

103/11/88



# **II SIMPOSIO ECONOMIA FORESTAL EN CHILE**

**CONCEPCION - CHILE  
29 AL 31 DE MAYO DE 1991**

**Organiza:  
Departamento de Ingeniería Industrial  
UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO**

PROGRAMACION DE FAENAS DE MANEJO  
USANDO TECNICAS DE OPTIMIZACION.

Fernando Muñoz Sáez (\*)

Alejandro Andalaft Chacur (\*\*)

RESUMEN :

El propósito del presente estudio es lograr programar, mensualmente, ocho de las principales faenas de manejo en la zona de operaciones Concepción-Arauco de Forestal Mininco S.A., a partir de las metas mensuales preestablecidas en el Presupuesto anual de Operaciones. La programación mensual a obtener, por tipo de faena, debe buscar mantener la dotación de trabajadores forestales contratados lo mas cerca posible del promedio, buscando minimizar las fluctuaciones mensuales que experimenta normalmente dicha dotación, producto de la estacionalidad de cada faena. Lograr este objetivo permite disminuir los tiempos ociosos de campamentos forestales, aumentar la eficiencia en el uso de los recursos administrativos de la empresa, estimular el crecimiento en capacitación e inversión por parte de los contratistas forestales.

---

(\*) Jefe Zona 1, SubGerencia Operaciones, Forestal Mininco S.A.

(\*\*) Profesor Asistente, Fac. de Ingeniería, U. de Concepción.

Se plantea entonces el modelo :

$$\text{MIN} \quad \text{SUM}_j \left( X(j) - \bar{X} \right)^2$$

S/A

$$\text{SUM} \quad X(i,j) = Y(i)$$

$$X(i,j) \geq 0$$

Donde :

$X(i,j)$  : Dotación para el tipo de faena  $i$ , durante el mes  $j$ .

$X(j)$  : Dotación durante el mes  $i = \text{SUM}_i X(i,j)$

$Y(i)$  : Trabajadores \* mes, requeridos anualmente, para el tipo de faena  $i$ .

$\bar{X}$  : Dotación promedio mensual =  $\frac{\text{SUM}_i X(i)}{12}$

Se busca entonces determinar cual debe ser, mes a mes, la dotación de trabajadores a asignar por tipo de faena, minimizando la varianza de dicha dotación mensual.

Resuelto este problema mediante un algoritmo, se reduce significativamente la varianza de la dotación mensual, lo que permite reprogramar las metas mensuales por tipo de faena, con las consiguientes ventajas ya mencionadas.

## I.- OBJETIVOS.

-----

El objetivo de este estudio es lograr dimensionar los requerimientos mensuales, a nivel de faena, de trabajadores forestales para las faenas de manejo, al interior de la zona 1 de Operaciones de FORMIN, buscando que la dotación agregada mensual experimente la menor varianza posible, cumpliendo con las necesidades establecidas en el programa anual de faenas de manejo para el año 1991.

Una vez establecidas dichas dotaciones mensuales, se recalculan, mes a mes, faena por faena, las metas a establecer.

## II.- METODOLOGIA.

-----

En base al programa anual establecido para las faenas de manejo, es posible dimensionar, a nivel de faena, las necesidades de trabajadores agrícolas. Estas necesidades pueden asignarse inicialmente en forma homogénea a nivel de faena, durante los meses en que es posible realizar la faena respectiva. Lo anterior no es más que el punto inicial, a partir del cual se busca dimensionar la dotación mensual de modo que a nivel agregado se minimice su varianza.

Se formula entonces matemáticamente un problema de programación cuadrática en que la función objetivo es minimizar la varianza de la dotación mensual, sujeto al cumplimiento de los programas anuales para cada faena. Se trata de un problema de 120 variables  $X(i,j)$  cantidad de trabajadores en la faena  $i$ , durante el mes  $j$ , con 10 restricciones de igualdad, una para cada meta

anual por faena. Sin embargo, determinadas faenas son posibles de ser efectuadas sólo algunos meses del año, por lo que el problema se reduce a 48 variables y 10 restricciones, lo cual requiere de todos modos de un apoyo computacional, para resolver este problema de asignación en forma rápida.

El problema de asignación a resolver se formula de acuerdo a :

$$\begin{aligned} \text{MIN} \quad & \sum_j (X(j) - \bar{X})^2 \quad j=1,2,\dots,12 \\ \text{S/A} \quad & \sum_j X(i,j) = Y(i) \quad i=1,2,\dots,10 \\ & X(i,j) \geq 0 \end{aligned}$$

Donde :

$$\sum_i X(i,j) = X(j) = \text{Dotación total en el mes } i.$$

$$\sum_j X(i,j) = Y(i) = \text{Trabajadores*mes. faena } i.$$

$$\bar{X} = \sum_j X(j) = \text{Dotación mensual promedio.}$$

Se tiene : 10 faenas, 12 meses = 120 variables  $X(i,j)$ .

Por estacionalidad 72  $X(i,j) = 0$

Por lo tanto existen 48  $X(i,j) \geq 0$

Además se conocen los valores de  $Y(i)$ ,  $i=1,\dots,10$ , que representan el cumplimiento de las metas anuales para cada faena  $i$ .

