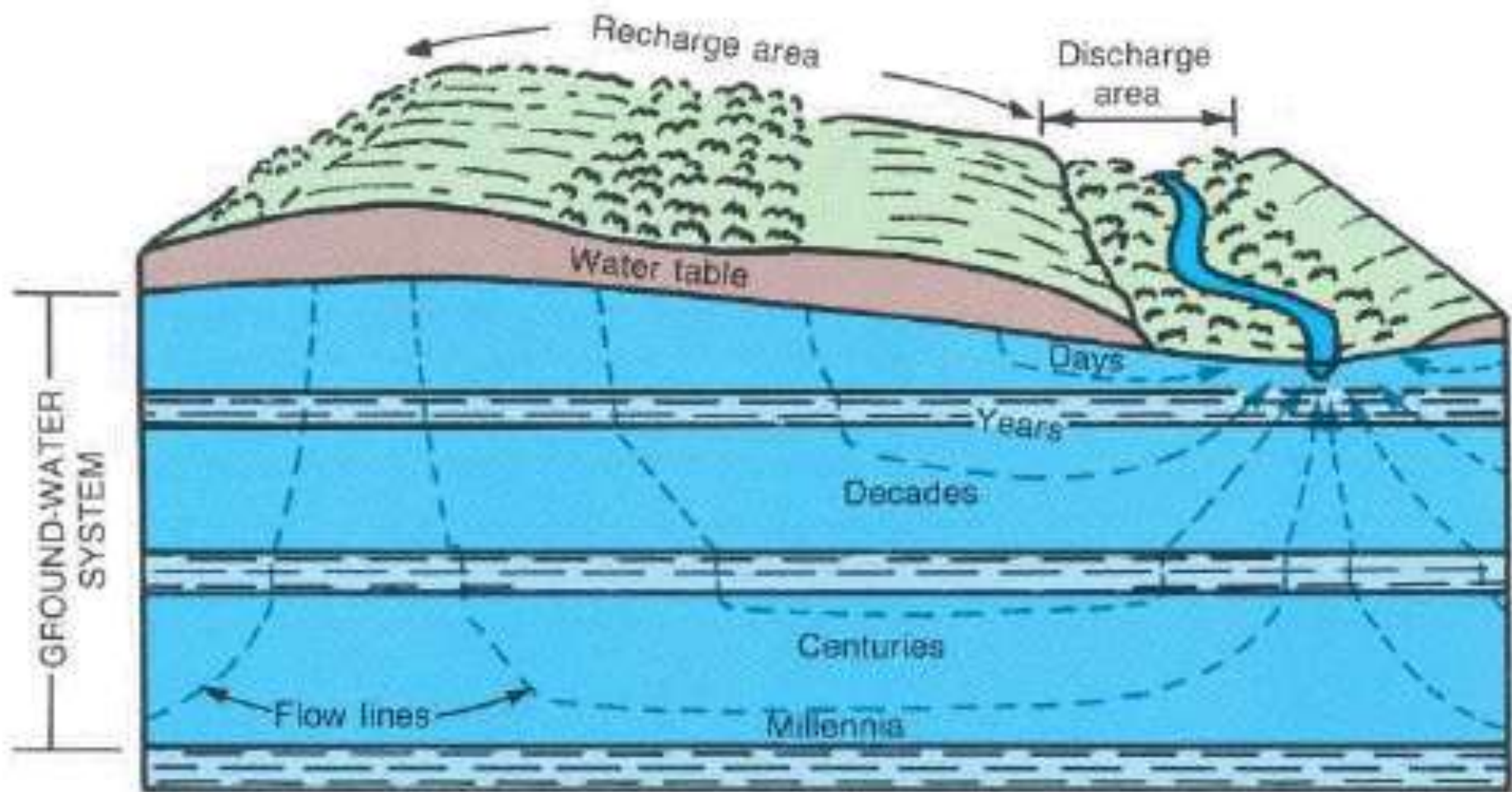


Drenaje agrícola: Objetivos

- Remoción del exceso de agua acumulada en superficie o perfil.
- Falta de drenaje origina problemas de:
 - Nivel freático alto
 - Salinidad
 - Inundación o encharcamiento



Drenaje agrícola

- Excesos hídricos: consecuencias
 - Directas: falta O₂ y niveles tóxicos CO₂, Fe, Mn, Sulfuro y gases orgánicos
 - Indirectas:
 - limitación en el tránsito vehicular
 - salinización y sodificación del suelo
 - condiciones favorables para enfermedades
 - alteración de la disponibilidad de nutrientes



Problemáticas más comunes

- Húmedas: inundación y anegamiento por precipitaciones en exceso u obstáculos al flujo hídrico
- Áridas: ascenso freático por:
 - Ineficiencia de los riego
 - Filtración de la red de conducción y almacenaje
 - Inexistencia o mal funcionamiento de las redes de drenaje.

Beneficios del drenaje

- Mejora la relación aire agua del suelo
- Aumenta el volumen a explorar de las raíces
- Permite un calentamiento temprano de los suelos
- Aumenta la actividad microbiana del suelo
- Lava sustancias tóxicas y sales
- Disminuye erosión
- Facilita labores culturales
- Mayor sanidad

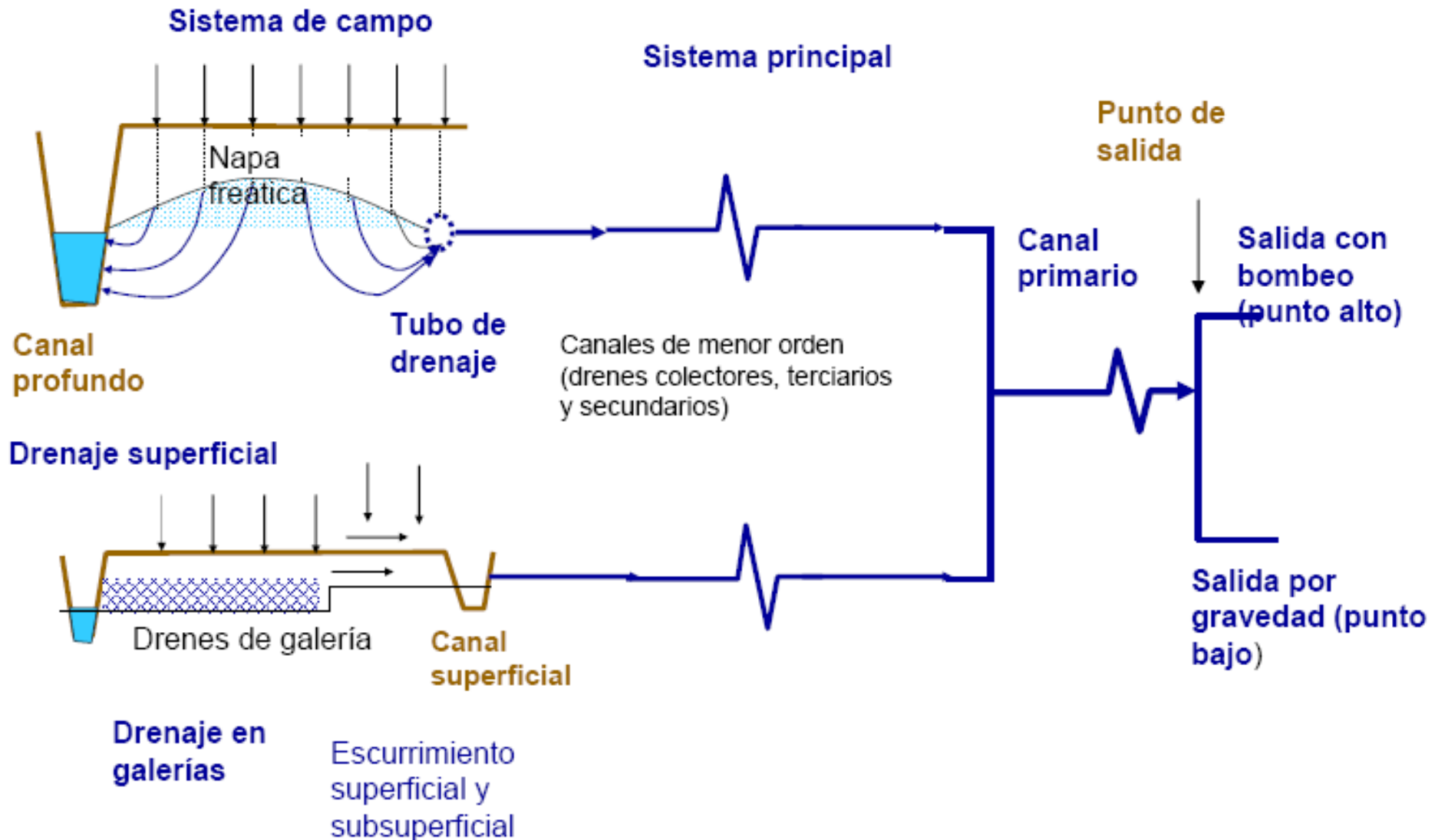
Sistemas de drenaje

- Sistemas de campo
 - Drenaje superficial (encharcamiento, saturación del suelo)
 - Drenaje de perfil (mala percolación, napa de agua)
- Partes:
 - Sistema principal
 - Recibe agua de los sistemas de campo y los conduce a la salida.
 - Compuesto por canales de distinto orden

Sistemas de drenaje

- Salida
 - Punto terminal del sistema.
 - Descarga en un drenaje natural
 - El nivel de agua determina:
 - La base del drenaje
 - La carga hidráulica disponible para el flujo
 - El nivel al cual se podrán bajar las napas
 - La posibilidad de drenar por gravedad o si es necesario bombear

Principales componentes de un sistema de drenaje



Drenaje superficial

- Sistematización de áreas y/o nivelación de tierras (eliminación del microrelieve)
 - Emparejamiento
 - Conformación
 - Nivelación

