

HGM/ITER 02477 32

Fluora

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO
SUBGERENCIA DE INVESTIGACION
DIVISION DE INGENIERIA AGRICOLA
PROGRAMA DE RECURSOS DE AGUA Y TIERRA

CURSO DE RIEGO Y DRENAJE

METODOS DE RIEGO POR SUPERFICIE

POR: J. ANTONIO FORERO S.

Tibaitatá, Mayo de 1977

METODOS DE RIEGO POR SUPERFICIE

Por: José Antonio Forero S.*

INTRODUCCION

Dentro de la explotación agrícola bajo riego, los métodos de riego por superficie han ocupado tradicionalmente un lugar de gran importancia.

Mediante estos métodos de riego, el agua se aplica al suelo bien sea inundando su superficie o bien permitiendo que fluya superficialmente. Cualquiera sea el procedimiento de aplicación del agua al suelo, debe buscarse que la dotación del agua no solo corresponda a las necesidades del cultivo, sino que permita la máxima uniformidad de distribución posible, de manera que se minimicen las pérdidas por percolación profunda y por escorrentía superficial. Para lograr estos objetivos se requiere tener un buen criterio de diseño que determine correctamente: la lámina de agua que debe aplicarse al suelo, la disposición y dimensionamiento del sistema, los tiempos y

* I.A. M.S. Director Nacional Programa de Desarrollo de Recursos de Agua y Tierra. ICA - Tibaitatá.

frecuencias de riego y las estructuras de control necesarias para facilitar un adecuado manejo del agua y obtener mejores eficiencias de aplicación.

Son muchos los factores que ejercen influencia sobre el flujo de agua en el suelo y que afectan por consiguiente las prácticas de riego: la tasa de infiltración del agua en el suelo, la capacidad del suelo para retener agua, la naturaleza del cultivo y sus hábitos radiculares, los factores climáticos, la textura y estructura del suelo, la permeabilidad, la pendiente del suelo, etc. Al combinarse todos estos factores puede resultar bastante compleja la programación del riego, sin embargo, debe reunirse la mayor cantidad de información disponible y utilizar un criterio que se ajuste a las condiciones de campo y a las limitaciones económicas de la explotación agrícola.

La presente discusión del tema de riego por superficie, está en caminata a visualizar someramente algunos de los aspectos prácticos importantes en el manejo del agua de riego. No tratándose de un curso de especialización, los aspectos de orden teórico no entrarán a formar parte en el desarrollo del temario.

INFORMACION BASICA

Suelos

Un estudio de suelos para fines de proyectos de riego y/o drenaje, no debe contemplar solamente la parte correspondiente a la clasificación taxonómica, sino que además, debe reunir información sobre una serie de parámetros que caractericen hidrodinámicamente el suelo. Dentro de este grupo de parámetros se destacan por su importancia básica: la tasa de infiltración, la capacidad de retención de humedad del suelo, las densidades real y aparente del suelo, salinidad del suelo, conductividad hidráulica, freatrimería y piezometría, porosidad drenable, etc. Para estos estudios de suelos, algunos autores recomiendan densidades de muestreo que oscilen entre 1 y 5 observaciones por hectárea, teniendo en cuenta desde luego la importancia de cada unidad taxonómica en el proyecto. Para facilidad de estudio de las características de los suelos, esta información conviene ser presentada en mapas de suelos cuyas escalas pueden ser de 1:10.000 o mayores, según el caso.

Información topográfica

Esta información comprende la Planimetría y la Altimetría. Toda información topográfica debe presentarse en planos per-

fectamente detallados y en escalas apropiadas, generalmente entre 1:2.000 y 1: 2.500. Las curvas de nivel pueden representarse cada 0.25 metros.

La información topográfica permite: subdividir el predio de acuerdo con sus características planimétricas y altimétricas, seleccionar el método más adecuado de riego de acuerdo con las pendientes predominantes de la superficie del suelo, localizar el abastecimiento de agua, estimar el grado de adecuación de tierras que sea necesario y proceder al diseño de acuerdo con la información restante de suelo-agua-planta, hasta llegar a proyectar la red de riego y drenaje del predio.

Clima y Programación de cultivos

Debe hacerse acopio de la mayor cantidad de información agroclimatológica disponible y establecer una programación de cultivos de acuerdo con los aspectos agronómicos y de orden económico. La información sobre clima comprende: precipitación, humedad relativa, temperatura, radiación solar, vientos, evaporación, etc. Debe entenderse que de la cantidad y calidad de la información climática disponible, depende en gran parte el éxito que se logre en el diseño de un sistema de riego.

Abastecimiento y requerimientos de agua

El caudal de agua disponible influencia notoriamente la selección del método de riego. El abastecimiento de agua puede provenir de un pozo artesiano, de un pozo de producción por bombeo, de ríos, presas, etc. En general, en las áreas bajo riego, el caudal de agua disponible debe ser compartido por varios usuarios. La entrega del agua debe ser programada de acuerdo con las prioridades establecidas dentro del plan de cultivos y de acuerdo con los requerimientos de riego para cada cultivo.

En la mayoría de los Distritos de Riego de Colombia se han establecido dos tipos de tarifas: la tarifa fija y la tarifa volumétrica. La primera se refiere a una cuota por unidad de área que obligatoriamente debe pagarse, independientemente de si el agricultor haga o no uso del agua de riego en su predio. La tarifa volumétrica se refiere a la cantidad de agua consumida por cada cultivo durante su período.

