

MAXIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ A TRAVÉS DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL

MAXIMIZATION OF THE COFFEE PRODUCTION THROUGH LINEAL PROGRAMMING

Dr. C. Raimundo J. Lora-Freyre¹, lora@eco.uo.edu.cu, Lic. Rubén G.
Pellicer-Durán¹, ruben.pellicer@eco.uo.edu.cu

¹Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, ¹¹Centro de Estudios de Investigaciones Económicas Aplicadas (CEIA), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba

Resumen

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en la Empresa Agropecuaria y Forestal "Sierra Cristal", ubicada en el municipio Segundo Frente y perteneciente al Ministerio de la Agricultura (MINAGRI). Tiene como objetivo fundamental perfeccionar el proceso de planificación de la entidad en lo que a distribución de tierras se refiere, mediante el empleo de la modelación económico-matemática de Programación Lineal y el Sistema Informático "LINDOW Systems" que permita aumentar los niveles de producción en la entidad objeto de investigación. El empleo de la modelación económico-matemática mediante el referido sistema permite obtener soluciones avanzadas a los problemas, a través de los medios de procesamiento de datos e introducción de los parámetros fundamentales. En comparación con los planes de la empresa, se aprecian niveles de producción superiores en los modelos propuestos. Teniendo en cuenta la distribución que se brinda por el modelo, se obtiene una producción de 508,91 t, lo cual indica un aumento con respecto al plan de la entidad de un 17,8 %.

Palabras clave: programación lineal, recuperación cafetalera, sistema informático, optimización, variedades del café.

Abstract

This research was made in the Agricultural and Forestry Enterprise «Sierra Cristal» located in the Segundo Frente municipality of the Ministerio de la Agricultura (MINAGRI). Its main objective is improving the planning process of the entity, through the use of Linear Programming, using the Information System «Lindow», that would increase production levels. The use of mathematical modeling economic through the said system allows advanced solutions to problems, through the data processing and introduction of the fundamental parameters. The distribution given by the model allow to obtain a production of 508,91 tonnes, which indicates an increase over the plan of the entity from 17,8 %.

Keywords: lineal programming, coffee recovery, computer system, optimization, coffee varieties.

Introducción

En los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, aprobados en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC), puntualmente en el N° 194, se plantea:

"...Impulsar el desarrollo de las actividades cafetaleras para contribuir a la recuperación gradual de los fondos exportables tradicionales de la actividad agrícola..."¹

Cuba fue, desde la introducción del cultivo del café, en el siglo XVIII uno de los principales

¹Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. Enero 2011. La Habana.

productores mundiales. La producción se incrementó gradualmente, hasta lograr a mediados del siglo XIX un papel protagónico, al convertirse en 1833 en el mayor productor mundial de este renglón.

TABLA 1. PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN CUBA SIGLOS XVIII Y XIX

ANOS	TONELADAS
1790	84,1
1805	788,3
1820	7 796,0
1830	20 439,6
1833	29 513,1

Fuente: Revista Cuba - Café/99

Como se puede apreciar en la siguiente tabla, en la actualidad, Cuba no aparece entre los principales exportadores ni entre los principales productores.

TABLA 2. LISTA DE LOS DIEZ PRINCIPALES PRODUCTORES DE CAFÉ VERDE

PAIS	TONELADAS
Colombia	17 000 000
Brasil	13 580 000
Vietnam	11 400 000
Indonesia	2 770 554
Etiopía	1 705 446
México	772 000
India	954 000
Perú	677 000
Guatemala	568 000
Honduras	370 000
Resto del mundo	7 742 675
PRODUCCION MUNDIAL	57 539 675

Fuente: Organización de Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas: Departamento Económico y Social. Año 2012.

En el período comprendido entre los años 2000 y 2010, los niveles de producción de café en Cuba han mostrado una sensible baja, por lo que las instituciones importadoras se han visto en la necesidad de invertir cerca de 50 millones de dólares en compras para el consumo nacional. Es decir, que de una situación tradicional de país exportador se ha pasado a la de importador.

Ante esta situación se ha indicado por las más altas instancias gubernamentales la necesidad de lograr la recuperación cafetalera, incrementando las áreas dedicadas a este cultivo, así como, incorporando sistemas organizativos que incrementen la eficiencia económica de las entidades productoras.

