

ESTRUCTURA ÓPTIMA DE VARIEDADES Y CEPAS EN UNA COOPERATIVA DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

THE BEST STRUCTURE OF VARIETIES AND STUMPS IN A COOPERATIVE OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Dr. Cs. Ramón Rodríguez-Betancourt, Lic. Rubén Guillermo Pellicer-Durán

ramonrb@eco.uo.edu.cu; ruben.pellicer@eco.uo.edu.cu

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

Resumen

El presente trabajo investigativo forma parte del proyecto de generalización denominado "Introducción y generalización de los Sistemas informáticos OPESVAR-10 y SACOD-III a Unidades Empresariales de Base (UEB) seleccionadas de la provincia Santiago de Cuba y Guantánamo" aprobado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Se llevó a cabo en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) "26 de Julio", con subordinación directa a la UEB "Paquito Rosales", situada en el Municipio San Luis, Provincia Santiago de Cuba. Tiene como objetivo fundamental la Determinación de la Estructura Óptima de Variedades y Cepas, partiendo de la introducción del sistema informático de Optimización de la Estructura de Variedades OPESVAR-10 que, sustentado en la Modelación Económico-Matemática, permita incrementar el impacto de adaptación de variedades y cepas, lo que se traduce en un incremento de los rendimientos agrícolas y contenido azucarero, lo cual representa un aporte significativo al proceso de planificación. La aplicación de este sistema informático en la CPA antes mencionada, permitirá a los productores de caña obtener 127,13 de toneladas (t) adicionales, lo que representa una adición en divisa de 61 660,20 USD.

Palabras clave: optimización, programación en enteros, planificación, sistema informático.

Abstract

This research work is part of the generalization called "Introduction and spread of computer systems and SACOD OPESVAR-10-III Base Business Units (BSU) selected from the province of Santiago de Cuba and Guantanamo", approved by the Ministry of Science Technology and Environment (CITMA). Was carried out in the Agricultural Production Cooperative (CPA) "July 26", with direct subordination to the UEB "Paquito Rosales", located in the municipality of San Luis, Santiago de Cuba province. Its main objective is the Determining the optimal structure of varieties and strains, based on the introduction of the computer system structure optimization Variety OPESVAR-10 which, based on the Economic-Mathematical modeling allows to increase the impact of adaptation varieties and strains, resulting in an increase in agricultural yields and sugar content, which represents a significant contribution to the planning process. The application of this computer system in the CPA above, allow cane growers get 127,13 tons (t) were added, representing an addition of 61 660,20 USD currency.

Key words: optimization, programming in whole, planning, computer system.

Introducción

Los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución aprobados en el XI Congreso del PCC, recogen en el artículo 209 que "la agroindustria azucarera tendrá como objetivo primario incrementar de forma sostenida la producción de caña, priorizando el reordenamiento de las áreas para lograr su acercamiento al central. En su desarrollo deberá perfeccionar la relación entre el central azucarero y sus productores cañeros, aprovechar la tradición azucarera y la experiencia existente". En medio de estas circunstancias, donde la política económica está orientada a elevar la productividad y efectividad de la producción para asegurar una mayor competitividad en el mercado internacional, así como diversificar las producciones derivadas del cultivo de la caña y teniendo en cuenta que todos estos procesos se deben realizar de manera sostenible, se hace necesario la introducción de métodos científicamente argumentados que permitan la toma de decisiones en el proceso de producción.

Las entidades cañeras necesitan de la introducción de nuevas tecnologías que permitan alcanzar de manera eficiente los niveles de producción planificados y facilitar la aplicación de los resultados de la investigación científica, lo cual se justifica por el hecho de que ha cambiado totalmente el panorama, el azúcar alcanza en estos momentos un precio no menor de 0,22 USD en el mercado mundial, a partir fundamentalmente de la eliminación casi total de la producción de azúcar de remolacha en Europa a causa de la subida de los precios del petróleo en el 2005 y afectaciones climáticas en los principales países productores.