Los requerimientos de agua para los cultivos deben entenderse como las cantidades de agua que son utilizadas por los mismos en producción de cosechas. Este concepto se conoce comúnmente como uso consuntivo o evapotranspiración. La evaporación

y la transpiración son dos procesos físicamente similares. Evaporación es la conversión de agua líquida en vapor y su subsecuente transferencia desde el suelo o una superficie de agua hacia la atmósfera. La transpiración es evaporación de agua desde la superficie de la planta. Dada la dificultad de medir evaporación y transpiración por separado, se acostumbra hacer una consideración conjunta bajo el nombre de evapotranspiración. Para estimar la evapotranspiración se han propuesto varios métodos y son muchos los autores y fórmulas racionales y empíricas. Sin embargo, dentro del desarrollo del presente tema, no se discutirá la evapotranspiración dada su extensión, la cantidad de referencias que existen en la literatura científica y que pueden fácilmente ser consultadas.

MANEJO DEL AGUA DE RIEGO

Para obtener éxitos en la agricultura bajo riego no basta solo con diseñar y establecer adecuadamente el sistema de riego; es necesario utilizar oportuna y eficientemente el agua de manera que se logren los mejores beneficios en producción, al menor costo posible. Con el manejo adecuado del agua se busca aplicar al suelo la humedad faltante en la zona radicular, obtener la mejor uniformidad de distribución de esa humedad y minimizar las pérdidas de agua en el sistema.

Pérdidas de agua en los sistemas de conducción y distribución

Son pérdidas de agua que tienen lugar en los canales de conducción y distribución y que son ocasionadas principalmente por infiltración, ya que el agua perdida por evaporación no es de valor significativo en una red de canales. Las pérdidas de agua por infiltración en los canales dependen de la longitud de la red y del perímetro mojado: Esto indica que es necesario un buen trazado, así como un buen diseño de los canales. En el diseño de canales debe determinarse entonces, dentro de un marco económico razonable, la sección de máxima eficiencia hidráulica que garantice un mínimo de pérdidas por infiltración.

Cuando las pérdidas por infiltración en canales son considerables, deben estudiarse algunas alternativas como son la conducción por medio de tuberías, el revestimiento de los canales o el uso de impermeabilizantes. En el estudio de estas alternativas el aspecto económico juega un papel importante; en muchas ocasiones solo se justifica la inversión cuando el agua es realmente un factor limitante y su costo es elevado.

Pérdidas de agua en la parcela

En la parcela las pérdidas de agua se ocasionan por percolación profunda y por escorrentía superficial. Estas pérdidas dependen de la calidad de mano de obra para el riego, de las características del suelo, de la pendiente, del caudal aplicado y de las dimensiones de la parcela. Si el suelo es suelto debe esperarse que las pérdidas por percolación profunda sean superiores a las de escorrentía superficial. En suelos salinos que requieran lixiviación, debe aplicarse una lámina de agua adicional y por consiguiente serán mayores las pérdidas de agua por percolación profunda. La pendiente de la superficie del suelo ejerce también su influencia en estas pérdidas; a medida que aumenta la pendiente disminuyen las pérdidas por percolación profunda y aumenta la escorrentía superficial.

La longitud del surco o de la melga incide también en estas pérdidas por cuanto afecta el tiempo de oportunidad de infiltración en cada punto del suelo. Por esta razón al establecer un sistema de riego, la subdivisión que se haga del predio en parcelas, será de gran importancia en el manejo del agua.

Deficiencia de humedad en el suelo

Generalmente se expresa como una lámina indicadora del grado de sequía de la zona radicular, en un determinado momento. Esta lámina de deficiencia es equivalente a la lámina que debe reponerse al suelo en un riego normal.

El nivel máximo de deficiencia de humedad permisible en un suelo, depende del cultivo. A mayor grado de sequía del suelo, será mayor el esfuerzo que la planta haga para extraer el agua que necesita y ese esfuerzo debe repercutir en una disminución de la producción. Es así como algunos cultivos producen mejor cuando el suelo se mantiene húmedo mediante riegos frecuentes. Debe observarse sin embargo, que el alto contenido de humedad de un suelo, puede favorecer la proliferación de plagas y enfermedades. En otros cultivos puede encontrarse que el óptimo nivel económico, permite grados de sequía relativamente altos mediante riegos poco frecuentes.

Operación del sistema de riego

Depende de la habilidad del regador y de la calidad del sistema. En cualquier circunstancia, el agua debe aplicarse al suelo cuando éste haya llegado al nivel máximo permisible de deficiencia de humedad según el cultivo, y debe suspenderse la aplicación cuando el suelo se encuentre lo suficientemente húmedo. Para facilitar la adecuada operación del riego es necesario conocer el grado de humedad del suelo. Esto se puede conseguir mediante el uso de tensiómetros, bloques de yeso, dispersor de neutrones o mediciones gravimétricas.

Eficiencia en el riego

Un buen número de términos de Eficiencia en materia de riego, han sido definidos por varios autores. Sin embargo, aquí solo se mencionan tres términos definidos por Merriam (1969), y que son de gran utilidad cuando se quiere evaluar la eficiencia con que se está haciendo uso del agua de riego. Estos términos son: Uniformidad de Distribución (U D), Eficiencia Real de Almacenamiento de Agua (E A) y Eficiencia Potencial del Sistema (E P).

La Uniformidad de Distribución (U D) se define como:

$$U D = \frac{\text{Lámina mínima de agua infiltrada}}{\text{Lámina promedio de agua infiltrada}} \times 100 \quad (1)$$

U D es un indicador de la uniformidad de infiltración a través de una parcela que se ha regado. Si U D es bajo, puede indicar excesiva percolación profunda y potencialmente un elevado nivel freático.

