

CALCULOS Y SISTEMAS EN LA ESCOGENCIA Y USO
RACIONAL DE LA MAQUINARIA AGRICOLA

Luis E. Saiz A. *

1. INTRODUCCION

La presente conferencia consta de tres partes que hemos considerado decisivas en la escogencia y uso de la Maquinaria Agrícola, a las que la Asistencia Técnica hasta el momento, ha puesto poco interés, si consideramos que estos factores influyen en el éxito de la producción agrícola.

La primera parte, "Selección de la Maquinaria", trata de los cálculos que se deben tener en cuenta, según la localidad, clase de cultivos y factores ambientales.

La segunda parte, describe los "Sistemas para el uso de arado".

En la tercera parte se explica el "Uso de las curvas en contorno", su construcción, y se hace énfasis en su utilización.

2. SELECCION DE MAQUINARIA AGRICOLA

Los vendedores presentan datos de las marcas que representan, siendo necesario analizarlos, para que el técnico de la recomendación en cada caso particular.

* I.A. Universidad del Tolima, Ibagué.

En el mercado de la zona actualmente se encuentran entre otros los siguientes tractores:

TABLA 1. Algunos tipos de tractores y sus especificaciones.

Marca		Hp.S/Ac	Hp.Neto	Hp.TDF	Hp.BT	Peso máximo
John Deere	2.120	71	69	64	55	4.503 kg
Ford	5.000	75	72	67,2	60,2	4.404
International	656	70	67	61,5	54,9	4.192
Massey Ferguson	178	77	74,5	72,3	64	5.530

Puede considerarse en general que entre menor sea la diferencia entre los caballos en la banda (Hp) y los caballos en la toma de fuerza (TDF), mayor será la eficiencia del tractor.

Varios son los factores que juegan papel importante en el caballaje como son: relación de la velocidad y fuerza, altura sobre el nivel del mar, temperatura ambiente, pendiente, textura del suelo y ancho del implemento.

2.1. CABALLAJE EN FUNCION DE FUERZA Y VELOCIDAD.

Representado por la fórmula:

$$Hp = \frac{\text{Fuerza o tiro (kg)} \times \text{Velocidad (km/h)}}{270}$$

Siendo la velocidad ideal de arada de 5,6 km/h (308 pies/minuto) se puede calcular el tiro efectivo, basados en el caballaje en la barra de tiro (Hp.BT). Para el John Deere 2120 se tendría

$$55 = \frac{\text{Tiro o fuerza} \times 5,6 \text{ km/h}}{270}$$

$$\text{Tiro o fuerza} = \frac{55 \times 270}{5,6} = 2.652 \text{ kg}$$

Los mismos cálculos se pueden efectuar para las otras marcas consideradas en la Tabla 1.

2.2. CABALLAJE EN FUNCION DE PRESION ATMOSFERICA Y TEMPERATURA.

Los datos de caballaje de maquinaria son calculados al nivel del mar y a una temperatura de 15,5°C. Es necesario tener en cuenta que por cada 1.000 pies (305 m) de elevación, la presión atmosférica disminuye una pulgada (2,54 cm). Con estas bases se puede calcular el caballaje efectivo para el tractor del ejemplo anterior en las localidades representativas del país.

La costa, con altura a nivel del mar; Espinal, zona del interior, con una altura de 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y 28°C de temperatura media. Palmira, con 1.000 m.s.n.m. y 24°C de temperatura media y la Sabana de Bogotá, con 2.600 m.s.n.m. y 14°C de temperatura media.

El cálculo del caballaje de un tractor, teniendo en cuenta el lugar donde se va a trabajar, se deduce de la siguiente forma:

$$H_{p_1} = H_p N \times \frac{P_1}{P_N} \times \sqrt{\frac{T_1}{T_N}}$$

En donde:

- H_{p_1} = Caballaje en el lugar que se va a trabajar
- $H_p N$ = Caballaje calculado en fábrica a 15,5°C y 760 mm de Hg
- P_1 = Presión atmosférica calculada en donde se va a trabajar
- P_N = Presión atmosférica calculada en fábrica, para nivel del mar
- T_1 = Temperatura en grados absolutos del lugar donde se va a trabajar.
- T_N = Temperatura absoluta del lugar de la prueba, tomada a 15,5°C.