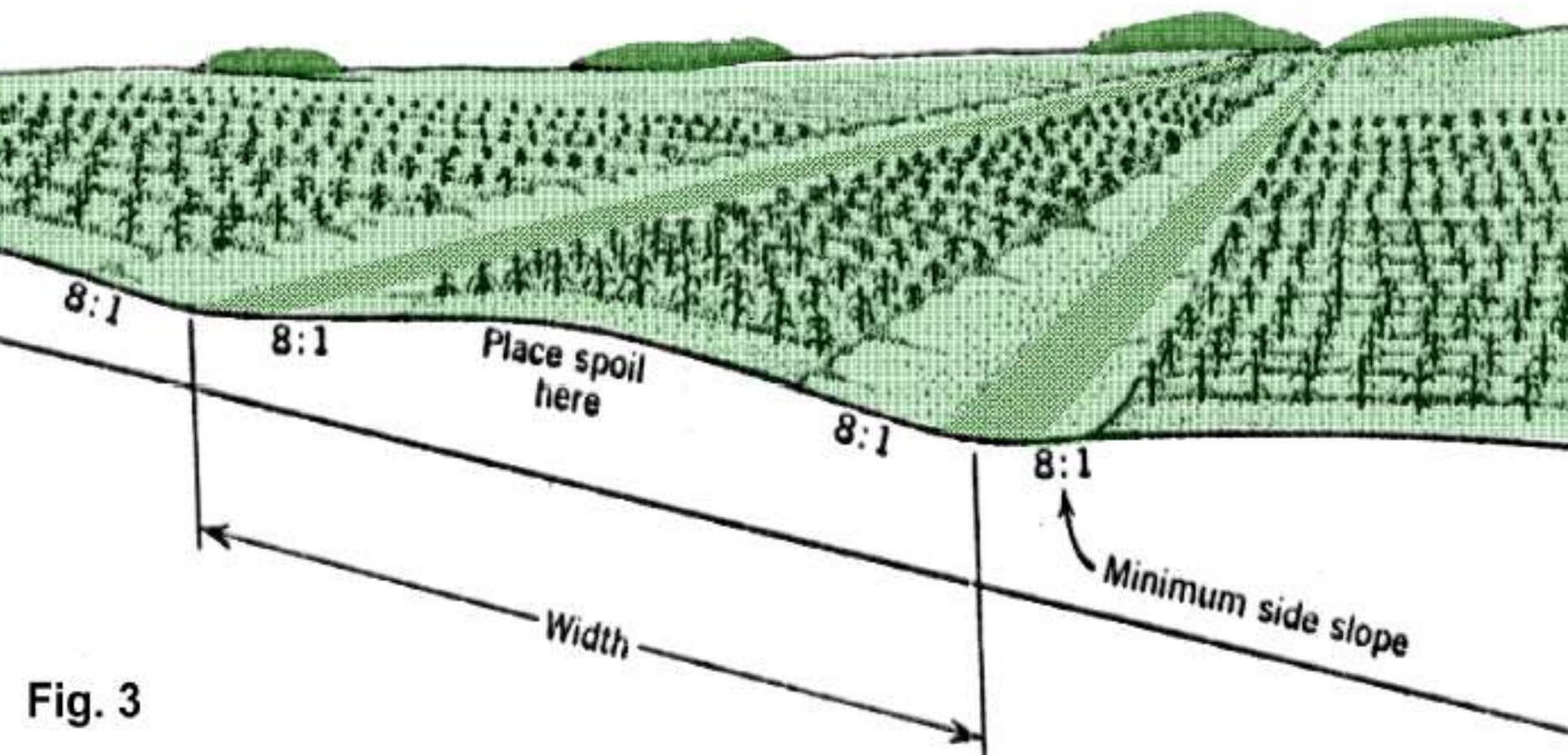


Fig. 3

Drenaje superficial

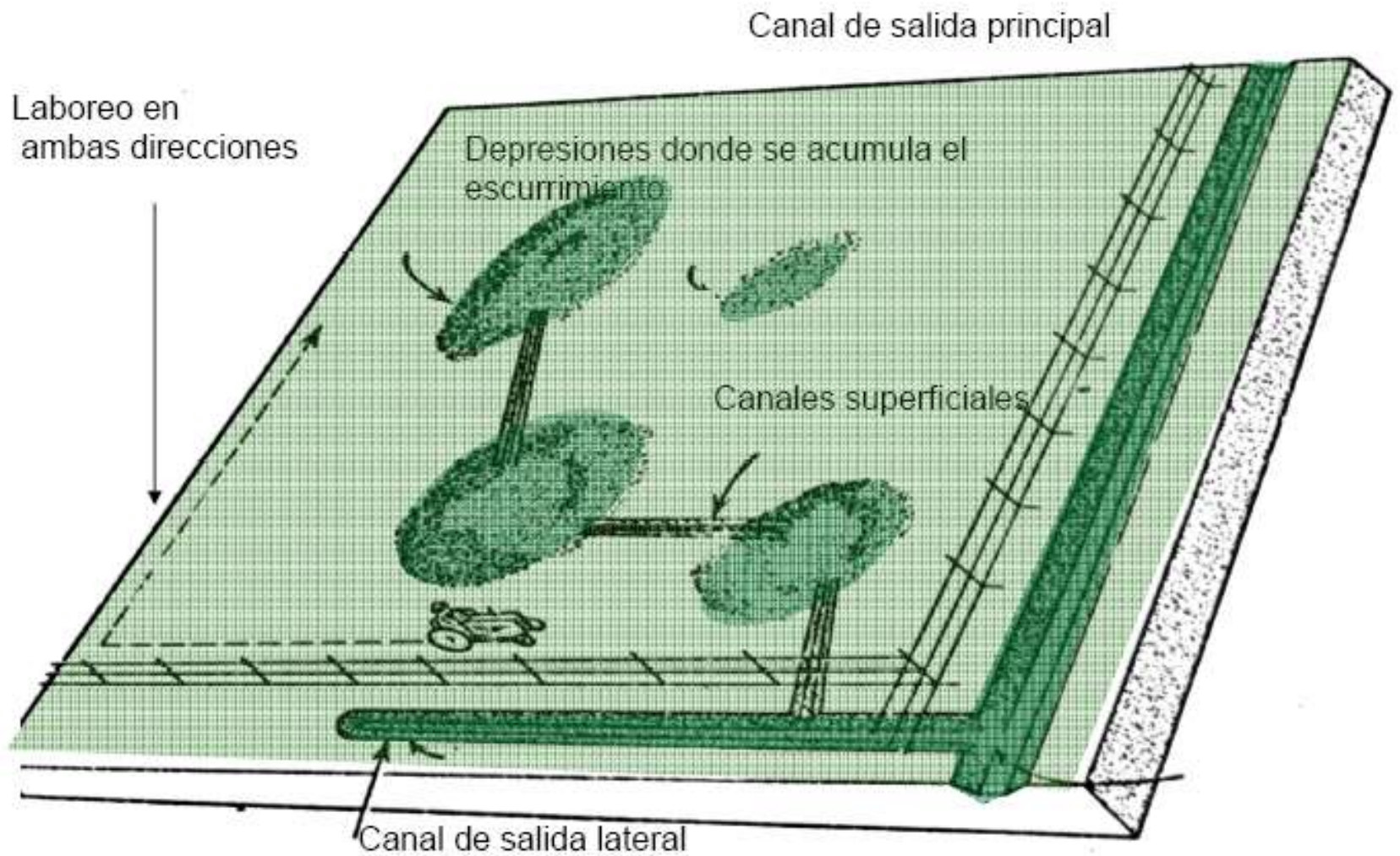
- Sistematización de áreas y/o nivelación de tierras (eliminación del microrelieve)
 - Conformación
 - Nivelación
 - Emparejamiento
- Canteros y camellones



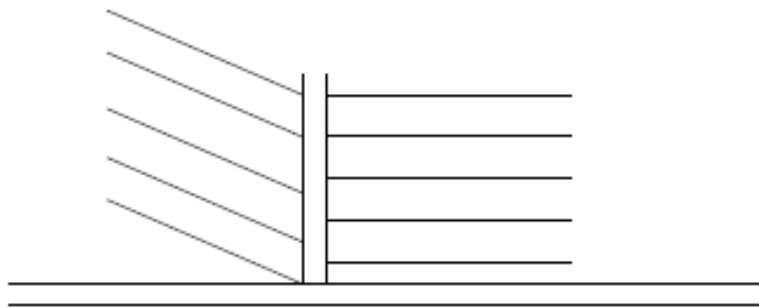
Drenaje superficial

- Sistematización de áreas y/o nivelación de tierras (eliminación del microrelieve)
 - Conformación
 - Nivelación
 - Emparejamiento
- Canteros y camellones
- Drenaje propiamente dicho: formado por drenes abiertos
 - Paralelos, casualizado y transversal

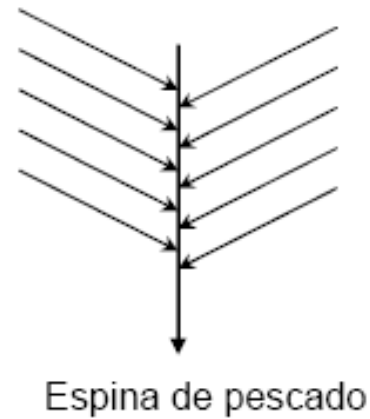
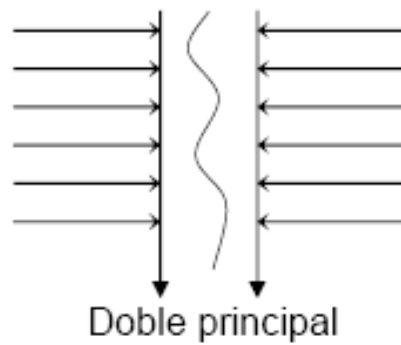
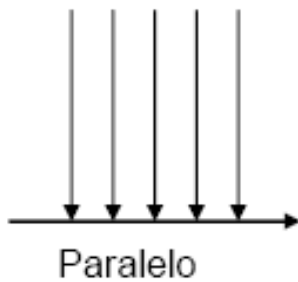
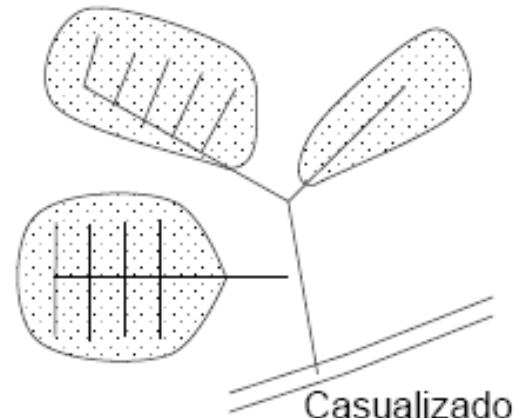
Sistema casualizado