El problema de la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas es un problema complejo que las entidades cañeras no pueden acometer por sí solas ya que le faltan las técnicas modernas de planificación y control para encontrar la estructura antes mencionada por la complejidad del problema. La estructura óptima de variedades y cepas permite incrementar las toneladas de azúcar por hectárea con la misma cantidad de caña sembrada. En este sentido, el Centro de Estudios de Investigaciones Aplicada a la Producción y los Servicios (CIPES), perteneciente a la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

de la Universidad de Oriente ha desarrollado en los últimos diez años, un conjunto de acciones encaminadas a perfeccionar la planificación corriente y perspectiva en procesos concretos de la fase agroindustrial. Precisamente, este estudio, como parte del proyecto de generalización territorial de innovación tecnológica denominado "Introducción y generalización de los Sistemas informáticos OPESVAR-10 y SACOD-III a empresas azucareras seleccionadas de la provincia Santiago de Cuba y Guantánamo", y que desarrolla el referido centro, aborda uno de estos procesos.

Se realiza el análisis de una de las más importantes fases de la cadena productiva del azúcar, que se inicia, desde la óptica agrícola, con la preparación de las tierras, continúa con la siembra de las semillas y el cultivo de las plantas y concluye con la cosecha. Es en la fase agrícola relacionada con la composición de variedades y cepas en la que se centra la atención el presente trabajo, pues resulta un eslabón decisivo en el perfeccionamiento de indicadores que implican un sustancial incremento de la eficiencia no sólo en esta etapa, sino también en la fase industrial.

La estructura de variedades y cepas existente en la Cooperativa antes mencionada, es producto de constantes análisis basados en criterios empíricos debido a la ausencia de la utilización de métodos científicos. Otro problema lo constituye la carencia de semillas para el cultivo de una variedad determinada, que, por sus características presentan una adecuada adaptación, lo que se traduce en la obtención de buenos resultados agrícolas e industriales. Por ello, introducir resultados del quehacer investigativo en la agroindustria azucarera cubana, siempre será un tema de actualidad.

El objetivo de esta investigación se centró en la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas en la CPA "26 de julio", mediante la Programación Entera Binaria y el empleo del sistema informático OPESVAR – 10.

El objeto de este material lo constituye la programación entera binaria, y el campo de acción es la aplicación de la programación entera binaria a través de la modelación económico – matemática para determinar la estructura óptima de variedades y cepas en la CPA objeto de estudio.

Desarrollo

Análisis de la estructura de variedades

A partir del año 2000 la estructura de variedades nacional, ha sido confeccionada a través del Servicio de Variedades y Semillas (SERVAS), a partir de los datos existentes en las empresas azucareras. En la siguiente tabla se muestra esta estructura:

TABLA 1. ESTRUCTURA DE VARIEDADES SEMBRADA A NIVEL NACIONAL. ETAPA 2007-2011

Variedades	% del área que ocupan
C 323-68	2,4
b 7274	48,2
CU 8751	15,4
C 266-70	0,5
C 294-70	0,8
JA 60-5	2,5
C 1051-73	0,6
C 8612	20,5
JA 64-19	0,2
MY 5514	7,3
CP 52-43	1,2
C 120-78	0,4
Total	100,0

Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).

La variedad que ocupa un mayor porcentaje es la B 7274 con un 48,2% seguida de la C 8612 con un 20,5%. Se puede apreciar que no aparecen en las variedades líderes JA-60-5 y B-4362 de la etapa anterior. La estructura actual de variedades en la provincia Santiago de Cuba se presenta en la tabla 2.

Como se observa las variedades que más área ocupan son la C86-503, la CU 8751 y la B 7274 con 14,67; 12,17 y 11,61% respectivamente. Las variedades como la C 56865 y la C 86456 son las de menor área ocupada, esto se debe a que están en proceso de eliminación. El promedio de rendimiento actual a nivel de provincia es de 40 t/ha.

La respuesta de cada variedad y cepa por tipo de suelo y zona cañera se conoce en sentido general, pero no se ha realizado un estudio detallado por bloques cañeros que aporten elementos nuevos a los efectos de una respuesta más precisa de qué variedad y cepa se necesita en cada bloque cañero. El sistema informático SERVAS antes mencionado, sólo realiza un análisis de forma general sobre las variedades a nivel de empresa y además obvia las cepas.

TABLA 2. ESTRUCTURA DE VARIEDADES DE CAÑA EN LA PROVINCIA SANTIAGO DE CUBA EN %. AÑO 2010

Variedades	% que ocupan	Variedades	% que ocupan
C323-68	8,29	C90501	5,19
B 7274	11,61	RB745433	3,95
CU 8751	12,17	C90530	2,50
C 266-70	0,36	C140-81	2,39
C 294-70	0,06	B77418	2,27
JA 60-5	2,47	C88553	1,13
C 1051-73	6,36	C290-73	0,68
C 86-12	6,68	C90469	0,27
JA 64-19	1,10	SP701143	0,17
MY 5514	1,70	C87635	0,12
CP-5243	2,02	C86456	0,04
C 12078	6,44	C56875	0,02
C 86-503	14,67		
B 63188	7,34		
Total			100,00

Fuente: Base de datos Grupo Empresarial Agroindustrial de Santiago de Cuba (GEA).

