

# DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE LA TIERRA DESTINADA A CULTIVOS VARIOS MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN POR METAS EN UNA EMPRESA CAFETALERA

## OPTIMAL ALLOCATION OF LAND FOR VARIOUS CROPS BY GOAL PROGRAMMING IN A COFFEE COMPANY

Dr. C. Josué Ernesto Imbert-Tamayo, Lic. Yaylín Pacheco-Cabrera

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba

### Resumen

Distribución óptima de la tierra destinada a cultivos varios en una empresa cafetalera mediante la Programación por Metas. El presente trabajo se desarrolla en el marco de la Empresa de Café y Cacao de Bayate, *Tiene como objetivo determinar una estructura de siembra satisfactoria de los diferentes tipos de cultivos varios desde el punto de vista de la empresa, pero teniendo en cuenta los intereses de las UBPC que se dedican a esta actividad, contribuyendo al logro de la rentabilidad de la misma.* Se realiza una fundamentación de la necesidad de un estudio de este tipo y el objetivo que se quiere alcanzar. Se describe el modelo matemático general mediante la Programación por Metas, se da la solución del modelo y la interpretación de los resultados, llegando a conclusiones válidas acerca del cumplimiento de los objetivos planteados por la dirección de la empresa.

**Palabras clave:** café, programación meta o por objetivos, optimización.

### Abstract

Optimal distribution of the land dedicated to several cultivations in a coffee enterprise using the Goal Programming. The present work is developed in the mark of the Coffee and Cocoa Enterprise of Bayate. He have as objective to determine a structure of satisfactory sow of the different types of several cultivations from the point of view of the enterprise keeping in mind the interests of the UBPC that are devoted to this activity, contributing to the achievement of the profitability of the same one. He explains the necessity of a study of this type and the objective that one wants to reach. The general mathematical model is described using the Goal Programming, it is given the solution of the model and the interpretation of the results, reaching valid conclusions about the execution of the objectives outlined by the address of the enterprise.

**Key words:** coffee, goal programming, optimization.

### Introducción

Como en otras ramas de la agricultura, en el caso de las UBPC cafetaleras, estas entidades no han logrado una parte de los objetivos propuestos cuando fueron creadas. En la producción de café no se ha logrado aumentar los rendimientos hasta los alcanzados en décadas atrás, y mucho menos los logrados a principios

de la década de los 60. Por esta razón resulta obvio que se deben dar pasos en dos direcciones: aumentar la productividad del cultivo del café y resolver la situación con el abastecimiento estable de productos varios a los trabajadores, al autoconsumo y a la venta a Acopio para llegar a obtener una mayor rentabilidad.

Todas las empresas agrícolas tienen tierras dedicadas a cultivos varios que, en primer lugar, deben resolver el problema de la alimentación de los propios trabajadores pudiendo vender los excedentes.

Sin embargo, carecen de un método eficaz para realizar de manera adecuada la utilización de esta tierra, distribuyéndola entre los diferentes cultivos, de manera tal que se alcancen las mayores ganancias y se satisfagan las necesidades del auto consumo. Si se lograra aprovechar estas tierras de una manera óptima, podrían satisfacerse las necesidades de los miembros de las UBPC y aumentar los ingresos colectivos, al aumentar la rentabilidad de la empresa. Esto a su vez redundaría en una mayor retención de la fuerza de trabajo, lo cual es muy importante en la actualidad si se logra aumentar los rendimientos por hectárea del café.

El objetivo del presente trabajo es determinar una forma de distribuir la tierra entre los diferentes tipos de cultivos que habitualmente se siembran en las UBPC de esta zona, de manera que se alcancen los mayores ingresos posibles, además de satisfacer las necesidades de auto consumo previamente establecidas a través de las normas vigentes. Al mismo tiempo, se necesita utilizar de la forma más racional posible el presupuesto anual asignado para esta actividad.

