

01
T(1279)
013

RUFINO QUAN BERDUCIDO

**CONSIDERACIONES TEORICO-PRACTICAS PARA
DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE LOS
SURCOS USADOS EN RIEGO**

GUATEMALA, 1961.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA



CONSIDERACIONES TEORICO-PRACTICAS PARA DETERMINAR LAS
CARACTERISTICAS DE LOS SURCOS USADOS EN RIEGO

TESIS

presentada a la Junta Directiva de la Facultad de
Agronomía de la Universidad de San Carlos
de Guatemala, por

RUFINO QUAN BERDUCIDO

en el acto de su investidura de

INGENIERO AGRONOMO



Guatemala, febrero de 1961.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

**JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano	Ing. Marco Tulio Urizar M.
Vocal 1o.	Ing. Humberto Olivero h.
Vocal 2o.	Ing. Mario Molina Llardén
Vocal 3o.	Lic. Alfredo Chacón Pazos
Vocal 4o.	Br. Rodolfo Martínez F.
Vocal 5o.	Br. Leopoldo Barreda
Secretario	Ing. Ovidio Amaya G.

**TRIBUNAL QUE PRACTICO
EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

Decano	Ing. Marco Tulio Urizar M.
Examinador Vocal 2o.	Ing. Mario Molina Llardén
Examinador	Ing. Armando Fletes
Examinador	Lic. Oscar I. Ortiz
Secretario	Ing. Ovidio Amaya G.

DEDICATORIA

A mis padres:

RUFINO QUAN

ZOILA B. DE QUAN

A mis hermanos

A mis abuelos, tíos, primos y demás familia

A los distinguidos profesionales de esta Facultad

A mis compañeros de Promoción

A mis excatadráticos

Al Instituto Agropecuario Nacional

A mis compañeros de trabajo y amigos

A mis compañeros y amigos de la Facultad de Agronomía.

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo estipulado en los Estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala para optar al título de Ingeniero Agrónomo, tengo el honor de someter a vuestra digna consideración el trabajo de Tesis intitulado

CONSIDERACIONES TEORICO-PRACTICAS PARA
DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE LOS SURCOS
USADOS EN RIEGO.

El presente trabajo tiene como objeto reunir y relacionar los factores de mayor influencia en la aplicación racional de riego, por el método que sin duda está destinado a ser el más popular en nuestro país, como lo ha sido ya en otros.

Tomando en consideración que en Guatemala se está haciendo un gran esfuerzo por dotar de regadío a considerables terrenos, con la finalidad de incorporar nuevas zonas a la producción agrícola y aumentar los rendimientos unitarios, es de gran valor un estudio exhaustivo de los factores, para saber hasta dónde se puede aconsejar el uso del presente método y cuándo sí lo sea, dar las características que este sistema requiera para su aplicación con cultivos económicos.

Con muestras de mi más sincero respeto os pido que aprovéis el presente trabajo y permitidme expresaros un respetuoso saludo.

INDICE

I. INTRODUCCION	17
II. PRINCIPIOS GENERALES	18
III. DEFINICION, DEDUCCION MATEMATICA Y PROCEDIMIENTOS QUE SUGIERO PARA LA DETERMINACION PRACTICA DE LAS VARIABLES EN EL METODO DE RIEGO POR SURCOS	19
GENERALIDADES	19
PENDIENTE DEL SURCO	26
VELOCIDAD DEL AGUA	27
CAUDAL O GASTO PARA UN SURCO	31
LONGITUD DE SURCO	33
TIEMPO DE RIEGO	36
VOLUMEN DE RIEGO POR HECTAREA	42
IV. APLICACION	45
V. CONCLUSIONES	49
VI. BIBLIOGRAFIA	51

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES

GLOSARIO DE SIGNOS CONVENCIONALES USADOS

EN EL PRESENTE TRABAJO

- A == Área del surco cubierta por el agua (mts²)
a == Área de la Sección Mojada del surco
C == Coeficiente para la fórmula de Chezy
d = Diferencial
E == Profundidad humedecida en la cabecera del surco
E' == Profundidad humedecida al final del surco
Em == Profundidad humedecida media
e₁ e₂ e₃ e₄ e₅ = Profundidad de suelo humedecido en incrementos de t/4
F == Fuerza de arrastre de la corriente. Kg/mt²
H == Lámina de agua total infiltrada en metros
h == Calado de la corriente
I == Capacidad de infiltración en lámina de agua (cms. por hora)
K == Constante = m (k/k')
K' == Constante = 3k^m/4k'n
k, k' = Constantes, dadas — página No. 28
l = Longitud de surco en metros
m == Coeficiente que depende de las características de las paredes del canal. 87 / y
N == Coeficiente para "C", en la Fórmula de Manning
n == Relación cuerda-flecha, tomando como unidad la segunda
Pm == Pérdida por percolación media
p == Perímetro mojado del surco
q == Caudal o gasto por surco (mts³/sg)
q_i == Caudal o gasto inicial (mt³/sg)
q' == Caudal o gasto infiltrado (mt³/sg)
R == Radio hidráulico del surco
s = Pendiente del surco en metro por metro
sm == Pendiente máxima en donde "F" igual a un Kg/mt²
T = nh == ancho del surco cubierto por el agua
t = Tiempo total de riego
ti == Tiempo inicial (tiempo que tarda el agua en llegar al final del surco)
U == Relación entre separación de plantas y ancho del surco cubierto por el agua

- V = Volumen de agua total, para regar una hectárea (m^3)
Vi = Volumen inicial (agregado en el primer período) (m^3)
v = Velocidad del agua dentro del surco
vt = Velocidad teórica
vp = Velocidad medida directamente en el campo
y = Coeficiente de rugosidad, para "C" de Bazin.

CONSIDERACIONES TEORICO-PRACTICAS PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE LOS SURCOS USADOS EN RIEGO

I. Introducción

El método de riego por surcos se usa desde hace mucho tiempo en las localidades agrícolas que necesitan de la aplicación artificial del agua.

Esta forma de aplicar agua al suelo es muy fácil y no requiere de grandes trabajos en la preparación de los terrenos, pues basta seguir paralelamente las curvas a nivel de los mismos cuando son ondulados o regar en el sentido de la pendiente cuando son relativamente planos.

En Guatemala he observado que este método es el más difundido en lugares en donde los agricultores riegan, aunque lo hacen en forma muy empírica pues solamente dejan correr el agua por los surcos sin ningún control.

A donde quiera que se vaya dentro del territorio de Guatemala, notaremos que el método de siembra practicado por nuestros agricultores es en su mayoría el de surcos, costumbre benéfica porque podrá aprovecharse la misma para la aplicación de agua, siempre que llenen los surcos las condiciones requeridas para ello. La aplicación correcta de este método redundará en economía de agua, humedecimiento apropiado, conservación de los suelos, mejor utilización de los fertilizantes y una mayor producción unitaria.

Estos estudios son de vital importancia en lugares de poca precipitación, pues no solo el costo del agua es generalmente alto sino que la aplicación de ésta debe sujetarse a ciertas condiciones para evitar graves daños, ya que en algunos casos puede el riego mal aplicado esterilizar los suelos, como sucede en el caso de la salinización o alcalinización que son los más frecuentes. Estos problemas pueden hacerse menos agudos o evitarse teniendo un buen control del riego.

Aunque este método no es el más eficiente, compensa por la sencillez y facilidad en la preparación del terreno así como la característica de poderse emplear en terrenos cuya pendiente limita el uso de los otros métodos de riego.

Para obtener alta eficiencia en la aplicación del agua es necesario conocer el comportamiento del suelo con el agua en movimiento dentro de los surcos. Como una contribución en tal sentido, me propongo en el presente trabajo aplicar los principios de Hidráulica asociándolos con resultados experimentales obtenidos por diversos investigadores en sus respectivos países.

II. Principios Generales

Los surcos funcionan como un canal de conducción y también sirven para que a lo largo de su recorrido el agua se infiltre a través de la parte del suelo que permanece en contacto con ella.