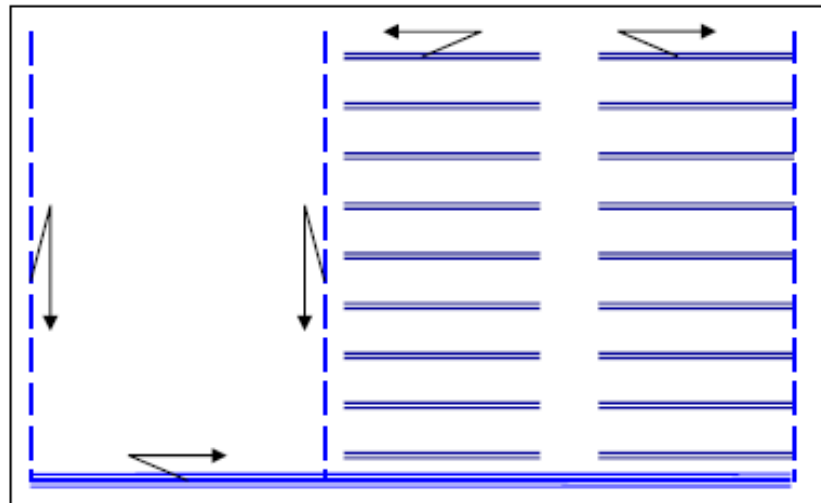
Sistemas de alivio mas comunes



Sistema mixto



Disposición en el campo



— Drenes de alivio entubados

- - - Canal colector

== Canal principal

Longitud de drenes 300m

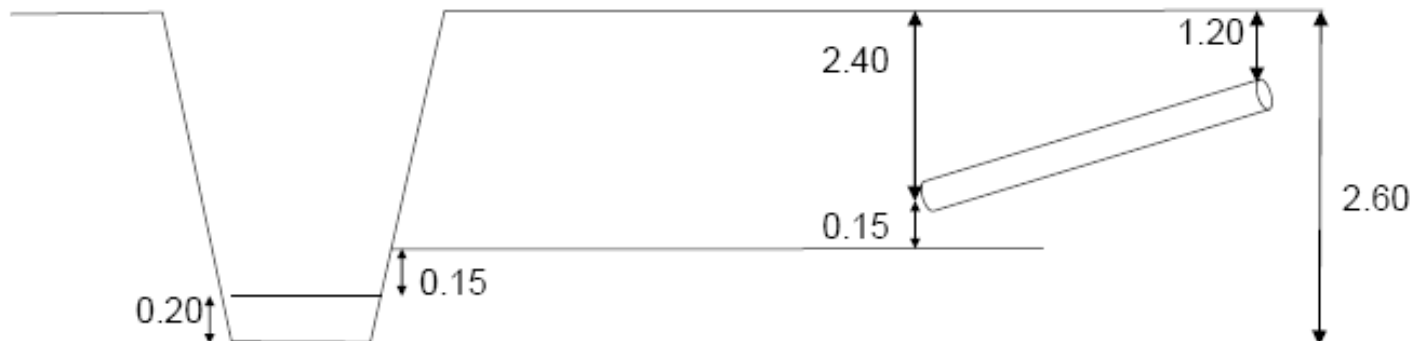
Pendiente 3 %

Desnivel 0.90 m

Desagüe 15 cm encima del fondo

Pendiente colector = pendiente terreno

"h" principal 20 cm



Tipos de drenes

- Abiertos
 - Ventajas
 - Mayor eficiencia del drenaje
 - Bajo costo de implantación
 - Desventajas
 - Alto costo de mantenimiento
 - Pérdida de área útil para el cultivo
 - Desmoronamientos laterales





JUN 16 2000

Tipos de drenes

- Galería o topo: galerías abiertas con subsolador y bocha (suelo húmedo)
 - Ventajas
 - Bajo costo de implantación
 - Indicado para arcillosos donde el espaciamiento de los drenes normales sería muy alto
 - Se usa toda el área
 - Desventajas
 - Baja durabilidad
 - Erosión interna



