

Métodos de riego gravitacionales

- Surco
- Amelgas
- Taipas arroceras
- Descripción, observación, diseño, operación y evaluación
- Eficiencias de riego

Temario

- El riego introducción: Objetivos y Clasificación de métodos de riego.
- Riego por surcos: Elementos técnicos, Zona de humedecimiento, Forma del surco, Espaciamiento entre surcos, Pendiente y dirección.
 - Ensayo de caudales.
 - Longitud.
 - Diseño, operación y evaluación de surcos sin y con pendiente
- Riego por pulsos o caudal discontinuo.
- Riego por melgas: dimensionamiento con y sin pendiente.
- Eficiencias de riego.

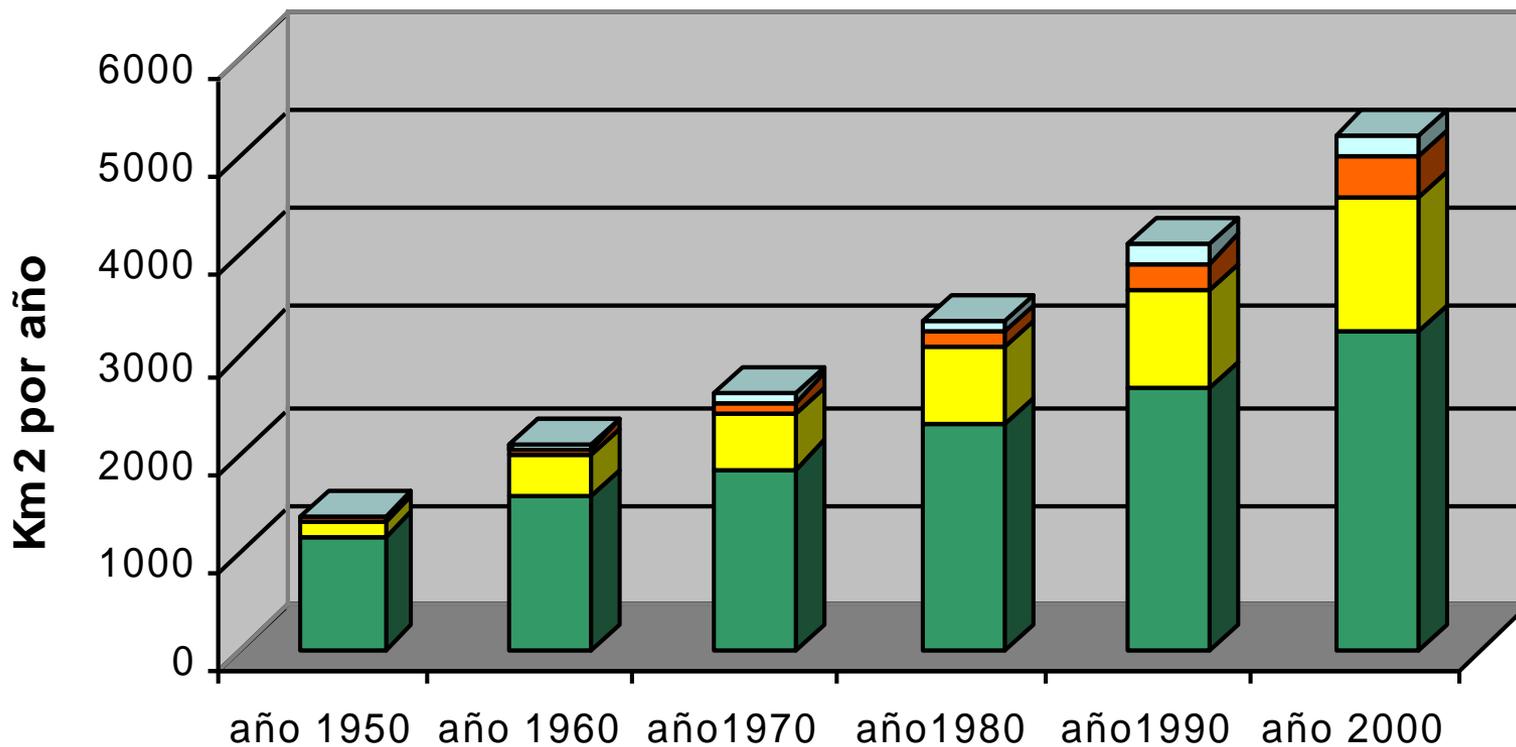
Riego

- Origen Egipto 5000 años ac
- Salinidad en antiguas zonas de riego
- Al haber acumulación de sales, la agricultura no puede ser permanente
- El 90 % de la superficie mundial regada utiliza este sistema

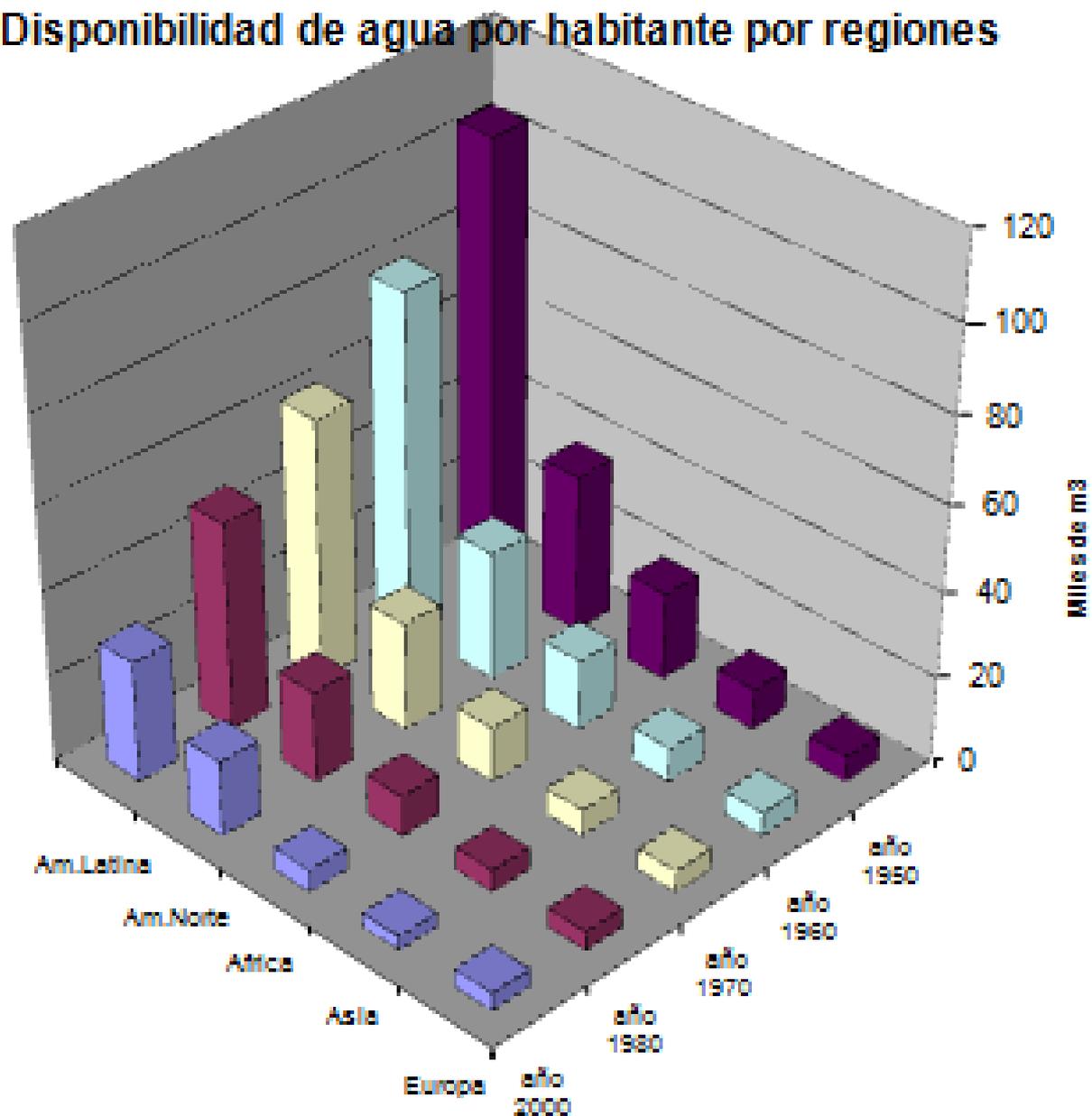
SUPERFICIE REGADA MUNDIAL

Año	Área regada (10^6 ha)
1800	8
1900	48
1940	92
1959	149
1970	210
1980	235
1990	255
2000	296 (estimada)

Utilización de agua en el mundo por sectores



Disponibilidad de agua por habitante por regiones



Riego

- Aplicación artificial de agua cuando las lluvias son insuficientes para proveer las necesidades del cultivos.
- Objetivo: normalizar la disponibilidad de agua para optimizar su utilización por los cultivos

Otros objetivos del riego

- Dilución y lavado de sales del suelo
- Mantenimiento del balance salino
- Aplicación de fertilizantes y agroquímicos
- Lucha contra heladas
- Ablandar la tierra
- Regulación de la temperatura del suelo y de la atmósfera (nebulización)
- Control de malezas (arroz)

Tipos de riego

- **INTEGRAL**
 - el periodo y la magnitud del déficit hídrico es significativo
- **COMPLEMENTARIO**
 - lluvia aporta entre 30 % y 60 %
- **SUPLEMENTARIO**
 - lluvia aporta casi el 100%, pero con irregularidades (1 a 3 semanas de sequía).



RIEGO TENDIDO

- **El agua fluye desde los puntos mas altos del campo hacia los puntos de cota menor, desbordando una acequia nivelada**

RIEGO POR BORDES

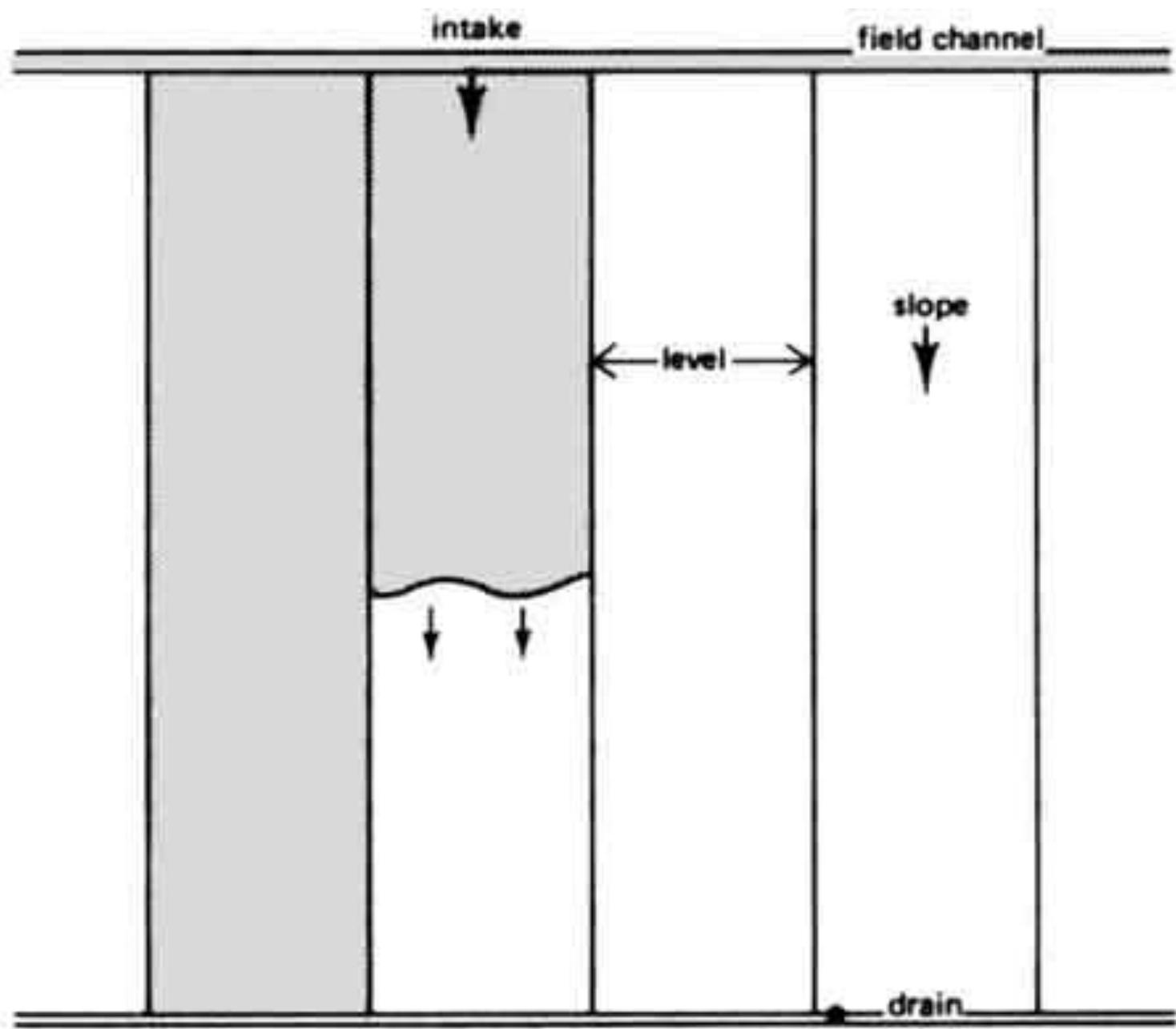
- **El agua fluye sobre la superficie del suelo entre 2 diques paralelos, que dejan una superficie nivelada sin pendiente entre los diques y con una pendiente uniforme en el sentido del escurrimiento de agua.**

