



Universidad Nacional de Misiones

# CÁTEDRA DE OBRAS HIDRÁULICAS (CI457)

Ing. José A. Serra

Obras Hidráulicas - Drenaje Agrícola  
Ing. José A. Serra

# FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA HACIA DRENES

## Definiciones:

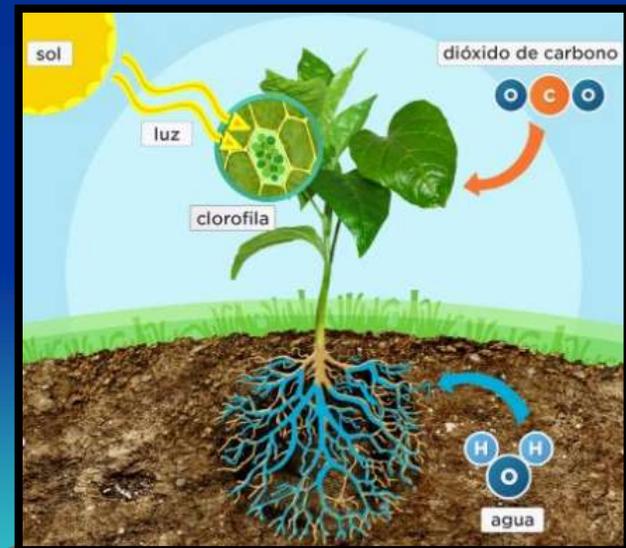
Cuando el agua de riego y el agua de lluvia que se distribuye sobre el terreno se prolonga durante largos períodos, el agua en exceso puede acumularse en la superficie del suelo, trayendo como consecuencia el **encharcamiento**.

Para eliminar el agua encharcada de la superficie del terreno, se aplica el **drenaje superficial**.

Parte del agua de riego o de lluvia que se infiltra en el suelo quedará almacenada en los poros y será utilizada por los cultivos y otra parte, se perderá por **percolación profunda originando la elevación del nivel freático.**

Cuando el nivel freático alcanza la zona radicular, las plantas pueden sufrir daños debido al **anegamiento.**

Para eliminar el agua en exceso de la zona radicular y las sales disueltas del suelo se utiliza el **drenaje subterráneo**, que permite el flujo de agua freática hacia los drenes.



# ALGUNOS DATOS

SEGÚN LA FAO ENTRE 10% Y 15% DE LOS MILLONES DE HA BAJO RIEGO EN EL MUNDO ESTAN AFECTADAS POR:



## ANEGAMIENTO Y SALINIZACIÓN

Para la solución de los problemas de **encharcamiento** en la superficie del terreno, **anegamiento** del suelo y para evitar la **salinización** se utiliza el **drenaje agrícola**.

# DRENAJE SUBTERRANEO

## OBJETIVO

El objetivo del drenaje subterráneo es **controlar la napa freática**. Para ello se elimina el agua infiltrada procedente de la lluvia, riego u otros orígenes, de forma que en la zona radicular permita el desarrollo de los cultivos.

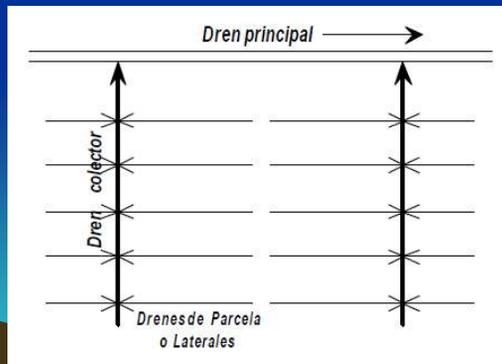


# DRENAJE SUBTERRANEO

## COMPONENTES DEL SISTEMA

Un sistema de drenaje está constituido por tres componentes:

- Un **sistema de drenaje parcelario**, que impide el encharcamiento del terreno y/o regula el nivel freático. Está constituido por drenes de parcela o laterales.
- Una **red principal de drenaje**, que trasporta el agua fuera del área agrícola. Está constituido por drenes colectores y/o principales.
- Una **salida**, que es el punto por lo que el agua drenada desagua fuera de la zona.



Obras Hidráulicas - Drenaje Agrícola  
Ing. José A. Serra

# DRENAJE SUBTERRANEO

## **FUNCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA**

La función de los **drenes colectores**, es recoger el agua de los **drenes de parcela** y transportarlas a los **drenes principales**. Los drenes principales tienen la función de transportar el agua fuera de la zona.

Es importante destacar que no siempre hay una distinción clara de las funciones de los drenes, porque los drenes colectores y de parcela tienen una misión de transporte, y todos los drenes colectores y principales también controlan en parte la profundidad del agua freática.

Cuando los drenes de parcela son tubos enterrados y todos ellos descargan a un dren colector abierto, se denomina **sistema de drenaje singular**.

Cuando los drenes de parcela y los drenes colectores son tubos enterrados, se denomina **sistema de drenaje compuesto**.

# DRENAJE SUBTERRANEO

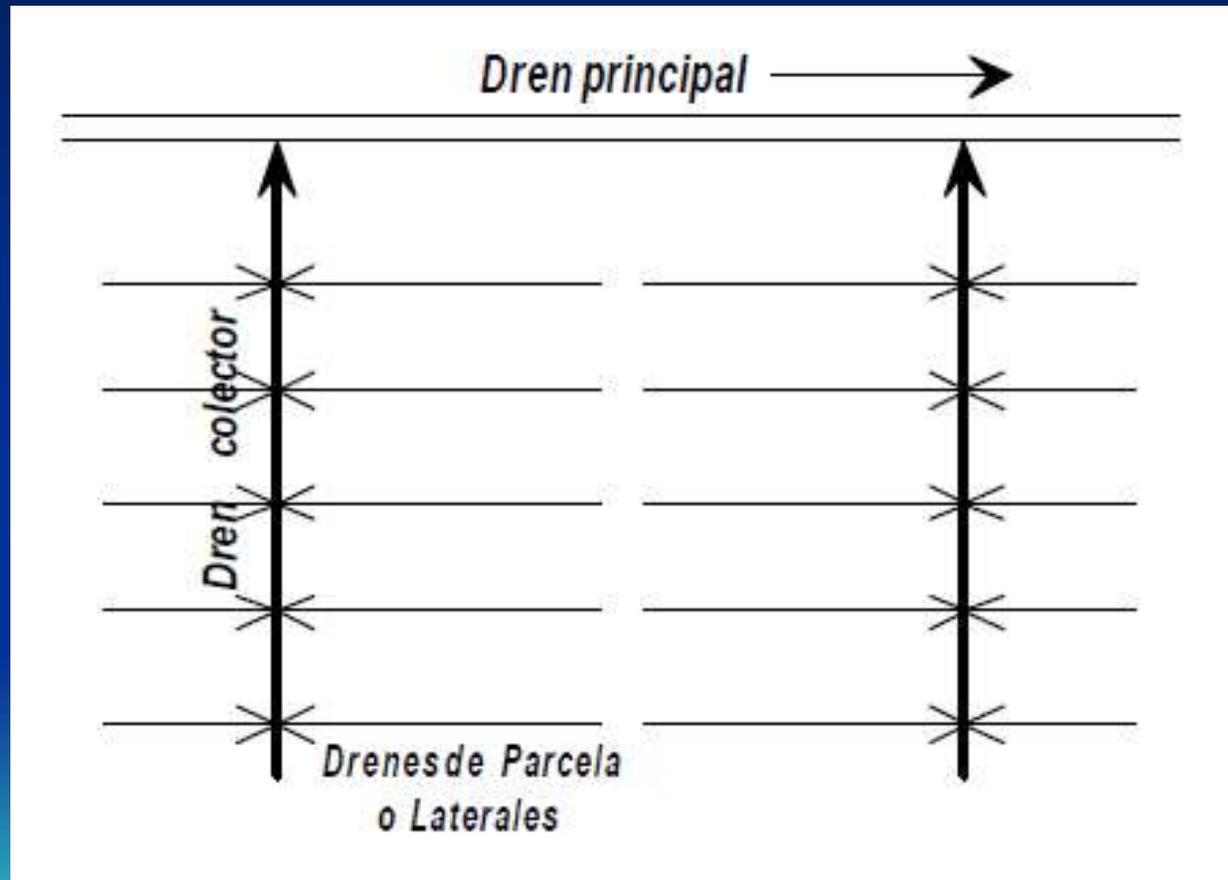
## SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

- Los trazados **sistema de tipo regular**: apropiados en parcelas bastante homogéneas con necesidades de drenaje mas o menos uniforme.
  - Tipo rejilla (laterales perpendiculares al colector)
  - Tipo de espina de pescado (laterales que forman ángulos agudos con el colector)
- Para drenar zonas húmedas aisladas o captar manantiales, pueden ser instalados **sistemas de trazado irregular o al azar**, se puede emplear combinación de tipos.