El trabajo investigativo que aquí se expone, se desarrolla en la Empresa Agropecuaria y Forestal "Sierra Cristal", ubicada en el municipio Segundo Frente y perteneciente al Ministerio de la Agricultura. La tendencia de la producción cafetalera en el municipio Segundo Frente ha sido descendente, al igual que en el contexto nacional.

Se puede hacer mención de varios factores que de una forma u otra influyen directamente en los bajos rendimientos del café. Entre ellos están las deficientes atenciones culturales al cultivo, alto nivel de enyerbamiento, mal manejo en la regulación de sombra, poda y deshije de café, bajos porcentajes de población en los cultivos, plantaciones

envejecidas, comportamientos de factores climáticos, deficiente sistema de estimulación a los productores, entre otros. En los últimos cinco años la empresa ha cumplimentado sus planes de producción, pero esto se ha debido fundamentalmente a que los programas de producción se han confeccionado teniendo en cuenta los bajos niveles de rendimiento por área, así como las dificultades confrontadas con la entrega de tierra a productores individuales, quienes no tributan el 100 % de su producción.

El objetivo de esta investigación se centró en el perfeccionamiento del proceso de planificación en la Empresa Agropecuaria y Forestal "Sierra Cristal" Segundo Frente mediante la realización de modelos económico-matemáticos de Programación Lineal.

La Programación Lineal constituye un importante campo de la optimización. Por varias razones, muchos problemas prácticos de la Investigación de Operaciones pueden plantearse como problemas de Programación Lineal.

Los fundadores de la técnica son George Dantzig, quien publicó el algoritmo simplex², en 1947, John von Neumann, que desarrolló la teoría de la dualidad en el mismo año, y Leonid Kantoróvich, un matemático ruso, que utiliza técnicas similares en la economía antes de Dantzig y ganó el premio Nobel en economía en 1975.

Esta técnica es muy usada en la microeconomía y la administración de empresas, especialmente en circunstancias donde estén presentes diferentes alternativas para el desarrollo de los procesos productivos, ya sea para aumentar al máximo los ingresos o reducir al mínimo los costos. Algunos ejemplos son la mezcla de alimentos, la gestión de inventarios, la cartera y la gestión de las finanzas, la asignación de recursos humanos y recursos de máquinas, la planificación de campañas de publicidad, etcétera.

La entidad donde se realizan las aplicaciones demanda la realización de una investigación que le

permita conocer su situación productiva y económica. Para ello se aplicaron técnicas modernas de cálculo, mediante las cuales se pueda incidir en el perfeccionamiento de la planificación y en la detección de posibles deficiencias con el objeto de mejorar el trabajo en la organización. Estas acciones están en consonancia con los Lineamientos de la Política Económica y Social de Partido y la Revolución.

Desarrollo

Antecedentes y situación actual de la temática

En el año 1748 fue introducido en Cuba el café, cuyas plantaciones se incrementaron en la etapa de inmigración haitiana que tuvo lugar con motivo de la Revolución en 1790. Los sucesivos pobladores al irse estableciendo en los valles periféricos de las montañas que componen la Sierra Maestra y la Sierra Cristal, observando la bondad del clima de montaña y la fertilidad de los suelos recién deforestados, se dedicaron al cultivo del café en pequeñas parcelas, que con el curso del tiempo se convirtieron en productivos cafetales.

Es a partir del año 1935 que comienza a producirse un fuerte impulso en los desmontes para la siembra de café, tanto en pequeñas parcelas, como la ampliación de aquellos productores que habían alcanzado algún desarrollo cafetalero. Simultáneamente a este auge económico, comienzan a instalarse máquinas para la industria del café, lográndose en el territorio que hoy ocupa el municipio Segundo Frente la instalación de 62 máquinas de despulpe, tres molinos de café, miles de metros cuadrados de secaderos, varios ranchos de secación, uno en Loma Blanca, otro en Soledad y un tercero en el Alto del Avispero, siendo éste el mayor centro de beneficio. Este rancho llegó a beneficiar una producción estimada en 50 000 latas de café.

En el año 1961 se abrió en el municipio Maisí de la provincia de Guantánamo, la Escuela Nacional de Café y Cacao "Eladio Hernández" para formar

² Procedimiento iterativo de solución a los problemas de Programación Lineal.

como obreros calificados, en estas ramas, a los hijos de los campesinos de las regiones cafetaleras del país, que una vez graduados, comenzaran a trabajar en sus propias regiones como auxiliares técnicos de los maestros agrícolas asignados por regiones para el desarrollo y sostenibilidad de la actividad cafetalera de la nación. En los años 1963 y 1964 fueron asignados por regiones para trabajar como auxiliares técnicos los primeros obreros calificados formados en la escuela Nacional de Maisí. Es así como tiene lugar la incipiente introducción de nuevas tecnologías en la actividad cafetalera.