La velocidad de penetración del agua dentro de la masa del suelo depende de las características de éste, y así tenemos, que en suelos formados por partículas grandes (arenosos), la velocidad de infiltración es alta, mientras que en otros de partículas pequeñas (arcillosos) la velocidad es muy baja. La materia orgánica tiene una marcada influencia, pues obra en tal forma que acerca los extremos, es decir, que a los suelos de gran infiltración se la disminuye y a la de baja infiltración se la aumenta.

La velocidad del agua dentro del surco está en relación directa con la pérdida de carga, esta velocidad debe limitarse hasta un máximo tal que su fuerza de arrastre sea igual a la fuerza que se requiera para mover a las partículas de suelo.

Además de la pendiente del terreno que da lugar a que el agua se ponga en movimiento, existe la altura de la lámina de agua o calado de la corriente, la cual al ser aumentada se incrementará asimismo el radio hidráulico y la masa de agua; habiendo por lo tanto menos pérdida por fricción y como consecuencia mayor cantidad de energía potencial es transformada en cinética, que sumada a la que corresponde a la pendiente del canal o surco nos proporcionará la velocidad real del líquido.

III. Definición, deducción matemática y procedimientos que sugiero para la determinación práctica de las variables en el método de riego por surcos:

A. Generalidades

En este método de riego el agua corre como en cualquier canal, pero debido a la circunstancia de ser éste de sección pequeña, presenta ciertas peculiaridades.

El movimiento del líquido está regido por las mismas leyes generales, para lo cual Chezy en el año de 1775, concibió la fórmula siguiente, aplicable solo cuando el régimen es uniforme.

$$v = C R^{1/2} s^{1/2}$$

Esta fórmula nos indica que la velocidad del agua "v" dentro del canal es igual a un coeficiente "C", que depende de las características propias del cauce; "R" es el radio hidráulico, dado por la relación área de la sección del surco dividida por el perímetro mojado del mismo "a/p"; "s" pendiente del canal o surco en metro por metro.

Varios investigadores se dedicaron a buscar un valor para el coeficiente C, entre los cuales se encuentran los Suizos Gauguillet y Kuther, quienes desarrollaron una fórmula muy elaborada y depende de algunas constantes, del radio hidráulico, de la pendiente del terreno y de las condiciones del canal.

La fórmula para C, propuesta por Manning es mucho más simple que la anterior y dá valores de "v" aceptables cuando se le ha comparado con experimentos, por lo que ha sido comúnmente adoptada.

$$C = (1/N) R^{0.166} \quad \text{Léase: } 0.166 = 1/6$$

Al sustituirla en la fórmula de Chezy, ésta recibe el nombre de "fórmula de Manning":

$$v = 1/N (R^{0.666} s^{1/2}) \quad \text{Léase: } 0.666 = 2/3$$

Horton nos proporciona una serie de valores de N, para diferentes materiales, de los cuales expongo algunos aunque no han sido probados para aplicarlos al sistema de riego por surcos.

Corrientes con cauces sinuosos, algo de hierba y piedras de	0.035 a 0.050
Corrientes con cauce sinuosos, secciones pedregosas de	0.045 a 0.060
Corrientes perezosas, cauce enhierbado o con charcos profundos de	0.075 a 0.150

Bazin propuso la siguiente fórmula para darle un valor a "C", en el año de 1897:

$$C = 87 / (1 + \gamma / R^{1/2})$$

Esta fórmula, está en función de un valor abstracto que depende de las características de rugocidad de las paredes, llamado coeficiente de rugocidad, representado por la letra griega "Gamma" y el cual se determinó experimentalmente para canales con paredes de diferentes grados de rugocidad y radio hidráulico.

Bazin nos dá los valores para el coeficiente "Gamma", a ser aplicados en corrientes naturales con malezas, canto rodado, rocas, etc., oscila de 1.74 a 4.86.

Para nuestro caso, en el cual la resistencia que oponen las paredes del surco es bastante grande, Crevat después de experimentarlo llegó a la conclusión de que un valor para "Gamma" de 4.35 es el que debe tomarse para cuando se trata de aplicar esta fórmula a un surco.

Aplicando este valor a la fórmula para determinar el coeficiente C de Bazin, tenemos:

$$C = \frac{87}{1 + 4.35/R^{1/2}} \quad \text{ó} \quad C = \frac{87 R^{1/2}}{R^{1/2} + 4.35}$$

Como el valor de R, comparado con el coeficiente de rugocidad es bastante pequeño, éste puede ser eliminado del denominador quedando el valor de C en la siguiente forma:

$$C = 87 R^{1/2} / 4.35$$

$$C = 20 R^{1/2}$$

Si sustituimos el valor de C en la fórmula de Chezy tendremos:

$$v = 20Rs^{1/2}$$

FORMULA No. 1

que nos dá la velocidad con la que corre el agua por los surcos en suelos parecidos a los usados por dicho investigador. En Guatemala hemos de encontrar los valores más adecuados para cada clase de suelo en las zonas de riego, para lo cual en un capítulo posterior describo la forma en que a mi criterio puede obtenerse directamente en el campo el valor de dicho coeficiente.

1. Infiltración:

La infiltración puede definirse como la mayor o menor resistencia que la superficie del suelo opone a dejarse atravesar por el agua.

La cantidad o lámina de agua que se infiltra por unidad de tiempo, se llama capacidad de infiltración. Esta capacidad he comprobado que varía con cada clase textural de suelo y aún en el mismo suelo por el grado de humedad contenida en el momento de realizarse la prueba.

La medida de la velocidad de penetración del agua a través de la superficie del suelo debe realizarse directamente en el campo. Aunque puede hacerse también en el laboratorio no aconsejo tomar estos datos para emplearlos en cálculos de riego, pues los resultados que he obtenido para los mismos suelos usando las dos formas siempre han sido diferentes. Asimismo diferentes han sido los resultados que he obtenido al realizar las pruebas de infiltración en los mismos suelos con diferentes grados de humedad; por lo tanto sugiero que cuando se realicen estas pruebas se hagan en el propio campo y en una época apropiada, es decir, que el suelo presente condiciones tales que sean similares a las que tendrá cuando reciba el riego.

a. Medida de la Infiltración

Para la prueba de infiltración se hace uso de un aparato que se llama infiltrómetro y el cual consiste de 2 cilindros los cuales tienen 30 cm. y 20 cm. de diámetro respectivamente y 20 cm. de altura, éstos van colocados uno dentro del otro. Uno de los

extremos de cada cilindro es afilado y el otro tiene un refuerzo para que resistan los golpes cuando son introducidos. En el cilindro central y por el lado de afuera van soldados 2 pequeños anillos de modo que pase por ellos una varilla de hierro de tres octavos de pulgada, la varilla a su vez sostiene a un anillo de más o menos 10 centímetros de diámetro que es el que soporta una botella de vidrio sobre la que se medirá la lámina de agua infiltrada por medio de una escala graduada en centímetros y milímetros.

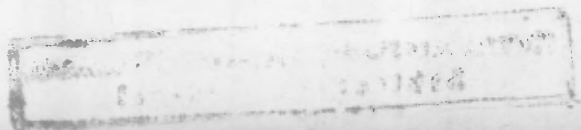
El infiltrómetro funciona de la siguiente manera: entre los cilindros exterior e interior queda un espacio al cual se le agrega agua hasta unos 5 cms. de altura, para evitar que el agua que se pone dentro del cilindro central se mueva lateralmente y cauce error. El agua que va dentro del cilindro central se mantiene a una carga constante y la lámina infiltrada se va registrando por medio de un frasco de vidrio graduado, que por la parte inferior termina en un tubo pequeño también de vidrio, el cual permanece en contacto con la superficie del agua.