**Las circunstancias locales determinan el sistema apropiado.**

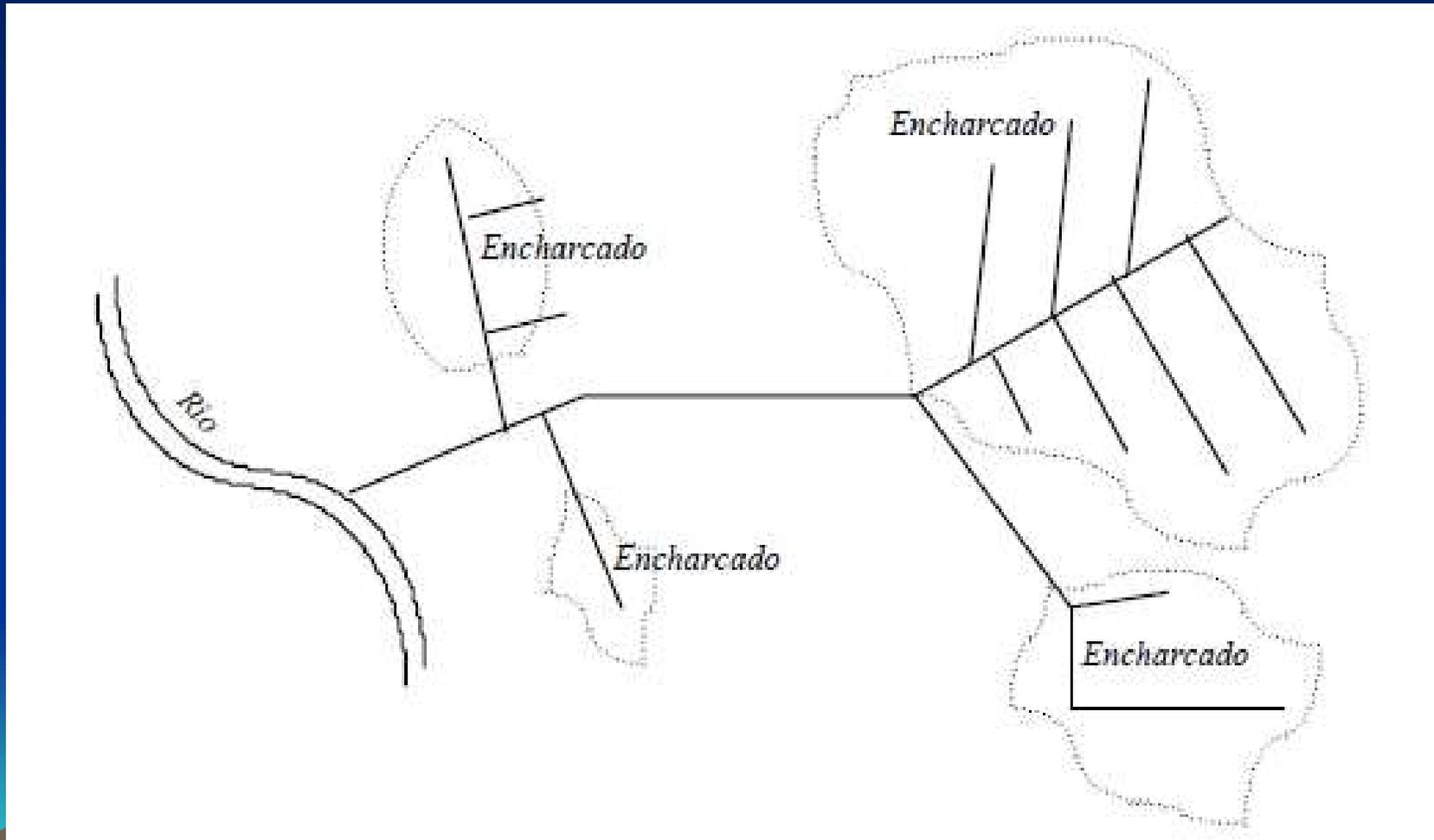
# DRENAJE SUBTERRANEO

## SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN



# DRENAJE SUBTERRANEO

## SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN



# DRENAJE SUBTERRANEO

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA NAPA FREÁTICA

- La precipitación y otras fuentes de recarga.
- La evaporación y las descargas de otro origen.
- Las propiedades de los suelos.
- La profundidad y el espaciamiento de los drenes.
- La superficie de la sección transversal de los drenes.
- El nivel del agua en los drenes.

# DRENAJE SUBTERRANEO

## TIPOS DE DRENES DE UN SISTEMA DE DRENAJE



SISTEMA DE  
DRENES ABIERTOS



SISTEMA DE  
DRENES CERRADOS

# DRENAJE SUBTERRANEO



## SISTEMA DE DRENES ABIERTOS

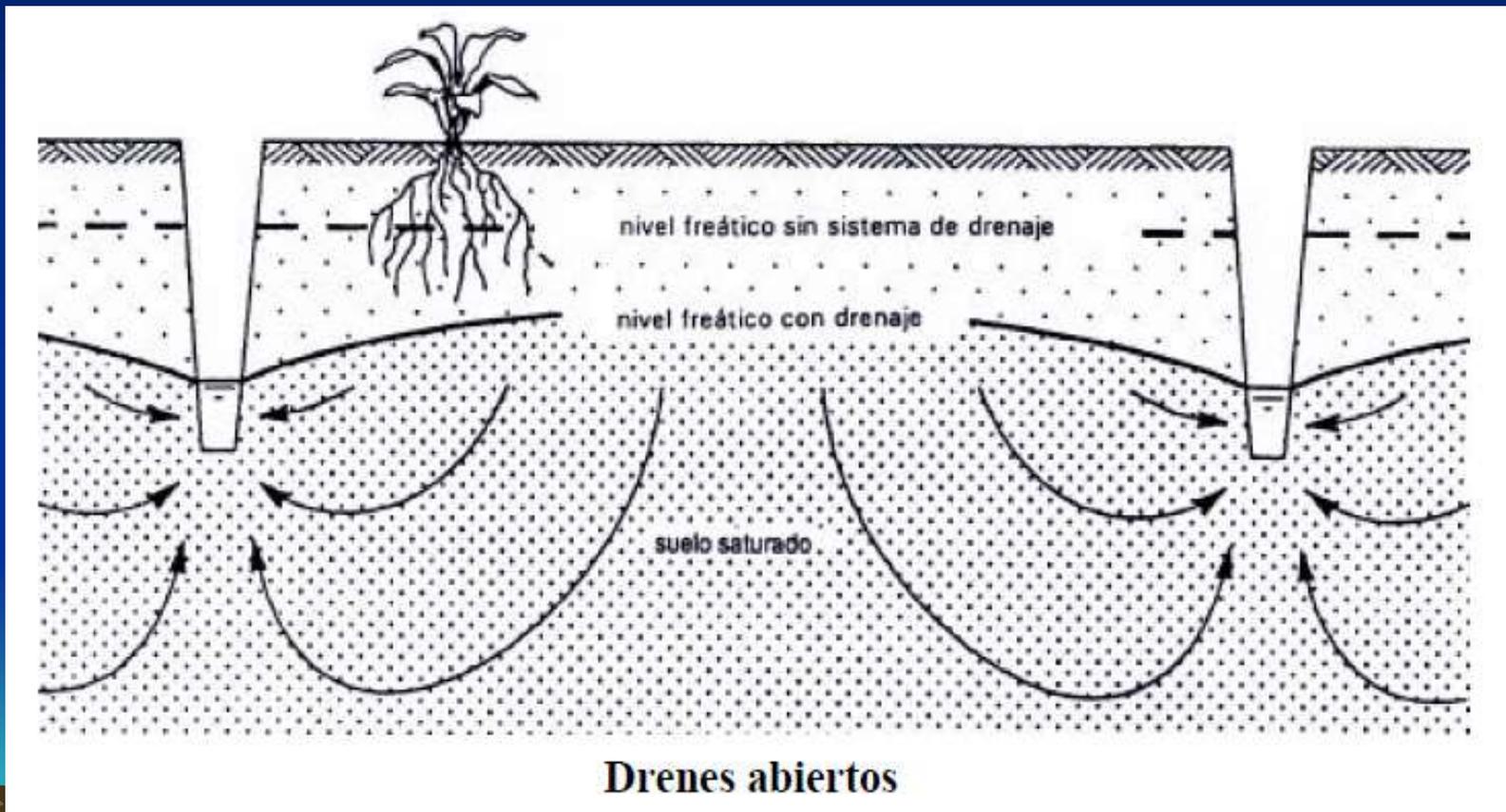
Un sistema de drenes abiertos tiene la **ventaja** de que también pueden recibir la escorrentía superficial (drenaje superficial).

