

septiembre del 2001

ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DEL TRABAJO

SISTEMA PARA LA ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN CAÑERA DE UN CAI

Resumen / Abstract

En el trabajo se presentan los criterios y modelos utilizados en: la formación de las familias de bloques o taxones cañeros; el estimado de las curvas de vida de esos taxones; la determinación del momento "óptimo de demolición" de los bloques y el ordenamiento de los pares bloque - cepa para la cosecha anual. También se presentan los antecedentes de este trabajo y las experiencias de su introducción a la práctica.

In this paper we present models and technical criteria used in: Grouping sugar cane plantations (blocks) in some kind of families (taxons); estimating corresponding "production function" for those taxon; calculating "best year" (from economic point of view) for plantations demolition and sorting blocks for sugar cane periodic harvesting. We also present references to previous relevant works, and some experiences related to system's implementation.

Palabras clave / Key words

Taxones cañeros, funciones de producción; modelo para la producción cañera

Production function, sugar cane taxonomy, model for sugar cane crop management

ANTECEDENTES

Según lo expresado en el plan de trabajo para el desarrollo del Sistema Agrícola de un CAI,¹ se seleccionó el complejo "Cuba Libre" como la empresa principal de aplicación de los modelos, algoritmos y programas que conducen a la elaboración e implantación del sistema requerido. Para precisar las condiciones específicas del CAI, se realizó el estudio² que permitió hacer un diagnóstico de la situación actual de la empresa y crear, como fuente permanente y obligada de referencia, la base primaria de datos técnico-económicos del complejo. Ese estudio ratificó y precisó las conclusiones del estudio de la rama azucarera³ sobre las causas del estancamiento de la agricultura cañera y la imperiosa necesidad de disponer del llamado Sistema Agrícola del CAI, del cual la organización de la producción cañera (objeto del presente trabajo) resulta un eslabón fundamental.

Como antecedente obligado debe citarse el Sistema de Modelos para el Ordenamiento de Cepas de un CAI,⁴ donde se realiza la organización de la agricultura cañera utilizando, como criterio de optimización, maximizar la ganancia acumulada en toda la vida útil de la planta y sus retoños. En la bibliografía se presentan tablas estadísticas y consideraciones tecnológicas de gran valor, sobre todo para el importante caso en que se deja quedar la caña. Otros importantes trabajos, sobre aspectos aislados de la organización de la producción, pueden verse en la revista y memorias de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba que se encuentran como referencia en este artículo,⁵⁻⁷ ahí se elaboraron tablas estadísticas de consideración, que relacionan la producción de caña con otros indicadores técnico-económicos.

Perfecto Dipotet Barcada, Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Matemáticas, Profesor Titular Adjunto, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, (ISPJAE) Ciudad de La Habana, Cuba
:-mail:perfecto@cidet.icmf.inf.cu

Como antecedentes importantes, en lo que respecta a los aspectos de modelación y de análisis de sistemas, se tiene que en el trabajo de Dipotet,⁸ se describen los modelos matemáticos utilizados en problemas de clasificación, que se emplean en la obtención de taxones. En el mismo artículo, se exponen elementos y pasos a considerar para el establecimiento de "políticas" en un sistema en desarrollo. Por otra parte, en la referencia 9 se explican las características y posibilidades de las funciones de producción en la agricultura. Malinvaud,¹⁰ trata sobre los métodos de selección de modelos y ajuste de curvas experimentales. Lewandoski¹¹ describe y clasifica los métodos de validación de modelos y trata, sobre el papel protagónico del análisis de expertos en el desarrollo de sistemas complejos y sobre la eficacia del análisis de sensibilidad en los modelos de pronóstico económico.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las figuras 1 y 2 se muestran el proceso de producción de caña, las actividades funcionales que componen ese proceso y las labores presentes en cada actividad. Eso es lo que convencionalmente se analiza en la producción cañera. Pero, ¿cómo se llega a la decisión de que se puede sembrar en un lugar?. ¿cómo se sabe qué variedad sembrar y qué tecnología utilizar? Además, ¿cómo tener presente la fuerte relación que existe entre todas las actividades agrícolas donde, no solo resulta importante qué labores se hacen, sino también cuándo y cómo se hacen?