Se puede así calcular el caballaje de un tractor en las diferentes localidades:

.1. Espinal. Si por cada 305 m de elevación la presión atmosférica disminuye 0,0254 m, en el Espinal (500 m.s.n.m.) se tendrá una presión atmosférica de 4,16 cm (41,6mm). Entonces:

$$760 - 41,6 = 718,4 \text{ mm de Hg}$$

La temperatura en Espinal será:

$$273 + 28 = 301 \text{ } ^\circ\text{A}$$

$$\begin{aligned} \text{Reemplazando en la fórmula: } Hp_1 &= 55 \times \frac{718,4}{760} \times \sqrt{\frac{301}{288,5}} \\ &= 55 \times 0,93 \times 1,04 \\ &= 51,15 \text{ Hp} \end{aligned}$$

.2. Valle del Cáuca.

$$\begin{aligned} Hp_I &= 55 \times \frac{676,5}{760} \times \sqrt{\frac{297}{288,5}} \\ &= 55 \times 0,88 \times 1,03 \\ &= 48,40 \end{aligned}$$

.3. Sabana de Bogotá.

$$\begin{aligned} Hp_1 &= 55 \times \frac{547}{760} \times \sqrt{\frac{287}{288,5}} \\ &= 55 \times 0,72 \times 0,99 \\ &= 39,6 \text{ Hp} \end{aligned}$$

2.3. CABALLAJE EN RELACION CON LA PENDIENTE.

Generalmente se trabaja en tres condiciones, con un tiro horizontal correspondiente al trabajo en curva a nivel, en pendientes del 10 y 20 por ciento. En pendientes del treinta por ciento, solo es posible trabajar en una dirección.

Calculemos con el mismo tractor del ejemplo para los tres casos:

Tiro efectivo para pendiente de 10° = Tiro horizontal - Deslizamiento
 = tiro horizontal - Peso x sean a
 = 2.652 - 4.503 x 0,17
 = 1.886,5

Tiro efectivo para pendiente de 20° = 2.652 - 4.503 x 0,34
 = 1.121 kg

Tiro efectivo para pendiente de 30° = 401 kg

2.4. CABALLAJE EN RELACION DE LA TEXTURA DEL SUELO.

Las Estaciones Experimentales hacen sus trabajos físico-mecánicos y dan los márgenes de potencia requerida. Así, el ICA, para arados de disco da como norma 0,35 a 1,12 kg/cm², margen de potencia considerado para suelos que van de livianos a pesados; por ejemplo, si se considera un suelo más o menos pesado, que requiere 0,9842 kg/cm², y el implemento a utilizar es de 4 discos de 0,30 m de corte por disco y trabaja a una profundidad de 0,2099 m, se tiene:

$$\begin{aligned}
 &= 4 \text{ (discos)} \times 0,3057 \text{ (corte/disco)} \times 0,2099 \text{ (Profund. arada)} \\
 &= 0,256718 \text{ m}^2 \\
 &= 2.567,18 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

La potencia requerida en este caso se ha estimado en 0,984298 kg/cm². Entonces:

$$2.567,18 \text{ cm}^2 \times 0,984298 \text{ kg/cm}^2 = 2.516,36 \text{ kg}$$

(629,09 kg/disco de 0,30 m de corte).

El caballaje requerido para mover este implemento, arando a 5,6 km/h, es:

$$\begin{aligned}
 \text{Hp} &= \frac{2.516,36 \text{ kg} \times 5,6 \text{ km/h}}{270} \\
 &= 52,19 \text{ Hp para un arado de cuatro discos (13,04 Hp/disco)}.
 \end{aligned}$$

El Departamento de Ingeniería Agrícola del ICA recomienda una potencia de 40-50 Hp cuando se trabaja con arado de tres discos, y de 60 a 70 Hp para arados de cuatro discos (en la barra de tiro no especifica si esta potencia es neta).

