

## PLANIFICACION DE MAQUINARIA AGRICOLA

ALBERTO ALVAREZ CARDONA\*

### I. INTRODUCCION

Se entiende por planificación agrícola el conjunto de técnicas que permiten ver con anticipación suficiente la cantidad de maquinaria, tanto fuentes de potencia como implementos que serán requeridos para realizar un trabajo específico en un tiempo determinado; ó la cantidad de trabajo específico que podrá realizar un equipo con características ya definidas a través de un tiempo determinado; se analizan también bajo este concepto de planificación aquellos sistemas que permiten evaluar, controlar y ajustar la planificación propuesta a las circunstancias reales una vez iniciada ésta.

### II. IMPORTANCIA

La importancia de la planificación puede explicarse en base a los siguientes aspectos:

#### A. En cuanto al tiempo:

Para las operaciones básicas, existe casi siempre un tiempo fijo para efectuarlas. Este tiempo llamado "disponible" no puede ser variado sin sufrir consecuencias que generalmente son:

---

\*Profesor asociado Dpto. Tecnología Agropecuaria.

1. Lucro cesante de los terrenos que no pueden terminar de prepararse y la pérdida del dinero invertido en las operaciones efectuadas antes de terminarse el tiempo disponible.
2. Consumo muy alto de potencia debido al deslizamiento excesivo al trabajar en suelos muy húmedos, lo mismo que daño de la estructura de éstos, cuando el tiempo disponible sea la época seca y las que siguen sean épocas más lluviosas.

#### B. En cuanto al consumo de potencia:

También en este aspecto, existen en el trabajo de la maquinaria unas características muy definidas, pues el máximo consumo o requerimiento de potencia se produce en las operaciones básicas (Ver gráfico 1) que aparecen representadas en dicha gráfica en las zonas A y C, siendo menor en las épocas B y D que corresponden a las operaciones culturales y de cosecha.

Debido a lo anterior, se requiere una buena planificación de maquinaria en las épocas A y C ya que al presentarse una deficiencia en las máquinas o implementos en estas épocas, es muy difícil suplirla tanto si la maquinaria es propia como si es alquilada.

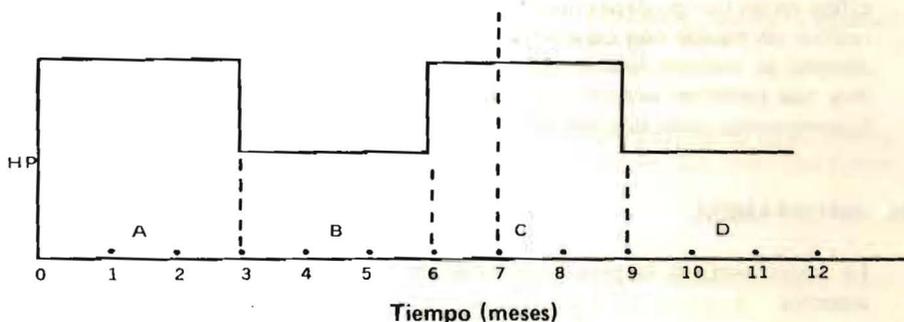


Gráfico 1. HP Vs Tiempo.

### C. En cuanto a la intensidad de utilización de la potencia:

En este aspecto es importante anotar que la intensificación de maquinaria tiene un límite real que lo da el número de hora por semana que una máquina puede desarrollar trabajo permitiendo tiempo libre para mantenimiento. Es de anotar también, que la intensidad de utilización de potencia en algunos grupos de operaciones como la siembra, se vé limitada por los siguientes aspectos:

1. Horas no hábiles para realizar la plantación como son las nocturnas.
2. La máxima disponibilidad de recolección, ya que se asume que en condiciones normales, la recolección se deberá hacer con la misma intensidad con que fue hecha la plantación. La capacidad de recolección mecanizada es un factor limitante para la planificación y debe analizarse detenidamente.

### III. DEFINICIONES

Antes de iniciar en concreto la metodología de la planificación, es conveniente establecer algunos conceptos y definiciones que ayudan a clarificar este tema, ellos son:

**PARCELA:** Se denomina a una área definida, de terreno sembrada con un mismo cultivo y el cual en toda su extensión tendrá las mismas operaciones mecanizadas.

**OPERACION:** Se denomina así a toda actividad mecanizada que se efectúe en un cultivo.

**GRUPO DE OPERACIONES:** Con la finalidad de facilitar la labor del planificador las operaciones se han reunido en varios grupos que son:

1. Grupo de operaciones básicas: Comprende todas aquellas operaciones mecanizadas realizadas después de la cosecha anterior, o la primera que se realice si es campo sin cultivar hasta la primera rastrillada inclusive o la operación que la reemplace desde el punto de vista de pulverización del suelo.
2. Grupo de operaciones de siembra: Bajo esta denominación, se incluyen todas las operaciones mecanizadas que son posteriores a la primera rastrillada o la que la reemplace, hasta la plantación de la semilla; o sea hasta cuando la semilla quede lista en el campo para iniciar su ciclo vegetativo.

3. Grupo de operaciones de mantenimiento o conservación: Incluye todas las operaciones mecanizadas que se realizan durante el ciclo vegetativo de la planta, excepto la recolección y transporte del producto cosechado.
4. Grupo de operaciones de cosecha o recolección: Como su nombre lo indica, comprende todas las operaciones mecanizadas de la recolección o cosecha. No incluyendo las de transformación o post-cosecha.

Con base en lo anotado anteriormente en cuanto al consumo de potencia, la planificación para determinar la cantidad de potencia requerida, sólo se efectúa para los grupos 1 y 2 ya que se sabe que si la potencia es suficiente para estos dos grupos lo será también para los 3 y 4, dentro de los sistemas tradicionales de cultivo, sin incluir aquellos sistemas especiales como labranza mínima.

**HORAS REALES (H.R.):** Se definen como la cantidad de tiempo en horas que serían necesarias para efectuar un trabajo una máquina determinada si no se presentaran pérdidas de tiempo por las lluvias.

**COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA (C.E.):** Se define como:

$$C.E. = \frac{d_1}{d_1 - d_2}$$

Siendo:  $d_1$ : el total de días disponibles por mes.

$d_2$ : el total de días perdidos por lluvias.

Este coeficiente debe calcularse para cada mes.

**HORAS EQUIVALENTES (H.E.):** Son el producto de multiplicar las horas reales (H.R.) por el coeficiente de equivalencia (C.E.) y significan las horas que una máquina debe estar disponible para poder efectuar un trabajo que requiere unas H.R. dadas en un mes con C.E. calculado.

**UNIDAD DE TIEMPO:** En las planificaciones se utiliza como unidad básica de tiempo la semana de siete (7) días y el mes de cuatro (4) semanas.