Es muy importante destacar todo lo anterior, porque la organización de la producción también supone: áreas aptas para caña, variedades idóneas en cada bloque, la selección y aplicación de la variante tecnológica adecuada para cada par variedad - suelo.

Una forma útil de conocer la idoneidad del par (variedad, bloque) es emplear, simultáneamente, los métodos de filtraje y preferencias,¹² donde se obtiene, para cada tipo de suelo, régimen hídrico, cepa y brigada las variedades de mejor y peor

comportamiento en un período de tres o más años. El doble criterio simplifica, evidentemente, la selección primaria.

Los trabajos realizados en el Grupo de desarrollo de la Delegación del MINAZ en Matanzas,¹³ posibilitan la formación y selección de las variantes tecnológicas adecuadas para cada bloque. Ello permite utilizar las operaciones tecnológicas idóneas en dependencia del criterio de optimización orientado por la dirección del CAI. Estos criterios pueden ser: minimizar costos, minimizar tiempo de ejecución de la operación, minimizar gasto de combustible. Pero pueden formarse otros criterios.

Los complejos tienen, generalmente, entre 150 y 200 bloques cañeros. Resulta conveniente agrupar, en familias o taxones aquellos bloques que posean características similares desde el punto de vista productivo. En otras palabras, se conoce que para variedad y tecnología dadas, la producción de caña depende principalmente, del tipo de suelo, régimen hídrico, los factores limitantes del suelo. Si se agrupan los bloques que tengan respectivamente iguales esos atributos, se habrían formado los mencionados taxones. La producción histórica de cada bloque proporcionará elementos para la comprobación, o no, de su pertenencia a un taxón. No obstante, la última palabra sobre la membresía de los bloques a taxones, la dicen los especialistas de las respectivas Brigadas de Producción (UBPC o CPA).

Si se dispone de la tecnología y de la variedad correspondiente a cada bloque de cada taxón y, también, se conoce la producción histórica (cuatro o más años) de cada bloque, se puede entonces elaborar un gráfico de rendimiento agrícola vs número de corte para cada taxón. Ese gráfico se conoce como **curva de vida de la caña**. Ahora bien, esa curva es indefinida, porque el momento de "muerte" o demolición depende del criterio que proporciona la dirección del CAI. En la misma referencia, se utilizó como criterio maximizar la ganancia acumulada durante la vida de la planta, que es un criterio muy utilizado para cultivos perennes como la caña. No obstante, pueden utilizarse otros criterios como, por ejemplo maximizar producción, minimizar gasto material, etc. Pero, es necesario **insistir**, en el momento adecuado de demolición, que está influenciado por el criterio que se seleccione.