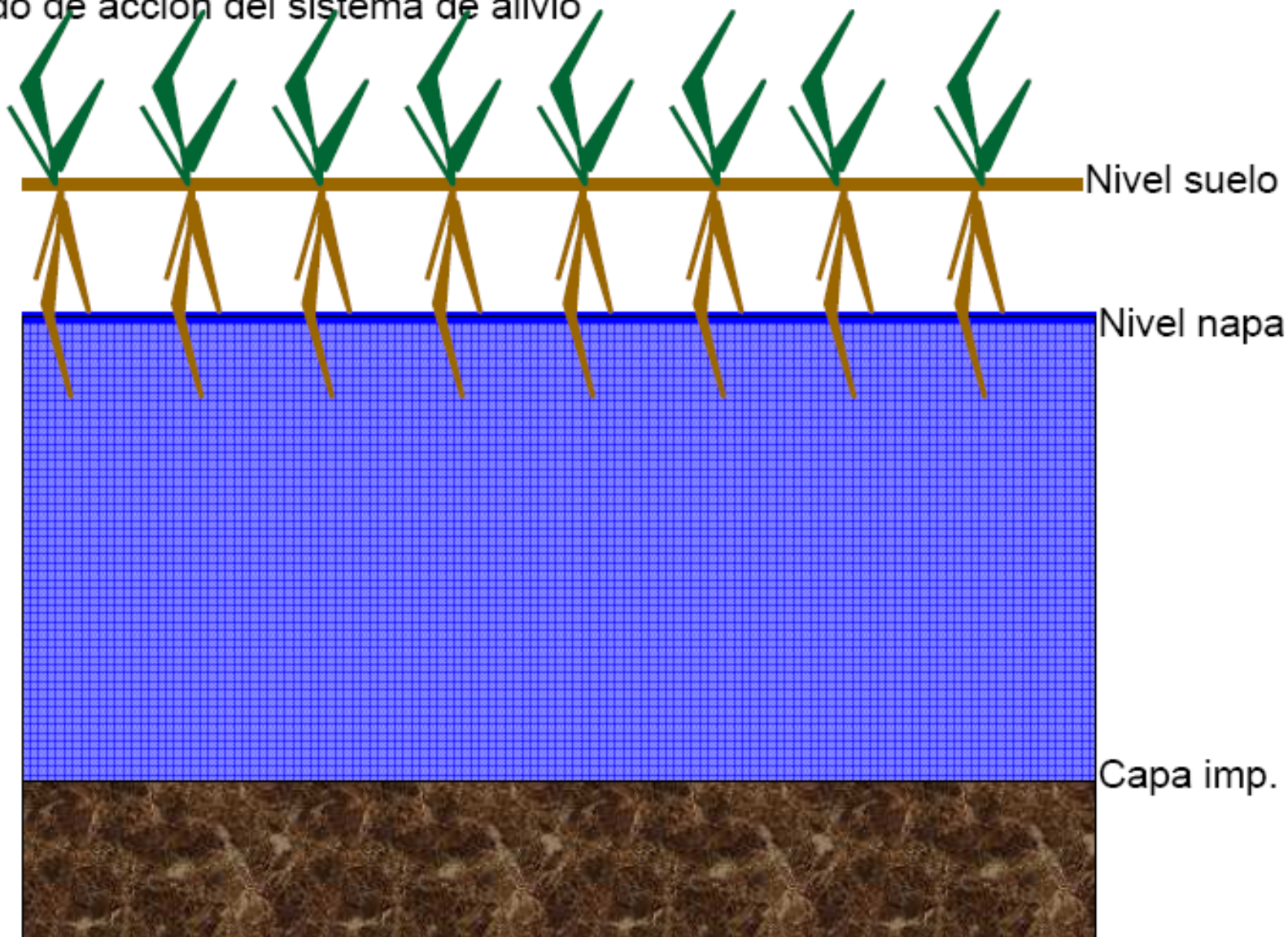




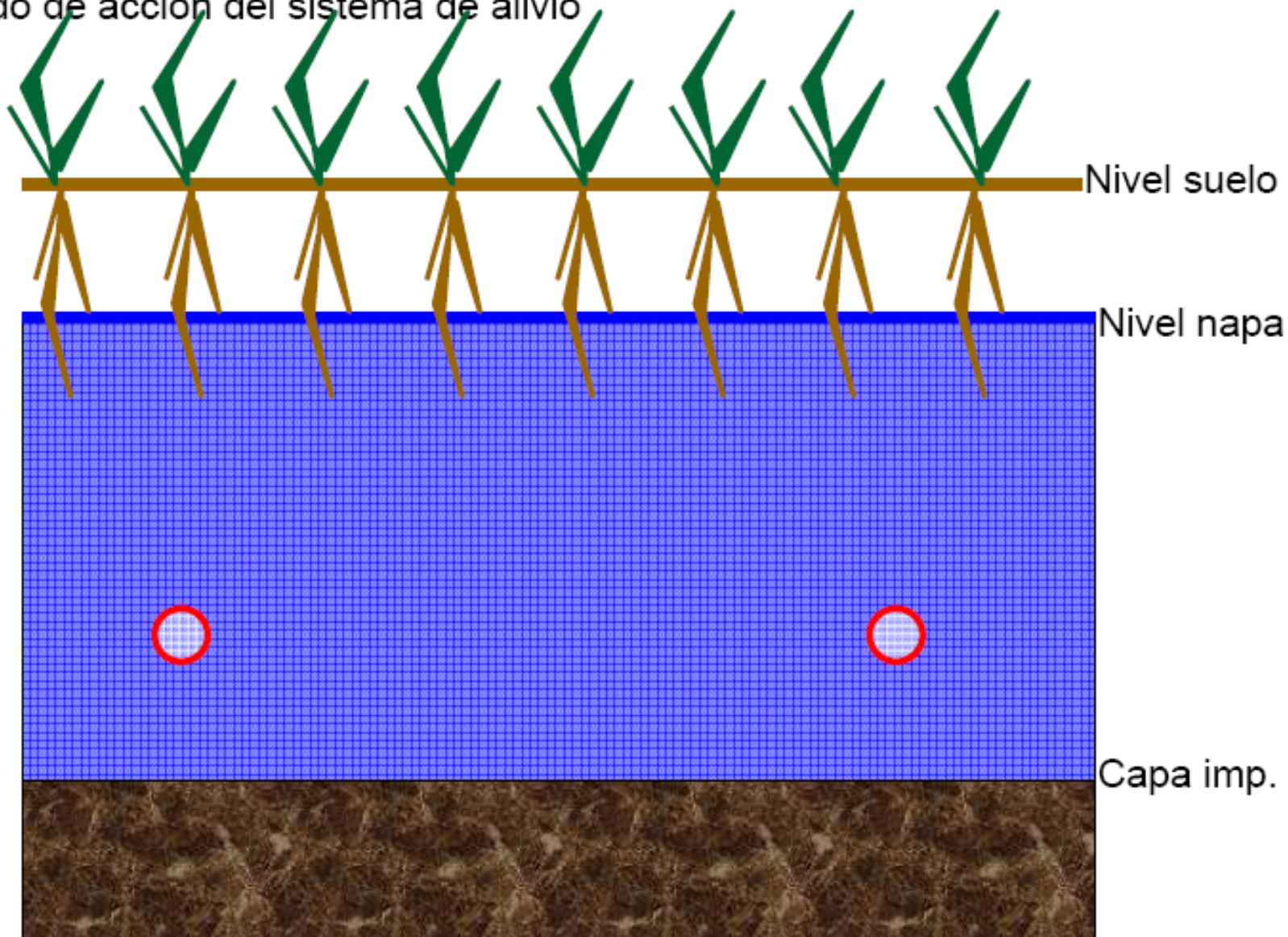




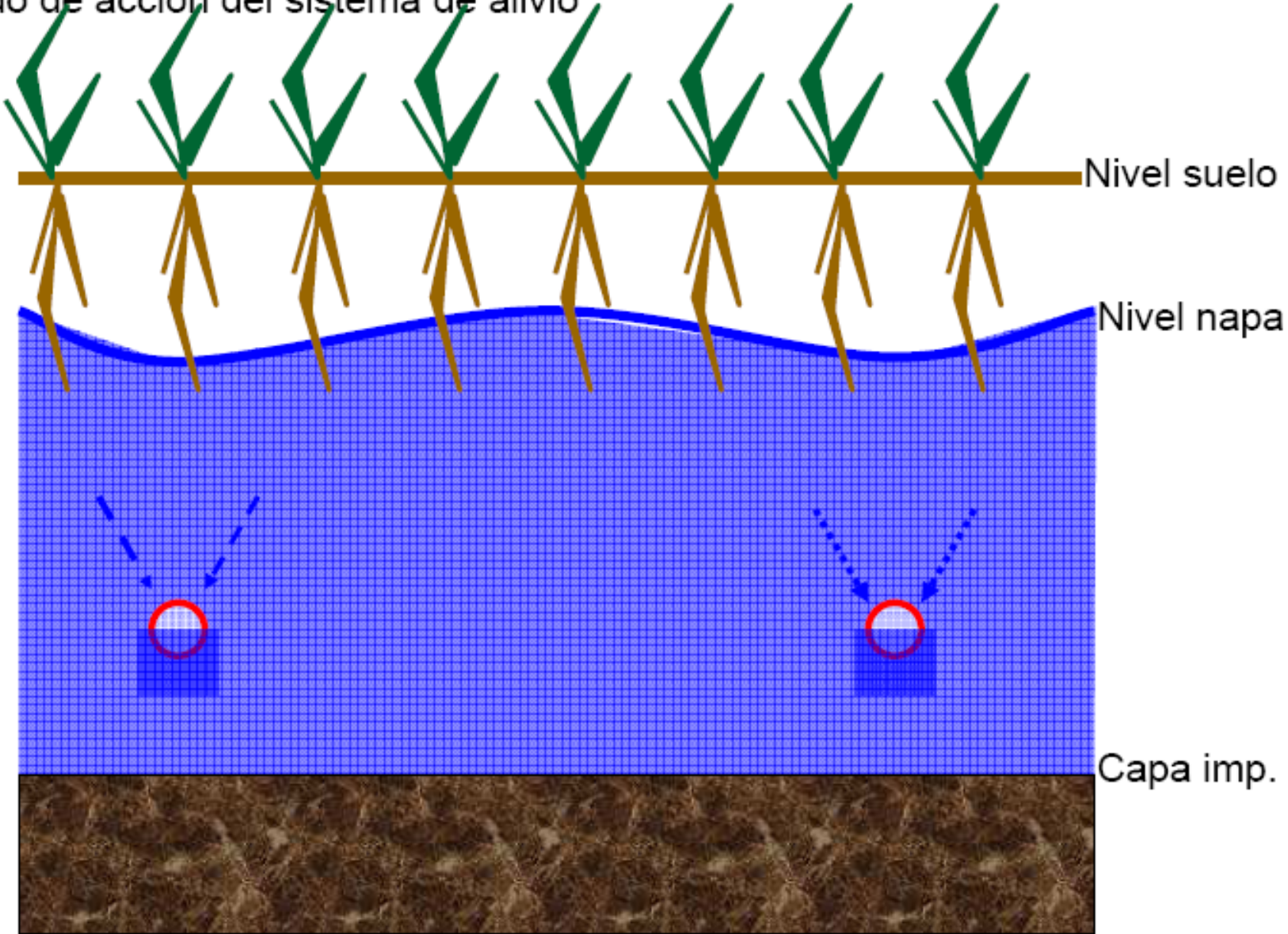
Modo de acción del sistema de alivio



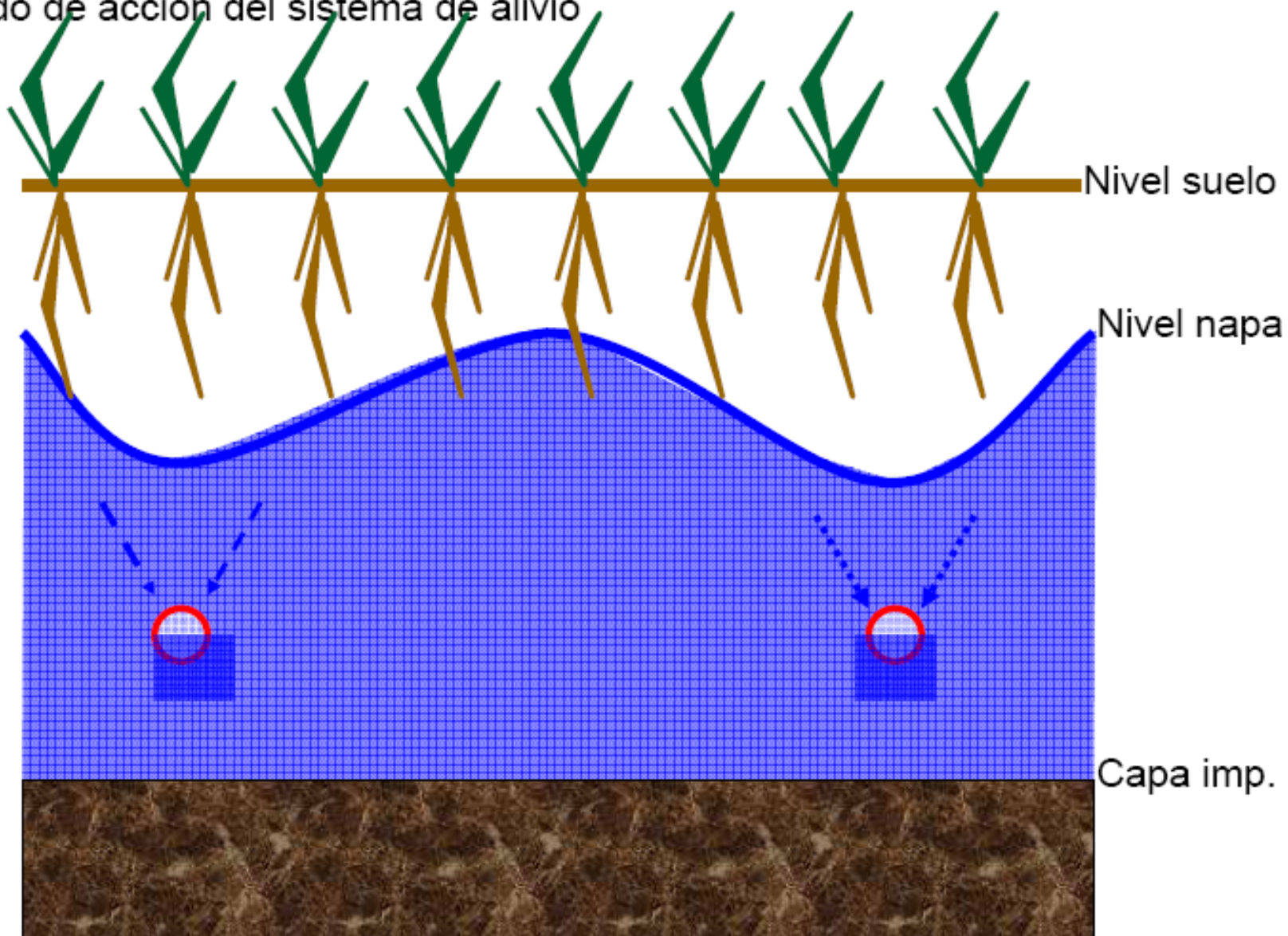
Modo de acción del sistema de alivio



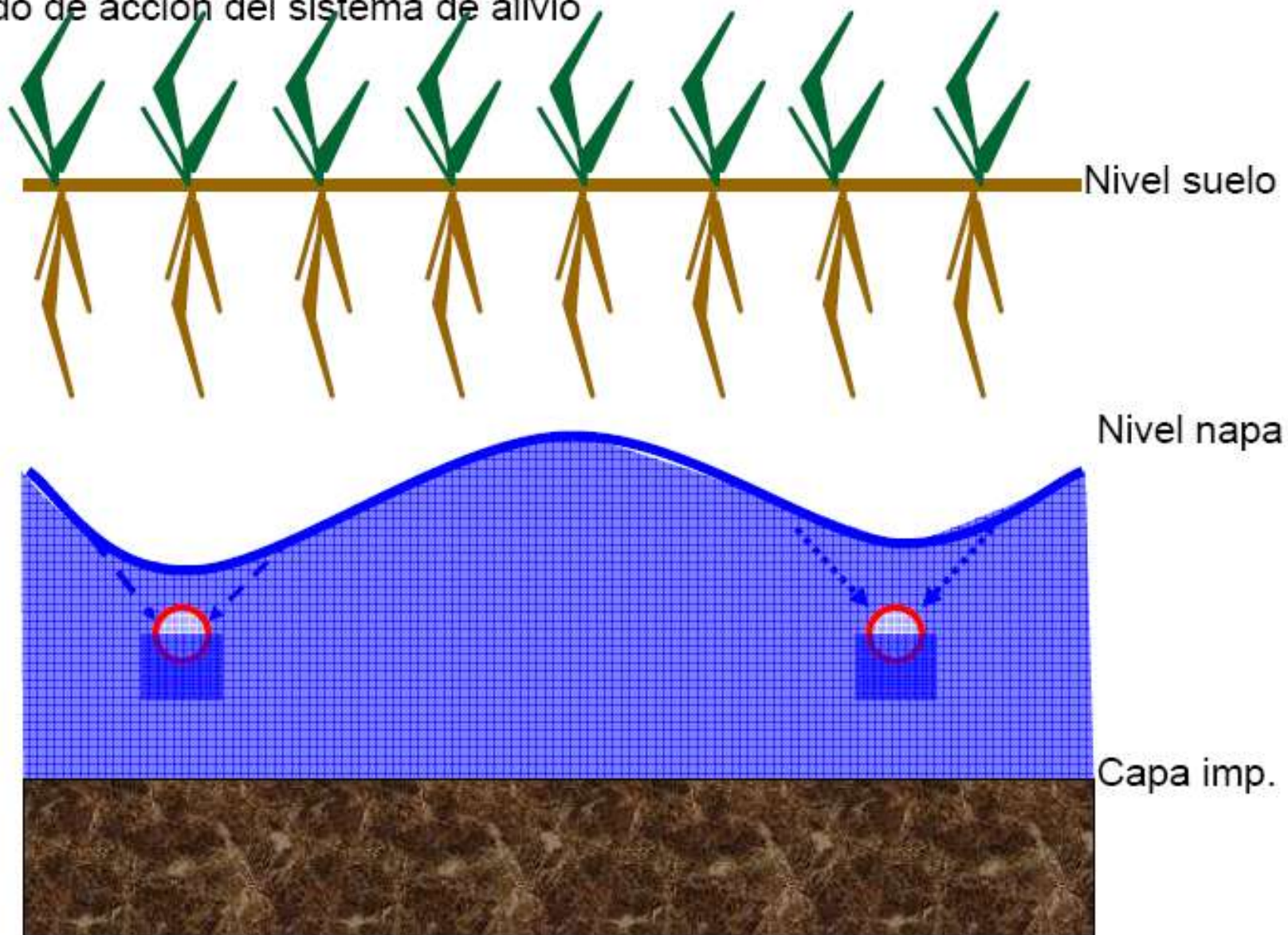