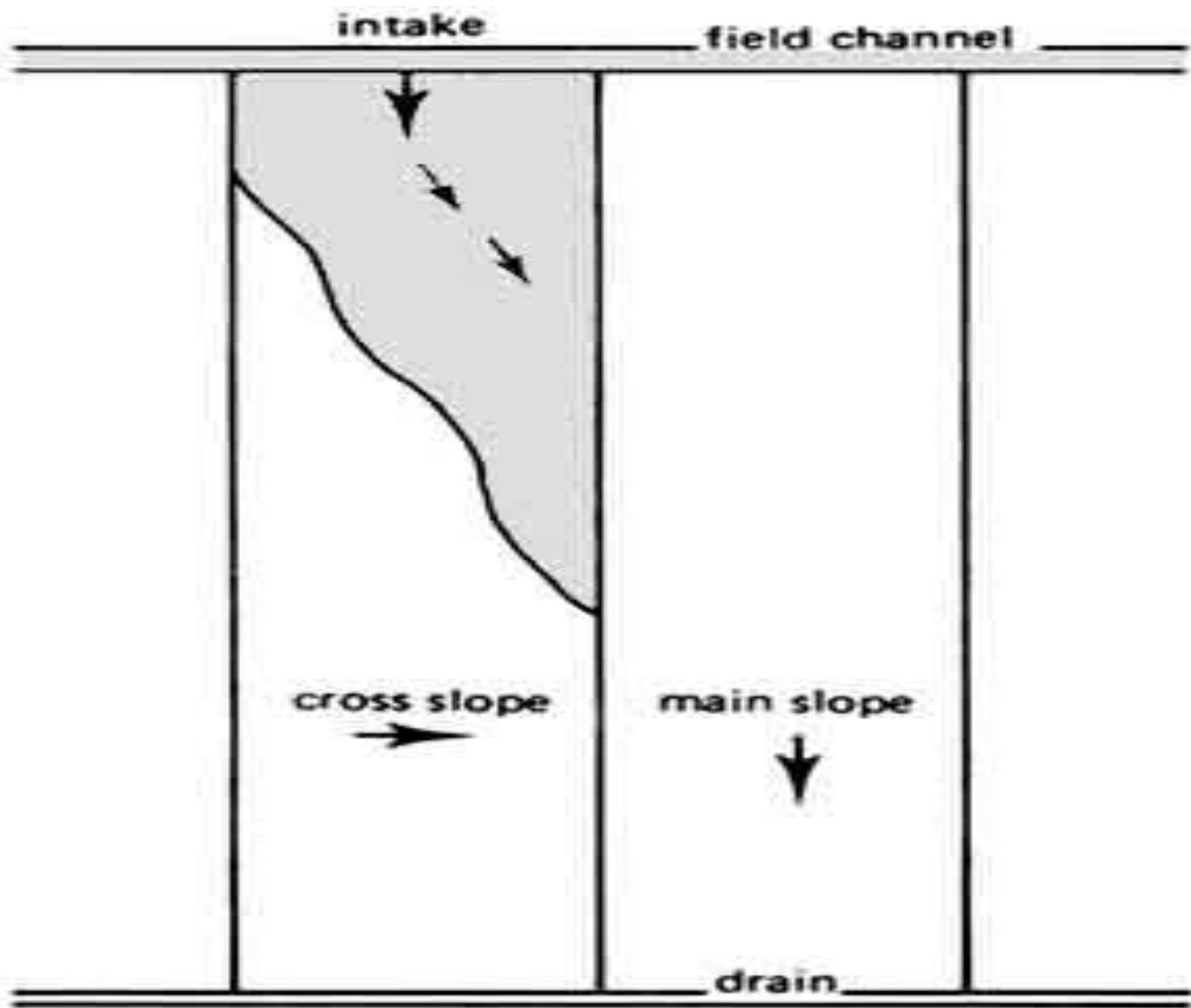
RIEGO POR BORDES

- **Principales problemas:**
 - **Se requiere de grandes caudales (2 a 3 L/seg por metro de ancho)**
 - **Alto costo de construcción y mantención**
 - **Problemas con uso de maquinaria.**

Riego por bordes

Consiste en dividir el potrero en varias fajas o platabandas delimitadas por pretiles o camellones.





SUGGESTED MAXIMUM BORDER LENGTHS AND WIDTHS

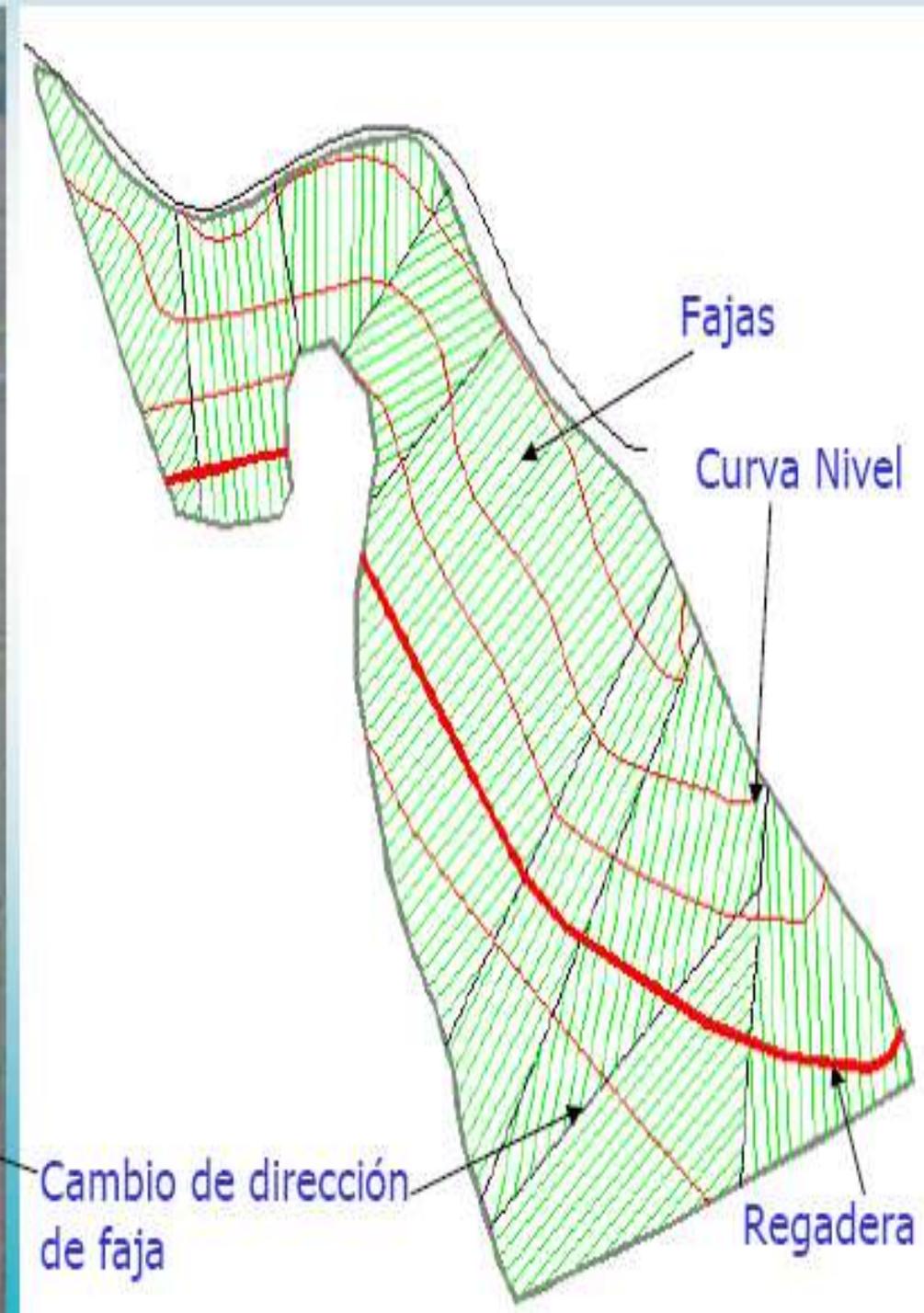
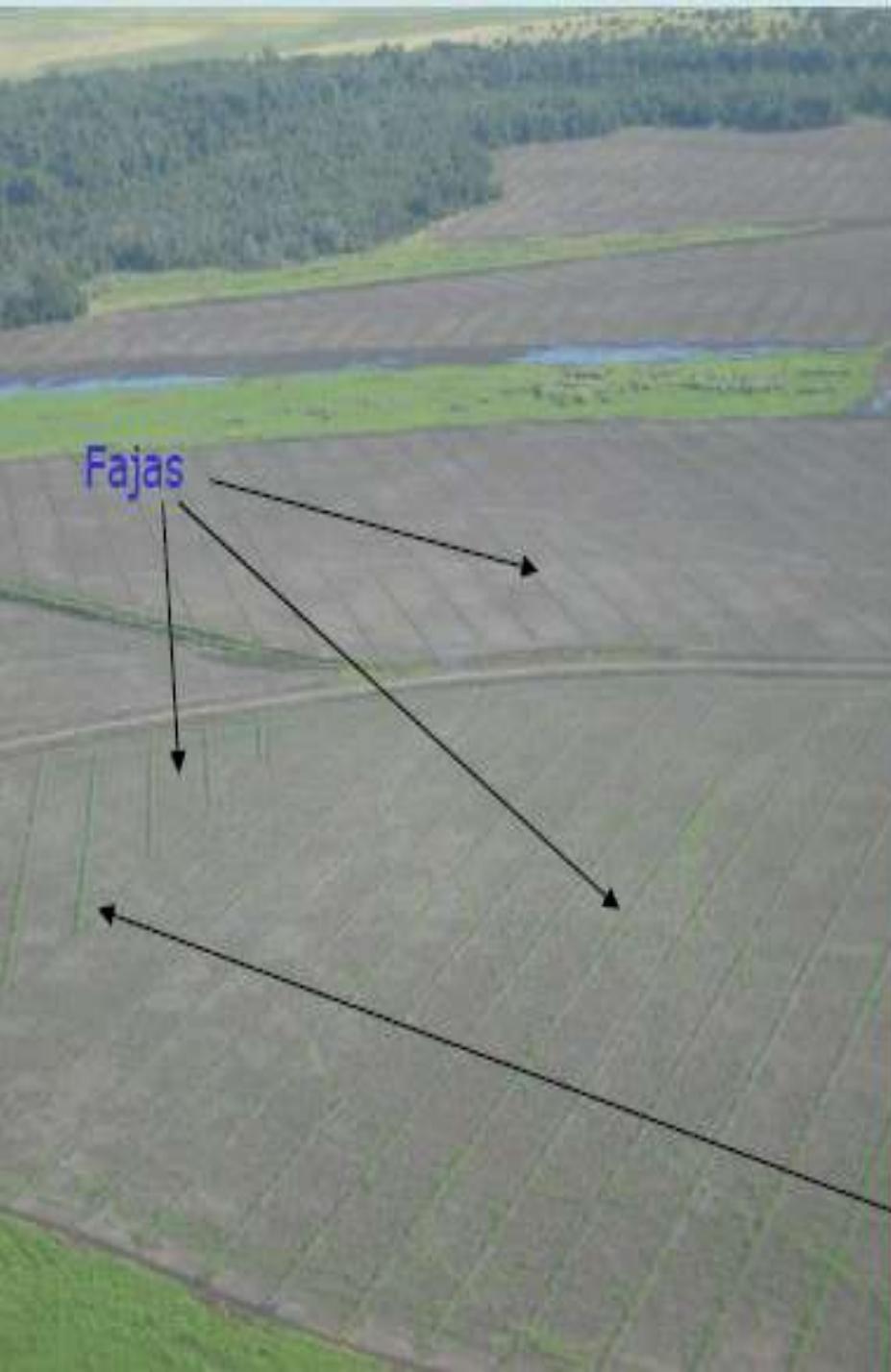
Soil type	Border Slope (%)	Unit flow per metre width (l/sec)	Border Width (m)	Border Length (m)
SAND	0.2-0.4	10-15	12-30	60-90
Infiltration rate greater than 25 mm/h	0.4-0.6	8-10	9-12	60-90
	0.6-1.0	5-8	6-9	75
LOAM	0.2-0.4	5-7	12-30	90-250
Infiltration rate of 10 to 25 mm/h	0.4-0.6	4-6	6-12	90-180
	0.6-1.0	2-4	6	90
CLAY	0.2-0.4	3-4	12-30	180-300
Infiltration rate less than 10 mm/h	0.4-0.6	2-3	6-12	90-180
	0.6-1.0	1-2	6	90

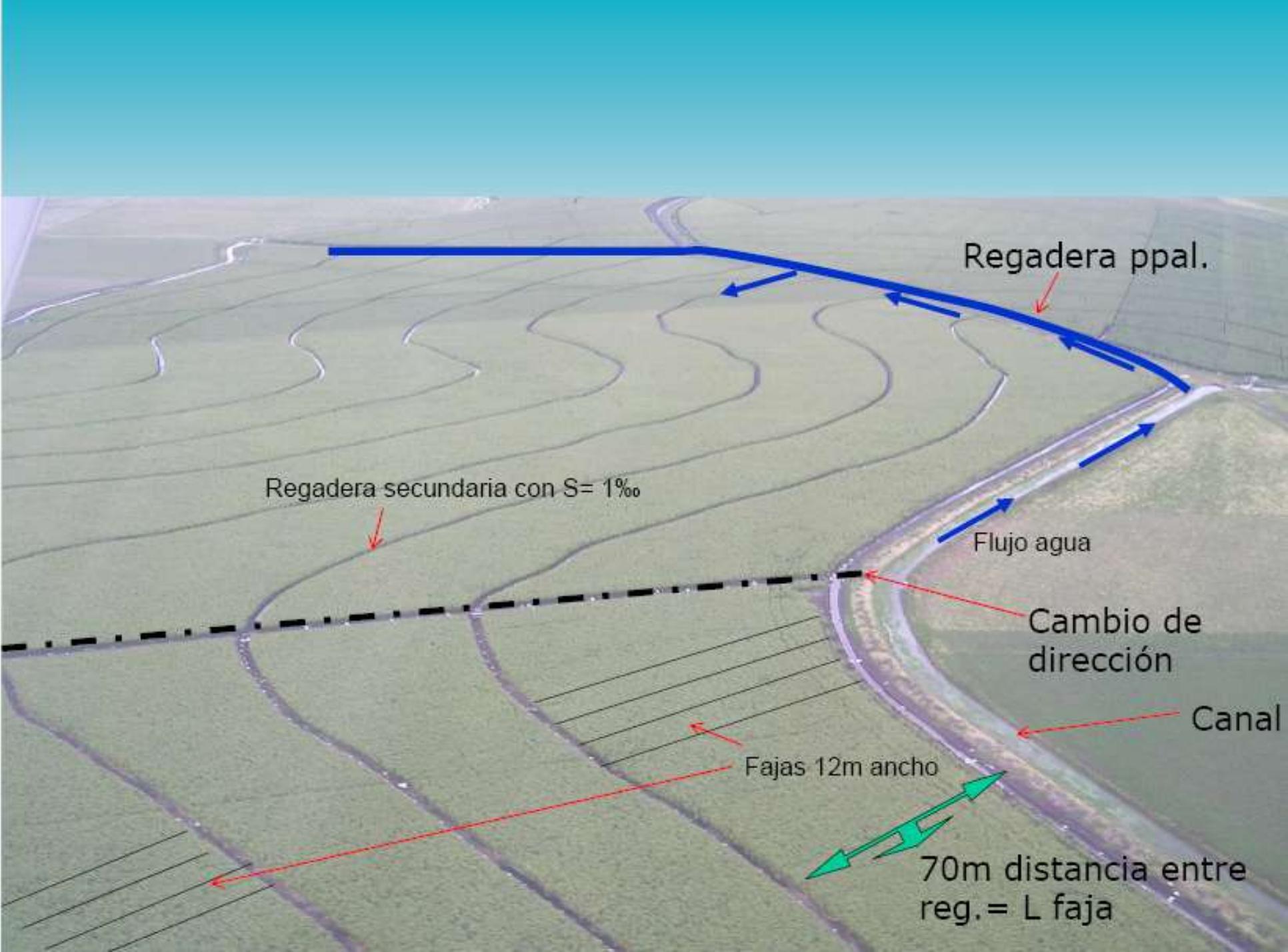
Note: The flow is given per meter width of the border. Thus the total flow into a border is equal to the unit flow multiplied by border width (in meters).