Para evitar que existan diferentes láminas de agua, sugiero que en el espacio entre los dos cilindros, se coloque otro frasco de vidrio con agua de modo que la boca del frasco quede a la altura de la lámina que quiera conservarse y su funcionamiento será similar al frasco que nos sirve para controlar la lámina infiltrada.

b. Procedimiento

Se insertan los dos cilindros dentro del suelo hasta 10 cms., se agrega agua al espacio que queda entre ellos y al cilindro central hasta una marca que indica los 5 cms. de carga, la cual deberá permanecer constante; para ésto se usa el frasco de vidrio graduado de tal manera que se pueda leer directamente la lámina de agua infiltrada en cualquier momento; como la columna de agua dentro del frasco de vidrio está sostenida por la diferencia de presión entre el interior del frasco y la atmosférica, la columna de agua no descenderá mientras no entre aire por la parte inferior del tubo, lo cual no sucede mientras el tubo esté en contacto con la superficie del agua.

Cuando la superficie del agua descende, como consecuencia de la infiltración, y queda al descubierto la punta, rápida-



mente entra el aire que substituye al líquido que ha salido, elevando nuevamente el nivel del agua dentro del cilindro central. La lectura se hace en la escala colocada en el frasco de vidrio cada 30 minutos y se anota en formularios especiales.

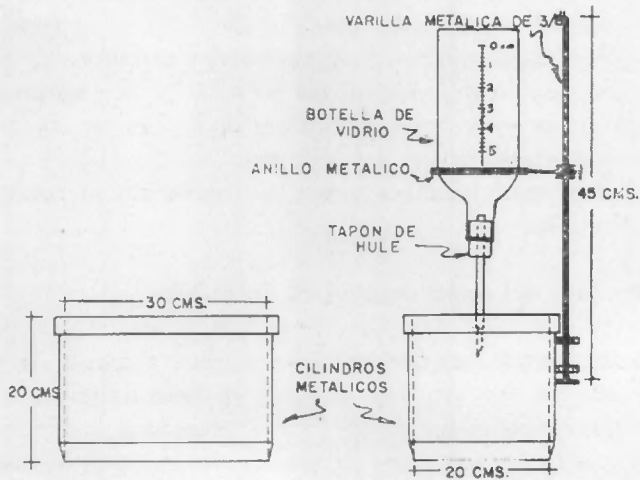


Fig. No. 1

8

Cuando los valores de infiltración van tornándose constantes para la unidad de tiempo, es indicación de que la capacidad de infiltración está por alcanzarse. La duración de esta prueba es variable y depende de la clase de suelo.

c. Resumen de Operaciones

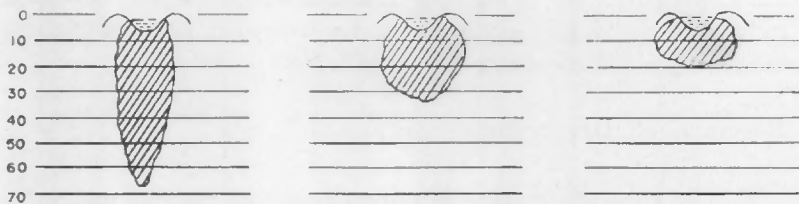
1. Se insertan ambos cilindros hasta las marcas que éstos tienen.
2. Colóquese la varilla metálica dentro de los dos anillos soldados al cilindro central y colóquese el sostenedor del frasco a la altura requerida.
3. Se llena de agua el frasco de vidrio el cual lleva una manguera de hule terminada en un tubo de vidrio. Se obtura por la parte inferior para evitar la salida del agua.
4. Colóquese el frasco de vidrio en la argolla con el extremo inferior de la manguera a 5 cm. de la superficie del suelo.

5. Se agrega agua, entre ambos cilindros metálicos y el central, hasta una altura de 5 cm.
6. Entre ambos cilindros colóquese una botella invertida llena de agua con la boca a 5 cm. de la superficie del suelo, ésto con objeto de mantener también aquí constante la lámina de agua.
7. Se toma el tiempo y se suelta el obturador.
8. Se principia a tomar las lecturas y se continúa hasta que éstas se tornen constantes, lo que se consigue generalmente a las 3 ó 4 horas.
9. Repóngase cuantas veces sea necesario el agua de las botellas.

2. Movimiento del agua después de infiltrada

La infiltración en un suelo, se verifica a través de toda el área que está en contacto con el agua, y dentro sigue una dirección que tiene una componente vertical debida a la acción de la gravedad y otra componente en sentido lateral por la fuerza de adhesión de las partículas del suelo.

a. Características



En las arenas gruesas y húmedas predomina lo vertical.

En suelos franco se encuentra equilibrado.

En arenas finas y arcillosas predomina lo lateral.

Fig. No. 2

b. Aprovechamiento

1. Movimiento Lateral:

El movimiento lateral del agua es aprovechado para determinar el espaciamiento máximo que debe darse a los surcos, para que éstos reciban la humedad suficiente en la zona radicular.

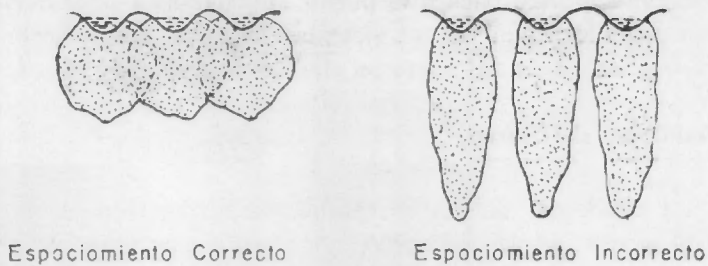


Fig. No. 3

Esta determinación se realiza en el campo, para lo cual, después del riego se hace un corte transversal del surco y se examina la forma de la humedad a través del perfil del suelo.

Dicha prueba nos indicará el distanciamiento máximo para que el riego sea efectivo, aunque los cultivos e implementos que se usen son los que al final fijarán estas distancias, que en ningún caso deberán ser mayores que el límite fijado en la prueba.

2. Movimiento Vertical:

El movimiento vertical es de gran importancia ya que de éste depende en parte la longitud del surco y el tiempo que debe durar el riego. Lo que determina la profundidad que el agua debe penetrar verticalmente son las raíces de las plantas.

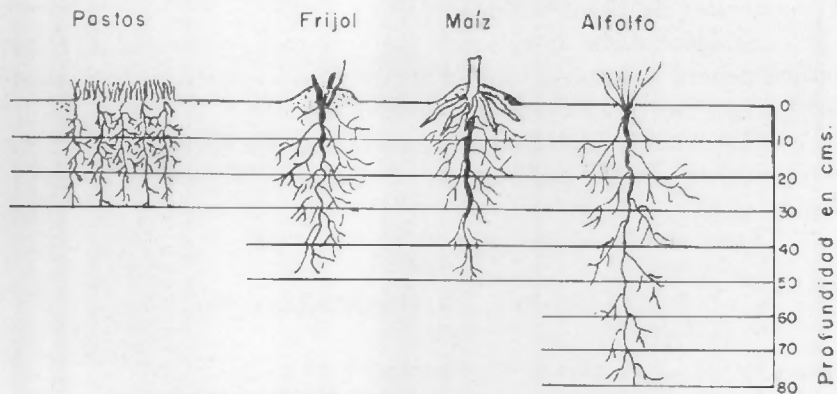


Fig. No. 4

La profundidad radicular se determina directamente en el campo, para lo cual se perfora al pie de la planta un agujero su-

ficientemente grande para que pueda apreciarse la distribución y profundidad alcanzada por el sistema radicular, este corte nos mostrará a las raíces tal como se aprecia en la figura No. 4.

B. Pendiente del Surco

La pendiente del surco cuando es inadecuada, es la causante de muchos fracasos sufridos por nuestros agricultores al emplear el riego. Es de gran importancia por lo tanto, determinar cuáles son las pendientes recomendables en cada lugar. La combinación del calado hidráulico de la corriente nos proporciona cierta elasticidad; pues variando éste inversamente, nos permite emplear mayores pendientes disminuyendo el calado hidráulico o viceversa.

1. Cálculo Teórico

El grado de erosión varía de unos suelos a otros, lo que hace variar asimismo la pendiente crítica.

Este límite puede definirse como el poder o fuerza de arrastre del agua debido a su velocidad, que en este método de riego algunos aconsejan fijar 1 Kg/m^2 , aunque para mayor precisión habrá de ser determinado experimentalmente en cada suelo.

