



**Universidad de Oriente**  
**Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**  
**Centro de Estudios de Investigaciones Aplicadas a la**  
**Producción y los Servicios (CIPES)**

**TÍTULO: “DETERMINACIÓN DE LA ESTRUCTURA ÓPTIMA DE  
VARIETADES Y CEPAS EN LA COOPERATIVA DE PRODUCCIÓN  
AGROPECUARIA (CPA) 26 DE JULIO DE LA UNIDAD  
EMPRESARIAL DE BASE PAQUITO ROSALES”**

*Autor: Lic. Rubén Guillermo Pellicer Durán*

Diciembre del 2011  
“Año 54 de la Revolución”

## **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.

El mismo se ha realizado dentro del marco del proceso de redimensionamiento que tiene lugar en la rama azucarera cubana con la intención de que la producción de azúcar sea cada vez más eficiente y competitiva a nivel internacional.

La aplicación de este sistema informático en la CPA antes mencionada, permitirá a los productores de caña obtener 127.13 t adicionales, lo que representa una adición en divisa de 61660.20 USD.

## SUMMARY

This research work is part of the generalization called "Introduction and widespread use 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 (APC)"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, starting with the introduction of computer system structure optimization Variety" OPESVAR-10 ", which supported by Economic-Mathematical Modeling as to increase the impact of adaptation varieties and strains, resulting in increased crop yields and sugar content, which represents a significant contribution to the planning process.

The same has been done within the framework of the resizing process that takes place in the Cuban sugar industry with the intention that sugar production is becoming more efficient and internationally competitive.

The application of this computer system in the APC above, will allow cane growers get additional t 127.13, representing an addition of 62677.68 USD currency

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>CAPÍTULO I. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b><u>7</u></b>
1.1 Antecedentes y situación actual de la temática .....	<u>7</u>
1.2 Importancia en la selección de la estructura de las variedades de caña. ....	<u>20</u>
1.3 Revisión bibliográfica.....	<u>21</u>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA ÓPTIMA DE VARIEDADES Y CEPAS EN LA CPA 26 DE JULIO DE LA UEB PAQUITO ROSALES. ....</b>	<b><u>31</u></b>
2.1 Metodología de la investigación de operaciones - ciencia de la administración. ....	<u>31</u>
2.2 Formulación general del problema para la construcción del modelo económico -matemático.....	<u>38</u>
2.3 Confección de la base informativa y obtención de la solución.....	<u>44</u>
<b>CAPÍTULO III. EXPERIENCIA PRÁCTICA. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO .....</b>	<b><u>65</u></b>
3.1 Caracterización de la entidad. ....	<u>65</u>
3.2 Análisis de los resultados .....	<u>71</u>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b><u>75</u></b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b><u>77</u></b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b><u>78</u></b>

Licenciado en Economía, Profesor Adiestrado, Miembro del Centro de Estudio de Investigaciones Económicas Aplicadas de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.

Dirección: Patricio Lumumba S/N Santiago de Cuba. Teléfono 630546. e-mail:

[ruben.pellicer@eco.uo.edu.cu](mailto:ruben.pellicer@eco.uo.edu.cu)

## INTRODUCCIÓN

Los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución aprobado en el sexto congreso del PCC en su artículo 209 plantea 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 los diferentes procesos 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 0.20 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 si 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, en su aspecto 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 la obtención 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.

Todo lo anteriormente analizado ha permitido plantear el siguiente **Problema Científico:**

¿Estarán incidiendo los actuales procedimientos que se utilizan para la determinación de la estructura de variedades y cepas en los bajos rendimientos de la caña de azúcar?

**Sistematización del problema científico de investigación:**

- ¿Cuál es la forma de planificar la estructura de variedades y cepas en la organización estudiada?
- ¿Cómo se comportan en la actualidad los bajos niveles de rendimientos de la caña de azúcar?

Para dar solución al problema planteado se define como **Objetivo General:** Determinar la estructura óptima de variedades y cepas en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) "26 de julio", mediante la Programación Entera Binaria y el empleo del sistema informático OPESVAR – 10.

**Objetivos Específicos:**

1. Formular el modelo de Programación Entera Binaria.
2. Plantear un modelo de Programación Entera Binaria que optimice la estructura de variedades y cepas a partir del criterio de lograr la mejor adaptación de las variedades y cepas a los bloques cañeros bajo estudio, que se traduce en incrementos en los rendimientos agrícolas e industriales.

3. Determinar la base informática necesaria para la utilización de la modelación económica matemática.
4. Solución y validación el Sistema Informático “OPESVAR – 10 en el objeto de estudio, a través de acciones de implementación”.
5. Análisis económico de los resultados obtenidos por el Sistema Informático OPESVAR – 10

El objeto de esta investigación 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.

#### **Justificación de la investigación:**

El tema de encontrar la estructura óptima de variedades y cepas para el logro de altos rendimientos agrícolas e industriales siempre está en la palestra de los investigadores, directores de empresas azucareras, agrónomos y del personal que atiende el cultivo de la caña en las entidades cañeras, ya que sólo el hecho de conocer la estructura óptima implica una mejoría significativa en cuanto a las directivas que deben implementarse para su aplicación, lo cual servirá para obtener una adecuada respuesta en los principales indicadores agrícolas e industriales de la entidad con un mínimo de costo adicional.

Por otra parte, la introducción de variedades que no responden a las características de los bloques cañeros, conduce a la obtención de indicadores deteriorados de producción que no pueden corregirse de inmediato debido a que se incurren en costos adicionales para la demolición del campo o bloque donde la variedad fue sembrada por error.

Por tal motivo la presente investigación cobra suma actualidad e importancia y puede llevarse a cabo con el mínimo de gastos posibles, pues se trata sólo de conocer la mejor estructura que debe tener una entidad cañera para su éxito en el proceso de producción.

A partir de los anteriores elementos se plantea la siguiente **Hipótesis:**

“Si se determina y valida en la CPA objeto de estudio la estructura óptima de variedades y cepas obtenida mediante la modelación económico-matemática de Programación Entera Binaria soportada por un sistema informático, se obtendrían incrementos de los rendimientos agrícolas e industriales en la misma área de caña sembrada.”

**Métodos y Técnicas utilizadas:**

En el desarrollo de la investigación se aplican los procedimientos que identifican a la Metodología de la Ciencia de la Administración - Investigación de Operaciones, como la fundamentación científica de la introducción y validación de los resultados de las ciencias, que en este caso se utilizan en el perfeccionamiento de la toma de decisiones en la gestión administrativa. Se distingue el método de análisis – síntesis para la caracterización del objeto y campo de acción de la investigación.

Se utilizó el método de la modelación económico-matemática para el logro de la mejor decisión, en particular modelos de Programación Entera Binaria. En el procesamiento de la base informática se utilizaron la Teoría de las Probabilidades, los conceptos básicos de la Estadística Matemática y la Inferencia Estadística. Se complementó el uso de estas técnicas con el diseño y confección de un sistema informático que permite un alto grado de automatización en el proceso de la información primaria y el éxito de la implementación de los

referidos modelos al objeto de investigación. Es precisamente el uso de estos modelos, uno de los elementos que incorpora al tema de la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas, importante novedad en el campo teórico, lo que unido a la organización actual sobre el tema de variedades y cepas permiten significativos aportes al tema tratado.

Los elementos novedosos presentes en este trabajo comprenden la construcción de un modelo económico-matemático de Programación Entera Binaria, nunca antes empleado para la solución del problema planteado, conjuntamente con un sistema informático, que automatiza la información primaria y resuelve el problema eficientemente, todo lo cual se potencia con la aplicación de la metodología de la Ciencia de la Administración-Investigación de Operaciones, que además facilita con éxito la implementación práctica de los resultados de la investigación científica.

## CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes y situación actual de la temática

El sector azucarero es sin lugar a dudas el más importante de la producción agroindustrial cubana a lo largo de estos siglos. Ya a finales del siglo XVI se inicia en Cuba, la elaboración aunque de forma rudimentaria de la caña de azúcar, teniendo su mayor extensión entre 1778 y 1782 posterior a la toma de La Habana por los ingleses y un grupo de medidas tomadas por el Rey Carlos III, lo que favoreció el comercio y la importación de mano de obra esclava. Durante el comienzo del siglo antepasado se importaron los primeros trapiches horizontales de hierro y se introducen los llamados "trenes franceses". En la década de 1840 se inicia en Cuba la Revolución Técnica en la producción azucarera, manifestándose en la aplicación de procesos físicos y químicos en la actividad industrial. En 1902 comienza la penetración del capital inversionista norteamericano en la industria azucarera, que fue, ese año de 25 millones y que alcanzó en 1927 los 800 millones. Durante esta época fueron construidos 75 centrales de gran capacidad, fundamentalmente en la zona de Camagüey y Oriente.

**Tabla 1.1 Distribución de la propiedad de los centrales azucareros en 1958.**

País	No. de ingenios	Capacidad de producción (MT)	Control de la producción (%)
EE.UU	36	2 118 500	36.7
Cuba	121	3 591 700	62.1
España	3	54 700	0.9
Francia	1	15 700	0.3
Total	161	5 780 000	100

Fuente: Revista azúcar. Año 2005.

En general, la propiedad latifundista, el bajo nivel de calificación de la mano de obra, la caña cortada y alzada manualmente en su totalidad y el monocultivo cañero imperante, caracterizaron a la agricultura cubana en la primera mitad del pasado siglo.

En 1959 triunfa la Revolución Cubana, y con ella comienza las agresiones de toda índole por parte de los Estados Unidos. En 1960, cuando la totalidad de los centrales pasan a manos del Gobierno Revolucionario, se suprime la cuota azucarera como una de las medidas de mayor envergadura económica, dadas las características monoexportadora y monoprodutora de Cuba.

De este modo, el país sufrió un gran impacto con la pérdida de sus mercados tradicionales, los suministros habituales, la compra de equipos y piezas desaparecen, produciéndose además una migración considerable de personal calificado y ataques a los ingenios. Todo ello provocó un decrecimiento de la producción, siendo la más baja de 3,8 millones de toneladas de azúcar en 1963. En el mes de mayo de ese año se inician los primeros estudios con el objetivo de elevar la producción, mediante un diagnóstico sobre la situación agrícola industrial en aquel momento.

En 1964 se crea el Ministerio de la Industria Azucarera (MINAZ), el cual sustituye a la antigua Empresa Consolidada del Azúcar. Durante el período comprendido entre 1966 y 1970 se ejecuta el primer Plan de Desarrollo de la Industria Azucarera, el cual tenía como objetivos:

- Elevar la capacidad instalada.
- Sustituir los equipos obsoletos.

- Introducción masiva de la técnica en las labores de la siembra y cultivo de la caña.
- Introducción de la mecanización del corte y el alza de la cosecha.

En esta etapa las tierras dedicadas al cultivo se incrementaron en un 35%, se introdujeron nuevas variedades, se inicia la ampliación del regadío y fueron diseñadas nuevas máquinas para la mecanización de las cosechas. En 1970 se realiza la mayor zafra del país y del mundo en ese año. Durante el período de 1971-1975 la industria azucarera experimentó un gran auge en sentido general.