Taipa arrocera

- Sigue las curvas de nivel con una equidistancia de entre 3 a 10 cm
- Se mantiene una lámina de agua de riego de entre 7 a 15 cm en la cancha (superficie comprendida entre dos taipas) de modo permanente a lo largo de los 100 días aproximados de riego de este cultivo.







Regadera ppal.

Regadera secundaria con $S = 1‰$

Flujo agua

Cambio de dirección

Canal

Fajas 12m ancho

70m distancia entre reg. = L faja

Corrugaciones

- El agua se mueve a través de pequeños surcos contruidos en la dirección de la máxima pendiente del terreno.
 - cultivos densos, tales como alfalfa, forrajeras y cereales
- Los mini surcos poseen forma de V o U, profundidad 10 cm, espaciados 40 a 75 cm.
- Toda la superficie del suelo es humedecida por el movimiento radial del agua dentro del suelo
- Se utilizan pequeños caudales unitarios, entre 0,5 a 0,05 l/s lo que origina longitudes del orden de 30 a 180 m como máximo.



CENTRO NACIONAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA
EL DISEÑO DE LA EDUCACIÓN TECNOLÓGICA

RIEGO POR SURCOS

- La zona radicular se humedece por infiltración a través del perímetro mojado de pequeños cauces (surcos)
- El agua cubre parcialmente el terreno (inundación parcial)
- Humedece vertical y horizontalmente
- Ideal en cultivos en línea
- Indicado para suelos con buena velocidad de infiltración (aunque no excesiva) y baja erodabilidad.

Riego por surcos

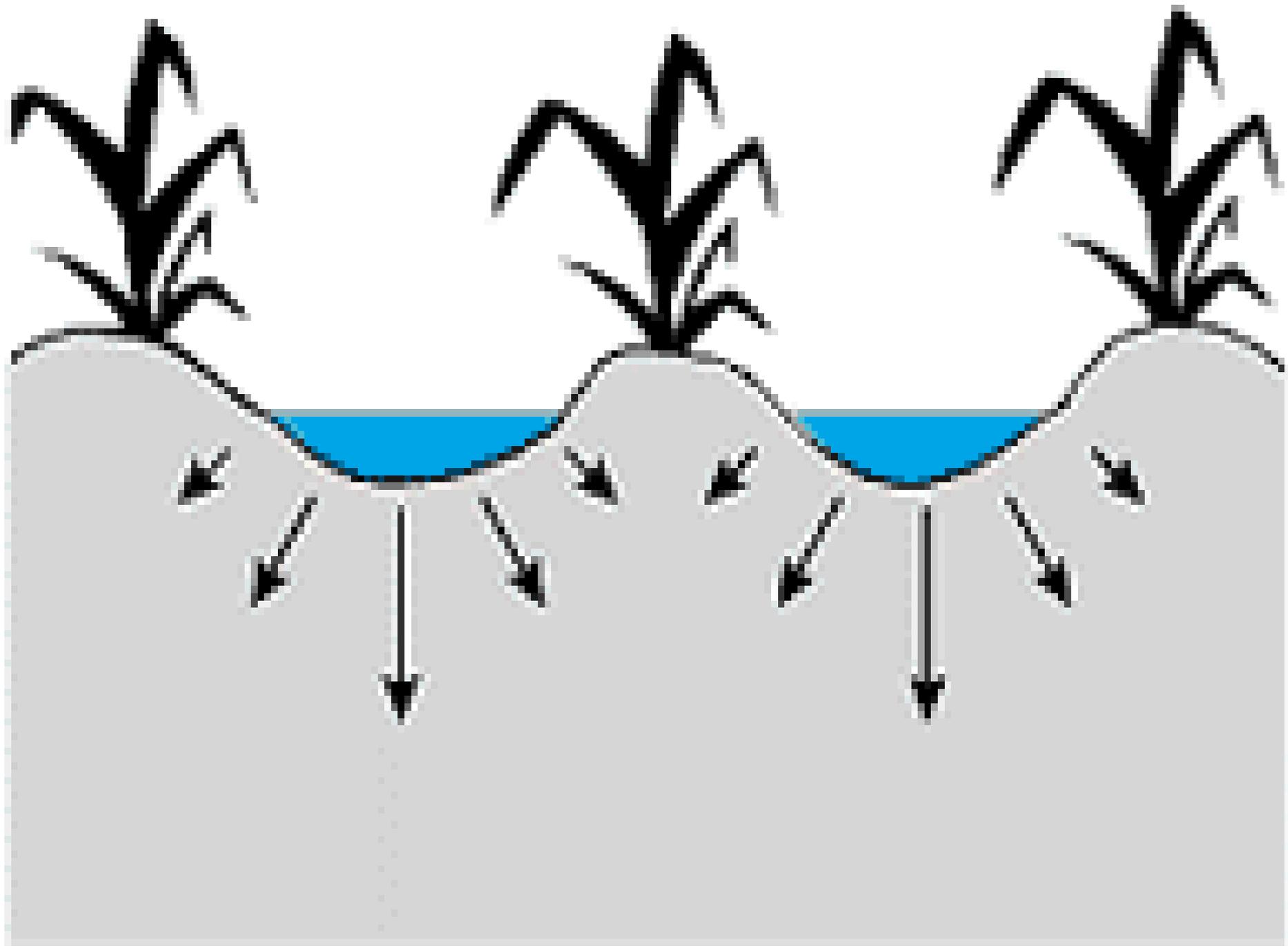


(a)



(b)