Modo de acción del sistema de alivio



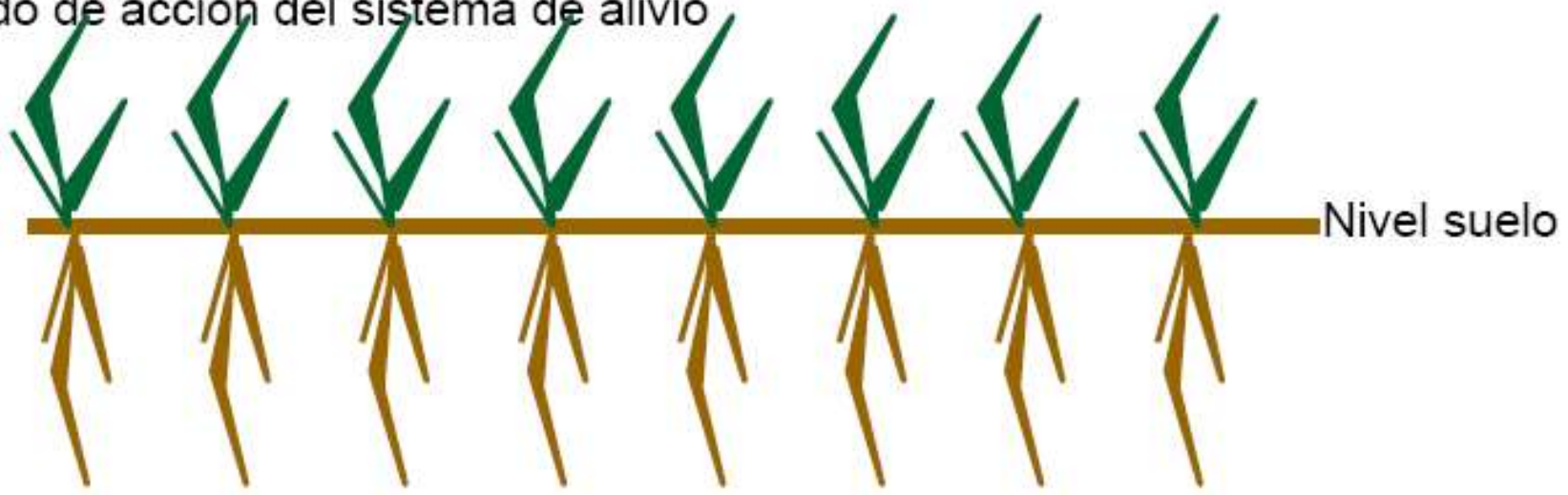
Modo de acción del sistema de alivio



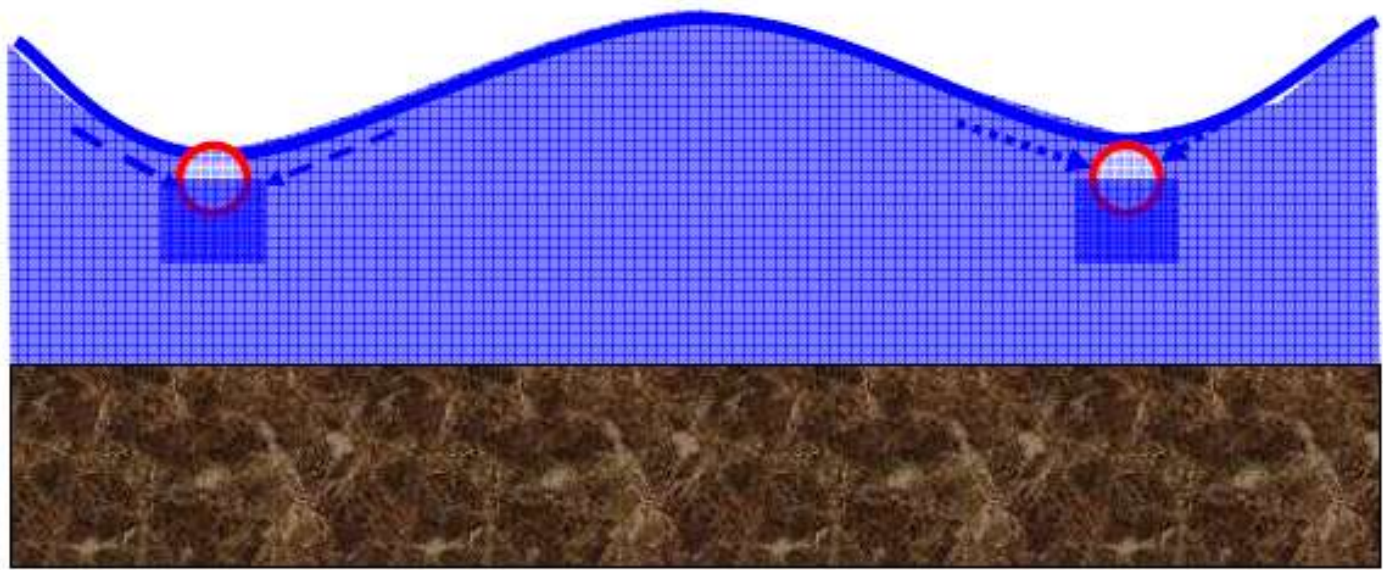
Modo de acción del sistema de alivio



Modo de acción del sistema de alivio



Nivel napa



Capa imp.