A partir de 1973 se verifica un aumento continuo. Las áreas cañeras se elevaron de 1543 miles de hectáreas que existían en el año 63 a 1634.6 miles. La cosecha de caña aumenta su mecanización, el corte alcanza el 11.6% y el alza el 85.4%. En la zafra del 75 trabajaron más de 1000 combinadas; es importante destacar en este período la disminución de los macheteros a 180 mil, la mitad de lo que se empleaba antes de 1959. Durante el quinquenio 1975-1980, las inversiones en la industria azucarera ascendieron a 968 millones de pesos, más del doble que el presupuesto empleado en el período 66-70.

La década del 80 se puede considerar de despegue en el desarrollo de la agroindustria azucarera, se construyeron los 6 primeros centrales diseñados por técnicos cubanos y con más del 60% del equipamiento cubano, que constituyen los primeros construidos en los últimos 50 años, fueron los primeros terminados, el 30 de Noviembre y el Batalla de las Guásimas que se concluyeron en 1980. Se trabajó además en la modernización de 40 centrales existentes. En esta etapa se mejoró el sistema ferroviario incorporándose 195 locomotoras diesel; se pusieron en marcha 4 terminales de azúcar a granel que permitieron aumentar en un 53% la exportación por

este sistema. La caña cosechada mediante combinada pasó de un 25% en 1975 a un 45% en 1980.

A inicios de la década del 80 se crean los Complejos Agroindustriales Azucareros. En estos años se construyen 239 centros de acopio y limpieza de caña, lo que sumado al aumento de la mecanización del corte de la caña de azúcar en un 62%, permitió reducir el número de macheteros a 72 000. Desde 1989 comienzan a producirse evidentes cambios en los países Socialistas de Europa que dieron lugar a la disolución del campo socialista y por ende la ruptura de sus relaciones mercantiles, así como las principales fuentes de suministros, mercados y precios.

Esta situación trajo consigo duras consecuencias para todas las ramas de la economía en general, pero sin lugar a dudas una de la más afectadas fue la industria azucarera al quedarse desprovista hasta del combustible mínimo para la realización de determinadas actividades, sin los recursos necesarios para la reparación y mantenimiento de los equipos, para la preparación de la tierra y los cultivos: herbicidas, plaguicidas. Todos estos factores conllevaron transformaciones sustanciales para este sector económico.

La economía cubana desde el inicio de los años noventa se ha visto afectada por la desintegración del campo socialista y el sostenido incremento del bloqueo económico norteamericano. Durante este período el sector azucarero, al igual que el resto de los sectores del país, se vio sometido a extraordinarias limitaciones financieras y dificultades comerciales. Una idea de la dimensión del impacto puede tenerse al considerar que por primera vez en su historia, Cuba se ve en la necesidad de comercializar el total de sus exportaciones de azúcar,

fuera de todo acuerdo preferencial. Las desfavorables condiciones de este llamado "Mercado Libre", de precios deprimidos, son bien conocidas internacionalmente.

Luego de tres decenios de transformación de su infraestructura, basada en la tecnología de Europa Oriental, otra vez fue necesario adecuarse a nuevas fuentes de suministro de equipos, repuestos e insumos en general, ahora en condiciones de un bloqueo recrudescido. Como consecuencia de tales dificultades financieras, pero también de factores organizativos y condiciones climáticas adversas, la producción azucarera se redujo progresivamente en lo adelante, a partir fundamentalmente del descenso en los rendimientos agrícolas y la disponibilidad de caña.

Hoy en día existen otros aspectos que inciden en el comercio internacional de azúcar para muchos países, incluido el nuestro, como son:

- Precios que en ocasiones no responden a los costos de producción.
- Altos fletes.
- Altos precios del combustible.

Por tanto, ante una perspectiva con pronósticos reservados respecto a los precios futuros del azúcar en el mercado internacional, la simple constatación de los bajos rendimientos agrícolas que de 70 t/ha promedio nacional en la década del '80 bajaron en el período especial a poco más de la mitad de esa cifra, debido a la falta de aplicación de fertilizantes y riego a las plantaciones. Además de los deprimidos resultados de nuestro sector azucarero, se ponía de manifiesto la inconveniencia económica de mantener en activo la totalidad de la planta productiva y se evidenciaba la necesidad de concentrar los recursos disponibles en las unidades

con mejores condiciones para lograr niveles de eficiencia competitivos a los niveles de precios internacionales, adecuando los niveles productivos en correspondencia con ello.

Esto condujo a Cuba en el quinquenio 2001-2005 al redimensionamiento de la industria azucarera. Este proceso tiene una proyección global, involucra a todos los organismos de la administración central del estado y tiene como propósito central, adecuar la agroindustria azucarera cubana y su entorno al contexto azucarero mundial.

Este proceso se enmarcó en la tarea Álvaro Reinoso, que se expone a continuación:

### **Tarea Álvaro Reinoso**

La Tarea Álvaro Reinoso por su envergadura, alcance socio-económico, político y medioambiental lo conforman cinco grandes programas y una veintena de subprogramas, donde todos tienen un fin común: disminuir los costos de la tonelada de azúcar, la búsqueda de mayor valor agregado, ser competitivos en la producción de caña y azúcar, llevar más alimento a la población mediante la diversificación y desarrollar una agricultura sostenible

Para esto el programa selecciona las instalaciones industriales de mejor desenvolvimiento operacional, mayor eficacia productiva y más alto potencial para la diversificación de su producción, así como los suelos con mayores cualidades para el cultivo de la caña. Esta tarea ha transitado hasta el presente por dos etapas cruciales en el desarrollo al que ha convocado la alta dirección del país, programa de cambios conducidos a la Reversión o Redimensionamiento de la Agroindustria, así como el cuidado y mejora de los servicios en los bateyes agro-azucareros. En esta fase inicial, lo más significativo resulta ser el tratamiento

social, laboral y salarial proporcionado a los trabajadores disponibles tras la reestructuración en el sector cañero-azucarero.

El éxito de la segunda etapa de la tarea era crear nuevas fuentes de empleo, diversificar la producción y alcanzar mayor eficiencia agrícola e industrial, así como darle continuidad a los avances, establecer nuevas metas y cumplir con los programas y subprogramas pendientes de la etapa anterior. Una cuestión importante es que, en lo adelante, sólo se va a destinar el 38% de las tierras que históricamente se empleaban en el cultivo de la caña a ese propósito, y se pretende que el resto se ajuste a la producción de alimentos, la ganadería y la actividad forestal. Los problemas que existen hoy en el empleo del potencial de tierra existente a escala global indican que la materialización de este proyecto va requerir de gran esfuerzo, unido al problema adicional de la falta de recursos financieros. Para lograr los objetivos trazados fue creada en el 2002 la “Compañía Azucarera Internacional SA.”, cuya misión es la comercialización de los azúcares cubanos dentro y fuera de la isla, promover la diversificación y buscar nuevas formas de negociación. A esta empresa le corresponderá la exportación de todo el azúcar producido en el país, función que antes realizaba CUBAZUCAR, empresa perteneciente al Ministerio de Comercio Exterior, de esta forma, todo el proceso de producción y comercialización del dulce quedaría alineado en una sola institución lo que permitirá mayor agilidad en las decisiones y mayores beneficios a los productores directos.

De igual modo fue creada una segunda empresa, la Corporación Financiera Azucarera S.A. (ARCAZ), la cual tendría como objetivo buscar soluciones financieras flexibles y facilitar la articulación de la industria con sus proveedores, la promoción de proyectos de inversión y las relaciones con financistas externos, suministradores y exportadores. El proyecto cubano que

comienza en el año 2001 contempló el cierre de 70 de los 155 ingenios en activo y la reconversión del 62% del área agrícola cañera en zonas de producción agropecuaria. Prevé mantener el potencial productivo en 4 millones de toneladas de azúcar por año, sin renunciar a la posibilidad de crecimientos productivos si las condiciones del mercado lo permiten. La propia Tarea establece como objetivo de los rendimientos agrícolas cañeros cosechar 54 t/ha y lograr rendimientos industriales del 12%; las 54 t/ha son un objetivo pero no un límite insuperable, es decir, está comprobado que se puede, por las condiciones existentes en las áreas cañeras cubanas, junto al desarrollo de técnicas agrícolas de punta, superar esa cifra. Finalmente un nuevo proceso estableció un total de 44 empresas, las que debían producir azúcar para el consumo nacional y una pequeña parte para la exportación con un máximo de 2,5 millones de toneladas. En la provincia de Santiago de Cuba, se quedan moliendo un total de cinco centrales. En la actualidad, el antiguo MINAZ toma el nombre de "Grupo Azucarero AZCUBA", como motivo de los nuevos cambios en la política económica existente.

Desde Pinar del Río hasta Guantánamo se encuentran distribuidas 1'300.000.00 hectáreas del cultivo de caña de azúcar que Cuba dispone para su producción con diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas. La composición de variedades y cepas se ha conformado a través del tiempo por técnicos con mucha experiencia en esta labor y se ha ido perfeccionando, pero siempre han primado criterios completamente empíricos, además se ha optado por la siembra de una variedad por criterios de la región o zona y no por el comportamiento en los bloques cañeros. En Cuba la estructura de variedades ha cambiado mucho, se han introducido nuevas variedades que han sustituido a otras que se han desechado. Cada etapa se ha caracterizado por un movimiento en este sentido, donde han prevalecido

siempre los criterios de altos rendimientos agrícolas e industriales, resistencia a las enfermedades y otros, fundamentalmente por zona cañera.

En la etapa 90 - 99 los rendimientos agrícolas han sufrido variaciones debido fundamentalmente al período especial, que tiene en cuenta la falta de aplicación de fertilizantes, herbicidas y riego. Una muestra de estos rendimientos por variedad en el período señalado se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 1.2 Rendimientos agrícolas por variedades a nivel de país. Etapa 90 - 99 (t/ha)**

Variedades	Periodo analizado						
	1990	1992	1994	1996	1997	1998	1999
JA60-5	53,56	43,82	33,85	32,31	29,13	28,62	31,02
C323-68	66,07	52,96	41,65	38,73	37,45	36,42	39,16
C120-78	-	59,55	37,70	36,93	33,76	32,65	32,31
C 266-70	50,39	45,33	32,22	25,02	27,76	28,62	26,99
MY5514	45,67	40,02	31,02	30,93	28,88	30,76	33,93
CU 87-51	51,50	44,13	34,53	33,16	33,16	34,36	34,88
CP 52-43	56,30	48,93	34,79	36,59	36,76	35,13	36,85
C 1051-73	61,61	49,79	36,93	36,16	33,76	34,02	38,99
TY 70-17	51,16	44,13	-	30,25	28,28	26,82	35,56
JA 64-19	52,87	41,73	32,82	30,68	29,13	29,22	28,79

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

Como se puede apreciar en el año 1990 se obtuvieron los mejores resultados comenzando luego a decaer por razones antes explicadas y a su vez por la desaparición del campo socialista, factor que garantizaba el desarrollo eficiente de la agroindustria azucarera cubana. El rendimiento promedio de esta etapa fue de 35 t/ha. En esta etapa fueron decayendo las variedades de mayor rendimiento como son la JA 60-5 y la B-4362 y otras, producto de enfermedades como la Roya y el Carbón.

Según el último análisis nacional se está trabajando con cerca de 20 variedades comerciales, de ellas 11 ocupan más del 86% y aunque se disponen de más de 30 variedades en extensión, el ritmo con que las nuevas variedades se introducen y pasan a ocupar un lugar comercial importante es aún lento con diferencias sustanciales entre las provincias.

El Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) en coordinación con su vice-ministerio propuso desarrollar un nuevo servicio de variedades y semillas (SERVAS). Este servicio pretende consolidar los conocimientos previamente adquiridos referente al correcto empleo de las variedades y consolidar la aplicación de modernas herramientas y procedimientos tecnológicos que permitan paulatinamente ir sustituyendo la primacía del conocimiento empírico, por el empleo de toda la información documental disponible, previamente almacenada en bases de datos y procesadas con el auxilio de programas y sistemas especializados, que permiten conocer la estructura de variedades en el pasado y a partir de ahí tratar de encontrar la presente, pero al surgir nuevas variedades la información resultante es valiosa pero no ofrece los elementos necesarios para determinar una estructura óptima de variedades, pues el comportamiento por bloques está ausente. Este sistema informático se implementó a partir del año 1999 y continúa hasta la actualidad.

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

**Tabla 1.3 Estructura de variedades sembrada a nivel nacional. Etapa 2004-2007**

<b>Variedades</b>	<b>% del área que ocupan</b>
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
<b>Total</b>	<b>100.0</b>

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 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 siguiente tabla:

**Tabla 1.4 Estructura de variedades de caña en la provincia Santiago de Cuba en %. Año 2008**

<b>Variedades</b>	<b>% que ocupan</b>	<b>Variedades</b>	<b>% que ocupan</b>
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		
<b>Total</b>			<b>100.00</b>

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

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 40t/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.

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:

**Tabla 1.5 CPA “26 de julio”. Estructura de variedades**

<b>Variedades</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>%</b>
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
<b>Total</b>	<b>272,53</b>	<b>100</b>

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

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 Cooperativa de Producción Agropecuaria (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”.

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.

## **1.2 Importancia en la selección de la estructura de las variedades de caña**

El problema de la estructura de las variedades de caña siempre se ha priorizado dentro del marco azucarero cubano. Como las variedades son susceptibles a las condiciones del clima y a las enfermedades las empresas azucareras han tenido en cuenta esta estructura debido a que ante uno de estos escenarios la empresa se podría encontrar en una situación inestable sino

contara con una estructura adecuada de variedades. Esta estructura se ha conformado por técnicos con mucha experiencia en esta labor a través del tiempo, donde los criterios empíricos han primado siempre.

Por otro lado, también es un factor importante al realizar la estructura de variedades el comportamiento de los rendimientos agrícolas promedios por variedad, lo que incluye las cepas. Debido a largos períodos de sequía y algunos de mucha lluvia, lo que incluye el período especial, que significó la falta de aplicación de fertilizantes, herbicidas y falta de riego estos rendimientos han variado mucho en nuestro país.

### **Descripción general de la problemática a tratar**

La zafra está compuesta por varios eslabones fundamentales, de su buen funcionamiento depende el éxito de la misma, estos eslabones son:

- 1- Preparación de tierra
- 2- Siembra
- 3- Cultivo
- 4- Corte
- 5- Alza y Tiro
- 6- Proceso Industrial

Entre las causas fundamentales que no permiten alcanzar los rendimientos potenciales agrícolas e industriales está la estructura incongruente de variedades y cepas, así como la política de reposición, esto lo demuestran estudios realizados en los diferentes centrales

azucareros de Cuba. Esta incongruencia conduce también al desfase en el proceso de corte, que consiste en cortar la caña fuera de su período óptimo de edad o por otras especificaciones que se aplican a las variedades en la etapa de cosecha; una correcta estructura de variedades y cepas tiene una importancia decisiva para lograr el mínimo de desfase de todo tipo.

Anteriormente se han manejado algunos criterios que buscan facilitar el proceso para la determinación de la estructura de variedades y cepas de una empresa azucarera, pero no ha existido la rigurosidad científica en este sentido. Una de las limitantes ha sido el tamaño del conjunto de alternativas posibles ya que una misma variedad puede arrojar rendimientos muy diferentes en dependencia de las cepas sembradas, factores edafoclimáticos<sup>1</sup>, técnicas de laboreo y otros.

**Selección de variedades:** todas las variedades no tienen el mismo período de maduración, es por ello que cada una teniendo en cuenta la cepa y edad de acuerdo con la época en que se siembra madura en un período determinado. Cuba para la selección de variedades comerciales sigue la estrategia siguiente:

- Altos rendimientos agrícolas e industriales
- Resistencia a la sequía y al exceso de humedad
- Posibilidad de mecanización
- Resistencia a las enfermedades

Por otra parte, debido a los ataques de plagas o enfermedades que puedan afectar algunas variedades pero no a todas es necesario contar con lo que se denomina composición de

---

<sup>1</sup> Características del suelo y el clima predominantes en una región.

variedades, de manera que esto permita en un momento dado, mantener un nivel mínimo de producción.

Para la selección de variedades se toma en cuenta el comportamiento de sus parámetros en cada una de las regiones del país, así se establecen variedades que pueden sembrarse a nivel nacional, provincial y regional.

La preparación de la zafra requiere de sumo cuidado para que se puedan cumplir los diferentes requisitos relacionados con las variedades, debido a que si la siembra no se efectúa en el momento indicado, esto repercutirá en la edad de la caña al ser cortada; por otra parte, si la zafra no se efectúa de acuerdo con lo programado, esto trae como resultado que en la próxima contienda no se cumplan los lineamientos establecidos con el consiguiente deterioro de la producción de azúcar.

**Cepas:** La caña en dependencia del momento del año que se siembre recibe un nombre, esto es conocido como cepas. De ahí que existan varias cepas entre las que se encuentran la de primavera del año, primavera quedada y frío las cuales tienen el siguiente orden de cosecha:

- Primavera quedada: en general no deben cortarse después de enero, con una edad mínima de 17 meses.
- Primavera del año: deben cortarse con una edad de 12 meses en toda la etapa de zafra.
- Frío: debe cortarse de febrero a marzo con una edad mínima de 15 meses.

**Suelos:** Este es un factor que influye de manera decisiva en la madurez de la caña por lo que es de gran importancia. En todos los suelos se aceptan todo tipo de cepas, lo que no imposibilita que de acuerdo con sus características (salinidad, drenaje, etc.), las cepas sufran deterioro.

Entre las deficiencias que podemos encontrar en el proceso de siembra de la caña se encuentra que existe más de una variedad sembrada en el mismo bloque lo cual contribuye al desfase y que en muchos casos no se han aplicado métodos científicos que admitan una mejor adaptación de las variedades a las características del suelo y por ende, una mayor producción de azúcar. Todo esto ha conducido a un aumento de los costos, tanto por fertilizantes, maduradores, enfermedades, entre otros elementos.

Las empresas azucareras cubanas tienen elementos suficientes dentro de su organización para lograr una determinada composición de variedades y cepas lo que como casi nunca esta estructura proyectada se lleva a cabo se ocasionan serios trastornos en los estimados<sup>2</sup> de caña y los rendimientos por hectáreas en cada zafra.

La existencia de una buena estructura de variedades y cepas permitiría:

- Obtención del máximo de las toneladas métricas de azúcar por hectárea.
- Eliminar o minimizar el desfase de todo tipo.
- Mejor utilización de los recursos humanos y materiales en la programación del corte.
- Disminución de los costos de producción al lograr mayores volúmenes de caña por área sembrada.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado se ha trazado una política para ir cambiando la actual estructura de variedades por otra que sustituya las variedades decadentes. Como la tarea planteada es tan compleja es necesario utilizar técnicas de avanzada, que en este caso sería la modelación económico-matemática vinculada a los sistemas informáticos, que

---

<sup>2</sup> Término que utiliza el Grupo Azucarero AZCUBA para definir la producción de caña.

permitan dar solución eficiente al problema tratado lo que implica determinar la estructura óptima de variedades y cepas en perspectiva a nivel de entidad y empresa azucarera, que permita al mismo tiempo llevar el plan de siembra actual a la situación perspectiva por etapas.

Sin embargo, para realizar cualquier análisis realista de los problemas del desarrollo es necesario conocer que la economía es un sistema social interdependiente donde las fuerzas económicas y no económicas actúan al unísono, a veces en un mismo sentido y otras en sentido contrario. Si no se tiene en cuenta esto la política está condenada al fracaso.

Existen razones de peso que podrían obstaculizar la aplicación de la modelación económico-matemática y la computación para la determinación de la estructura óptima de variedades y cepas, entre ellas se encuentran:

- Insuficiente importancia brindada a la solución obtenida por parte de estas técnicas, lo cual puede provocar un bajo grado de introducción de los resultados.
- Alteración de la composición de cepas debido a la necesidad de cumplir los compromisos internacionales.
- Descoordinación por diferentes causas de los factores relacionados con la introducción de resultados.

Todo lo planteado anteriormente hace que el tema tratado tenga gran actualidad al ofrecer alternativas sobre la base de una nueva organización de la estructura de variedades y cepas, que favorezca la recuperación cañera y al mismo tiempo disminuya los costos de producción de azúcar a través de un proceso productivo más eficiente.

### **1.3 Revisión bibliográfica.**

Sobre el tema se hizo un estudio bibliográfico que consistió en la revisión de:

- Tesis de doctorados y diplomas de grado relacionados con el tema de organización de la cosecha cañera y de la estructura de variedades y cepas.
- Literatura sobre modelación económica matemática y su aplicación en los procesos de producción de caña y azúcar.
- Búsquedas en INTERNET.

#### **Tesis de doctorados y diplomas de grado relacionados con el tema de organización de la cosecha cañera y de la estructura de variedades y cepas.**

En la revisión de tesis de doctorados y diplomas de grado se encontraron referencias sobre el tema a tratar. Entre los trabajos se destaca el de la Lic. Kenia Borges Raymond en el CAI Julio Antonio Mella de la provincia Santiago de Cuba. Ella aborda la problemática de la siembra teniendo en cuenta la optimización tanto de la estructura de variedades como de cepas, considerando los aspectos cruciales de los requerimientos de reposición en cada centro de recepción, cumplimiento de los lineamientos referidos a las variedades y cepas, así como las demoliciones y capacidad operacional, maximizando la esperanza matemática de las arrobas de poll por caballería de la variedad-cepa en cada decena para el centro de recepción analizado.

Sin embargo, no brinda una solución coherente en el sentido de que aunque los resultados expresan la cantidad de arrobas a moler de cada variedad-cepa, no responde a la interrogante de en qué bloque debería ser sembrada esa variedad de acuerdo al impacto de adaptación para poder obtener los mayores rendimientos agrícolas y, por ende, mayor producción de azúcar con

menores costos. Tampoco da solución a la necesidad de que en cada bloque sea sembrada una sola variedad. Pese a estas deficiencias es el primer intento que se hace para abordar esta problemática, mediante la modelación matemática.

Por otra parte se encuentra la del Dr. C. José Antonio Naranjo López el cual determina la estructura óptima de variedades y cepas a través de un modelo matemático de programación entera binaria soportado por un sistema informático; así como también la de la Lic. Elianne Noa Góngora.

También se revisaron diferentes aplicaciones de modelos económico -matemáticos en la industria azucarera, distinguiéndose los trabajos realizados por los autores: Dr Cs Ramón Rodríguez Betancourt, Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Oriente; Dr C Raimundo Lora Freyre, Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Oriente lo que permitió tener un conocimiento más abarcador, además se profundizó en los aspectos económicos relacionados con la producción de caña y la producción de azúcar así como también tomar elementos sobre la metodología de la investigación llevada a cabo y los distintos enfoques económicos para destacar el impacto que tiene el tema tratado.