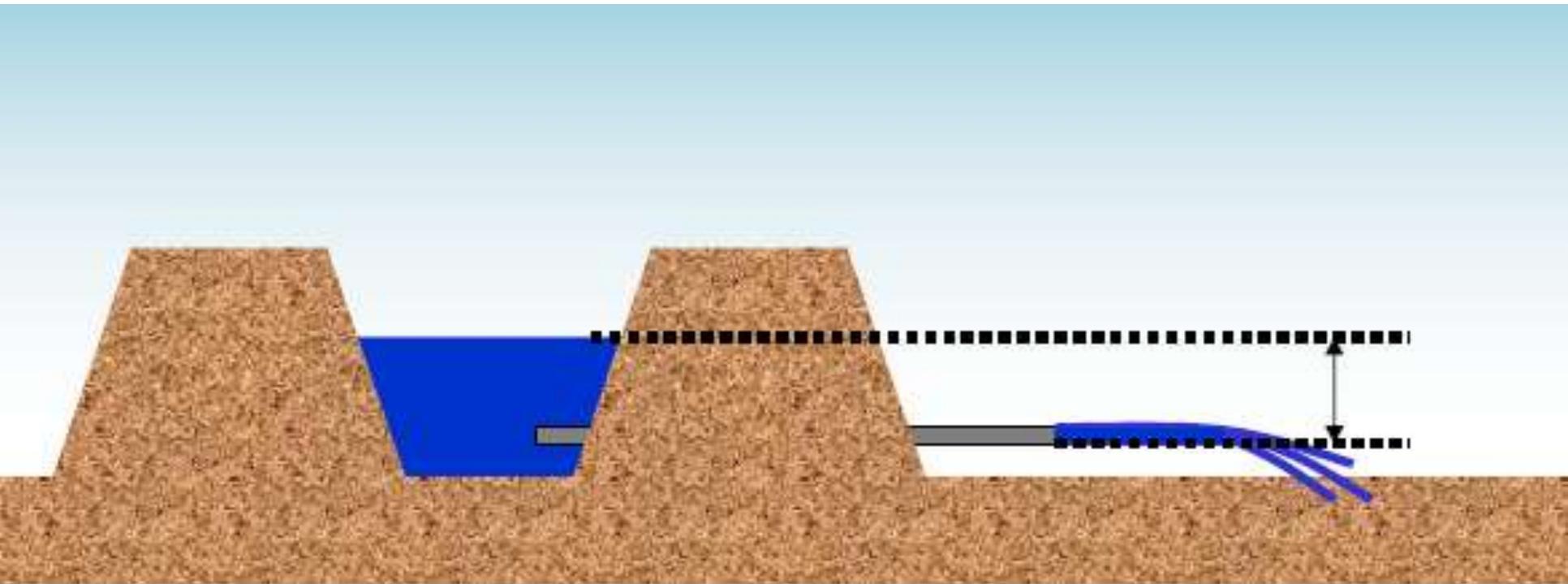






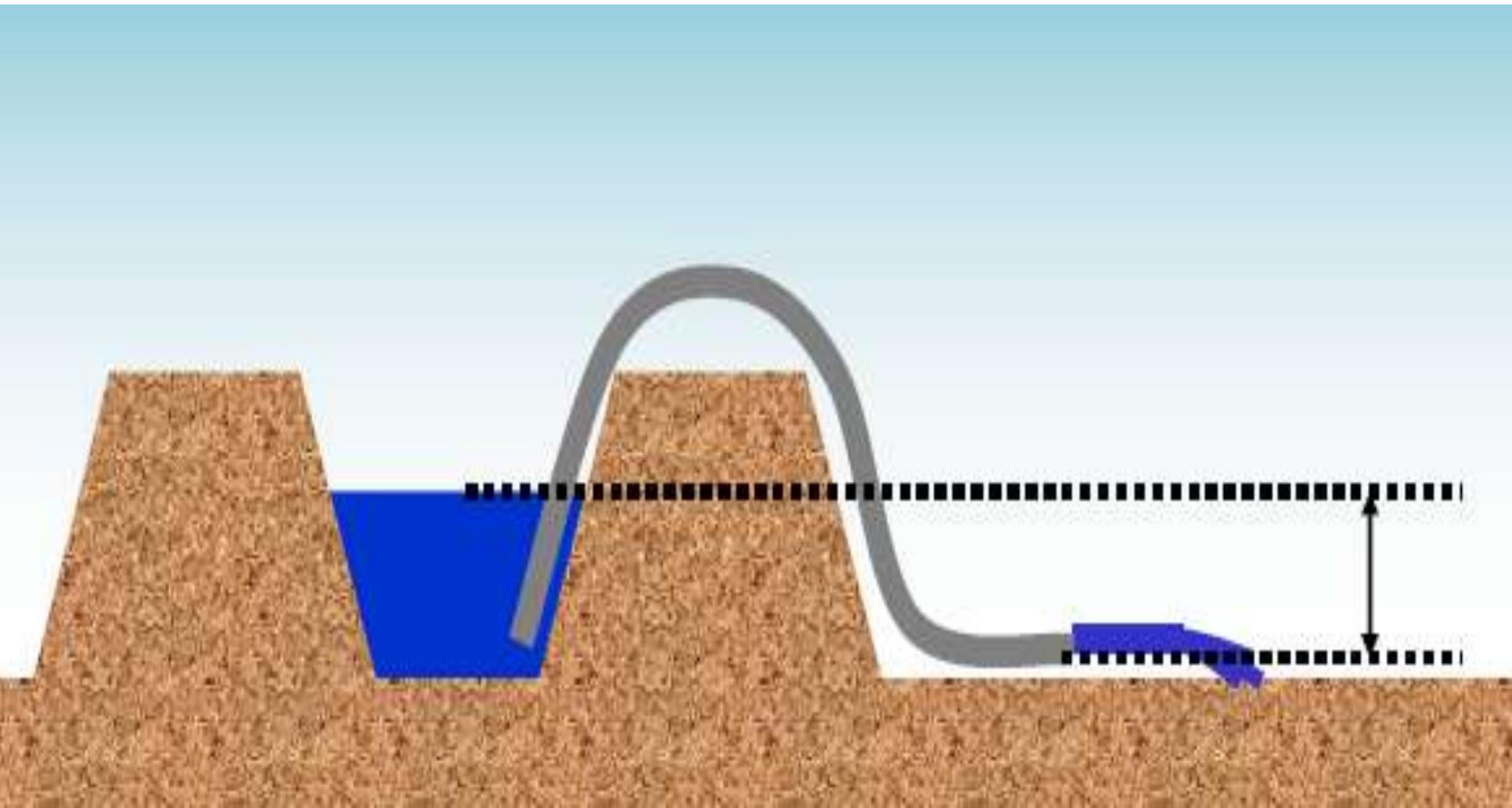


Descarga con tubo





Descarga con sifon



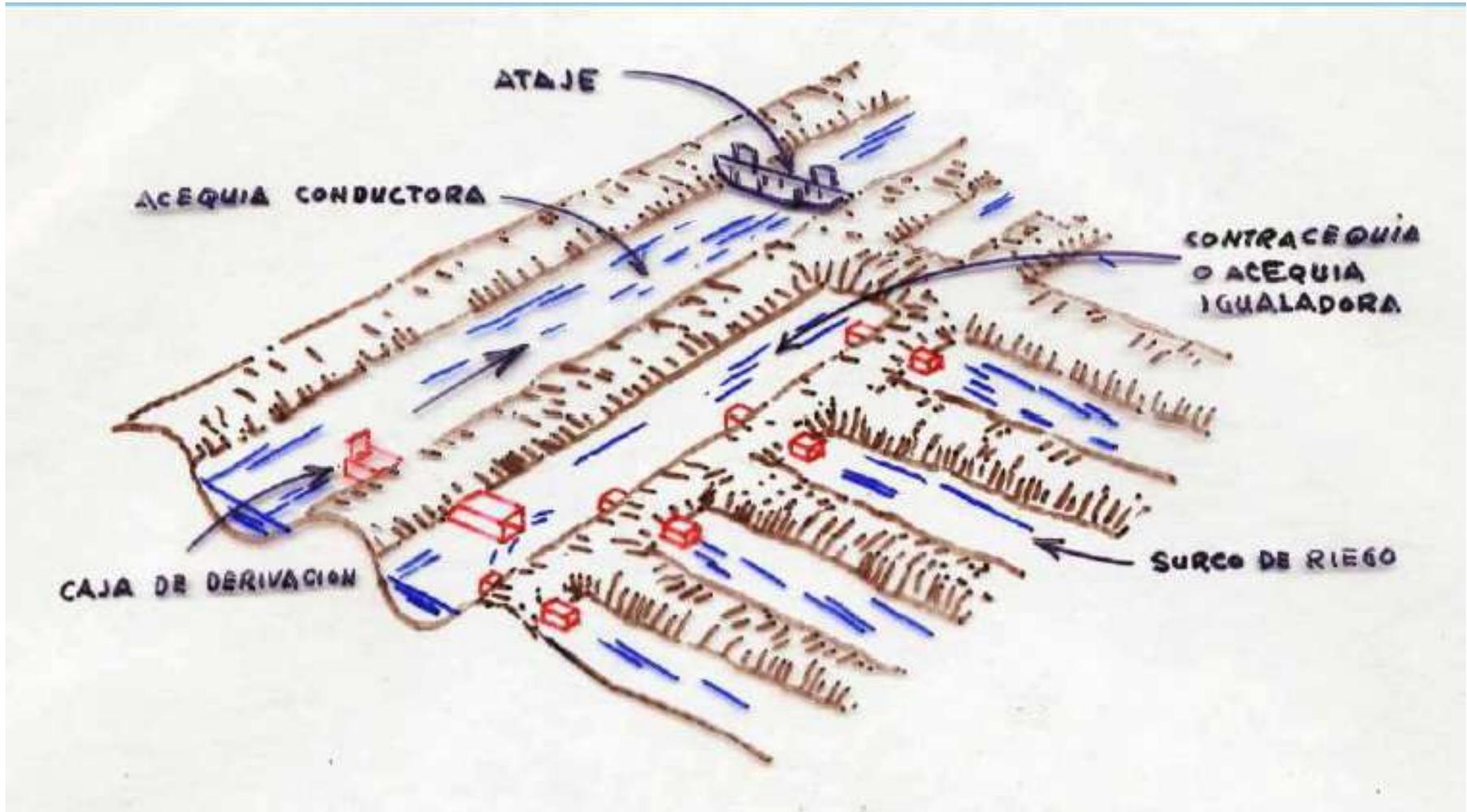




Compuerta



Con acequia auxiliar





Elementos técnicos

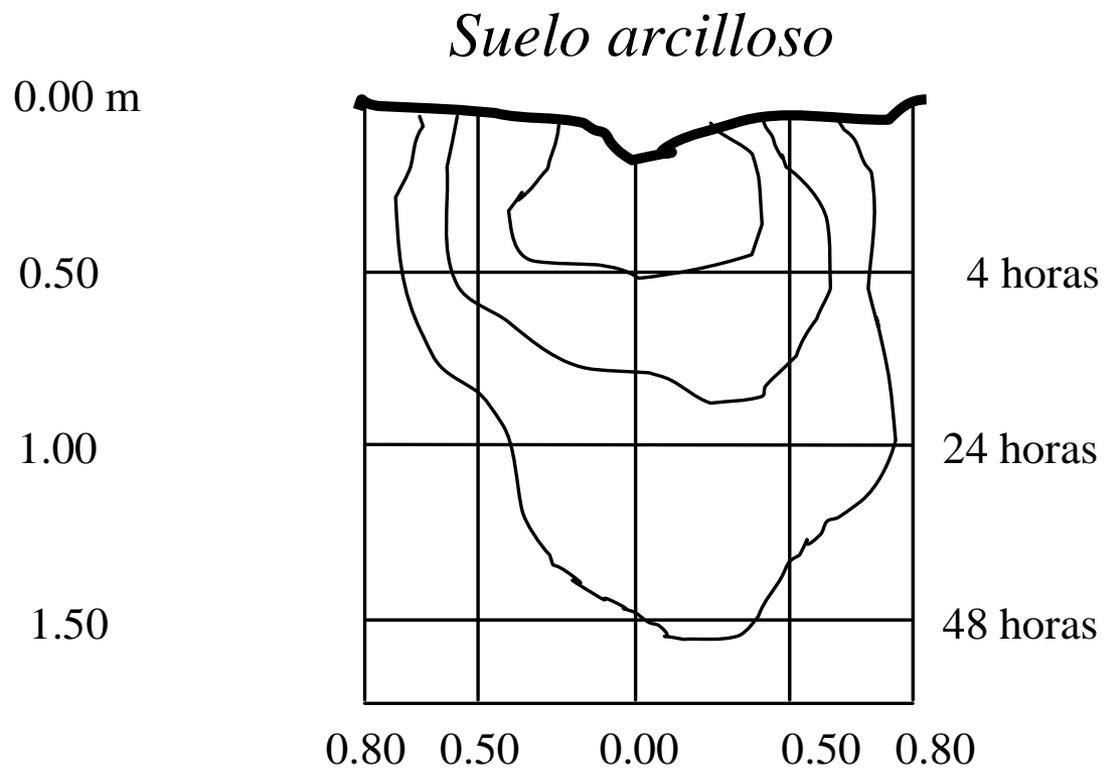
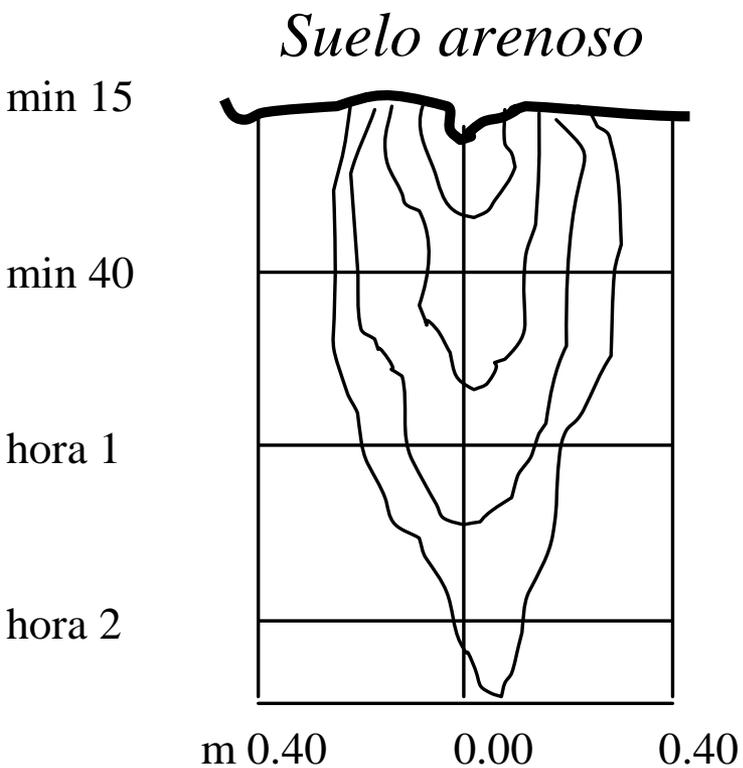
- Eje longitudinal
- Cabecera
- Pie
- Sección
- Perímetro mojado
- Talud
- Radio hidráulico

Eficiencia del sistema de riego Textura del suelo y topografía	melgas	surcos	melgas en contorno
Arenoso			
1. bien nivelado	60	40-60	45
2. nivelación regular	40-50	35	30
3. quebrado, alta pendiente	xxxx	20-30	20
Medio profundo			
1. bien nivelado	70-75	65	55
2. nivelación regular	50-60	55	45
3. quebrado, alta pendiente	xxxx	35	35
Medio poco profundo			
1. bien nivelado	60	50	45
2. nivelación regular	40-50	35	35
3. quebrado, alta pendiente	xxxx	30	30
Arcilloso			
1. bien nivelado	60	65	50
2. nivelación regular	40-50	55	45
3. quebrado, alta pendiente	xxxx	35-45	30

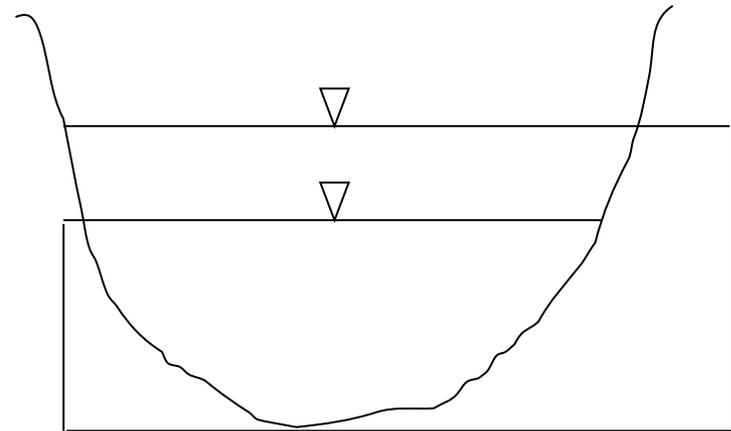
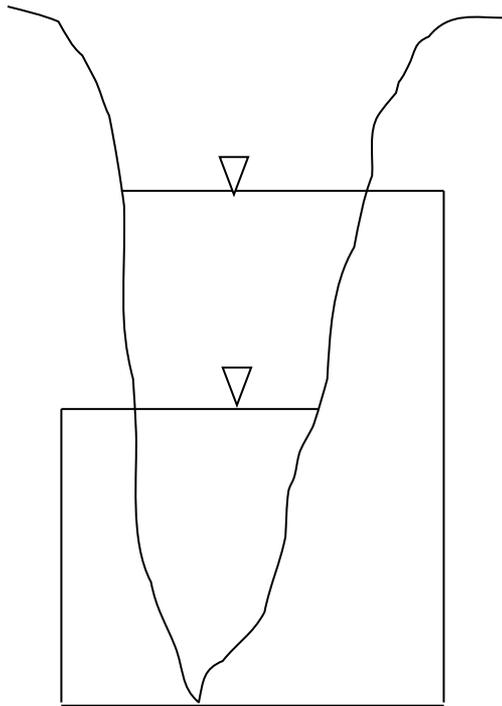
Velocidad de infiltración en función de la textura

Textura	velocidad de Infiltración básica (mm/h)
arcilloso; arcillo-limoso arcillo arenoso	2,5 a 7,5
franco- arcillo-arenoso; franco-arcilloso; franco-arcillo-limoso;	6,5-19,0
franco; franco-limoso.	12,5-38,0
franco- arenoso	25,0 a 75,0
arenoso.	mayor 75,0

Distribución de la humedad del terreno en riego por surcos según la textura del mismo