Para calcular la potencia requerida es necesario conocer el ancho de corte del implemento. Para el arado se tiene:

$$\text{Corte arado} = 1/3 \text{ diámetro del disco} \times \text{número de discos.}$$

Los fabricantes buscan que sus diseños den la mayor eficiencia posible; es así como al comparar el corte del arado MF 64, de cuatro discos y 28 pulgadas de diámetro, da un corte de 44 pulgadas (1,10 m), y al calcularlo con la fórmula anterior daría 37,3 pulgadas (0,95 m).

$$\begin{aligned} \text{Corte arado} &= 1/3 \times 28 \times 4 \\ &= 37,3 \text{ pulgadas (0,95 m).} \end{aligned}$$

2.5. RELACION ENTRE CORTE DEL IMPLEMENTO Y TROCHA DEL TRACTOR.

Para mayor eficiencia de trabajo del tractor, debe existir una relación entre el centro de tracción del tractor, centro de resistencia del implemento y la dirección de la línea de tiro, en relación con el centro de resistencia del tractor y el del implemento.

Para una eficiente labor de arada, se gradúa el arado de tal manera que las llantas del lado derecho del tractor vayan en el fondo del último surco abierto. Así, este surco sirve de guía al tractor evitando en esta forma dejar partes sin arar; además, el tractorista trabaja más descansado puesto que el esfuerzo requerido para mantener la dirección es menor.

Para el cálculo de la trocha del tractor se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Trocha del tractor} &= 2 \left(\frac{\text{ancho corte arado} + \text{corte de un disco}}{2} + \frac{\text{ancho de una llanta}}{2} + 2 \text{ pulgadas} \right) \end{aligned}$$

Calculando para el arado de cuatro discos del ejemplo anterior tendríamos:

$$\begin{aligned} \text{Trocha tractor} &= \left(\frac{37,3}{2} + \frac{9,3}{4} + \frac{10}{2} + 2 \right) 2 \\ &= (18,6 + 2,3 + 5 + 2) 2 \\ &= 55,8 \text{ pulgadas.} \end{aligned}$$

El catálogo de este implemento presenta una trocha de 56 pulgadas.

Teniendo en cuenta las anteriores especificaciones y usando los frenos de los tractores que son indispensables para cada una de sus llantas, es posible, sin ningún problema, arar siguiendo las curvas a nivel. En la zona de Ibagué, los tractores de potencia media trabajan con tres discos. Si se utilizan las curvas a nivel para el trabajo, sería poca la pérdida por pendiente y además de evitar la erosión podría fácilmente obtener una entrada aproximada de \$20.000,00 por cada 800 horas de arado año.

El arado MF 64 tiene un corte para cuatro discos de 1,10m, lo que equivale a 0,28 m por disco.

Si la eficiencia de trabajo de arada es de 80 por ciento (20 por ciento restante son pérdidas en vueltas, equipada, ajustes, etc.), el área efectiva por hora sería de 1.255 m² por disco y en 800 horas de trabajo arada/año, equivaldría al valor de arada de 100 hectáreas más o menos.

3. SISTEMAS DE ARADA

La diferencia de los sistemas de arada, generalmente, está en la forma de iniciar el trabajo y la línea que se sigue en su ejecución. Se agrupan en: arada en vueltas, arada en melgas y arada en curvas a nivel.

Los arados usados en nuestro medio son fijos (sean de disco o de reja) y siempre botan a la derecha; el arado reversible, que se puede graduar para botar en cualquier dirección, es poco usado.

Al arar, el último disco deja el surco correspondiente a su corte limpio, y el primer disco bota sobre el terreno que no ha sido arado. Si al hacer la primera línea de arada se gira a la derecha para hacer esta arada en sentido contrario al anterior, el surco limpio dejado por la anterior servirá de guía y dentro de esta va la rueda izquierda del tractor, dejando en este caso dos surcos limpios seguidos que se denomina surco abierto. Si se hace lo contrario del caso anterior, es decir, se gira a la derecha, quedará a los lados un surco abierto de un solo disco en cada caso, dando lugar a un promontorio, que se denomina contra-surco o caballón. Con

esta base se pueden entender con facilidad los sistemas de arada.

