

III

Métodos de riego por superficie



Métodos de Riego por Superficies

Existen diferentes maneras de realizar el riego, ya sea por medio de surcos, melgas, cuadros, subirrigando etc, a continuación se describirán las características generales de los mismos.

Riego por surcos

Este sistema consiste en hacer viajar una lámina de agua, de la zona de mayor elevación a la de menor, a través de pequeños canales de tierra conocidos como surcos los cuales van en forma paralela a las hileras de los cultivos. Al estar de una quinta parte a la mitad del terreno cubierto con agua se reduce las pérdidas por evapotranspiración, esto comparado con los sistemas de anegación completa.

En este sistema el agua que avanza a la vez se va infiltrando en forma radial, por esto no toda la superficie de terreno se humedece uniformemente, por lo que la eficiencia dependerá de la textura del suelo y de la pendiente del terreno, surcos en textura arenosa normalmente deben de espaciar a menor distancia que con surcos en textura arcillosa.

El principio fundamental del riego por surcos es la aplicación, en primera instancia, de un caudal lo suficientemente rápido para alcanzar el final del surco sin generar problemas por erosión, con esto tratamos de aumentar la uniformidad en el tiempo de contacto a lo largo del surco; una vez alcanzado el final se debe reducir el caudal equivalente a la velocidad de infiltración del suelo.

El sistema se adapta a todo tipo de suelos, siempre que no sean texturas demasiado arenosas o arcillosas; los surcos deben ser nivelados a pendientes no mayores al 1% aunque con caudales pequeños se toleran pendientes hasta del 3%.

Un aspecto importante de este sistema respecto a otros métodos de riego por superficies, es que pueden implementarse en terrenos con poca pendiente, hasta en zonas con pendientes del 15%. En terrenos como praderas se recomienda la elaboración de surcos rectos los cuales son muy convenientes, para las labores mecanizadas, mientras que el terrenos con colinas se recomienda la utilización de surcos a contorno, los cuales son diseñados de igual forma que los rectos, salvo que se construyen siguiendo una leve pendiente mientras se extienden siguiendo el contorno de la ladera.

Existen dos metodología generales para realizar el diseño, una es mediante la implementación de pruebas de campo donde probamos y modificamos continuamente para aumentar la eficiencia del sistema y otro método es mediante el análisis de una serie de tablas, nomogramas y ecuaciones generadas por la experiencia de los investigadores.

Criterios para el diseño

Cálculo del espaciamiento de surcos (W)

El espaciamiento del surco no será mayor al resultado de la ecuación de Holzapfel, donde los valores que intervienen son la profundidad efectiva de raíces y una constante que nos permite espaciar a mayor distancia los surcos de textura arcillosa que los de textura arenosa:

$$W = k_s * D \quad \dots(28)$$

Donde:

ks: es un valor que oscila entre 0.5 para arenas y 2.5 para arcillas

D: Profundidad de raíces

Nótese que este espaciamiento propuesto por Hozapfel, es tipo recomendación ya que otros factores también son importantes como por ejemplo: el espaciamiento entre plantas, el desarrollo radicular y foliar, la mecanización, etc. Generalizando, si el espaciamiento recomendado por Hozapfel supera en el doble el espaciamiento agronómico del cultivo entonces podemos aplicar riego por surcos a cada dos hileras; de ser menor al doble aplicamos riego a cada hilera de cultivo.

Cálculos de longitud de surcos (L)

Dado a que la tendencia para aumentar la rentabilidad de la producción es hacer surcos lo más largos posible ya que así se aumenta el área efectiva y se incrementa la eficiencia en obras de mecanización, esto contrasta con la necesidad de hacer surcos más cortos para disminuir las pérdidas por percolación profunda que se dan principalmente por los elevados tiempos en la aplicación del caudal de avance. Por esta razón se propone la siguiente ecuación para la determinación de la longitud recomendada de surcos en metros, esta fórmula esta en función de la lámina efectiva que se aplica al suelo, la pendiente y la textura

$$L = \frac{A * Lb^B}{S^C} \quad \dots(29)$$

Donde:

Lb: lámina neta (cm)

¹ Ecuación resuelta por correlación no lineal múltiple a partir de la tabla propuesta por la Secretaria para la Agricultura y Recursos Hidráulicos de México, publicado por Marvin Villalobos en Riego por Surcos pp 37

S: pendiente (%)

Los parámetros A, B, y C se toman del cuadro 2.10

Cuadro 3.1 Parámetros de la ecuación de longitud del surco

Textura	A	B	C
Fina	63.4204	0.5208	0.5516
Moderadamente fina	56.6316	0.5168	0.5565
Media	69.0330	0.3605	0.5582
Moderadamente gruesa	38.6620	0.5265	0.5627
Gruesa	27.6075	0.5512	0.5619

De igual forma que sucede con el espaciamiento, el valor de longitud es recomendado por lo que se debe hacer una valoración de la topografía y geometría de las parcelas para considerar cual puede ser la longitud definitiva de los surcos, ya considerando canales, caminos, linderos etc...

Determinación de Caudales

En general, al trabajar con riego por surcos se busca generar en primera instancia un frente de avance que nos permita alcanzar el final del surco en el menor tiempo posible sin que se produzca erosión en el mismo, para luego disminuir el caudal a un valor que satisfaga la velocidad de infiltración del suelo; al primero se le conoce como caudal de avance o caudal no erosivo y al posterior se le conoce como caudal de infiltración.

El caudal no erosivo puede ser determinado por las siguientes ecuaciones empíricas:

$$Q_{\max} = \frac{38}{S} \quad \dots(30) \dots \text{Ec. De Criddle}$$

$$Q_{\max} = \frac{60 * C}{S^a} \quad \dots(31) \dots\dots\dots \text{Ec. De Gardner}$$

Donde:

Q_{\max} : caudal máximo no erosivo (L/min)

S: pendiente (%)

Los valores se presentan en el siguiente cuadro en función a la textura:

Cuadro 3.2 Constantes a utilizar en la ecuación de Gardner

Textura	C	a
Muy fina	0.892	0.937
Fina	0.998	0.550
Media	0.613	0.733
Gruesa	0.644	0.704
Muy gruesa	0.665	0.548

Por otra parte para determinar el caudal de infiltración primero es necesario conocer la velocidad de infiltración promedio (V_{ip}), la cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_{ip} = I_b * f \quad \dots(32)$$

Donde:

V_{ip} : velocidad de infiltración promedio

I_b : infiltración base

f: factor de corrección según la textura como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.3 Factor de corrección de la infiltración base

Textura	f
Fina	1.5
Media	1.33
Gruesa	1.2

Al multiplicar la velocidad de infiltración promedio por el área de contacto del surco obtenemos el caudal de infiltración:

$$Q_{\text{inf}} = 0.167 * V_{ip} * W * L \quad \dots(33)$$

Donde:

Q_{inf} : Caudal de infiltración (l/min)

V_{ip} : velocidad de infiltración promedio (cm/h)

$W * L$ = área del Surco. Sus unidades en m^2

Determinación de los tiempos de riego

La duración total del riego es fraccionado en dos etapas, una que se conoce como el tiempo de avance y otro el tiempo de infiltración, ambos en función con los respectivos caudales estudiados anteriormente.