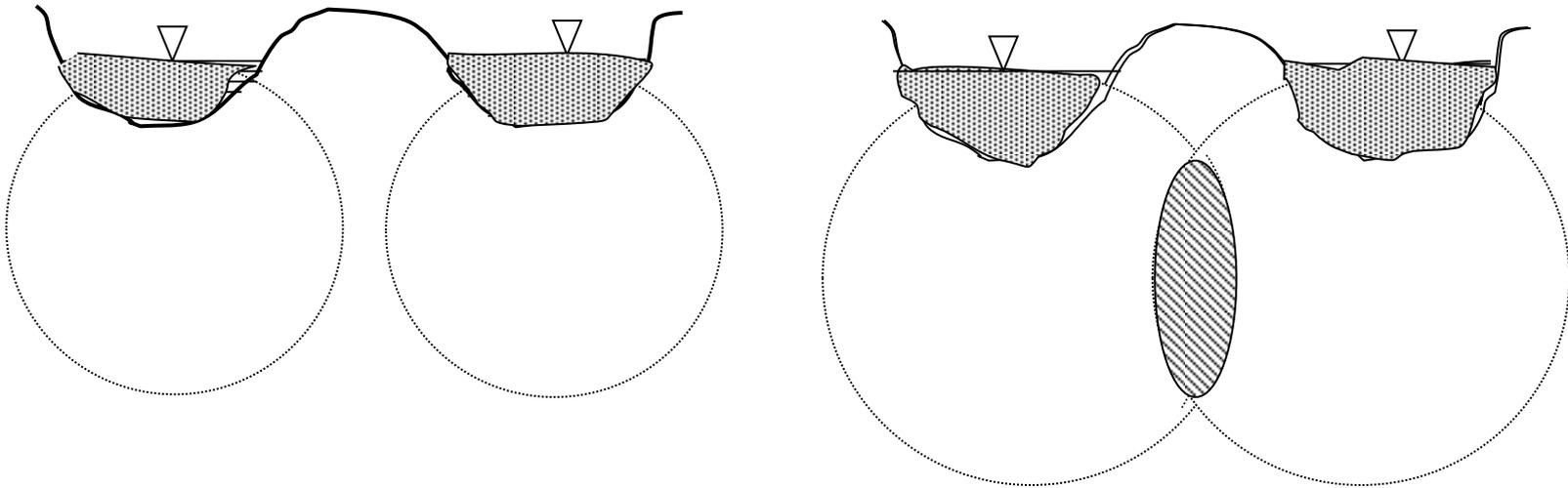


Cargas hidráulicas en la cabecera y pie del surco, según su sección

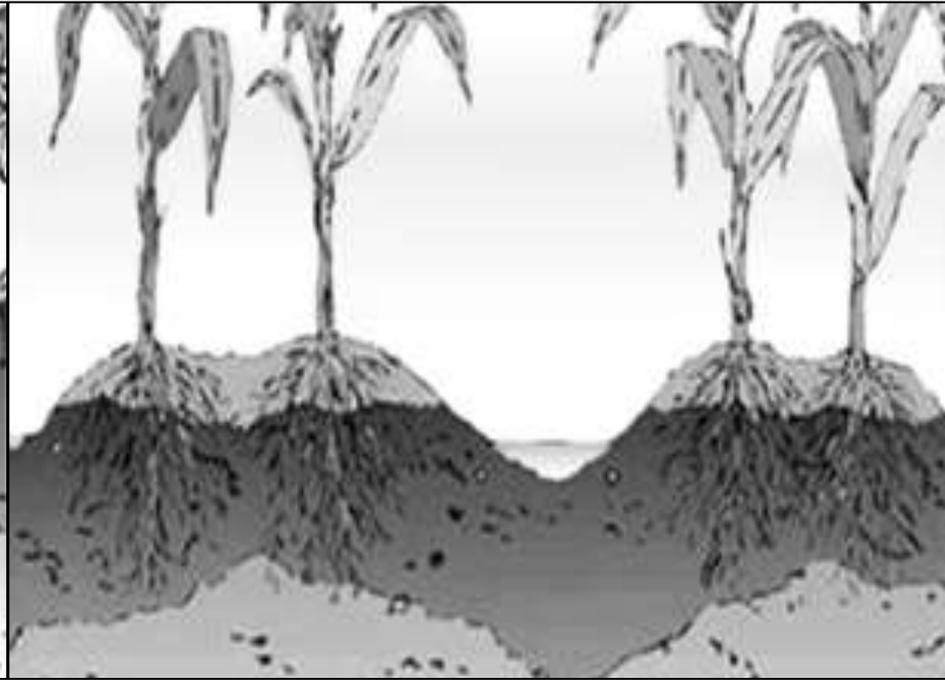
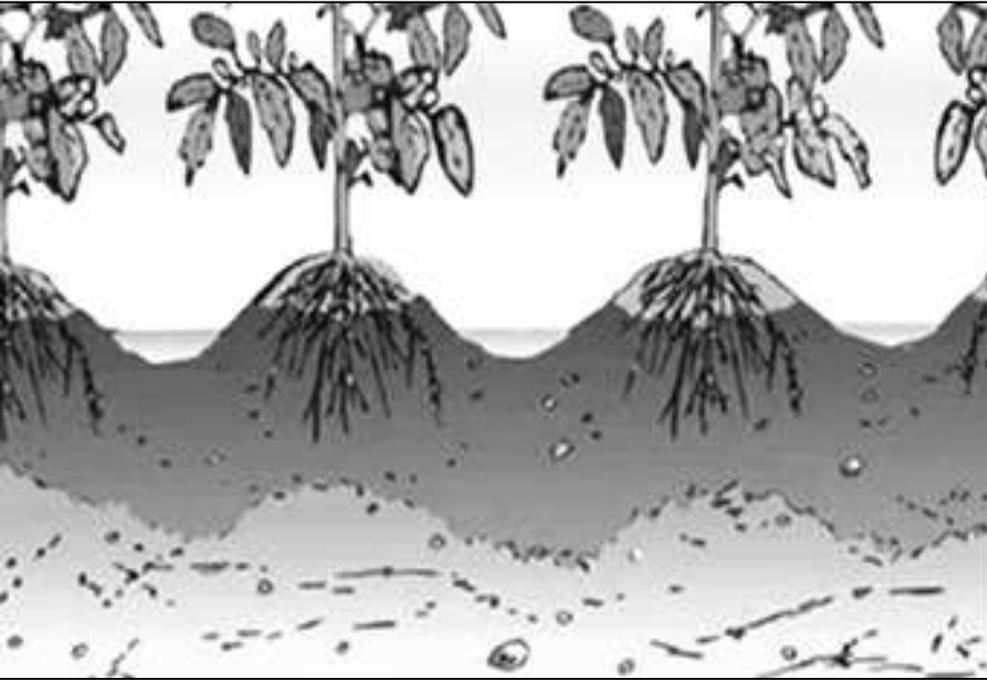


Espaciamiento entre surcos

- $E = 1,73 * D$
 - E = espaciamiento en m
 - D = profundidad radicular en m

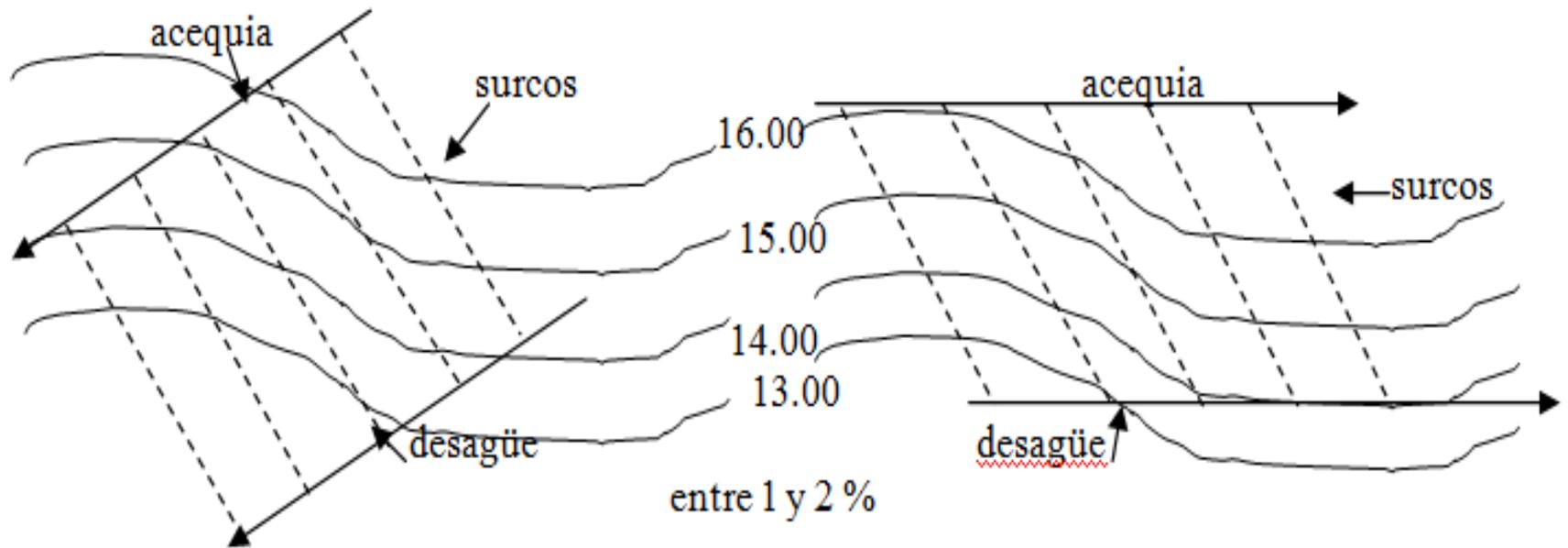


Distanciamiento y humedecimiento del suelo



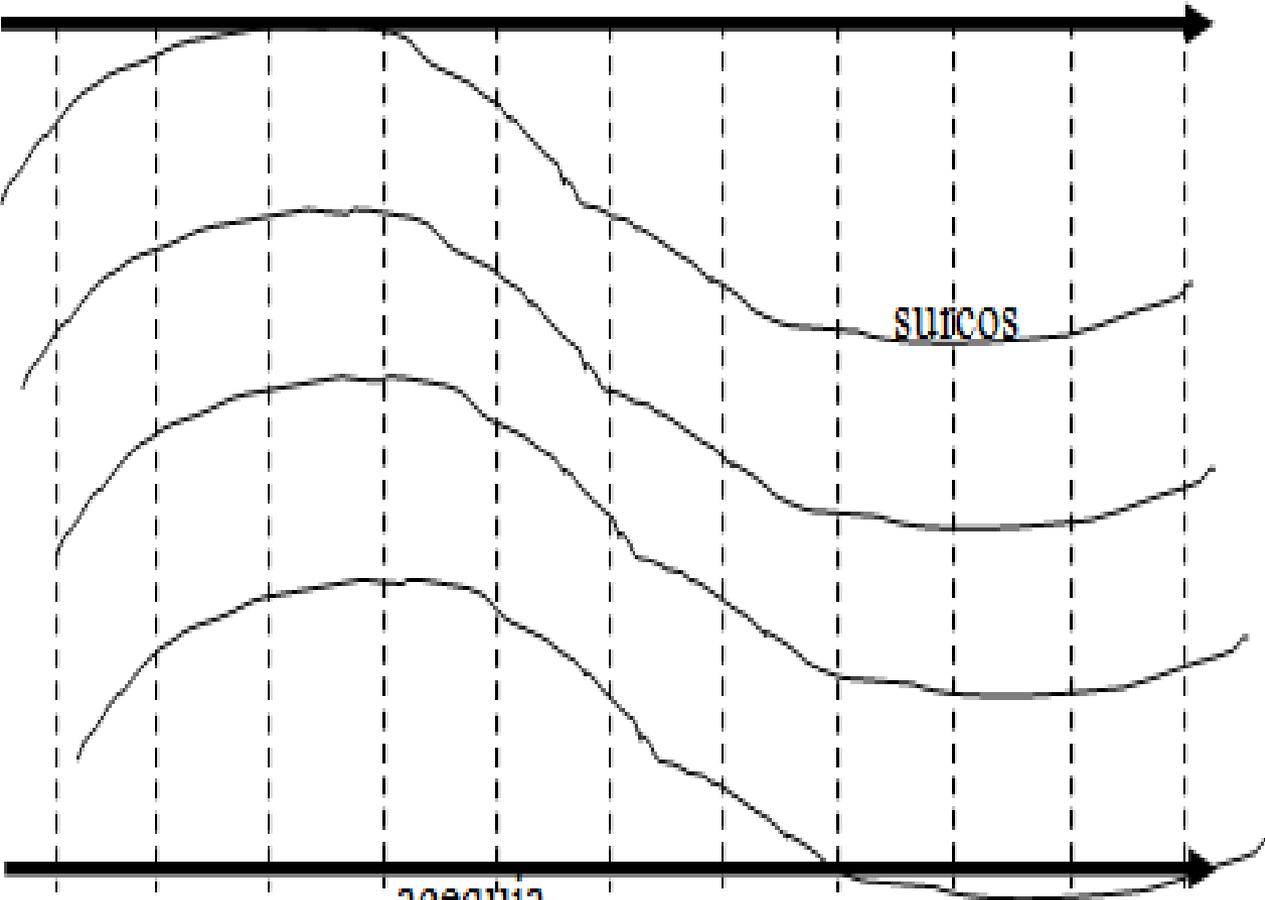
TIPO DE SUELO	DISTANCIA ENTRE EJES (m)
Arena gruesa	
Perfil uniforme	0,30
Subsuelo compactado	0,40
Arena fina	
Perfil uniforme	0,60
Subsuelo compactado	0,75
Franco arenoso	
Perfil uniforme	0,90
Subsuelo compactado	1,00

Pendiente



Surcos en dirección diagonal a la máxima pendiente.

