

# Suelo salino

La **salinización de los suelos** es el proceso de acumulación en el suelo de [sales solubles](#) en [agua](#). Esto puede darse en forma natural, cuando se trata de [suelos](#) bajos y planos, que son periódicamente [inundados](#) por [ríos](#) o [arroyos](#); o si el nivel de las [aguas subterráneas](#) es poco profundo y el agua que asciende por [capilaridad](#) contiene sales disueltas.

Cuando este proceso tiene un origen [antropogénico](#), generalmente está asociado a sistemas de [riego](#).

Se llama **suelo salino** a un [suelo](#) con exceso de [sales](#) solubles,<sup>[1]</sup> La sal dominante en general es el [cloruro de sodio](#) (NaCl), razón por la cual tal suelo también se llama **suelo salino-sódico**.



Afloramiento de sal en relación con la poca profundidad del agua subterránea.

Una consecuencia de la salinización del suelo es la pérdida de fertilidad, lo que perjudica o imposibilita el [cultivo agrícola](#).

Es común frenar o revertir el proceso mediante costosos «lavados» de los suelos para lixiviar las sales, o pasar a cultivar plantas que toleren mejor la salinidad.<sup>[2]</sup>

Por otro lado, en la planificación de los sistemas de riego modernos éste es un parámetro que se considera desde el comienzo, pudiendo de esta forma prevenirse la salinización dimensionando adecuadamente las estructuras y estableciendo prácticas de riego adecuadas.

## Contenido

- [1 Origen](#)
- [2 Distribución mundial](#)
- [3 Diagnósis](#)
- [4 Lavado](#)
- [5 Balance de agua y sales](#)
- [6 Control de la salinidad](#)
  - [6.1 Drenaje subterráneo](#)
  - [6.2 Cultivo por fajas](#)
- [7 Modelos matemáticos](#)
- [8 Véase también](#)
- [9 Notas y referencias](#)
- [10 Enlaces externos](#)

## Origen



Suelo regado salino con cultivo en mal estado.

La causa de la salinización del suelo es un aporte de sales mayor que la descarga; normalmente el agua con sales [disueltas](#) es lo que aporta estas sales.

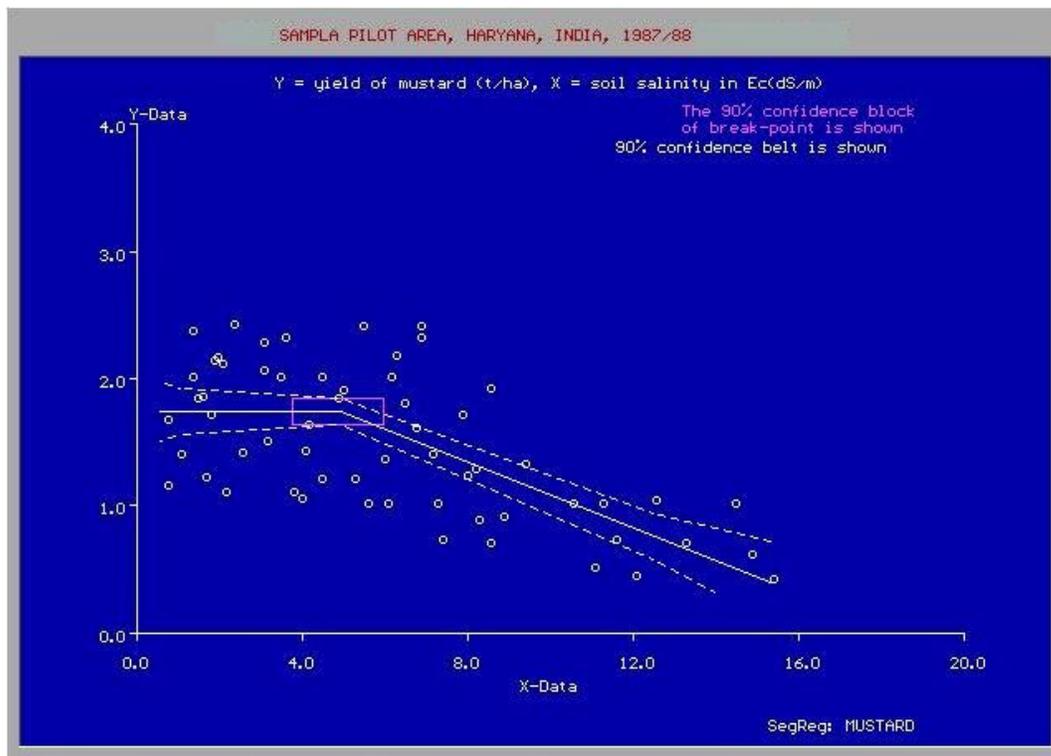
Ejemplos de suelos salinos naturales se encuentran en las [costas](#) marítimas donde los terrenos se inundan desde el mar, donde el viento sopla gotas de agua salina tierra adentro y/o el [flujo subterráneo](#) del mar penetra en el [acuífero](#) interno. También en los [desiertos](#) hay suelos salinos a causa de la alta [evaporación](#) del agua aportada históricamente.[3]

El problema no natural de la salinización se da en los terrenos [regados](#),[4] porque el agua de riego siempre contiene algo de [salinidad](#) y la [concentración](#) en el suelo aumenta continuamente por la [evapotranspiración](#). Por ejemplo, asumiendo que el agua de riego tiene una baja concentración de 0.3 g/l,[5] y una aplicación anual modesta de 10,000 m<sup>3</sup> agua por [ha](#) (casi 3 mm/día), la irrigación introduce 3,000 kg sal/ha cada año. En regiones donde la [precipitación](#) es escasa durante todo el año ([clima árido](#)) o está prácticamente limitada a una sola estación ([lluvias](#) de [monzón](#)) es necesario el riego.

En terrenos regados donde parte del agua aplicada o parte de la lluvia [percola](#) por el suelo y se descarga por un drenaje natural subterráneo, generalmente la exportación de sales es suficiente para evitar la salinización.