La Eficiencia Real de Almacenamiento de Agua, (E A), obtenida de información de campo, indica el nivel de buen o mal uso que se esté haciendo del sistema.

$$E A = \frac{\text{Lámina mínima infiltrada y almacenada en zona radicular}}{\text{Lámina promedio aplicada}} \times 100 \quad (2)$$

Si el valor de E A es bajo, puede estar indicando problemas relacionados con dotaciones de riego superiores a las requeridas.

La Eficiencia Potencial del Sistema (E P), dá una medida del funcionamiento del sistema bajo un buen manejo razonable cuando se aplica un riego completo.

$$E P = \frac{\text{Lámina mínima infiltrada igual a lámina neta}}{\text{Lámina promedio aplicada}} \times 100 \quad (3)$$

Tratándose de una Eficiencia Potencial, un valor bajo de EP

puede estar indicando un diseño pobre, a menos que éste sea intencional por razones económicas.

Si se cuenta con un buen diseño del sistema de riego, puede decirse que la diferencia entre E A y E P, es una medida de los problemas de manejo.

FASES DEL RIEGO POR SUPERFICIE

Al aplicar agua al suelo por métodos de riego superficial, se presentan tres fases que conforman el proceso de riego: avance, almacenamiento y receso.

Fase de avance

Es la primera fase y determina la distancia recorrida por el frente de agua durante un tiempo determinado. Para medir el avance basta con estacar el surco o la melga en el sentido del riego, aplicar el agua y registrar los tiempos en que el frente de agua pasa por cada uno de los puntos de referencia. Las estacas pueden colocarse cada 30 metros.

El avance del agua depende del caudal, de las características del suelo al aplicar el agua, de la pendiente y aspereza de la superficie del suelo, de la forma y tamaño del cauce, etc. A medida que avanza el frente de agua, la distancia recorrida por unidad de tiempo va siendo progresivamente menor, debido a que el caudal sobre la superficie se va disminuyendo de acuerdo con el tiempo de oportunidad de infiltración que va teniendo cada punto del recorrido, luego de que por él ha pasado el frente de agua.

La representación de los registros de avance en papel aritmético produce una curva como lo que muestra la Figura 1. Al representar el avance en papel doble logarítmico, Figura 2, se observa que la fase de avance obedece a una función exponencial de la variable tiempo. La ecuación que se obtiene de esta representación doble logarítmica, es de la forma: (Grassi 1972).

$$x = pt^r \quad (4)$$

Donde:

x = distancia de avance del frente de agua en metros, a tiempo t en minutos.

p = coeficiente empírico que representa la distancia recorrida x en metros, en un tiempo $t =$ minuto.

r = exponente empírico que representa la pendiente de la línea.

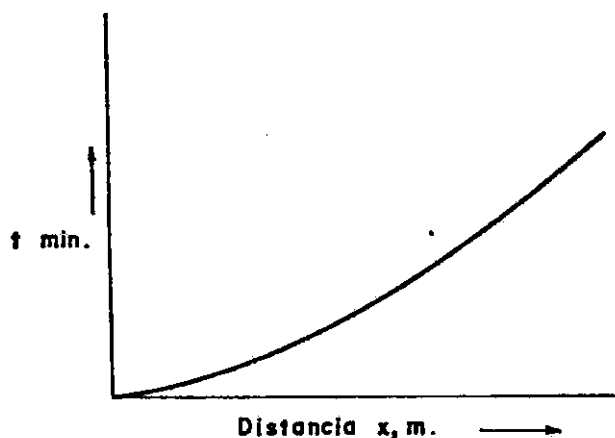


Fig. 1. Curva típica de avance.

El tiempo total de duración de esta fase se conoce como t_1 y se expresa generalmente en minutos.

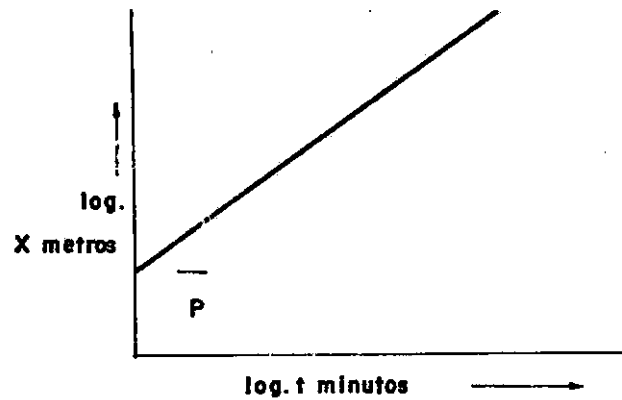


Fig. 2. Función de Avance en papel doble logarítmico.

Fase de almacenamiento

Esta fase se inicia cuando la superficie del suelo está cubierta por agua y por consiguiente está sujeta a las características de infiltración de agua en el suelo. Puesto que en un riego adecuado debe garantizarse la aplicación de la lámina neta dn , al final de la parcela, la duración de la fase de almacenamiento t_2 , debe estimarse con base en la ecuación de infiltración acumulada así:

$$i = c' t^{\infty} \quad \text{Ecuación de infiltración acumulada} \quad (5)$$

Donde:

$$i = \text{lámina infiltrada en cm.}$$

t = tiempo en minutos

c' y α = parámetros físicos del suelo

Para que se infiltre la lámina neta d_n , (cm) al final de la parcela, se necesita un tiempo t_2 (min.).

$$d_n = c' \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \quad (6)$$

Por consiguiente:

$$t_2 = \left(\frac{d_n}{c'} \right)^{1/\alpha} \quad (7)$$

La figura 3 esquematiza las fases de avance, de almacenamiento y de receso. El tiempo de contacto entre cada punto de la superficie del suelo y el agua, está dado por t_2x y representa la diferencia entre el tiempo total t_x y el tiempo de avance para ese punto t_1x . El valor de i_x representa la lámina de agua infiltrada en un tiempo t_2x , para $0 \leq x \leq L$. Esto quiere decir que al final de la parcela, $x = L$, el tiempo de contacto es igual a t_2 , el tiempo de avance es t_1 y la lámina infiltrada es d_n o lámina neta. L representa la longitud de la parcela en metros.