Pero tiene como principales **inconvenientes** la pérdida de terrenos para el cultivo, interferencia con los sistemas de riego, división del terreno en pequeñas parcelas que dificulta las labores agrícolas; así mismo el costo de mantenimiento.

# DRENAJE SUBTERRANEO



## SISTEMA DE DRENES ABIERTOS



# DRENAJE SUBTERRANEO



## SISTEMA DE DRENES ABIERTOS



# DRENAJE SUBTERRANEO



## SISTEMA DE DRENES CERRADOS

Es un sistema de drenes con tuberías enterradas.

La principal **limitación** de un sistema de drenaje con tuberías es indudablemente el económico por los altos costos de instalación.

**SE DEBE REALIZAR UN BALANCE ECONÓMICO PARA LA ELECCIÓN DEL SISTEMA**

Costos de construcción y mantenimiento del sistema

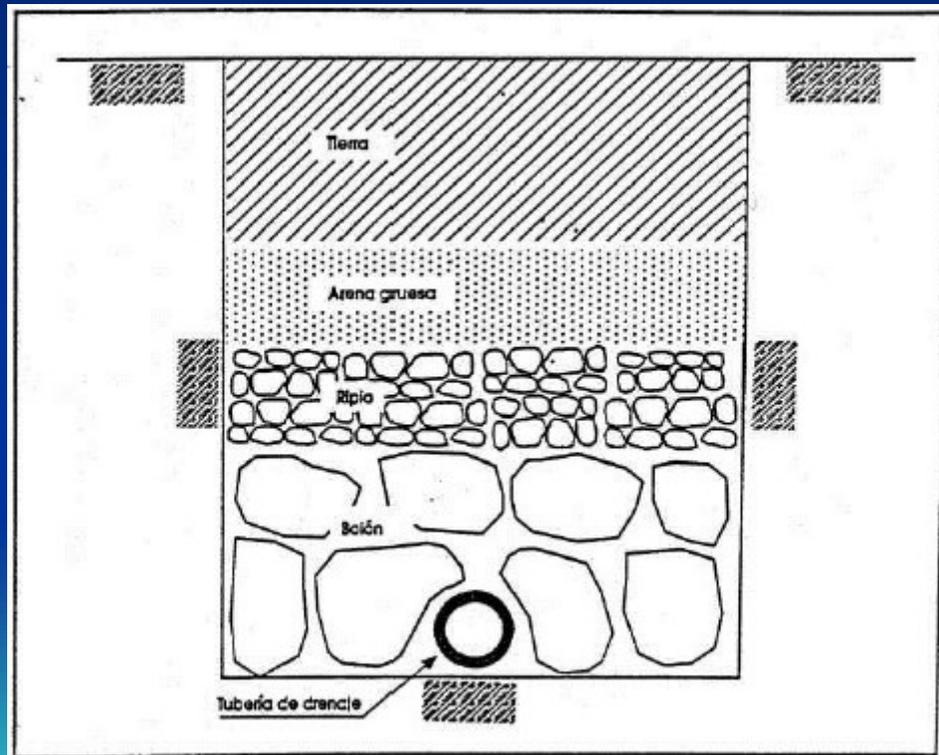
VS

Aumento del rendimiento del cultivo (\$)

# DRENAJE SUBTERRANEO



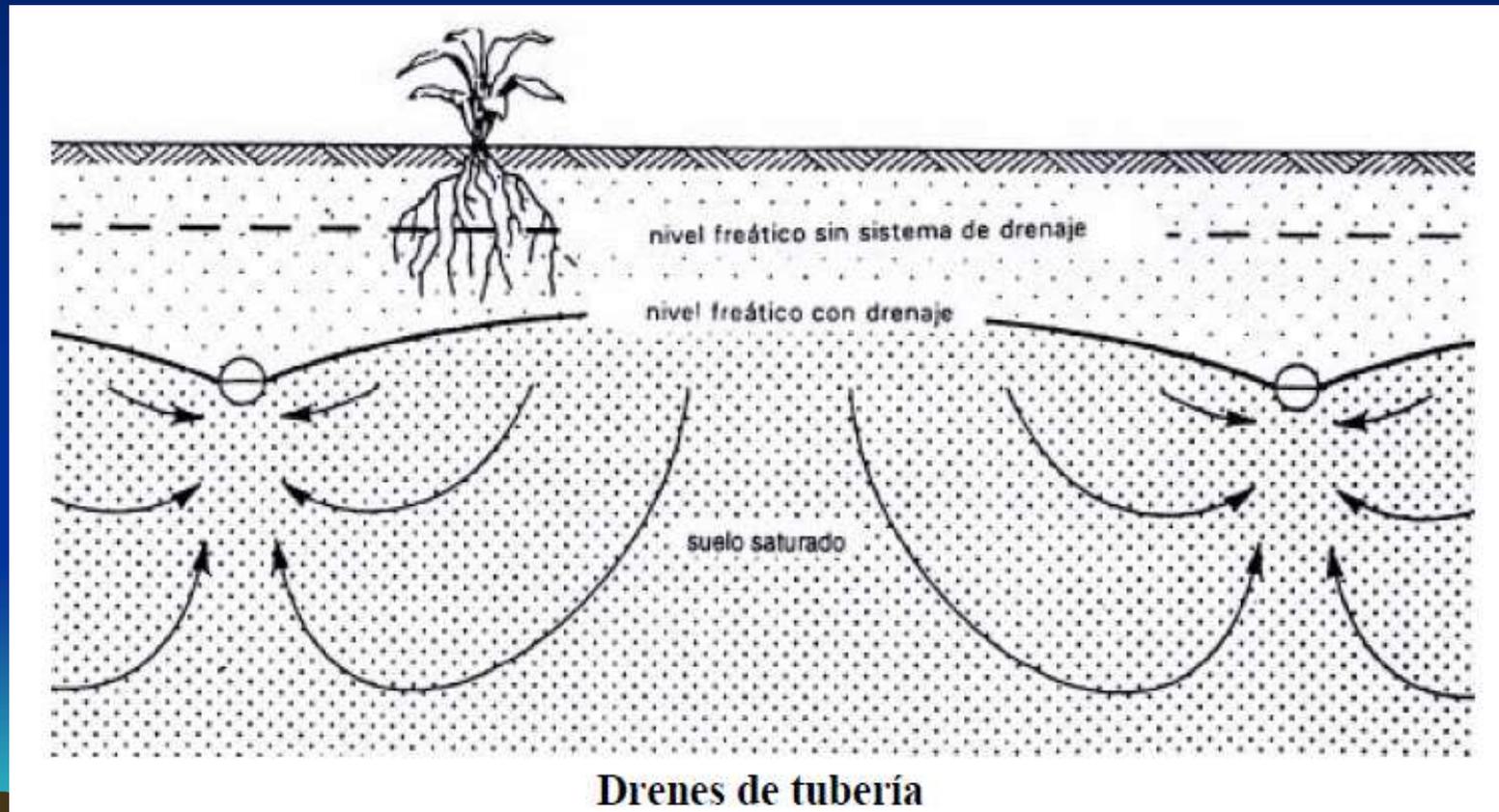
## SISTEMA DE DRENES CERRADOS



# DRENAJE SUBTERRANEO



## SISTEMA DE DRENES CERRADOS



# DRENAJE SUBTERRANEO

## PROFUNDIDAD “ÓPTIMA” DE LA NAPA FREÁTICA

Desde un punto de vista técnico, la **profundidad óptima** de la napa freática es la que no ocasiona disminución en la producción de los cultivos. En muchos casos esta profundidad es **antieconómica** para la instalación de un sistema de drenaje y se prefiere que los rendimientos de los cultivos no alcancen el máximo a cambio de lograr un menor costo de las obras de drenaje.