Sabemos que el tiempo de riego será para la etapa de infiltración, igual a la relación entre la lámina bruta que le apliquemos al suelo, entre la velocidad promedio de infiltración calculada:

$$T_{\text{inf}} = \frac{Lb}{V_{ip}} \quad \dots(34)$$

Por otra parte, estudios realizados demuestran que para un tiempo de avance de una cuarta parte del tiempo de infiltración, se obtienen

pérdidas por percolación de tan solo 5.6 %, por lo que el tiempo de avance se calcula como:

$$T_{avance} = \frac{T_{inf}}{4} \quad \dots(35)$$

Ejemplo Riego por surcos

Se necesita implementar un sistema de riego por surcos para un cultivo de maíz con espaciamiento entre plantas de 0.8 metros en un terreno con pendiente del 0.5%, longitud de 1000 metros y una textura franco limosa que presenta una infiltración base de 1.5 cm/hr.

En la zona se ha determinado una evapotranspiración de 5 mm/día y la lámina neta calculada es de 70 mm

Desarrollo utilizando RiegoS:

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de cálculo de Surcos (*Menú principal / Riego por Surcos / Asistente de Diseño*)
- 2 Seleccionar en el módulo la opción de Parámetros Generales del riego (ver Figura 3.1)
- 3 Digitar los datos generales del proyecto en las cajas de texto correspondiente.
- 4 Hacer Clic en el botón de Evaluar

Datos básicos para el diseño

Cultivo	Maíz	Espaciamiento entre las plantas	0.8 m
Infiltración base	1.5 cm/hr	Lámina Neta	70 mm
Evapotranspiración Real	5 mm/día	Textura	media
		Pendiente	0.5 %

Sentido del Diseño →

Parámetros Generales del Riego | **Espaciamiento entre Surcos** | Longitud de Surco | Caudales y Tiempos

Eficiencia de Aplicación	70 %	Lámina Neta corregida	70.0 mm	Frecuencia de Riego	14.0 día
Lámina Bruta	100.0 mm	Lámina Bruta corregida	100.0 mm	Evaluar	

Figura 3.1

- 5 Seleccione la opción de espaciamiento entre surcos (ver Figura 3.2)
- 6 Digite los valores de profundidad de raíz de textura de las cajas de texto que aparecen luego
- 7 Oprima el botón de Calcular W

Sentido del Diseño →

Parámetros Generales del Riego | **Espaciamiento entre Surcos** | Longitud de Surco | Caudales y Tiempos

Profundidad de Raíces: 1 m

KS: Medio 1.5

W recomendado Hozapfel: 1.5 m

Al comparar el espaciamiento entre plantas y el valor de W según Hozapfel se decide un W en metros de: 0.8

Calcular W

Figura 3.2

Si el valor de Hozapfel es mayor al doble del espaciamiento entre plantas, entonces aplicamos agua cada dos surcos de otra forma lo hacemos a cada surco

8 Seleccione la opción de Longitud de Surco (ver Figura 3.3)

9 Oprima el botón de Longitud (Recuerde que este valor es recomendado por lo que se debe hacer un análisis en función a la longitud de la finca y acomodar en ésta la longitud de los surcos, el ancho de canales y de caminos)

Figura 3.3

10 Finalmente seleccione la opción de Caudales y Tiempos y haga clic en el botón de Igual nombre, como se muestra en la siguiente Figura:

Sentido del Diseño →

Parámetros Generales del Riego | Espaciamiento entre Surcos | Longitud de Surco | Caudales y Tiempos

Caudal y tiempo de avance		Caudal y Tiempo de Infiltración	
Qmax según Cirdle	76.00 lts/min	Infiltración promedio	1.995 cm/hr
Qmax según Gardner	61.132 lts/min	Caudal de Infiltración	49.658 lts/min
Caudal de Avance	68.566 lts/min	Tiempo de Infiltración	5.013 horas
Tiempo de Avance	1.253 horas		

Caudales y Tiempos

Figura 3.4

Pruebas de Campo

Prueba de avance de agua en surcos

Este método consiste en construir surcos de prueba a los cuales se les aplican diferentes caudales y se observa cual fue el que pudo ser conducido sin que sufriera daños el surco, a este caudal se le determina como el caudal de avance o caudal máximo no erosivo.

Luego en el mismo surco de prueba se colocan estacas a distancias conocidas y se aplica al surco el caudal de avance y se determinan los tiempos con el agua alcanza las estacas que marcan las distancias, estos datos se procesan mediante una correlación potencial simple y se determina la ecuación de avance, esta ecuación será de la forma:

$$T = a * L^B \quad \dots(36)$$

Donde:

T: Tiempo de avance

L: Longitud del Surco

Se recomienda observar en el capítulo II el apartado de infiltración donde se propone la resolución de la ecuación potencial de infiltración instantánea por los métodos de linealidad logarítmica y mínimos cuadrados, el manejo matemático para encontrar la ecuación de avance es idéntico salvo que en el este caso la variable independiente es la longitud y la variante dependiente es el tiempo.

Ejemplo Prueba de Avance

En unos surcos se prueba se aplicó el caudal máximo no erosivo, encontrándose los siguientes datos de distancia de avance vrs tiempo.

Distancia (m)	Tiempo (seg)
10	1.067
20	2.35
30	4.417
40	7.10
50	12.683
60	29.80
70	38.28
80	58.85
90	61.117
95	65.16

Encontrar la ecuación de avance.

Desarrollo utilizando RiegoS:

1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de prueba de avance (*Menú principal / Riego por Surcos / Prueba de Avance*)

2 Digite los datos de longitud vrs tiempo en el Grid y oprima el botón de Calcular (Ver Figura 3.5)

Longitud	Tiempo
10.0	1.067
20.0	2.35
30.0	4.417
40.0	7.1
50.0	12.683
60.0	29.8
70.0	38.28
80.0	58.85
90.0	61.117
95.0	65.16

Figura 3.5

Los resultados se muestran en la siguiente Figura:

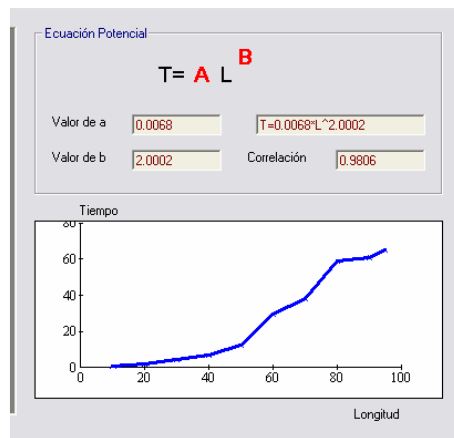


Figura 3.6

Prueba de surcos infiltrómetros

Al ser los surcos el sitio donde tendremos implementado nuestro sistema de riego es precisamente ahí donde se recomienda realizar la prueba de infiltración; el método de surcos infiltrómetros consiste en la aplicación de un caudal y observar que porcentaje de él se infiltra y que porcentaje de él sale del surco.

En los mismos surcos contruidos para la prueba de avance y de ser posible utilizando el caudal máximo no erosivo, para intervalos de tiempos definidos tomamos lectura de los caudales de salida, desde el momento en que el caudal en la salida del surco es casi cero, luego la infiltración instantánea para cada tiempo se determina de la siguiente forma:

$$Ii = \frac{Qe - Qs}{A} \quad \dots(37)$$

Donde:

Ii: Infiltración instantánea

Qe: Caudal de entrada

Qs: Caudal de salida

A: Área del surco

Luego la lámina parcial se estima de la siguiente forma:

$$Lp = Ii * \Delta t \quad \dots(38)$$

y la infiltración acumulada se calcula así:

$$Icum = \sum Lp \quad \dots(39)$$

Donde:

Lp: lámina parcial

Icum: Infiltración acumulada

Δt : Intervalo de tiempo entre lecturas

Con esta información se procede a determinar las ecuaciones de infiltración instantánea (Ii) e infiltración acumulada (Icum) utilizando el método de linealidad logarítmica y mínimos cuadrados.