### **Literatura sobre modelación económica matemática y su aplicación en los procesos de producción de caña y azúcar.**

En la literatura analizada no se encontraron aplicaciones concernientes al tema tratado. No obstante, el estudio de los planteamientos de problemas de Programación Entera Binaria, permitió perfeccionar las restricciones del problema. Como el método de optimización que se

maneja en nuestra investigación es la Programación Entera Binaria se hará una breve reseña de este método.

Para la solución de problemas económicos en el aspecto de la planificación los métodos más utilizados son los de optimización lineal y en enteros. Esto se debe a que con respecto a otros modelos, éstos presentan una serie de ventajas tales como: el planteamiento matemático no resulta complejo, flexibilidad en la descripción matemática de los procesos económicos, se disponen de algoritmos de solución y programas computacionales confiables, entre otros.

El problema de Programación Entera ha sido desarrollado por autores como Charnes y Cooper y publicado en su libro: *Management model and industrial applications of Linear Programming*. Existen otros autores foráneos que por medio de sus obras han favorecido el perfeccionamiento de la Programación Entera: S. Hillier, J. Lieberman; F.J. Gould, G. D. Eppen; Herber Moskowitz, Gordon Wright, entre otros. Todos abordan en líneas generales aspectos teóricos y prácticos relacionados con la formulación y algoritmo de solución del problema de Programación Entera. Con relación al problema de Programación Entera utilizando variables binarias 0,1, el algoritmo más empleado es el de ramificación y acotamiento, el cual es utilizado por los programas profesionales como el Lindo y el Hyperlindo. Las situaciones prácticas referidas en sus obras son muy sencillas e ilustrativas, aunque dan una idea del problema objeto de estudio, sobre todo en el aspecto computacional.

En Cuba últimamente en el ámbito empresarial se ha alcanzado cierto desarrollo en la aplicación a la planificación de la modelación económico – matemática soportada por sistemas informáticos.

Actualmente distintos aspectos de la planificación de la zafra constituyen objetivos principales para la introducción de métodos modernos que permitan la realización eficiente de todo el proceso de producción de azúcar. Esto desde luego presenta una situación diferenciada de acuerdo con el desarrollo computacional obtenido por cada provincia y empresa azucarera.

### **Búsquedas en INTERNET.**

En Internet se revisaron los siguientes sitios Web:

[garinfo.co.ok](http://garinfo.co.ok), [wsro.org](http://wsro.org), [sugaronline.com](http://sugaronline.com), [geplacea.inp.mx](http://geplacea.inp.mx), [aksugar.co.ae](http://aksugar.co.ae), [Illovosugar.com](http://Illovosugar.com), [monitorsugar.com](http://monitorsugar.com), [sucrose.com](http://sucrose.com), [wiedemann.com](http://wiedemann.com), [sugartech.co.za](http://sugartech.co.za), [cenicana.org](http://cenicana.org), [assct.org](http://assct.org), [sri.org.au](http://sri.org.au), [sagar.gob.mx](http://sagar.gob.mx), [inazucar.gov.do](http://inazucar.gov.do), [sugarmark.org](http://sugarmark.org), [monografias.com](http://monografias.com), [unica.com.br](http://unica.com.br), [sugar.ca](http://sugar.ca), [hulets.co.za](http://hulets.co.za), [eleconomista.cubaweb.cu](http://eleconomista.cubaweb.cu), [bohemia.cubaweb.cu](http://bohemia.cubaweb.cu), [jrebelde.cubaweb.cu](http://jrebelde.cubaweb.cu), [www.edualter.org](http://www.edualter.org), [www.méxico-businessline.com](http://www.méxico-businessline.com).

Aunque no se encontraron antecedentes del tema que se trata esta búsqueda permitió tomar elementos para perfeccionar la investigación. De esta manera se logró tener un mejor punto de vista acerca de la problemática a tratar y las posibilidades de llevar a cabo todo el trabajo así como sus perspectivas. Además se adquirió un vasto conocimiento del impacto que tiene el azúcar y sus derivados en el mercado mundial. Todo lo anterior permitirá desarrollar:

- La determinación de la estructura de variedades en la CPA 26 de julio, asignándosele a cada bloque la variedad y cepa que debe ser sembrada, lo cual es validado por la empresa azucarera.
- Se calculará el incremento de los rendimientos agrícolas y la producción de azúcar en la entidad con la estructura propuesta.

- Se realiza una proyección zafra por zafra, a partir de la situación actual, para determinar el tiempo en que la entidad culminará con la aplicación de la propuesta.
- Se realizará una comparación de los rendimientos agrícolas e industriales actuales con los que se pueden obtener a través de la optimización de la estructura de variedades y cepas.

Los estudios realizados acerca de la optimización de la estructura de variedades y cepas en una empresa azucarera, planteados y aplicados por los autores principales, permitieron al autor de la presente investigación perfeccionar los anteriores enfoques así como lograr una mayor precisión en los resultados.

**CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN E  
IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA ÓPTIMA DE VARIEDADES Y CEPAS  
EN LA CPA 26 DE JULIO DE LA UEB PAQUITO ROSALES.**

**2.1 Metodología de la ciencia de la administración - investigación de operaciones**

Encontrar una estructura óptima de variedades y cepas es un proceso complejo, pues se necesita conocer, para las mismas condiciones de una región, la respuesta de cada variedad y cepa en cada bloque; cuando el número de variedades es  $m$ , el número de cepas es  $n$  y el número de bloques es  $f$ ; es necesario encontrar  $m*n*f$  combinaciones posibles y a partir de aquí seleccionar aquella que maximice los resultados a alcanzar.

En la medida que  $m$ ,  $n$ , y  $f$  crecen, el número de combinaciones posible se hace muy grande, por lo cual evaluar cada combinación para hallar el óptimo, se hace prácticamente imposible. Lo que se requiere en estos casos es la aplicación de la modelación económico - matemática asociada a los sistemas informáticos, de manera que se obtenga de la forma más eficiente posible la solución buscada.

Para la aplicación de la modelación económico - matemática hay que partir de los siguientes supuestos para el problema objeto de investigación:

- Existencia de alternativa en las decisiones.
- Posibilidades de crear una base informática.
- Posibilidades mínimas para poder aplicar los resultados obtenidos.

Estas condiciones no siempre están dadas totalmente y el hecho de que en algunas de ellas el cumplimiento sea parcial, debe verse enriquecido por el equipo de trabajo que lleva a cabo la

investigación. Lo que se trata es de lograr que la solución óptima hallada pueda instrumentarse, lo cual se cumple cuando la misma está lo más cerca posible de la realidad y presenta ventajas de cualquier tipo con respecto a la situación actual.

A continuación se presenta una secuencia de pasos para llevar a cabo este procedimiento, adicionándole la experiencia acumulada en esta investigación:

- Observación e identificación del problema
- Formulación general para la construcción del modelo
- Construcción del modelo
- Generación de una solución
- Prueba y evaluación de la solución

### **Formulación general para la construcción del modelo.**

La formulación del problema no necesariamente tiene relación con el problema científico que se plantea en la investigación. Es una descripción narrativa de las variables y parámetros, las restricciones y la función que se desea minimizar o maximizar, lo que representará el objetivo y la posibilidad de obtener la información con el grado de confiabilidad necesaria para plantear y resolver el modelo matemático, así como también ciertas ideas generales con respecto a las relaciones que existen en el modelo. La descripción verbal del problema es un elemento muy importante de la etapa dos, porque es la base sobre la cual se planteará el modelo matemático.

## **Construcción del modelo**

En la etapa de construcción del modelo se examinan los factores identificados en la etapa dos para diferenciar entre las variables controlables y las no controlables. Las variables controlables pueden manipularse o modificarse por quien toma las decisiones; las variables no controlables no pueden cambiarse. Si las variables no controlables son muchas, el planteamiento del problema no tiene sentido. Para ayudar a plantear el modelo matemático, la persona que toma las decisiones debe identificar las variables controladas relevantes. Con base a estas variables y relaciones claves que se han identificado y documentado en el modelo verbal, el constructor del modelo estructurará uno, que describe en términos matemáticos el problema, es decir el conjunto de restricciones. En ocasiones resulta necesario hacer algunas consideraciones que limiten el problema real para que este pueda resolverse. Con bastante frecuencia es necesario probar un planteamiento inicial del modelo para determinar las consideraciones que deben hacerse, formando esto parte de la etapa preparatoria de la introducción de resultados mediante juegos de implementación.

### **Quien construye el modelo debe:**

1. Trabajar con quien toma las decisiones para identificar de forma apropiada el problema.
2. Obtener retroalimentación de quien toma las decisiones con respecto a la validez del modelo.
3. Trabajar con quien toma las decisiones para implementar y utilizar el modelo.

En la construcción del modelo existen dos formas: el planteamiento de trabajo, el cual cubre una etapa primitiva donde se añaden y eliminan variables y restricciones hasta lograr la forma más apropiada del modelo; el planteamiento general, que se utiliza para la divulgación del trabajo de investigación en metodologías, artículos, monografías y tesis de grado.

### **Generación de una solución.**

El desarrollo del algoritmo o proceso de solución ocurre en la etapa cuatro. En la práctica real existe cierto grado de retroalimentación entre las etapas tres y cuatro, dado que debe tenerse la seguridad de que el problema planteado en la etapa tres satisface todas las condiciones o consideraciones que el algoritmo utiliza en la cuarta etapa. Generalmente en esta etapa se utilizan programas profesionales como son: el Lindo, Hyperlindo, LindoW y otros.

La aplicación de estos programas representa un avance para obtener soluciones a los problemas de programación matemática, sin embargo desde el punto de vista de la introducción de resultados presentan desventajas, ya que los usuarios deben entrenarse en las complejidades que significa la utilización de los mismos. Además, las soluciones halladas tienen que ser tratadas con vistas a introducirlas en los modelos estadísticos solicitados por los organismos superiores, por tanto, un avance de largo alcance para facilitar la tarea es la incorporación de sistemas informáticos hechos a la medida y que utilizan interfaz con los sistemas profesionales antes mencionados debido a la gran precisión que brindan estos sistemas en la solución obtenida.

## **Prueba y evaluación de la solución**

En la etapa cinco se evalúa y se aprueba la solución del modelo adoptado o desarrollado en la etapa cuatro con el objeto de determinar si produce resultados útiles para el problema original. Pueden utilizarse diversos procedimientos para probar el modelo. En primer lugar, quien toma las decisiones solamente puede examinar los resultados y hacer algún juicio con respecto a cuan razonable es.

En segundo lugar es posible adoptar el procedimiento de prueba a través del cual se utilicen situaciones históricas previas como modelo base, es decir, puede introducirse información proveniente de una decisión previa al planteamiento del modelo y comparar los resultados con lo que ocurrió en realidad, sin importar si se utiliza uno de estos procesos de prueba, o ambos, para evaluar la solución obtenida; si no satisface las necesidades de quien toma las decisiones ésta debe modificarse, lo cual incluye la revisión del planteamiento matemático inicial.

Con bastante frecuencia el proceso de revisión implica añadir y eliminar variables, pero podría implicar volver al problema observado originalmente. Este proceso es sumamente cuidadoso y debe realizarse con la debida profundidad. En última instancia lo que decide que la solución se implante es fundamentalmente el ahorro que produce la nueva solución con respecto a la situación actual, para esto es necesario realizar un análisis de los costos, rendimientos de cualquier tipo, productividad del trabajo, ahorro de materias primas y materiales entre otros.