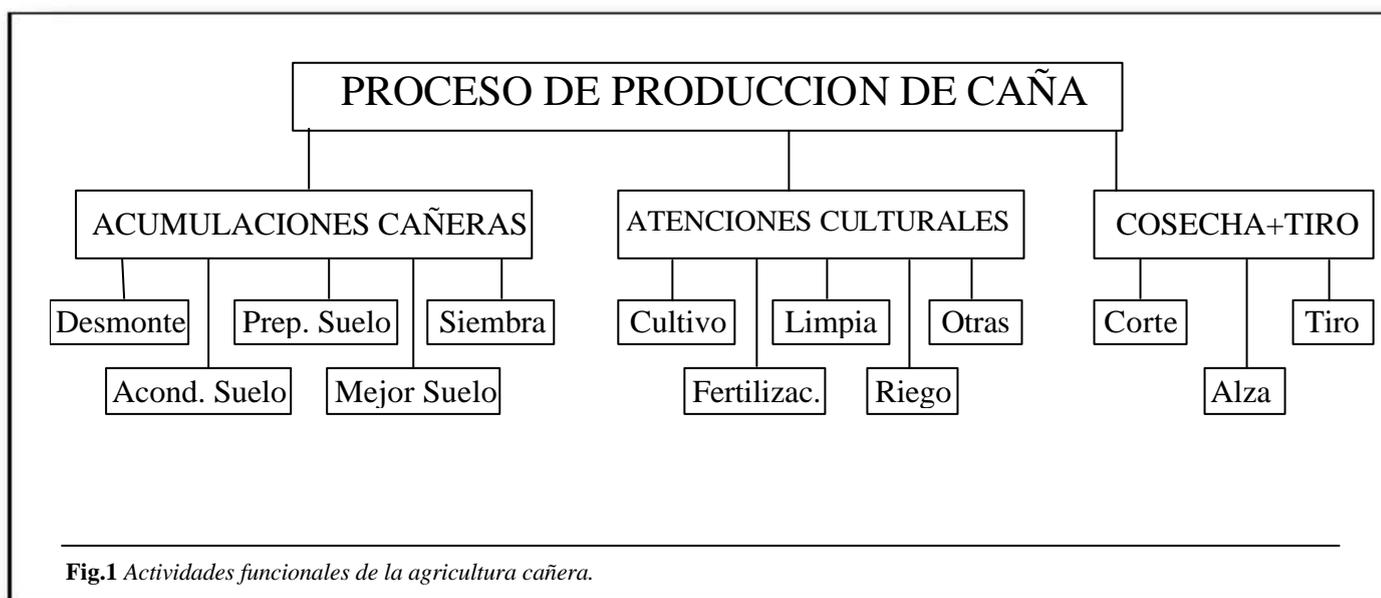


Fig.1 Actividades funcionales de la agricultura cañera.