En la misma figura se observa que toda lámina infiltrada superior a la lámina neta d_n , es agua que se pierde por percolación profunda y da una idea del patrón de distribución de humedad en el suelo.

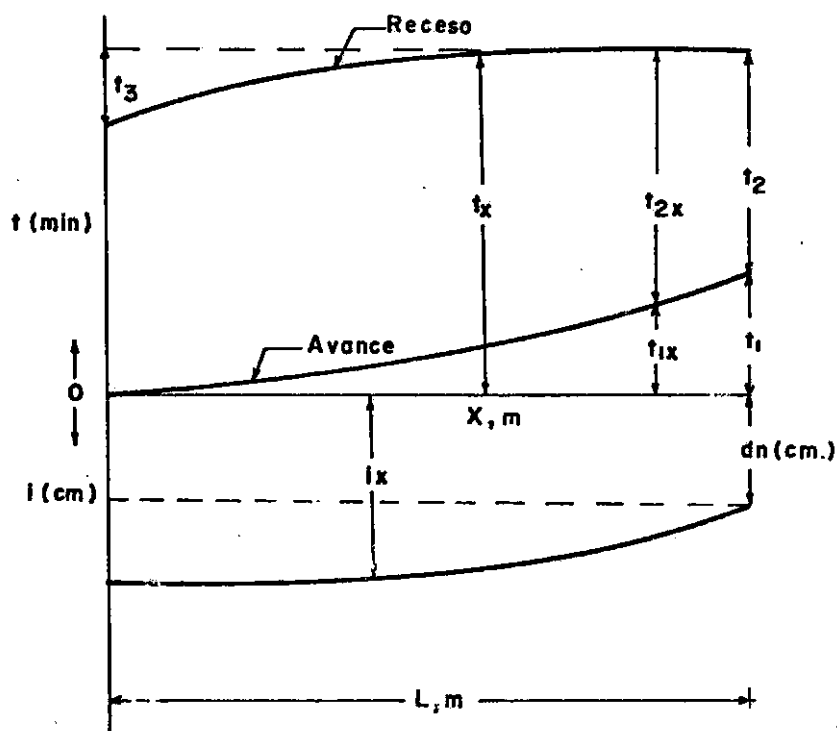


Fig. 3. Esquema de las tres fases de riego.

Fase de receso

Una vez que la lámina total de agua necesaria para un riego, ó lámina bruta, ha entrado a la parcela, se suspende completamente la entrada de agua en la cabecera. Continuará fluyendo agua hacia la parte baja de la parcela, por un corto tiempo, quedando eventualmente expuesta la superficie del suelo en algunos puntos; el agua que estaba sobre la superficie o bien se ha infiltrado en el suelo, o bien ha fluído hacia la parte baja del campo. Esto se cumple esencialmente en melgas y el riego se dice estar en su fase de receso. Teóricamente este receso de agua empieza en la cabecera de la parcela y progresa hacia la parte baja de la misma hasta que el agua haya

penetrado en el suelo, escurrido por el extremo final del campo, o empozado detrás del agua represada. El riego se completa cuando esta agua empozada, haya también desaparecido de la superficie del suelo. Si el caudal ha sido constante durante el riego, se obtiene una variable denominada tiempo de receso, t_3 .

La curva de receso se obtiene de registros de campo tomados en forma similar a los registros hechos para el avance. La curva de receso, Figura 3, es opuesta a la de avance y por lo tanto tiende a favorecer el tiempo de contacto al final de la parcela, permitiendo en cierto grado una mejor uniformidad en el patrón de distribución de infiltración. Para tener información real del riego, deben considerarse sus tres fases. Si esto se cumple, el tiempo de contacto para cualquier punto a lo largo de la parcela, es la diferencia en tiempo entre la curva de avance y la curva de receso para el punto en cuestión. De la Figura 3 se desprende que el tiempo de aplicación de agua al final de la parcela es t_2 y en la cabecera, el tiempo de aplicación será igual a la suma de t_1 más t_2 , menos t_3 , siendo este último el tiempo que demora el receso.

Pérdidas de agua en riego por superficie

En riego por superficie se puede considerar la evaporación como despreciable para efecto de estimación de pérdidas de agua, en cambio se toman como pérdidas significativas las ocasionadas por percolación profunda y por escorrentía superficial.