**FECHAS:** Dentro de la elaboración de una planificación se consideran tres fechas importantes y básicas que son:

1. Fecha de iniciación de preparación.
2. Fecha de iniciación de siembra.
3. Fecha de terminación de siembra.

Respecto a estas fechas es conveniente anotar lo siguiente:

1. Fecha de iniciación de preparación: Esta fecha está determinada en su inicio por la recolección de la cosecha anterior, y en su finalización por la fecha de terminación de siembra, pudiendo variar entre ambos límites, sin sobrepasar ninguno de los dos.
2. Fecha de iniciación de siembra: Esta fecha es de gran importancia, ya que sus límites están establecidos así:

El lapso máximo comprendido entre la iniciación de siembra y la terminación de la misma debe ceñirse a la duración de la semilla sembrada en condiciones de tiempo seco.

El lapso mínimo comprendido entre la iniciación de siembra y la terminación debe regirse por la capacidad de la maquinaria de recolección, tanto si es mecanizada como manual, especialmente en cultivos que sufren deterioro o pérdida si no son cosechados oportunamente.

3. Fecha de terminación de siembra: Esta fecha generalmente fija para un cultivo determinado en una zona específica, tiene muy pocas variaciones pero en cultivos con riego es posible adelantarla, pero bajo cualquier sistema (con o sin riego) es muy peligroso atrasarla pues las condiciones climáticas pueden impedir la realización de algunas labores tales como plantación y tapada de semilla.

**BALANCE DE HORAS:** Se entiende por balance de horas los traslados de H.R. o H.E. que se efectúan en una planificación de un mes a otro, o de una semana a otra tendientes a equilibrar los requerimientos de horas por semana; para efectuar dicho balance, deben seguirse de ser posible algunas normas como las siguientes:

1. Al trasladar H.E. de un mes a otro de diferente C.E., deben dividirse las H.E. que se trasladan por el C.E. del mes donde están y multiplicar el resultado por el C.E. del mes hacia el cual van, es decir trasladar H.R. y convertirlas en H.E. según el coeficiente del mes a donde son trasladadas.
2. El traslado de horas se hace de los meses con mayor demanda de horas hacia los de menor demanda.

3. Las operaciones del Grupo de preparación, pueden adelantarse hasta donde lo permita la recolección de la cosecha anterior y puede atrasarse hasta donde lo permita la fecha de terminación de la siembra.
4. Al modificarse la fecha de iniciación de la siembra debe tenerse presente que se modifica también las de las cultivadas.

#### IV. METODOLOGIA DE LA PLANIFICACION

Dentro del presente capítulo, se analizarán los pasos que deben seguirse para efectuar una planificación, sin pretender que esta metodología sea una norma rígida, sino solamente una guía de las muchas posibles, sobre todo en lo que se relaciona con la tabulación y graficación de los datos o cálculos.

1a. PARTE: En esta parte, se analizan los datos que deben conocerse antes de iniciar los cálculos correspondientes, estos son como mínimo los siguientes:

Parcelas: Extensión, cultivo, tipo de suelo y topografía. Debe identificarse cada parcela con una letra mayúscula.

Cultivo: Debe conocerse respecto al cultivo, lo siguiente:

- Operaciones a realizar durante la preparación, siembra, mantenimiento y cosecha.
- Período vegetativo.
- Fechas de iniciación de preparación, iniciación de siembra y terminación de siembra.

Para facilitar la representación en tablas, las diferentes operaciones mecanizadas deben designarse por un número.

Los datos anteriores pueden tabularse en la siguiente forma: (Tabla 1)

#### SIGNIFICADO LABORES:

- 1: Arada.
- 2: 1a. Rastrillada.
- 3: 2a. Rastrillada.
- 4: 3a. Rastrillada.
- 5: Aplicación preemergente.
- 6: Plantación.

Parcelas	Area Has.	Cultivo	Labores								Fechas		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	450	MILLO	X	X	X			X	X		IV-1	VI-15	VII-31
B	300	MILLO	X	X	X			X	X		IV-1	VI-15	VII-31
C	500	ALGODON	X	X	X	X	X	X		X	III-15	V-1	V-31
D	250	ALGODON	X	X	X	X	X	X		X	III-15	V-1	V-31
E	650	AJONJOLI	X	X	X	X		X		X	IV-1	VI-1	VI-31

**TABLA 1. DATOS**

7: Recolección mecanizada.

8: Transporte en remolques tirados por tractor. Comprende solamente el transporte desde el campo hasta el sitio de almacenamiento del producto cosechado.

**SIGNIFICADO FECHAS:**

9: Fecha de iniciación de preparación.

10: Fecha de iniciación de siembra.

11: Fecha de terminación de siembra.

**Nota:** Cuando la planificación se realiza para dos semestres consecutivos, las fechas 9, 10, 11 del segundo semestre, dependen de las fechas del primer semestre, especialmente la iniciación de preparación.

**2a. PARTE: Cálculos:**

a. La primera operación a realizar es la de agrupar las labores de cada cultivo en los diferentes grupos de labores antes definidos.

Como ejemplo de la parcela C – Algodón; se agruparán así:



Grupo Preparación:  
Grupo Siembra:

Incluirá las operaciones 1 y 2  
Incluirá las operaciones 3, 4, 5 y 6

b. Cálculo de Horas Reales por parcela y Grupo de Operaciones:

Para realizar dicho cálculo debe asumirse una capacidad de campo de las máquinas para cada labor específica, debido a que esto depende de múltiples variables, tales como: tamaño y forma de la parcela, potencia de la máquina, tamaño del implemento, eficiencia del operario, tipo de suelo, topografía, etc., en el presente trabajo se usará un promedio nacional de capacidades de campo para tractores de potencia media (65 a 75 b.h.p.)<sup>1</sup> en el motor; con base en estas capacidades, se calcularán los requerimientos de maquinaria al final de la planificación. Por lo tanto, cuando se especifica que se requieren un determinado número (n) de tractores e implementos, se está haciendo referencia a tractores de potencia media, o sea en otros términos, que se está seleccionando una potencia global igual a los tractores multiplicados por su potencia media (65 a 75 b.h.p.). Para una selección de potencia unitaria, debe estudiarse el capítulo relativo a selección de potencia. A continuación aparecen algunas capacidades promedias de operaciones en dos zonas diferentes del país. Es de anotar que dichas

Labor	Capacidad en Ho/Ha.	
	Costa Atlántica	Valle del Cauca
Arada	3.1	3.3
1a. Rastrillada	1.5	1.3
2a. Rastrillada	1.0	1.2
3a. Rastrillada	0.9	1.0
Nivelada	1.0	1.0
Aplicación preemergente	1.0	1.0
Plantación	1.0	1.3
Recolección	1.0	1.1
Transporte	1.0	1.1
Cultivada	0.8	0.7
Subsolada	3.1	3.3

TABLA 2. CAPACIDADES PROMEDIAS<sup>2</sup>

1. Este dato puede variarse por la capacidad de cualquier otra máquina siempre que sea confiable.
2. Obtenidas para tractores de potencia media (65 a 75 b.h.p. en la volante).

capacidades deben usarse en aquellos casos en que no se tengan las capacidades propias de la zona en la que se desea planificar, aplicándolas en todo caso con muchas reservas debido a que a pesar de ser promedios para el país, pueden variar mucho en otras zonas según las condiciones topográficas, climáticas, del tractorista, tipos de maquinaria, etc.