En algunos textos se encuentra la fórmula que dá la fuerza de arrastre del agua en movimiento, para diferentes secciones y pendientes de canal o surco.

El valor dado al aplicarla, para el caso que nos interese nunca deberá ser mayor que el límite fijado a cada suelo el cual tendrá que ser encontrado experimentalmente.

Como he indicado anteriormente algunos investigadores como producto de sus experiencias aconsejan fijar como límite 1 Kg/mt^2 .

La fórmula en mención es la siguiente:

$$F = 1,000 \text{ Rs}$$

FORMULA No. 2

o sea la fuerza de arrastre es igual al Radio Hidráulico "R", multiplicado por la pendiente del surco "s", este producto se multiplica por mil para obtener el resultado en kilogramos por metro cuadrado.

Si dicho resultado no pasa el límite requerido para el suelo, entonces la pendiente es adecuada; si lo pasa debe de disminuirse la pendiente, la sección o ambos a la vez.

2. Procedimiento para la Determinación Práctica

Sugiero que ésta se realice en el campo, tomándose previamente muestras de suelo para determinarles la textura, y aconsejo proceder en la siguiente forma:

- Construir varios surcos, cada uno con diferentes pendientes, siendo la mayor la que resulta al aplicar la fórmula para calcular "s", con "F" igual a un kilogramo por metro cuadrado.
- El caudal en cada surco debe ser constante y se escoge el que se ha determinado como el más adecuado en la prueba correspondiente.
- Aforar las estructuras de control para deducir los gastos exactos y evitar errores.
- Dejar correr el agua hasta que llegue al final de los surcos.
- Observar cuidadosamente la erosión causada en los diferentes surcos y decidirse por aquel que muestre las menores señales de erosión con la mayor pendiente.

C. Velocidad del Agua

La velocidad del agua en un riego por surcos no depende solamente de que ésta cauce erosión, su límite superior sí está fijado por esta condición más su límite inferior lo fijan otros factores como lo indicaré adelante.

1. Cálculo Teórico

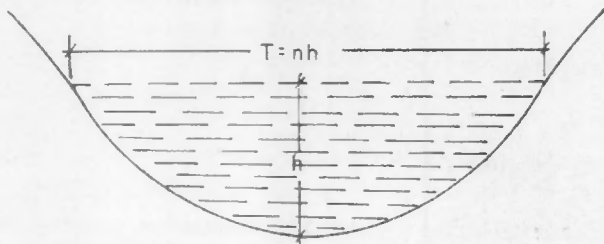


Fig. No. 5

Como he indicado en la fórmula No. 1, la velocidad está dada por un coeficiente empírico, el Radio Hidráulico y la pendiente del surco. A continuación iré deduciendo la fórmula para ser aplicada en este método de riego. En los textos de Hidráulica se encuentran estas fórmulas, aquí las pondré en función del calado del surco "h".

a. Radio Hidráulico: R

El radio hidráulico es una relación entre el área de la sección del canal "a" y el perímetro mojado "p". $R = a/p$

Para el área de la sección consideré al surco como un segmento circular, en el cual, para facilidad de cálculo tomaré a la flecha "h" como unidad con respecto al tirante de la corriente. $a = kh^2$

El perímetro mojado "p" por ser un segmento circular, lo obtendré asimismo en función de "h". $p = k'h$

Al sustituir estos ("a" y "p") en la fórmula del radio hidráulico se obtiene: $R = \frac{kh^2}{k'h}$

$R = (k/k') h$ FORMULA No. 3.

Valores de "n" más comunes

n	k	k'
2	1.56	3.14
3	2.16	3.81
4	2.72	4.64
5	3.50	5.50
6	3.96	6.42

b. Velocidad: v

La fórmula No. 1, indica que la velocidad se obtiene en función de "R" $v = mR^{3/4}$

Sin embargo sustituyendo "R" se obtiene la velocidad en función de "h" $v = m(k/k')hs^{3/4}$

Uniendo todas las constantes bajo una sola literal "K", se simplifica la fórmula ya que "K" puede tabularse $v = Khs^{1/2}$

$$v = Khs^{1/2} \qquad \text{FORMULA No. 4}$$

2. Procedimiento para la Determinación Práctica

Es de gran interés conocer cuál es la velocidad máxima con la que el agua puede correr por el surco sin causar gran erosión.

La velocidad depende de un coeficiente "Gamma" dado por las características de las paredes del surco, por lo que éste variará con cada clase de suelo, la preparación del terreno, etc.

a. Coeficiente: "Gamma"

Dicho coeficiente "Gamma" deberá ser determinado experimentalmente y sugiero se proceda en la siguiente forma:

1. Se prepara el terreno en tal forma que tenga una pendiente uniforme.
2. Se construyen varios surcos cuidando que tengan la misma sección.
3. A lo largo del surco se colocan estacas a cada 10 metros, a la par de dichas estacas colocaremos unas reglas graduadas en cms. y m.m., las cuales indicarán el calado de la corriente en este punto.
4. Se corre una nivelación a lo largo de los surcos, tomando como estación cada estaca y se anotarán dichas cotas, con las cuales se determinará exactamente la pendiente entre cada estación.
5. Se mide la sección en varios puntos para obtener una sección media entre estaciones.
6. En cada surco se ponen diferentes caudales de tal manera que se obtengan varios calados, dichos caudales tendrán que permanecer constantes durante toda la prueba.
7. Cuando los surcos se encuentren totalmente cubiertos por el agua, se procede a hacer las lecturas en las escalas puestas en cada estación.
8. Se mide la velocidad en los diferentes tramos. Para encontrar la velocidad del agua empleése del método

mejor que esté a su alcance, puede hacerse uso de un corcho; tomándose el tiempo que tarda en pasar de una estación a otra.

9. Con los datos así reunidos se procede a calcular la velocidad teórica para el caso ideal, es decir en el caso de que el coeficiente de fricción sea igual a cero.
10. La diferencia de la velocidad teórica "vt" y velocidad real o práctica "vp" es el valor del coeficiente "C", que si se aplica la fórmula de Bazin, resultará:

$$v_t - v_p = C$$
$$C = \frac{R^{1/2}(87-C)}{C}$$

En esta misma forma puede procederse para encontrar los otros valores en las fórmulas de otros investigadores.

Determinado el coeficiente "Gamma" será muy sencillo encontrar la velocidad del agua en suelos similares, sin embargo, deben realizarse otras pruebas para fijar la velocidad máxima que el suelo puede resistir antes de mostrar síntomas marcados de erosión.

b. Velocidad:

Para esta prueba se combinan pendiente y caudal para obtener diferentes velocidades, sugiero proceder así:

1. Se construyen los surcos que llenen las características necesarias para que den las condiciones óptimas exigidas para alcanzar las velocidades que se ensayarán con secciones iguales.
2. Se colocan estacas cada 20 metros a lo largo del surco, tomándoles sus respectivas cotas.
3. Se agrega el agua, este caudal tendrá que aforarse con anterioridad para evitar errores.
4. Cuando la longitud total del surco este cubierta por el agua, se procede a examinar detenidamente los diferentes surcos, eliminando aquellos en los cuales se note mucho arrastre de suelo. Al final se optará por aquel que presente la mayor velocidad con un mínimo de erosión.

D. Caudal o Gasto para un Surco

El caudal que entra a los surcos en un riego racional, es constante, mientras en el diseño no se especifique lo contrario.

Para la determinación del caudal, se procede primero a su estudio teórico, es decir haciendo uso del criterio y relaciones matemáticas para poder llegar a determinar el punto del cual deberá partirse en los trabajos de experimentación, que son los que al final nos indicarán el caudal apropiado a usarse.

I. Cálculo Teórico

Parto de que la infiltración a lo largo del surco es uniforme, por lo tanto supondré ya humedecida toda la longitud del surco.

Se conoce la capacidad de infiltración de los suelos y con ello sabremos qué volumen de agua se introducirá dentro del suelo en la unidad de tiempo, de manera que si se toma como unidad el metro, tendremos que el volumen dentro del metro de surco servirá únicamente para reemplazar a la que se ha infiltrado, de modo que llene las condiciones de la fórmula siguiente:

$$qt = HA$$

En la que "A" área en metros cuadrados cubierta por el agua; "H" lámina de agua infiltrada en metros; "q" gasto que entra al surco (m^3/sg); y "t" tiempo en segundos.