Existen dos peligros de salinización:

- La cantidad de agua de riego aplicada, junto con el agua de lluvia, es insuficiente para efectuar un lavado del suelo;
- El [acuífero](#) tiene insuficiente capacidad de descarga (es decir hay poco [gradiente](#) o una [transmisividad](#) pequeña), y no se se aplica un [drenaje subterráneo](#) artificial.



Rendimiento de colza en función de la salinidad del suelo.

El gráfico ha sido preparado con el programa de computadora SegReg ( <http://www.waterlog.info/segreg.htm> ) para la regresión segmentada

En el segundo caso, cuando se logra suministrar el agua de riego ampliamente y se realiza un lavado efectivo, el nivel de la napa freática (tabla de agua) va subiendo porque la recarga es mayor que la descarga, y se originará estancamiento de agua. Se presentan problemas gemelos: las cosechas agrarias se disminuyen dramáticamente y los campos se abandonan.

Los problemas se agudizan cuando el acuífero aporta una cantidad de agua mayor que la descarga. El movimiento del agua subterránea va a ser ascendente, contribuyendo aún mas sales.

En áreas irrigadas el flujo ascendente se puede manifestar en dos formas:

- El terreno es inclinado u ondulado y la percolación de la parte superior se desplaza hacia la parte baja;
- El terreno es plano y está bajo irrigación parcial, de modo que el agua subterránea mueve de las partes regadas hacia las partes que están en barbecho donde el nivel freático es más bajo.

En proyectos de riego, la salinización puede degradar una fracción considerable de la tierra cultivada. Cuando los terrenos salinizados son abandonados, se establece un nuevo régimen hidrológico y la situación entra en un estadio de equilibrio. En las extensiones grandes de áreas regadas en el mundo muy a menudo unos 25 a 30% de los campos son salinizados. Se trata de decenas de millones de hectáreas, lo que afecta mayormente a la parte mas pobre de la población.[4]

## Distribución mundial

Como ejemplos que se encuentran en la literatura, se pueden mencionar:

1. En las áreas regadas de la [India](#) 3 469 100 ha sufren de salinización y 2 189 400 ha de estancamiento de agua.[\[6\]](#) [\[7\]](#)
2. Un estudio sobre 13,6 millones de ha de terrenos bajo riego en el valle del [Río Indo](#) en [Pakistán](#) se mostró que mas de 5,7 millones de ha tienen problemas de salinidad de los cuales 2.4 millones son muy graves[\[8\]](#) . En mas de 3 millones de ha se han gastado millares de [rupias](#) instalando pozos de bombeo para el drenaje subterráneo, pero sólo se alcanzaron parte de las metas. [\[9\]](#) El Banco Asiático de Desarrollo ha declarado que el 38% de las tierras bajo irrigación están demasiado húmedas, y el 14%, demasiado salinas para el uso en la agricultura.[\[10\]](#)
3. En el delta del [Río Nilo](#) de [Egipto](#) se instalan obras de drenaje subterráneo en millones de ha para combatir los efectos de estancamiento de agua y problemas de salinización que comenzaron a sentirse después de la construcción de la [Presa de Asuán](#).[\[11\]](#)
4. En [México](#) un 15% de los 300 000 ha regables está afectado por problemas de salinización y un 10% por estancamientos de agua.[\[12\]](#)
5. En el Perú hay 300 000 del total de 1 050 000 ha en los distritos de riego que están sujetas a los «problemas gemelos».[\[13\]](#)
6. Aproximadamente un tercio de las extensiones de regadío en los países mas importantes en cuanto a agricultura regada experimenta serios problemas de suelos con sales, por ejemplo: [Israel](#) 13%, [Australia](#) 20%, [Chile](#): 20%, [China](#) 15%, [Egipto](#) 30%. Los problemas se manifiestan tanto en los proyectos grandes de riego como en los pequeños.[\[14\]](#)
7. La [FAO](#) ha estimado que en 1990 unos 52 millones de ha de suelos en proyectos de riego requieren mejores en su drenaje subterráneo para poder controlar los problemas de salinización. [\[3\]](#)
8. El cuadro siguiente presenta la distribución regional de los 3,23 millones de km<sup>2</sup> suelos salinos incluido ellos en los [desiertos](#) y a lo larga de las [costas](#) marítimas de acuerdo al mapa mundial de suelos de la [FAO/UNESCO](#).[\[15\]](#)

Región	Área (10 <sup>6</sup> ha)
África	69,5
Oriente Cercano y Medio	53,1
Asia y Oriente Lejano	19,5
América Latina	59,4
Australia	84,7
América del Norte	16,0
Europa	20,7

## Diagnosis

La salinidad del suelo se mide en términos de concentración  $c$  en gramos de sales disueltos por litro de agua del suelo (g/l), pero también se puede medir como [conductividad eléctrica](#)  $\sigma$  de la solución en [dS/m](#). La conversión que se usa típicamente como aproximación es:

$$\sigma = (5/3) \cdot c$$

La relación varía un poco dependiendo de la composición del suelo y de las sales, pero la desviación normalmente es menos de 10%. La salinidad del mar puede ser 30 g/l o 50 dS/m.

