricción denotando disponibilidad de recursos u otras restricciones además de las ya definidas por las diversas preocupaciones. La formulación implica que hay P restricciones de este tipo.

Programación lineal

La PL es una técnica muy general de optimización. Esta técnica fue diseñada originalmente para resolver problemas de manejo. Esta constituye actualmente una de las herramientas más prácticas para tomar decisiones en la implementación de un SAF.

La PL se define como un método para asignar en forma óptima recursos limitados a actividades competitivas (Buongiorno y Gilles, 1987). Como una herramienta económica, la PL ofrece la capacidad para un comprensivo análisis económico de los SAF a la vez que provee una solución directa a través del uso de la computadora (Betters, 1987).

Algunos ejemplos de la aplicación de la PL a la solución de problemas relacionados con SAF son dados por Verinumbé et al (1984), Dykstra (1984), y Betters (1987). Es precisamente de este último autor que se toma el siguiente ejemplo para ilustrar el uso de esta técnica a un problema específico.

APLICACION DE LA PL A UN PROBLEMA ESPECIFICO

Suponga una comunidad rural que esta experimentando un fuerte incremento de la poblacion, por lo que sus preocupaciones son la produccion de alimento, leña para combustible y un ingreso adicional. El objetivo fundamental de un SAF implica la satisfaccion de estos tres requerimientos basicos de la poblacion. Despues de un analisis en base a las características de productividad de la tierra asi como teniendo en cuenta una serie de consideraciones económicas se determino que la mejor alternativa es el cultivo de frijol (alternativa 1) y maiz (alternativa 2) combinado con la plantacion de Eucalipto. El ingreso por ha para ambas alternativas es de \$ 551 y \$ 501 respectivamente. Se tiene ademas una serie de restricciones y requerimientos alrededor de las dos alternativas.

	SAF 1	SAF 2	RECURSO DISPONIBLE O REQUERIDO
MANO DE OBRA (hrs/ha)	150	125	1500 hrs
PRESUPUESTO (\$/ha)	280	225	1200 \$
COMBUSTIBLE (m ³ /ha)	15	10	60 m ³
NUTRICION (kg/ha) (proteína)	250	200	900 kg

* La informacion son los datos totales para un ciclo de de 3 años.

La formulacion de PL para este problema es:

Denote:

x_1 = numero de ha dedicadas a la alternativa 1.

x_2 = numero de ha dedicadas a la alternativa 2.

FUNCION OBJETIVO: Maximizar el valor actual neto de la combinacion de las dos alternativas considerando las restricciones y requerimientos especificados. Es decir,

$$\text{MAX VAN} = Z = 551x_1 + 501x_2$$

sujeto a:

$$\begin{aligned} 150x_1 + 125x_2 &\leq 1500 && \text{Mano de obra} \\ 280x_1 + 225x_2 &\leq 1200 && \text{Presupuesto} \\ 15x_1 + 10x_2 &\geq 60 && \text{Combustible} \\ 250x_1 + 200x_2 &\geq 900 && \text{Proteína} \end{aligned}$$

El algoritmo de PL se resuelve usando el paquete de computo denominado LINDO, disponible para computadora personal. En este caso el resultado muestra que el mejor enfoque para el SAF es la combinacion de las dos alternativas propuestas. El resultado muestra que si el productor desea maximizar su VAN este deberá dedicar 2.6 ha a la alternativa 1 y 2.1 ha a la alternativa 2. De seguir esta recomendacion el VAN sera de \$ 2482.95. A partir de la salida de la computadora se pueden hacer una serie de interpretaciones económicas en relacion a la disponibilidad de recursos y su satisfaccion de acuerdo a las restricciones asi como un analisis de sensibilidad.

CONCLUSIONES

1. El análisis económico es una parte necesaria del proceso de planeación e implementación de los SAF.
2. Un análisis económico completo implica el uso de la economía de la producción, la teoría del capital, la teoría del portafolio, así como de técnicas cuantitativas tales como la programación matemática incluyendo la SGA y la PL.
3. La PL constituye la herramienta cuantitativa de uso actual más generalizado que nos permite la asignación óptima de recursos desde el punto de vista económico.
4. A pesar de la cantidad de información necesaria, los costos, el tiempo y el esfuerzo para realizar un análisis económico, es únicamente a través de este tipo de análisis que se puede tener confianza en que las prácticas de SAF recomendadas produzcan resultados satisfactorios para los poseedores de los recursos, ya sea un productor individual o una comunidad rural.

PRESUPUESTO (\$/ha)	280	225	1200 \$
NUTRICION (kg/ha)	15	10	60 kg
(proteína)	250	200	900 kg

La información son los datos totales para un ciclo de 3 años.

La formulación de PL para este problema es:

Denote:

x_1 = número de ha dedicadas a la alternativa 1.

x_2 = número de ha dedicadas a la alternativa 2.

FUNCION OBJETIVO: Maximizar el valor actual neto de la combinación de las dos alternativas considerando las restricciones y requerimientos especificados. Es decir,

LITERATURA CITADA

- BETTERS, D.R. 1987. Economic analysis of agroforestry systems. In: Proceedings of the 1986 International Agroforestry Shortcourse. Colorado State University. Fort Collins. August 10-23. pp. 130-152.
- BLANDON, P. 1985. Agroforestry and portfolio theory. Agroforestry Systems 3: 239-249.
- BUONGIORNO, J. and J.K. GILLES. 1987. Forest management and economics: a primer in quantitative methods. MacMillan Publishing Company. New York. 285 p.
- DYKSTRA, D.P. 1984. Mathematical programming for natural resources. McGraw-Hill. 318 p.
- ETHERINGTON, D.M., and P.J. MATTHEWS. 1983. Approaches to the economic evaluation of agroforestry farming systems. Agroforestry Systems 1: 347-366.
- FAO. 1979. Economic analysis of forestry projects. FAO. Rome. Forestry Paper No. 17. 193 p.
- FILIUS, A.M. 1981. Economic aspects of agroforestry. Agroforestry Systems 1: 29-39.
- FLINN, J.C. 1979. Agro-economic considerations in cassava intercropping research. In: Intercropping with Cassava, eds. E. Weber, B. Bestel and M. Campbell. International Development Research Centre. Ottawa, Canada. pp. 87-101.
- GITTINGER, S.P. 1982. Economic analysis of agricultural projects. The John Hopkins University Press. Baltimore, MD. 505 p.
- HOEKSTRA, D.A. 1985. Choosing the discount rate for analysing agroforestry systems/technologies from a private economic viewpoint. Forest Ecology and Management 10: 177-183.
- LITTLE, I.M.D., and J.A. MIRLESS. 1974. Project appraisal and planning for developing countries. Basic Books, Inc., Publishers. New York, NY. 388 p.
- MENDOZA, G.A. 1987. A mathematical model for generating land-use allocation alternative for agroforestry systems. Agroforestry Systems 5: 443-453.
- VERINUMBE, I., H.C. KNIPSCHER, and E.E. ENABOR. 1984. The economic potential of leguminous tree crops in zero-tillage cropping in Nigeria: a linear programming model. Agroforestry Systems 2: 129-138.