A partir de lo anteriormente expuesto se puede afirmar que el problema fundamental consiste en eliminar la *insuficiencia en los métodos de planificación en la Empresa Cafetalera Bayate para la distribución de la tierra entre los diferentes tipos de cultivos varios, lo que conspira contra la necesidad de cumplir con el auto abastecimiento y el logro de la rentabilidad.*

Para la solución de este problema es necesario *determinar formas de distribución óptimas de la tierra disponible para la siembra de productos varios, de manera que se puedan satisfacer las necesidades del auto consumo y disponer de excedentes para la venta en el mercado que proporcionen las máximas ganancias.*

### **Formulación del problema a resolver**

La Empresa Cafetalera ubicada en Bayate, Municipio El Salvador, provincia de Guantánamo,

dirige las actividades de 13 Unidades Básicas de Producción Cooperativa dedicadas fundamentalmente al cultivo del café, en las cuales trabajan 341 miembros. Sin embargo, en la mayor parte de estas entidades la producción de café no basta para alcanzar la rentabilidad debido a la baja productividad por hectárea y tampoco han podido cumplir con los objetivos de su constitución, entre ellos, lograr la satisfacción de alimentos en el auto consumo y disponer de excedentes para la venta.

Por otra parte, la Empresa Cafetalera ejerce autoridad en los indicadores de planificación de las UBPC que dirige. Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivos específicos:

- Comprobar cuales serían los resultados que se obtendrían en la siembra de cultivos varios al nivel de la empresa, aunque teniendo en cuenta a cual de las UBPC pertenecen las tierras y cuales son las necesidades del auto consumo de cada una.
- Determinar estructuras de siembra en el nivel de empresa que permitan alcanzar los niveles de ganancia planificados o superarlos.
- Establecer la estructura de siembra teniendo en cuenta la disponibilidad financiera para cada una de las etapas de cultivo (primavera y frío).
- Encontrar una estructura de siembra que aproveche la mayor parte de las tierras disponibles (no tomando en cuenta las tierras que necesitan ser habilitadas) para este tipo de cultivo en cada una de las UBPC consideradas en el estudio.

Las ganancias y el presupuesto disponible para las siembras se tomarán en el nivel de empresa, y las fichas de costo de los diferentes cultivos se consideran iguales para todas las UBPC, ya que las mismas se encuentran en el mismo agrosistema.

La empresa propuso tomar en consideración las tres UBPC con mejores condiciones agronómicas y tradición en el cultivo de productos varios.

Dadas las aspiraciones de la dirección de la empresa, se decidió resolver el problema empleando

la Programación por Metas con ponderaciones en los objetivos planteados.

### Definición de las variables

Se utilizarán tres letras para las variables: X para los productos sembrados en la UBPC *Gabriel Lamot* ubicada en Dajao, Y para los productos sembrados en la UBPC *Camilo Cienfuegos* ubicada en Melián y Z para los sembrados en la UBPC *Máximo Gómez* ubicada en Baltazar.

### Subíndices

i : indicará el tipo de producto, en este caso i = 1, yuca; i = 2, frijol; i = 3, boniato; i = 4, calabaza; i = 5, maíz a cosechar seco; i = 6, maíz a cosechar tierno; i = 7, tomate ensalada; i = 8, tomate perita; i = 9, calabaza dentro de maíz.

j: indicará si el producto es cosechado para el autoconsumo, para la venta a los trabajadores o para su venta a Acopio; j = 1, autoconsumo; j = 2, venta a los trabajadores; j = 3: venta a Acopio. Esto es válido para todos los productos excepto para la yuca que se prefiere sembrarla en primavera.

k: indica si el producto es sembrado en primavera o en frío; j = 1: primavera, k = 2: frío.

Para la UBPC *Gabriel Lamot* (Dajao) las variables tendrán la forma general:  $X_{ijk}$ , para la UBPC *Camilo Cienfuegos* (Melián) las variables tendrán la forma  $Y_{ijk}$  y para la UBPC

*Máximo Gómez* (Baltazar) tendrán la forma  $Z_{ijk}$ . Las variables se expresan en hectáreas

Por ejemplo, la variable  $X_{221}$  denota la cantidad de hectáreas sembradas de frijol en la UBPC de Dajao para la venta a los trabajadores en la temporada de primavera.