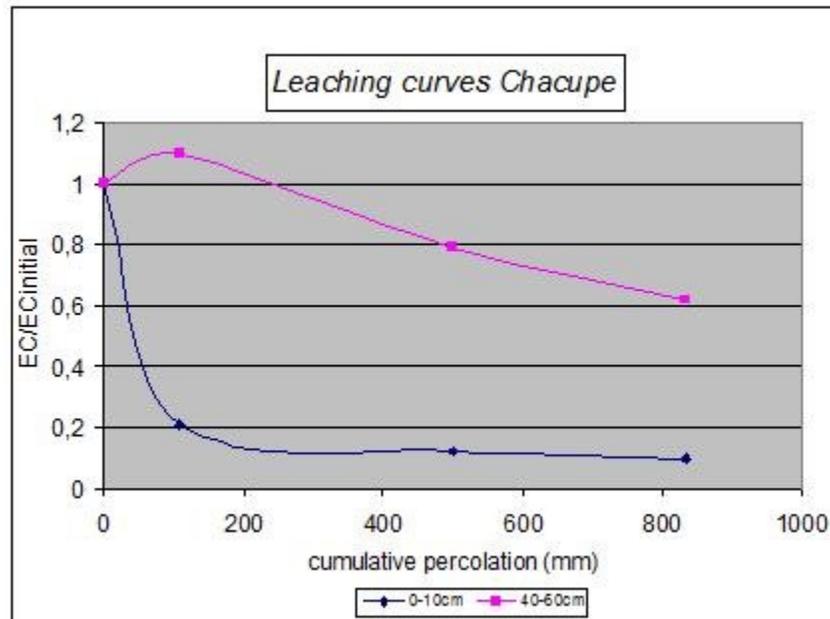
La referencia general de la salinidad es la del extracto de un suelo saturado cuyo conductividad eléctrica se escribe como ECe. Sin embargo, la salinidad se deja medir más fácilmente en una mezcla 2:1 o 5:1 de agua:suelo (en términos de gramo de agua por gramo de suelo seco) que en un extracto saturado, porque éste requiere [centrifugación](#). La relación entre ECe y EC<sub>2:1</sub> es aproximadamente 4, entonces : ECe = 4 EC<sub>2:1</sub>.[\[16\]](#)

Los suelos son considerados salinos cuando ECe > 4. Suelos con 4 < ECe < 8 se llaman ligeramente salinos, con 8 < ECe < 16 (moderadamente) salinos y con ECe > 16 severamente salinos[\[17\]](#)

Las plantas sensitivas pierden su vigor en suelos ligeramente salinos, la mayoría de las plantas se ve afectada por una salinidad moderada, y solo las plantas muy resistentes sobreviven en suelos severamente salinos. La Universidad de Wyoming,[\[18\]](#) EUA, y el Gobierno de Alberta,[\[19\]](#) Canadá, reportan datos de tolerancia de plantas a la salinidad del suelo.

## Lavado

El *lavado del suelo* se hace con el objetivo de recuperar terrenos salinizados o para mantener un contenido de sales aceptable. [20] [21]



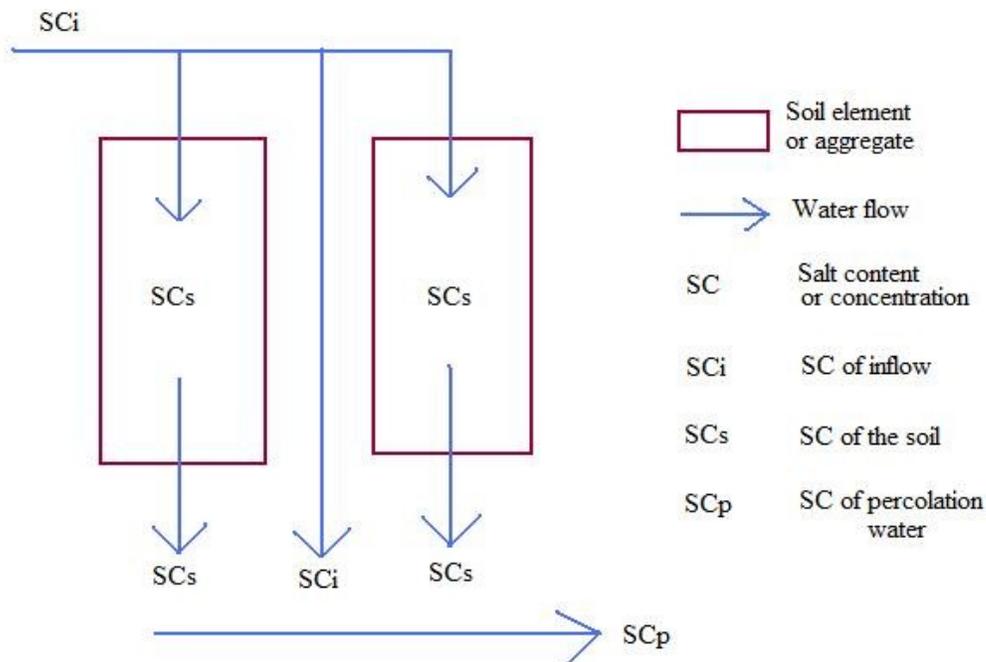
Experiencias del campo experimental Chacupe, Perú.

El *proceso de lavado* se puede ilustrar con las curvas de lavado obtenidos de los datos obtenidos del campo experimental Chacupe en el Perú. [22]

La figura muestra el contenido de sales en el suelo - como conductividad eléctrica (CE) de la humedad del suelo como relación al contenido inicial (CE<sub>i</sub>) - en función de la cantidad de agua que ha percolado por el perfil del suelo. [16]

La capa superior del suelo se lava rápidamente. El contenido de sales el subsuelo inicialmente esta subiendo bajo influencia de las sales que entran desde arriba, pero en seguida el subsuelo también se lava. [23]

Principio de la eficiencia de lavado:



Owing to the presence of pores and cracks in the soil  $SC_p$  differs from  $SC_s$