## **Implementación**

El problema general de la implementación es determinar qué actividades del científico y de la dirección de la producción son más apropiadas para producir una relación efectiva. La mayoría de los especialistas reconocen que la implementación comienza el primer día del proyecto y no cuando se ha obtenido la solución del modelo y ya está operando. 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 que los miembros de la organización se adapten a los cambios que son necesarios.

El proceso de descongelamiento conlleva al desmantelamiento del sistema actual y la implementación paralela del sistema propuesto. El proceso de cambio comprende la fase de desarrollo y la fase operativa y debe considerar dos etapas:

- Implementación
- Control

La transformación o implementación se debe lograr fundamentalmente por el mantenimiento del entrenamiento al personal de la empresa encargado de la introducción, operación y corrección del nuevo sistema propuesto y estar al tanto de las nuevas situaciones que se presenten para darle solución a las mismas; para esto es necesario continuar con las pruebas prospectivas en una escala tan modesta como sea posible, es decir sobre una parte tan pequeña del sistema como la que se pueda utilizar efectivamente para este propósito.

La prueba retrospectiva o control puede utilizarse para probar la superioridad de la solución hallada mediante las técnicas de optimización. Esta superioridad significa incremento de la eficiencia y de la rentabilidad, entre otros.

Otro aspecto importante de la validación es no aferrarse a la solución obtenida mediante la computadora. Esta solución siempre representará una aproximación de la realidad y con la ayuda del grupo introductor de la empresa objeto de estudio, pueden realizarse modificaciones post modelo que ayuden a una mejor implementación, lo cual incluye el análisis de sensibilidad. En este sentido el criterio de optimalidad puede brindar soluciones sustitutas, en caso de que se presenten problemas de tipo material, humano o financiero para la implementación de la solución obtenida.

El congelamiento se refiere a que el nuevo sistema propuesto ya ha sido implementado y se obtiene como resultado el éxito de la operación.

### **Perfeccionamiento y desarrollo**

Dado que no es raro que un modelo se utilice de forma repetida en el análisis de problemas de decisión, los resultados de la implementación de la solución del modelo deben evaluarse en forma continua para determinar si los valores de los parámetros han cambiado y/o analizar si el modelo sigue satisfaciendo las metas de quien toma las decisiones. Si las características del problema cambian, si no se están cumpliendo las metas de quien toma las decisiones o existen nuevas metas a cumplimentar, entonces debe considerarse una modificación en la concepción y planteamiento del modelo. En este sentido se debe evaluar el costo de la modificación, si éste es mayor que el ahorro producido debe discontinuarse la introducción.

En esta etapa se debe ser insistente y perseverante para que la implementación no pierda continuidad y se consolide.

Con estas premisas y tomando en cuenta que el problema a resolver cumple con los supuestos correspondientes para la utilización de la modelación económico - matemática, tiene lugar la siguiente formulación general.

## **2.2 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<sub>ij</sub>:** Conjunto de bloques donde se puede sembrar la variedad  $i$  en la cepa  $j$

**V<sub>k</sub>:** 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.*

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

Grupo de restricciones de tipo 2

Cada bloque admite solamente una variedad y cepa.

$$\sum_{i \in V_k} \sum_{j \in C} X_{ijk} = 1 ; \quad k \in A$$

Grupo de restricciones de tipo 3

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

$$\sum_{j \in C} \sum_{k \in A_{ij}} d_k X_{ijk} \leq a_i ; \quad i \in V$$

$$\sum_{j \in C} \sum_{k \in A_{ij}} d_k X_{ijk} \geq b_i ; \quad i \in V$$

Restricción de tipo 4

Cumplimiento del plan de azúcar para la entidad.

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in C} \sum_{k \in A_{ij}} m_{ijk} X_{ijk} \geq PA$$

### 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

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

### *Función objetivo*

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

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.

### **2.3 Confección de la base informática y obtención de la solución**

Se entiende por aseguramiento informático al conjunto de datos, indicadores, documentos, clasificadores y ficheros que forman la base informativa del modelo y los métodos y medios para la selección, clasificación, almacenamiento, búsqueda, actualización y elaboración de la información que aseguren los datos necesarios para solucionar las tareas funcionales y la información requerida por todos los usuarios.

La información primaria para el desarrollo del modelo utilizado se obtuvo de los sistemas informáticos utilizados en la CPA 26 de julio, lineamientos nacionales y provinciales del Grupo Empresarial AZCUBA y GEA respectivamente y criterios de expertos de la empresa azucarera y la entidad.

#### **Coefficientes y parámetros del modelo:**

- N<sub>ij</sub>** Se obtiene de la cantidad de bloques que admite la variedad *i* y cepa *j*.
- a<sub>i</sub> y b<sub>i</sub>** Representan respectivamente las áreas máximas y mínimas dadas en ha que puede ocupar la variedad *i*.
- C<sub>ijk</sub>** Puntuación que refleja la adaptación que tiene la variedad *i* y cepa *j* en el bloque *k*. Este coeficiente es el resumen dado en puntos de las características de cada variedad y cepa en cada bloque.

El resultado final se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\sum_{h \in H} P_{ijkh} \cdot t_h \quad (2.1)$$

donde:

**H** Es el conjunto de características, con elemento típico  $h$ . Estos elementos se presentan a continuación:

- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Contenido azucarero    | 6. Factor Fibra – Meollo |
| 2. Período de maduración  | 7. Resistencia al Borer  |
| 3. Incidencia de la Roya  | 8. Salinidad del suelo   |
| 4. Incidencia del Carbón  | 9. Profundidad del suelo |
| 5. Rendimientos agrícolas | 10. Drenaje              |

donde:

**P<sub>ijkh</sub>** Es el puntaje promedio de la variedad  $i$  y cepa  $j$  en el bloque  $k$ , para la característica  $h$ . La puntuación puede tener determinado rango, en este caso el escogido es de uno a diez, de manera que se pueda realizar una medición con una precisión aceptable. A continuación se presentan estos rangos:

1. Muy bajo
2. Prácticamente muy bajo
3. Bajo
4. Prácticamente bajo

5. Medio
6. Más medio que prácticamente alto
7. Prácticamente alto
8. Alto
9. Prácticamente muy alto
10. Muy alto

Como la función objetivo plantea maximizar la adaptación de la variedad a los bloques, en el caso de las características que se refieren a las incidencias de las enfermedades, la puntuación fue dada en el orden contrario, donde 1 recibe una evaluación de muy alto y 10 de muy bajo, pues mientras más baja sea la incidencia de esas enfermedades en las variedades, mejor será su comportamiento agroindustrial. En cuanto al período de maduración, mientras más precoz sea la maduración de la variedad en el bloque mayor puntuación tendrá. Esto se debe a que la estrategia de zafra plantea moler al inicio, con el mayor aprovechamiento posible de la norma potencial, teniendo en cuenta que el estado técnico de la industria y los equipos a inicio de zafra tienen una mayor garantía.

El factor fibra - meollo, que influye sobre las posibilidades calóricas del bagazo, fue otra de las características analizadas y teniendo en cuenta la experiencia acumulada en la entidad se decidió dar un puntaje a todas las variedades en todos los bloques de 5, o sea, medio.

En cuanto a la salinidad del suelo si la variedad no se afecta obtiene una valoración de 10 puntos y si se afecta obtiene la valoración correspondiente. En relación a la

característica profundidad, si la variedad es capaz de adaptarse a cualquier profundidad del suelo, obtiene una puntuación de 10 puntos, de no ser así recibe el valor correspondiente. Si la variedad no necesita drenaje en el suelo se le asigna 10 puntos, mientras que obtiene la valoración correspondiente en caso de requerirlo.

$t_h$  Es el peso específico de la característica  $h$  por variedades y se utiliza en todas las empresas. Constituye un valor entre cero y uno, y la suma total es igual a 1.

La puntuación para cada característica de la variedad y cepa en cada bloque es obtenida por criterio de especialistas de la subdirección agrícola de la empresa azucarera objeto de estudio.

**PA** Es el plan de azúcar en  $t$  a cumplimentar para la entidad objeto de estudio. Se obtiene de los datos de la empresa azucarera, mediante la siguiente fórmula:

$$PA = RPC * \text{estimado de producción en toneladas métricas del área total de la entidad} / 100. \quad (2.2)$$

donde:

RPC: es el rendimiento potencial de la caña en por ciento.

**$m_{ijk}$**  Producción de azúcar esperada de la variedad  $i$  y cepa  $j$  en el bloque  $k$ . Se calcula multiplicando el rendimiento esperado agrícola de la variedad  $i$  y cepa  $j$  en el bloque  $k$  ( $RAE_{ijk}$ ) por el rendimiento esperado industrial de esa variedad en ese bloque ( $RIE_{ijk}$ ) por el área del bloque  $k$  ( $d_k$ ). Es decir:

$$m_{ijk} = RAE_{ijk} \cdot RIE_{ijk} \cdot d_k \quad ; \quad (2.3) \quad i \in V, j \in C, k \in A_{ij}$$

Los valores de  $RAE_{ijk}$  y  $RIE_{ijk}$  se determinan mediante las siguientes fórmulas:

$$RAE_{ijk} = \sum_{s \in S} RAE_{ijks} \cdot P_{js} \quad ; \quad i \in V, j \in C, k \in A_{ij} \quad (2.4)$$

$$RIE_{ijk} = \sum_{s \in S} RIE_{ijks} \cdot Q_s \quad ; \quad i \in V, j \in C, k \in A_{ij} \quad (2.5)$$

Donde

S Es un conjunto, con elemento típico  $s$ , que identifican el tipo de año, de forma tal que

$$S = \{bueno, regular, malo\}$$

$RAE_{ijks}$  Es el rendimiento agrícola de la variedad  $i$  y cepa  $j$  para el bloque  $k$  para el tipo de año es  $s$ .

$RIE_{ijks}$  Es el rendimiento industrial de la variedad  $i$  y cepa  $j$  para el bloque  $k$  para el tipo de año es  $s$ .

$P_{js}$  Probabilidad de que el año para la cepa  $j$  sea del tipo  $s$

$Q_s$  Probabilidad de que el año sea del tipo  $s$ , en la etapa de zafra.

$dk$  Área del bloque  $k$  en hectárea.

### **Determinación de la probabilidad del tipo de año para el cálculo de los coeficientes ( $RAE_{ijk}$ ) y ( $RIE_{ijk}$ )**

En la planificación agrícola es necesario determinar indicadores de producción de carácter prospectivo, para esto pueden utilizarse dos métodos: el carácter histórico de los indicadores, el

cual se halla utilizando el criterio de la media aritmética, o el criterio de indicador esperado, el cual está asociado a la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. En este caso en particular, los indicadores propuestos tienen un carácter perspectivo.

Como se ha planteado anteriormente, las condiciones edafoclimáticas que priman en el bloque son imprescindibles para el comportamiento de los rendimientos del cultivo; dentro de estas condiciones está incluido el clima, siendo un factor determinante la lluvia.

Se parte en primera instancia de conocer el tipo de distribución que sigue la variable lluvia caída en las regiones cañeras objeto de estudio, para esto se someterá a prueba la información existente en cuanto a la posibilidad de que siga una distribución normal. Esta prueba se presenta en el anexo 1, confirmándose dicha distribución, por tanto se utilizarán las bondades que ofrecen las mismas, para determinar la probabilidad de que el año sea bueno, regular o malo en función de que los meses se clasifiquen de igual forma.