**En este sentido, la profundidad óptima es la que origina una mayor relación beneficio/costo.**

La mayoría de **pastos** desarrollan un sistema radicular superficial, lo cual hace tolerantes a niveles freáticos elevados. Sin embargo, a manera de orientación se recomienda las siguientes profundidades freáticas: **suelos de textura fina entre 60 y 80 cm y suelos arenosos, entre 40 y 60 cm.** Los tréboles necesitan profundidades de 70 a 90 cm. En el caso de hortalizas se recomiendan las profundidades: Lechuga, fresas: 40-50cm; cebolla, guisantes, zanahoria, col: 60 cm; judías, pimientos: 70-80 cm. Para el maíz se recomienda una profundidad de 80 a 100 cm. La papa se desarrolla bien con profundidades de la napa freática de 40 a 50 cm.

# DRENAJE SUBTERRANEO

## PROFUNDIDAD “ÓPTIMA” DE LA NAPA FREÁTICA

A continuación a nivel de referencia, se presenta la profundidad de las raíces de los cultivos mas usuales:

Profundidad de las raíces (cm)

Cultivo	Zona de ramificación densa	Zona de ramificación moderada	Profundidad extrema
Trigo	30	30-90	120-150
Centeno	50	50-75	150-225
Avena	50	50-75	120-150
Cebada	70	70-100	140-150
Maiz	70	70-140	150-180
Sorgo	65		
Lino	40	40-60	75
Algodón	70	120	
Girasol	30	30-90	275
Remolacha azucarera	30	30-120	150-180
Caña de azúcar	70		
Alfalfa	90	90-180	180-275
Trébol	90		120-245
Zanahoria	90		150
Cebolla	60	60-90	90-230
Col	60	60-90	90-230
Coliflor	30-50	50-90	90-140
Lechuga	20-30	30-120	230
Tomate	60	60-90	120
Pimiento	30-45	45-90	120
Melón	20-30	30-90	90-120
Judías	30	30-75	90
Guisantes	30	30-75	90
Rábanos	15		60
Espinacas	25	35-60	105
Patatas	25-30	30-100	100
Fresas	30		90
Melocotón	90		
Manzano	100		
Agnos	75		
Vid	75		
Olivo	100		

# DRENAJE SUBTERRANEO

## PROFUNDIDAD “ÓPTIMA” DE LA NAPA FREÁTICA

Producción relativa (%) para diferentes profundidades del nivel freático (cm)  
(Van Hoorn, 1958)

Cultivo	Granos, raíces y tubérculos				
	profundidades del nivel freático (cm)				
	40	60	90	120	150
Trigo	58	77	89	95	100
Cebada	58	80	89	95	100
Avena	49	74	85	99	100
Rem. Azucarera	71	84	92	97	100
Papa	90	100	95	92	96

# FÓRMULAS DE DRENAJE

**Darcy y Dupuit** en el siglo XIX, fueron los primeros en formular las ecuaciones básicas para el flujo subsuperficial de agua a través de medios porosos y aplicarla en pozos.

**Rothe** a principios del siglo XX, aplicó estas ecuaciones a flujo subsuperficial hacia los drenes, deduciendo así la primera fórmula de drenaje.

**Hooghoudt**, en los años treinta dio un estímulo real a un análisis racional del problema del drenaje, estudiándola en el contexto del sistema agua-suelo-planta.

Desde ese entonces, científicos de todo el mundo como Childs en Inglaterra, **Donnan**, Luthin y Kirkham en los Estados Unidos y **Ernst** y Wesseling en Holanda, han contribuido hacia un perfeccionamiento adicional de este análisis racional.

# FÓRMULAS DE DRENAJE

Los factores anteriormente mencionados, se interrelacionan por ecuaciones de drenaje que se basan en **dos suposiciones**:

- **Flujo bidimensional**, es decir el flujo es el mismo en cualquier sección transversal perpendicular a los drenes;
- **Distribución uniforme de la recarga permanente o variable**, sobre el área comprendida entre los drenes.

La mayoría de las ecuaciones que se presentan, se basan además en las suposiciones de **Dupuit-Forchheimer**, por lo que tienen que considerarse únicamente como soluciones aproximadas. Sin embargo, estas soluciones aproximadas tienen por lo general tan alto grado de exactitud, que se justifica completamente su aplicación en la práctica.

# FÓRMULAS DE DRENAJE

Estas formulas se emplean fundamentalmente para el dimensionamiento de los sistemas de drenaje, ya que relacionan algunas características de diseño:

## **ESPACIAMIENTO Y PROFUNDIDAD**

con ciertas características de los suelos, clima, etc.

Estas ultimas características son:

- Conductividad hidráulica (K);
- Espesor de los estratos de suelo;
- Espacio poroso drenable o macroporosidad ( $\mu$ );
- Profundidad óptima de la capa freática;
- Caudal procedente de la lluvia, riego u otros orígenes (recarga).

# FÓRMULAS DE DRENAJE

Las formulas de drenaje, se pueden agrupar en las **dos clases** siguientes:

- **DE RÉGIMEN PERMANENTE**
- **DE RÉGIMEN VARIABLE O TRANSITORIO**

Las formulas para régimen permanente, se deducen basándose en la suposición de que la **intensidad de la recarga es igual al caudal de descarga de los drenes** y que consecuentemente, la capa de agua freática permanece en la misma posición.

Las ecuaciones de drenaje para régimen variable, consideran las fluctuaciones de la capa de agua con el tiempo, bajo la influencia de una recarga variable.

# RÉGIMEN PERMANENTE

En las ecuaciones de drenaje de régimen permanente, se supone que la capa freática se encuentra estabilizada: la cantidad de agua que la alimenta es igual a la eliminada por los drenes.

**Tal situación correspondería al caso de una lluvia constante durante un largo periodo de tiempo.**

En la práctica no se da esta situación, pero sin embargo, la aplicación de las correspondientes formulas suelen dar **resultados aceptables en regiones de régimen pluviométrico caracterizado por la regularidad de las precipitaciones y por su baja intensidad.**

# RÉGIMEN PERMANENTE

Esta situación es típica para el drenaje en su caso mas simplificado, cuando la conductividad hidráulica en cualquier parte del perfil suelo es la misma y los drenes alcanzan la capa impermeable.

APLICANDO LA LEY DE DARCY  $\rightarrow -Ky \cdot \frac{dy}{dx} = q_x$

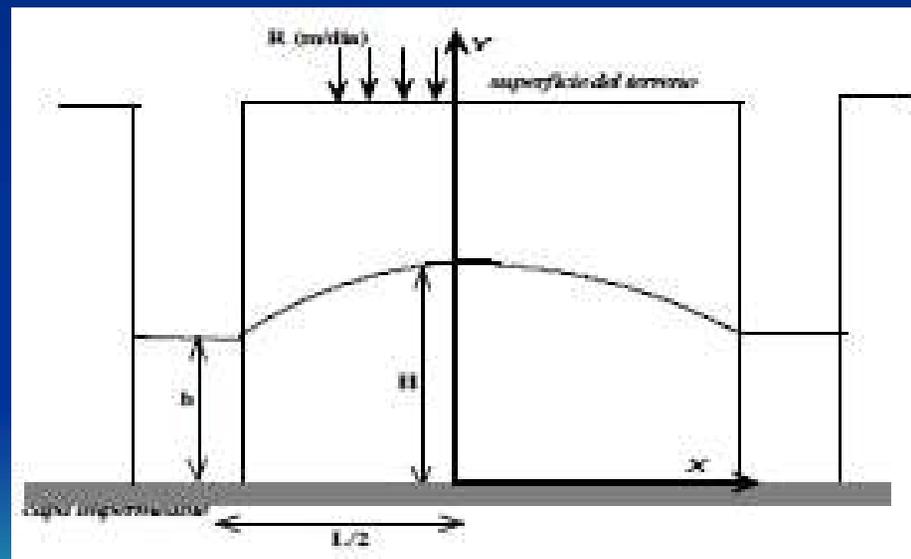
Si  $\rightarrow q_x = Rx$

Límites  $\rightarrow x=0; x=L/2 \rightarrow y=h; y=H$

Integrando  $\rightarrow$

$$-K \cdot \int_H^h y \cdot dy = R \cdot \int_0^{L/2} x \cdot dx$$

$$-\frac{1}{2} \cdot K \cdot [h^2 - H^2] = \frac{1}{2} \cdot R \cdot \left[\frac{L}{2}\right]^2$$