Leaching efficiency:  $LE = SC_p/SC_s$

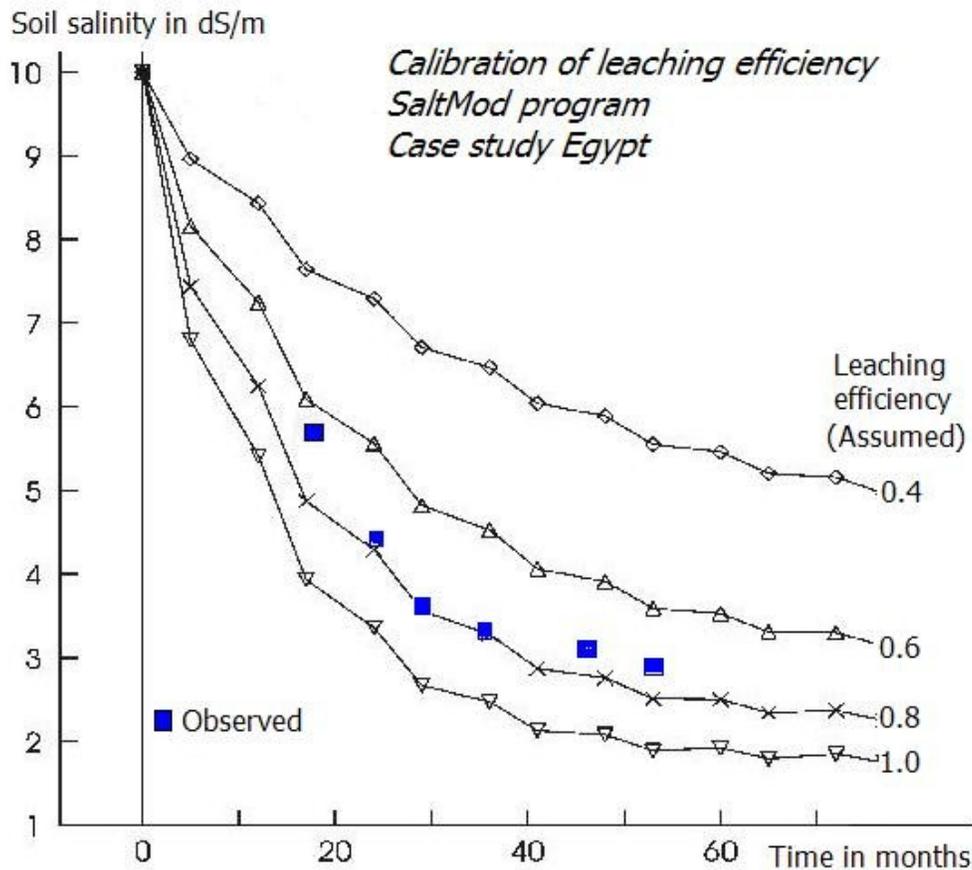
Ya que las sales en el suelo están distribuidos irregularmente, la *eficiencia de lavado* ( $E_L$ ) puede ser menor de uno.

Suelos salinos con baja eficiencia son difíciles de recuperar. En los suelos arcillosos del [pólder de Lezíria Grande](#) en el [delta del Río Tajo](#) en [Portugal](#) se encontró una eficiencia de lavado de solo 0.10 a 0.15.[24] El suelo no se pudo mejorar fácilmente y estaba usado para la cría de toros en pastos naturales.

Por otro lado, para los suelos arcillosos en el [delta del Río Nilo](#) en Egipto se detectaron eficiencias de lavado mucho más alto del orden de 0.7 a 0.8 (véase la figura de calibración).

La siguiente figura muestra diferentes curvas de desalinización con diferentes eficiencias de lavado como asumidas en modelo hidrológico-salino SaltMod,[25] con datos del campo experimental Mashtul. Los valores observados de la salinidad corresponden mejor con la eficiencia de lavado de 0.75.[26]

La figura ilustra el proceso de calibración de la eficiencia de lavado, parámetro que es difícil de medir directamente.



Curvas de lavado y calibración de la eficiencia.

La *norma de lavado* puede referirse a:

- La cantidad total de agua con que se debe lavar el suelo para reducir el valor inicial elevado de la salinidad a un valor aceptable para el cultivo agrícola. De la figura de Chacupe se desprende que se precisan 800 mm (o 8000 m<sup>3</sup>/ha) para bajar la salinidad en la capa de 40 a 60 cm de profundidad a 60% del valor inicial. En el caso que la salinidad debe disminuirse todavía más, la curva de lavado se puede extrapolar a la vista. Para la estimación más exacta, se puede emplear la fórmula de lavado (véase abajo), o se puede utilizar un modelo hidrológico-salino; [25]
- La cantidad anual de agua de lavado (es decir la cantidad extra por encima de la cantidad normal necesario para el crecimiento de los cultivos) requerido para establecer un balance de sales adecuado en el suelo de acuerdo a la tolerancia de los cultivos a la salinidad.

10

La relación:

$$F_L = \text{Perc} / \text{Irr}$$

donde

*Perc* = cantidad de agua de lavado (percolación),  
*Irr* = cantidad total de agua de riego (irrigación),

se llama *fracción de lavado*.[\[20\]](#)

El ramo descendiente de la curva de lavado se deja describir con la *fórmula de desalinización*:[\[20\]](#)

$E_L$

$$C_t = C_i + (C_o - C_i) e^{-E_L \cdot T \cdot V_p / A_s}$$

donde

*C* = concentración de sales,  
*C<sub>t</sub>* = *C* en el suelo al tiempo *T*,  
*C<sub>o</sub>* = *C* en el suelo al tiempo *T*=0,  
*C<sub>i</sub>* = *C* del agua de riego,  
*E<sub>L</sub>* = eficiencia de lavado,  
*V<sub>p</sub>* = velocidad media del agua pasando por el perfil del suelo,  
*A<sub>s</sub>* = abastecimiento de agua en el suelo a la [capacidad de campo](#).

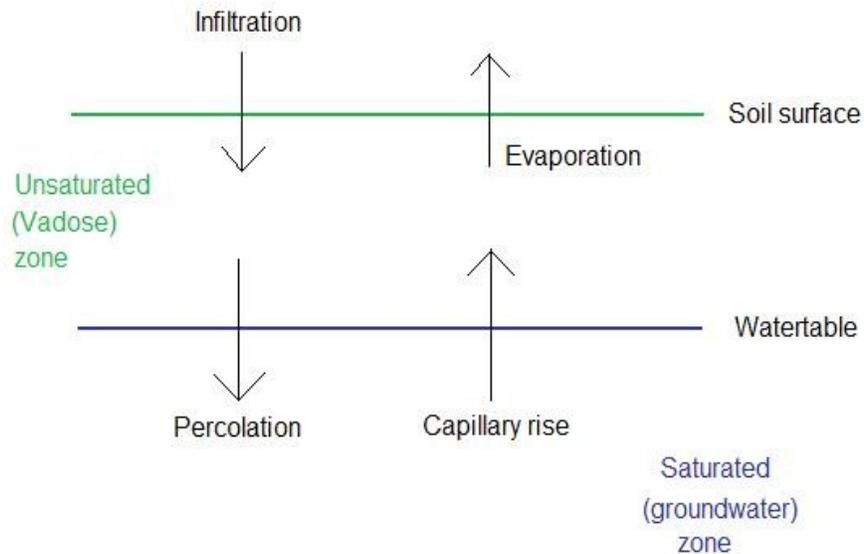
Con fines de mantener un balance de sales favorable en el suelo en concordancia con la tolerancia de los cultivos agrícolas, la *fracción de lavado mínima* debería ser de:[\[17\]](#)