Durante los años 1966 y 1967 fueron plantadas a plena exposición solar 2 500 ha de café, no teniéndose en cuenta el aspecto de la vocación de los suelos para este cultivo ni el comportamiento del factor clima; la no cancelación de los factores trajo como resultado la muerte inmediata de estas plantaciones y la pérdida de una cuantiosa inversión económica, por algunos años sólo supervivieron algunas parcelas, en "Tumba Siete", "Cañada Amarilla", "El Avispero" y "San Nicolás", no obstante a esta situación se continuó trabajando en este sentido; pero se introdujo como variante la renovación de viejas plantaciones, en las cuales estaba establecida la sombra y los suelos con vocación para el café, así como las atenciones culturales a las plantaciones de alto potencial.

Dando cumplimiento al acuerdo del Primer Congreso del Partido Comunista de Cuba, celebrado en diciembre de 1975, sobre la recuperación cafetalera en el municipio «Segundo Frente», a partir del año 1976 se intensifican las acciones por la transformación cafetalera, tanto en la renovación de viejas plantaciones, siembra en áreas nuevas, así como en las atenciones culturales, lo que trajo como resultado que en el período comprendido entre los años 1976 a 1986 se fomentaron 1 006 ha y se dieron importantes pasos en las atenciones culturales a las áreas que estaban sometidas al tratamiento de tecnificación, produciéndose un significativo aumento en la producción, cosechándose durante los años 1981 y 1982, 1 021,443 y 1 001,354 latas de café respectivamente, ésta estabilidad productiva en un cultivo permanente como es el café, demuestra que se había estabilizado un serio trabajo en la tecnificación de las plantaciones cafetaleras, fundamentalmente en las formas de producción que pertenecían al sector estatal, así, mientras

1981 y 1982 representaban los años de mayor alcance en la producción, 1983 marca el año en que comienza a manifestarse un descenso en la producción cafetalera, con algunas variantes que se expresaban en ligeros aumentos; pero la tendencia fue siempre hacia una menor producción. La producción cafetalera había comenzado a hacer crisis, como consecuencia del predominio del cultivo intensivo y otros problemas que se sumaron después.

Como puede observarse los años 1981 y 1982 representan el mayor auge en la producción cafetalera y 1983 el comienzo de su depauperación y que no obstante algunas acciones adoptadas en el período 1986-1993 para la recuperación, no se logró detener el descenso progresivo que se fue extendiendo hasta tocar fondo en el quinquenio 2006-2011 con un descenso en la producción del 80 % respecto a las cosechas de los años 1981 y 1982.

En el período comprendido entre los años 2000 y 2010 los niveles de producción de café mostraron una sensible baja, por lo que las instituciones importadoras se han visto en la necesidad de invertir cerca de 50 millones de dólares en compras para el consumo nacional. Es decir, que de una situación tradicional de país exportador se ha pasado a la de importador. Cuba necesita producir, para no tener que importar, no menos de 29 000 toneladas de grano limpio.

Ante esta situación se ha indicado por las más altas instancias gubernamentales la necesidad de lograr la recuperación cafetalera, incrementando las áreas dedicadas a este cultivo, así como, incorporando sistemas organizativos que incrementen la eficiencia económica de las entidades productoras. En el municipio Segundo Frente se desarrolla un proceso de trabajo con los productores para transformar las áreas que muestran condiciones óptimas para el cultivo del café en el período de 2010-2015 y lograr a partir del año 2015, 1 200 toneladas (t) de café maduro. El resultado del trabajo y compromiso individual con cada productor dio como resultado la posibilidad de transformar 3 240 hectáreas (ha), de ellas corresponden 1 300 ha al tratamiento de renovación 940 ha a rehabilitación y 1 000 ha a tecnificación.