Por otra parte, para conocer qué variedad debe ser sembrada en cada bloque se necesita conocer el comportamiento de cada variedad en todos los bloques y este conocimiento implica una gran cantidad de combinaciones que no es posible determinar por los métodos actuales. Precisamente la investigación que se plantea consiste en realizar un estudio cuidadoso del comportamiento de cada variedad y cepa en los bloques cañeros y utilizar esta información como base para la aplicación de la modelación matemática asociada a los sistemas informáticos, con vistas a la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas en una empresa azucarera. La estructura de variedades en el momento del inicio de la investigación se muestra en la siguiente tabla 3.

Como se observa las variedades que más área ocupan son la C 90530, Sp 70-1284 y la C 8751 con 22,68, 21,94 y 20,66 % del área total respectivamente.

Las variedades C 90501 y C 87632 son las de menor área ocupada. Se puede apreciar como se incumplen ligeramente las normativas de la Empresa con respecto a sembrar no más del 20 % de área total por variedad.

Es necesario comentar que la CPA "26 de Julio" cuenta con 6 variedades, 2 de ellas se introdujeron de manera errónea demostrando bajos rendimientos agrícolas e industriales, las variedades con problemas de adaptación son: C 90469 y C87632.

En los últimos años se ha potenciado la agroindustria azucarera. Teniendo en cuenta su papel estratégico, se han tomado acciones de diversificación agrícola e industrial. Todo lo expresado hasta ahora ha motivado la presente investigación, cuyo campo de acción se dirige a la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas en la CPA "26 de Julio".

TABLA 3. CPA "26 DE JULIO". ESTRUCTURA DE VARIEDADES

Variedades	Hectáreas	%
C 90530	61,8	22,68
C 90501	17,53	6,43
C 90469	49,94	18,32
C 87632	27,18	9,97
C 8751	56,3	20,66
Sp 70-1284	59,78	21,94
Total	272,53	100

Fuente: Base de datos de la CPA 26 de julio.

La novedad de la investigación radica en la introducción de criterios con un sustento científico en el proceso de planificación a través del sistema informático de Optimización de la Estructura de Variedades OPESVAR-10. Este último no sólo le aporta una herramienta informática al usuario (productor), sino que también le muestra una guía de ayuda para la toma de decisiones futuras.

Este problema reúne las condiciones para ser examinado utilizando la Programación Entera Binaria a través del OPESVAR-10 por las siguientes razones:

- Los directivos y colaboradores en la entidad muestran interés y disposición en el desarrollo de una investigación con un enfoque científico,

que estimulen el mejoramiento de la actividad administrativa y que potencien su crecimiento y desarrollo.

- La presencia de un significativo número de alternativas para la planificación de la producción, es decir, el conflicto clásico que surge de la intención de aumentar la producción y los ingresos y por otro lado reducir el consumo de recursos productivos.
- La existencia de proyectos de investigación científica, aprobados por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), que incluyen tareas relacionadas con esta problemática de la producción de alimentos.

Formulación general del problema para la construcción del modelo económico-matemático

"Dada una UEB Central Azucarero donde se quiere encontrar la estructura óptima de variedades y cepas en perspectiva, que conlleve a perfeccionar el programa de siembra en cada bloque con la variedad y cepa que le corresponda y a su vez maximice el impacto de adaptación de esta estructura a las condiciones concretas del lugar objeto de estudio, lo que implica obtener el máximo de toneladas métricas de azúcar por hectárea".

Son conocidas las variables controlables para la solución del problema planteado y la información primaria correspondiente y se refieren a:

- Los bloques cañeros con que cuenta la empresa y sus áreas correspondientes en hectáreas (ha).
- Las diferentes variedades y cepas que pueden ser sembradas en la región bajo estudio.
- Las normativas del Grupo Empresarial AZCUBA referentes a restricciones específicas con respecto a la siembra de variedades y cepas.
- Los límites máximos y mínimos del área a sembrar por variedad para minimizar el desfase.
- El cumplimiento del plan de azúcar dado en toneladas (t) para cada entidad o centro de recepción según se decida.
- Los pesos específicos valorado a través de criterios de expertos de las características fundamentales de las variedades que se quieren evaluar que comprende: la madurez, los rendimientos agrícolas e industriales, las enfermedades, entre otros.
- Las respuestas de las características fundamentales de las variedades en cada bloque, medidas en puntos obtenidas mediante criterios de expertos.