Esta fórmula indica que el volumen de agua infiltrada por unidad de superficie, es igual al volumen de la misma que debe entrar al surco.

El caudal que circula por el surco se puede expresar por la fórmula siguiente:

$$q = av$$

q = Gasto ó caudal que circula por el surco, en m^3/sg

a = Área de la sección mojada

v = Velocidad del agua m/sg

Sustituyendo el área y la velocidad.

$$q = (kh^2) \left(m \frac{hs^2}{k'} \right)$$

$$q = \frac{k^2}{k'} mh^3 s^{3/2} \quad \text{FORMULA No. 5}$$

Que al aplicarla obtendremos el caudal que corre por un surco, en m³/sg en función de la altura de la lámina de agua "h" y de la pendiente "s".

Fácilmente puede observarse que la velocidad del agua es menor en suelos secos, que en suelos húmedos, se nota además que la velocidad obtenida al aplicar la fórmula respectiva de velocidad, es mayor que la velocidad de avance del agua, por lo tanto debe aumentarse en cierto porcentaje el caudal, con lo cual se consigue acercarlo a la velocidad que tendrá la corriente cuando el surco se encuentre completamente cubierto por el agua.

Convendría hacer varias pruebas aumentando el gasto y midiendo la velocidad de avance; a este caudal así aumentado se le denominará caudal inicial "qi", que para muchos suelos es igual al que dá la fórmula No. 5 aumentado en 10%.

$$q_i = 1.1 \frac{k^2}{k'} mh^3 s^{3/2} \quad \text{FORMULA No. 6}$$

El caudal inicial debe ser usado únicamente durante el tiempo que tarde el agua en llegar al final del surco, después se reducirá en este mismo porcentaje, manteniéndose así hasta que el riego finalice.

2. Procedimiento para la Determinación Práctica

El caudal más adecuado a usarse, únicamente puede ser determinado por medio de pruebas realizadas en el campo y para ello convendría proceder como sigue:

- a. Construir varios surcos con la misma sección y pendiente.
- b. Colocar estructuras de control en la cabecera de los surcos; éstas pueden ser cajas de madera con compuertas móviles o sifones, de tal manera que pueda ser controlado el gasto que entra al surco. Cualquier forma de control que se utilice, tendrá que ser previamente aforado.

- c. Como se ha calculado teóricamente el caudal, se toma a éste como base poniendo dos caudales diferentes mayores y otros dos diferentes menores.
- d. Para iniciar la prueba se deja correr el agua observándose cuidadosamente los diferentes surcos y se toma nota de la cantidad de suelo acarreado por el agua. Los caudales que presenten erosión serán eliminados optándose por aquel que presente menos erosión con el mayor caudal.

Determinado el caudal más adecuado debe procederse a buscar el caudal inicial o sea el porcentaje en que deberá incrementarse, que puede ejecutarse así:

1. Cuando los surcos que sirvieron para la prueba anterior se hayan secado se revisan y acondicionan para ser usados en esta nueva prueba.
2. Colóquense estacas a lo largo del surco, cada 20 mts. y acótense para tener un control de la pendiente de los surcos.
3. Escójanse los caudales más adecuados, siempre mayores que el usado en la prueba anterior, pues en ningún caso será menor que éste, el incremento debe hacerse en porcentaje para facilitar la operación.
4. En cada surco afórense los caudales.
5. Deje correr el agua y en formularios especiales diseñados para esta prueba anótense la hora en que se inició, la hora en que el avance del agua pasa por cada estación hasta que llega a la última, con lo cual puede considerarse concluida la prueba.
6. La comparación de la velocidad de avance del agua con la velocidad del agua de la prueba anterior nos indicará qué caudal es el más adecuado.

E. Longitud de Surco

La longitud de surco está condicionada por ciertas características propias del suelo, tales como: textura, capacidad de infiltración, etc., y otras diversas como pendiente del surco, caudal hidráulico de la corriente y profundidad radicular.

Esta longitud puede obtenerse teóricamente aunque para su recomendación, hay que realizar las pruebas en el propio campo.

1. Cálculo Teórico

Partiré de que la cantidad de agua que entra en la cabecera del surco, tiene que ser absorbida en su totalidad por el terreno.

Por lo tanto el caudal infiltrado:

$$q' = AI \quad A = nhI$$

$$q' = nhII$$

La condición esencial para que un riego se considere racional, es que el volúmen de agua que entra al surco debe ser igual al volúmen de la misma que el suelo absorba, dicha condición está representada por la siguiente expresión:

$$qt = HA \quad \text{por lo tanto: } q = \frac{q'}{k^2}$$

$$\text{Siendo: } q = \frac{m h^2 s^{1/2}}{k^2}; \quad q' = nhII$$

Diferenciando:

$$dq = 3 \frac{k^2}{k^2} m h^2 s^{1/2} dh; \quad dq' = 2nhIdl$$

Por lo tanto:

$$2nhIdl = 3 \frac{k^2}{k^2} m h^2 s^{1/2} dh$$

$$1 = \int \frac{3k^2 m h s^{1/2}}{2nIk'} dh = \frac{3k^2 m h^2 s^{1/2}}{4 nIk'}$$

$$1 = \frac{3k^2}{4 k'} \frac{m s^{1/2} h^2}{nI} \quad \text{FORMULA No. 7}$$

Esta fórmula es simplificada si designamos por una sola literal las constantes:

$$K' = \frac{3 k^2 m}{4 k' n}$$

$$1 = \frac{K'}{I} h^2 s^{3/2}$$

FORMULA No. 8

2. Procedimiento para la Determinación Práctica

Para obtener un riego uniforme a lo largo del surco me limitaré a seguir los consejos dados por varios investigadores y para lo cual se han realizado un gran número de experimentos, llegándose a la conclusión de que lo más adecuado es que el agua alcance en una cuarta parte del tiempo total de riego el final del surco; por lo tanto, las fórmulas anteriores no dan mayor información a este respecto, pues dichas expresiones indican la longitud máxima que puede alcanzarse con una lámina dada.

Es por este motivo de gran importancia la prueba de campo que será la que decida esta distancia. La prueba puede realizarse en la siguiente forma:

- a. Constrúyanse un número igual de surcos al de caudales a probar, con sección y pendientes similares.
- b. Colóquense estaciones a cada 20 metros a lo largo de los surcos.
- c. Acótense todas las estaciones de los surcos.
- d. Escójanse los caudales a probar, éstos deben oscilar alrededor del caudal escogido en la prueba de "caudal para un surco".
- e. Seleccionados los caudales, afórense las estructuras de control.
- f. Principíese la prueba anotando el tiempo de inicio, luego váyanse anotando el tiempo empleado en que el avance del agua vaya alcanzando cada estación.
- g. Después de haber llegado el agua al final del surco, examínese minuciosamente el grado de erosión causado por cada caudal y anótese el surco que presente menos erosión con el mayor caudal.

- h. Constrúyase un gráfico en el cual se colocará el tiempo acumulado en minutos en el eje vertical y la distancia en metros en el eje horizontal. Trazar los valores correspondientes de cada surco para obtener una curva para cada uno.
- i. El tiempo total de riego nos es conocido, por lo tanto aplicando el criterio de que el agua debe alcanzar el final del surco en una cuarta parte de este tiempo o sea el tiempo inicial "ti"; se encuentra la longitud de surco partiendo de este tiempo sobre el eje vertical, trazando una línea perpendicular a dicho eje hasta encontrarse con la curva del caudal escogido y se traza otra línea esta vez paralela al mismo eje hasta cortar el eje horizontal. La lectura en dicho eje nos indicará la máxima longitud de surco.