La concepción del programa de transformación de las áreas se sustenta no sólo en la renovación de

las viejas plantaciones, sino también de la rehabilitación de las áreas con condiciones para este tratamiento y la tecnificación de las áreas de altos rendimientos y alto potencial, con riguroso sistema de atención cultural, haciendo énfasis en la limpia, regulación de sombra, poda y deshije. La integración de estos conceptos constituyen los primeros pasos hacia el tránsito del cultivo intensivo en la caficultura, todo este proceso no sería posible sin estructurar un eficiente sistema de extensión agraria y su funcionamiento. Las indicaciones emitidas por el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) y otros órganos rectores, ha sugerido la elaboración de programas de desarrollo cafetalero hasta el 2015, a partir de lo cual se establecieron planes de renovación y de rehabilitación.

Caracterización de la Empresa Agropecuaria y Forestal "Sierra Cristal" Segundo Frente

A nivel de municipio la empresa está conformada por 51 entidades, de las cuales 43 se dedican fundamentalmente a la producción cafetalera desglosada de las formas siguientes:

Ocho Unidades Básicas de Producción Cooperativas (UBPC), 11 Cooperativas de Producción Agropecuaria (CPA), dos Granjas Integrales Militares (GIM), una Granja del Ministerio del Interior (MININT), 21 Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) y una UEB de Industria del café.

Además existen ocho UEB que se desglosan de la forma siguiente:

Tres silvícolas, una forestal, una de cultivos varios, una de aseguramiento, una pecuaria y un centro de gestión.

Entre los cultivos permanentes, al café se dedican 4 312,9 ha con una actual potencialidad productiva de 600 t.

Para el proceso industrial del café se cuenta con cinco centros de beneficio húmedo a los cuales se vinculan 35 000 m² de secaderos, dos silos secadores, cuatro almacenes y un molino.

Para garantizar la cosecha se cuenta con 30 albergues con una capacidad de 3 000 obreros

recolectores. Para la transportación, la empresa cuenta con una base de transporte de 20 carros dobles y triples, las unidades de base poseen 15 equipos automotores. Para el acopio las unidades poseen 270 yuntas de bueyes y 300 mulos.

Identificación y observación del problema

Esta etapa constituye el primer paso de la aplicación coherente de la Metodología de la Investigación de Operaciones en la Empresa Agropecuaria y Forestal «Sierra Cristal» Segundo Frente y parte de considerar las Ciencias Económicas como componente de las Ciencias Sociales.

Como consecuencia de ejercicios de trabajo en grupo realizados tanto en la entidad, como en las CPA, UBPC, CCS, EJT y la Granja del MININT, con el personal vinculado directamente a la producción y los departamentos de Estadística y Contabilidad de la propia entidad, se pudo apreciar el comportamiento histórico de la entidad, arrojando una clara necesidad de introducir técnicas rigurosas de planificación, con un sustento económico - matemático para lograr una mejora de la planificación, dirigida a optimizar la distribución de las tierras con el objetivo de lograr mejores resultados desde la óptica de la producción y los ingresos.

Formulación general del problema

La formulación del problema a diferencia de otras investigaciones toma en cuenta el problema científico a resolver, la descripción narrativa de las variables y parámetros, las restricciones y las desviaciones que se desean minimizar son el resultado de la aplicación de técnicas de dirección que dan respuesta a los objetivos planteados.

Se desea obtener una estructura de distribución de las tierras, para la producción de los dos tipos de variedades de café, que cumplimentando las restricciones establecidas y las disponibilidades de recursos, optimice los niveles de producción.

Partiendo de lo anterior, se puede considerar que se dispone o se conoce lo siguiente:

- Los niveles de disponibilidad de tierra destinados al café.
- Las diferentes variedades de café a cultivar.
- Los límites mínimos de hectáreas por variedad.

- El cumplimiento de los planes, dados en toneladas y variedad
- Los diferentes precios según las diversas calidades de las variedades
- El rendimiento en toneladas de cada producto por hectáreas cultivadas.

Teniendo en cuenta la formulación anterior se examina cuáles son los modelos económico - matemáticos que satisfacen estos requerimientos partiendo de varias alternativas. Se consideraron seis posibles combinaciones que dieron lugar a las corridas de seis modelos lineales con un mismo objetivo (maximizar la producción) pero desde la óptica de la planificación, con enfoques diferentes,

teniendo en cuenta diversos parámetros, tanto en la función objetivo como en el conjunto de restricciones. Más adelante se detallarán cuáles son esas alternativas y sus correspondientes modelos matemáticos.

Formulación del modelo matemático de programación Lineal

Se realiza una descripción del problema a modelar. Se identifican los elementos que constituyen variables, parámetros e índices. Esta fase demanda un intenso intercambio entre los productores y los autores de la investigación para ayudar a plantear el modelo matemático.