desagüe

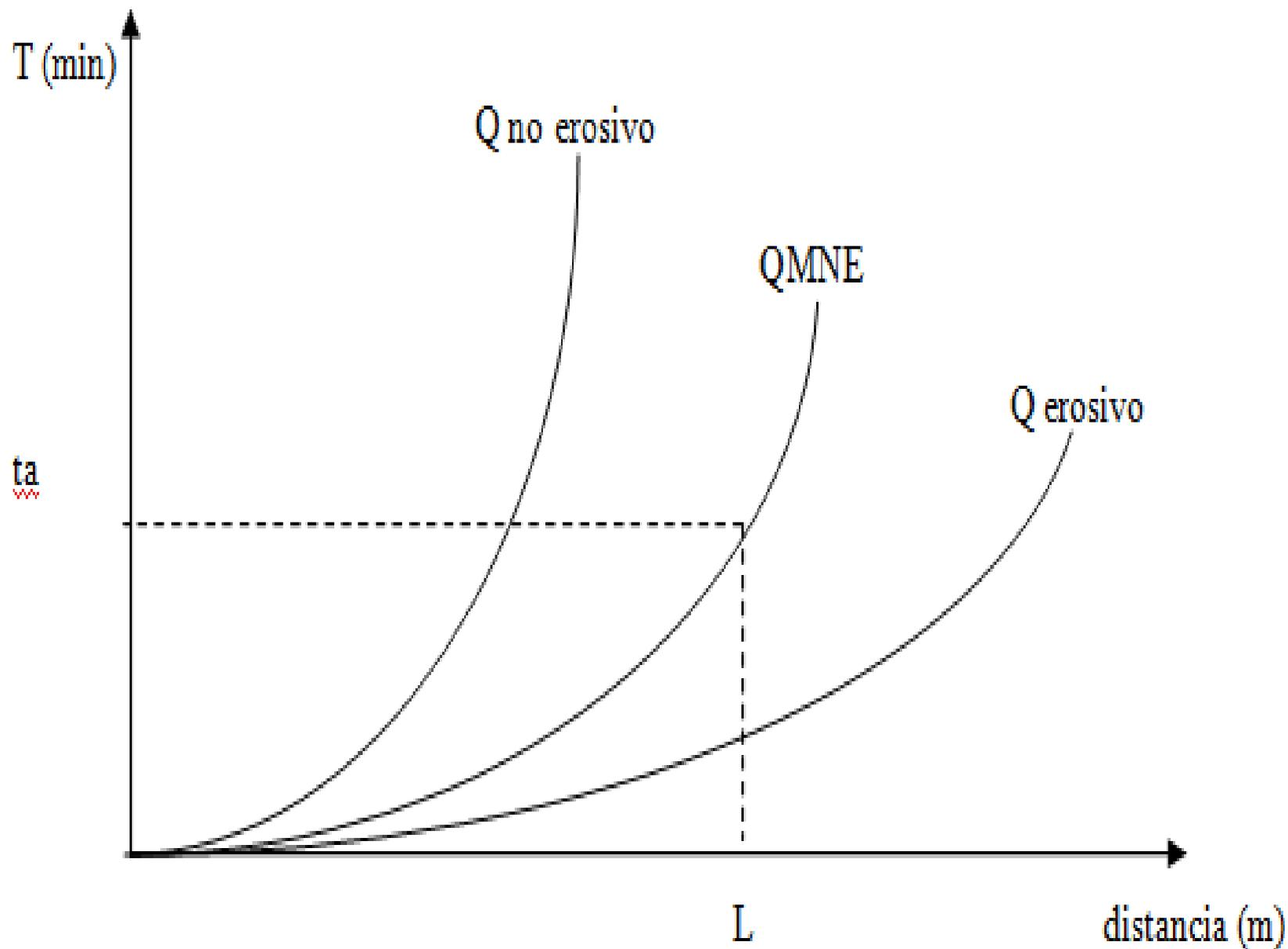


SUCOS

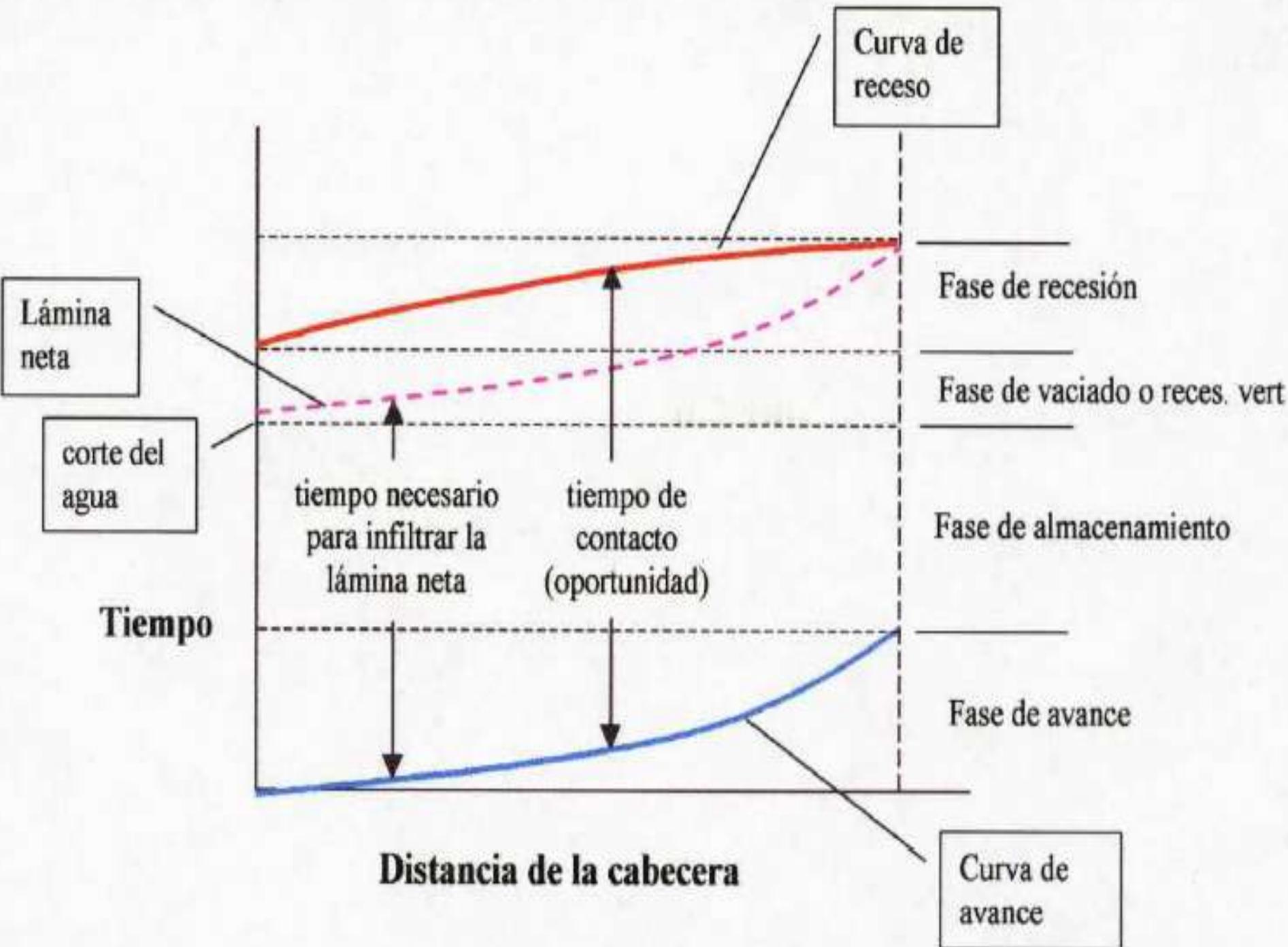
acequia

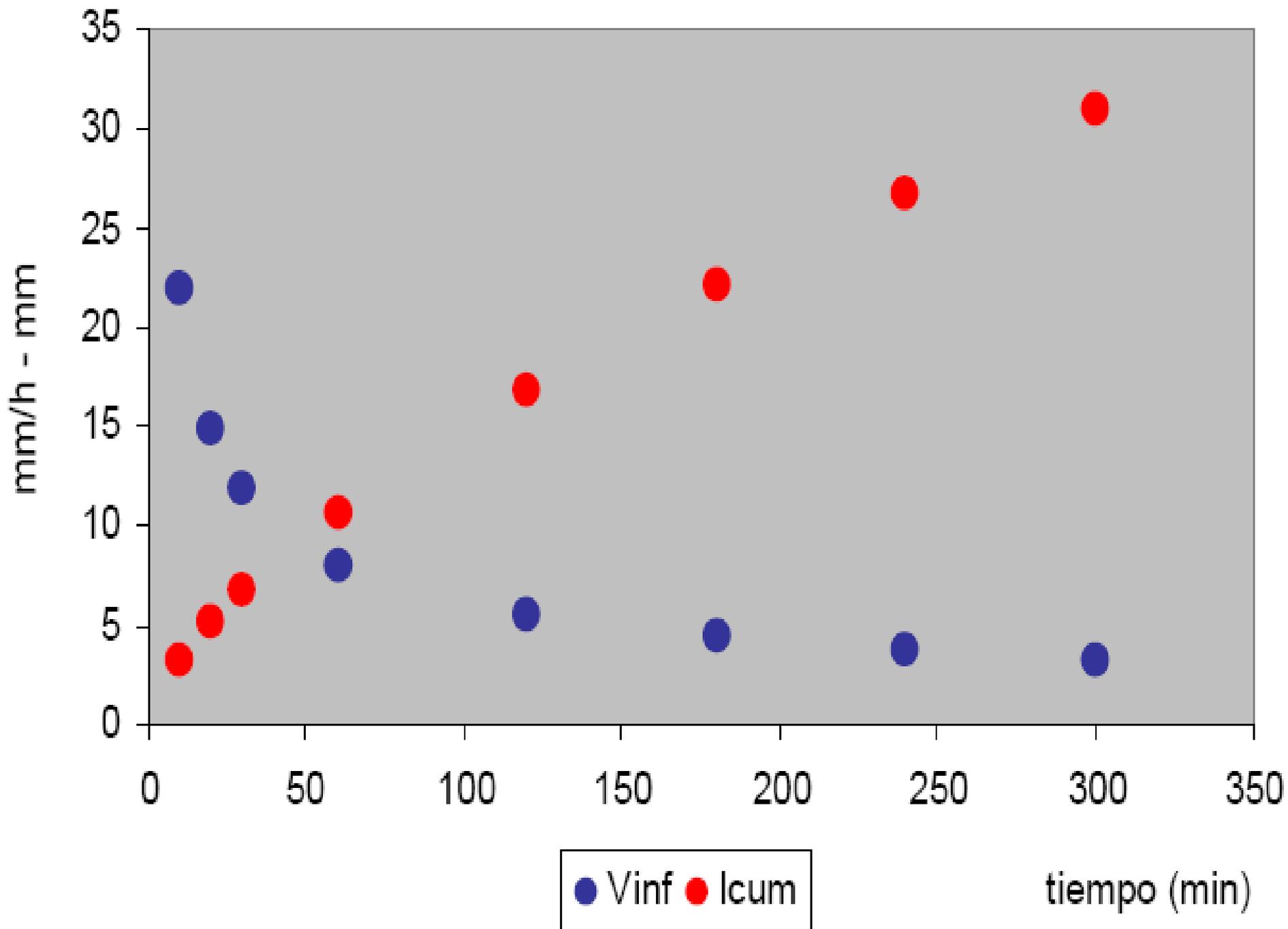
Ensayo de caudales

- Se usan dos caudales:
 - Q_a (Caudal de avance) utilizado durante el tiempo de avance (t_a) del agua en el surco
 - Q_i (Caudal de infiltración) menor que el anterior, que satisface la necesidad de infiltración incorporando la lámina de reposición al perfil en el tiempo de infiltración. (t_i)
- $Q_a = Q_{MNE} = 0,63 / S$ Ec. Criddle
 - Q_{MNE} en l/s y S pendiente en %









Longitud: Ensayo de avance

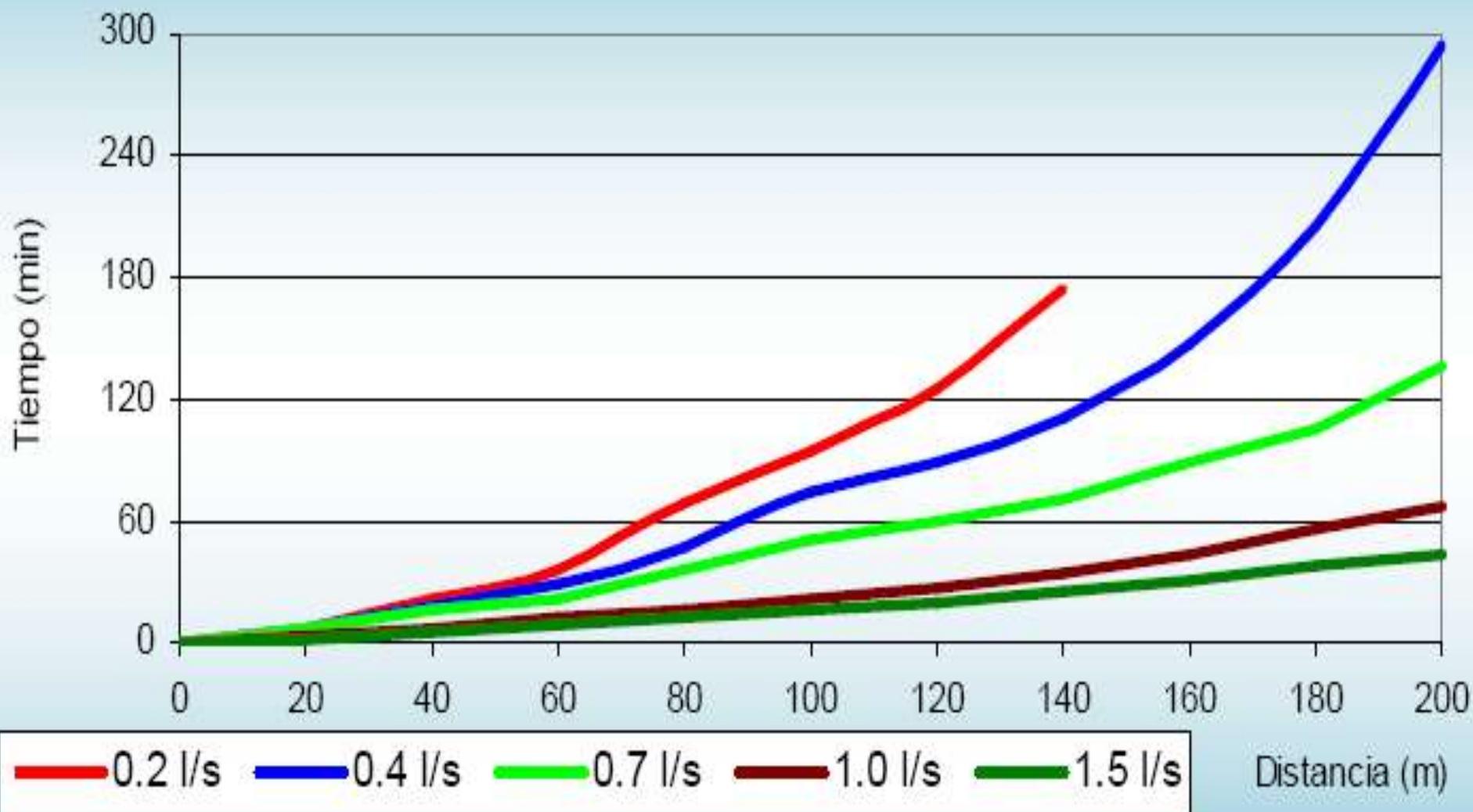
- Objetivo: obtener datos de avance del agua en el surco para poder seleccionar la longitud optima
- Factores agronómicos
 - Tipo de suelo y pendiente
 - Caudal a aplicar
 - Tiempo de infiltración y tiempo de avance
 - Estructura parcelaría existente
- Longitudes de 50 a 1000m Promedio 200

Longitud. Ensayo de avance

- Se estaquea un surco cada 10 metros y se aplica QMNE
- Con los pares de datos se ajustan a la expresión de Fok-Bishop (función de avance)
- $L = a * t^x$
 - L = avance, en m
 - a y x = parámetros
 - t = tiempo, en minutos



Resultados prueba de campo



Surco sin pendiente ni salida de agua al pie

- Se determina el QMNE
- Luego la función de avance
- Se aplica el QMNE con Ta

$$t(seg) = \frac{lam(mm) * area(m^2)}{QMNE(m^3 / s)}$$

Surco con pendiente y salida de agua al pie por escurrimiento

- Se determinan el QMNE y la longitud óptima
- Existen 2 direcciones de flujo
 - Escurrimiento encauzado
 - Infiltración
- Existen 2 pérdidas
 - Percolación profunda
 - Escurrimiento al pie del surco
- El QMNE se aplica durante el $T_a = 1/4 T_i$
- Posteriormente se aplica el Q_i en el T_i

Ejemplo de diseño

- Información básica.
 - Suelo: arcillo-limoso.
 - Espaciamiento de surcos: 70 cm
 - Perímetro mojado del surco: 50 cm (para el Q elegido)
 - Lámina de riego requerida: 39,6 mm
 - Profundidad de raíces considerada: 40 cm
 - Pendiente: 0,1%

Datos experimentales

- Ensayo de caudales: $QMNE = 1,4 \text{ l/s}$
- Función de avance: $L = A * t^x$
 - $L(\text{m}) = 20,21 * t(\text{min})^{0,5843}$
- Función de infiltración $I = k * t^n$
 - $I (\text{cm/h}) = 3,974 * t(\text{min})^{-0,255}$
- Función lamina acumulada $Lac = K * t^N$
 - $Lac (\text{cm}) = 0,0889 * t(\text{min})^{0,745}$

Cálculos.