Las pérdidas por percolación profunda son función del parámetro de la ecuación de infiltración y de la relación entre el tiempo de la segunda fase t_2 y el tiempo de avance t_1 . (Bishop, 1962). Si llamamos R a esta relación e i_0 a la lámina infiltrada en la cabecera durante el tiempo de avance t_1 , se tiene que:

$$i_0 = c' t_1^\alpha \quad (8)$$

La lámina neta infiltrada (d_n) :

$$d_n = R i_0 = c' R^\alpha t_1^\alpha \quad (9)$$

La lámina infiltrada en la cabecera $(R + 1) i_0$:

$$(R + 1) i_0 = c' (R + 1)^\alpha t_1^\alpha \quad (10)$$

De acuerdo con las fórmulas 8, 9 y 10 las pérdidas por percolación profunda P_p , son:

$$P\%_p = \frac{(R + 1) i_0 - R i_0}{(R + 1) i_0 + R i_0} \times 100 = \frac{\alpha}{2R + 1} \quad (11)$$

Para estimar las pérdidas de agua por escorrentía superficial, conviene observar que la lámina total aplicada o lámina bruta d_b , contiene la lámina neta d_n , la lámina percolada profundamente P_p y la lámina perdida por escorrentía P_e , así:

$$d_b = d_n + P_p + P_e \quad (12) \quad y$$

$$d_b = \frac{f q t}{a} \quad (13)$$

Donde:

d_b = lámina bruta en cm.

q = caudal aplicado por unidad de área, en litros por segundo

t = tiempo total de aplicación ($t_1 + t_2$), en minutos

a = área de aplicación (longitud por ancho), en metros cuadrados.

f = factor de conversión de unidades, en este caso

$$f = 6$$

Teniendo en cuenta el anterior análisis, la Eficiencia de Aplicación del Riego Efa, será:

$$Efa = \frac{d_n}{d_b} \times 100 \quad (14)$$

RIEGO POR SURCOS

El método de riego por surcos ocupa un lugar importante dentro de los métodos de riego superficial. Es utilizado en cultivos en hileras y en suelos de no muy elevadas, ni muy bajas velocidades de infiltración. La pendiente y la erodabilidad de los suelos son factores que deben considerarse al utilizar este método de riego. Estos dos factores deben analizarse paralelamente con los caudales utilizados.

El riego por surcos presenta la ventaja de un fácil control de caudal. Este control puede ejercerse por medio de sifones, tuberías con compuertas, tubos etc. Mediante el método de riego por surcos se pueden obviar los problemas de drenaje, ya que su disposición facilita la remoción de los excesos de agua.

El método presenta además la ventaja de que sus costos de instalación son más bajos frente a los otros métodos de riego superficial. Con buenas prácticas de manejo del agua, la eficiencia de riego resulta relativamente buena cuando se compara con los demás métodos de riego por superficie.

Forma y dimensión del surco

La sección transversal de un surco debe ser suficiente para llevar la cantidad de agua necesaria que garantice una adecua-

da uniformidad de distribución del agua en el suelo, con un mínimo de pérdidas.

La forma más común de un surco es la de sección en "V", aún cuando con el transcurso del tiempo puede irse aproximando a la forma parabólica o a la de segmento circular. Este en el caso de suelos de textura media, pero en suelos de textura fina el fondo del surco puede alcanzar una forma trapezoidal e incluso hasta rectangular.

Las dimensiones que se le dan al surco depende esencialmente del cultivo y sus labores culturales, así como también del suelo. En su parte superior el surco puede tener un ancho que oscile entre 10 y 40 cms., con un tirante que puede variar entre 5 y 20 cms., permitiendo un borde libre de aproximadamente 6 cms. Las dimensiones de la sección transversal de un surco deben estar de acuerdo con la velocidad de infiltración; si esta es baja, debe ser mayor el perímetro mojado para que así se aumente el área de infiltración y se pueda efectuar el riego en un tiempo razonable.

Espaciamiento entre surcos

En suelos de condiciones similares, la velocidad de infiltración en riego por surcos, depende del caudal, de la pendiente

de la superficie del suelo, de la aspereza de la superficie por donde fluye el agua y del espaciamento entre surcos. Puesto que el espaciamento entre surcos ejerce influencia sobre la velocidad de infiltración, se aconseja en cuanto sea posible, reducir el espaciamento entre surcos cuando los suelos sean de baja velocidad de infiltración. Esto evita que el tiempo de riego se prolongue excesivamente.

El espaciamento entre surcos depende además del cultivo y de sus hábitos radiculares, de las labores culturales y de la profundidad y textura del suelo. En suelos arenosos el frente húmedo avanza más en profundidad que lateralmente y por esta razón el espaciamento entre surcos debe ser menor en este tipo de suelos. Espaciamientos grandes en suelos arenosos conducen a excesivas pérdidas por percolación profunda. Por el contrario, si los suelos son de textura fina, espaciamientos reducidos pueden producir excesivas pérdidas por escorrentía superficial. En cualquier circunstancia, el espaciamento entre surcos debe ser tal que cuando el frente de humedecimiento en un surco haya llegado a la profundidad deseada, debe haber un traslape lateral adecuado de este frente de humedecimiento con los frentes de humedecimiento producidos por los surcos adyacentes.

Pendiente de los surcos

Para que el agua fluya en un surco se requiere cierto gradiente de energía, el cual es proporcionado por la pendiente del surco. La pendiente del surco facilita además el drenaje de los excesos de agua. Pueden presentarse sin embargo, casos de surcos sin pendiente y en ellos no habría teóricamente escorrentía al final, si se aplicara el caudal adecuado.

La erodabilidad de un suelo depende en parte de la velocidad de flujo superficial del agua y esta velocidad depende a su vez de la pendiente de la superficie del suelo. Para evitar erosión excesiva, se acepta como criterio preliminar que la pendiente del surco no sea mayor del 2%. En casos de pendientes mayores en dirección del flujo superficial, debe considerarse el cambio de dirección de los surcos o la nivelación de tierras si esta resulta económica.