Simplificando, el problema a resolver puede reescribirse como :

$$\begin{aligned} \text{MIN} \quad & \text{SUM} \quad X(j)^2 \quad j = 1, 2, \dots, 12 \\ \text{S/A} \quad & \text{SUM} \quad X(i, j) = Y(i) \quad i = 1, 2, \dots, 10 \\ & X(i, j) \geq 0 \end{aligned}$$

El algoritmo propuesto para resolver este problema de programación cuadrática considera las siguientes etapas :

1.- Asignar una solución inicial arbitraria que puede ser la de dividir cada faena entre los meses posibles, en partes iguales.

2.- A partir de esa solución, fijar una cota dada por la mayor asignación mensual de la solución anterior, sea esta cota C.

3.- Dada la cota anterior, resolver, mediante LINDO, el sistema de ecuaciones :

$$\begin{aligned} \text{SUM}_i \quad X(i, j) & \leq C \quad j = 1, 2, \dots, 12 \\ \text{SUM} \quad X(i, j) & = Y(i) \quad j = 1, 2, \dots, 10 \end{aligned}$$

4.- Si la solución entregada por LINDO es factible, establecer una menor cota y volver al punto 3.

5.- Si no existe solución factible, la solución proporcionada por la heurística, es la proporcionada por la cota inmediatamente anterior.

6.- Repetir las etapas 2, 3, 4 y 5 para las variables con holgura.

7.- Determinadas las dotaciones de trabajadores que minimicen la varianza, se conocen también las asignaciones de trabajadores por faena y por lo tanto, los programas mensuales por faena.

### III.- ANALISIS DE RESULTADOS.

-----

Al interior de la zona 1 de Operaciones, las metas anuales son las siguientes :

FAENA	No	META ANUAL
Roce	1	1051 ha
Plantac. Euca.	2	413 ha
Plantac. Pino	3	1274 ha
Fertiliz. Euca.	4	307 ha
Fertiliz. Pino	5	994 ha
Herbicida	6	1142 ha
Const. Cercos	7	132 km
Podas	8	12924 ha
Raleo a Desecho	9	923 ha
Desbrote	10	1997 ha

Considerando, para cada faena, los meses en que ésta puede realizarse y los rendimientos promedio del trabajador, por tipo de faena es posible construir la siguiente tabla :

FAENA	No	DOTACION PROMEDIO MENSUAL
Roce	1	252
Plantac. Euca.	2	41
Plantac. Pino	3	85
Fertiliz. Euca.	4	25
Fertiliz. Pino	5	79
Herbicida	6	69
Const. Cercos	7	18
Podas	8	310
Raleo a Desecho	9	9
Desbrote	10	240

Lo anterior permite calcular mes a mes la dotación de trabajadores requeridos :

MES	DOTACION
Enero	270
Febrero	589
Marzo	337
Abril	337
Mayo	422
Junio	422
Julio	463
Agosto	458
Septiembre	749
Octubre	670
Noviembre	577
Diciembre	18

La dotación mensual promedio resulta ser de 443 trabajadores, con una desviación standard del 42 % respecto de la media.

Aplicando la metodología anteriormente descrita, se obtiene la siguiente solución :

DOTACION MENSUAL POR FAENA.

MES	ROCE	PLAEU	PLAPI	FERTEU	FERTPI	HER	CERC	PDS	RADES	DESB	TOT
Ene	464										464
Feb	41						423				464
Mar							464				464
Abr							464				464
May							464				464
Jun			255				139	70			464
Jul							464				464
Ago		83			159		222				464
Sep				49		137				278	464
Oct									22	442	464
Nov								464			464
Dic							210				210
Y(i)	505	83	255	49	159	137	210	3102	92	720	

La dotación mensual promedio resulta ser de 443 trabajadores, con una desviación standard del 16 % respecto de la media.

Lo anterior permite entonces reprogramar las metas mensuales por faena, las que resultan ser :

METAS MENSUALES POR FAENA.

MES	ROCE ha	PLAEU ha	PLAPI ha	FERTEU ha	FERTPI ha	HER ha	CERC km	PDS ha	RADES ha	DESB ha
Ene	966									
Feb	85							1761		
Mar								1932		
Abr								1932		
May								1932		
Jun			1274					578	701	
Jul								1932		
Ago		413			994			925		
Sep				307		1142				771
Oct									222	1226
Nov								1932		
Dic							132			
TOT AÑO	1051	413	1274	307	994	1142	132	12924	923	1997

IV.- CONCLUSIONES.

1.- Ha sido posible formular y luego resolver, mediante programación matemática, la asignación mensual de trabajadores a las faenas de manejo forestal, minimizando la varianza de la dotación mensual de trabajadores forestales. Para el caso estudiado, al interior de la zona 1 de Operaciones de Forestal

Mininco S.A., la dotación promedio de trabajadores resulta ser de 443, con una desviación standard del 16 % respecto de la media. Antes de optimizar, una asignación equitativa faena por faena (solución inicial), presentaba una desviación standard de un 42 %

2.- Se lograría reducir las inversiones asociadas a la construcción de campamentos forestales puesto que al no existir meses peak en cuanto a ocupación de mano de obra, un determinado número de campamentos forestales dejará de requerirse. De igual manera, se logra disminuir la carga de trabajo de supervisión durante todo el año.

3.- Para el contratista forestal, la ventaja es que conocerá su programa anual de trabajo y el personal requerido para cada faena lo que le permitirá invertir en bienes de capital y también en capacitación y desarrollo de su personal.