- Tiempo de infiltración (t_i)
 - $t_i = (\text{Lámina acumulada} / K)^{1/N}$
 - $t_i = (3,96\text{cm} / 0,0889)^{1/0,745}$
 - $t_i = (44,54)^{1,3422} = 163$ minutos
- Tiempo de avance (t_a).
 - $t_a = \frac{1}{4} t_i$
 - $t_a = \frac{1}{4} 163$ minutos = 41 minutos
- Tiempo total (T_t) de riego.
 - $T_t = t_a + t_i$
 - $T_t = 163 + 41 = 204$ minutos

Cálculos

- Longitud (L) óptima del surco.
 - $L \text{ (m)} = 20,21 * t_a^{0,5843} \text{ (min)}$
 - $L \text{ (m)} = 20,21 * 41^{0,5843} \text{ (min)} = 177 \text{ metros.}$
- Caudal de infiltración (Qi) (1/2 del Ta o con Ip)
 - $Q_i = I_p \times \text{área}$
 - $I_p \text{ (cm/h)} = L_{ac} / \text{tiempo} = K t^N / \text{tiempo}$
 - $$I_p = \frac{0,089 * 204^{0,745}}{204 \text{ min}} * 60 \text{ min/h} = 1,37 \text{ cm/h}$$
 - Área surco = 0,7 m (espaciam) x 177 m = 123,9 m²
 - $Q_i = 1,37 \text{ cm/h} \times 123,9 \text{ m}^2 = 1,69 \text{ m}^3/\text{h} = 0,47 \text{ l/s}$

Relación de volúmenes calculados y aplicados

- $\text{Vol}_d = ((1,4 \text{ l/s} \times 41 \text{ min}) + (0,47 \text{ l/s} \times 163 \text{ min})) \times 60 \text{ s/min} = 8040 \text{ litros} = 8,04 \text{ m}^3$
- $\text{Vol}_c = 0,0396 \text{ m} \times 123,9 \text{ m}^2 = 4,9 \text{ m}^3$
- $\text{Ef} = \text{Vol}_c / \text{Vol}_d = 4,9 \text{ m}^3 / 8,04 \text{ m}^3 = 61\%$
- $\text{Vol}_d / \text{área} = 8,04 \text{ m}^3 / 123,9 \text{ m}^2 = 64,9 \underline{\text{mm}}$

Pérdidas por percolación profunda y escurrimiento

- $R = t_i/t_a$ quedando $R = 163/41 = \underline{3,97}$

$$P_{pp} = \frac{(R+1)^{n+1} - R^{n+1}}{(R+1)^{n+1} + R^{n+1}}$$

$$P_{pp} = \frac{(4,97)^{-0,255+1} - 3,97^{-0,745}}{(4,97)^{-0,255+1} + 3,97^{-0,745}} = \frac{0,51}{6,09} * 100 = 8,37\%$$

- $P_{esc} = (t_i / t_i + t_a) \times (Q_{esc} / Q_e) \times 100$

Síntesis de los valores de proyecto y operación

- Surcos de 177m longitud, espaciados 0,70 m
- $QMNE = 1,4$ l/s derivado durante $t_a = 41$ min
- $Q_i = 0,47$ l/s derivado durante $t_i = 163$ min
- Pérdidas por percolación profunda = 8 %

Riego por pulsos o caudal discontinuo

- Maneja el ingreso de agua en el surco mediante sucesivos cortes y aperturas logrando equiparar la infiltración a lo largo del surco
- Se logran largos superiores 600m
- Se usa una T con válvula que comanda el ingreso a los ramales





Ventajas

- eficiencia de conducción del 100%
- bajo consumo de energía (5 mca)
- riego mas uniforme, eficiencias del 85%
- surcos mas largos (hasta 1000 metros)
- aplicación eficiente de fertilizantes.

Ejemplo

- Caudal disponible: $200\text{m}^3/\text{h}$
- Distancia entre surcos 70 cm
- Superficie: 80 ha
- Pendiente: 0,3 %
- Lámina aplicar: 50 mm ($500\text{m}^3/\text{ha}$)
- Textura: franco arcillo limosa

Ejemplo

$$T_a = \frac{80Ha * 500m^3 / ha}{200m^3 / ha} = 200horas$$

- $QMNE = 0,63 / i\% = 0,63 / 0,3 = 2,1l/s * 3600s/h = 7560l/h/surco$
- Longitud de surco (Merrian x 2) = $320 m \times 2 = 640$ metros
- Nº de compuertas regantes para el caudal disponible: $200 m^3/h / 7,560 m^3/h = 26$

PENDIENTE %	CAUDAL l/s	LONGITUD SURCOS (m) SEGÚN TEXTURA					
		GRUESA		MEDIA		FINA	
		LAMINA DE AGUA(mm)					
		50	100	50	100	50	100
0,25	2,50	150	220	250	350	320	460
0,50	1,20	105	145	170	245	225	310
0,75	0,85	80	115	140	190	175	250
1,00	0,60	70	100	115	165	150	230
1,50	0,40	60	80	95	130	120	175
2,00	0,30	50	70	80	110	105	145
3,00	0,16	40	55	65	90	80	120
5,00	0,11	30	40	50	70	65	90

Ejemplo

- Son 52 compuertas por posición (26 a cada lado) dispuestas surco por medio, por lo tanto el ancho de labor será de 72,8 m
- En 1260 m son 17 posiciones
 - $1260 \text{ m} / 72,8 \text{ m/ posición} = 17 \text{ posiciones}$
- Tiempo por compuerta = $\frac{640m * 1,4m * 50mm}{7,56m^3 / h} = 6 \text{ horas}$
- Tiempo en cada posición: $200h / 17 \text{ posiciones} = 12 \text{ horas/ posición}$
- $1260m / 72,8(m/día) = 17 \text{ días para regar la totalidad del lote}$

Riego por melgas

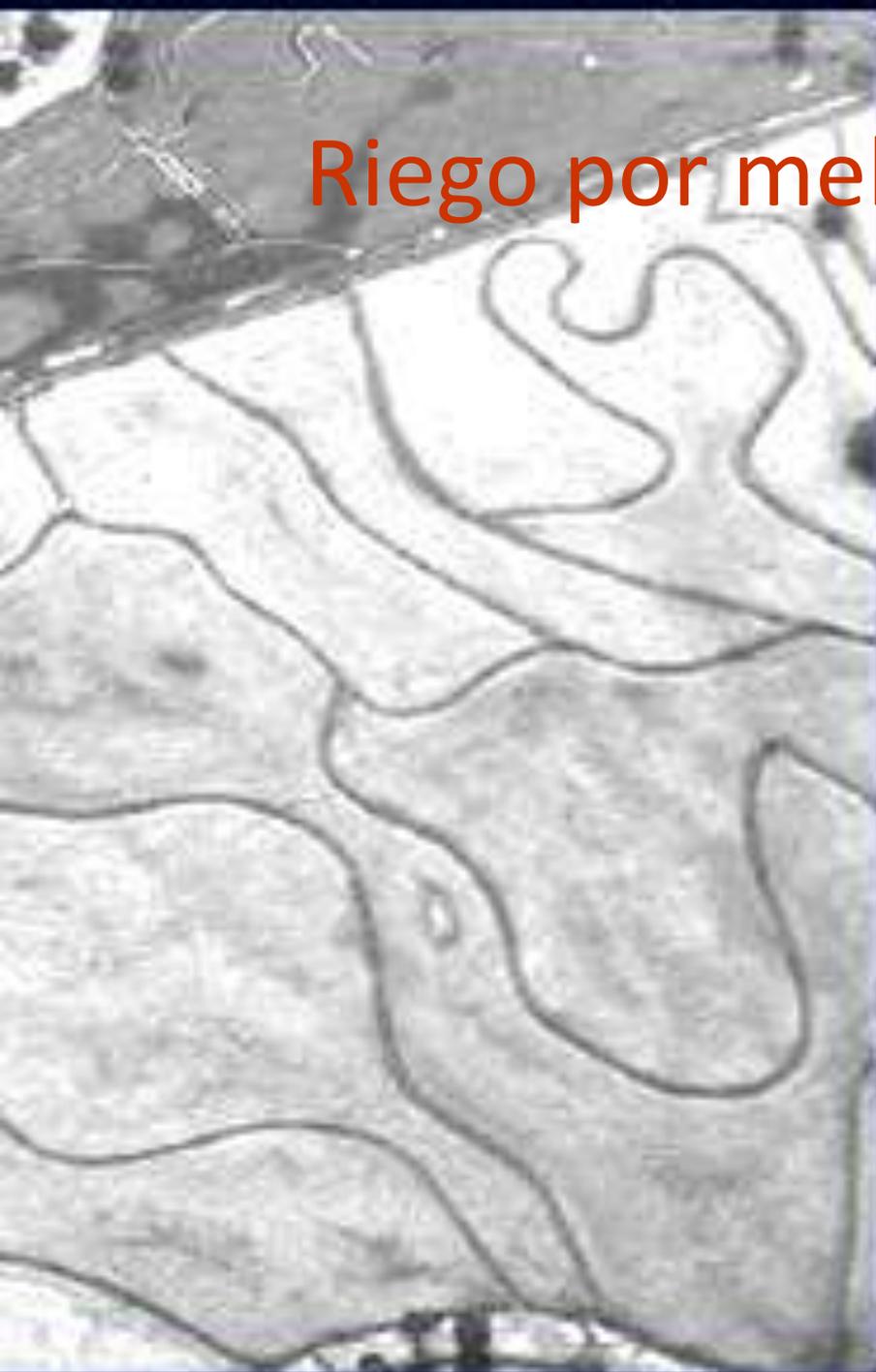
- Son superficies del terreno que quedan limitadas entre dos bordos, con anchos y longitudes varia
- Anegamiento controlado
- Ancho entre 5 y 20 metros
- Pendiente 0 a 0,03%





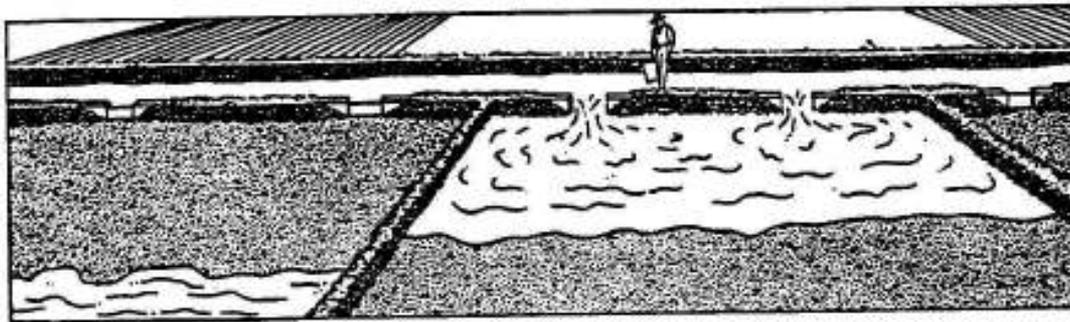


Riego por melgas en contorno

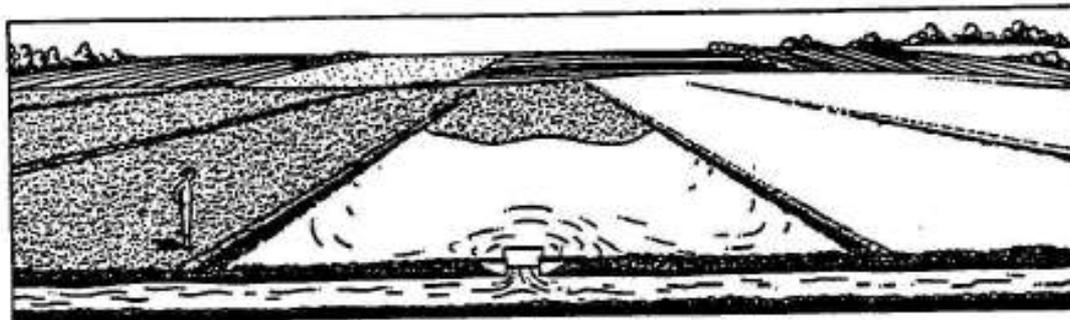




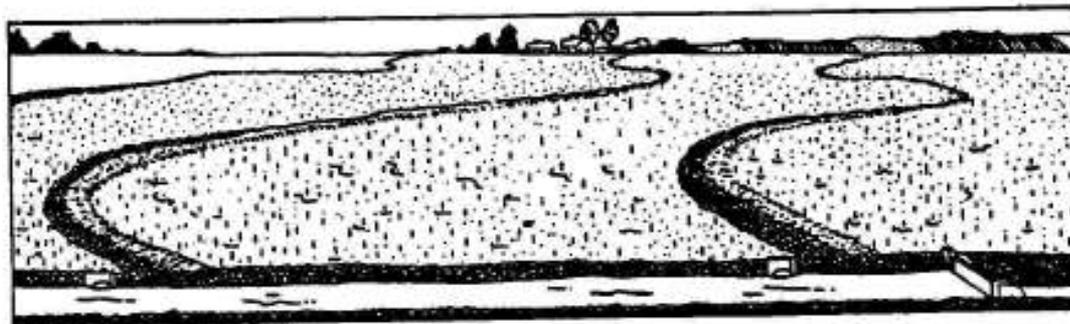
Riego por melgas



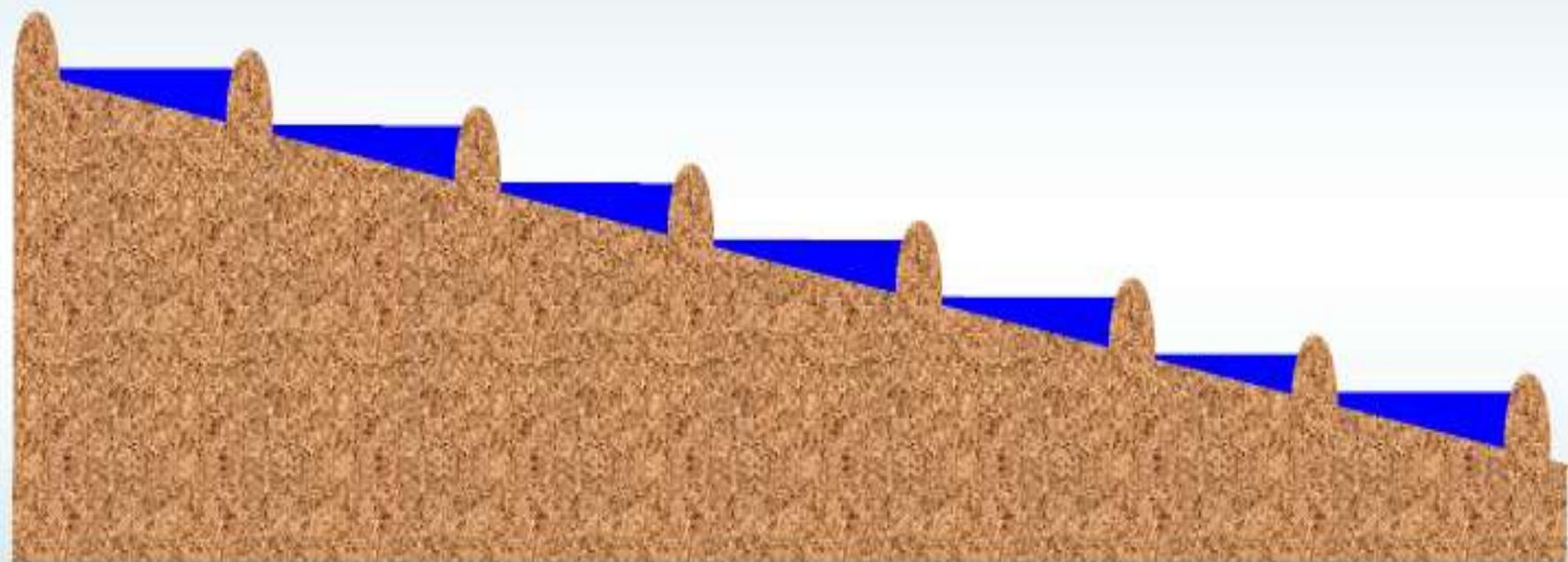
(a)