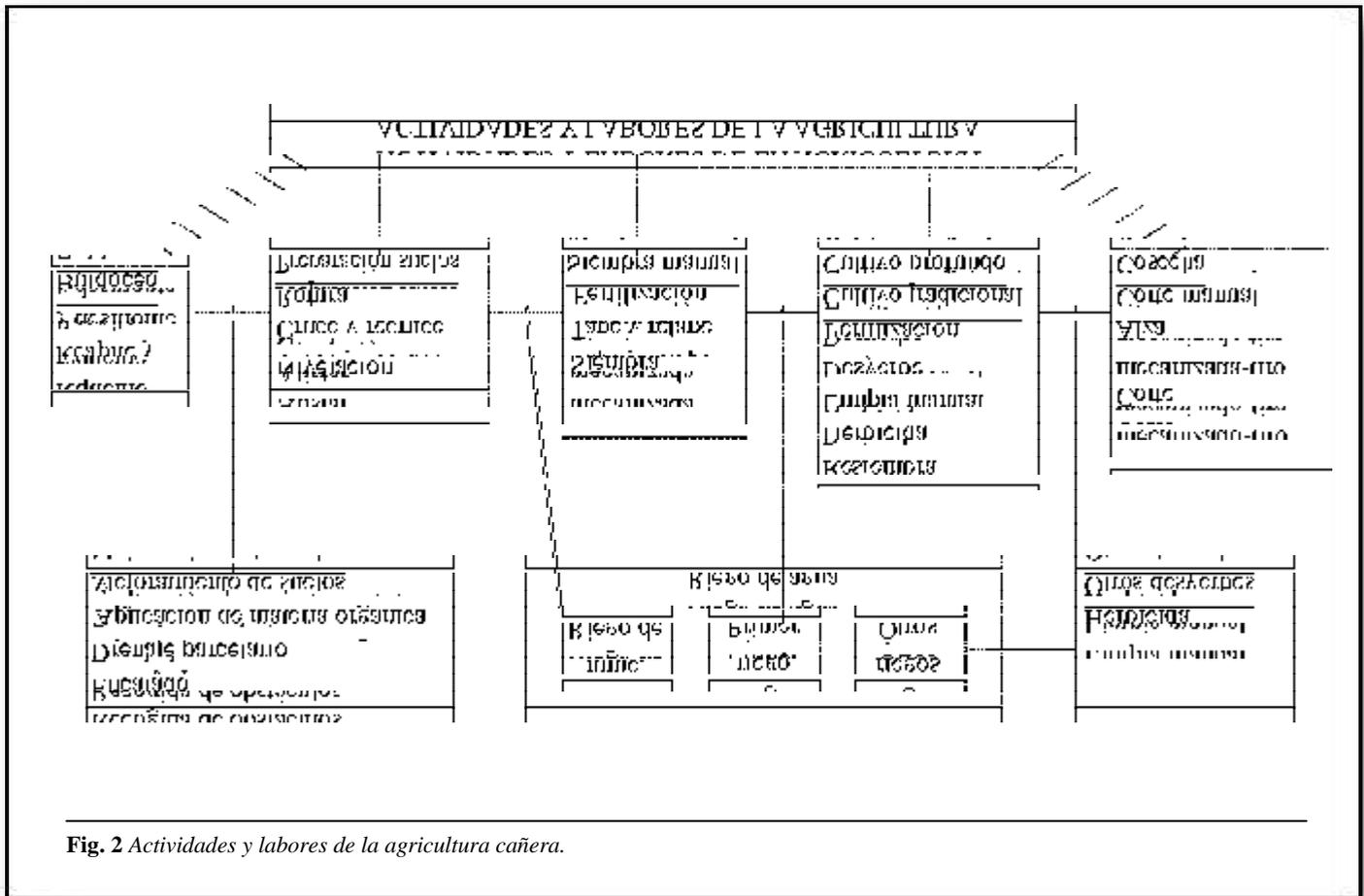


Fig. 2 Actividades y labores de la agricultura cañera.

Si se conoce también el momento de demolición (el número estimado de cortes para cada bloque del taxón) se está entonces en condiciones de organizar una producción "estable" en el complejo. Para ello, lo más conveniente es organizar la producción anual por taxones, en dependencia del número estimado de años, entre dos demoliciones sucesivas, de un mismo bloque del taxón. Si el área de cada taxón se divide por ese número estimado, se sabrá, aproximadamente, el área correspondiente a cada cepa de cada taxón en cada año, que es el estado deseado o final del sistema. Resta, para cada caso específico, establecer los procedimientos adecuados de demolición y siembra que permitan pasar del estado actual al estado deseado (o sea, rectificar cualquier desviación).

FORMALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Según lo expresado en el **Planteamiento**, el primer paso es la determinación, de los taxones cañeros. Sea:

$B = b_1, \dots, b_n$; el conjunto de bloques cañeros de un CAI.

$A = a_1, \dots, a_m$; el conjunto de atributos asociado a cada bloque $b_i, i \in I = 1, \dots, n$.

$V = V_1, \dots, V_m$; el conjunto de valores asociados a cada atributo $a_j, j \in J = 1, \dots, m; V_j = V_{j1}, \dots, V_{jq}$.

$d_{jk} = (a_j, \dots, V_{jq})$ es el par atributo-valor que se conoce por descriptor, $j \in J; k \in K = 1, \dots, q$.

$D = \{d_{jk}\}$ es el conjunto de descriptores posibles $j \in J; k \in K$.

$\delta_i = d_{i1}, \dots, d_{in}$ una cadena de descriptores o descripción⁸ $j, \dots, n \in K$.

La función f que aplicada sobre un bloque $b_i, i \in I$ produce $f(b_i) = \delta_i$ es una función de clasificación de los bloques según sus atributos, ya que, en este contexto, $b_i = b_n$ si sus descripciones, $\delta_i = \delta_n$ coinciden.