Índices:

$j \rightarrow$ tipos de variedades $j = 1 \dots d$ Variedad Tipo 1 (Arábico)

$j = d+1 \dots h$ Variedad Tipo 2 (Robusta)

$k \rightarrow$ calidad del producto $k = 1 \dots l$

Parámetros:

$T_d \rightarrow$ Total de hectáreas destinadas a la producción de la variedad Arábico

$T_h \rightarrow$ Total de hectáreas destinadas a la producción de la variedad Robusta

$R_j \rightarrow$ Rendimiento en tonelada por hectáreas de cada variedad j

$PL \rightarrow$ Plan de producción en toneladas

$I \rightarrow$ Plan de ingresos en pesos, por la venta de la producción

$I_j \rightarrow$ Ingresos, en pesos, por la venta de la variedad j

$Lmin_j \rightarrow$ Límites mínimos de hectáreas dedicadas a la producción de la variedad j

Variables:

$X_j \rightarrow$ Hectáreas destinadas a la producción de cada variedad j

Restricciones:

1. Disponibilidad de tierras, en hectáreas, para la variedad tipo 1 (Arábico):

$$\sum_{j=1}^d X_j \leq T_d$$

2. Disponibilidad de tierras, en hectáreas, para la variedad tipo2 (Robusta).

$$\sum_{j=d+1}^k X_j \leq T_k$$

3. Cumplimiento de los límites mínimos de hectáreas dedicadas a la producción de la variedad j.

$$X_j \geq L_{\min_j} \quad j= 1, \dots, n$$

4. Cumplimiento de los niveles de ingresos:

$$\sum_{j=1}^n I_j X_j \geq I$$

Función objetivo del modelo de producción:

$$\sum_{j=1}^n I_j X_j \geq I$$

Conformación y perfeccionamiento de la base informativa

La recopilación de los datos es una parte importante en esta investigación, teniendo en cuenta que es imprescindible para la confección de los modelos económico - matemáticos a utilizar. Estos cuentan con una determinada cantidad de parámetros, encontrados algunos de ellos en los estados financieros y fichas técnicas en las entidades, como son: el total de hectáreas dedicadas a la producción de cada cultivo, rendimiento en tonelada por hectáreas de cada producto, plan de producción en tonelada de cada producto y el precio, en pesos, de la tonelada de cada producto teniendo en cuenta la calidad de los mismos.

Los parámetros que se describen a continuación fueron obtenidos de la siguiente manera:

- Ingresos, en pesos, por la venta de cada producto: este parámetro se calcula a través de la sumatoria de las multiplicaciones del rendimiento en toneladas de una hectárea de cada producto por los precios de venta asociados a los porcentajes de los volúmenes de producción de los diferentes estándares de calidad (de primera, de segunda y fuera de norma)

- Ingresos totales, en pesos, por la venta de los productos: son calculados a través de la sumatoria de los ingresos totales de cada producto en el período de un año.

Generación de una solución

La obtención de una solución de estos modelos matemáticos, fue posible a través del uso del software profesional LINDOW, el cual debe su nombre a las siglas en inglés de Linear Interactive and Discrete Optimizer for Windows. Pertenece a un paquete profesional que se especializa en programas de optimización lineal. El mismo cuenta con una línea completa de productos, con soporte de estos, los que vienen dados por el tamaño de la matriz que se forma entre el número de variables y la cantidad de restricciones en el modelo que se desea resolver. Puede ser encontrado en todas las plataformas disponibles conocidas. La velocidad y facilidad de uso han hecho del LINDOW el estándar de la industria para resolver problemas de optimización. Es uno de los sistemas informáticos más populares para la instrucción e investigación, pues se puede utilizar para solucionar modelos grandes o pequeños, lineales o enteros y de cualquier tipo de naturaleza.

La utilización de este sistema profesional permitió dar respuesta a los objetivos que se plantearon al inicio de este trabajo, pero indudablemente, la introducción de los datos y la interpretación de los resultados lo asumen los autores, teniendo en cuenta lo complejo que resulta para el personal de dichas entidades, generalmente entregado al quehacer operativo de su medio laboral, adentrarse en el manejo de modelos matemáticos. El haber podido modelar este objeto y más puntualmente, su campo de acción, representa además un incentivo para diseñar y utilizar en un futuro otros sistemas informáticos.