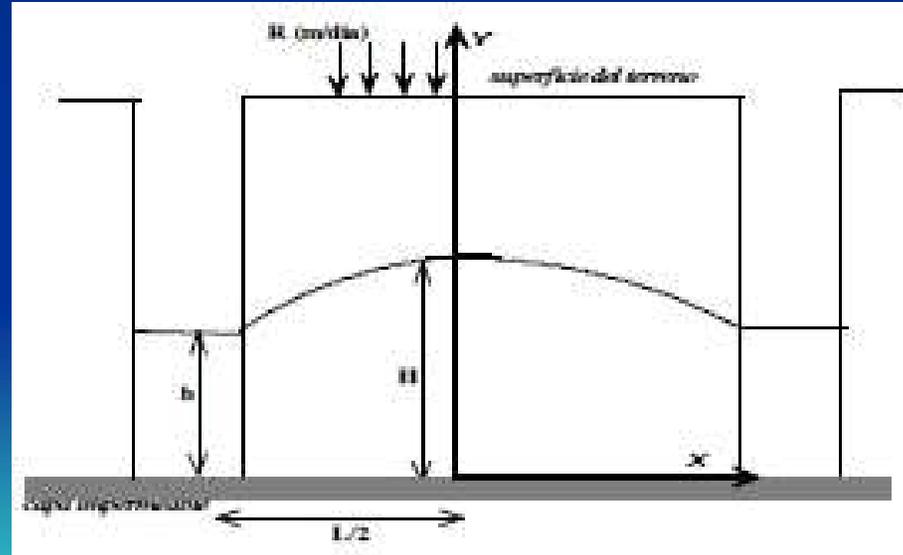


# RÉGIMEN PERMANENTE

$$-\frac{1}{2} \cdot K \cdot [h^2 - H^2] = \frac{1}{2} \cdot R \cdot \left[\frac{L}{2}\right]^2$$

Despejando L →

$$L^2 = \frac{4 \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{R}$$



# RÉGIMEN PERMANENTE

## ECUACIÓN DE DONNAN

Anteriormente se ha demostrado que con la llamada ecuación de Donnan (1946), se puede describir el flujo de agua hacia zanjas verticales, basándose en las suposiciones de **flujo horizontal unidimensional**, es decir, líneas de corriente horizontales y paralelas:

$$R = q = \frac{4 \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{L^2}$$

donde:

$q$  = descarga de los drenes por unidad de superficie (m/día)

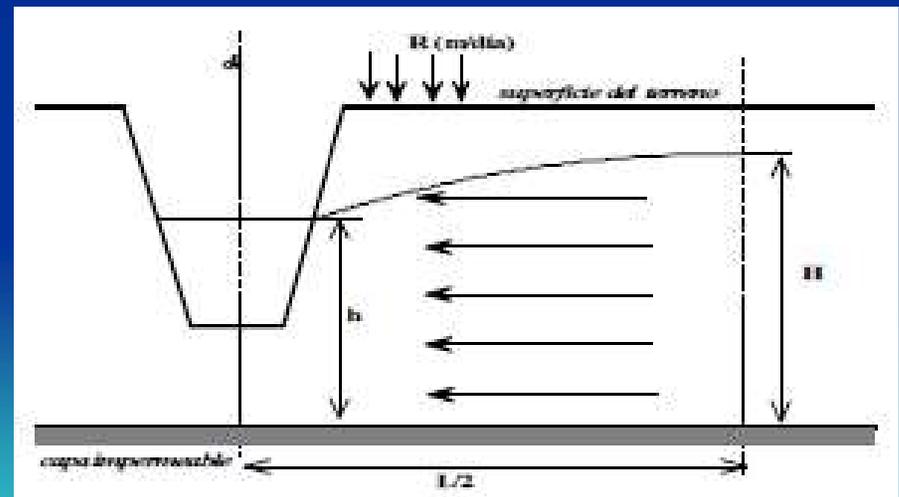
$R$  = recarga por unidad de superficie (m/día).

$L$  = espaciamiento de drenes (m).

$K$  = conductividad hidráulica del suelo (m/día)

$H$  = distancia de la napa freática en el punto medio entre los drenes hasta la capa impermeable (m).

$h$  = distancia desde la superficie del agua en la zanja o el tubo de drenaje hasta la capa impermeable (m).



# RÉGIMEN PERMANENTE

## ECUACIÓN DE DONNAN

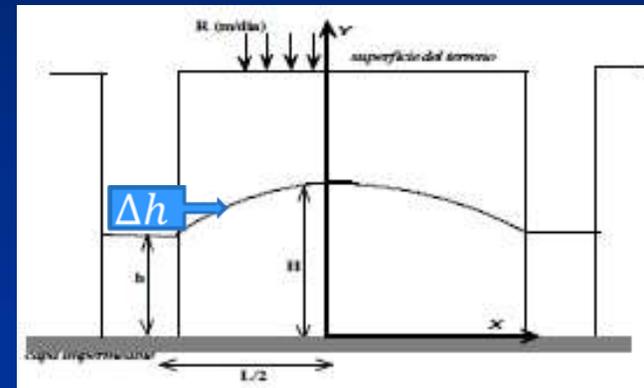
Como se comprende, la formula mas sencilla para el calculo del espaciamiento de drenes es la de Donnan cuyos puntos de partida son:

- **El flujo hacia los drenes es permanente.** Esto quiere decir que la cantidad de agua que alimenta la napa freática en forma constante, es la misma que fluye hacia los drenes y sale por ellos sin variaciones en el tiempo.
- **El flujo solamente es horizontal.**
- **El suelo es homogéneo hasta la capa impermeable.**
- Hay un sistema de drenes paralelos infinito en ambas direcciones.
- La recarga es homogéneamente distribuida.

# RÉGIMEN PERMANENTE ECUACIÓN DE HOOGHOUTD

La ecuación de Donnan también fue deducida por Hooghoudt (1936), pudiendo expresar la ecuación como:

$$R = q = \frac{4 \cdot K \cdot (H + h) \cdot (H - h)}{L^2}$$



$$\Delta h = (H - h)$$
$$H + h = (\Delta h + 2h)$$

Donde  $\Delta h$  es la altura en metros de la capa de agua sobre el nivel de los drenes en el punto medio de los drenes, es decir la carga hidráulica para el flujo subsuperficial hacia los drenes.

# RÉGIMEN PERMANENTE ECUACIÓN DE HOOGHOUDT

$$R = q = \frac{8 \cdot K \cdot h \cdot \Delta h + 4 \cdot K \cdot \Delta h^2}{L^2}$$

Si  $\Rightarrow h = 0$

$$R = q = \frac{4 \cdot K \cdot \Delta h^2}{L^2}$$

Flujo horizontal por encima de los drenes, **Ecuación de Rothe.**

Considerando un suelo con dos estratos cuyo límite de contacto está al nivel de los drenes, luego la ecuación puede expresarse:

$$R = q = \frac{8 \cdot K_2 \cdot h \cdot \Delta h + 4 \cdot K_1 \cdot \Delta h^2}{L^2}$$

donde:

K1 = Conductividad Hidráulica del estrato arriba del nivel de los drenes (m/día)

K2 = Conductividad Hidráulica del estrato abajo del nivel de los drenes (m/día)<sup>32</sup>

# RÉGIMEN PERMANENTE

## ECUACIÓN DE HOOGHOUTD

Hooghoudt desarrolló varias fórmulas (1940). La más completa de ellas supone que el flujo hacia los drenes no es solamente horizontal, sino que parcialmente hasta alrededor de los drenes hay **flujo radial**.

La fórmula que combina ambos flujos se expresa de la siguiente manera:

$$R = q = \frac{8 \cdot K_2 \cdot h \cdot (\Delta h - n) + 4 \cdot K_1 \cdot (\Delta h^2 - n^2)}{L^2}$$

donde:

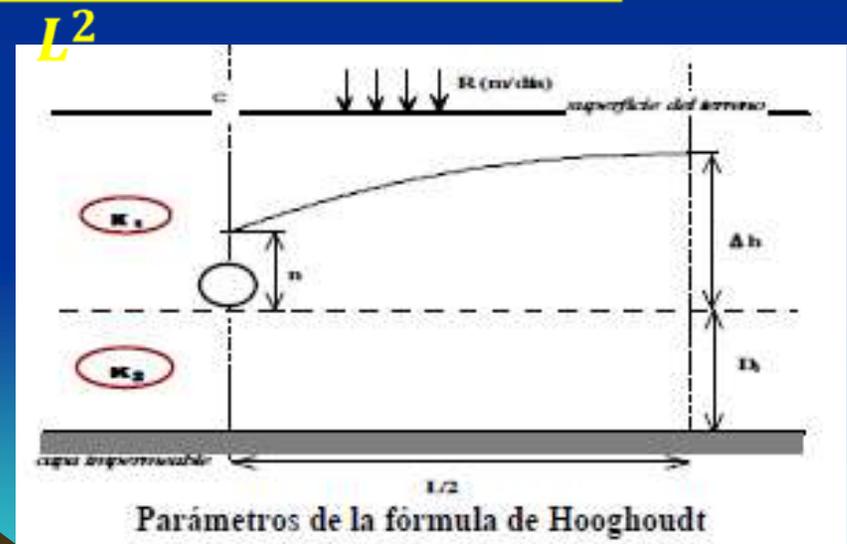
L = espaciamiento de drenes (m).