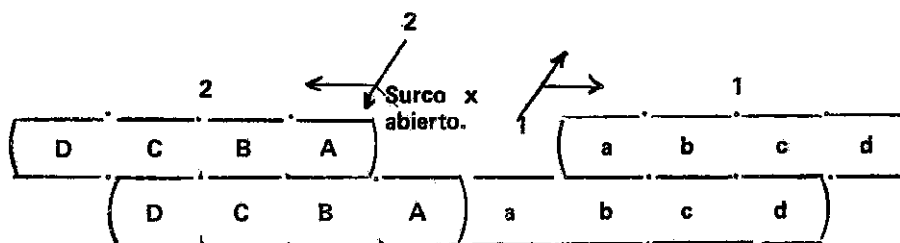


FIGURA 1. Formación de un surco abierto.

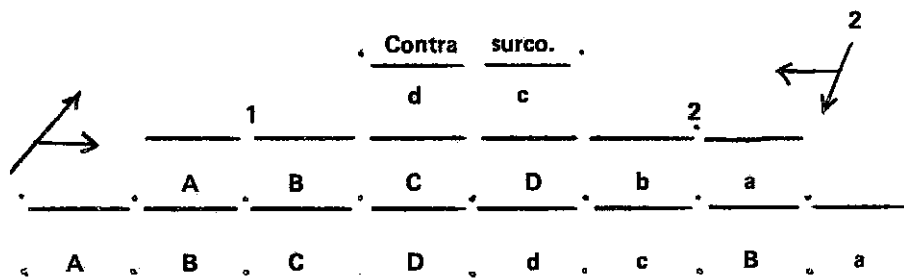


FIGURA 2. Formación de un contra surco.

3.1. ARADA EN VUELTAS.

Es el más practicado en nuestro medio y puede ser:

.1. De adentro hacia fuera levantando el implemento. Se divide el lote en tres partes iguales y por el centro. Para esto, con el rastrillos, se trazan diagonales por los extremos. La segun-

da diagonal llega únicamente hasta encontrar la primera, localizándose el centro del lote. Se empieza por el tercio central el primer pase; cuando se haya llegado al punto donde empieza el tercer tercio, se levanta el implemento y se gira a la derecha para empezar en dirección contraria con el corte del arado, formándose un contra surco, como se indicó en un principio, Figura 3.

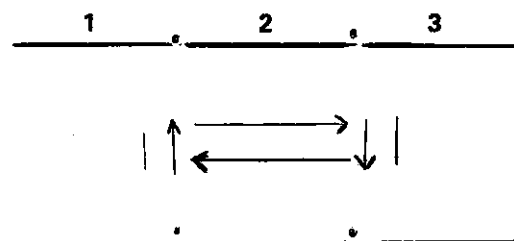


FIGURA 3. Sistema de arado en vueltas de adentro hacia afuera, levantando el implemento.

Al llegar al final donde termina el primer tercio y empieza el segundo, se levantará nuevamente el implemento y se continúa girando a la derecha. Cuando los dos lados del tercio uno y tres den suficiente margen se procederá a arar en dirección perpendicular a la primera línea. Se observa en este caso, que siempre el surco abierto dejado por el arado es la guía para el surco siguiente. En este método, las vueltas siempre se efectúan sobre terreno donde no se ha arado.

.2. De adentro hacia afuera sin levantar el implemento. Como en el caso anterior se divide el lote en tres partes. Se empieza por el centro, girando, al terminar el tercio central, hacia la derecha, dando lugar un contrasurco. El regreso se realiza en sentido contrario y se continúa girando a la derecha sin levantar el implemento. En un principio, las curvas en las esquinas son bastante cerradas. Algunos tractoristas acostumbran en estos extremos hacer una figura en forma de ocho para empezar el surco siguiente, hasta que el ancho del terreno arado les dé el suficiente margen para dar la vuelta. Este ancho depende del radio de giro del tractor, Figura 4.

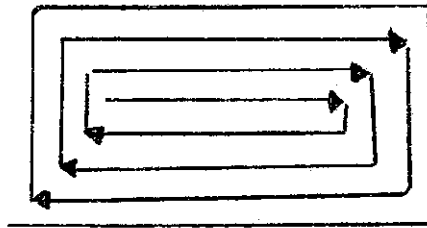


FIGURA 4. Arada en revueltas de adentro hacia afuera, sin levantar el implemento.