T_w es el conjunto de bloques, pertenecientes a B , que tienen la misma descripción $d_w, w \in W = 1, \dots, s$. T_w se conoce por taxón w . La función de clasificación f , ha posibilitado pasar el campo de trabajo de B , a un conjunto mas reducido W .

En el segundo paso, se debe estimar la **curva de vida de la caña** que corresponde a cada taxón.⁵ Esa curva se normaliza con respecto al rendimiento de la cepa Soca (figura 3).

Sea:

α : Rendimiento del primer corte (caña planta) que puede ser:

α_1 : Primavera quedada; α_2 : Frío; α_3 : Primavera del año;

r : Factor de decadencia normal de rendimiento agrícola, o sea, cuando se cumple lo establecido para la variante tecnológica aprobada en condiciones agrometeorológicas medias. Surge del ajuste de la curva que forman los valores de los rendimientos sucesivos de los retoños.

β : Rendimiento agrícola que se obtiene si se "deja quedar" en forma planificada, según tecnología dada.¹⁴

β_1 : Valor del primer retoño quedado, β_2 : Valor del segundo y así sucesivamente.

n : Número total de cortes que recibe la caña en su **curva de vida**, sin dejar quedar retoños.

P_t : Producción total, por unidad de área, durante la **curva de vida**. Para el caso sin retoño quedado.⁵

$$P_t = R_{\text{soca}} [\alpha + (1-r)^{n-1}/(1-r)]$$

Para el caso en que se deja quedar retoños

$$P_t = R_{\text{soca}} [\beta + (1-r)^{d-1}/(1-r)] [(1-\beta\alpha)^{v+1}/(1-\beta\alpha)]; v \geq 0, d \geq 1$$

donde:

v : Número de veces que se deja quedar el retoño.

d : Número de cortes antes de dejar quedar el retoño.

n : $d(v+1)+v$.

El tercer paso corresponde al cálculo del momento de demolición. Para ello, debe conocerse el índice de funcionamiento o "criterio de optimización" de la agricultura cañera del CAI. En la referencia 5, se utilizó como criterio **maximizar la ganancia acumulada** por el bloque, lo que es muy usual en los cultivos perennes.

En ese caso, por ejemplo:

P_t se conoce.

$$G_t = A + nb$$

donde

A: Gasto, por unidad de área, de las acumulaciones cañeras.

b: representa el gasto anual en atenciones culturales.

Gt: Gasto total acumulado.

$$X_t = P_t - G_t; \text{ Ganancia acumulada por unidad de área.}$$

$d(X_t)/d(n) = 0$, permitirá obtener n para ganancia acumulada máxima. Con n se precisa entonces el momento de demolición. En la práctica, n se calcula por métodos de enumeración y (o) gráficos,⁵ que son igualmente válidos, para este trabajo.

a_w : Área dedicada a caña en cada taxón. Equivale, por supuesto, a la suma de las áreas de los bloques que pertenecen al taxón $w \in W$.

cw : Número de cepas (molibles más no molibles) que equivale al número de años de duración de la curva de vida del taxón w .

$acw = aw/cw$ será, aproximadamente, el área correspondiente a cada cepa c del taxón w .

R_{cw} : Rendimiento correspondiente a cada cepa c del taxón w .

$A_c = \sum_{w \in W} a_w/c_w$; Área correspondiente a cada cepa dentro del CAI;

$$P_c = \sum_w R_{cw} a_{cw}; \text{ Producción de cada cepa dentro del CAI.}$$

La producción por taxón y cepa que se obtiene por los cálculos analíticos es la "deseada o final", pero la organización de la producción que existe en el momento de realizarse esos cálculos es la "real o actual". ¿Cómo pasar del estado actual al estado deseado?