### Parámetros del modelo

Los  $C_{ijk}$  correspondientes a la restricción relacionada con el presupuesto, denotan el costo por hectárea de cada uno de los productos i cultivados para la venta en la forma j en la temporada k y son tomados de las fichas de costo correspondientes. Este coeficiente es el mismo para toda j y toda k del mismo cultivo i.

$G_{ijk}$ : ganancia bruta por hectárea del cultivo i (j = 1, ..., 9) destinado para la venta en la forma j (j = 1): a autoconsumo, j = 2: a los trabajadores; j = 3: venta a Acopio y sembrado en la temporada k (k = 1: primavera, 2: frío). Se denomina ganancia bruta por no considerar los gastos de transporte, salarios de los encargados de llevar los productos al mercado y venderlos y otros gastos.

$r_{ij}$ : son los rendimientos por hectárea del cultivo i sembrado en primavera o frío (i = 1, 2). Este parámetro aparece en el modelo general pero no aparece en el modelo desarrollado para resolver. Se utiliza para el cálculo de la ganancia por hectárea y para transformar los términos independientes de las restricciones de producción mínima de cada producto. Téngase en cuenta que las necesidades mínimas de cada producto se dan en qq y es necesario llevarlas a hectáreas para homogeneizar las restricciones.

$T_i$ : Tierra disponible para sembrar en primavera (hectáreas); i = 1, 2

Yu: producción total mínima de yuca (qq)

B: producción total mínima de boniato (qq)

To: producción total mínima de tomate (qq)

M: producción total mínima de maíz (qq)

F: producción total mínima de frijol (qq).

Ca: producción total mínima de calabaza (qq).

P: presupuesto disponible para la realización de las siembras y cosecha (\$)

Condiciones relacionadas con el proceso agronómico.

Para la construcción del modelo, se tuvieron en cuenta cuestiones específicas de la política que desea seguir la empresa y que se fundamenta en procesos agronómicos, como son:

· La calabaza puede sembrarse sola o intercalada con maíz.

· El tomate, tanto el de ensalada como el de cocina (perita) es conveniente sembrarlo después de recogido el boniato. Esto ocurre porque cuando se recoge el boniato, es necesario arar la tierra para

sacar las raíces de la planta (que son los frutos) y cuando se termina la cosecha la tierra queda prácticamente preparada para hacer los canchales del tomate.

El tomate, en las dos variedades consideradas solo puede sembrarse en frío, ya que el clima no permite en la mayor parte de nuestro país su cultivo en la etapa de primavera.

La yuca se siembra una sola vez en el año. Se prefiere planificarla en la temporada de primavera.

El modelo general para la Empresa cafetalera tendría la forma siguiente:

### Planteamiento de las restricciones

a) de disponibilidad de tierra

$$\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 X_{ijk} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 Y_{ijk} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 Z_{ijk} \leq T_k \quad k=1, 2$$

b) de presupuesto

$$\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 C_{ij1} X_{ij1} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 C_{ij1} Y_{ij1} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 C_{ij1} Z_{ij1} + w_2 - v_2 = P_1$$

c) De producción mínima por producto

$$\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 C_{ij2} X_{ij2} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 C_{ij2} Y_{ij2} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 C_{ij2} Z_{ij2} + w_3 - v_3 = P_2$$

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^1 X_{1jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^1 Y_{1jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^1 Z_{1jk} \geq \frac{Y_u}{r_{111}}$$

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 X_{2jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Y_{2jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Z_{2jk} \geq \frac{F}{r_{211}}$$

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 X_{2jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Y_{2jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Z_{2jk} \geq \frac{F}{r_{212}}$$

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 X_{3jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Y_{3jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Z_{3jk} \geq \frac{B}{r_{311}}$$