Cálculo de los tiempos de riego.

El tiempo de infiltración se puede calcular substituyendo la lámina bruta en la ecuación de I_{cum} de la siguiente manera:

$$T_{inf} = \left(\frac{Lb}{A} \right)^{1/B} \text{ ...con la ecuación de } I_{cum} \text{ (40)}$$

El tiempo de avance se mantiene con la relación, ya estudiada en el apartado 2.3.1.4, como un cuarto del tiempo de infiltración:

$$T_{avance} = \frac{T_{inf}}{4} \text{ ...(41)}$$

Cálculo de la longitud máxima del Surco

Se sabe que el caudal máximo no erosivo sigue la relación potencial distancia (L) versus tiempo (T) como se calculó cuando se determinó la prueba de avance, además al haberse calculado ya el tiempo de avance simplemente despejamos la longitud de surco introduciendo a T como el tiempo de avance y así obtenemos la longitud máxima del surco:

$$L = \left(\frac{T_{avance}}{A} \right)^{1/B} \text{con la ecuación de avance ... (42)}$$

Determinación de los caudales

Como ya lo sabemos, en la primera etapa utilizamos el caudal máximo no erosivo, mientras que para la etapa de infiltración se procede de la siguiente manera para determinar su caudal:

-Con la ecuación de infiltración instantánea determinamos su valor para un tiempo igual $T_{inf}/4$ encontrando así el valor de velocidad de infiltración promedio el cual al multiplicarse por el área de contacto del surco tendríamos el caudal de infiltración:

$$li = a * \left(\frac{T_{inf}}{4} \right)^b \dots \text{con la ecuación de } I_i \dots (43)$$

$$Q_{inf} = 0.167 * li * W * L \dots (44)$$

Donde:

Q_{inf} : caudal de infiltración (l/min)

I_i : infiltración instantánea (cm/h)

W y L: espaciamiento y longitud de surcos en metros

Ejemplo Surcos Infiltrómetros

En un terreno se construyeron surcos a cada metros de distancia y se realizó la prueba de surcos infiltrómetros, el caudal aplicado fue el máximo no erosivo de 2.7 l/seg. La lámina neta para este suelo es de 90 mm y se pretende diseñar a un 70% de eficiencia.

La distancia entre aforadores fue de 40 metros y determinaron los siguientes resultados:

Ecuación de avance $T = 0.064 * L^{1.336}$

Caudal Salida (lts/seg)	Caudal Salida (lts/min)	Tiempo parcial (seg)
0.04	2.4	2
0.72	43.2	2
1.04	62.4	2
1.23	73.8	2
1.37	82.2	2
1.58	94.8	5
1.71	102.6	5
1.8	108	5
1.87	112.2	5
1.97	118.2	10
2.03	121.8	10
2.08	124.8	10
2.24	134.4	60
2.32	139.2	60
2.36	141.6	60

Diseñar la forma de operación del sistema

Resolvemos utilizando RiegoS:

1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de prueba de surcos infiltrómetros (*Menú principal / Riego por Surcos / Método de Surcos Infiltrómetros*)

2 Seleccione la opción de introducir datos (ver Figura 3.7)

3 Digite los datos de tiempo parcial vrs caudal de salida en el Grid, además introduzca los datos fijos del proyecto y oprima el botón de Evaluar Datos

Método de Surcos Infiltrómetros

Datos Fijos

Unidades de caudal ☐ lts/seg ☒ lts/min Ancho de Surco W 1 mts

Caudal de entrada 162 l/min Longitud de Surco 40 mts

Eficiencia 70 % Ecuación de avance $T = A \times L^B$ A 0.064 B 1.336

Lámina neta 90 mm

Introduzca los datos de la Prueba Resultados Gráficos

Evaluar Datos

Optima Enter para insertar líneas.
Optima (*) para eliminar líneas

T Parcial min	Qsal l/min	Tacu min	Qinf l/min	li cm/hr	L parc mm	Iacum mm
2.0	62.4	6.00	99.60	14.94	4.98	18.90
2.0	73.8	8.00	88.20	13.23	4.41	23.31
2.0	82.2	10.00	79.80	11.97	3.99	27.30
5.0	94.8	15.00	67.20	10.08	8.40	35.70
5.0	102.6	20.00	59.40	8.91	7.425	43.125
5.0	108.0	25.00	54.00	8.10	6.75	49.875
5.0	112.2	30.00	49.80	7.47	6.225	56.10
10.0	118.2	40.00	43.80	6.57	10.95	67.05
10.0	121.8	50.00	40.20	6.03	10.05	77.10
10.0	124.8	60.00	37.20	5.58	9.30	86.40
60.0	134.4	120.00	27.60	4.14	41.40	127.80
60.0	139.2	180.00	22.80	3.42	34.20	162.00
60.0	141.6	240.00	20.40	3.06	30.60	192.60

Figura 3.7

4 Seleccione la opción de Resultados (ver Figura 3.8)

5 y oprima el botón de Ecuaciones y Calcular respectivamente

Los resultados se muestran en la siguiente Figura

Ecuaciones potenciales

A 5.8267 B 0.6526

a 32.3284 b -0.4304

$li = 32.3284 \cdot t^{-0.4304}$ Icum=mm

$Iacum = 5.8267 \cdot t^{0.6526}$ li=cm/hr

t=min

Resultados de la Prueba Surcos Infiltrómetros

Tiempo avance 28.64 min

Tiempo infiltración 114.56 min

Longitud de Surco 96.41 mts

Caudal avance 162.0 l/min

Caudal infiltración 122.596 l/min

Ecuaciones **Calcular**

Figura 3.8

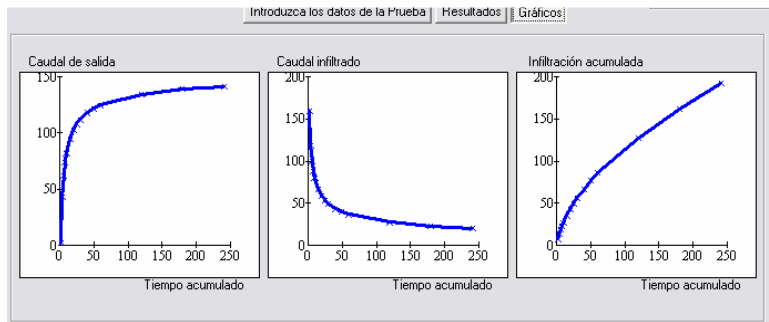


Figura 3.9

Riego por Melgas con pendiente

Este sistema consiste en construir fajas de terreno de forma rectangular, delimitadas por camellones de tierra de escasa altura, quienes delimitarán el área riego de la melga. Para que el agua pueda fluir de forma uniforme es necesario que se realice una nivelación a cero en sentido transversal y que cuente con una pequeña pendiente uniforme en el sentido longitudinal.

Otro de los factores en el diseño de melgas es la que la velocidad de infiltración del suelo sea baja, de esta forma disminuimos las pérdidas por percolación profunda; además en suelos con baja infiltración básica podemos extender mas la longitud de la melga, lo que facilita las obras de mecanización.