El caudal también ejerce influencia sobre la erodabilidad del suelo. Esta influencia, asociada con la de la pendiente del surco, aumenta el peligro de erosión del suelo. En términos generales, puede aceptarse como primera aproximación del caudal máximo no erosivo en litros por segundo, el uso de la relación $0.63083/\text{pendiente}\%$. Para obtener información real, deben evaluarse en el campo, este caudal y caudales próximos a

este valor, tanto superiores como inferiores.

Longitud de los surcos

La longitud de los surcos puede estar limitada en primera instancia por el tamaño y forma del predio. El tipo de labores culturales puede influenciar también la longitud de los surcos; si estas labores son mecanizadas puede resultar conveniente una apreciable longitud de surco aún sacrificando algo de eficiencia del riego.

El tipo de suelo, la pendiente y el cultivo, son en términos generales los factores que deben considerarse en primer término para determinar la longitud de los surcos. En suelos arenosos las longitudes de surcos deben ser inferiores a las de suelos pesados ya que en estos las tasas de infiltración son lentas y tienen mayor capacidad que aquellos para retener humedad. De acuerdo con este criterio pueden reducirse las pérdidas por percolación profunda, reduciendo la longitud de los surcos o, en el caso contrario, si son elevadas las pérdidas por escorrentía superficial, estas pueden reducirse aumentando la longitud de los surcos.

El caudal que se aplique al surco es un factor que combinado con las características del suelo, merece atención al determi-

nar la longitud del surco. Quiere decir que deben ser estudiadas cuidadosamente las fases de riego, en especial la fase de avance y la fase de almacenamiento. La relación vista $R = t_2/t_1$, juega aquí un papel importante. Si los valores de R son grandes, es porque el avance es rápido y pueden esperarse bajas pérdidas por percolación profunda y altas por escorrentía superficial. Todo lo contrario ocurre para valores pequeños de R .

Algunos autores aconsejan la relación $R = 4$, como buen criterio inicial para fines de diseño en cuanto respecta a la interacción caudal-longitud de surco. La mejor relación R sin embargo, puede ser diferente de 4, dependiendo de todos los factores que influyen en el manejo del riego. Si se conoce o se asume con buen criterio el mejor valor de R para un determinado valor de lámina neta de riego y si por otra parte, se tiene una longitud definida del surco, se puede seleccionar el caudal más adecuado dentro de un grupo de caudales cuyas funciones de avance sean conocidas. La Figura 4 ilustra esta selección.

En la Figura 4, R es la mejor relación t_2/t_1 ; L_1 , L_2 y L_3 , son valores conocidos de longitud de surco, y los puntos de intersección entre t_1 y L_1 , L_2 y L_3 , corresponden a los valores de caudal óptimo para cada longitud de surco.

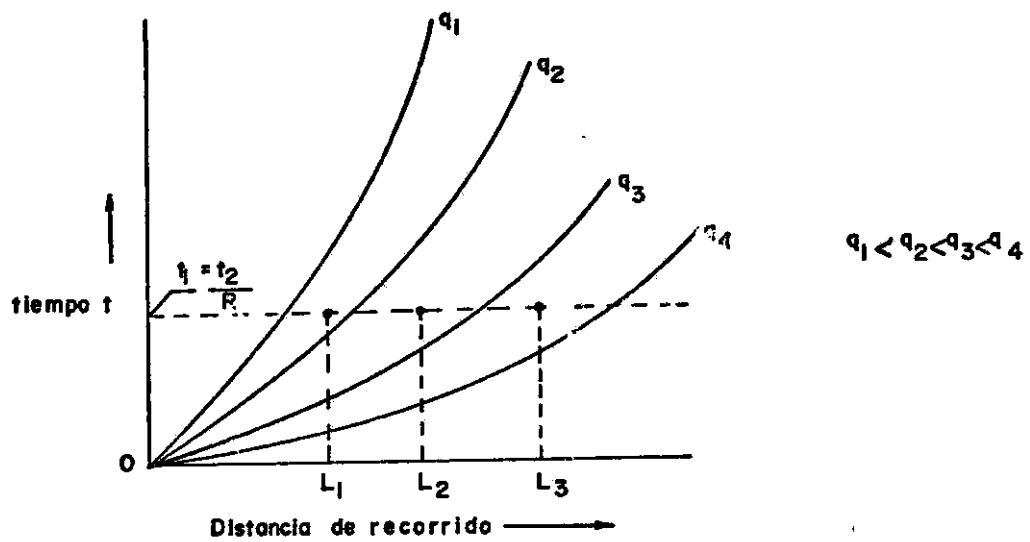


FIG. No 4 - CURVAS DE AVANCE PARA VARIOS CAUDALES (q) Y SELECCION DE CAUDALES OPTIMOS PARA VARIAS LONGITUDES DE SURCO - CONOCIDAS. (L)

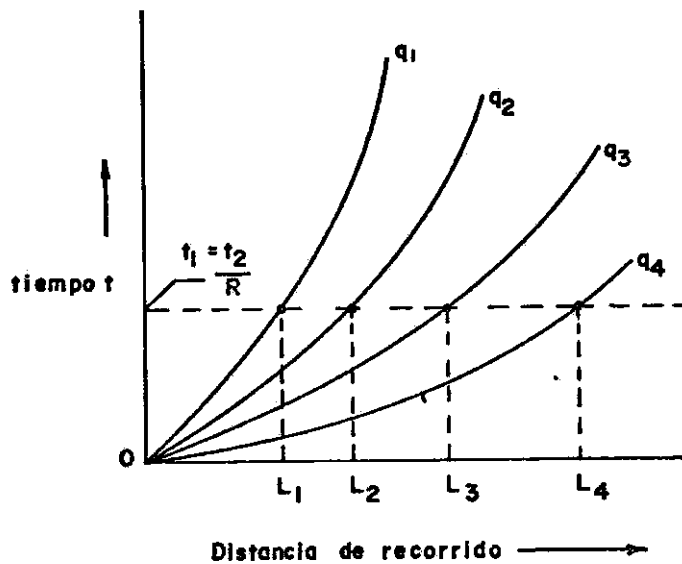


FIG. No 5 - LONGITUDES OPTIMAS DE SURCO PARA VARIOS CAUDALES.