$\Delta h$  = distancia vertical entre la horizontal que pasa a nivel del fondo de los drenes y la napa freática en el punto medio entre los drenes (m).

n = distancia vertical entre el fondo del dren y la napa freática sobre el dren (m).

d = espesor del "estrato equivalente" (m).

R = cantidad de agua que hay que drenar (mm/día)



Parámetros de la fórmula de Hooghoudt

# RÉGIMEN PERMANENTE ECUACIÓN DE HOOGHOUTD

El parámetro "n" tiene un significado diferente en el caso de drenaje con zanjas abiertas y en caso de drenaje con tubos.

En el caso de zanjas, "n" es el espesor de la lámina de agua que hay sobre el fondo de la zanja cuando se está drenando la descarga normativa equivalente a R. En este caso, tanto el tamaño como el distanciamiento entre las zanjas se diseñan con la misma descarga normativa.

En el caso de drenaje por tubos, "n" es teóricamente la altura de carga necesaria para la resistencia que tiene que vencer el agua para entrar en los tubos. En general, para calcular el espaciamiento de drenes, se ha supuesto que "n" es cero.

**Para tener en cuenta la resistencia extra causada por el flujo radial, Hooghoudt introdujo una reducción de la profundidad  $D_0$ , en una profundidad equivalente mas pequeña "d", donde  $d < D_0$ .**

# RÉGIMEN PERMANENTE ECUACIÓN DE HOOGHOUTD

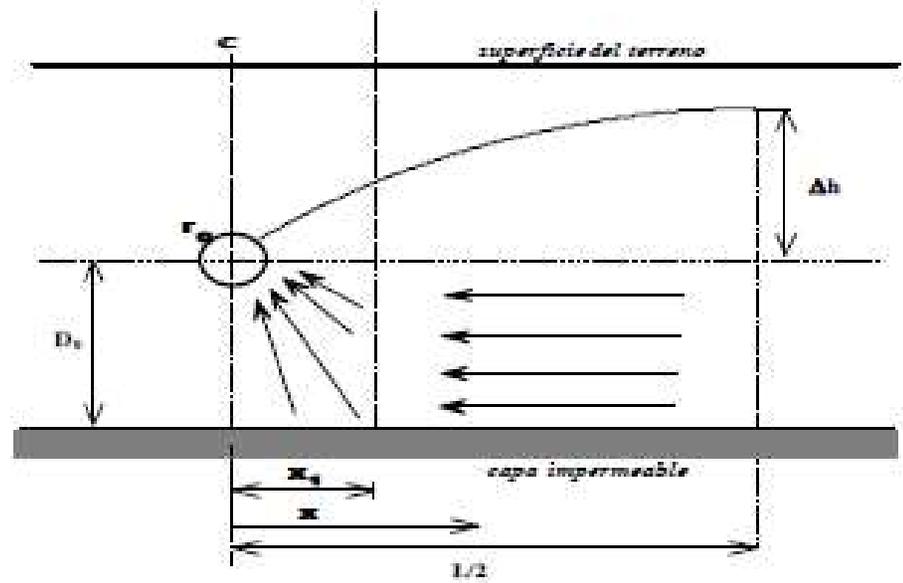
## CÁLCULO DEL ESTRATO EQUIVALENTE “d”

Hooghoudt asume que los dos tipos de flujo, el horizontal y el radial, pueden ser considerados asumiendo:

- El flujo en la región:  $r_0 < x < x_1$  es radial
- El flujo en la región:  $x_1 < x < L/2$  es horizontal.

Hooghoudt demostró que:

$$x_1 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot D_0} = 0,7 \cdot D_0$$



# RÉGIMEN PERMANENTE ECUACIÓN DE HOOGHOUTD

## CÁLCULO DEL ESTRATO EQUIVALENTE “d”

Para calcular el estrato equivalente “d”, se puede emplear la relación que a continuación se presenta, aunque es menos exacta, no necesita de tablas para su cálculo:

$$d = \frac{D_0}{2,55 \cdot \frac{D_0}{L} \cdot \ln\left(\frac{D_0}{P}\right) + 1}$$

Donde P es el perímetro mojado del dren.

# RÉGIMEN PERMANENTE ECUACIÓN DE HOOGHOUTD

## CÁLCULO DEL ESTRATO EQUIVALENTE “d”

Así mismo, para el uso de la formula de Hooghoudt, se pueden emplear los nomogramas preparados por Van Der Molen y Van Beers (1965). O se puede emplear el método analítico de este último:

$$L = L_0 - C$$

$$C = D_0 \cdot \ln\left(\frac{D_0}{P}\right)$$

Donde P es el perímetro mojado del dren.

$L_0$  = espaciamiento de drenes inicial (m).

L = espaciamiento de drenes corregido (m).

# RÉGIMEN PERMANENTE

## CONCLUSIONES

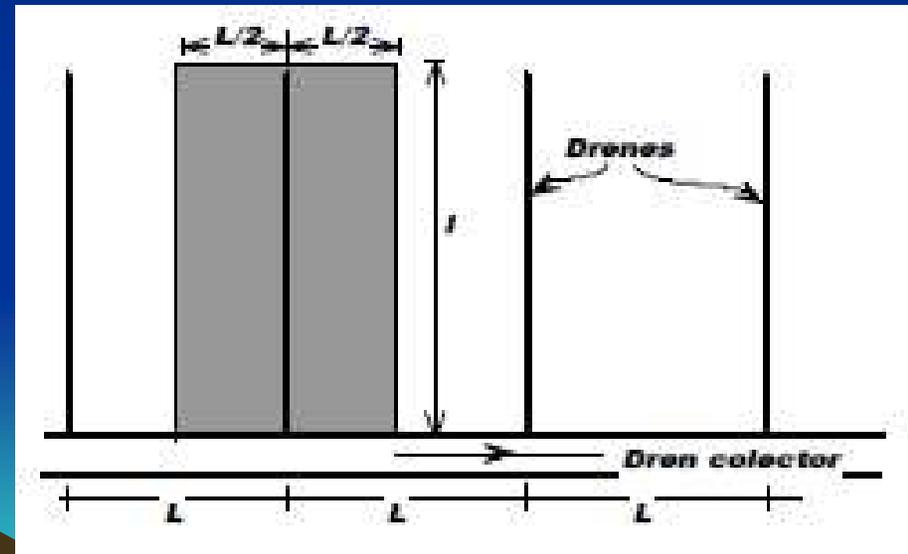
- **A mayor conductividad hidráulica, mayor espaciamento entre drenes.**
- **En un suelo homogéneo, a mayor profundidad de drenes, corresponde un mayor espaciamento.**
- **Los drenes deben colocarse en los estratos de mayor permeabilidad.**
- **Los espaciamentos calculados, deben disminuirse en un 15% a 20% para una mayor garantía.**

# RÉGIMEN PERMANENTE

## CAUDAL A ELIMINAR POR LOS DRENES LATERALES O PARCELARIOS EN REGIMEN PERMANENTE

Una vez determinados el espaciamiento y la profundidad de los drenes, es preciso conocer el caudal que han de transportar, con el objeto de dimensionar las características hidráulicas de estos. Los drenes son conducciones abiertas o cerradas cuyo caudal aumenta con la longitud. El caudal en el extremo de un dren si su longitud es "l" será:

$$Q = R \cdot L \cdot l$$



# RÉGIMEN VARIABLE

Las formulas de régimen variable consideran el **movimiento de la napa freática**, tanto para carga del acuífero como durante la descarga, en consecuencia **existe una variación en el nivel de esta.**

Si la cantidad de agua aportada, expresada en altura es "R", la capa freática se eleva en una altura  $R/\mu$  y a continuación comienza a descender.

**La formula de Glover Dumn estudia esta situación.**

Las formulas de Donnan, Hooghoudt, etc., anteriormente tratadas están basadas en una situación de flujo con recarga permanente. La recarga de la napa, proveniente de las precipitación y la descarga de los drenes es igual en estas condiciones y ambas son indicadas con el mismo símbolo "R". Aunque, estas condiciones no son exactamente satisfechas en la realidad, la suposición de una situación de flujo permanente ha probado producir muy satisfactoriamente resultados en **climas húmedos, cuando las variaciones en precipitación no son extremas.**

# RÉGIMEN VARIABLE

## ECUACIÓN DE GLOVER DUMN

Cuando nos enfrentamos con problemas de **drenaje conectados con irrigación**, la recarga es evidentemente no permanente, ya que ocurre a intervalos que son determinados por la frecuencia de riegos.