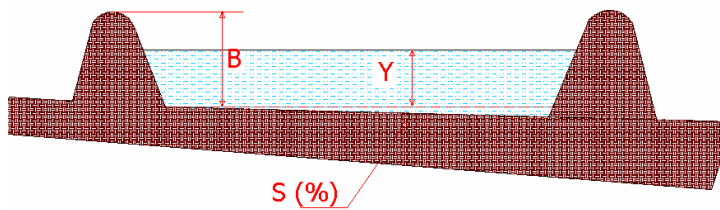


Figura 3.10 Parámetros en melgas con pendiente.

En este sistema de riego se pueden lograr eficiencias en la aplicación que rondan el 60% hasta el 80 % en las mejores condiciones. La eficiencia de estos sistemas depende principalmente de los datos de infiltración básica y de pendiente, por lo que se han realizado tablas que permiten estimar la eficiencia en función de estos dos parámetros.

Cuadro 3.4 Eficiencia en melgas

Pendiente %	Infiltración Base (cm/hr)			
	>0.76	0.76-1.27	1.27-5.08	6.08-10.16
0.00 - 0.05	80	80	70	60
0.05 - 0.50	75	75	70	70
0.50 - 1.00	65	70	70	70
1.00 - 2.00	60	65	70	65
2.00 - 4.00	55	60	65	60
4.00 - 6.00	50	55	60	55

Criterios para el diseño

Cálculo del ancho de la melga (W)

El ancho de las melgas presenta una relación inversamente proporcional a la pendiente del terreno; algunos expertos han publicado que estos anchos de melgas deben de oscilar entre los 5 y los 25 metros, el siguiente cuadro recomienda algunos posibles anchos de melga:

Cuadro 3.5 Anchos recomendados de melga

Pendiente (%)	Ancho (m)
0.25	15 – 20
1	12 – 15
2	9 – 12

Uno de los criterios que no se deben de olvidar para la selección del ancho de la melga es el ancho de la maquinaria que se utilizará para las labores agrícolas, el ancho de la melga debe ser igual a un múltiplo del ancho de la maquinaria, de esta manera no se afectará el rendimientos de los equipos.

Cálculo del caudal unitario (*qor*)

El caudal unitario es un valor que nos muestra el volumen de agua a utilizar por unidad de tiempo por cada 100 m² de melga a regar, este valor se encuentra en función de la infiltración básica, la pendiente y la lámina bruta como se muestra a continuación en la siguiente ecuación empírica:

$$qor = \frac{9.4728 * Ib^{1.00801}}{Lb^{1.105} * S^{0.214}}^2 \quad(45)$$

² Ecuación resuelta por correlación no lineal múltiple a partir del nomograma
Propuesta por Marvin Villalobos en Riego por Melgas pp 14

Donde:

qor: Caudal unitario (l/s x 100 m²)

Ib: Infiltración Base (cm/h)

Lb: Lámina bruta (cm)

S: Pendiente (%)

Cálculo de la Longitud Máxima de la melga (L)

Para la determinación de la longitud máxima de la melga se resuelve la siguiente ecuación empírica, en función de la pendiente y el caudal unitario:

$$L = \frac{554.17589}{qor^{1.00360} * S^{0.78437}}^3 \quad(46)$$

Donde:

L: Longitud máxima de la melga (m)

qor: Caudal unitario (l/s x 100 m²)

S: Pendiente (%)

El valor de longitud es recomendado por lo que se debe hacer una valoración de la topografía y geometría de las parcelas para considerar cual puede ser la longitud definitiva de los surcos, ya considerando canales, caminos, linderos etc...

Cálculo del Caudal a aplicar (Q)

Debido a que ya conocemos el caudal unitario (qor), el cual esta expresa en unidades de caudal entre área, al multiplicase por el área

³ Ecuación resuelta por correlación no lineal múltiple a partir del nomograma
Propuesta por Marvin Villalobos en Riego por Melgas pp 20

de la melga, la cual sería el ancho decidido por la longitud evaluada en el apartado anterior, el caudal a utilizar es el siguiente:

$$Q = \frac{qor * L * W}{100} \quad \dots(47)$$

Donde:

Q: Caudal a aplicar en (l/s)

L: Longitud y ancho de la melga (m)

qor: caudal unitario l/s x 100 m²

Además, para garantizarnos la seguridad de que nuestra caudal no será erosivo, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos propone la siguiente ecuación para determinar cual sería nuestro posible caudal máximo no erosivo:

$$Q_{\max} = \frac{\alpha}{S^{0.75}} * W \quad \dots(48)$$

Donde:

Q_{max}: caudal máximo no erosivo (l/s)

S: pendiente (m/m)

W: ancho de la melga (m)

α: 0.354 si se forma una masa densa entre el suelo y la vegetación.

α: 0.177 si no se forma una masa densa entre el suelo y la vegetación.

De igual forma se debe verificar cual es el caudal mínimo con el que se logra una distribución uniforme de la lámina en la melga, éste se calcula con la siguiente ecuación de la hidráulica de canal:

$$Q_{\min} = \frac{0.0195 * L * \sqrt{S}}{n} \quad \dots(49)$$

Donde:

Q_{\min} : caudal mínimo (l/s)

S: pendiente (m/m)

L: longitud de la melga (m)

n = Coeficiente de rugosidad o de Manning

Una vez determinado los caudales verificamos que nuestro caudal de aplicación se encuentra entre el caudal máximo no erosivo y el gasto mínimo que nos garantice una adecuada distribución, de ser así podemos continuar con los cálculos.

Cálculo del Tirante en la melga (Y)

El tirante se considera como la altura máxima del nivel de agua con respecto a la superficie del suelo. Al considerar las melgas como canales de gran ancho bajo flujo uniforme y al evaluar el radio hidráulico como prácticamente el tirante de la melga, aplicando la ecuación de Manning obtenemos que el tirante es:

$$Y = \left(\frac{Q * n}{W * \sqrt{S}} \right)^{3/5} \quad \dots(50)$$

Donde:

Y: tirante (m)

Q: caudal a aplicar en (m³/s)

W: ancho de la melga (m)

S: pendiente en m/m

Como esta es la máxima altura del flujo dentro de la melga, la altura de los camellones no debe ser menor a ésta, por lo que en términos prácticos podemos utilizar la siguiente fórmula para determinar la altura de los camellones ($H_{\text{camellones}}$)

$$H_{\text{camellones}} = 1.2 * Y \quad \dots(51)$$

Determinación del tiempo de Riego por melga (Tr)

Finalmente solo queda saber el tiempo de aplicación del riego, éste se obtiene por la relación en la cual se podrá depositar la lámina bruta en el área de la melga, con el caudal de agua que se decidió aplicar:

$$Tr = \frac{Lb * A}{Q * 360} \quad \dots(52)$$

Donde:

Tr: Tiempo de riego (horas)

Q: Caudal a aplicar (l/s)

Lb: Lámina bruta (cm)

A: Área de la melga (m^2)

Ejemplo Melgas con pendiente

Se desea diseñar un sistema de riego por melgas sin pendiente para un terreno con inclinación de 0.5 %, sembrado con pastos. El suelo cuenta una infiltración básica de 2.5 cm/h, una lámina neta 100mm, y una rugosidad n es de 0.15. La eficiencia con que se desea diseñar el sistema es de un 80%

Adicionalmente conocemos que las obras de mecanización se harán con una cortadora de 3.6 metros de ancho por lo que se decide diseñar la melga con un ancho de 14.4 metros y además la longitud del terreno en el sentido de la pendiente es de 1 km.