$$F_L = C_i / C_s$$

donde

*C<sub>i</sub>* = la concentración de sales en el agua de riego,  
*C<sub>s</sub>* = la concentración admisible de del líquido en el suelo a la [capacidad de campo](#) conforme a la tolerancia de los cultivos.

## Balance de agua y sales



Parámetros del balance de agua en la parte superior del suelo.

La zona no saturada del suelo, entre la superficie y la tabla de agua (capa freática) está sujeta a cuatro factores [hidrológicos](#) importantes de recarga y descarga:

- Infiltración (*Inf*) de agua de [lluvia](#) (*Lluv*) y agua de [riego](#) (*Irr*) que atraviesan la superficie.
- [Evapotranspiración](#) (*Evap*) del líquido en el suelo, bien transpirada por las plantas, bien directamente a la [atmósfera](#).
- Percolación (*Perc*) del agua yendo por la zona no saturada a la capa freática y mas allá al [agua subterránea](#).
- Ascenso [capilar](#) (*Cap*) del agua subterránea a la zona no saturada pasando por succión a través de la napa freática .

En el [estado estacionario](#), entendido como que la cantidad de agua almacenada en la zona no se cambia en el transcurso del tiempo, el balance de agua en la zona no saturada se escribe como:

$$\text{Recarga} = \text{Descarga}$$

y entonces:

$$\text{Lluv} + \text{Irr} + \text{Cap} = \text{Evap} + \text{Perc}$$

y el balance de sales es:

$$\text{Irr} \cdot C_i + \text{Cap} \cdot C_c = \text{Perc} \cdot C_p + A_s$$

donde:  $C$  = la concentración de sales,  $C_i = C$  del agua de riego,  $C_c = C$  del ascenso capilar,  $C_p = C$  de la percolación, y  $A_s$  = aumento del abastecimiento de sales en la zona no saturada. •

Se ha asumido que no haya escurrimiento del agua sobre la superficie, que el agua de lluvia no contenga sales, y que la incorporación de sales en las plantas es tan pequeña que esto se puede descuidar.

La concentración  $C_p$  se deja escribir como:

$$C_p = E_L \cdot C_n$$

donde  $E_L$  = la *eficiencia de lavado* (o sea *eficiencia de desalinización*), y  $C_n$  = la concentración de las sales en el líquido del suelo en la zona no saturada a capacidad de campo.

Asumiendo que el aumento de la cantidad de sales no es deseable (es decir  $A_s=0$ ), y que la concentración  $C_n$  alcanza el valor deseado ( $C_d$ ,  $C_n=C_d$ ), el balance de sales cambia en:

$$Per \cdot E_L \cdot C_d = Irr \cdot C_i + Cap \cdot C_p$$

Aquí, el término de riego ( $Irr$ ) se puede reemplazar por:

$$Irr = Evap + Perc - Lluv - Cap$$

y el lavado ( $Perc$ ) por:

$$Perc = Lr$$

donde  $Lr$  es el *lavado requerido* para cumplir las condiciones mencionadas.

Después de un re-cálculo se obtiene:[\[20\]](#)

$$Lr = \frac{(Evap - Luv) \cdot C_i + Cap \cdot (C_c - C_i)}{E_L \cdot C_d - C_i}$$

Con esta ecuación se puede determinar también el requerimiento de riego y el de drenaje subterráneo necesario para cumplir las condiciones puestas.