Con estos elementos el problema sería determinar qué variedad y cepa debe sembrarse en cada bloque de manera que se obtenga como resultado final el máximo de toneladas métricas de azúcar por hectárea, lo que conlleva a cumplimentar el objetivo que se persigue.

Para hallar la estructura en perspectiva debe considerarse el bloque vacío y conocer el efecto integral que tiene cada variedad y cepa en cada bloque lo cual conduce hacia la elección de una variable binaria que forma parte de la programación entera.

De acuerdo con la formulación general se trata de decidir qué variedad y cepa debe sembrarse en un bloque dado y cuál no. En este caso los problemas de programación matemática se enfocan hacia la Programación Entera Binaria, donde las variables sólo pueden tomar valores cero o uno.

Esta clase de problemas es muy importante debido a que las situaciones de todo o nada tiene numerosas aplicaciones en muchas áreas de la economía, tales como asignación de presupuestos de capital, selección de proyectos de inversión, entre otros.

Partiendo del conocimiento anterior y conocidas las variables controlables del problema, tienen lugar los siguientes supuestos a cumplimentar para el planteamiento matemático general:

1. Existen bloques que están restringidos a sembrar determinadas variedades y cepas
2. Cada variedad y cepa puede ocupar más de un bloque.
3. En cada bloque sólo se puede sembrar una sola variedad y cepa.
4. El criterio de estructura de variedades implica que existen límites máximos y mínimos para la siembra con el objetivo de evitar el desfase.
5. La entidad debe cumplimentar un plan de azúcar teniendo en cuenta el rendimiento potencial de la caña (RPC).
6. Debe existir una proporción adecuada entre las cepas a sembrar.

Con estos elementos el planteamiento matemático general sería:

Planteamiento matemático general

Conjuntos:

- V:** Conjunto de variedades que se utilizan, con elemento típico i
- C:** Conjunto de cepas que se consideran, con elemento típico j
- A:** Conjunto de bloques dedicados a la siembra de caña, con elemento típico k
- A_{ij}:** Conjunto de bloques donde se puede sembrar la variedad i en la cepa j
- V_k:** Conjunto de variedades que se pueden sembrar en el bloque k

Variables:

- X_{ijk}:** Variable binaria que toma valor 1 si la variedad i y cepa j se puede sembrar en el bloque k y valor 0 en caso contrario.

Parámetros:

- N_{ij}:** Cantidad de bloques donde se puede sembrar la variedad i y cepa j .
- C_{ijk}:** Puntuación que refleja la adaptación que tiene la variedad i y cepa j en el bloque k .
- PA:** Plan de azúcar en toneladas métricas.
- a_i:** Área máxima que se puede sembrar de la variedad i en ha .
- b_i:** Área mínima que se puede sembrar de la variedad i en ha .
- c_s:** Porcentaje máximo del área a sembrar.
- c_i:** Porcentaje mínimo del área a sembrar
- m_{ijk}:** Estimado de la producción de azúcar de la variedad i y cepa j en el bloque k en toneladas métricas.

Sistema de restricciones:

Grupo de restricciones de tipo 1

La variedad i y cepa j puede ocupar más de un bloque.

$$\sum_{k \in A_{ij}} X_{ijk} \leq N_{ij} \quad ; \quad \begin{matrix} i \in V \\ j \in C \end{matrix}$$

Grupo de restricciones de tipo 2

Cada bloque admite solamente una variedad y cepa.

$$k \in A$$

Grupo de restricciones de tipo 3

Se cuenta con un área máxima y mínima para sembrar la variedad i y cepa j .

$$i \in V$$

$$i \in V$$

Restricción de tipo 4

Cumplimiento del plan de azúcar para la entidad.