Resolvemos utilizando RiegoS:

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de melgas con pendiente (*Menú principal / Riego por Melgas / Melgas con Pendiente*)
- 2 Digite en las casillas de texto los valores de los datos básicos para el diseño⁴ (ver Figura 3.11)
- 3 Posteriormente oprima el botón de Evaluar (ver Figura 3.12)

Datos básicos para el diseño

Infiltración base cm/h

Evapotranspiración real mm/día

Lámina Neta mm

Ancho de melga W mts

Pendiente %

Coeficiente de Manning n (Puede ser digitado o seleccionado)

Eficiencia de Aplicación %

Figura 3.11

4 Nótese que el valor de longitud de la melga es un valor recomendado, (ver Figura 3.12) por lo que se hace necesario hacer un análisis de la longitud de la melga, restarle el espacio que ocuparán los caminos y los canales y digitar en la caja de texto la longitud definitiva que tendrá la melga.

⁴ La eficiencia por ser conocida por el usuario o estimada en función de la pendiente y la infiltración básica, oprimiendo el botón de Estimar

5 Finalmente oprimir el botón de Calcular y así culminar el proceso de diseño

The screenshot shows a software interface for irrigation design. It contains two main sections of input fields and buttons. A red arrow points from the 'Evaluar' button in the top section to the 'Calcular' button in the bottom section. Three blue arrows are numbered: arrow 3 points to the 'Evaluar' button, arrow 4 points to the 'Calcular' button, and arrow 5 points to the 'Calcular' button.

Frecuencia de Riego	Lámina Bruta	Caudal Unitario real
20.0 día	125.0 mm	1.698 l/s x 100m2
Lámina Neta corregida	Lámina Bruta corregida	Longitud Recomendada
100.0 mm	125.0 mm	561.0463 mts

Evaluar

Longitud Revaluada según terreno	Area de la Melga	Caudal mínimo
492 mts	7084.80 m2	65.13 lps
Calcular	Caudal máximo	Tirante
	271.105 lps	8.89 cm
Caudal aplicar	Tiempo de Riego	Bordo
120.30 lps	2.04 horas	10.67 cm

Calcular

Figura 3.12

Pruebas de Campo

Prueba de avance y recesión en melgas

Este tipo de prueba lo que busca es estimar en forma efectiva el tiempo que se debe aplicar el riego sin que existan déficit hídrico y tratando de disminuir al máximo las pérdidas por percolación profunda que se puedan tener.

Para la realización de la prueba lo que se necesita es construir una melga, o tomar una existente si lo que se busca es evaluar la eficiencia de un sistema. A lo largo de la melga se colocan estacas equidistantes entre sí y en la salida de la misma se coloca un implemento para el aforo de caudales como un aforador Parshall; una vez colocado todo, se procede a aplicar un caudal a la melga (este puede ser evaluado por la metodología anterior o simplemente utilizar el caudal disponible siempre que éste cumpla con las

características de ser un caudal no erosivo y de distribuirse uniformemente por la melga), conforme el agua va avanzando se debe ir anotando el tiempo que tarda el agua en ir alcanzando las estacas, esto es lo que se conoce como prueba de avance. Una vez que se corta la entrada de agua a la melga se procede a determinar el tiempo con que el agua empieza a desaparecer de la melga tomando igual como referencias las estacas, esto es lo que se conoce como prueba de recesión.

Además de estas pruebas es muy importante realizar la prueba de infiltración, con la intención de determinar las ecuaciones de infiltración instantánea e infiltración acumulada.

Análisis de la prueba

Con los datos del aforador al final de la melga podemos determinar la cantidad de agua que se pierde por escurrimiento.

Utilizando la ecuación de infiltración acumulada (I_{cum}) y entrado con el tiempo de contacto (T_c), es decir la diferencia entre el tiempo de avance y el tiempo de recesión, podemos determinar la lámina depositado para cada punto de medición considerado:

$$Lam(i) = A * [Tc(i)]^B \quad \dots(53)$$

Luego se calcula el promedio de la lámina que se acumula en la melga y se le suma la lámina de agua que se pierde por escurrimiento, ésta será nuestra lámina bruta (L_b):

$$L_b = \left[\frac{(\sum Lam(i))}{i} + lam.escurrida \right] \quad \dots(54)$$

Con esto podemos determinar la eficiencia al comparar la lámina neta con la bruta:

$$Eficiencia = \frac{Ln}{Lb} \quad \dots(55)$$

Para cualquier modificación que se le haga a la operación de esta melga posteriormente a la prueba, se debe realizar de nuevo la prueba de avance – recesión para analizar los nuevos resultados.

Ejemplo Pruebas de avance -recesión

En un terreno cuya ecuación de infiltración instantánea es:

$I = 24 t^{-0.45}$ (I:cm/h ; t:min), se elaboraron melgas de 160 m; se realizaron pruebas de avance recesión y se obtuvieron los siguientes resultados:

Distancia (m)	Tiempo de avance (min)	Tiempo de recesión (min)
0	0	90
20	5	105
40	15	115
60	25	120
80	35	130
100	50	140
120	65	150
140	85	155
160	110	160

Se le solicita que evalúe el sistema:

Resolvemos utilizando RiegoS:

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de prueba de avance recesión (*Menú principal / Riego por Melgas / Pruebas de campo*)
- 2 Digite en las casillas de texto los valores de los datos fijos (ver Figura 3.13)

Datos Fijos

Lámina neta 8 cm

$li = a \times t^b$ li= 24 T li=cm/h y t=min

-0.45

Figura 3.13

- 3 Introduzca en el Grid los valores de longitud, tiempo de avance y recesión, como se observa en la siguiente Figura:

Distancia	T avance	T recesión
0	0	90
2	5	105
40	15	115
60	25	120
80	35	130
100	50	140
120	65	150
140	85	155
160	110	160

Figura 3.14

- 4 Posteriormente oprima el botón de Evaluar, los resultados son observados en las siguientes figuras:

Tiempo de contacto mínimo 78.242 min

Eficiencia prueba actual 95.306 %

Lámina percolada prueba actual 0.394 cm

Figura 3.15

Oprima Enter para insertar líneas. Oprima (*) para eliminar líneas.  Graficar

Distancia	T avance	T recesión	T Contacto	Lámina Acum
0	0	90	90.00	8.64
2	5	105	100.00	9.156
40	15	115	100.00	9.156
60	25	120	95.00	8.901
80	35	130	95.00	8.901
100	50	140	90.00	8.64
120	65	150	85.00	8.373
140	85	155	70.00	7.525
160	110	160	50.00	6.254

Tiempo de contacto promedio: 96.111 minutos Lámina acumulada promedio: 8.394 cm

Figura 3.16

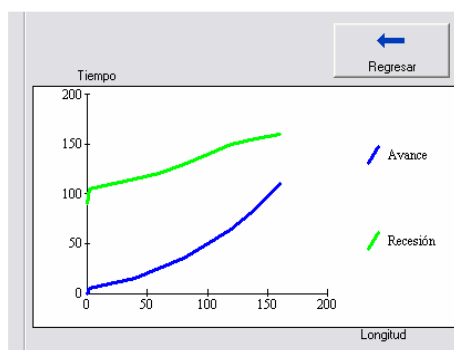


Figura 3.17

Nótese que a la distancia de 140 a 160 metros no se está acumulando la lámina necesaria, por lo que se debe hacer modificaciones al diseño para que en todos los puntos tengamos como mínimo la lámina neta, requerida por el cultivo.