Con base en las capacidades Tabla 2. ó en las correspondientes a la zona, se procede al cálculo de las H.R. necesitadas para cada parcela y cada Grupo de Operaciones.

La tabulación correspondiente a estos cálculos se puede representar así: (Ver tabla 3).

Parcela	Cultivo	Horas Reales			
		Preparación	Siembra	Conservac.	Recolección
A	MILLO	2.070	900	—	450
B	MILLO	1.380	600	—	300
C	ALGODON	2.300	1.950	500	—
D	ALGODON	1.150	975	250	—
E	AJONJOLI	2.990	1.885	325	—

**TABLA 3.**  
**HORAS REALES POR PARCELA Y GRUPO DE OPERACIONES**

**Nota:** Para obtener los valores H.R/cultivo - grupo de operaciones, se procede así:

1o. Se agrupan las operaciones que en cada cultivo conforman los grupos. Ejemplo: en la parcela A (Millo), para el grupo preparación se tomarán:  
Arada y 1a. rastrillada

2o. Se suman las capacidades de las operaciones de cada grupo:  
Arada — 3.1 Ho/Ha.  
1a. Rast. — 1.5 Ho/Ha.

Esta suma, será la capacidad del grupo de operaciones/parcela.

Ejemplo: Capacidad preparación—parcela A Millo 4.6 Ho/Ha.

3o. Se multiplica la capacidad encontrada en el literal 2o. por la extensión de la parcela correspondiente, en hectáreas.

Ejemplo: 4,6 Ho/Ha. x 450 Has. = 2.700 horas, dato éste que aparece en la celda correspondiente de la Tabla 3.

En forma similar se procede para calcular los otros datos de la Tabla 3.

c. Cálculo de Horas Reales por Cultivo:

Este cálculo se realiza cuando en una planificación se presentan varias parcelas con un mismo cultivo y éstos cultivos con las mismas operaciones y fechas. Condiciones éstas, que permiten agrupar las horas reales para ser considerados durante la planificación como una sola parcela, al final en la distribución de máquinas, se procederá a dividir esta parcela en las originales. Ejemplo: En la Tabla 3, la parcela A y B; C y D reúnen las condiciones exigidas y por lo tanto, pueden agruparse así:

Parcela	Cultivo	Horas Reales			
		Preparación	Siembra	Conservac.	Recolección
A y B	MILLO	3.450	1.500	—	750
C y D	ALGODON	3.450	2.925	750	—
E	AJONJOLI	2.990	1.8885	325	—

**TABLA 4.**  
**HORAS REALES POR GRUPO DE LABORES Y CULTIVO**

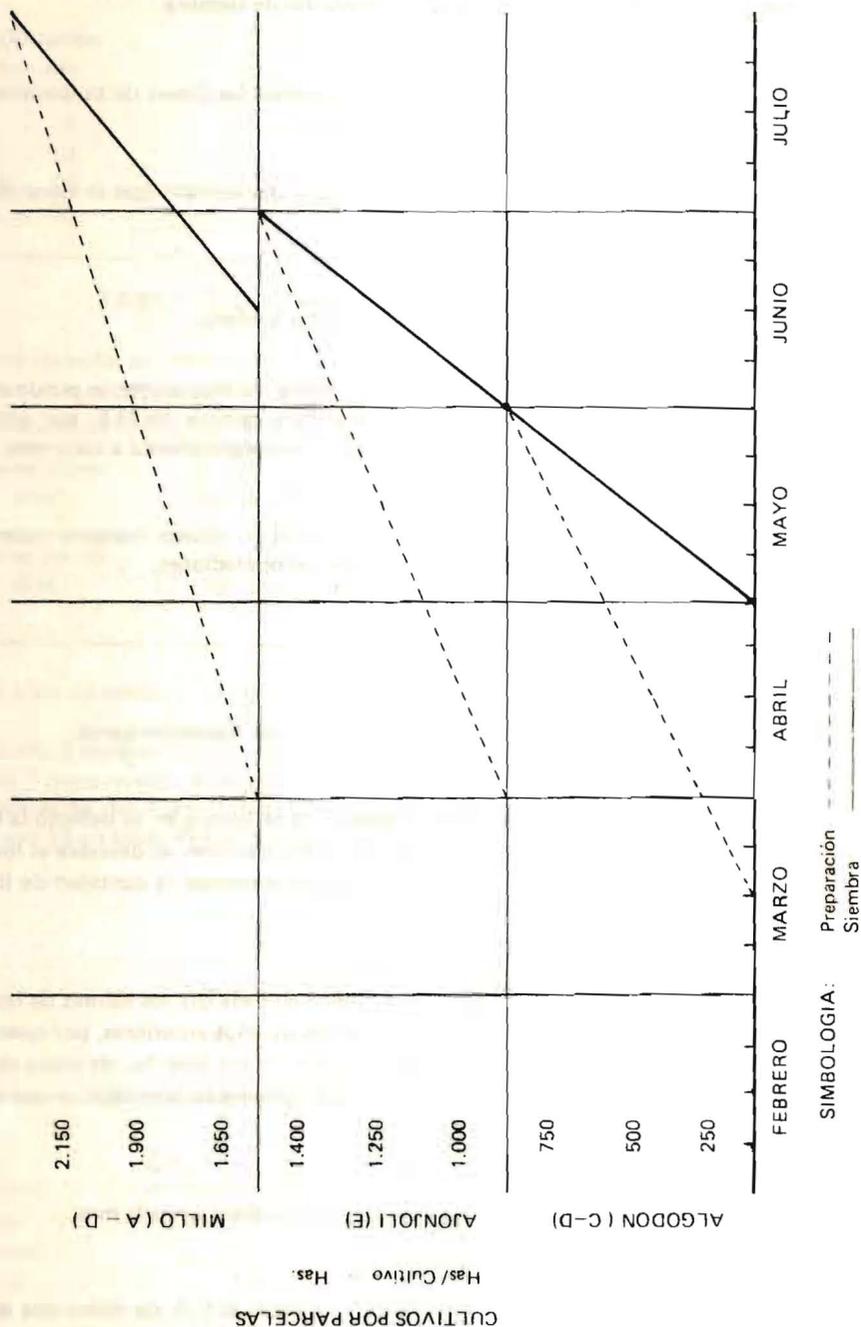
d. Plan Agrícola Inicial:

Por plan agrícola inicial, se entiende el gráfico de hectáreas Vs. tiempo calendario, que se hace con base en lo siguiente:

1. Se realiza preferencialmente para los grupos de operaciones de preparación y siembra, debiendo complementarse para todos los otros una vez sea definitivo.
2. Se toma como base para graficar estos dos grupos las fechas de iniciación de preparación, iniciación de siembra y terminación de siembra, en la siguiente forma:

El Grupo Preparación: Tentativamente se empieza en la fecha de iniciación de preparación, y se finaliza en la fecha de terminación de siembra.