En estas condiciones, puede ocurrir una **notoria elevación de la napa freática** como resultado de la inevitable precolación de parte del agua aplicada en el riego, seguido por una gradual **declinación de la napa** en los períodos comprendidos entre dos riegos consecutivos.

**En estos casos la recarga  $R$  y la velocidad de descarga  $R_t$  evidentemente no son iguales.....**

Una formula de drenaje desarrollada para estas condiciones deberá dar respuesta a la pregunta: **¿Cuánto descenderá la napa freática y cual será la velocidad de descarga de los drenes como función del distanciamiento de los drenes y de la recarga no permanente?**

# RÉGIMEN VARIABLE

## ECUACIÓN DE GLOVER DUMN

La primera formula que aquí se muestra fue obtenida por los estudios de Glover Dumn y presentada por Dumn en 1954:

$$L^2 = \frac{\pi^2 \cdot K \cdot D \cdot t}{\mu \cdot \ln \left( 1,27 \cdot \frac{h_0}{h_t} \right)}$$

donde:

L = espaciamiento de los drenes (m)

K = conductividad hidráulica (m/día)

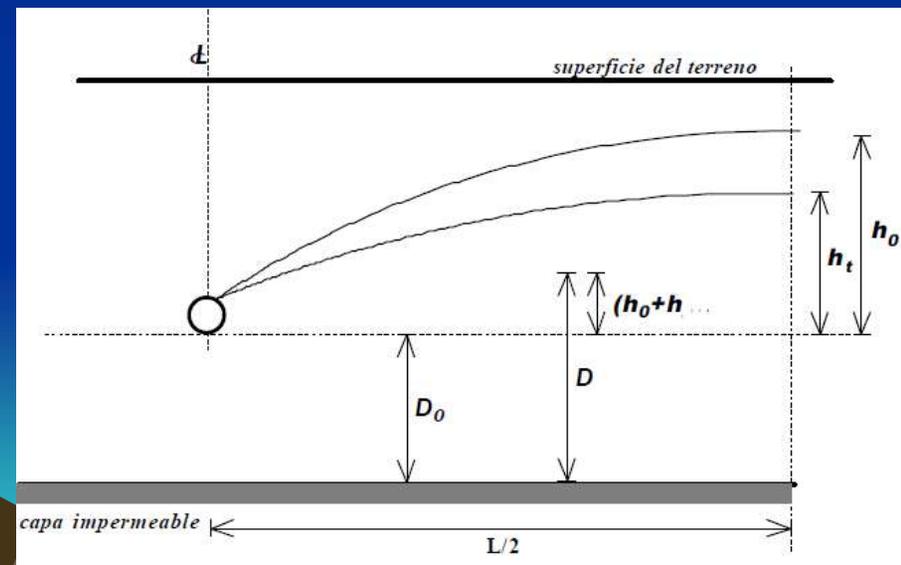
D = espesor del estrato en donde hay flujo horizontal (m)

$\mu$  = espacio poroso drenable (fracción)

$h_0$  = altura de la napa freática sobre el fondo del dren antes del descenso (m)

$h_t$  = altura de la napa freática sobre el fondo del dren después del descenso (m)

t = tiempo en que debe ocurrir el descenso de la napa freática (días)



# RÉGIMEN VARIABLE

## ECUACIÓN DE GLOVER DUMN

“D” es definida como la altura desde la capa impermeable hasta el punto medio de la vertical que va desde el nivel de los drenes hasta la altura promedio de la napa en el punto equidistante entre los drenes, o sea:

$$D = D_0 + \frac{\frac{h_0 + h_t}{2}}{2} = D_0 + \frac{h_0 + h_t}{4}$$

K y  $\mu$  se miden; la combinación de  $h_0$ ,  $h_t$  y t constituye las normas de drenaje. El espaciamiento L debe ser tal que después de un riego la napa freática descienda desde  $h_0$  hasta  $h_t$  en t días.

Glover asume que inicialmente, esto es al tiempo  $t = 0$ , existe una napa freática plana, aunque el agua sobre los drenes se mantiene al mismo nivel formando casi un rectángulo.

# RÉGIMEN VARIABLE ECUACIÓN DE GLOVER DUMN

En 1960, Glover presentó la nueva formula para el espaciamiento de drenes en situación de flujo no permanente.

Esta nueva formula fue obtenida asumiendo que el tiempo  $t = 0$ , la napa freática tiene la forma de una parábola de cuarto grado. Esta suposición se acerca mas a la realidad que la situación asumida para la primera formula, en que se establecía que la napa era inicialmente plana.

La consecuencia de este cambio en la situación inicial es que en la ecuación (28) el termino  $4/\pi = 1.27$ , viene a ser **1.16**.

$$L^2 = \frac{\pi^2 \cdot K \cdot D \cdot t}{\mu \cdot \ln \left( 1,16 \cdot \frac{h_0}{h_t} \right)}$$

# RÉGIMEN VARIABLE

## ECUACIÓN DE GLOVER DUMN

Las formulas de Glover, se basan en un flujo solamente horizontal. No toman en cuenta la resistencia vertical y radial.

Sin embargo, la resistencia radial se puede incorporar en la formula de la misma manera que en la formula de Hooghoudt. Entonces, se puede usar el espesor del estrato equivalente "d" en lugar de la distancia entre el fondo del dren y la capa impermeable ( $D_0$ ). Para determinar "d" se puede usar las mismas fórmulas o tablas que para la formula de Hooghoudt.

En este caso, la D de la ecuación es igual a:

$$D = D_0 + \frac{h_0 + ht}{4}$$

# DISEÑO DE ZANJAS COLECTORAS

- Trazado de la red de zanjias colectoras.
- Dimensionamiento de la zanja.
- Construcción de zanjias.

# DISEÑO DE ZANJAS COLECTORAS

## Trazado de la red de zanjias colectoras.

- Diseñar y determinar la dirección del flujo de la red de colectores.
- Material cartográfico /Topografía.
- **Secciones de facilidad constructiva:** Las dimensiones resultantes deben ser de un tamaño tal, que permita optimizar el rendimiento de la construcción.
- Evitar erosión : Control de caudales y pendientes.
- Punto de descarga : Fácil acceso, distribuir el caudal en varios puntos de descarga.

# DISEÑO DE ZANJAS COLECTORAS

## Dimensionamiento de la zanja.

- El punto de partida: Caudal de transporte
- Lluvia de diseño para determinar el Q pico.
- Velocidad media de diseño
- Velocidad máxima no erosionable
- Velocidad mínima de sedimentación

Material	Velocidad (m/s)
Suelo arenoso muy suelto	0.30 - 0.45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0.46 - 0.60
Suelo arenoso promedio	0.61 - 0.75
Suelo franco arenoso	0.76 - 0.83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0.84 - 0.90
Césped de crecimiento ralo o débil	0.90
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0.90 - 1.20
Suelo con vegetación regular	1.22
Suelo arcilloso o cascajoso	1.20 - 1.50
Césped vigoroso, denso y permanente	1.52 - 1.83
Conglomerados, cascajo cementado, pizarra blanda	1.80 - 2.40
Roca dura	3.00 - 4.50
Hormigón	4.51 - 6.00

# DISEÑO DE ZANJAS COLECTORAS

## Dimensionamiento de la zanja.

### DISEÑO DE LA SECCIÓN

Velocidad

$$Q = A \times v \rightarrow A(m^2) = \frac{Q\left(\frac{m^3}{s}\right)}{v\left(\frac{m}{s}\right)}$$

Rugosidad

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

S = pendiente de la línea de energía para el flujo uniforme (m/m)

R = radio hidráulico (m)

A = área (m<sup>2</sup>)