Riego por melgas sin pendiente ni salida de agua

Este tipo de melgas como su nombre lo indica tienen la cualidad de no contar con pendiente, así como que sus camellones la rodean totalmente evitando la salida de agua de la misma, previniendo de esta forma pérdidas por escurrimiento. Este método es muy recomendado en cultivos que toleran cierto grado de inundación, como arroz o los pastos.

En riego por melgas se obtienen los mejores rendimientos cuando se tienen texturas pesadas que provocan bajas velocidades de infiltración, con esto disminuimos las pérdidas por percolación y al tener cero pérdida por escurrimiento, se logra más eficiencia en el uso del agua.

Criterios para el diseño

Determinación del tiempo de infiltración (T_{inf}) y el tiempo de avance (T_{ava})

Al diseñar melgas sin pendiente lo primero a realizar es la prueba de infiltración, para así encontrar la ecuación de infiltración acumulada (I_{cum}), la cual valorada en función de la lámina neta despejamos el *tiempo de infiltración*:

$$T_{inf} = \left(\frac{Ln}{A} \right)^{1/B} \dots (56)$$

Para encontrar el valor del *tiempo de avance* es importante determinar primero el parámetro R, éste viene a ser la relación que existe entre los tiempos de infiltración y avance y depende de la eficiencia que se quiera lograr con el riego:

$$R = \frac{T_{\text{inf}}}{T_{\text{ava}}} \quad \dots(57)$$

Nótese que el valor de R es adimensional y se relaciona directamente con la eficiencia de la aplicación (Cuadro 2.14). En general cuando los tiempos de infiltración son mayores a los de avance la eficiencia en el riego aumentara debido a que entre más lento se realice la aplicación menos percolación tendremos.

Cuadro 3.6 Valor de R en función a eficiencia

Valor R	Eficiencia de aplicación %
6.25	95
3.57	90
2.5	85
1.72	80
1.25	75
0.93	70
0.69	65
0.53	60
0.41	55
0.31	50

Cálculo del Tirante promedio (\bar{D}) y el caudal unitario de la melga (Q_w)

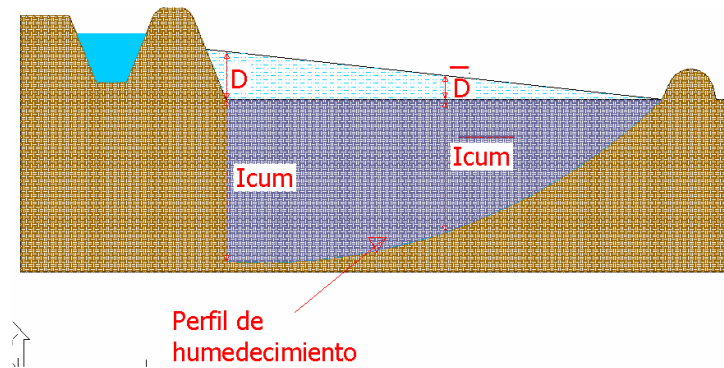


Figura 3.18 Parámetros en melgas sin pendiente

Al diseñar este tipo de melgas podemos enfrentar a dos limitantes; una de ellas es que por razones agronómicas no se pueda exceder un cierto tirante promedio, ya que se podría causar daños mecánicos a la planta, por esta razón debemos hacer un análisis dentro de la hidráulica de canales para resolver con que caudal podríamos trabajar sin que excedamos este tirante. Utilizando la ecuación de Manning despejamos el caudal unitario como se muestra a continuación:

$$Q_w = \left(\frac{\bar{D}}{1.7974 * n^{6/16} * T_{ava}^{3/16}} \right)^{16/9} \quad \dots(58)$$

Donde:

Q_w : caudal unitario por ancho de melga (m^3/s_m)

\bar{D} : tirante medio (m)

Tava = tiempo de avance (min)

n = coeficiente de rugosidad

Si por el contrario nuestra limitación es impuesta por el caudal que podamos tener, despejando en la ecuación anterior el valor del tirante medio tenemos:

$$\bar{D} = 1.7974 * Q_w^{9/16} * n^{6/16} * T_{ava}^{3/16} \quad \dots(59)$$

Cálculo de la longitud de la melga (L)

Para calcular la longitud se establece una ecuación de balance hídrico donde al despejar el valor de la longitud obtenemos:

$$L = \frac{Q_w * T_{ava}^5}{I_{cum} + \bar{D}} \quad \dots(60)$$

Todos los datos de la ecuación anterior ya son conocidos por nosotros a excepción del \bar{I}_{cum} el cual se determina de la siguiente manera:

$$\bar{I}_{cum} = F \frac{a * T_{ava}^{b+1}}{(b+1)(b+2)} \quad \dots(61)$$

Donde:

**a y b son los valores de la ecuación de infiltración instantánea

**El valor F es un factor de corrección, ya que el frente de humedecimiento rara vez es uniforme, se calcula de la siguiente forma:

⁵ Se debe ser coherente con las unidades

$$F = \frac{b - rb + 2}{1 + r} \quad \dots(62)$$

Donde “*r*” puede ser calculado de dos formas:

*Conocida la ecuación de avance ➔ $r = 1/b$ siendo *b* el de la ecuación de avance

*Si no se conoce la ecuación de avance ➔ $r = (1-b)/2$ siendo *b* el de la ecuación de infiltración

Tiempo de Riego (T_{apli})

Como este tipo de melgas no presenta salida de agua, el tiempo de riego es igual volumen de agua requerido entre el caudal aplicado, escrito matemáticamente:

$$T_{apli} = \frac{V}{Q} = \frac{Lb * W * L}{Q_{apli}} \quad \dots(63)$$

escrito introduciendo unidades:

$$T_{apli} = \frac{Lb * W * L}{60 * Q_{apli}} \quad \dots(64)$$

Donde:

T_{apli} : Tiempo de aplicación (minutos)

Lb: Lámina bruta (m)

W y L: Ancho y la largo de la melga (m)

Q_{apli} : Caudal aplicado m³/seg

Cálculo del tirante máximo dentro de la melga (Do)

Sabemos que al inicio de la melga se nos presentará un tirante máximo el cual es importante de valorar para evitar desbordamientos de agua por sobre los camellones, la forma para calcularlo es mediante la ecuación de Manning la cual al ser simplificada obtenemos:

$$Do = Qw^{6/13} * n^{6/13} * Qw^{3/13} \quad \dots(65)$$

Ejemplo Melgas sin pendiente y sin salida de agua

Se le solicita diseñar un sistema de riego por melgas sin pendiente y sin salida de agua al pie, en un terreno que presenta las siguientes condiciones: lámina neta de 80 mm, rugosidad de Manning de 0.10, altura de camellones 15 cm.