GRAFICO 2. PLAN AGRICOLA INICIAL



El Grupo Siembra: Tentativamente se empieza en la fecha de iniciación de siembra y se finaliza en la fecha de terminación de siembra.

3. No deben cruzarse en ningún punto intermedio las líneas de preparación y siembra, sólo en el punto final de ambas.

El Gráfico 2. muestra el Plan Agrícola Inicial del ejemplo que se viene discutiendo.

e. Cálculo de Horas Reales y Horas Equivalentes por Semana:

Como se puede observar en el Gráfico 3. al sumar verticalmente, se puede obtener el requerimiento de horas reales/semana. Para calcular las H.E. por semana sólo es necesario multiplicar las H.R. por el C.E. correspondiente a cada mes.

Para calcular las H.R./semana, basta dividir las H.R. totales (número superior) por semanas proyectadas para realizar el grupo de operaciones.

f. Cálculo del Coeficiente de Equivalencia (C.E.):

Para obtener el C.E. de un mes, es necesario hacer los siguientes pasos:

1. Obtener registros pluviométricos (tomados en la zona o en su defecto la estación más cercana) del mes en análisis de años anteriores, es deseable el mayor número posible de años. Los registros deben contener la cantidad de lluvia por día.
2. Se promedian para obtener el valor de lluvia en cada día los valores de las lluvias, en los mismos días de los mismos meses de años anteriores, por ejemplo, se promedia entre todos los valores de lluvias de los días 1o. de enero de todos los años anteriores disponibles y el valor promedio obtenido se usará para el 1o. de enero proyectado.
3. Basándose en la Tabla 5., se calculan los días perdidos en cada mes.
4. Con base en los días perdidos por mes, se calcula el C.E. de dicho mes según la fórmula del numeral 5. Capítulo III Definiciones.

Precipitación mm./día	Días Perdidos	
	Tractor llantas	Tractor oruga
0 - 5	1	0
6 - 10	2	0
11 - 30	3	1
más de 30	4	2

**TABLA 5. COEFICIENTES DE DIAS PERDIDOS**

Como ejemplo, asumimos que los promedios de lluvia/día durante 5 años anteriores en un mes dado son:

Lluvias (m.m)	6	3	10	22	5	3	
días	1 (2) (3)	4 5 6 (7) (8)	(9) (10) (11)	12 13 14 15 (16)			
Lluvias (m.m)	10	12	27	35	5	10	8
días	17 (18) (19)	(20) (21) 22 23 24 (25)	(26) (27) (28) (29) (30)				

Si se trata de calcular tractores de llantas y con base en la Tabla 5, tendremos:

En el día 2 cayeron 6 mm., por lo tanto se pierden 2 días que serán el día 2 y 3; en el día 3 cayeron mm. ó sea que se pierde 1 día, el día 3, que ya estaba perdido por las lluvias del día 2. En forma similar, se calculan los otros días perdidos en el mes que son 18 en total. Por lo tanto, el C.E. de este mes será:

$$\frac{d_1}{d_1 - d_2} = \frac{30}{30 - 18} = \frac{30}{12} = 2.5$$

Para nuestro ejemplo, asumiremos los siguientes C.E.:

Mes	C.E. Tract. Llantas	Mes	C.E. Tract. Llantas
Enero	1.0	Julio	1.9
Febrero	1.0	Agosto	1.75
Marzo	1.0	Septiembre	1.7
Abril	1.3	Octubre	1.7
Mayo	1.7	Noviembre	1.55
Junio	2.0	Diciembre	1.1



- g. Balance de Horas: El balance de horas es la operación más compleja que se realiza en la planificación y de que dicho balance sea efectivo, depende que se pueda obtener una adecuada selección de potencia.

Para realizar un buen balance de horas, se requiere hacer un estudio general de las horas por semana, observando los picos y desplazando hacia las semanas de menor requerimiento de horas las que se tomen de los picos.

Para realizar los desplazamientos de horas debe tenerse presente como mínimo lo siguiente:

1. No suspender algunas operaciones o grupos de operaciones durante un tiempo muy largo.

Ejemplo: No separar una 1a. rastrillada de la arada por 8 - 10 días en suelo que estén muy secos, pues el endurecimiento de éste puede impedir la entrada de los discos del rastrillo.

2. Que al intensificar la utilización de potencia en un grupo de operaciones, no se produzca el cruce entre su línea y la del otro grupo. Por lo tanto, al hacer desplazamiento de horas, debe graficarse nuevamente el Plan Agrícola definitivo.

Como puede verse en el gráfico 3. la distribución de H.E/semana es muy dispareja, lo cual exigiría mucha variación en el número de tractores e implementos que se deben usar, por lo tanto es necesario equilibrar hasta donde sea posible las horas de los diferentes meses ya que el resultado de la selección de potencia debe ser un número único ó a lo máximo un rango muy estrecho, puesto que los incrementos de maquinaria son difíciles de suplir tanto si es propia como si es alquilada.

Para remediar las diferencias de H.E en los meses de marzo, abril, mayo, junio y julio se pueden realizar los siguientes traslados que se anotan aquí a modo de ejemplo, pero debe quedar claro que existen otras muchas variantes posibles para lograr un adecuado balance de horas:

1. 345 horas de preparación de algodón de marzo a abril.
2. 200 horas de preparación de ajonjolí de mayo a abril.
3. 50 horas de preparación de ajonjolí de junio a abril.
4. 100 horas de preparación de millo de mayo a abril.