Tipos de drenes

- Tubulares: instalados a determinada profundidad, respetando el espaciamiento, el diámetro, pendiente y disposición
- Materiales
 - Fajas de cañas, cañas sin tabique
 - Piedras
 - Telas
 - Maderas
 - Tubos de barro, concreto, polietileno o PVC





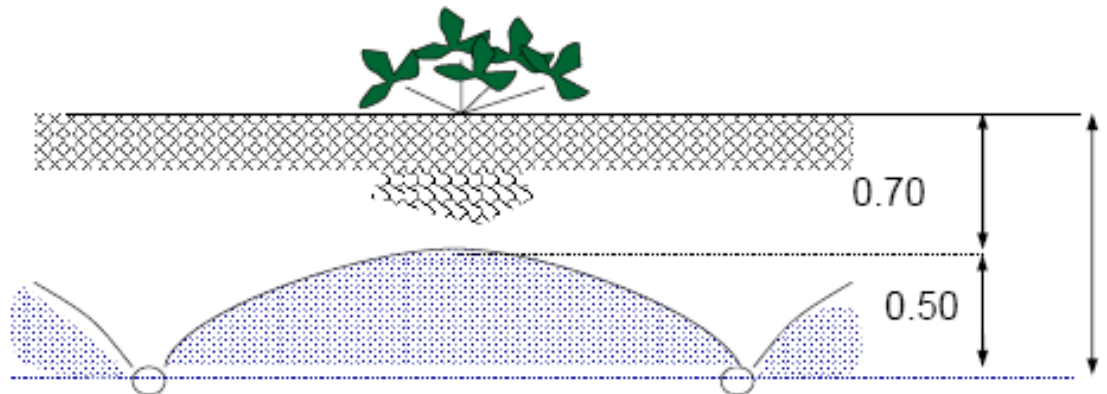
AMANCO DURAGRO LINE



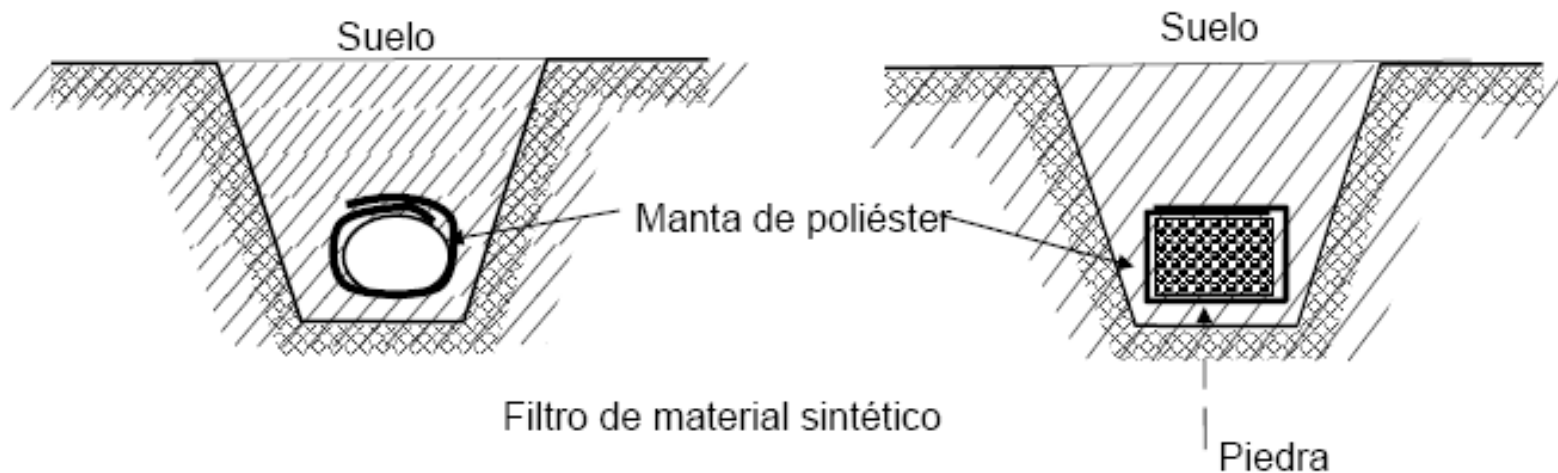
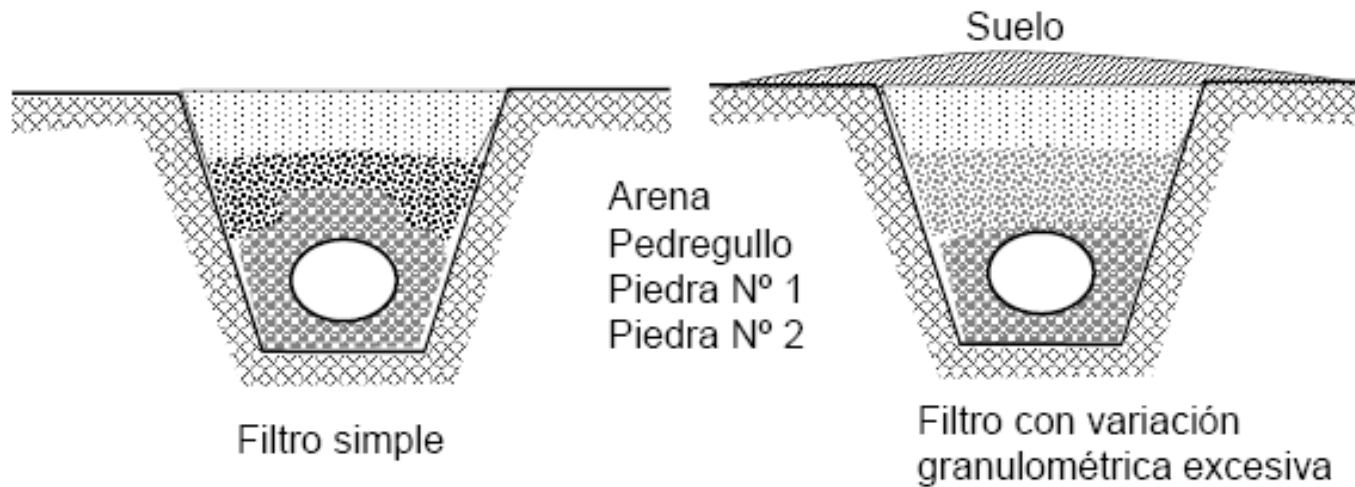


Drenes

- Filtros
 - Arena
 - Grava
 - Fibra de palmera
- Pendiente tal que permita autolavado (0,4 m/s). A mayor pendiente menor diámetro y mas profundo el dren colector



Filtros para drenes tubulares







20.5.2.9



Investigaciones básicas

- Propiedades físicas del suelo
 - Porosidad drenable
 - Profundidad de la capa impermeable
 - Conductividad hidráulica
- Flujo subterráneo de agua
 - Curvas de nivel de la napa
 - Flujo de la napa
 - Identificación de puntos de carga y descarga
- Tolerancia de las especies

Rendimiento relativo de algunos cultivos por efectos del nivel freático variable

CULTIVO	SUELO	PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO (cm)								
		15	30	45	60	75	90	100	120	150
Trigo	Arc.			58	77	89	95			100
Cebada	Arc.			58	80	89	95			100
Avena	Arc.			49	74	85	95			100
Alfalfa	Lim.Arc.				100				97	
Maíz	Arc.Lim.	45	55	67	70		100			
Maíz	Ar. Lim.	80	100	96	83					
Maíz	Lim.Arc.		41	82	85	100	85	45		
Arveja	Arc.			50	90		100	100	100	100
Poroto	Arc.			79	84		90		94	100
Soja	Lim.Ar.	64	63	78	100	86				
Tomate	Lim.	9	28	47	60		100			
Remola.	Arc.			71	84		92		97	100
Papa	Arc.			90	100		95	92		
Sorgo	Arc.	73	86	93	100	93				
Repollo	Lim.Ar.	65	80	100	90	80				
Zapallo	Lim.	21	48	58	65	78	90	100		

Disminución de rendimiento en cultivos sometidos a inundación

CULTIVO	NUMERO DE DIAS DE INUNDACION			
	3	7	11	15
Forrajeras peren.	10	25	55	85
Pasturas	0	14	26	42
Boniato	42	84	100	100
Girasol	10	28	50	72
Cáñamo	15	40	61	88
Cereales	14	36	60	90
Maíz	13	57	85	100
Remolacha azuc.	10	44	91	100

Requerimientos de drenaje

- Cantidad de agua a evacuar cuando la precipitación en exceso es de 30 mm y la tolerancia de las plantas es de 3 días
- Dotación de drenaje: 30 mm = 300 m³/ha a evacuar en 3 días = 100 m³/ha . día = 1,16 l/s . ha

Ascenso freático

- Se utiliza la porosidad efectiva, porosidad eficaz, porosidad drenable o rendimiento específico de la freática
- $S = \text{Porosidad drenable} = (W_s - W_c) / 100$
- $W_s = \% P = 100 (\delta \text{ real} / \delta \text{ aparente}) / \delta \text{ real}$

Ejemplo

- Nivel freático antes de llover 43 mm es de 0,60 m.
- Coeficiente de efectividad $C_e = 0,7$
 - Lámina escurrida $L_e = P_e * (1 - C_e) = 13$ mm
 - Lámina infiltrada $L_i = P_e * C_e = 30$ mm
- W_s o % $P = 55$ %, $W_c = 30$ % y $W_{act} = 28$ % o mm/dm
- Porosidad drenable
 - $S = W_s - W_c = 55\% - 30\% = 25\%$ o mm/dm
- Lámina retenida en zona insaturada
 - $W_c - W_{act} = 2$ % o 2 mm/dm. Para 6 dm, 12 mm.
 - Los 18 mm restantes filtrarán elevando el nivel freático.
- Elevación $E = 18$ mm / 25 mm/dm = 0,72 dm = 0,072 m
- La nueva posición del nivel freático será:
 - $0,6$ m – 0,072 m = 0,528 m desde la superficie

- Ascensos freáticos causados por:
 - Ineficiencias de los métodos de riego
 - Filtración de canales y embalses
- Dotación de drenaje:
 - Evacuación de un caudal continuo por unidad de superficie, asociado con la tolerancia de los cultivos al exceso hídrico

Ejemplo

- Distrito de riego de 1.000 ha
- Eficiencia de aplicación 50 %
- Láminas brutas de 50 mm
- IR= 5 días
- Agua a drenar: 25 mm cada 5 días, o sea 5 mm / día.
 - Dotación D 1 = $50 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{d} = 50.000 \text{ l} / \text{ha} \cdot \text{d} = 0,58 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$.
- Eficiencia de conducción canales 80 %
- Caudal $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Filtrarán $0,3 \text{ m}^3/\text{s} = 300 \text{ l/s}$, que para 1.000 ha equivalen a
 - Dotación D 2 = $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$
- La dotación o coeficiente de drenaje será de $0,88 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$.