.3. De afuera hacia adentro sin levantar el implemento. Es el sistema más utilizado por nuestros tractoristas y no es necesario buscar punto de referencia. Se inicia el trabajo por uno de los lados de afuera, de manera que siempre el arado bote hacia el lado de afuera del lote. La vuelta en las esquinas se da siempre hacia la izquierda. Como el anterior sistema, tiene el inconveniente de que en las curvas el implemento no tiene igual penetración en todos sus discos y el ancho de corte disminuye, dando lugar a una arada deficiente en estas zonas, Figura 5.

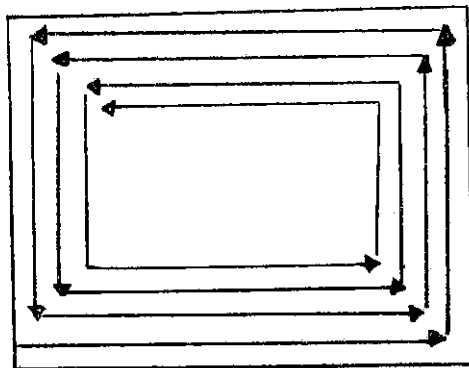


FIGURA 5. Arada en revueltas de afuera hacia adentro, sin levantar el implemento.

Correcciones a los dos sistemas anteriores:

- Una vez terminada la arada en vueltas, proceder a arar nuevamente las diagonales, o sea las líneas correspondientes a los sitios donde se dieron las vueltas.
- Antes de empezar a arar, marcar los puntos de las diagonales correspondientes a los lugares donde se hace la curva. Al arar, levantar el implemento en estos puntos para arar siempre en línea recta y así efectuar la curva con el arado levantado. Una vez terminado de arar el lote, se procede a arar la parte correspondiente a las curvas donde se alzó el implemento. Se puede arar las diagonales de extremo a extremo, y en este caso la labor se haría doble en el punto de corte de las diagonales. Esto se puede corregir, si al arar la primera diagonal se tiene el cuidado de levantar el implemento en el punto donde se cruza con la segunda diagonal.

3.2. ARADA EN MELGAS.

Con este sistema se logra bastante uniformidad en la labor de arada. Su éxito está en buscar el menor número posible de accidentes en el microrrelieve (surcos abiertos y contrasurcos) y el menor recorrido posible del implemento sin trabajar.

Al tener un lote de 200 m de ancho, y si las melgas fueran de 40 m de ancho, quedaría el lote dividido en cinco melgas. En este caso, el recorrido del implemento sin trabajar sería de 3.000 m; si las melgas fuesen de 16 m el recorrido sin trabajar sería de 1.344 m y si tuvieran un ancho de 66 m, éste sería de 6.336 m sin trabajar.

Por lo tanto entre menor ancho tenga la melga, menor recorrido perdido, pero el número de accidentes de surcos abiertos y contrasurcos sería mayor. Por lo tanto la melga ideal debe estar alrededor de los 25 m de ancho; este ancho debe ser proporcional al ancho del mismo implemento.

En un lote de 150 m de ancho dividido en seis melgas de 25 m de ancho y trabajando a una velocidad de cinco km/h, se tendría como accidentes tres contrasurcos y tres surcos abiertos; el recorrido sin trabajar sería de 1.800 m, equivalente en tiempo a 22 minutos. En melgas de 50 m de ancho se tendría 3.575 m sin trabajar y una pérdida de 45 minutos.

Si las melgas fuesen de 75 m de ancho, el tiempo perdido sin trabajar sería de una hora seis minutos.

Es necesario tener mucho cuidado en la dirección de arada entre melga y melga, ya que si no se tiene en cuenta el giro del tractor entre dos melgas continuas se podría dar lugar a tres accidentes en el relieve que serían: uno en el centro de la primer melga, otro en la unión de las dos melgas y un tercero en el centro de la segunda melga. Se debe buscar una combinación tal, que entre los centros de dos melgas continuas el arado bote siempre en la misma dirección la tierra. En este caso no quedarían sino dos accidentes.