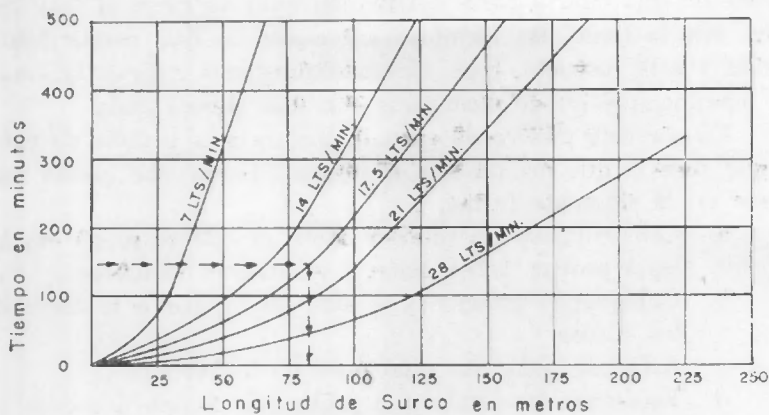


Fig. No. 6

Longitudes alcanzadas con diferentes caudales y pendientes iguales. Debe escogerse el caudal que cause menos erosión con el mayor gasto.

F. Tiempo de Riego

El tiempo que debe dejarse correr el agua por los surcos varía de lugar en lugar, dependiendo de las características físicas de los suelos y profundidad radicular de los cultivos.

Por el resultado de una serie de experimentos, se ha llegado a establecer en algunos suelos que para obtener un riego uniforme el tiempo que el agua tarde en llegar al final del surco debe ser igual a una cuarta parte del tiempo total.

Sin embargo, los mismos experimentos en otros suelos han demostrado que de seguirse tal norma, no se obtiene uniformidad en el riego debido a que la capacidad de infiltración varía inversamente con la raíz cuadrada del tiempo acumulado, alterándonos de esta manera el tiempo de aplicación y nos colocamos frente a dos casos los cuales se estudian a continuación:

1. Cálculo Teórico

a. Tiempo Inicial:

El tiempo necesario para que se infiltre una lámina dada de agua tratándose de un riego racional, debe corresponder a la cuarta parte del tiempo total.

$$q \cdot t_i = hA \quad \text{Por lo tanto: } t_i = \frac{hA}{q}$$

$$\text{Siendo: } q = AI$$

$$\text{Sustituyendo: } t_i = hA/AI$$

$$t_i = h/I \quad \text{FORMULA No. 9}$$

Podemos obtener este mismo tiempo partiendo de la velocidad del agua, pues sabemos que ésta varía de "v" a cero, por lo que la velocidad media será: $v/2$.

$$\text{Siendo: } t_i = \frac{2l}{v}$$

$$\text{Como: } l = \frac{K^2 h^2 s^2 t_i}{I}; \quad v = Kh \cdot s^{1/2}$$

Sustituyendo. $t_i = \frac{2K' h^2 s^{3/2}}{IK h s^{3/2}}$

Queda: $t_i = \frac{2K'h}{IK}$ FORMULA No. 10

$t_i = \frac{3 kh}{2 nI}$ FORMULA No. 11

b. Tiempo Total:

Debe conocerse la lámina total de agua necesaria para llevar a la capacidad de campo todo el perfil, hasta la profundidad radicular, el método de determinarla se puede encontrar en los textos y por esa razón lo omito en este trabajo.

Se puede usar las fórmulas siguientes para encontrar dicho tiempo:

Cuando se conoce la lámina total de agua a aplicar:

$t = \frac{H}{I}$ FORMULA No. 12

Cuando dicha lámina es desconocida:

$t = 6 \frac{kh}{nI}$ FORMULA No. 13

2. Características

Como he apuntado anteriormente la variación en la infiltración del agua al suelo, presenta dos casos en los cuales el tiempo de riego es variable.

a. Primer Caso:

Suelos en los que la capacidad de infiltración varía al principio tornándose luego casi constante.

En éstos, el tiempo que dura el agua en llegar al final del surco sí debe corresponder a la cuarta parte del tiempo total.

Para dar una ilustración gráfica haré uso de la figura siguiente:

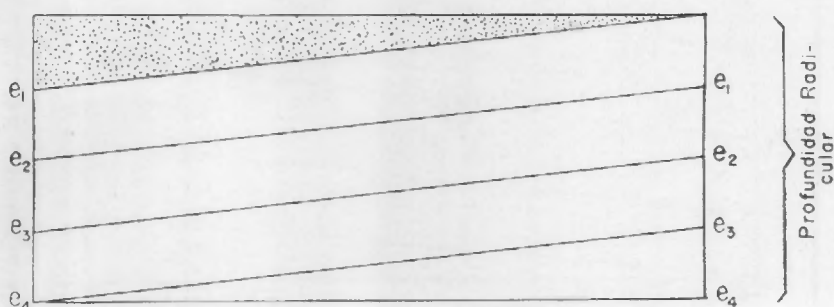


Fig. No. 7

Profundidad humedecida en cada incremento de $t/4$. Este caso se presenta solo en suelos de Perfil Homogéneo cuya infiltración es así mismo constante.

Esta figura nos muestra que cuando el agua llega al final del surco, se ha humedecido la cuarta parte de la profundidad que se desea humedecer, por lo tanto debe dejarse que el agua continúe corriendo tres períodos más de tiempo, con lo cual se obtiene el humedecimiento completo del perfil hasta donde se requiera. Completado el tiempo, se corta el agua apareciendo inmediatamente la última parte de la corriente que conforme avanza va desapareciendo, a esta parte le llamaremos recesión y debe tomarse el tiempo conforme la corriente vaya desapareciendo en cada estación. Si la recesión tarda $t/4$, en llegar al final del surco se está en el caso ideal, pero muy raras veces se encuentra este caso.

b. Segundo Caso:

Cuando los suelos presentan una variación continua en la prueba de infiltración, ésta varía generalmente inversamente con la raíz cuadrada del tiempo acumulado, por lo tanto se supone que la velocidad de humedecimiento del suelo a través de su perfil, varía en esta misma forma.

A continuación un gráfico para estudiar este fenómeno y sus resultados:

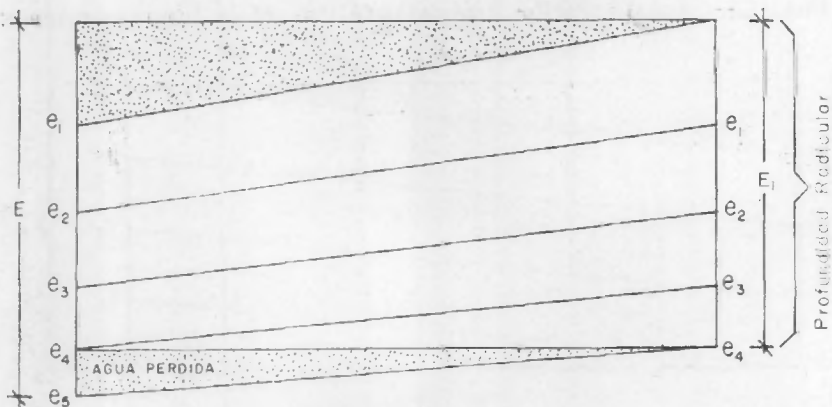


Fig. No. 3

Asumiendo que:

t = Tiempo total para llevar a la capacidad de campo el perfil del suelo hasta la profundidad radicular.

$t/4 = t_i$ = Tiempo requerido para que el agua llegue al final del surco.

$e_1 = e_2 = e_3 = e_4$ y e_5 = profundidades humedecidas en cada incremento de $t/4$.