Estimación del caudal que fluye en el medio poroso

- H. Darcy (1856) experimentó un modelo para explicar el flujo hídrico en suelos saturados e insaturados
- $Q \text{ (L}^3/\text{t)} = K \text{ (L/t)} * A \text{ (L}^2) * i$
 - Q = caudal ($\text{m}^3/\text{día}$)
 - A = área (m^2)
 - K = conductividad hidráulica (m/día)
 - i = gradiente hidráulico adimensional, diferencia de energía entre dos puntos, referido a la distancia que los separa.
 - $i = \frac{h_{p_1} - h_{p_2}}{L_{1-2}} = \text{m/m}$
 - h_{p_1} = altura de presión hidrostática o hidráulica en la posición 1, en m
 - h_{p_2} = altura de presión hidrostática o hidráulica en la posición 2, en m
 - L_{1-2} = distancia entre 1 y 2, en m

Transmisividad

- $T = K * e$
 - T = transmisividad, en m^2/s
 - K = conductividad hidráulica m/día
 - e = espesor de acuífero o zona saturada, en m
- El área donde fluye el agua subterránea, debe considerarse una sección hidráulica, cuyos componentes son el espesor de la zona saturada y el ancho que se considere unitario, (100 m, 10 km, etc)

Ejemplo

- Estrato saturado del subsuelo de $K = 25 \text{ m/día}$
- Espesor = 12 m
- El acuífero tiene una presión aguas arriba de $10,5 \text{ m}$ y aguas abajo $8,5 \text{ m}$ con estaciones distanciadas 10 km .
- Operando la ecuación de Darcy, para una franja de 100 m de ancho
- $Q = 25 \text{ m/d} * 12 \text{ m} * 100 \text{ m} * [(10,5 \text{ m} - 8,5 \text{ m}) / 10.000 \text{ m}] = 6 \text{ m}^3/\text{d} = 0,069 \text{ l/s}$

Valores de conductividad hidráulica orientativos

MATERIAL SEDIMENTARIO	K (m/d)	K (cm/h)
Grava	7.200	
Arena gruesa	72	
Arena media	24	
Arena fina	0,72	
Limo		0,03
Arcilla		0,0003

Drenaje zonal

- Objetivo:
 - Identificar las causas que producen la elevación del nivel freático, para definir áreas que necesiten drenaje parcelario o cuáles sólo requerirán de la construcción de colectores.

Estudios areales

- isohietas, líneas de igual nivel freático
- isolíneas equipotenciales, isohipsas, isopiezas
- identificar zonas de recarga y descarga de la freática.
- freatígrafos o limnógrafos

Cartografía a utilizar

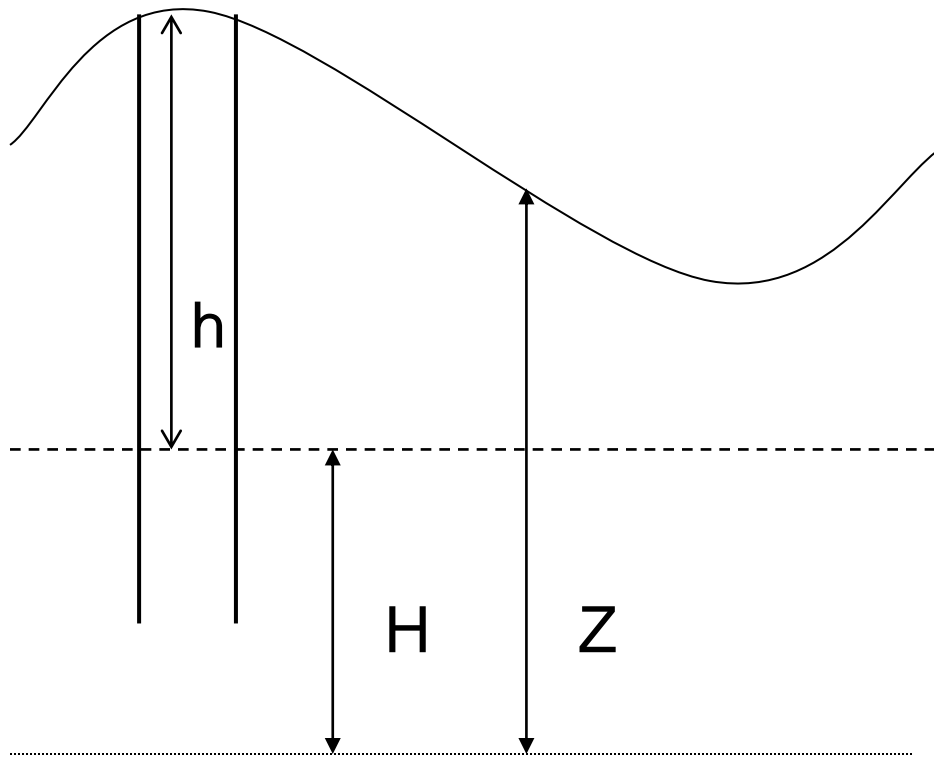
- Física
 - mapas hidrogeológicos, geológicos, estructural, geomorfológico e isopáquico (igual espesor)
- Hidroquímica
 - isoconas (igual salinidad),
 - isocónicos (iguales contenidos iones),
 - isorrelaciones iónicas bicarbonatos/Cl, Ca/Mg, SO₄/CL
 - Utilitarios: mapas de RAS, de PSI y CSR
- Hidrodinámicos
 - mapas de isoprofundidad del nivel de agua subterránea
 - mapas equipotenciales.
 - Isofreáticos o isopiecícos (acuífero)
 - Red de flujo o equipotencial
 - mapas de isovariabilidad. variación de los niveles para un determinado período

$$H = Z - h$$

Z = cota topográfica

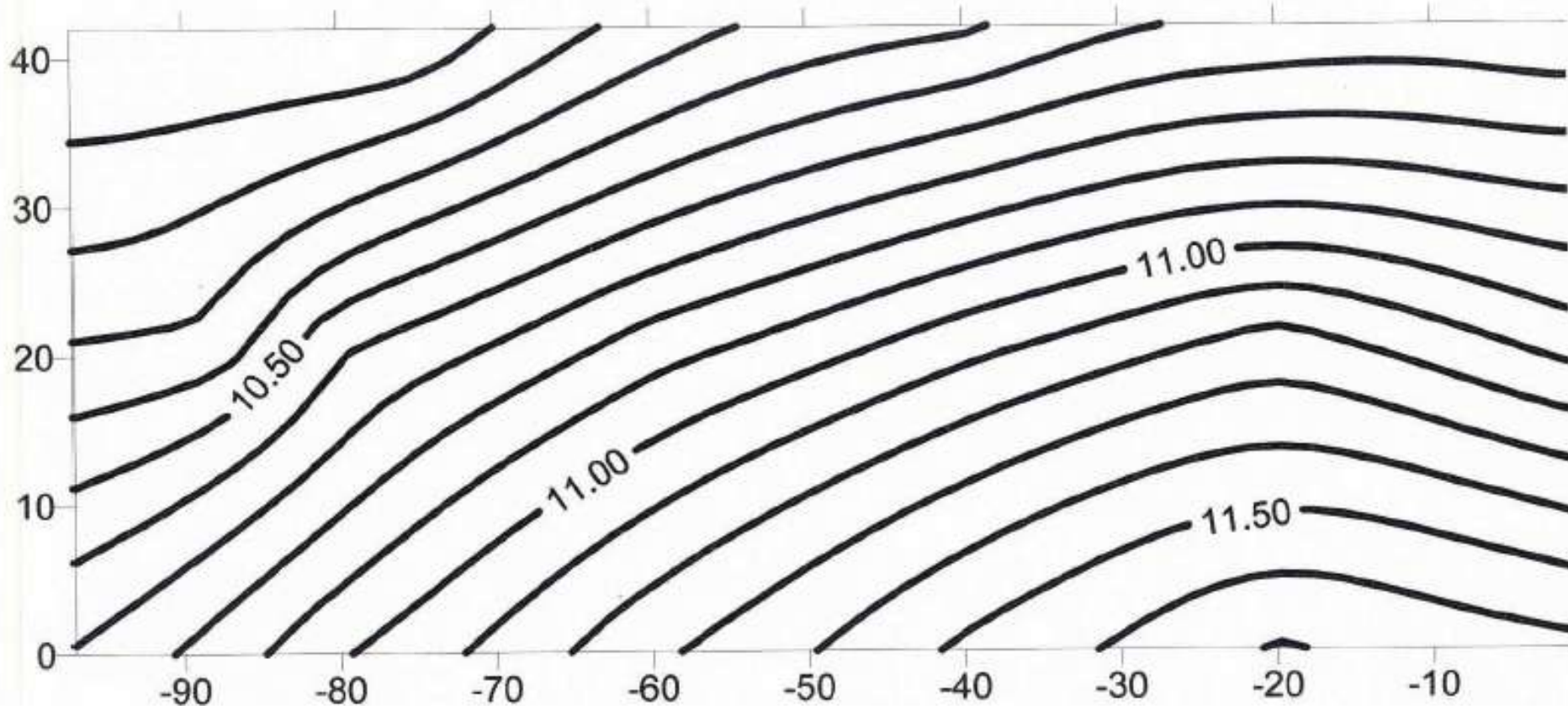
h = profundidad del nivel freático

H = nivel freático.