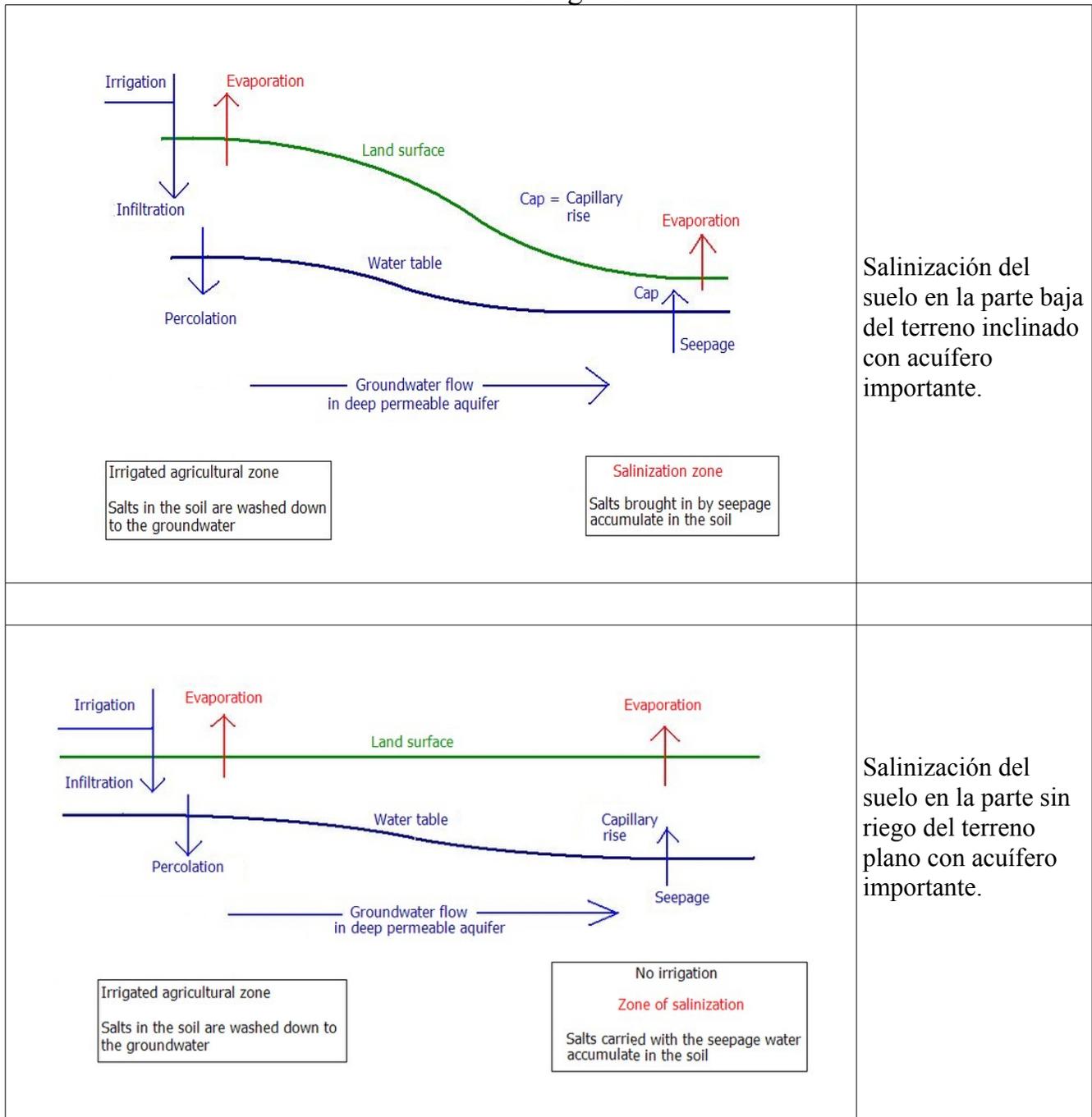
La concentración permitida  $C_d$  depende del límite de tolerancia de las plantas a la salinidad.

El valor del requerimiento de lavado  $Lr$  normalmente varía entre 10 a 20%.

En suelos con napa freática profunda la [eficiencia del riego](#) de campo en la práctica es menos de 70%. [\[27\]](#) En ésta situación las pérdidas de mas de 30% son ampliamente suficientes para mantener un equilibrio de sales favorable, aunque las pérdidas pueden causar otras problemas como el subido del nivel freático que a su vez genera problemas de drenaje y salinización.

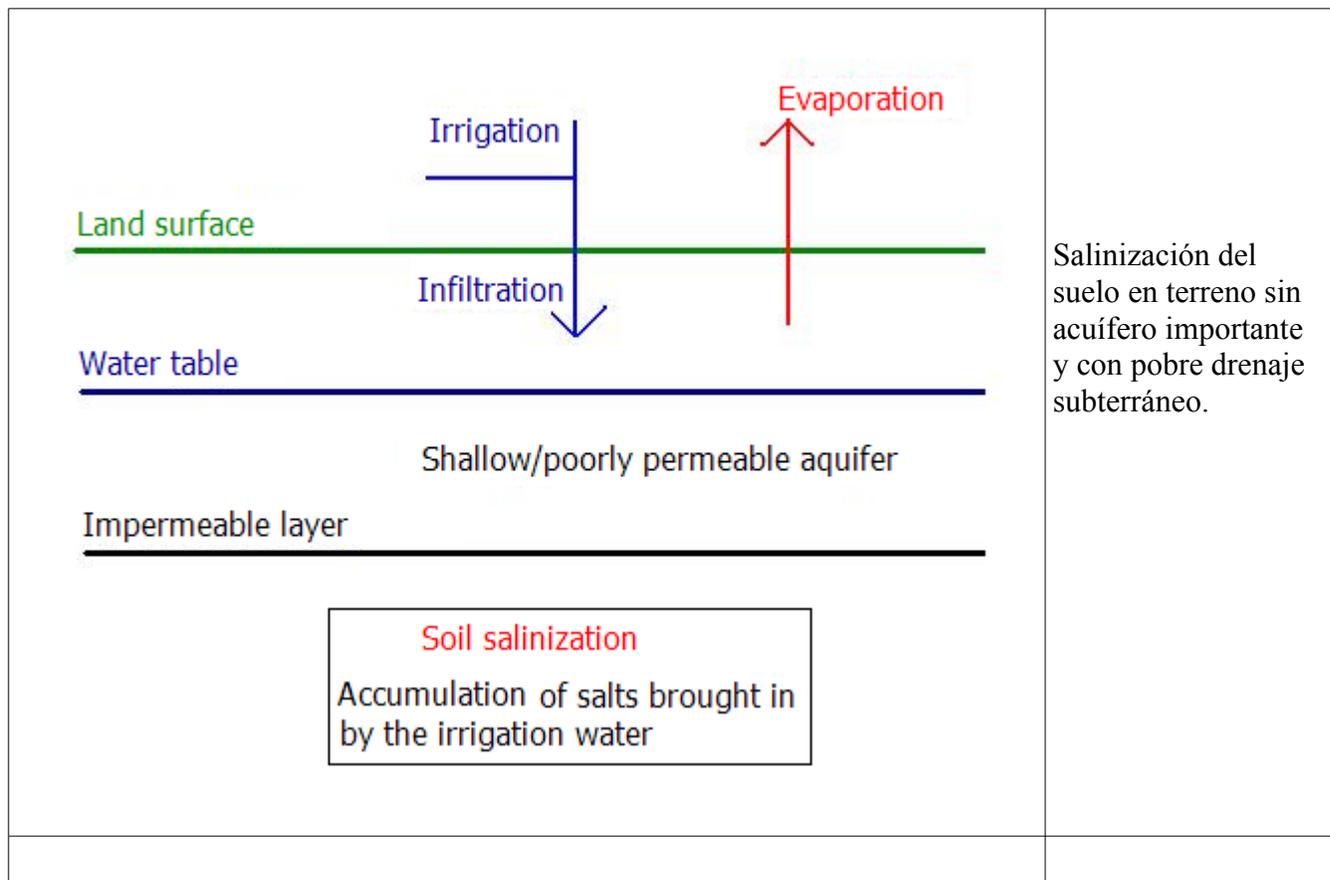
Las condiciones del [acuífero](#) en tierras regadas y el flujo flujo subterráneo juegan un papel importante en la salinización del suelo, [\[28\]](#) como se ilustra a continuación:

Ilustración de la influencia de las condiciones del acuífero en la salinización del suelo de tierras regadas



Salinización del suelo en la parte baja del terreno inclinado con acuífero importante.