Aplicación práctica de los modelos de Programación Lineal en las condiciones de la Empresa Agropecuaria y Forestal "Sierra Cristal" Segundo Frente

A continuación se expondrá el despliegue práctico de los modelos de Programación Lineal más significativos correspondientes a la Empresa Agropecuaria y Forestal "Sierra Cristal" Segundo Frente.

Se desarrollaron seis opciones de modelos, atendiendo a las diferentes alternativas existentes, considerando las combinaciones posibles entre los rendimientos y las disponibilidades en explotación, así como los eventuales rendimientos óptimos (a los que se aspira acceder) y las disponibilidades potenciales de tierra.

Por razones de espacio e interés práctico se expondrán sólo dos modelos. El N° 1, el cual considera los rendimientos actuales y las tierras en explotación y el N° 4, que considera los rendimientos óptimos y las disponibilidades potenciales de tierra.

MODELO N°1

Función Objetivo:

$$\text{MAX} = 0,14X_1 + 0,17X_2$$

Restricciones:

1. Disponibilidad de tierras, en hectáreas, para el cultivo del café:

$$X_1 + X_2 \leq 3\,260,1$$

2. Cumplimiento de los límites mínimos de hectáreas dedicadas a la producción de la variedad Arábico:

$$X_1 \geq 1\,510$$

3. Cumplimiento de los límites mínimos de hectáreas dedicadas a la producción de la variedad Robusta:

$$X_2 \geq 1\,310$$

4. Cumplimiento del plan de ingresos:

$$2\,954,33X_1 + 3\,756,30X_2 \geq 9\,693\,600$$

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2 OBJECTIVE FUNCTION VALUE

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
1)	5 08,917 0	
X1	1 510,000 000	0,000 000
X2	1 750,099 976	0,000 000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0,000 000	0,1700 00
3)	0,000 000	-0,030000
4)	440,1000	0,000000
5)	1 341 338,875	0,000000

Se puede apreciar que los resultados de este modelo proyectan una producción superior a la real obtenida en un 17,8 % (508,91 t contra 432 t) en el período 2010-2011.

MODELO N°4

Función Objetivo:

$$\text{MAX} = 0,36X_1 + 0,57X_2$$

Restricciones:

1. Disponibilidad de tierras, en hectáreas, para el cultivo del café:

$$X_1 + X_2 \leq 4\,312,9$$

2. Cumplimiento de los límites mínimos de hectáreas dedicadas a la producción de la variedad Arábico:

$$X_1 \geq 1\,510$$

3. Cumplimiento de los límites mínimos de hectáreas dedicadas a la producción de la variedad Robusta:

$$X_2 \geq 1\,310$$

4. Cumplimiento del plan de ingresos:

$$2\,954,33X_1 + 3\,756,30X_2 \geq 9\,693\,600$$

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 0 OBJECTIVE FUNCTION VALUE

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
1)	2 141,253	
X1	1 510,000 000	0,000 000
X2	2 802,899 902	0,000 000
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0,000 000	0,570 000
3)	0,000 000	-0,210 000
4)	1 492,900	0,000 000
5)	5 295 971,5	0,000 000

Se observa que los resultados de este modelo proyectan una producción potencial significativamente superior a todas las alternativas posibles, lo que se inserta en el programa de recuperación cafetalera antes comentado.

TABLA 3. ESTADO COMPARATIVO

	Datos planes de la entidad	Modelo #1	Modelo #2	Modelo #3	Modelo #4	Modelo #5	Modelo #6
Cantidad de ha para la variedad Arábico	1 998,4	1 510	1 510	1 510	1 510	2 400	2 400
Cantidad de ha para la variedad Robusta	1 261,7	1 750,09	2 802,89	2 802,89	2 802,89	1 912,9	1 912,9
Producción (t)	432	508,91	687,89	2 141,25	2 141,25	1 954,353	661,19

Prueba y evaluación de la solución

Se evalúa y aprueba la solución del modelo adoptado en la generación de la solución con el objeto de determinar la existencia de resultados útiles para el problema original, así como considerar los factores que afectan el desarrollo de las actividades.

Es interesante señalar que es precisamente el logro de esta interacción uno de los elementos que permiten considerar los resultados de la metodología aquí expuesta como hechos que trascienden a las investigaciones precedentes.