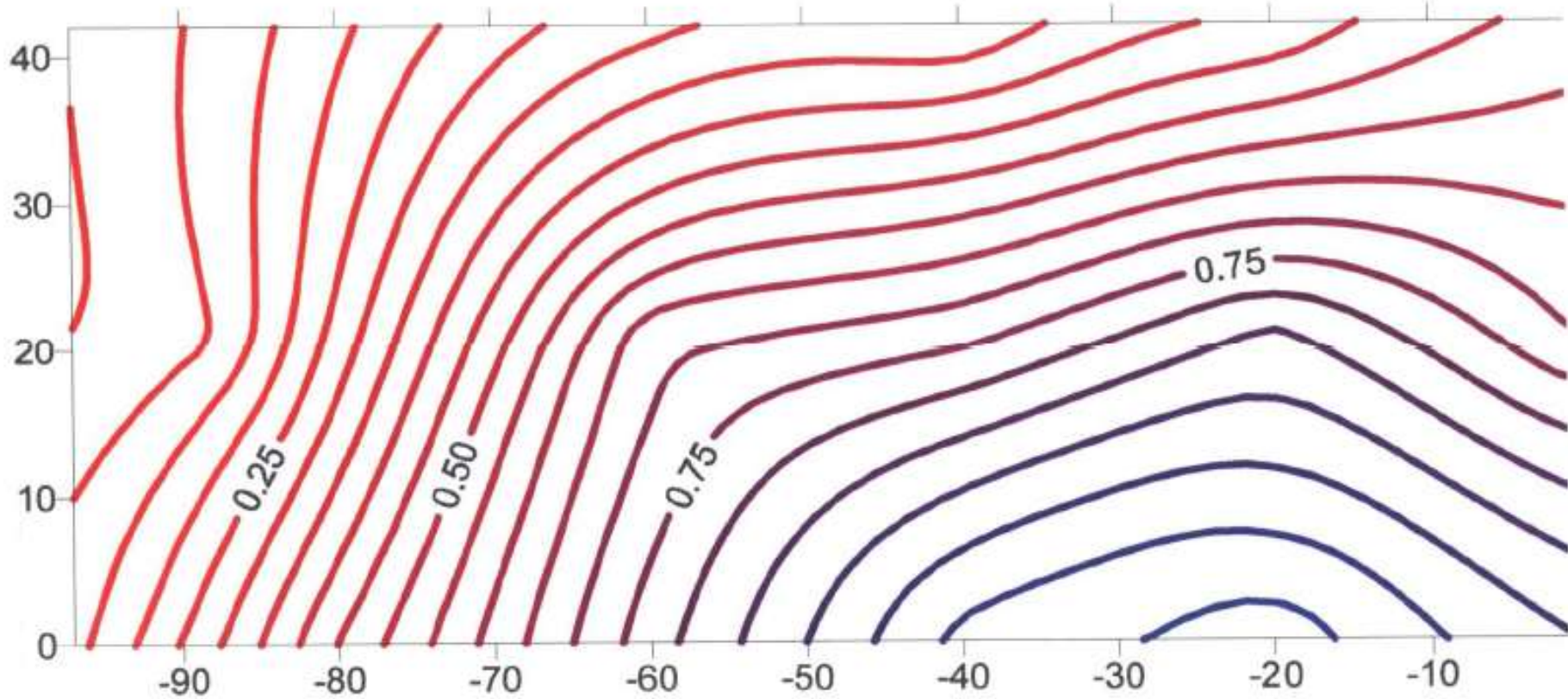


Cero convencional

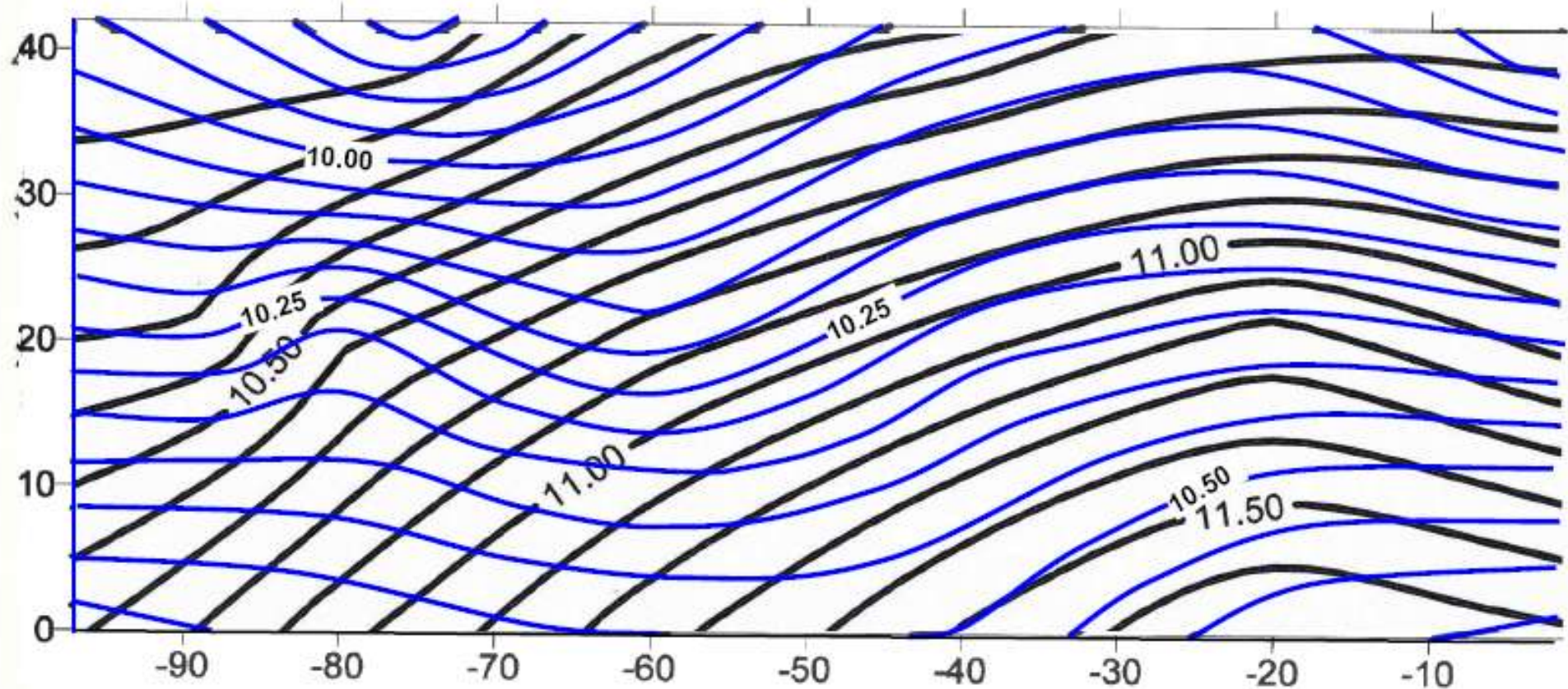
Plano topográfico



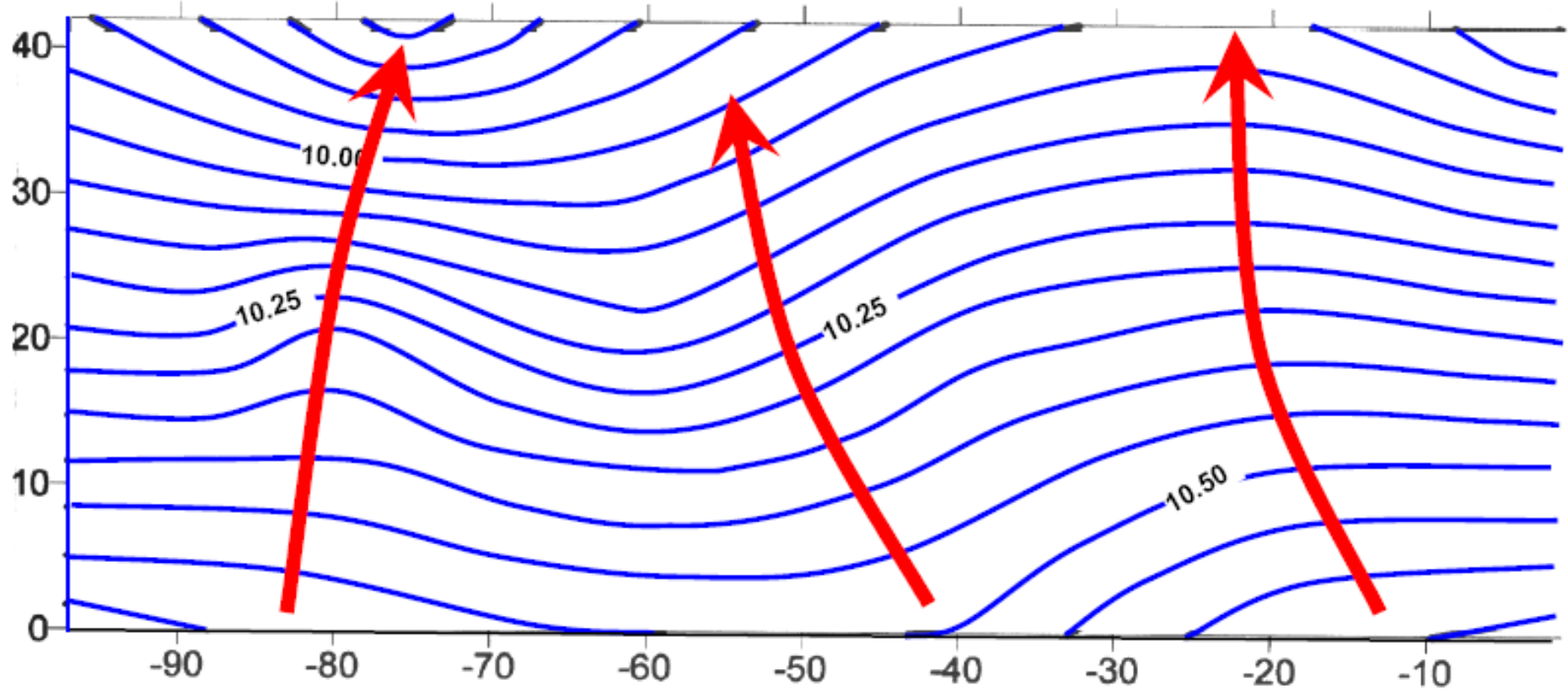
Profundidad de la napa



Curvas de equipotencial



Líneas de flujo



Diseño

- Drenes de primer orden o troncales (de evacuación o salida) solo a cielo abierto
- Drenes de segundo orden o colectores
- Pendientes: mínimo 0,000 5 m/m máximas 0,005 a 0,01 m/m,

Profundidad y espaciamiento de los drenes mas comunes

SUELO	ESPACIAMIENTO (m)	PROFUNDIDAD (m)
Arcilloso	10 – 17	1.00 - 1.15
Arcillo limoso	13 – 23	1.00 - 1.15
Franco limoso	20 – 33	1.15 - 1.30
Franco arenoso	33 – 40	1.30 - 1.50
Arenoso franco	33 – 67	1.30 - 1.65
Suelos irrigados	50 – 200	1.65 - 2.65