GRAFICO 3. TOTAL DE HORAS POR SEMANA PARA PREPARACION Y SIEMBRA PARA  
TODOS LOS CULTIVOS

CULTIVO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
MILLO			3.450 (215)		1.500 (250)
ALGODON		3.450 (345)	2.925 (7 31)		
AJONJOLI			2.900 (250)	1.885 (471)	
Horas Reales	345	1053	2620	2300	2300
Horas equivalentes	345	1053	2620	1872	2300

Simbología:   
 Preparación -----   
 Siembra -----   
 Número superior: Horas reales totales   
 Número inferior: Horas reales por semana

GRAFICO 4. BALANCE DE HORAS - TRASLADO DE HORAS

CULTIVO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
Algodón	- 345	345 - 30	- 30		
Ajonjolí		- 250	- 200	- 50	
Milho		- 100	- 100	- 100	- 100
Total H. R.	- 345	- 725	- 330	- 150	- 100
Total H. E.	- 345	- 943	- 561	- 300	- 190
M I L L O		(215 - 100) 1.3 (410)	(215 - 100) 1.7 (196)	(215 - 100) 2 230 250 x 2 (500)	(215 - 100) 1.9 598 250 x 1.9 (475)
ALGODON	(345 - 345)	(345 - 202.5) 1.3 (711.8)	(345 - 30) 1.7 (535) 731 x 1.7 1.243		
A J O N J O L I		(250 - 250) 1.3 (650)	(250 - 200) 1.7 (85)	(250 - 50) 2 (400) 471 x 2 942	
Total H.E./Semana	0	1.772	2.255	1.572	2.000

Número Superior : Horas equivalentes  
 Número Inferior : Horas equivalentes por semana

GRAFICO 5. HORAS EQUIVALENTES TOTALES POR MES Y POR SEMANA

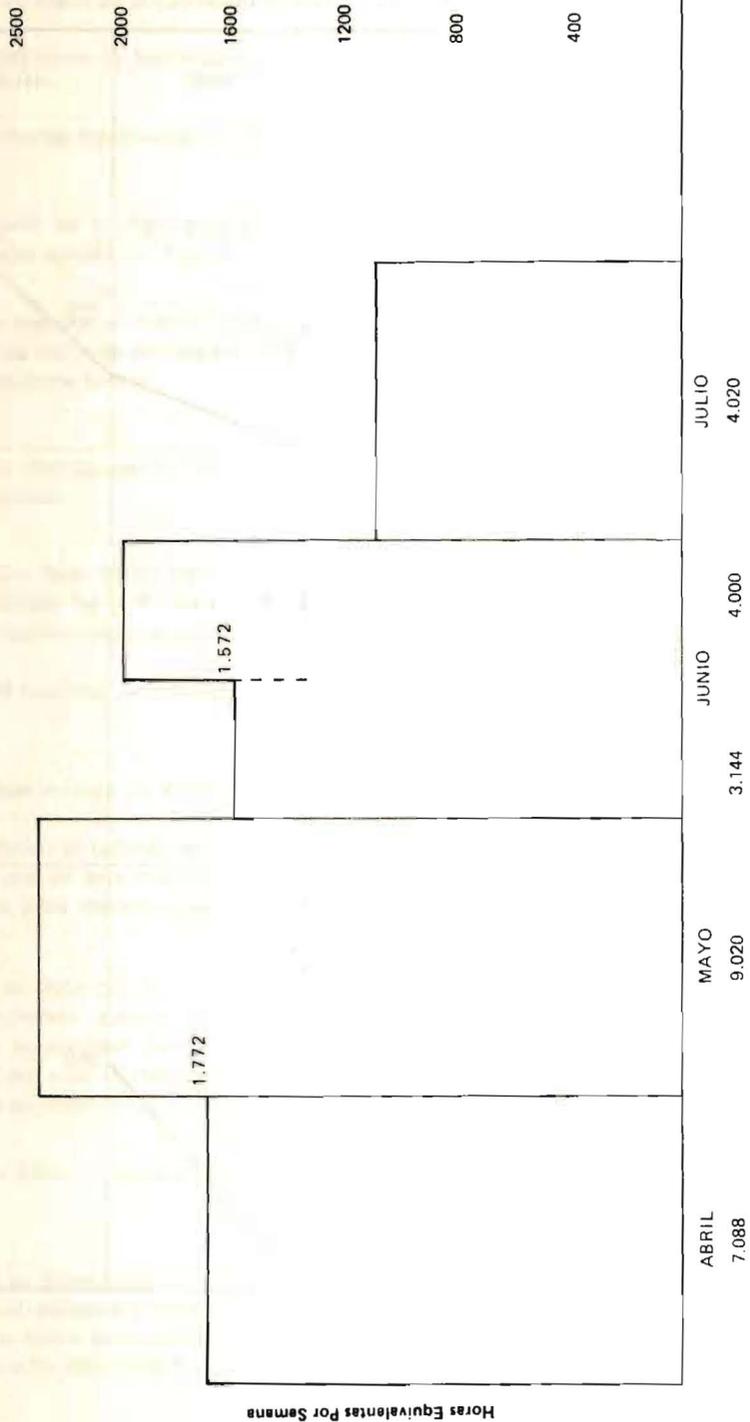
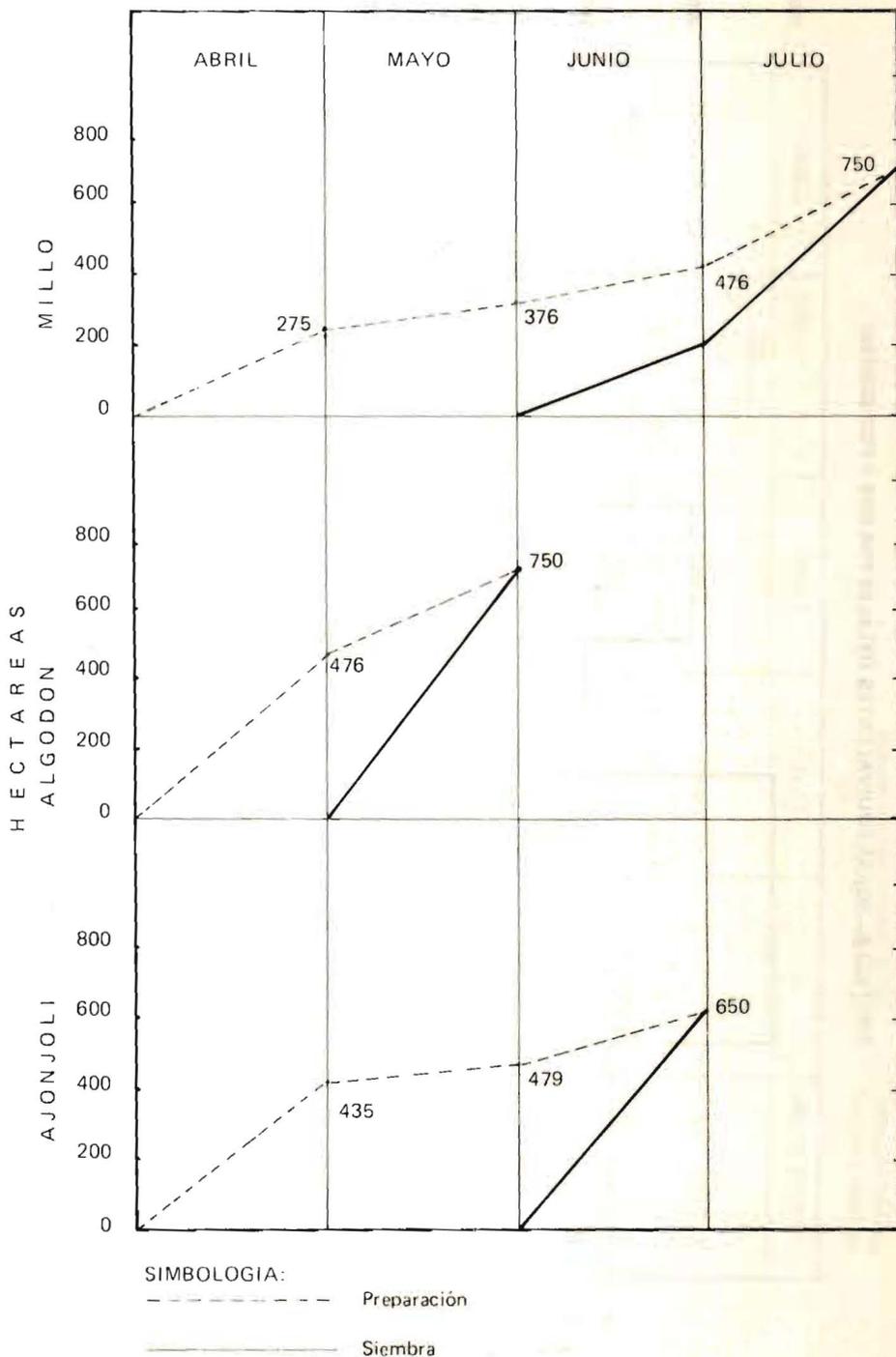