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 X_{3jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Y_{3jk} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Z_{3jk} \geq \frac{B}{r_{312}}$$

$$\sum_{i=5}^6 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} X_{ijk} + \sum_{i=5}^6 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} Y_{ijk} + \sum_{i=5}^6 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} Z_{ijk} \geq M$$

$$\sum_{i=4,9} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} X_{ijk} + \sum_{i=4,9} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} Y_{ijk} + \sum_{i=4,9} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} Z_{ijk} \geq Ca$$

$$\sum_{i=7,8} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} X_{ijk} + \sum_{i=7,8} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} Y_{ijk} + \sum_{i=7,8} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 r_{ijk} Z_{ijk} \geq To$$

d) De sucesión del tomate después del boniato

$$\sum_{j=1}^3 X_{3j1} + \sum_{j=1}^3 Y_{3j1} + \sum_{j=1}^3 Z_{3j1} - \sum_{i=7,8} \sum_{j=1}^3 X_{ij2} - \sum_{i=7,8} \sum_{j=1}^3 Y_{ij2} - \sum_{i=7,8} \sum_{j=1}^3 Z_{ij2} \geq 0$$

e) De intercalamiento de calabaza dentro del maíz

$$\sum_{i=5}^6 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 X_{ijk} + \sum_{i=5}^6 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Y_{ijk} + \sum_{i=5}^6 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Z_{ijk} - \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 X_{9jk} - \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Y_{9jk} - \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 Z_{9jk} \geq 0$$

f) De ganancias a alcanzar

$$\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 G_{ijk} X_{ijk} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 G_{ijk} Y_{ijk} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^2 G_{ijk} Z_{ijk} + w_1 - v_1 = G$$

Planteamiento de la función objetivo

$$\text{Min } Z = v_1 + 2v_2 + 2v_3$$

Este modelo fue desarrollado teniendo en cuenta los valores de las fichas de costo, los precios establecidos para la venta al autoconsumo, a los trabajadores y a Acopio. Tiene 40 restricciones, 162 variables de decisión y 6 variables de desviación. La solución del modelo se obtuvo en 32 iteraciones con el programa Hyperlindo. Este programa está destinado para problemas que tengan un tamaño considerable, hasta 2001 filas y 4001 columnas y como el programa LINDO, puede resolver además, problemas de Programación en Enteros, de Programación no Lineal y de Programación por Objetivos cuando no existen prioridades.

Asimismo, se obtuvieron los valores de todas las variables de decisión y de desviación del problema. A continuación se dan los valores de las variables que adoptan valor positivo que son las que indican como deben ser sembradas las tierras, en que momento debe hacerse y cual sería el destino de lo cosechado.

En la UBPC de Dajao se deben sembrar:

- 21,4 ha de frijol en primavera para la venta a Acopio
- 7,00 ha de frijol en frío para la venta a Acopio

- 12,64 ha de boniato en primavera para la venta a los trabajadores
- 9,00 ha de boniato en frío vender a Acopio
- 11,00 ha de calabaza en frío para venta a Acopio
- 5,59 ha de maíz en primavera para vender a los trabajadores
- 13,00 ha de tomate de ensalada en frío para vender a Acopio
- 0,36 ha de boniato en primavera para su entrega al autoconsumo

En la UBPC de Melián se deben sembrar:

- 3,66 ha de boniato en frío para su venta a los trabajadores
- 42,5 ha de maíz en primavera para su cosecha en grano y venta a los trabajadores
- 20 ha de maíz en frío para su cosecha en grano y venta a Acopio.
- 0,34 ha de boniato en frío para su entrega al autoconsumo
- 18,5 ha de tomate de cocina en frío para su venta a los trabajadores.

En la UBPC de Baltasar se deben sembrar:

- 11,00 ha de calabaza en primavera para su venta a los trabajadores.
- 0,30 ha de maíz en primavera para su venta en el mercado.
- 0,26 ha de yuca en primavera para su entrega al autoconsumo
- 0,36 ha de boniato en primavera para su entrega al autoconsumo

Los valores de las variables de desviación indican el cumplimiento de las metas planteadas por la dirección de la empresa. Estos valores resultaron ser los siguientes:

$u_1$	$v_1$	$u_2$	$v_2$	$u_3$	$v_3$
0	294 938,00	0	6 272,45	24 822,45	0

La interpretación de este resultado sería como sigue:

- Con el programa de siembra propuesto se obtienen \$ 294 938,00 de ganancias por encima de la cantidad prevista para el año que fue de \$ 400 000,00.
- En el primer semestre del año, se debería aumentar el presupuesto de la entidad en \$ 6 272,81 para poder cumplir con el plan de gastos.
- Para el segundo semestre la situación es diferente, ya que se dejarán de utilizar \$ 24 822,45 del presupuesto planificado para esta época del año.