Restricción de tipo 5

$$c_i \leq \frac{\sum_{i \in V} \sum_{k \in A_{ij}} d_k x_{ijk}}{\sum_{i \in V} \sum_{j \in C} \sum_{k \in A_{ij}} d_k x_{ijk}} \leq c_s \quad j \in C$$

Restricción binaria

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k$$

Función objetivo

$$\text{Max } Z = \sum_{k \in A_j} \sum_{i \in V} \sum_{j \in C} C_{ijk} X_{ijk}$$

La dimensión del modelo estará en dependencia de la cantidad de bloques, variedades y cepas a considerar. Esta información es muy importante pues se puede calcular el número de variables y restricciones para conocer si se tiene capacidad computacional para resolver el problema y tomar las medidas pertinentes. El modelo puede ser resuelto a nivel de entidad o centro de recepción, en dependencia del número de bloques, variedades y cepas asociados a ellos, cuya multiplicación decide el número de variables y por ende mientras menor sean éstas, más fácil será su solución mediante el sistema informático.

Análisis y diseño del sistema OPESVAR-10 para la solución del problema planteado

Con el progreso de las técnicas computacionales se dan las condiciones para el diseño del sistema informático OPESVAR que es como se le llamó en una primera instancia, posteriormente se le han hecho algunas modificaciones obteniéndose una nueva versión, OPESVAR-10, la cual incluye elementos no considerados anteriormente. De esta manera se cubre el espacio existente entre la elaboración del modelo económico, que permite la introducción de resultados en la práctica social de manera exitosa.

Para la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas, mediante un modelo económico matemático de Programación Entera

Binaria, se utilizó el sistema informático antes mencionado en su nueva versión, el cual permite automatizar los datos de entrada mediante una interfaz amigable, con el consiguiente incremento de la seguridad en los datos, tanto por los errores humanos, como por la posibilidad de almacenar dichos datos con mayor integridad, los cuales son utilizados por el mismo sistema para el planteamiento matemático del problema. Se aprovecha además las ventajas que ofrece para obtener los reportes de salida en el mismo formato de modelos que utiliza el Grupo Azucarero AZCUBA para tales fines.

El sistema OPESVAR-10 fue diseñado para operar con un ambiente de ventanas múltiples con el fin de permitir al usuario la selección de cuáles de las ventanas de trabajo tendrá abiertas de forma simultánea y que a la vez las coloque donde le sea más cómodo el trabajo. Este realiza una interfaz con el sistema profesional Hyperlindo para hallar la solución del problema, el cual utiliza para la solución de la Programación Entera Binaria, el algoritmo de Ramificación y Cotas.

Lo anterior brinda seguridad a la solución hallada, ya que la programación del algoritmo de Ramificación y Cotas es compleja, sobre todo si se trata de resolver problemas de gran tamaño, todo lo cual requiere de especialistas en computación y análisis numérico y por tanto esta variante de considerar el vínculo con el Hyperlindo es la más segura.

A partir del análisis realizado se determinó qué información se debía mantener de forma persistente para el eficaz funcionamiento de OPESVAR-10 por lo que se utilizó una base de datos en Microsoft Access. El sistema está programado en C++ y el mismo organiza y digitaliza toda la información primaria. En la siguiente figura se muestra la ventana principal del sistema informático:



Figura 1. Portada de trabajo del sistema informático OPESVAR-10



Fig.2 Entrada de variedades.



Fig.3 Entrada de cepas.



Fig.4 Lista de bloques.

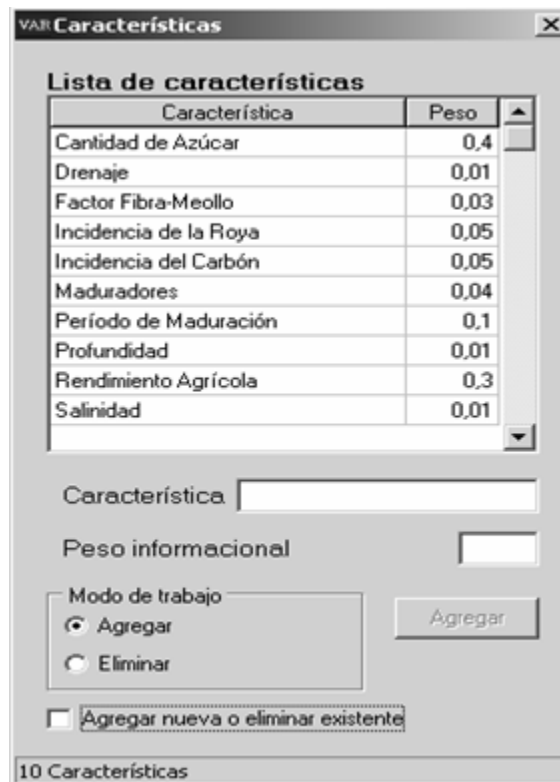


Fig. 5 Características.