Las profundidades alcanzadas por el agua a través del perfil del suelo serán:

$$e_2 = (2^{1/2} - 1) e_1; e_3 = (3^{1/2} - 2^{1/2}) e_1; e_4 = (4^{1/2} - 3^{1/2}) e_1; e_5 = (5^{1/2} - 4^{1/2}) e_1.$$

La profundidad alcanzada al final del surco será:

$$E' = e_1 (1 + 2^{1/2} - 1 + 3^{1/2} - 2^{1/2} + 4^{1/2} - 3^{1/2}) 2e_1.$$

$$E' = 2e_1 \quad \text{FORMULA No. 14}$$

La profundidad alcanzada al principio del surco será:

$$E = e_1 (1 + 2^{1/2} - 1 + 3^{1/2} - 2^{1/2} + 4^{1/2} - 3^{1/2} + 5^{1/2} - 4^{1/2})$$

$$E = 5^{1/2} e_1 \quad \text{FORMULA No. 15}$$

Pérdida por percolación, media:

$$P_m = (5^{1/2} - 4^{1/2}) e_1/2 \quad \text{FORMULA 16}$$

Profundidad Humedecida, media:

$$E_m = \frac{2e_1 + 5^{1/2} e_1}{2}$$

$$E_m = (2 + 5^{1/2}) e_1/2 \quad \text{FORMULA No. 17}$$

Cuando el suelo presenta esta característica, debe de aceptarse cierta pérdida de agua, principalmente en la cabecera del surco, en cambio obtendremos el humedecimiento total deseado al final del mismo.

El incremento del tiempo de riego será igual a "t/4"; la pérdida de agua será la siguiente:

$$\frac{(5^{1/2} - 2) e_1/2}{(2 + 5^{1/2}) e_1/2} \cdot 100 = \frac{100 (5^{1/2} - 2)}{(2 + 5^{1/2})} = \frac{23.6}{4.236} = 5.3\%$$

3. Procedimiento para la Determinación Práctica

El tiempo que debe durar el riego está dado por la profundidad radicular del cultivo y condicionado por las características físicas de los suelos.

Por lo tanto, ha de encontrarse la lámina de agua que debe agregarse para llevar esta parte del suelo a la capacidad de campo, conviene proceder en la siguiente forma:

- a. Hábrase un agujero suficientemente grande para que puedan verse los horizontes del suelo y estúdiase al tacto la textura de los mismos.
- b. Sáquense muestras de estos perfiles hasta la profundidad deseada y colóquense en bolsas debidamente identificadas. Cuando el perfil sea homogéneo procédase a sacar muestras del suelo a cada 30 centímetros.
- c. Determinénselos la capacidad de campo para luego calcular la lámina de agua necesaria para cada 30 centímetros de suelo.

- d. Realícense varias pruebas de infiltración anotando la lámina de agua infiltrada cada 30 minutos en formularios especiales.
- e. Trazar los resultados sobre un eje de coordenadas, en el vertical colóquese la lámina de agua en centímetros y en el horizontal póngase el tiempo en horas, obteniéndose de esta manera una curva para cada prueba realizada, tómesese un promedio.

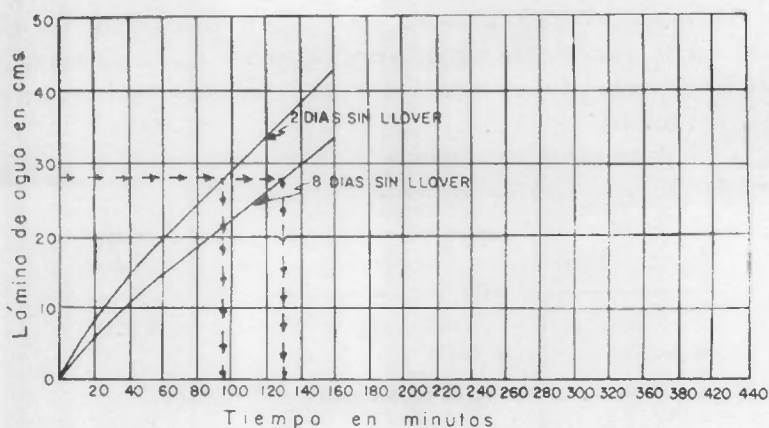


Fig. No. 9

Curvas de infiltración realizadas en el mismo punto en diferentes fechas. El suelo contenía diferente grado de humedad. Obsérvese la influencia de la humedad en el tiempo de riego.

Para encontrar el tiempo, pártase de la lámina de agua, trácese una línea perpendicular al eje vertical hasta que se encuentre con la curva de infiltración, gírese 90° hacia abajo y siga hasta intersectar el eje horizontal sobre el que está marcado el tiempo.

G. Volúmen de Riego por Hectárea

En este método de riego, el terreno es parcialmente cubierto por el agua y por tal motivo su cálculo tendrá que ajustarse a esta condición.

1. Volúmen Inicial

Debido a la característica mencionada anteriormente o sea que el agua cuando el suelo está seco su velocidad es menor que cuando está mojado, es necesario hacer una compensación, es decir, que para obtener una mayor velocidad se aumenta el caudal a un valor tal, que la velocidad de avance del agua llegue a hacer igual a la velocidad de la corriente en el suelo ya mojado.

Cálculo Teórico

Se tiene calculado el caudal inicial "qi" y el tiempo inicial "ti", que corresponde a t/4; por lo tanto el agua necesaria para una hectárea será:

$$V_i = \frac{q_i t_i}{UA} \quad \text{FORMULA No. 18}$$

En donde "U" es la relación entre el espaciamiento de plantas y ancho del surco.

Siendo: $A = nhl$

$$\text{Queda: } V_i = \frac{q_i t_i}{Unhl} \quad \text{FORMULA No. 19}$$

2. Volúmen Total

Este volúmen comprende el aplicado desde el inicio al final del riego, es decir la cantidad de agua necesaria por hectárea para elevar la humedad del suelo hasta la profundidad preestablecida a la capacidad de campo. Siendo el volúmen de agua vertido sobre el terreno, directamente proporcional al tiempo de riego, hemos de enfrentarnos a dos casos al igual que cuando se calculó el tiempo de riego.

Cálculo Teórico

Primer Caso.

Cuando la infiltración es uniforme y el agua llega a t/4 al final del surco:

$$V = V_i + \frac{3q \ t_i}{U_{nhl}} 10^3$$

$$V = V_i + 3 \times 10^3 \frac{q \ t_i}{U_{nhl}} \quad \text{FORMULA No. 20}$$

Segundo Caso:

Cuando la infiltración varía inversamente a la raíz cuadrada del tiempo acumulado.

Como se ha expuesto anteriormente, un riego uniforme en estos suelos se obtiene con cierta pérdida de agua por percolación. Pues en estas condiciones hay necesidad de aumentar el tiempo de riego en un cuarto más $t/4$:

$$V = V_i + \frac{4q \ t_i}{U_{nhl}} 10^3$$

$$V = V_i + 4 \times 10^3 \frac{q \ t_i}{U_{nhl}} \quad \text{FORMULA No. 21}$$



IV Aplicación

$$n = 3; \quad h = 0.1 \text{ mts.}; \quad y = 4.35; \quad I = 4 \text{ cm/hora} = 0.0000111 \text{ mts/sg}; \quad s = 0.01; \quad U = 1/3 = 3.3; \quad m = 20.$$

PENDIENTE DEL SURCO

Supondré que la fuerza de arrastre capaz de soportar estos suelos sea de 1 Kg/mt².

$$sm = \frac{F}{1,000 R} \qquad R = \frac{k}{k'} h = \frac{2.16}{3.81} 0.1$$

$$sm = \frac{1}{1,000 \times 0.057} \qquad R = 0.057$$

$$sm = 0.0176$$

Siendo 0.0176 mayor que 0.01, estamos dentro del límite de pendiente permisible.

VELOCIDAD DEL AGUA:

$$v = Khs^{3/2} \qquad K = \frac{k}{k'} m$$

$$v = 11.4 \times 0.1 \times 0.01^{3/2} \qquad K = \frac{2.16}{3.81} 20 = 11.4$$

$$v = 0.114 \text{ mts/seg.}$$

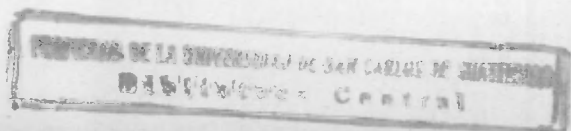
La velocidad alcanzada por el agua será de 0.114 mts/seg.