Se debe aspirar a que el área que corresponda a cada taxón sea la calculada. Para ello, la única vía práctica de lograrlo es acelerando o retardando, en forma controlada, el proceso de demoliciones,⁵ hasta que se llegue al estado final, donde se demuele y se siembra, en cada año, el mismo número de caballerías por taxón, respectivamente.

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En este acápite, se presenta, como ejemplo de solución los pasos dados para la organización de la producción cañera en el CAI "Cuba Libre".⁴

A continuación se muestra los atributos y sus respectivos valores para el caso que se estudia (tabla 1).

Se señalan también series cronológicas de datos relativos a la producción (tabla 2).

Se capta, desde hace tres años, datos relativos al contenido de azúcar de la caña que se muele. Ello permitirá hallar la **curva de vida**, también, en función del Potencial Azucarero de la caña (tabla 3).

El procesamiento de los datos anteriores, con los procedimientos descritos en la formalización, posibilitó la determinación de los taxones cañeros del CAI "Cuba Libre": Como ejemplo se muestra el taxón 4, que está formado por bloques con suelos negros muy buenos, con riego, corte mecanizado, sin factores limitantes de consideración. Le forman 11 bloques con cerca de 80 caballerías.

El criterio de optimización utilizado fue maximizar la ganancia acumulada durante la **curva de vida de la caña** asociada a cada bloque. El costo promedio de la siembra de una caballería fue de 8 000 pesos y el de cosecha y cultivo fue de 11 000.

La **curva de vida** estimada para el taxón 4 (con y sin retoño quedado) se puede ver en las figuras 3 y 4, donde se observa también el valor de los rendimientos asociados a cada corte.

Se conoce que el precio de 100@ de caña es \$11,32. Si tener entonces todos los elementos para calcular el momento de ganancia máxima acumulada y, por tanto, el momento de demolición es en el quinto corte (seis años intersiembras). Tanto antes, como después, la ganancia acumulada es menor.

En el caso de permitirse retoños quedados, lo óptimo, para este taxón, es nueve cortes en doce años (figuras 7 y 8). Sin embargo, en cinco de los 10 taxones del CAI "Cuba Libre"⁴ no se recomienda queden retoños. En el trabajo citado, se presenta en detalle los pasos a dar en la empresa para pasar del estado actual (1989) hasta el estado deseado o final. En el mismo complejo, se elaboró una variante para maximizar la producción anual, en el caso de fuertes restricciones en el gasto material.

TABLA 1 Determinación de taxones				
BLOQUE _____				
ATRIBUTOS DEL BLOQUE		VALORES		
Tipo de suelo	Rojo	Negro	Mulato	Otro
Régimen hídrico	Riego	Secano		
Grado de mecanización	Mecanizado	Potencial-mecanizado	No-mecanizado	
Drenaje	Bueno	Regular	Malo	Muy malo
Otros factores limitantes	Sí	No		
Variedad adecuada	Sí	No		

TABLA 2								
Bloque _____			Área _____					
Campaña _____			Campaña _____			Campaña _____		
Cepa	Mes	Rend.	Cepa	Mes	Rend.	Cepa	Mes	Rend.

TABLA 3	

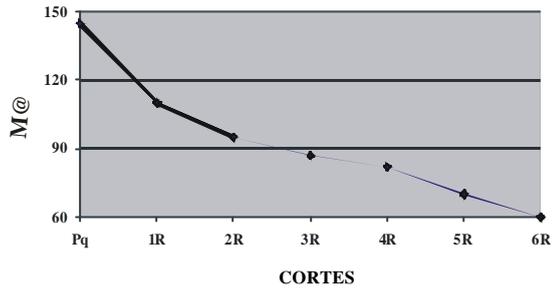


Fig. 3 Curva de vida de la caña.