El trabajo de arada en las melgas debe hacerse combinado. Así, cuando las melgas impares se aran de adentro hacia afuera es necesario girar siempre a la derecha, dando lugar a contrasurcos, y las melgas pares se deberán arar de afuera hacia adentro, girando siempre a la izquierda y siguiendo el orden siguiente 1 - 3 - 2 - 5 - 4. Para evitar que se acentúen en posteriores cosechas los accidentes que han dejado los contrasurcos y los surcos abiertos en el microrrelieve, se debe hacer una rotación de los sistemas de aradas, en tal forma que en la melga en la cual quedó un contrasurco, en la siguiente preparación le corresponde un surco abierto. En este caso las melgas pares se aran de adentro hacia afuera y las impares de afuera hacia adentro y el orden de trabajo sería 2 - 1 - 4 - 3 - 5.

3.3. ARADA EN LINEAS DE CONTORNO O CURVAS DE NIVEL.

Este sistema, desconocido prácticamente en nuestro medio, sería la redención al usarlo racionalmente, especialmente cuando al cultivo de inundación le sigue el cultivo de secano. A más de los rendimientos que se obtendrían al poder drenar y regar sin problemas, se tendría un aumento en los rendimientos de la maquinaria, ya que trabajaría prácticamente en terreno sin pendiente.

Se pueden considerar tres sistemas principalmente:

.1. Se trazan con el nivel las líneas bases; sobre éstas, y en el sentido de la pendiente (perpendicular a la curva) se miden 30m, que es la distancia óptima, es decir, lo que correspondería a 30 surcos de cultivo en hilera de un metro entre surcos. Estos surcos serán continuos de un extremo a otro del lote, ya que todas las hileras son paralelas a la curva base inicialmente trazada.

La segunda línea base se traza con nivel, y quedará en unas partes coincidiendo con la última hilera y en otras, según los acci-

dentes del terreno, se apartará tal como puede observarse en la Figura 6. La zona comprendida entre esta línea base y la última hilera, generalmente se utiliza en cultivos que no son de hilera, por ejemplo pastos, sirviendo de barrera en el control de la erosión.

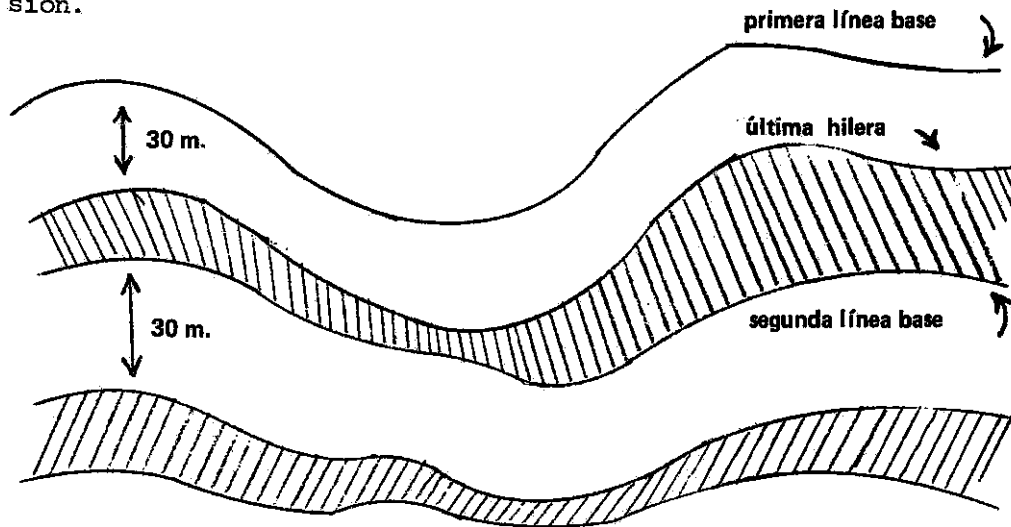


FIGURA 6. Primer sistema de preparación en curvas a nivel.