GRAFICO 6. PLAN AGRI COLA DEFINITIVO DESPUES BALANCE DE HORAS



5. 30 horas de preparación de algodón de mayo a abril.
6. 100 horas de preparación de millo de julio a junio.

El anterior movimiento de horas, aparece explicado en el Gráfico 4.

Después de configurar el balance de horas, debe procederse a graficar las H.E/ semana totales y el Plan Agrícola definitivo.

Para elaborar el gráfico 6. del Plan Agrícola definitivo, es necesario antes, realizar los cálculos de Has/mes - cultivo de acuerdo al balance definitivo de horas en la siguiente forma:

1. Se distribuyen las horas reales/mes para cada cultivo y cada grupo de operaciones.
2. Con base en las capacidades (Ho/Ha) para cada grupo de operaciones, y dividiendo las H.R/mes por la capacidad del grupo de operaciones se obtiene las Has/mes para cada cultivo y grupo de operaciones.

El resumen de los cálculos anteriores, aparece en el gráfico 6.

#### h. Requerimiento de Maquinaria (Tractores)

Posterior al balance de horas, se efectúa el cálculo de requerimiento de maquinaria, que en este caso consiste en determinar la potencia global requerida en tractores y los implementos para acoplar a dichas máquinas.

No se trata por lo tanto de un estudio de selección de maquinaria ya que éste comprende además del cálculo de potencia global, el de la potencia unitaria más aconsejable desde el punto de vista económico, mientras que en el presente caso sólo se trata de determinar la potencia global que sea capaz de atender los requerimientos planificados sin consideraciones de tipo económico.

Para calcular estos requerimientos deben tenerse presente los siguientes aspectos:

1. Las capacidades de campo (Ho/Ha) en que se fundamentó la planificación corresponde a tractores de potencia media (65–75 b.h.p.) en el motor, por lo tanto la solución de requerimiento de tractores se expresará en potencia media (65–75 b.h.p.).

2. Debe analizarse las características de la zona donde se va a trabajar y el estado mecánico de las máquinas, con el fin de determinar el número de horas máximas/día ó semana que es posible laborar.
3. Debe analizarse el tipo de mantenimiento que existe a fin de determinar el tiempo/semana necesario para llevar a cabo dicho mantenimiento, lo mismo que el número de máquinas auxiliares que disminuyen el tiempo perdido por los tractores en carga de combustible, lubricantes, semillas, etc.
4. Aún trabajando con máquinas nuevas ó en muy buenas condiciones mecánicas el tiempo/día máximo estará alrededor de 18-20 horas durante 6.5/días/semana.

### Cálculos:

- Datos requeridos:
- $N_1$ : Número máximo de horas equivalentes/semana
  - $N_2$ : Número máximo de tractores requerido.
  - $N_3$ : Número mínimo de tractores requerido.
  - $N_4$ : Número mínimo de H.E/semana.
  - $d_1$ : días/semana que pueden trabajar las máquinas.
  - H: Número de horas/días que pueden trabajar las máquinas.

$$N_2 = \frac{N_1}{d_1 \cdot H} \quad (1)$$

$$N_3 = \frac{N_4}{d_1 \cdot H} \quad (2)$$

Al seleccionar  $N_2$ , se tendrá:

- Mayor costo inicial en la inversión de maquinaria.
- Menor costo anual de pago de horas extras a los operarios de las máquinas.
- Mayor lucro cesante de las máquinas durante los meses o semanas de menor H.E.

Al seleccionar  $N_3$ , se tendrá:

- Mayor costo anual por pago de horas extras a los operarios de las máquinas.
- Menor costo inicial en la inversión de maquinaria.
- Menos lucro cesante de la maquinaria durante el año.

- Peligro de que no alcancen las máquinas a satisfacer las semanas de máximas horas equivalentes, sobre todo cuando hayan algunas máquinas fuera de servicio, lo cual no significa que fracase la planificación, sólo que habrá que reajustarla sobre la marcha.

**Nota:** Cuando se seleccione el  $N_3$  (mínimo de tractores) debe hacerse el análisis para comprobar que:

$$N_3 \times (d_1 \times H) \text{ máximo} \geq N_1 \quad (3)$$

Haciendo  $(d_1 \times H)$  lo máximo posible en la zona.

La selección del número definitivo de tractores  $N_d$  se hará considerando un balance general para un año, en el cual se comparen los costos anuales totales de los  $N_d$  tractores contra los costos anuales de  $N_d \pm 1$  tractores.