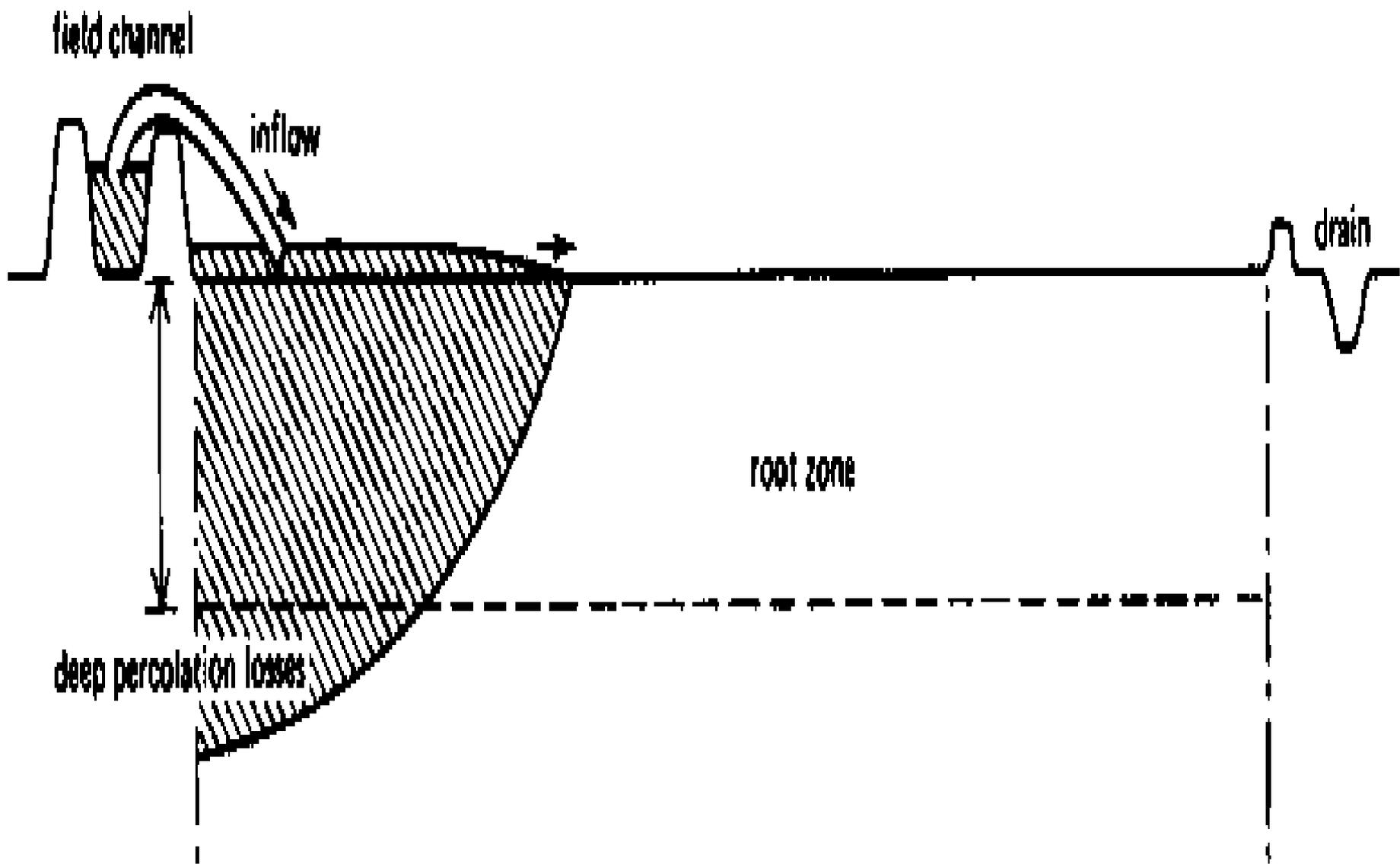


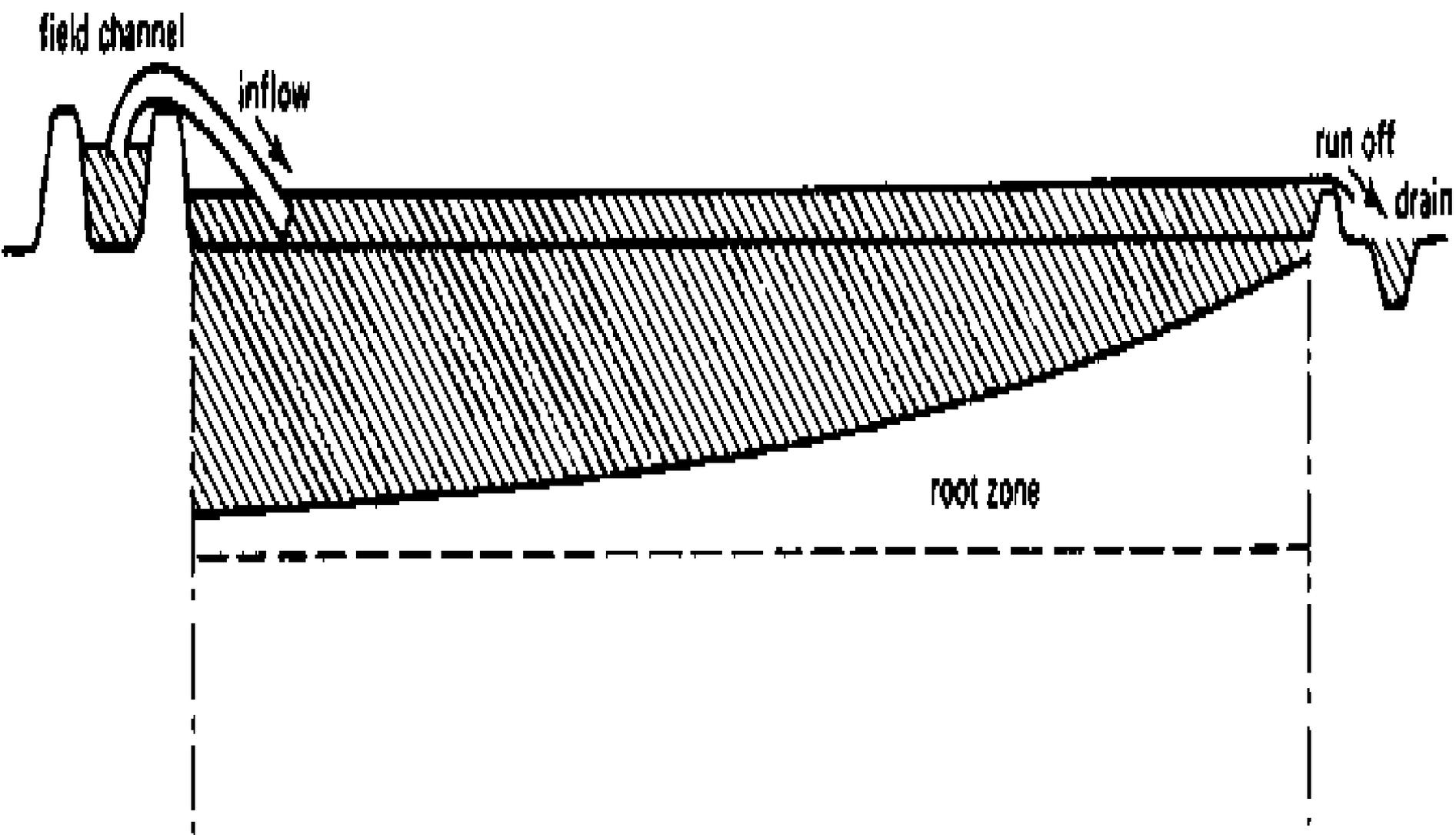
(b)



(c)







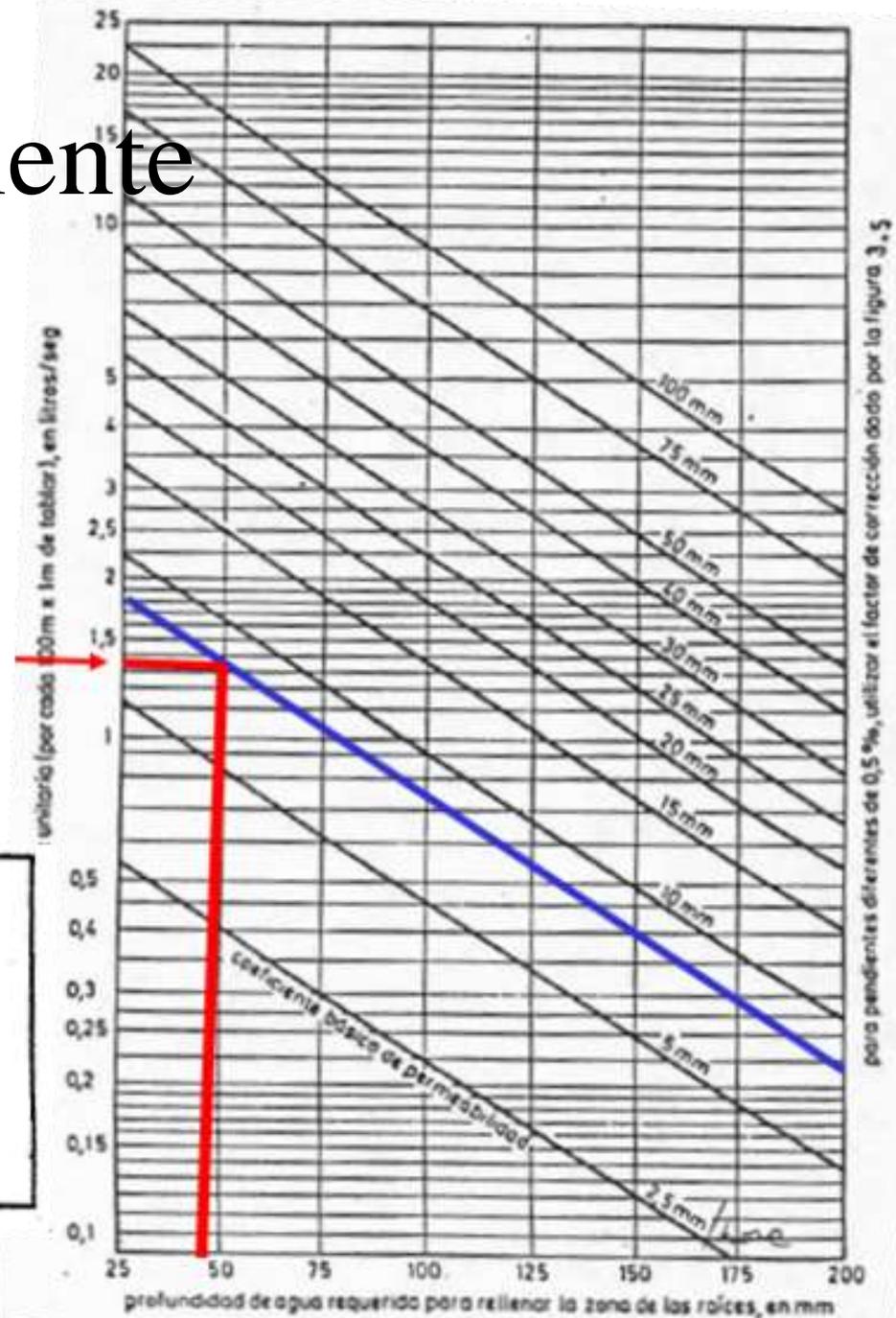
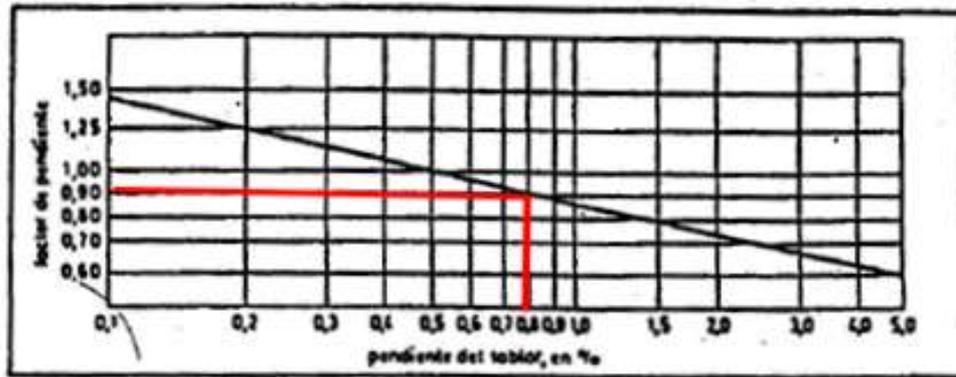
TEXTURAS	PENDIENTES (%)	LAMINA (mm)	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	CAUDAL l/s
Gruesa	0,25	50	150	15	225
	0,25	100	245	15	200
	0,25	150	400	15	170
	1	50	90	12	35
	1	100	150	12	70
	1	150	275	12	70
	2	50	60	9	35
	2	100	90	9	30
	2	150	185	9	30
Media	0,25	50	245	15	200
	0,25	100	400	15	170
	0,25	150	400	15	100
	1	50	150	12	70
	1	100	350	12	70
	1	150	400	12	70
	2	50	90	9	30
	2	100	185	9	30
	2	150	305	9	30

Melgas con pendiente

- Caudal Unitario (Q_u) por metro de ancho de melga a regar = caudal de entrada de agua a la cabecera de melga (símil QMNE en surco)
- Q_u l/s.m ancho de melga = $5,57 i^{-0,75}$
 - i = pendiente (%)

Pendiente, en %	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Caudal, en l/s . m	18,62	13,74	11,07	9,37	8,17	7,28

Melgas con pendiente



para pendientes diferentes de 0.5%, utilizar el factor de corrección dado por la figura 3.5

EFICIENCIA DE RIEGO

- Estima que porcentaje del agua total utilizada ha servido para cubrir las necesidades de los cultivos

- **EFICIENCIA DE CONDUCCION**

Volumen entregado en chacra

Volumen captado en boca toma

- **EFICIENCIA DE APLICACIÓN**

Lámina media almacenada en zona radical

Lámina derivada

- **EFICIENCIA DE ALMACENAJE**

Lámina media almacenada en zona radical

Lámina Neta de reposición calculada



$$E_{f(\%)} = \frac{V_{(\text{agua-retenida})}}{V_{(\text{agua-aplicada})}} \times 100$$