Adicionalmente conocemos que nuestro caudal unitario por ancho de melga es de 5 l/s, que la eficiencia que se desea es del 80% y que la ecuación de infiltración acumulada es la siguiente: $I_{cum} = 5.7 t^{0.5}$

Resolvemos utilizando RiegoS:

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de melgas sin pendiente (*Menú principal / Riego por Melgas / Melgas sin pendiente*)
- 2 Seleccione la opción de caudal unitario ya que éste es el dato que Usted conoce (ver Figura 3.19)
- 3 Digite en las casillas de texto los valores de los datos fijos
- 4 Oprima el botón de Evaluar

Datos conocidos:

☐ Tirante Medio de la Melga ☒ Caudal Unitario por metro de melga

Datos básicos para el diseño:

Evapotranspiración real: 5 mm/día

Lámina Neta: 80 mm

Caudal Unitario: 5 l/s_m

Coficiente Manning n: 0.10

Eficiencia de Aplicación: 80 %

Icum= A x B^{0.5} A: 5.7 B: 0.5

Icum=cm/h y t=min

Altura de Camellones: 15 cm

Figura 3.19

Los resultados se pueden observar en la siguiente Figura:

Frecuencia de Riego 16.0 día	Lámina Bruta 100.0 mm
Lámina Neta corregida 80.0 mm	Lámina Bruta corregida 100.0 mm
Tirante promedio 9.36 cm	Longitud Recomendada 250.44 mts
Tiempo de Aplicación 83.48 mts	
Tirante Máximo 10.715 cm	No existen problemas de desbordamiento

Figura 3.20

Melgas para Arroz

En las melgas para arroz la finalidad es mantener permanentemente una lámina de agua cubriendo el suelo por lo que estas melgas no presentan salida de agua y pueden o no presentar pendiente. Por esta razón las arrocera solo se pueden implementar en suelos de textura arcillosa cuyas velocidades de infiltración son bastante bajas.

Una de sus características es que los criterios para el dimensionamiento de la melga son exclusivamente de la forma en que se realicen las labores de mecanización, por lo que el diseño del riego debe adaptarse a las dimensiones previamente establecidas

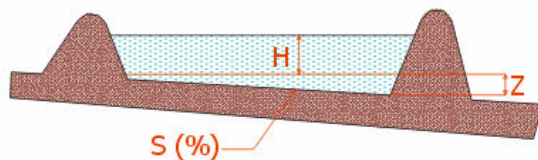


Figura 3.21 Esquema en Corte transversal de una melga arrocera

Para la operación de estos sistemas de riego se deben fraccionar en las siguientes etapas:

Periodo de mojado inicial:

En esta primera etapa lo que se pretende es aplicar un caudal que nos permita cubrir la superficie lo más veloz posible, sin que llegar a crear problemas de erosión. Como su función es cubrir y no infiltrar, el tiempo de riego de esta primera etapa es igual al tiempo de avance.

Al igual que las melgas sin pendiente ni salida de agua el cálculo del caudal a aplicar se realiza manteniendo el principio de $Q=V/T$, el cual desarrollado se presenta de la siguiente forma:

$$Q = \frac{(\overline{D} + \overline{Icum})}{60 * T_{ava}} * A * 10000 \quad \dots(66)$$

Donde:

Q: Caudal a aplicar (m³/s)

\overline{Icum} : Lámina promedio infiltrada. Se determina de la misma forma que se desarrollo en melgas sin pendiente y sin salida de agua, apartado 2.5.1.3, sus unidades son metros.

T_{ava} = Tiempo de avance determinado de la misma forma que en melgas sin pendiente y sin salida de agua, sus unidades son en minutos.

\overline{D} : es el tirante medio, se puede calcular de dos formas:

- Si la pendiente es cero se calcula con las ecuaciones de melgas sin pendiente, apartado 2.5.1.2
- Si se tiene pendiente el tirante promedio es la mitad de las diferencias entres los bordos (Z):

$$\overline{D} = Z / 2 \quad \dots(67)$$

Periodo de Inundación:

Este periodo comprende el tiempo en el cual aplicamos un caudal que los permita cubrir la superficie del suelo con los tirantes permanentes de la melga.

El procedimiento para el diseño de esta etapa se resume en los siguientes pasos:

1. El tiempo de inundación es:

$$T_{inud} = \frac{L_{\max}}{2ETr} \quad \dots(68)$$

2. Aplicar una lámina que sature el suelo la cual se puede estimar como el doble de la lámina máxima:

$$L_{sat} = 2L_{\max} \quad \dots(69)$$

3. Aplicar la lámina que nos dé el tirante promedio (\bar{D}) y el tirante constante de la superficie (H).

$$L = \bar{D} + h \quad \dots(70)$$

4. Aplicar la lámina que nos reponga la lamina percolada y evaporada

$$L_{perc} = \frac{Percolación}{dia} * T_{inund} \quad \dots(71)$$

5. Una vez calculado los cuatro condiciones anteriores podemos calcular el caudal aplicar mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{inund} = \frac{(L_{sat} + L + L_{per}) * Area}{T_{inund}} \quad \dots(72)$$

Donde:

$Q_{inund} = m^3/día$

Las láminas en metros

El área en m^2

$T_{inun} = días$

Periodo de reposición de agua perdida

En esta etapa se calcula el caudal que constantemente hay que aplicar a la melga para sustituir el agua que se pierde por evapotranspiración y percolación por unidad de tiempo, la fórmula para estimar su valor es la siguiente:

$$Q_{repo} = (ETr + percolación / día) * Area \quad \dots(73)$$

Donde:

Q_{repo} : Caudal de reposición ($m^3/día$)

ETr: Evapotranspiración real ($m/día$)

La percolación tiene unidades de ($m/día$)

El área en m^2

Ejemplo Arroceras

Diseño el método de operación de un sistema de riego para arroz anegado que cuenta con las siguientes características:

Lamina neta	4 cm	Lámina permanente	5 cm
Agotamiento	50 %	Altura de bordos	10 cm
Pendiente	0.5 ‰	Area melga	2 has
Ec. Infiltra. acum. (Icum:mm, t:min)	5 t ^{0.4}	Nº de melgas	15
Evapotranspiración real	7 mm/día	Precolación	10 mm/día

Resolvemos utilizando RiegoS:

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de arrocera
(*Menú principal / Riego por Melgas / Arrocera*)
- 2 Digite en las casillas de texto los valores de los datos básicos para el diseño (ver figura 3.22)
- 3 Oprima el botón de Evaluar

Datos básicos para el diseño

Lámina Neta	<input type="text" value="40"/>	mm
Agotamiento	<input type="text" value="50"/>	%
Area de la melga	<input type="text" value="2"/>	has
Pendiente	<input type="text" value="0.5"/>	‰
Número de melgas	<input type="text" value="15"/>	
Lámina permanente (h)	<input type="text" value="5"/>	cm
Diferencia entre bordos (z)	<input type="text" value="10"/>	cm
Icum= A × B ^{0.4}	A <input type="text" value="5"/> B <input type="text" value="0.4"/>	
	Icum=cm/h y t=min	
Evapotranspiración real	<input type="text" value="7"/>	mm/día
Percolación promedio	<input type="text" value="10"/>	mm/día

Figura 3.22

Los resultados se muestran en la siguiente Figura:

Etapa de Mojado	
Tiempo de infiltración	Tiempo de avance
181.0193 min	45.2548 min
Caudal por melga	Caudal total necesario
0.4945 m ³ /s	7.4179 m ³ /s

Etapa de Inundación	
Caudal por melga	Caudal total necesario
0.0128 m ³ /s	0.1927 m ³ /s
Tiempo de infiltración	
5.7143 días	

Etapa de Reposición	
Caudal por melga	Caudal total necesario
0.0039 m ³ /s	0.059 m ³ /s

Figura 3.23

Riego por cuadros

Este sistema consiste en construir pozas cuadradas, de unos tantos metros de lado, en la superficie del suelo en los cuales se deposita el agua en el menor tiempo, es decir el tiempo de aplicación es mínimo en comparación al tiempo de infiltración, con esto se consigue disminuir las pérdidas por percolación.