Si se puede calcular la probabilidad de que los meses se clasifiquen en buenos, regulares y malos para todos los meses del año, a partir de normativas de lluvia para cada mes, se puede calcular la probabilidad de que el año sea bueno, regular o malo fundamentado técnicamente. Este indicador será sumamente importante en la planificación agrícola en general, y en lo que se refiere a la planificación de la zafra tomará en cuenta sólo los meses que comprenden el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar.

Para la determinación de que el año sea bueno, regular o malo se considerarán los siguientes elementos:

1. A partir de que queda demostrado, que la variable lluvia sigue una distribución normal, se toma una muestra igual o superior a 30 años por meses y se calcula la media ( $\bar{x}$ ) y desviación típica (s) por meses y su validación mediante la inferencia estadística. Esta validación infiere que estos estadísticos pueden estimar a la media poblacional ( $\hat{\mu}$ ) y su respectiva desviación típica ( $\hat{\sigma}$ ), utilizando el criterio de que la verdadera media poblacional esta comprendida en el intervalo  $\bar{x} \pm 2s$ , con un 95% de nivel de confianza.

De lo que se trata es encontrar un valor para la media dentro de este intervalo que implique la aceptación de la hipótesis nula en la siguiente prueba:

$$H_0: (\bar{x} = \mu)$$

$$H_1: (\bar{x} \neq \mu)$$

2. Determinado el valor medio estimado ( $\hat{\mu}$ ) se calcula la desviación típica estimada ( $\hat{\sigma}$ ), para lo cual se usará la siguiente fórmula:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \hat{\mu})^2}{n - 1}} \quad (2.6)$$

- donde las  $x_i$  son los promedios de lluvia caída por meses.

3. Con la determinación de los valores de  $\hat{\mu}$  y  $\hat{\sigma}$  se puede entonces calcular la probabilidad de que los meses que se consideren sean buenos, regulares y malos a partir de los parámetros mensuales que se consideran por los expertos para la clasificación antes mencionada.

4. Para la determinación de las probabilidades correspondientes, se usará la fórmula:

$$Z = \frac{X - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \quad (2.7)$$

Donde:

$\hat{\mu}$  Es el promedio de lluvia estimada.

$\hat{\sigma}$  Es la desviación típica estimada.

$X$  Es la cantidad de lluvia a caer en los diferentes períodos para considerar la clasificación de los años.

6. A partir del cálculo de la probabilidad para la clasificación de los meses en buenos, regulares y malos, puede obtenerse que el año tenga esta misma denominación, utilizando el teorema de la probabilidad total, cuya aplicación se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$P(A_i) = P(A_i/H_j) P(H_j) \quad (2.8)$$

$P(A_i)$  - probabilidad de que se escoja  $i$  - ésimo año

$P(H_j)$  - probabilidad de que se escoja el  $j$  - ésimo mes

$P(A_i/H_j)$  - probabilidad de que el año sea del tipo  $i$  dado el mes  $j$

De esta manera se obtendrán las probabilidades de clasificación de los años ( $Q_s$ ) y para cada tipo de cepa ( $P_{js}$ ), utilizados en las fórmulas (2.4) y (2.5) del capítulo II.

## **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. Éste 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.

**El sistema realiza las siguientes funciones:**

- Almacenar, procesar y actualizar la información de partida para el planteamiento matemático del problema.
- Calcular todos los coeficientes del modelo.
- Generar el planteamiento matemático del problema bajo estudio.
- Obtener la solución en el mismo formato de salida que la utilizada por la empresa azucarera.
- Realizar una proyección zafra por zafra a partir de la solución óptima del modelo y del plan de demolición de la empresa o entidad según sea el caso.
- Editar y resolver modelos de optimización lineal y en enteros.

Una vez definidas todas las acciones del sistema se procedió a la especificación de su funcionamiento, para lo cual se determinaron dos formas de trabajo representadas como actores:

***Operador:*** Se utilizará para indicar que el usuario que interactúe con el software podrá llevar a cabo las acciones que se realizan con mayor frecuencia, como son: la generación del modelo del problema según los datos actuales, la revisión de los cálculos intermedios y

probabilísticos producto de la generación del modelo, la obtención de reportes, así como la utilización de las herramientas que se ofrecen.

**Administrador:** Este actor tendrá la misión de actualizar la información de las bases de datos y la configuración del sistema, pero además puede realizar todas las actividades del Operador.

### **Requerimientos técnicos para el sistema OPESVAR-10**

<u><i>Hardware</i></u>	<u><i>Software</i></u>
<i>Intel Pentium o superior</i>	<i>Microsoft Windows</i>
<i>32Mb RAM</i>	<i>Borland Database Engine</i>
<i>Aprox. 10Mb disco duro</i>	<i>Microsoft Office</i>

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:

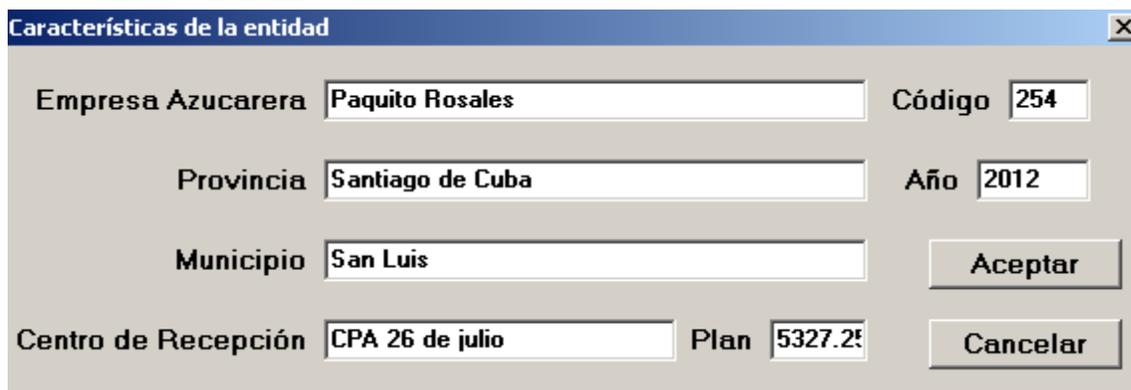


**Figura 2.1** Portada de trabajo del sistema informático OPESVAR -10

### **Entrada de la Información Primaria**

En el menú de entrada existen varias opciones a llenar como información primaria. Para modificar las bases de datos el administrador debe seleccionar alguna de las opciones del menú “Datos”. En el primero se agrupan los datos no vinculados directamente a factores climatológicos, así como los datos de la empresa; se actualizan los datos históricos de la lluvia caída, así como los indicadores de rendimiento. Estos datos son muy importantes ya que a partir de ellos se generan los modelos ajustados a la situación específica para determinar la estructura óptima a sembrar.

Al hacer clic, en el menú “Archivo” se puede observar que la primera opción es “Características de la entidad”, lo cual permite introducir los datos de las zonas que se van a planificar. Un Ejemplo se puede ver en la figura 2.2



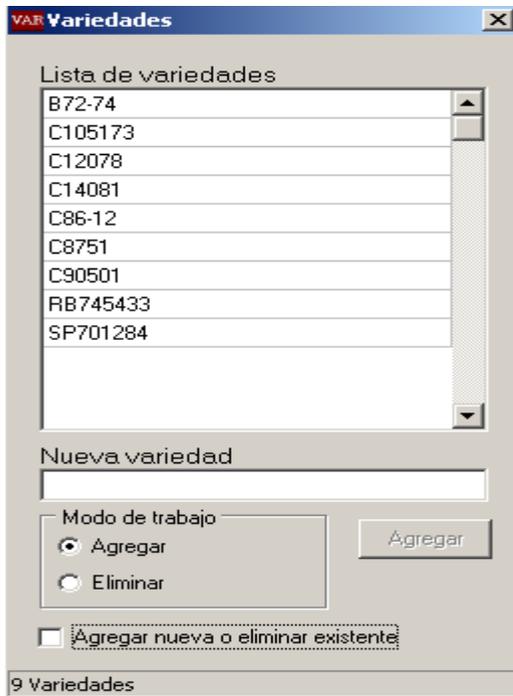
The screenshot shows a window titled "Características de la entidad" with a close button (X) in the top right corner. The window contains a form with the following fields and values:

Empresa Azucarera	Paquito Rosales	Código	254
Provincia	Santiago de Cuba	Año	2012
Municipio	San Luis		
Centro de Recepción	CPA 26 de julio	Plan	5327.25

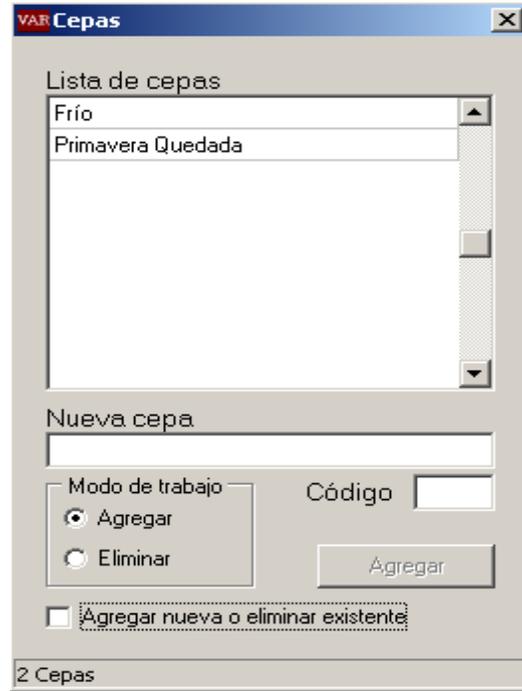
At the bottom right of the form, there are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

**Figura 2.2**

La próxima opción es hacer clic en “Datos”. Aquí se da entrada a toda la información de la entidad que se analiza referente a variedades, cepas, bloques, características, distribución de la siembra, puntaje y por ciento por variedades. A continuación se muestran las ya mencionadas tablas de entrada.



**Figura 2.3**



**Figura 2.4**

Las figura 2.3 y 2.4 muestran las tablas de entrada de las diferentes variedades y cepas que son sembradas en la entidad seleccionada para la aplicación del sistema OPESVAR-10

**Bloques**

Lista de bloques

No.	Área que ocupa
57	30.53
58	28.69
59	43.8
60	41.91
61	62.38
62	45.86
63	27.94
64	31.18
65	60.04
66	43.27

Agregar nuevo o eliminar existente

17 Bloques

**Figura 2.5**

**VAR Características**

Lista de características

Característica	Peso
Cantidad de Azúcar	0,4
Drenaje	0,01
Factor Fibra-Meollo	0,03
Incidencia de la Roya	0,05
Incidencia del Carbón	0,05
Maduradores	0,04
Período de Maduración	0,1
Profundidad	0,01
Rendimiento Agrícola	0,3
Salinidad	0,01

Característica

Peso informacional

Modo de trabajo

Agregar  Eliminar

Agregar nueva o eliminar existente

10 Características

**Figura 2.6**

En las figuras 2.5 y 2.6 se muestran las tablas de entrada de los bloques con sus respectivas áreas y las características fundamentales que tiene el cultivo y los suelos. Debe de percatarse que la suma de las puntuaciones de las características debe sumar siempre uno.