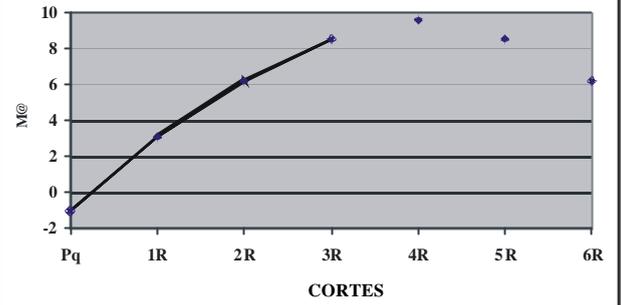


Fig.6 Ganancia acumulativa (X).

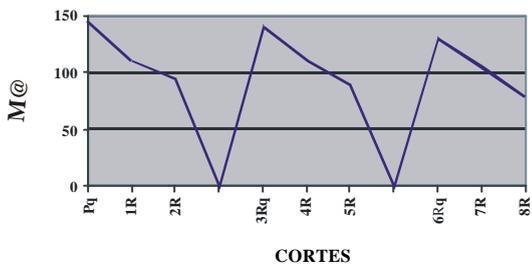


Fig. 4 Curva de vida con retoños quedados.

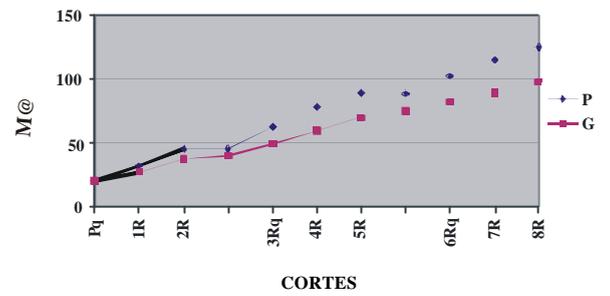


Fig. 7 Producción y gastos.

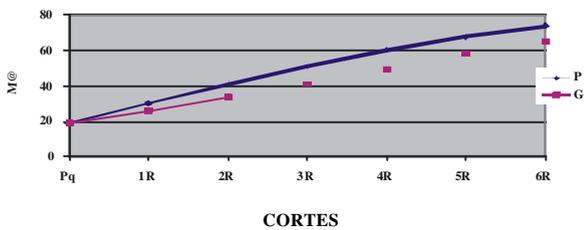


Fig. 5 Producción vs gastos acumulados.

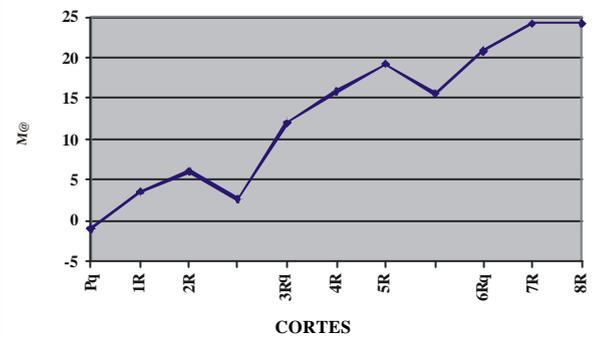


Fig.8 Ganancia acumulativa (ret. quedados).

CONCLUSIONES

La organización de la producción es un proceso complejo cuya solución depende, esencialmente, de la interiorización del problema por parte de los dirigentes y técnicos de las JBPC y, por supuesto, del CAI. De aquí la relevancia de la capacitación de esos cuadros y, sobre todo, de su participación como protagonistas en la ejecución de las tareas del sistema.

La obtención de las familias de bloques o taxones, sobre la base de utilizar como criterio de clasificación **La eficiente producción de caña**, no solo simplifica el tratamiento de ordenamiento y matemático computacional del conjunto de bloques del complejo; sino que, en primer lugar, resulta la piedra angular para el establecimiento de una política racional de uso y mejoramiento de suelos de la empresa.

El procesamiento estadístico de los datos que posibilita estimar la **curva de vida de la caña** en cada respectivo taxón, debe estar precedido de un análisis de expertos sobre lo adecuado o no, de la utilización de determinadas variedades / variantes tecnológicas en cada bloque del CAI.