De igual manera, si las longitudes de surco no han sido definidas, éstas pueden determinarse fácilmente como los valores correspondientes a los puntos de intercepción de t_1 con las curvas de avance de los diferentes caudales (Ver Figura 5).

Son numerosos los factores que deben estudiarse para determinar una adecuada longitud de surco. Todos tienen su importancia relativa, sin embargo, deben balancearse con buen criterio para que den como resultado la mejor eficiencia de riego, al menor costo posible. Si la longitud del surco está definitivamente impuesta por la forma y tamaño del predio y si las pérdidas por escorrentía superficial son elevadas, especialmente en terrenos de apreciable pendiente, conviene considerar la reducción que depende de un análisis completo de las funciones de avance e infiltración. Este análisis se omite en esta discusión dada su extensión, pero son muchos los autores cuyos tratados sobre el tema pueden ser consultados fácilmente.

Surcos en disposiciones especiales

Entre las disposiciones especiales de surcos, merecen mención los surcos en corrugación, los surcos en controno y los surcos en zig-zag.

1. Corrugación

En corrugaciones el agua fluye pendiente abajo a lo largo de pequeños surcos. Esta disposición especial tiene las siguientes aplicaciones:

- Terrenos pendientes e irregulares no adecuados para surcos convencionales.
- Suelos que requieren tasas lentas de aplicación de agua, debido a la baja velocidad de infiltración.
- Cuando se cuenta con una pequeña pero continua corriente de agua.
- Cultivos densos, forrajeras y cereales, o en huertas con cobertura vegetal.
- En cultivos regados por melgas donde el riego es de difícil o imposible manejo, bien sea por inadecuada nivelación, por escaso caudal, o porque el suelo forma costra superficial al secarse.
- En terrenos planos y de baja permeabilidad donde se requiere corrugar la superficie para facilitar la remoción del agua estancada, luego de un riego por inundación.
- En cultivos cuyos terrenos recién labrados y sembrados pueden presentar erosión y arrastre de semilla al ser regados. La corrugación facilita el humedecer la par-

cela con mejor uniformidad y permite mayor regularidad en la germinación, luego de que las plantas tengan adecuado anclaje radicular, se puede caballonear la parcela y regarla con mayores caudales.

Las pendientes longitudinales en corrugación son de un óptimo entre 2 - 4% para cultivos densos y de 1% para cultivos en hileras, pero puede emplearse corrugación desde 1% hasta 12% para cultivos densos y desde 0.5% hasta 8% para cultivos en hileras.

La pendiente transversal para cultivos densos puede llegar hasta el 12.5% de la mínima pendiente longitudinal, siendo 0% el óptimo. Para cultivos en hileras el óptimo es de 0% y el máximo de 25%, de la mínima pendiente longitudinal del surco.

2. Surcos en contorno

Para esta disposición, la acequia regadora está en dirección de la pendiente predominante o ligeramente desviada de esta dirección.

Los surcos siguen en cuanto sea posible la dirección de las curvas de nivel. Esta disposición del sistema impli-

ca que para poder regar adecuadamente, se construyan en la acequia regadora estructuras de caída a intervalos apropiados que provean el tirante necesario para derivar el agua a los surcos.

Para evitar desbordamientos de agua y erosión, los surcos en contorno no se recomiendan para suelos arenosos o para suelos fácilmente agrietables, ni para terrenos con pendientes superiores al 3%.

Para establecer el sistema se trazan líneas guías que sigan la dirección de las curvas de nivel. Estas líneas guías se pueden trazar con la ayuda de un nivel topográfico y pueden tener una separación de unos 15 metros. Cuando estas líneas guías no sean paralelas como usualmente ocurre en terrenos irregulares, los surcos entre las líneas guías, se trazan de acuerdo con el espaciamiento requerido entre surcos y la forma del área entre cada dos líneas guías. En esta forma, algunos surcos serán regulares, otros se bifurcarán y puede haber algunos que naciendo de un surco vuelvan a unirse a él.

3. Surcos en zig - zag

Estos surcos se utilizan algunas veces para prolongar la

longitud de recorrido del agua, mejorando las condiciones de pendiente del surco y velocidad del agua. Esta disposición ayuda a la infiltración del agua especialmente en suelos de baja velocidad de infiltración. En general la eficiencia de riego que se logra es pobre.

MELGAS RECTANGULARES

Este método puede ser empleado en cultivos densos (cereales y forrajes) o en huertos cuando entre los árboles existe algún cultivo de cobertura.

Las melgas rectangulares se usan en terrenos relativamente planos y profundos, los cuales deben acondicionarse por medio de nivelación. El área a regar debe dividirse en fajas rectangulares limitadas por camellones cuya altura debe permitir el tirante necesario, más un borde libre entre 5 y 10 cms.