.2. Se trazan las curvas como en el caso anterior, buscando siempre que la separación de las hileras sea de 30 m. Entre tres curvas continuas, se toma la del centro como base y se siembran las hileras paralelas a la central, hacia arriba y hacia abajo. Así, las zonas cercanas a las curvas uno y tres, quedarán las zonas para cultivos de pastos u otro tipo de cultivo de cobertura completa, como puede observarse en la Figura 7.

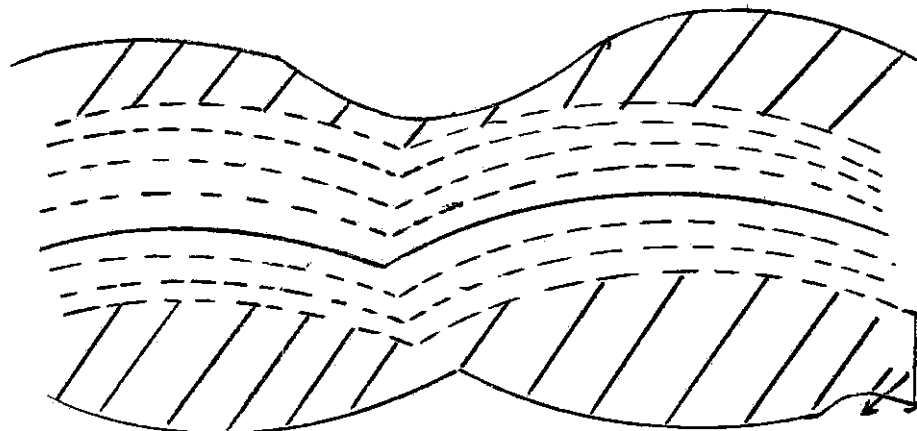


FIGURA 7. Segundo sistema de preparación en curvas a nivel

.3. Se trazan las curvas base y se hacen las hileras paralelas a éstas, de afuera hacia adentro, como se detalla en la Figura 8. En esta forma todo el lote queda en el mismo cultivo, encontrándose las hileras en el centro, de manera que quedará un surco o dos interrumpidos. El tractor deberá repasar las cultivadas en estos surcos. Los rendimientos obtenidos y el mejor aprovechamiento de fertilizantes y humedad compensa plenamente esta pequeña desventaja.

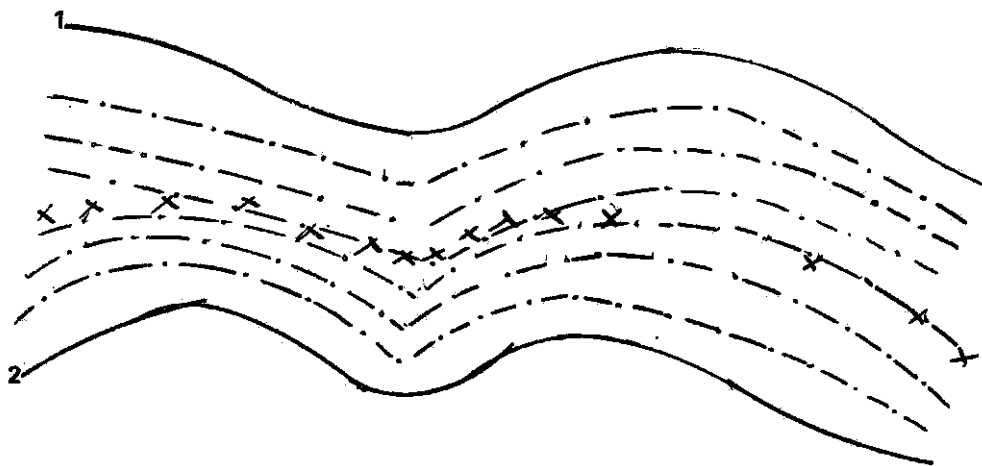


FIGURA 8. Tercer sistema de preparación en curvas a nivel.

Estos métodos pueden modificarse al dejar las curvas como diques permanentes y trabajar, nivelar entre ellas, e ir formando poco a poco una terraza. Además en cultivos de hileras pueden darse pendientes, ya que entre curva y curva pueden presentarse diferencia de nivel entre 0,50 a 1,00 m, facilitándose así la aplicación de riego y el establecimiento de drenajes.