The screenshot shows a window titled 'VAR Registros de lluvia' containing a table with the following data:

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	102	0	78	0
2003	0	0	67	174	20	29	45	31	73	142	12	35
2004	0	0	10	8	40	80	43	121	61	77	0	15
2005	8	0	0	127	274	132	119	143	145	301	73	0
2006	0	0	0	98	135	250	84	165	182	26	0	0
2007	4	13	15	44	194	57	69	139	20	370	292	8,8
2008	1,2	1,2	31	0,2	13	130	41,5	105,5	106,3	72	17,5	0

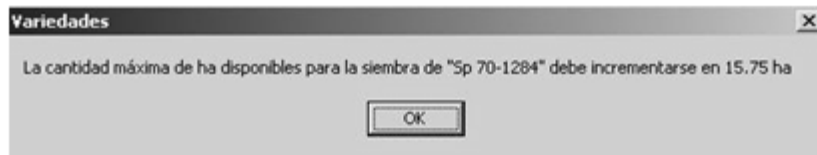
The table is displayed in a grid with navigation buttons at the bottom.

Fig. 6 Registros de lluvia.

Una vez realizada toda la información primaria, el sistema permite formar los modelos matemáticos y ver su solución, el cual permite observar al investigador el grado de complejidad y el número de variables con que está trabajando dicho sistema. Es importante señalar que esta nueva edición del OPESVAR-10 posee un método que facilita una segura solución del modelo de programación entera binaria a través de la

incorporación de variables de desviación a las restricciones que las demanden, lo anterior responde a la clásica problemática de sistemas informáticos sustentados en modelos matemáticos que en ocasiones no brindan solución debido a que una o más restricciones son muy restrictivas; si se diera el caso, esta(s) variable(s) de desviación toman valor. En el caso puntual del OPESVAR-10 las desviaciones

indican la medida en que se deben de incrementar las hectáreas (ha) dedicadas para el cultivo de una variedad determinada. A continuación se muestra un ejemplo de lo anteriormente explicado.



Opciones de siembra por bloques

Provincia: Santiago de Cuba Año: 2012

Empresa Azucarera: 1 Nombre: Paquito Rosales Centro de Recepción: CPA 26 de julio

Estructura Óptima		
Bloque	Variedad	Cepa
191	C 90530	Prim
192	C 90501	Prim
193	C 90530	Prim
194	C 87632	Frio
195	C 8751	Frio
196	Sp 70-1284	Frio
197	C 90469	Prim
199	C 90501	Prim
213	C 8751	Prim

Fig. 7 Reportes de salida del sistema informático OPESVAR-10 en la CPA "26 de Julio".

Es evidente que las variedades que más se deben sembrar en la CPA "26 de Julio" en la cepa de Frio son la C 87632, C 8751 y Sp 70-1284 en los bloques 194, 195 y 196, respectivamente. Las restantes variedades

solo deben sembrarse en Primavera Quedada. El impacto que tiene el cambio de estructura de variedades y cepas en los rendimientos agrícolas en la CPA "26 de Julio" se expone a continuación:

En la tabla puede apreciarse un incremento del

TABLA 5. IMPACTO EN LOS RENDIMIENTOS INDUSTRIALES DE LA ESTRUCTURA ÓPTIMA CON LA ACTUAL. CPA "26 DE JULIO", UEB "PAQUITO ROSALES". AÑO 2012

Variedades	Estructura actual	Rendimiento Industrial (t/ha)	Producción	Estructura óptima	Rendimiento Industrial(t/ha)	Producción
C 90530	61,80	11,83	731,094	53,17	11,83	629,001
C 90501	17,53	15,64	274,169	45,03	15,64	704,269
C 90469	49,94	12,04	601,277	38,73	12,04	466,309
C 87632	27,18	15,04	408,787	46,65	15,04	701,616
C 8751	56,30	11,23	632,249	49,42	11,23	554,986
Sp 70-1284	59,78	13,9	830,942	39,53	13,9	549,467
Total	272,53	12,76	3 478,519	272,53	13,23	3 605,649

contenido azucarero de 3,68 %, lo cual conduce a obtener 127,13 t adicionales de azúcar, lo que representa ingresos en divisas ascendentes a 61 660,20 USD, teniendo en cuenta que el precio del azúcar en el mercado mundial es alrededor de \$ 0,22 la libra.