Los taludes de los camellones pueden ser de 3:1 a 6:1 para facilitar el paso de maquinaria agrícola. El ancho de cada melga puede variar entre 5 y 20 mts. y la longitud entre 100 y 400 mts.

Este método de riego requiere caudales relativamente altos y elevados costos de instalación, pero los costos de operación son bajos y la eficiencia que puede lograrse es satisfactoria.

La pendiente en sentido longitudinal puede ser leve (hasta 0.5%) y en este caso es marcada la influencia de la fase de receso. Pendientes mayores de 0.5% hacen que la fase de receso sea poco significativa. En general puede decirse que para

condiciones óptimas la pendiente no debe pasar de 0.2%. En ningún caso debe considerarse el empleo de este método en terrenos de pendientes superiores al 3%. En sentido transversal la pendiente de la melga debe ser mínima y en lo posible igual a 0.

Consideraciones generales para el diseño

Para el diseño deben estimarse y/o predecirse las siguientes características:

- Infiltración del suelo: puede determinarse mediante pruebas en melgas, cilindros infiltrómetros o por métodos de predicción.
- El avance del frente de agua.
- La tasa de receso.

Las curvas de avance y receso se balancearán apropiadamente y el riego será adecuado si se cumple: (Shockley, et al 1963).

- a. El volumen de agua derivado a la melga es adecuado para cubrir el área de la melga a una profundidad promedio igual a la lámina bruta de riego.
- b. El tiempo de oportunidad de infiltración en la cabecera de la melga, es igual al tiempo necesario para que el suelo absorba la lámina neta de aplicación.

Para fines de diseño debe buscarse que el tiempo de contacto sea igual al pie que en la cabecera de la melga. Esto equivale a suponer que el tiempo de avance t_1 , es igual al tiempo de receso t_3 . Debe entonces seleccionarse un caudal adecuado para que al llegar el frente de agua a una distancia $x = L$ en tiempo t_1 , en la cabecera, el tiempo del contacto sea suficiente para que se infiltre la lámina neta.

Al suspenderse el abastecimiento de agua luego de aplicar a la melga la lámina bruta, habrá un lapso de tiempo antes de que se inicie el receso. Este lapso de tiempo debe tenerse en cuenta para el cálculo del caudal. Si el tiempo de oportunidad deseado, ocurre en la cabecera para satisfacer la lámina neta, el volumen necesario de agua debe introducirse a la melga durante un período de tiempo igual a ese tiempo de contacto, menos el tiempo que demore el inicio del receso.

Eficiencia de campo

En el diseño de las melgas el principal riesgo lo constituye el estimar niveles de eficiencia superiores a los que en realidad pueden lograrse. Esto puede conducir a un diseño de melgas demasiado largas para el riego adecuado a la eficiencia real.

A pesar de que como en todo método de riego el manejo del agua afecta la eficiencia más que cualquier otro factor, para un nivel de manejo dado, en melgas rectangulares se pueden esperar eficiencias mayores en pendientes suaves que en fuertes pendientes. En melgas bien niveladas y con buenas condiciones de manejo se pueden lograr eficiencias de riego entre el 60 y el 75%.

MELGAS EN CURVAS DE NIVEL

Este método puede emplearse en cultivos como el arroz y los pastos, o en cultivos en hileras de buena tolerancia a períodos cortos de inundación.

Para el empleo de este método se requieren suelos de textura de media a fina y con pendientes inferiores al 1%, preferiblemente menores del 0.5%.

El riego por este método requiere de grandes caudales si se compara con los demás métodos de riego superficial. Por esta razón no es aconsejable su uso extensivo en áreas de grandes limitaciones de agua.

Los costos de instalación son relativamente bajos ya que en la mayoría de los casos solo se requiere de un ligero emparejamiento del terreno. Sin embargo, el riego es de difícil manejo en este tipo de melgas y por esta razón, las eficiencias de aplicación de agua son relativamente bajas.

Para evitar excesivas pérdidas de agua, la diferencia de altura entre dos bordos consecutivos deben ser mínima; un límite aconsejable es 6 cms. de diferencia. Por otra parte, el tamaño de la melga debe ser tal que ésta se llene de agua en un

tiempo breve, de manera que no haya excesivas pérdidas por percolación profunda hacia la parte baja de la melga.

El ancho de la melga depende de la pendiente de la superficie del terreno y de la diferencia de altura entre los bordos.

La longitud de la melga depende esencialmente del tiempo que se considere apropiado para llenar la melga, y del caudal disponible o manejable.

REFERENCIAS

1. BOOHER, L.J. 1974. Surface Irrigation. FAO Agricultural Development paper. No. 95. Rome. ITALY. 160p.
2. FORERO, S.J.A. 1977. Infiltración. Instituto Colombiano Agropecuario. ICA. Tibaitatá. Bogotá. COLOMBIA. 24p.
3. GRASSI, C.J. 1972. Métodos de Riego. CIDIAT. Mérida VENEZUELA. 270p.
4. MARR, C.J. 1967. Furrow Irrigation. Manual 37. California Agricultural. Exp. Sta. Berkeley, California. U.S.A. 66p.
5. MERRIAM, J.L. 1968. Irrigation System Evaluation and Improvement. California State Polytechnic College. San Luis Obispo. California. U.S.A. 57p.
6. SHOCKLEY, D.G. et al. 1963. A Quasi-Rational Method of Border Irrigation Design. A.S.A.E. Paper No. 63-720. Chicago, Illinois. U.S.A. 23p.
7. WATTS, Darrel. 1971. Riego por Superficie. Instituto Colombiano Agropecuario. ICA. Bogotá. COLOMBIA. Sin publicar.