Se adoptará como  $N_d$  óptimo, aquel número que cumpla las siguientes condiciones:

1. Costo anual total (C.A.T) de  $N_d <$  Costo anual total de  $N_d + 1$  y de  $N_d - 1$ , o sea:

$$\text{C.A.T} (N_d - 1) > \text{C.A.T} (N_d) < \text{C.A.T} (N_d + 1) \quad (4)$$

2. Que  $N_d \times d_1 \times H \geq N_1$  (5)

Una vez determinado el  $N_d$  óptimo, se podrá interpretar este dato como que dicho número de máquinas de una potencia media unitaria (65–75 b.h.p en el motor), serán suficientes para que en condiciones normales de mantenimiento y trabajo, realicen el trabajo planificado.

En el ejemplo que nos ocupa, se tienen los siguientes datos:

$$\begin{aligned} N_1 &= 2.255 \text{ H.E. en las semanas de mayo.} \\ N_4 &= 1.005 \text{ H.E. para las semanas de julio.} \\ H &= 16 \text{ horas/día.} \\ d_1 &= 6 \text{ días/semana.} \end{aligned}$$

**Cálculos:**

$$1. N_2 = \frac{N_1}{d_1 \cdot H} = \frac{2.255}{6 \times 16} = 23.48 \text{ tractores que se aproxima a 24 tractores.}$$

$$2. N_3 = \frac{N_4}{d_1 \cdot H} = \frac{1.005}{6 \times 16} = 10.46 \text{ tractores que se aproximan a 11 tractores.}$$

3.  $N_3 \times d_1 \text{ máx.} \times H. \text{ máx.} \geq N_1 \dots ?$

$$11 \text{ tractores} \times 6.5 \frac{\text{días}}{\text{sem.}} \times 20 \frac{\text{Ho}}{\text{día}} \geq 2.255?$$

$$1.430 \geq 2.255 \text{ lo que es falso.}$$

Por lo tanto no es posible que el  $N_3$  tractores sea capaz de realizar el trabajo, ni aún trabajando a máxima capacidad, entonces es necesario plantear el número mínimo real ( $N_5$ ) de tractores así:

$$N_5 = \frac{N_1}{d_1 \text{ máx.} \times H \text{ máx.}} = \frac{2.255 \text{ Ho/sem.}}{6.5 \frac{\text{días}}{\text{sem.}} \times 20 \frac{\text{Ho}}{\text{día}}}$$

$$N_5 = 17.34, \text{ que se aproxima a 18 tractores.}$$

4. El paso siguiente consiste en analizar el costo anual total de la alternativa con  $N_5$  tractores con el correspondiente  $N_5 + 1$  tractores y aplicar la fórmula (4). En caso de que  $C.A.T (N_5) < C.A.T (N_5 + 1)$  se puede aceptar que realmente  $N_5$  es el número más adecuado de tractores, ya que la otra pueba  $C.A.T (N_5) < C.A.T (N_5 - 1)$  no tiene sentido pues se ve que  $N_5 - 1$  no es número suficiente para atender la máxima demanda de horas  $N_1$ .

Como se puede observar durante el análisis anterior, es muy importante un adecuado balance de horas, pues el pico  $N_1$  es definitivo para la determinación del número mínimo de tractores requeridos.

h. Requerimiento de Implementos

El cálculo del número de implementos, se hace con base en el número de tractores seleccionados, para ello se pueden tomar dos datos diferentes que lógicamente darán dos resultados distintos.

Datos requeridos:

1. Número de tractores seleccionados: ( $N_5$ )
2. Número máximo de horas equivalentes ( $N_7$ ) para el grupo de operaciones que contienen la operación específica que requiere a su vez el implemento en cuestión.
3. Número máximo de tractores ( $N_6$ ) que en una semana cualquiera estén trabajando en el grupo de operaciones donde esté contenida la operación específica para la cual se esté calculando el número de implementos.

**Nota:**  $N_6$  puede ser  $\leq N_5$  pero nunca mayor. El valor de  $N_6$ , se calculará dividiendo el máximo número de horas equivalentes que en una semana estén programadas para efectuar el grupo de operaciones donde está contenido este implemento, por las horas/semana que trabaje un tractor, es decir por  $H \cdot d_1$ .

$$\therefore N_6 = \frac{N_7}{H \text{ máx.} \times d_1 \text{ máx.}} \quad (6)$$

4. Relación entre la capacidad del grupo de operaciones (al cual pertenece la operación en cuestión), y la capacidad de dicha operación.

$$C_G / C_o = r \quad (7)$$

Siendo:  $C_G$ : la capacidad de campo en Ho/Ha. del grupo de operaciones, ó sea la suma de las capacidades de las diferentes operaciones reunidas en dicho grupo y,

$C_o$ : la capacidad en Ho/Ha. de la operación específica a la cual se le está calculando el número de implementos.

$r$ : Será la relación entre estas dos capacidades anteriores y será específica para cada operación, por lo tanto existirá una  $r_{a1}$ , para la 1a. arada,  $r_{r1}$ , para la 1a. rastrillada, y así sucesivamente.

#### Método "A":

Este método de cálculo de implementos requeridos es el que ofrece mayor margen de seguridad a favor del planificador, pero con un número de implementos mayor que lógicamente costarán más:

Cálculos: 
$$N_1 = N_5 \frac{C_o}{C_G} \quad (8)$$

donde:  $N_1$  número de implementos requeridos para realizar la operación cuya capacidad de campo en Ho/Ha. es  $C_o$ .

Como ejemplo: Si  $N_5 = 18$  tractores.  
 $C_o = 3.1$  Ho/Ha. para la 1a. arada.  
 $C_G = 4.6$  suponiendo que el grupo de preparación al cual corresponde la arada esté conformado por:

arada: 3.1 Ho/Ha.  
 1a. ras.: 1.5 Ho/Ha.  
 $C_G$ : 4.6 Ho/Ha.

$N_1 = 18 \times \frac{31}{4.6} = 12.13$ , número que a juicio del planificador se puede aproximar a 12 ó 13 arados. En forma similar se calculará para los otros implementos que sean utilizados en una sola operación. En caso en que el mismo implemento se pueda usar varias operaciones como el rastrillo que puede realizar la 1a. y 2a. rastrillada, el número definitivo de este implemento, será la suma de rastrillos requeridos para la 1a. más los requeridos para la 2a. rastrillada.

A primera vista estos resultados pueden aparecer exagerados, pero al realizar una planificación es común que no pueda cumplirse exactamente lo previsto y se presenten casos en que en forma simultánea se tengan que hacer la 1a. y 2a. rastrillada siendo lógico que en una planificación no se pare un tractor por falta de implemento, razón ésta que justifica desde el punto de vista económico estos cálculos por exceso del número de implementos.

### Método "B":

Este método para el cálculo del número de implementos requeridos, dá resultados más estrechos o menores que el método A, por lo tanto es más económico y puede emplearse en aquellos casos de planificaciones sencillas donde no exista mucho peligro de variaciones de lo previsto como las descritas en el caso A.