El modelo 4 brinda el mayor valor de producción teniendo en cuenta los rendimientos procedentes de la ficha técnica y el total de tierras disponibles. Como se puede apreciar, el único parámetro que cambia con respecto al modelo N° 3 es la disponibilidad de ha; sin embargo, se obtiene el mismo valor de producción, lo que indica la no necesidad de prescindir del total de ha disponibles en la entidad. Lo anterior no niega la posibilidad de incorporar ha de tierras.

Implementación

El problema general de la implementación es determinar qué actividades científicas y de la dirección de la producción son más apropiadas para producir una relación efectiva. Además se desarrollan las acciones de adaptación del sistema informático, en este espacio se desarrollan complementándose con sesiones de entrenamiento al personal encargado de la operatoria de los resultados investigativos. La implementación no significa que la solución obtenida que se pone en práctica simplemente se entrega y que con esta acción el equipo de trabajo se retira del proyecto.

El éxito de la implementación dependerá en gran medida de la adaptación por parte de los miembros de la organización.

En el caso puntual de esta investigación, el autor forma parte de la junta directiva de la empresa en que se desarrolla la aplicación, permitiéndose una fusión entre el grupo investigador y la parte empresarial, lo cual beneficia el proceso de implementación.

Conclusiones

1. Se desarrollan acciones a nivel nacional y puntualmente, en el municipio Segundo Frente, de recuperación de este importante sector.
2. El empleo de la Metodología de la Ciencia de la Administración- Investigación de Operaciones ha permitido la formulación de seis modelos de Programación Lineal que inciden en el perfeccionamiento de la planificación de la producción del café.
3. Mediante la utilización del Sistema Informático "LINDOW", para la determinación de la mejor estructura de las siembras del cultivo del café, se optimiza, en el plano de la planificación, los niveles de producción en un 17,8 % (Modelo N° 1), con respecto al plan de la entidad, cumpliendo de esta manera los objetivos de la investigación.
4. Los cinco modelos restantes también superan los planes actuales de la empresa.
5. Se han desarrollado las condiciones para una profundización en el cálculo de los principales parámetros productivos, a fin de validar los resultados obtenidos.

Recomendación

1. Continuar trabajando en la introducción, consolidación y perfeccionamiento de la metodología

expuesta en el presente trabajo en la Empresa Agropecuaria y Forestal "Sierra Cristal", del municipio Segundo Frente.

Bibliografía

1. FELIPE, P., GONZÁLEZ, L., RODRÍGUEZ, B., RAMOS J. *Programación Matemática II*. Eppes. La Habana. 1982.
2. IMBERT TAMAYO, J. E. Teoría de la Dualidad y "Optimización de la estructura de siembra en una empresa agrícola". Anuario 2001 de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Santiago de Cuba. www.ict.uo.edu.cu. 2000.
3. IN34A. Clase Auxiliar. Departamento de Ingeniería Industrial. "Modelación de Problemas de programación Lineal con Variables Continuas" publicado en las Memorias de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Año 2002.
4. Indicación No. 4 / 2008 del Ministro del Azúcar sobre la Planificación y Elaboración del Plan y Presupuesto del MINAZ para el año 2009.
5. LÓPEZ RUIZ, M. R. "Sistema de modelos económico-matemático para optimizar la eficiencia de una empresa agropecuaria". México, 1994.
6. LORA FREYRE, Raimundo J., LÓPEZ LESCAY, Víctor L. "Empleo de la Modelación Económico-Matemática en la planificación de la producción de alimentos en Cooperativas y UBPC del MINAZ", año 2007.
7. LORA FREYRE, Raimundo J., RODRÍGUEZ BETANCOURT, Ramón. *Técnicas de Optimización Estudio de casos*. Primera parte. Año 2007.
8. LORA FREYRE, Raimundo. "Utilización de la Modelación Económico-Matemática para la planificación de la Maquinaria Agrícola". Tesis para la obtención del grado científico de Doctor en Ciencias Económicas. 2000.
9. MOSKOWITZ, H. y WRIGHT, G. P. *Investigación de Operaciones*. Prentice-Hall Hispanoamericana. México. 1982.
10. NOVA GONZÁLEZ, Armando y GARCÍA ÁLVAREZ, Anicia. Centro de Estudio de la Economía Cubana. "Sector agropecuario cubano: importancia y transformación", 2002.
11. ROSCOE, Davis; MCKEOWN, Patric. "Modelos Cuantitativos para la administración". University of Georgia. Grupo Editora Iberoamericano. 2001.