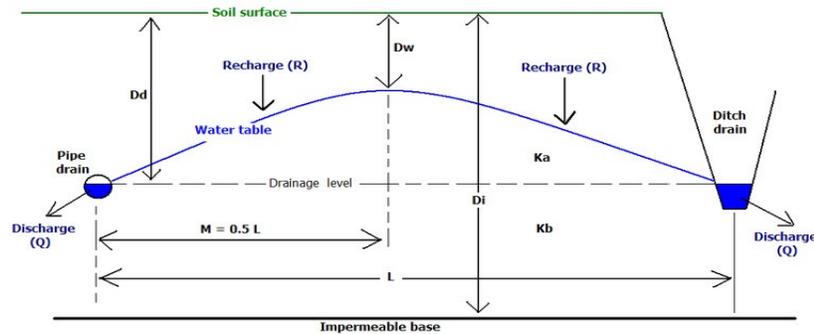
Salinización del suelo en la parte sin riego del terreno plano con acuífero importante.



# Control de la salinidad

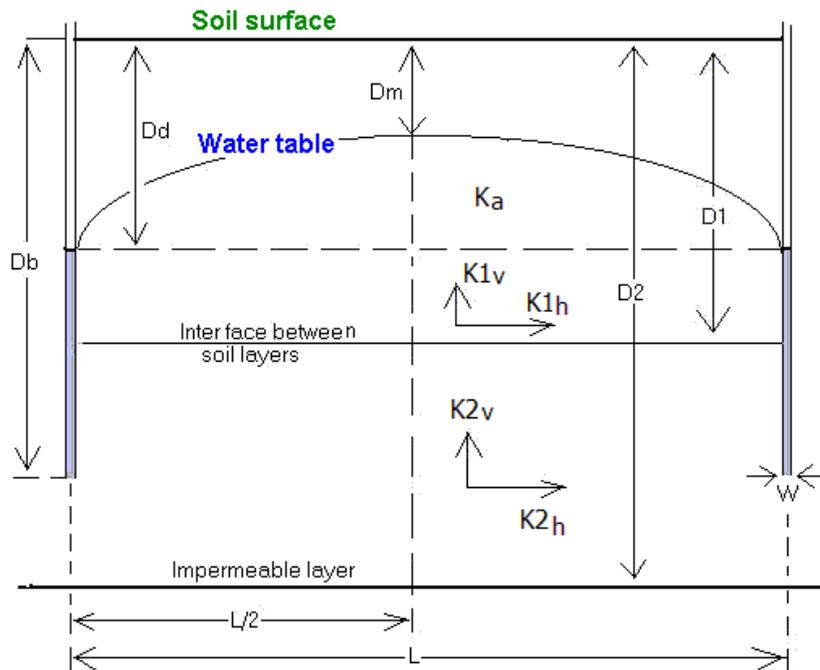
## A. Drenaje subterráneo

Artículo principal: [Drenaje subterráneo](#)



**Geometry subsurface drainage system by pipes or ditches**  
 $D$  = depth  $K$  = hydraulic conductivity  $L$  = Drain spacing

Sección transversal de un [sistema de drenaje](#) horizontal.



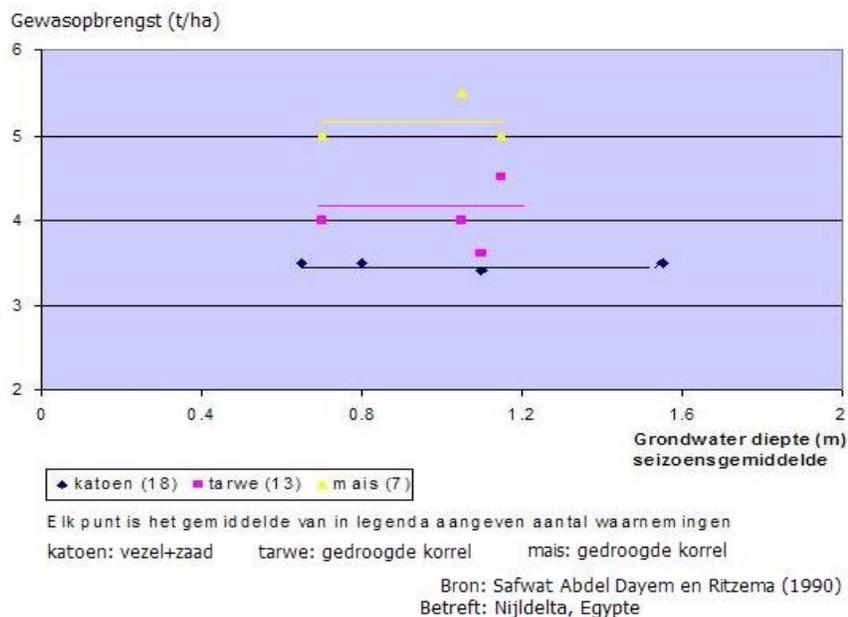
**Geometry well drainage system**

$D$  = Depth  $K$  = hydraulic conductivity  $L$  = well spacing  $W$  = well diameter

Sección transversal de un sistema de drenaje vertical (con pozos bombeados).