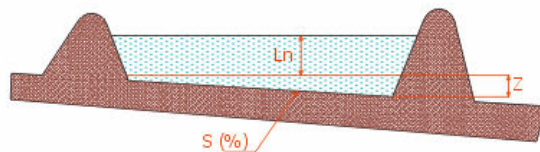


Figura 3.24 Corte transversal de una poza

Al usarse en áreas pequeñas se logran realizar labores de nivelación sumamente precisas lo que aumenta las eficiencias tanto de aplicación como de distribución ya que el tiempo de contacto es prácticamente igual en todos los puntos.

Criterios de Diseño

Cálculo de las dimensiones

Tomando como base la pendiente con que se quiere diseñar el sistema y realizando cálculos de triangulación podemos relacionar la longitud que tendrá la poza con la diferencia de bordos con que se desee trabajar

$$S = \frac{Z}{L} \quad \dots(74)$$

Donde:

S: Pendiente (m/m)

Z: Diferencia entre bordos

L: Lado del cuadrado

Cálculo del caudal a aplicar

Boher (1974), propone caudales unitarios (q_0) máximos en función de la textura como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.7 Caudales unitario para riego por cuadros

Textura	Caudal unitario qo (l/s-10 m ²)
Arenosa	1.5
Franco arenosa	0.5
Franco arcillosa	0.25
Arcillosa	0.15

Como el caudal unitario esta para 10 m² y nosotros conocemos nuestra área de melga mediante una regla de tres calculamos el caudal (Q) a aplica:

$$Q = \frac{Area * qo}{10} \quad \dots(75)$$

Estimación de la eficiencia

Según la experimentación se ha encontrado la siguiente relación en la cual la eficiencia está en función de la Z/Ln como se muestra a continuación:

$$Efic = \left(\frac{2}{2 + (Z / Ln)} \right) * 100 \quad \dots(76)$$

Nótese que en este sistema de riego cuando las pendientes son numéricamente muy pequeñas o los lados muy cortos, obtenemos relaciones de desnivel entre lámina neta muy pequeños lo que aumenta la eficiencia de nuestro sistema.

Determinación del tiempo de Riego

Si consideramos la definición de un caudal como un volumen entre un tiempo, despejamos el tiempo de aplicación al igual que lo realizamos en el método de melgas, desarrollando la fórmula tenemos:

$$T_{apli} = \frac{V}{Q} = \frac{Lb * L^2}{Q} \quad \dots(77)$$

Donde:

T_{apli} : Tiempo de aplicación

Lb: Lámina bruta L: Area del cuadro

Q: Caudal aplicado

Se debe ser coherente con las unidades que se utilicen.

Ejemplo Pozas

Se solicita implementar un sistema de riego por pozas para cebolla, que cumpla con las siguientes características:

lámina neta de 3 cm, Pendiente de 0.3 %, textura arcillosa y una diferencia entre bordos no mayor de 3 cm .

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de riego por pozas (*Menú principal / Pozas*)
- 2 Digite en las casillas de texto los valores de los datos básicos para el diseño (ver Figura 3.25)
- 3 Oprima el botón de Calcular

Datos		
Lámina neta (ln)	3	cm
Pendiente	.3	%
Diferencia entre bordos	3	cm
Textura	Arcilloso	
Caudal (recomendado)	0.15	l/s*10m2

Figura 3.25

Los resultados se muestran en la siguiente Figura:

Resultados					
Longitud de melga	10.0	mts	Area	100.0	m2
Caudal	1.5	l/seg	Eficiencia	66.67	%
Tiempo aplicación	0.83	horas			

Figura 3.26

Riego por Subirrigación

Este método consiste en suministrar el agua a los cultivos, mediante canales o tubería porosa enterrada y distribuida por el terreno. Su función es mantener el nivel freático a una profundidad tal que permita el desplazamiento de la humedad hasta las raíces mediante procesos de ascenso capilar.

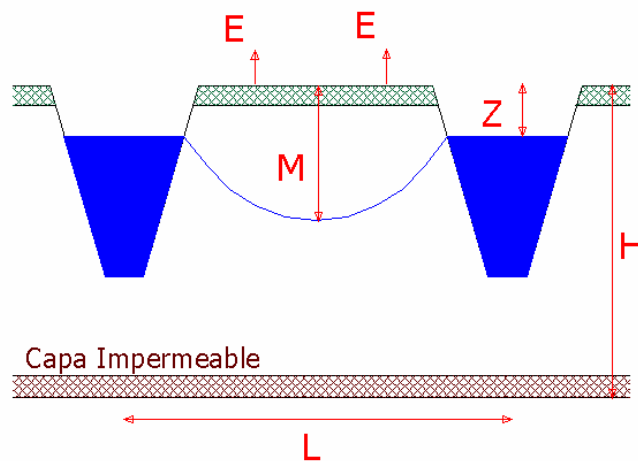


Figura 3.27 Corte de terreno con canales de Subirrigación

Algunas de las condiciones para su implementación es tener una capa impermeable a poca profundidad, suelos con alta capacidad de ascenso capilar (sean estos arenosos o francos) terrenos con escasas variaciones micro topográficas y que la zona donde se implemente presenta baja evapotranspiración.

Existen diferentes metodologías para su análisis mas se propone la desarrollada por Donan, cuya ecuación general es la siguiente:

$$L^2 = \frac{(4 * K * (m - Z) * (2H - (Z + m)))}{E} \quad \dots(78)$$

Donde:

L es el espaciamiento entre canales

K es la conductividad hidráulica

M es la profundidad crítica de la tabla de agua

Z es el bordo libre del canal

H profundidad al estrato impermeable

Si existen pérdidas por percolación profunda es que la capa que llamamos impermeable es mas bien una capa semipermeable, donde la ecuación a utilizar

$$L^2 = \frac{(4 * K * (H - Z)^2 - (H - m))}{E + I} \quad \dots(79)$$

Donde:

I es la conductividad hidráulica de la capa arcillosa

Ejemplo Subirrigación

En una determinada zona bananera existen canales de drenaje a cada 44 metros. El suelo es homogéneo con un valor de conductividad hidráulica de 2.7 m/día, limitado por una capa impermeable a los 3 metros de profundidad. La evapotranspiración de la zona es de 6 mm/día.

Con fines de investigación se desea en la época seca tener el nivel freático a 40 cm de profundidad o menos. ¿A qué profundidad desde la superficie del suelo debe estar el espejo de agua para lograrlo?

Resolvemos utilizando RiegoS:

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de riego por Subirrigación (*Menú principal / Subirrigación*)
- 2 Seleccione la opción de cálculo de bordo libre del canal (ver Figura 3.28)
- 3 Digite en las casillas de texto los valores de los datos básicos para el diseño
- 4 Oprima el botón de Calcular

Seleccione el parámetro a Calcular					
<input type="radio"/> Espaciamiento entre drenes <input checked="" type="radio"/> Bordo libre en el Canal <input type="radio"/> Profundidad Crítica de la Tabla de Agua					
Datos básicos para el diseño					
Conductividad Hidráulica	2.7	m/día	Profundidad al Estrato Impermeable	3	m
Evapotranspiración	6	mm/día	Prof. Crítica del Nivel Freático	0.4	m
Bordo libre del Canal		m	Espaciamiento entre drenes	44	m

Figura 3.41

Los resultados se muestran en la siguiente Figura:

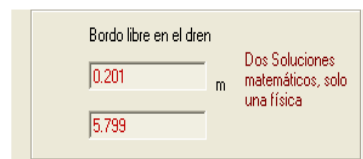


Figura 3.29