En el menú “Datos” se agrupan las reseñas referidas a factores climatológicos como son los registros de lluvia caída, clasificación de los meses y los rendimientos del cultivo. A continuación se muestra las tablas de entrada correspondiente a los elementos ya mencionados.

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

Figura 2.7

**VAR Rendimiento por variedad, cepa y bloque**

**Variedad**      **Cepa**      **Bloque**  
 C105173           41

Año bueno      Año malo      Año regular  
 90      79      87

[Agregar estos datos]

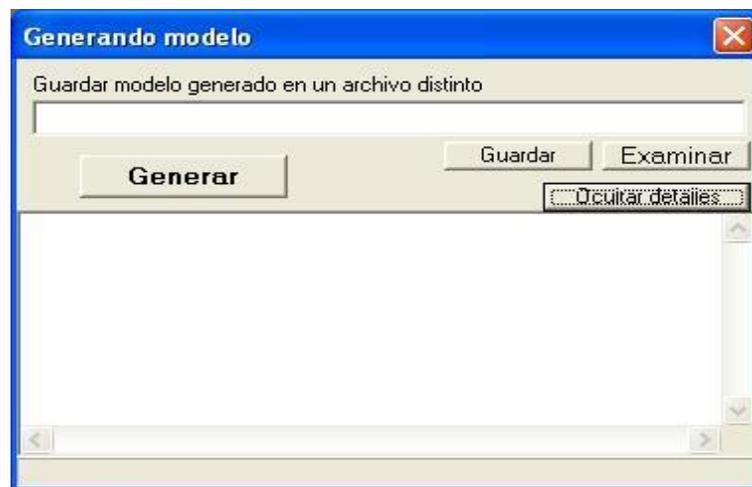
Trabajar con rendimientos industriales

Agrícola

Figura 2.8

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.

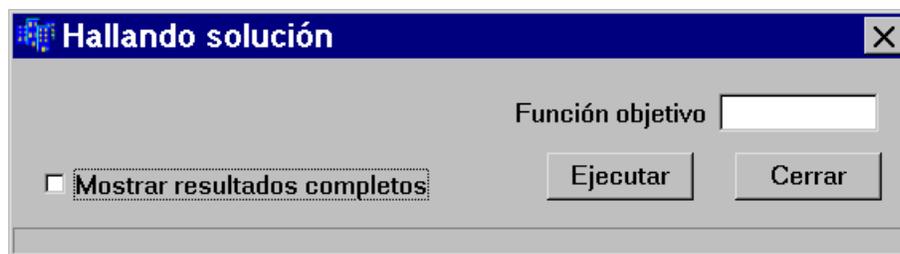
Para generar el modelo se hace clic en el menú “Proyecto” y se elige la opción “Generar modelo”. Posteriormente se hace clic en “Hallar solución” para así obtener la solución. Una muestra de ellos se muestra en la figura 2.9 y 2.10



**Figura 2.9**

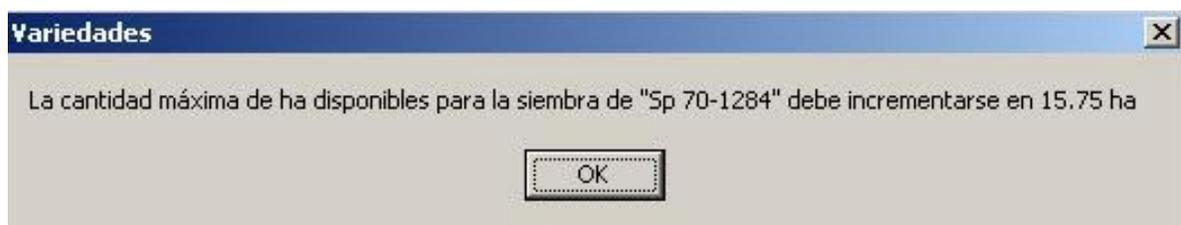
En los detalles se muestra el progreso de la generación y la cantidad de restricciones que se van generando.

El sistema OPESVAR-10 mantiene el registro de la última vez que se genera el modelo, por tanto cada vez que se desee saber la solución de los datos actuales (si no han sido actualizados) puede omitirse este paso. Una vez que se haya generado un modelo se puede hallar la solución al mismo, para lo cual el sistema muestra la siguiente ventana:



**Figura 2.10**

El operador debe presionar el botón “Ejecutar” y entonces el sistema determina la solución del modelo generado y muestra el valor de la función objetivo. Si se activa la casilla de verificación que dice “Mostrar resultados completos” se muestran los valores asignados a las variables en la solución del modelo. 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 en la figura 2.11 un ejemplo de lo anteriormente explicado.



**Figura 2.11**

Para ver e imprimir las propuestas de siembra y demás resultados el operador debe seleccionar el menú “Informes” el reporte de interés. Este menú muestra diferentes reportes como son las opciones de siembra por bloque, desglose por variedad, desglose por cepa, variedades usadas, etc. A continuación se muestra un ejemplo de los reportes:

**Opciones de siembra por variedades**

Provincia: Santiago de Cuba      Año: 2008  
 Empresa Azucarera: 636      Nombre Paquito Rosales | Centro de Recepción: CPA 26 de julio

Variiedad	Cepa	Bloque	Área (ha)
<b>B72-74</b>			
	Frío	43	33.639993389
	Frío	47	36.226001739
			Área total de la variedad: 69.86600112915
<b>C105173</b>			
	Primavera Quedada	54	45.23699511
			Área total de la variedad: 45.2369951171
<b>C12078</b>			
	Primavera Quedada	40	34.889993389
	Primavera Quedada	49	37.161998748
			Área total de la variedad: 72.05199813842
<b>C14081</b>			
	Primavera Quedada	58	33.147998809

Page 1 of 2

**Figura 2.12**

Una vez determinada la estructura optima de variedades y cepas, no es posible implementar los resultados obtenidos en una sola zafra, ya que se tendría que demoler todo lo sembrado, lo cual provocaría altos costos. Por tanto el sistema realiza una proyección teniendo en cuenta el plan de demolición de los bloques. Para acceder a esta opción el Operador debe desplegar el menú “Informes” y presionar la opción “Proyección”, a continuación se muestra un ejemplo de la misma.

**Proyección**

Provincia: Santiago de Cuba      Año: 2010

Empresa Azucarera: 623      Nombre: Paquito Rosales      Centro de Recepción: CPA 26 de julio

**Estructura Optima**

Bloque	Campo	Año de demolición	Tiempo de reposición	Variedad propuesta	Cepa propuesta
49	2	2010	0	C 120-78	Prim
50	2	2012	2	C 120-78	Prim
53	1	2012	2	C 90-501	Prim
55	1	2014	4	C 90-501	Prim
56	1	2012	2	C 90-501	Prim
57	1	2012	2	C 87-51	Prim
58	1	2014	4	C 323-68	Prim
59	1	2014	4	C 90-469	Prim

Page 1 of 2

**Figura 2.13**

En el informe se puede apreciar la variedad y cepa que debe ser sembrada en cada bloque y el tiempo, en años, de reposición.

**Las ventajas más evidentes de la solución propuesta son:**

1. Se implementa un método científico para la optimización de la estructura de variedades y cepas cuyo conocimiento e implementación es de suma importancia para la rama azucarera, lo cual contribuye al ahorro y al incremento de la eficiencia, cuestiones éstas que representan rubros fundamentales para el incremento del crecimiento económico de Cuba.
2. La obtención de la estructura óptima de variedades y cepas permite mejorar los rendimientos agrícolas y obtener el máximo de toneladas métricas de azúcar por hectáreas, con la consiguiente disminución en los costos de producción de caña y azúcar.
3. Permite mejorar los índices de consumo en los recursos humanos materiales y financieros en la programación del corte, utilización de fertilizantes, químicos, maduradores, entre otros.

## **CAPÍTULO III. EXPERIENCIA PRÁCTICA. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO**

### **3.1 Caracterización de la entidad**

#### **CPA “26 de julio”**

- La CPA se funda el 17 de julio de 1982, teniendo como línea fundamental el cultivo de la caña de azúcar. Dicha CPA se encuentra vinculada a la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Paquito Rosales”, perteneciente al Grupo Empresarial Agroindustrial de Santiago de Cuba, la cual radica en la zona de Santa Cruz, Dos Caminos, San Luis, Santiago de Cuba.

La superficie total es de 379.2 hectáreas (ha), de ellas 272.53 están dedicadas al cultivo de la caña. Tiene actualmente 86 socios (cooperativistas), cuenta con 35 mujeres y 51 hombres, el 80% de los trabajadores está vinculado directamente en la producción.

La CPA posee tres camiones ZIL-130 para el tiro de la caña y prestación de servicios, llevando un control detallado del gasto de combustible y las piezas de repuesto de cada uno de estos, lo cual posibilita su buen estado técnico. Los dos tractores YNT-6 se dedican al cultivo tanto de la caña como de las producciones agrícolas. Y, por último, la CPA cuenta con un tractor de esteras DT-75 dispuesto para la preparación de la tierra.

#### **Objetivos estratégicos**

- Elevar la productividad del trabajo y la eficiencia de la producción social.
- Consolidar e incrementar la explotación social de sus bienes.
- Incrementar los niveles de producción agrícola.

- Propiciar la mejor aplicación de la ciencia y la técnica. Desarrollar la producción agropecuaria atendiendo a los intereses de la sociedad socialista y de la propia cooperativa, dentro de los límites de su competencia.
- Coadyuvar a la satisfacción de las necesidades crecientes materiales y culturales de sus asociados y familiares, estimulando la participación en las diversas manifestaciones de la vida social, contribuyendo a elevar el nivel de vida y el establecimiento de las relaciones socialistas de convivencia entre sus miembros.

**Para el planteamiento matemático se tiene en cuenta lo que sigue:**

En la confección del modelo se evaluaron 6 variedades y 2 cepas. Las variedades evaluadas son:

<b>Variedades</b>	<b>Cepas</b>
C 90530	Frio
C 90501	
C 90469	
C 87632	Primavera Quedada
C 8751	
Sp 70-1284	

Las características de las variedades analizadas fueron perfeccionadas y son las siguientes:

1. Contenido Azucarero
2. Período de Maduración
3. Incidencia de la Roya
4. Incidencia del Carbón

5. Rendimientos Agrícolas
6. Factor Fibra-Meollo
7. Resistencia al Borer
8. Salinidad
9. Profundidad
10. Drenaje

El puntaje por características de las variedades se determinó igualmente por el método de expertos, asignándosele a cada característica de la variedad un puntaje de acuerdo a su valoración.

En el caso de las características incidencia de la Roya y del Carbón, la puntuación fue dada en el orden contrario, donde 1 recibe una evaluación de muy alto y 10 de muy bajo, pues mientras más baja sea la incidencia de esas enfermedades en las variedades, mejor será su comportamiento agroindustrial. En cuanto al período de maduración, mientras más precoz sea la maduración de la variedad en el bloque mayor puntuación tendrá.

El factor fibra-meollo, que influye en las posibilidades calóricas del bagazo, fue otra de las características analizadas y teniendo en cuenta la experiencia acumulada en la entidad se decidió darle un puntaje a todas las variedades en todos los bloques de 5, o sea, prácticamente medio.