### Cálculos:

$$N_1 = N_6 \frac{C_o}{C_G} \quad (9)$$

Como ejemplo para el mismo caso analizado en el método A:

$$N_6 = \frac{N_7}{H \text{ máx. } d_1 \text{ máx.}} = \frac{1.362 \text{ H.E./sem.}}{6.5 \text{ días } \times \frac{20 \text{ Ho}}{\text{sem.}} \text{ día}} = 10.47 \text{ Trac.}$$

$$N_1 = 10.47 \times \frac{3.1}{4.6} = 7.41 \text{ arados}$$

$N_6$ : Es el número máximo de tractores empleados en operaciones de preparación que se necesitarán en las semanas del mes de Abril (mes con mayor número de horas en preparación = 5.448 H.E./mes = 1.362/H.E./sem. Este número debe aproximarse por exceso a 11 tractores.

$N_i$ : Como se vé es de 7.41 arados que debe aproximarse por exceso a 8 arados, número éste menor que el encontrado por el método A.

## V. CONTROL DE LA PLANIFICACION:

Existen varios sistemas recomendables para controlar la ejecución de una planificación.

Después de realizar los cálculos anteriores, debe procederse a determinar el sistema de control de las operaciones. Este sistema debe buscar básicamente dos cosas:

- a. Que de acuerdo al PLAN AGRICOLA DEFINITIVO se elabore un sistema de control que sin variar las fechas 9, 10 y 11 permita organizar el trabajo de las máquinas en forma eficiente, sin pérdidas innecesarias de tiempo o en transporte, cambio de implementos, cambio de actividad del tractorista, etc., para que el tiempo sobrante realmente, sea repartido entre las diferentes máquinas para dedicarlo a mantenimiento de éstas ó en caso de que el tiempo sobrante permita realizar mantenimiento y sobre aún tiempo, debe replantearse los cálculos de potencia, en tal forma que se reduzca el número de máquinas.
- b. Que permita controlar en forma rápida y clara el desarrollo real de la planificación y facilite ver los cambios que a la planificación original deben efectuarse sobre la marcha y permita realizar los ajustes necesarios en el resto de la planificación.

Se considera en general que una Ruta Crítica es suficiente herramienta para lograr el objetivo A, debiendo elaborarse antes un cuadro de SECUENCIA DE ACTIVIDADES y UN PLAN AGRICOLA REAL posterior a la Ruta.

Para lograr el objetivo B, descrito arriba, se puede usar el PLAN AGRICOLA REAL y/o BARRAS DE GANT.

Nota: Se entiende por Plan Agrícola Real el gráfico tiempo Vs. Ha. de una operación específica o grupo de operaciones de un cultivo que resulta al proyectar la ruta crítica ó las actividades reales desarrolladas en una planificación. Es posterior al llamado Plan Agrícola Definitivo.

### Secuencia de Actividades:

Al estudiar una planificación, se vé que para iniciar ciertas actividades u operacio-

nes, es necesario que otra u otras se hayan terminado total o parcialmente. La interdependencia entre las actividades de un proyecto es lo que se denomina "Secuencia de Actividades". Debido a la gran importancia que en una planificación tiene esta secuencia será necesario que el planificador realice todo tipo de consultas y análisis para comprobar la veracidad de dicha secuencia antes de seguir adelante.

En la tabla 6. se muestra una secuencia de actividades a modo de ejemplo; en ella se han dispuesto en fila (horizontal) y en columna (verticales) las actividades del proyecto.

Al examinar la tabla 6.; se toma una por una todas las actividades de la columna y se presenta: "Qué actividad o actividades deberán iniciarse después de terminar ésta?

Las actividades que deban iniciarse después de ésta (la que se está examinando), se busca en fila y se marca la casilla que cruce con una X.

Ejemplo:

No podrá iniciarse la 1a. rastrillada, sin antes haber terminado la arada. Sin embargo, en este caso como en muchos otros donde una operación sigue a otra pueden suceder las siguientes alternativas:

- 1o. Que sólo se pueda iniciar cuando la que antecede termine totalmente, y la iniciación sea posible y deseable a los días, semanas o inmediatamente.
- 2o. Que la operación que sigue se pueda iniciar antes que la precedente termine totalmente, es decir que se pueda iniciar la 1a. rastrillada en los terrenos donde se haya arado, sin que sea necesario que todo el campo esté arado.

En cualquiera de los casos anteriores, la determinación debe ser analizada a fondo, ya que pueden ocurrir errores de decisión que afecten el desarrollo no solo de la planificación, sino que ocasionen dificultades al realizar operaciones; tal es el caso en que se demore mucho tiempo la iniciación de la 1a. rastrillada y al secarse demasiado el suelo, ésta se dificulte mucho.

Para efectuar una revisión de la Tabla de secuencia se tomará una a una todas las actividades de la fila y se responderá la pregunta: "Qué actividad o actividades deberán haberse terminado antes de iniciar ésta?. La respuesta deberá buscarse en las actividades localizadas en la columna y ésta debe en el punto de cruce tener la X colocada anteriormente, en caso de que no exista ésta X deberá realizarse la corrección respectiva.

Preceden. Siguen	I. Arada	I. 1a. Rast.	T. Arada	I. 2a. Rast.	T. 1a. Rast.	T. 2a. Rast.	I. 3a. Rast.	I. Siembra	T. 3a. Rast.	T. Siembra
I. Arada		X								
I. 1a. Rast.			X	X						
T. Arada					X					
I. 2a. Rast.							X			
T. 1a. Rast.						X				
T. 2a. Rast.							X			
I. 3a. Rast.								X		
I. Siembra									X	
T. 3a. Rast.										X
T. Siembra										

Simbología: I: Iniciación; T: Terminación.

## TABLA 6. SECUENCIA DE ACTIVIDADES

### VI. BIBLIOGRAFIA

1. ALVAREZ, G. y A. Urrutia. Planificación de Maquinaria Agrícola. Seminario U. Nal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Medellín, 1973.
2. BOWERS, Wendell. Modern concepts of farm machinery management. Oklahoma State University. p. 1-29 Copyright 1.68.
3. MANCINI, Simeone. Insumos necesarios para diferentes cultivos, incluyendo rendimientos y coeficientes horarios en distintas operaciones. Curso de Cultivos II, U. Nal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Medellín, 1972.
4. SILBERTEIN, Ami, Ortegon, R. Sistemas de planeación de maquinaria Agrícola. Proyecto Bolívar No. 1, 1970. Hojas mimeografiadas, 20 p.
5. VALENCIA, E.A. y González H.P. Nociones de Ingeniería Económica. U. Nal. Facultad de Minas. Medellín, 1968.