Conclusiones

La utilización de la modelación económico-matemática para la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas en la CPA mediante el sistema informático OPESVAR-10, ha demostrado ventajas concretas con respecto al método actual, demostrado por:

1. La utilización del modelo económico - matemático y su solución a través del sistema informático OPESVAR-10, ha permitido incrementar a nivel de planificación las toneladas métricas de azúcar en la CPA objeto de estudio en 127,13 t, lo cual implica un incremento en el ingreso en divisas de 61 660,20 USD; lo anterior repercute en un mayor nivel de eficiencia a nivel de empresa azucarera, logrando cumplir de esta manera los objetivos de la investigación y validar la hipótesis formulada.

2. La utilización del sistema informático OPESVAR-10 en función del mejor empleo para la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas, influye a su vez en una gradual elevación de los niveles cultural y técnico de los trabajadores responsabilizados con esta tarea.

3. A partir de la solución de los modelos económico - matemáticos, las empresas azucareras objeto de estudio mejoraron el ordenamiento de variedades y cepas para el corte, cuestión altamente significativa para el cuidado y conservación de los suelos y las cepas.

Recomendación

Propiciar la extensión de estos resultados a otras CPA del territorio, como parte del proyecto territorial del cual forma parte, lo cual potenciaría el proceso de diversificación y redimensionamiento que tiene lugar en el sector.

Bibliografía

1. ACKOFF, Rh; M. W. SASIENI. *Fundamentos de investigación de Operaciones*. Editorial Lismisa. Mexico 1987.
2. BORGESRAYMOND, Kenia. Determinación de la estructura óptima de cepas y variedades en el CAI Julio Antonio Mella de la provincia Santiago de Cuba. Trabajo de diploma, 1989.
3. CHARNES and COOPER. *Management Model and Industrial Applications of Linear Programming*. John Wiley and Sons. Inc. New York and London, 1961.
4. CITMA. Diagnóstico y Metodología para el análisis de los factores que inciden en la eficiencia económica productiva y la planificación corriente de producción azucarera. Proyecto Nacional de Ciencia y Técnica aprobado por el CITMA. La Habana. 1996.
5. EPPEN, G. D.; F. J. Gould. "Investigación de operaciones en la ciencia administrativa". Prentice-Hall Hispanoamericana. S.A. México, 1993.
6. HERNÁNDEZ QUEVEDO, Rafaela. La agroindustria de la caña de azúcar en Cuba. Santiago de Cuba, julio 2006.
7. HILLER, F. S.; G. J. LIEBERMAN. *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Mcgraw Hill. México. 5ta. Edición. 1993.
8. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Sistema Integral para el Cálculo de los Estimados Cañeros. SICE. Año 2003.
9. KANTOROVICH, L. V; A. Gorstko. *Las Decisiones Óptimas en la Economía*. Editorial Ciencias Sociales. La Habana, 1979.
10. KAUFMANN, A. *Métodos y Modelos de la Investigación de Operaciones*. Tomo III. CIA Editorial Continental. S.A. México 1978.
11. KIRPATRICK, Ch.; R. LEVIN. *Enfoques Cuantitativos a la Administración*. CECSA. México 1992.
12. PCC. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución aprobados en el VICongreso del PCC.
13. LORA FREIRE, Raymundo Juan. "Programa multicriterio para la elaboración de la estrategia de explotación de la maquinaria agrícola en las UBPC y su control". Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Económicas. Universidad de Oriente. Año 1999.
14. MES. Convenio de Colaboración entre el Ministerio del Azúcar y el Ministerio de Educación Superior. La Habana. 1998.
15. MINAZ. *Metodología para la confección del plan técnico económico de zafra del MINAZ*. La Habana. 1999.
16. MINAZ. *Metodología para la confección del plan técnico económico de zafra del MINAZ*. La Habana. 2007.
17. MOSKOWITZ, Herbert; Gordon WRIGHT. "Investigación de operaciones», Prentice-Hall Hispanoamericana, México, 1982.
18. www. geplacea.ipn.mx. "Precios del Azúcar de caña". Año 2004.
19. www. sasta.co.za. "Programación Matemática en Enteros en la agricultura". Año 2004.