En cuanto a la salinidad del suelo si la variedad no se afecta obtiene una valoración de 10 puntos y 4 si se afecta. Refiriéndonos a la profundidad si la variedad es capaz de adaptarse a cualquier profundidad del suelo, obtiene una puntuación de 10 puntos, de no ser así recibe 4. Si

la variedad necesita de drenaje en el suelo se le asigna 4 puntos, mientras que 10 en caso de no requerirlo.

**Planteamiento del modelo de programación entera binaria**

Partiendo de la formulación general descrita en el anterior capítulo se formula el planteamiento matemático del modelo para la CPA:

Grupo de restricciones de tipo 1

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

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

$$X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8 < 8$$

$$X9 + X10 + X11 + X12 + X13 < 5$$

$$X14 + X15 + X16 + X17 + X18 + X19 < 6$$

.....

$$X59 + X60 + X61 + X62 + X63 + X64 + X65 + X66 < 8$$

Grupo de restricciones de tipo 2

*Cada bloque admite solamente una variedad y cepa.*

$$\sum_{i \in V_k} \sum_{j \in C} X_{ijk} = 1 ; \quad k \in A$$

$$X1 + X9 + X14 + X22 + X31 + X37 + X42 + X50 + X59 = 1$$

$$X20 + X29 + X38 + X51 + X60 + X67 = 1$$

$$X2 + X15 + X21 + X23 + X43 + X52 + X61 = 1$$

.....

$$X7 + X12 + X18 + X27 + X35 + X40 + X48 + X57 + X66 = 1$$

$$X8 + X13 + X19 + X28 + X36 + X41 + X49 + X58 + X70 = 1$$

Grupo de restricciones de tipo 3

**Área máxima para sembrar la variedad  $i$  y cepa  $j$ .**

$$\sum_{j \in C} \sum_{k \in A_{ij}} d_k X_{ijk} \leq a_i ; \quad i \in V$$

$$17.53X1 + 35.64X2 + 46.65X3 + 21.52X4 + 39.53X5 + 38.73X6 + 22.60X7 + 27.90X8 + 17.53X9 + 46.65X10 + 38.73X11 + 22.60X12 + 27.90X13 < 54.51$$

$$17.53X14 + 35.64X15 + 46.65X16 + 39.53X17 + 22.60X18 + 27.90X19 + 22.43X20 + 35.64X21 < 54.51$$

.....

$$17.53X59 + 22.43X60 + 35.64X61 + 46.65X62 + 21.52X63 + 39.53X64 + 38.73X65 + 22.60X66 + 22.43X67 + 21.52X68 + 39.53X69 + 27.90X70 < 54.51$$

**Área mínima para sembrar la variedad i y cepa j.**

$$\sum_{j \in C} \sum_{k \in A_{ij}} d_k X_{ijk} \geq b_i \quad ; \quad i \in V$$

$$17.53X_{59} + 22.43X_{60} + 35.64X_{61} + 46.65X_{62} + 21.52X_{63} + 39.53X_{64} + 38.73X_{65} + \\ 22.60X_{66} + 22.43X_{67} + 21.52X_{68} + 39.53X_{69} + 27.90X_{70} > 13.63$$

.....

$$17.53X_1 + 35.64X_2 + 46.65X_3 + 21.52X_4 + 39.53X_5 + 38.73X_6 + 22.60X_7 + 27.90X_8 + \\ 17.53X_9 + 46.65X_{10} + 38.73X_{11} + 22.60X_{12} + 27.90X_{13} > 13.63$$

Grupo de restricciones de tipo 4

**Cumplimiento del plan de azúcar para la entidad.**

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in C} \sum_{k \in A_{ij}} m_{ijk} X_{ijk} \geq PA$$

$$65.28X_1 + 132.72X_2 + 173.72X_3 + 80.14X_4 + 147.21X_5 + 144.23X_6 +$$

$$84.16X_7 + 103.90X_8 + 159.77X_9 + 425.19X_{10} + 353.00X_{11} + 205.98X_{12} + 254.29X_{13} \dots$$

.....

$$+134.84X_{44} + 62.20X_{45} + 114.26X_{46} + 111.95X_{47} + 65.32X_{48} + 80.64X_{49} + 115.01X_{50}$$

$$+ 147.16X_{51} + 233.83X_{52} + 306.06X_{53} + 141.19X_{54} + 259.35X_{55} +$$

$$254.10X_{56} + 148.27X_{57} + 183.05X_{58} + 104.79X_{59} + 117.81X_{60} + 187.19X_{61} +$$

$$245.02X_{62} + 113.03X_{63} + 207.62X_{64} + 203.42X_{65} + 118.70X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{70}$$

$$- D1 > 10327.00$$

**Función objetivo:**

$$Max \quad Z = \sum_{k \in A_{ij}} \sum_{i \in V} \sum_{j \in C} C_{ijk} X_{ijk}$$

$$Max \quad 0.67X_1 + 0.67X_2 + 0.67X_3 + 0.67X_4 + 0.67X_5 + 0.67X_6 + 0.67X_7 + 0.67X_8 + 0.72X_9 +$$

$$0.72X_{10} + 0.72X_{11} + 0.72X_{12} + 0.72X_{13} + 0.71X_{14} + 0.71X_{15} + 0.71X_{16} + \dots$$

$$\dots$$

$$+ 0.68X_{43} + 0.68X_{44} + 0.68X_{45} + 0.68X_{46} + 0.68X_{47} + 0.68X_{48} + 0.68X_{49} + 0.69X_{50} +$$

$$0.69X_{51} + 0.69X_{52} + 0.69X_{53} + 0.69X_{54} + 0.69X_{55} + 0.69X_{56} + 0.69X_{57} + 0.69X_{58}$$

**3.2 Análisis de los resultados**

**Solución**

El modelo matemático planteado para la CPA se resolvió con la utilización del sistema informático OPESVAR-10 cuenta con un total de 70 variables y 32 restricciones. La asignación óptima de cada variedad y cepa para cada bloque de la CPA 26 de julio a partir de la solución hallada se ofrece en la siguiente figura:

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

**Figura 3.1 Reportes de salida del sistema informático OPESVAR-10.**

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.

Estructura actual de variedades			Estructura óptima de variedades	
Variedades	Hectáreas	%	Hectáreas	%
C 90530	61.80	22.68	53.17	19.50
C 90501	17.53	6.43	45.03	16.52
C 90469	49.94	18.32	38.73	14.21
C 87632	27.18	9.97	46.65	17.11
C 8751	56.30	20.66	49.42	18.13
Sp 70-1284	59.78	21.94	39.53	14.50
<b>Total</b>	<b>272.53</b>	<b>100</b>	<b>272.53</b>	<b>100</b>

**Tabla 3.1 CPA 26 de julio. Comparación de la estructura actual con la óptima**

Como se puede apreciar en la estructura actual la variedad C 90501 ocupa un 6.43 % del área total, siendo propuesto en la solución óptima con un 16.52 % es decir un 10.09 % adicional con respecto a la actual y la de mayor porcentaje es la C 90530 con un 22.68 %, reduciéndose en la óptima a un 19.50 %.

Como ya se ha explicado anteriormente, determinar la estructura óptima de variedades y cepas, implica un impacto positivo sobre los principales indicadores de producción. En este aspecto se realizó un estimado del incremento en el impacto que produce el cambio de estructura propuesto en los indicadores físicos de rendimiento agrícola e industrial, el cual fue favorable.

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:

**Tabla 3.2 Impacto en los rendimientos agrícolas de la estructura óptima con la actual.**

**CPA “26 de julio”, UEB “Paquito Rosales”. Año 2012.**

<b>Variedades</b>	<b>Estructura actual</b>	<b>Rendimiento Agrícola (t/ha)</b>	<b>Producción</b>	<b>Estructura óptima</b>	<b>Rendimiento Agrícola (t/ha)</b>	<b>Producción</b>
C 90530	61.80	43.5	2688.3	53.17	43.5	2312.895
C 90501	17.53	61.14	1071.7842	45.03	61.14	2753.1342
C 90469	49.94	42.3	2112.462	38.73	42.3	1638.279
C 87632	27.18	62.5	1698.75	46.65	62.5	2915.625
C 8751	56.30	55	3096.5	49.42	55	2718.1
Sp 70-1284	59.78	53.1	3174.318	39.53	53.1	2099.043
<b>Total</b>	<b>272.53</b>	<b>50,79</b>	<b>13842.114</b>	<b>272.53</b>	<b>52,97</b>	<b>14437.076</b>

**Tabla 3.2 Impacto en los rendimientos industriales de la estructura óptima con la actual.**

**CPA “26 de julio”, UEB “Paquito Rosales”. Año 2012.**

<b>Variedades</b>	<b>Estructura actual</b>	<b>Rendimiento Industrial (t/ha)</b>	<b>Producción</b>	<b>Estructura óptima</b>	<b>Rendimiento Industrial(t/ha)</b>	<b>Producción</b>
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
<b>Total</b>	<b>272.53</b>	<b>12,76</b>	<b>3478.519</b>	<b>272.53</b>	<b>13,23</b>	<b>3605.649</b>

En la tabla puede apreciarse un incremento del 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. Esto, a su vez, 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 modelo económico-matemático expuesto, así como la utilización del sistema informático OPESVAR-10 permite ubicar las acciones de organización y de administración de las entidades en un nivel cualitativamente superior a cualquier etapa, incidiendo de esta forma, en la elevación de la eficiencia.
3. 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

4. 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.

## RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:

1. Continuar trabajando en la introducción, consolidación y perfeccionamiento de la metodología expuesta en el presente trabajo en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) “26 de julio”, teniendo en cuenta los éxitos preliminares obtenidos y la perfecta adecuación de las técnicas antes referidas a este campo de acción.
2. 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; Sasieni M.W. “Fundamentos de investigación de Operaciones”. Editorial Lismisa. Mexico 1987.
2. Borges Raymond, 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: Managment model and industrial aplicaciones of Linear Programming. John Wiley and Sons. Inc. New York and London. 1961.
4. 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; Gould, F. J: “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.; Lieberman, G.J. 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; Gorstko, A.: “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; Levin R. "Enfoques Cuantitativos a la Administración". CECSA. México 1992.
12. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución aprobado en el sexto congreso 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. 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; Wright, Gordon: "Investigación de operaciones", Prentice-Hall Hispanoamericana, México, 1982.
18. Páginas WEB en Internet hasta el 2004.
19. Periódico "El economista de Cuba". La Habana, Cuba. Año 5, 5<sup>ta</sup> entrega de 2003.
20. Periódico Granma, Lunes 12 de enero del 2004.

21. [www.geplacea.ipn.mx](http://www.geplacea.ipn.mx). “Precios del Azúcar de caña”. Año 2004.
22. [www.sasta.co.za](http://www.sasta.co.za). “Programación Matemática en Enteros en la agricultura”. Año 2004.
23. [www.sugartech.co.za](http://www.sugartech.co.za). “Costos de producción del azúcar de caña”. Año 2004.
24. [www.bartens.com](http://www.bartens.com) “Economía azucarera”. 2007.
25. [www.cenicana.org](http://www.cenicana.org). “La matemática en la agricultura cañera”. Año 2004.
26. [www.edwardsengrg.com](http://www.edwardsengrg.com) “Proceso de producción de azúcar en EUA”. 2007.
27. [www.geplacea.inp.mx](http://www.geplacea.inp.mx) “Precios del Azúcar de caña”. Año 2008.
28. [www.Illovosugar.com](http://www.Illovosugar.com) “Precios y situación del azúcar a nivel mundial”. 2009