El criterio de funcionamiento del complejo, trazado por su Director, que en buena medida depende de las condiciones socioeconómicas del país, influye fuertemente sobre la variante tecnológica a utilizar y, por consiguiente, afecta la curva de vida de cada taxón. Ello implica ajustes y cambios en la estrategia de producción, tanto del año en que se impone el nuevo criterio, como en los años subsiguientes.

Independientemente del criterio de funcionamiento que se utilice, la organización de la cosecha debe hacerse por taxones. Ello estabiliza y aumenta la eficacia de la producción del CAI.

Los taxones tienen un orden de mérito o calidad. Debe garantizarse que tanto la resiembra para mantener la población cañera, como las atenciones culturales de esos taxones, sigan ese mismo orden de calidad.

Debe utilizarse, de permitirlo las condiciones del país, como criterio de **optimización** maximizar la ganancia acumulada en cada bloque, porque ello produce mayor ganancia y estabilidad en el desarrollo del CAI. Por supuesto, que ello no excluye la vigencia del punto anterior.

El trabajo se implantó en el CAI "Cuba Libre" de la provincia Matanzas en el período 1988-1989. ☐

REFERENCIAS

1. **DIPOTET, P. et al.:** *Sistema agrícola de un CAI*, Proyecto de Plan de Trabajo, Delegación del MINAZ, Matanzas, 1991.
2. **MÉNDEZ, R. Y P. DIPOTET:** *Estudio de factibilidad de la introducción de las técnicas de computación en la agricultura cañera del CAI "Cuba Libre"*, Matanzas, 1988.
3. **MORILLAS, P. y P. DIPOTET:** *Diagnóstico de la situación actual de la rama azucarera de la provincia Matanzas*, Delegación del MINAZ en Matanzas, 1986.

4. **ESTRADA, I. Y P. DIPOTET:** *Organización de la producción cañera del CAI "Cuba Libre*, Delegación del MINAZ, Matanzas, 1989.
5. **DIPOTET, P. et al.:** *Sistema de modelos para el ordenamiento de cepas de un CAI*, Delegación del MINAZ, Matanzas, 1989.
6. **ARUCA, J.:** *Series históricas sobre la producción azucarera vs otros indicadores técnico-económicos*, Delegación del MINAZ, Matanzas, 1986.
7. **TORRES, A.:** *Tablas Estadísticas sobre el ordenamiento de cepas en la agricultura cañera*, Universidad de Matanzas, Matanzas, 1987.
8. **DIPOTET, P.:** *On a Model for Information Retrieval Systems*, Conferencia Internacional sobre Sistemas de Información, ACC, Ciudad de La Habana, 1977.
9. **CSAKI, C. et al.:** *Operacio Kutatasi Modszerek Meszogazdasagban*, AKADEMIAI Kiado, Budapest, 1981.
10. **MALINVAUD, E.:** *Métodos estadísticos en la econometría*, Ediciones Ariel, Barcelona, 1967.
11. **LEWANDDOSKI, W.:** *On Model Validation Methods*, IIASA Report, Laxemburg, Austria, 1978.
12. **DIPOTET, P.:** *Seminarios sobre métodos matemáticos en la economía azucarera*, Delegación del MINAZ, Matanzas, 1990.
13. **MORALES, J. et al.:** *Sistema para la formalización de operaciones y variantes y tecnológicas de la agricultura*, Delegación del MINAZ, Matanzas, 1991.
14. **ACOSTA, P.:** *Tablas estadísticas sobre el comportamiento de la producción de caña*, MINAZ, Ciudad de La Habana, 1986.

...¿ cómo tener presente la fuerte relación que existe entre todas las actividades agrícolas donde, no solo resulta importante qué labores se hacen, sino también cuándo y cómo se hacen?