## Observación

Como se conoce, la Programación por Metas y la disponibilidad de las modernas computadoras, dan la posibilidad al investigador y a la dirección de la entidad donde se realiza el trabajo de analizar cuáles serían los resultados de diferentes variantes en cuanto a los objetivos, el peso relativo que deberían tener y algunas variantes en las restricciones, de acuerdo a las condiciones concretas existentes en un momento dado.

Un ejemplo, en este caso, es que no se pudieron definir prioridades pero sí la importancia relativa de

las metas. Se consideró que el no sobrepasar el presupuesto planificado era más importante que el alcanzar la meta de las ganancias. Esto se debe a las actuales restricciones a las solicitudes de ampliación de disponibilidad financiera.

Otra cuestión que se observa en el modelo es que para la empresa, las tierras disponibles para la siembra de cultivos varios en las UPC Dajao y Melián deben aprovecharse totalmente, mientras que en la de Baltasar se deja la posibilidad de que no se utilicen todas. Sobre todo en el segundo semestre, la fuerza de trabajo de esta UBPC deberá hacer un esfuerzo fundamental en la recogida del café y no en los cultivos varios.

## Análisis de las variables esenciales del dual

En el caso de la Programación por Metas, el análisis de las variables esenciales del dual carece de la importancia que tiene en la Programación Lineal. Esto se debe a que los valores de estas variables afectan a la función objetivo y en la Programación por Metas el valor de la función objetivo es la suma de los valores de las variables de desviación afectadas por los posibles coeficientes de ponderación. Esto implica que añadirle o restarle al valor de Z el valor de una variable dual esencial no tenga una explicación económica coherente.

## Conclusiones

- En la empresa cafetalera bajo estudio es posible alcanzar niveles satisfactorios de rentabilidad mediante una adecuada estructura de siembra en las tierras dedicadas a los productos varios.

- En esta misma empresa es posible lograr uno de los objetivos de las UBPC cuyo cultivo fundamental es el café: satisfacer las necesidades del auto consumo y además disponer de excedentes de algunos productos para su venta en los mercados.

- Los resultados de los modelos muestran que el monto total de las ganancias brutas que pueden ser alcanzadas mediante la estructura de siembra recomendada asciende a \$ 694 938,00. Esto representa un 42,4 % por encima de la meta planificada.

- Resulta necesario realizar una variación en la planificación del presupuesto elaborado para las dos

temporadas de siembra, pues en primavera faltan recursos financieros y en frío existe un excedente.

## Bibliografía

1. ACKOFF R.L. y SASIENI M. *Fundamentos de investigación de Operaciones*. Limusa. México. 1987.
2. GALLAGHER Ch.A. y H. J. WATSON. *Modelos cuantitativos para la toma de decisiones en Administración*. Primera parte. La Habana. Ed. Ciencias Médicas. 2007.
3. \_\_\_\_\_, *Modelos cuantitativos para la toma de decisiones en Administración*. Segunda parte. La Habana. Ed. Ciencias Médicas. 2008.
4. GONZÁLEZ F. Ch. y Brezo B. J. *Aplicaciones de la Programación Lineal a la Agricultura*. Pueblo y Educación. La Habana, 1982.
5. HILLIER F.S. y LIEBERMANG J. *Introduction to operations research*. McGraw-Hill, México. 2001.
6. IMBERT Tamayo J. E. *Teoría de la Dualidad*. Monografía. Memorias de la Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. [www.ict.uo.edu.cu](http://www.ict.uo.edu.cu). 2003.
7. LEVIN R. Y KIRKPATRICK C. *Enfoques cuantitativos a la administración*. CECSA. México. 1992.
8. MOSKOWITZ H. y WRIGTH G. P. *Investigación de Operaciones*. Prentice-Hall Hispano americana. México. 1982.
9. RODRÍGUEZ R. y M. ARRIETA. *Programación Matemática para Economistas*. Tomos I y II. Felix Varela. La Habana, 1992.
10. TAHA, H. A. *Investigación de Operaciones*. Alfaomega, México. 1991.