N = coeficiente de manning

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

# DISEÑO DE ZANJAS COLECTORAS

## Dimensionamiento de la zanja.

### RUGOSIDAD DE MANNING

Descripción	Mínimo	Medio	Máximo
<b>Canal recto.</b>			
Limpio y terminado recientemente.	0,016	0,018	0,020
Limpio con uso.	0,018	0,022	0,025
Con grava, sección uniforme y limpio.	0,022	0,025	0,030
Con musgos cortos y pocas malezas.	0,022	0,027	0,033
<b>Canal con curvas.</b>			
Sin vegetación	0,023	0,025	0,030
Con musgos y pastos.	0,025	0,030	0,033
Con pastos densos, malezas en canales profundos.	0,030	0,035	0,040
Fondo de tierra y taludes de mampostería de piedra partida.	0,028	0,030	0,035
Fondo pedregoso y taludes con pastos.	0,025	0,035	0,040
Fondo de piedras rodadas y taludes limpios.	0,030	0,040	0,050
<b>Canales excavados con pala.</b>			
Sin vegetación.	0,025	0,028	0,033
Pocos arbustos en los taludes	0,035	0,050	0,060
<b>Canales excavados en roca.</b>			
Roca lisa y uniforme.	0,025	0,035	0,040
Roca cortada irregularmente.	0,035	0,040	0,050
<b>Canales sin ningún mantenimiento.</b>			
Pastos densos de la altura del escurrimiento	0,050	0,080	0,120
Fondo limpio y taludes con arbustos.	0,040	0,050	0,080
Arbustos densos y nivel alto.	0,080	0,100	0,140

# DISEÑO DE ZANJAS COLECTORAS

## Dimensionamiento de la zanja.

### RUGOSIDAD DE MANNING

Fuente: Grassi, Carlos J. 1991. “Drenaje de Tierras Agrícolas”

Condición del Dren	Valor de n
Muy limpio	0,022 – 0,030
Limpio	0,029 - 0,050
Con poca vegetación	0,040 - 0,067
Con moderada vegetación	0,050 - 0,100
Con exceso de vegetación	0,067 - 0,200

# DISEÑO DE ZANJAS COLECTORAS

## Dimensionamiento de la zanja.

### VALORES DE Z EN DRENES ABIERTOS

Fuente: Ven Te Chow. 1959. "Open Channel Hydraulics"

Material de excavación	Z
Roca firme	0,25
Hard-pan duro. Roca con fisuras	0,5
Grava cementada. Arcilla y Hard-pan ordinario	0,75
Arcilla con grava. Suelos francos	1
Limo arcilloso	1
Suelos francos con grava	1,5
Suelos franco-arenosos	2
Suelos muy arenosos	3

# CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LOS DRENES

## ECUACIONES CONOCIDAS

Diámetro de la tubería, asumiendo que el flujo es a tubería  
llena pero **NO a presión.**

## OTRAS ECUACIONES

$i$  → limitado por la topografía

El diámetro así calculado debe aumentarse  
aproximadamente en un **10%**, con objeto  
de tener un margen de garantía frente  
a defectos en la alineación de los drenes y  
disminución del diámetro efectivo  
por colmatación del dren.

Drenes lisos (cerámicos, hormigón PVC liso):

$$d = 0.193Q^{0.368}i^{-0.211}$$

$$Q = 89d^{2.714}i^{0.572}$$

Drenes corrugados:

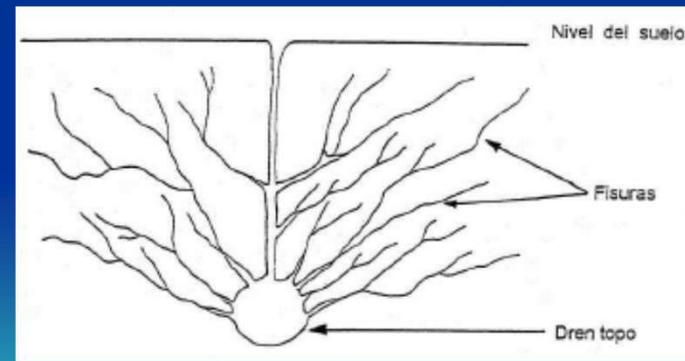
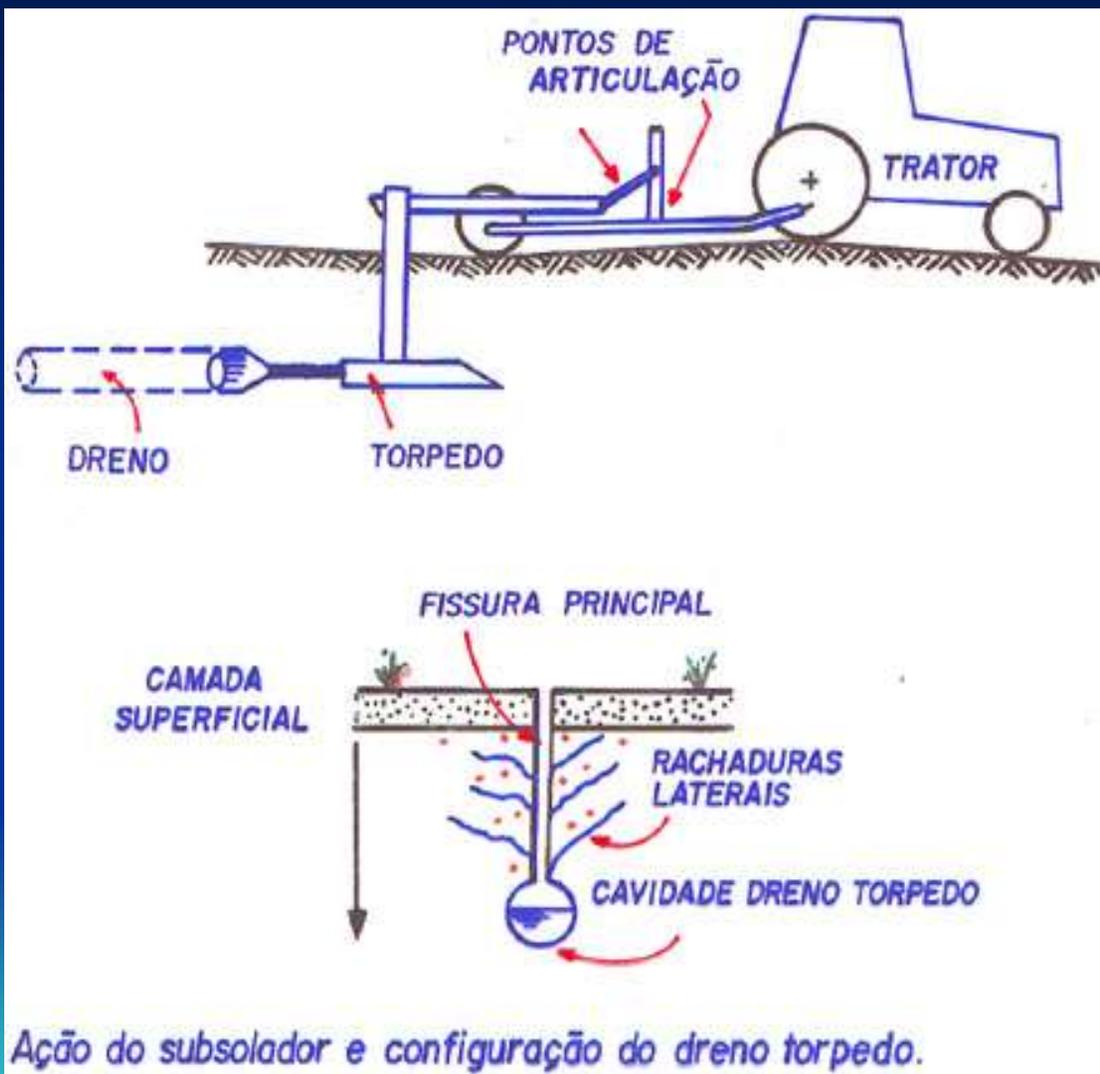
$$d = 0.2557Q^{0.375}i^{-0.187}$$

$$Q = 38d^{2.667}i^{0.5}$$

donde:

$d$  = diámetro interior del dren

# DRENES TOPO



# CÁLCULO DE SEPARACIÓN ENTRE DRENES CON SOFTWARE



# GRACIAS!!!!

## Cátedra de Obras Hidráulicas (CI457)

### BIBLIOGRAFÍA

[1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. FAO (1996) El Drenaje de las Tierras de Regadío – Manual de Campo N° 09. Roma.

[2] MINISTERIO DE AGRICULTURA (2011) Relaciones Hídricas Suelo-Agua-Planta. Chile.

[3] VÁZQUEZ GÚZMAN ANTONIO (1999) Saneamiento y Drenaje. Cosntrucción y Mecanización. Editorial Agrícola Española S.A.. Madrid.

[4] CURRIE H. M. (2017) Manual de Hidrología Agrícola. UNNE. Corrientes – Argentina.

*Espadren (Desague/Drenaje)*

<https://civilgeeks.com>

Obras Hidráulicas - Drenaje Agrícola  
Ing. José A. Serra