CAUDAL O GASTO POR SURCO:

Normal:

$$q = \frac{k^2}{k'} mh^{3/2}$$

$$q = \frac{2.16^2}{3.81} 20 \times 0.1^3 \times 0.01^{3/2}$$



$$q = 1.23 \times 20 \times 0.1^3 \times 0.1$$

$$q = 0.00246 \text{ mts.}^3/\text{seg.}$$

$$q = 2.46 \text{ lts/seg.}$$

Inicial:

$$q_i = 1.1 q$$

$$q_i = 1.1 \times 0.0246$$

$$q_i = 2.71 \text{ lts/seg.}$$

Iniciaremos el riego con un caudal de 2.71 lts/seg., este caudal se dejará correr hasta que el agua llegue al final del surco; el caudal normal se aplicará a partir de este momento, que es de 2.46 lts/seg. el cual durará el resto del tiempo.

LONGITUD DE SURCO:

$$l = \frac{K'}{I} h^2 s^{1/2}$$

$$l = \frac{6.15}{0.000011} 0.1^2 \times 0.01^{1/2}$$

$$l = 554.05 \text{ mts.}$$

$$K' = \frac{3k^2 m}{4k'n}$$

$$K' = \frac{3 \times 2.16^2 \times 20}{4 \times 3.81 \times 3}$$

$$K' = 6.15$$

La longitud máxima que puede alcanzarse con una lámina de agua de 10 centímetros y pendiente de 0.01 % es de 554 mts., sin embargo, no es aconsejable en la práctica pasar de los 400 mts.

TIEMPO DE RIEGO:

Inicial:

$$t_i = \frac{3kh}{2nI}$$

$$t_i = \frac{3 \times 2.16 \times 0.1}{2 \times 3 \times 0.000011}$$

$$t_i = \frac{3 \times 216 \times 1}{2 \times 3 \times 0.011}$$

$$t_i = 9,818 \text{ segundos}$$

$$t_i = 163.6 \text{ minutos} = 2 \text{ horas } 43.6 \text{ minutos}$$

Total:

$$t = \frac{6kh}{nl}$$

$$t = \frac{6 \times 2.16 \times 0.1}{3 \times 0.000011} = \frac{6 \times 216 \times 1}{3 \times 0.011}$$

$$t = 39,091 \text{ segundos}$$

$$t = 10 \text{ horas y } 51.5 \text{ minutos}$$

El tiempo inicial de 163.6 minutos, nos indica el tiempo en que el agua logra cubrir toda la longitud del surco y el total será el cuádruplo o quíntuplo de éste, dependiendo de la característica de la infiltración.

VOLUMEN DE RIEGO POR HECTAREA:

Inicial:

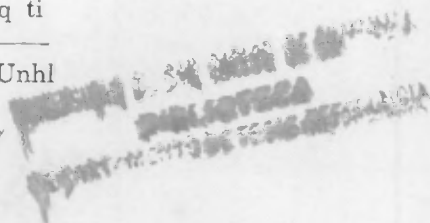
$$V_i = \frac{q_i t_i}{UA} \quad A = nhl$$

$$V_i = \frac{0.00271 \times 9,818}{3.3 \times 3 \times 0.1 \times 554.0} \quad 10^3$$

$$V_i = 484.15 \text{ mts}^3$$

Total: Primer caso:

$$V = V_i + 3 \times 10^3 \frac{q_i t_i}{Unhl}$$



$$V = 484.15 + 3 \times 10^3 \frac{0.00246 \times 9,818}{3.3 \times 3 \times 0.1 \times 554.0}$$

$$V = 484.15 + 3 \times 439.85$$

$$V = 1,803.70 \text{ mts}^3$$

Total Segundo Caso:

$$V = V_i + 4 \times 10^3 \frac{q \cdot t_i}{Unhl}$$

$$V = 484.15 + 4 \times 10^3 \frac{0.00246 \times 9,818}{3.3 \times 3 \times 0.1 \times 554.0}$$

$$V = 484.15 + 1,759.40$$

$$V = 2,243.55 \text{ mts}^3$$



V. Conclusiones

1. Este método de riego, debido a la facilidad que presenta en la preparación de los terrenos, costumbre de los agricultores a la siembra en surcos, adaptación a topografías onduladas, costos de preparación de los terrenos, etc. considero que será el más popular entre nuestros regantes. Por lo que debe adelantarse estudios tendientes a determinar todas las características que deben llenar los surcos en cada clase de suelos en las diferentes regiones del país.
2. Es de fundamental importancia que los datos obtenidos directamente en el campo sean reales, pues los errores en los cuales puedan incurrirse no dependen únicamente en la errónea anotación de las observaciones sino que en la realización de las pruebas en épocas inapropiadas y de los métodos empleados.
3. Para el humedecimiento uniforme del suelo deberá de tomarse muy en cuenta el espaciamiento máximo que nos indique la prueba de campo; si el distanciamiento entre plantas es menor al indicado, estaremos seguros de humedecer toda la zona radicular. Pero si el distanciamiento requerido por las plantas es mayor, desístase de usar este método y óptese por otro más apropiado.
4. Deben estudiarse bien las características físicas de los suelos para enmendar las que puedan interferir con una buena aplicación de riego.
5. Ha de tenerse muy presente que el conjunto de variables que entran en juego para darle la característica al movimiento del agua, en ningún caso deberán dejar que la fuerza de arrastre de ésta sobrepase al límite que se haya fijado para cada clase de suelo. Si este límite es sobrepasado nos encontraremos con el problema de que en las partes bajas de los surcos van siendo rellenados por el material acarreado por el agua y las partes altas van sufriendo los efectos de la erosión.

6. En cuanto toca a la parte económica he de indicar que es preferible usar mayor longitud de surco pues de esta manera se cubre mayor área en cada etapa de riego, pudiéndose así aumentar la eficiencia de trabajo de un regante.
7. Cuando el terreno y suelo permiten usar surcos bastante largos, se tendrá que hacer uso de corrientes con calados relativamente grandes por lo tanto los surcos en éstos tendrán que ser profundos.
8. La característica de la infiltración nos indicará los tiempos ("ti, t") que deben ser empleados para obtener un buen riego. Téngase mucho cuidado cuando se efectúen éstas pruebas, pues un error puede causarnos perjuicio en el riego, las pruebas realicéense en la época adecuada.

Guatemala, febrero de 1961.

Rufino Quan Berducido.

Vo. Bo.

Imprímase:

Ing. Eduardo Goyzueta,
Asesor.

Ing. Marco Tulio Urizar M.,
Decano.

VI. Bibliografía

- Israelsen, D. W.—Irrigation Principles and Practices. New York. John Wiley and Sons Inc. 1952.
- Veihmeyer, F. J.—Some Factors Affecting the Irrigation Requirements of Deciduous Orchards. Hilgardia No. 6 Vol. II. 1927.
- Davis, C. V.—Handbook of Applied Hydraulics. New York. McGraw Hill Book Co., Inc. 1952.
- Etcheverry, B. A.—Irrigation and Engineering. Vol. II. Conveyance of Water. New York McGraw Hill Book Co. Inc. 1915.
- King H. W.—Handbook of Hydraulics. New York. McGraw Hill Book Co., Inc. 1939.
- Trueba, Samuel.—Hidráulica. México. Norgis Editores, S. A. 1947.
- Christiansen, J. E.—Measuring Water for Irrigation. University of California. Bulletin 386. 1932.
- Addison, H.—A Treatise on Applied Hydraulics. London Chapman and Hall Limited. 1948.
- United State Department of the Interior Bureau of Reclamation.—Irrigation on Western Farms. Bulletin 199. 1959.
- Tame Alarcón, Cayetano.—Cálculo del Agua Necesaria para Riego y Empleo de Aguas Salinas. Madrid. 1950.
- United States Department of Agriculture.—Methods for Evaluating Irrigation Systems. Agriculture Handbook No. 82. 1956.
- Pazos Gil, J.—Técnica del Riego por Desbordamiento y por Infiltración. Madrid. 1951.
- United States Department of Agriculture Soil Conservation Service Stillwater Oklahoma. Oklahoma. Engineering Handbook. Irrigation. 1958.
- Blair, Enrique.—Manual de Riegos y Avenamientos. Lima. 1957.