El drenaje subterráneo se efectúa generalmente mediante un [sistema de drenaje](#) horizontal (es decir con zanjas o tubos enterrados), pero también son aplicables sistemas verticales (con pozos bombeados).

El sistema de drenaje diseñado para el control de la salinidad del suelo también baja el nivel freático (la tabla de agua). A fin de reducir los costos, el sistema debe diseñarse de manera que la bajada del nivel freático sea lo mínimo posible.



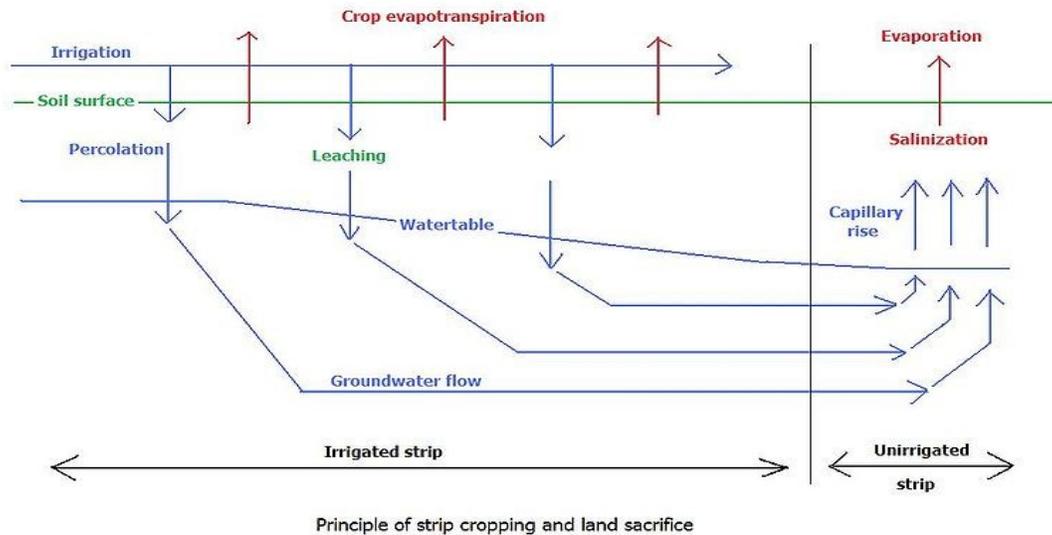
### Cosecha y nivel freático, Egipto.

En muchos casos una profundidad promedio estacional del nivel freático por debajo de la superficie del terreno de 0.6 a 0.8 m es suficiente[29] (véase el gráfico de cosechas). Ya que el nivel freático siempre fluctúa, esto implica que la tabla de agua a veces alcanza la superficie del terreno después de una lluvia o una aplicación de riego grande, pero también que la tabla de agua se profundiza a más de 1 m. La fluctuación ayuda la *respiración del suelo* expulsando al subir el [dióxido de carbono](#) (CO<sub>2</sub>) producido por las raíces y jalando al bajar el [oxígeno](#) (O<sub>2</sub>) fresco necesario.

El mantener de la profundidad mínimo de la tabla de agua ofrece la ventaja de que entregas de agua de riego demasiado grandes serán desalentados por que la cosecha se reduciría a un nivel elevado de la tabla de agua. Así el agua de riego se ahorra promoviendo el uso mas efectivo.

La tesis planteada arriba es muy general ya que en algunos casos se necesitan niveles freáticos todavía menos profundos, por ejemplo en el cultivo de [arroz](#) en [arrozales](#) inundados, mientras que en otras instancias se requieren niveles mas profundos como para árboles frutales y para [caña de azúcar](#) en su período de maduración. La determinación de la profundidad mas apropiada es sujeto de «criterios de drenaje».[30]

## B. Cultivo por fajas



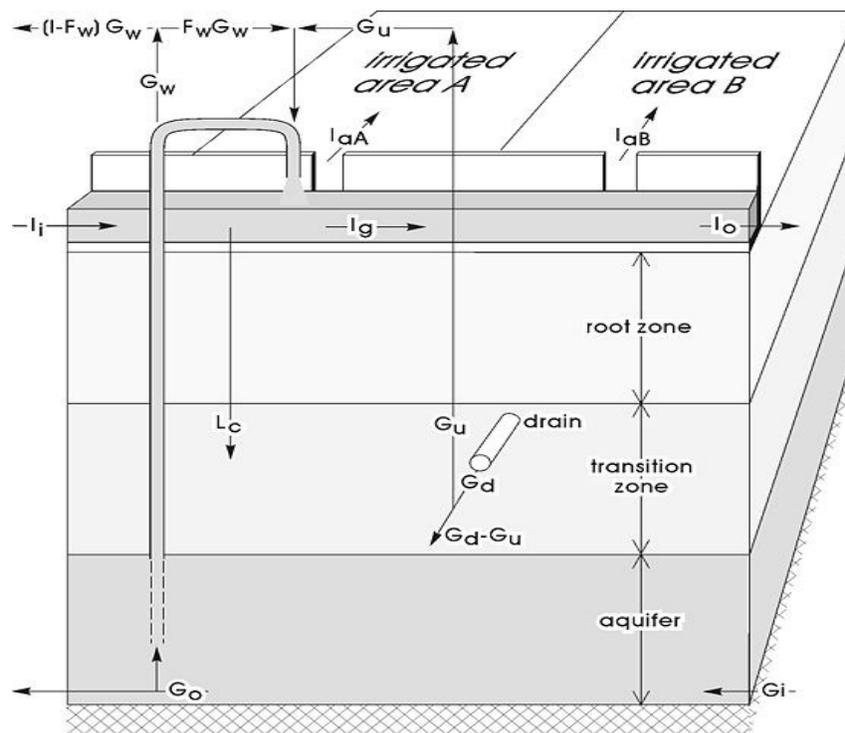
Principios hídricos de *cultivo por fajas* para controlar el nivel freático y la salinidad de suelo en las fajas regadas y cultivadas por medio de fajas sin riego.

En áreas regadas con escasa disponibilidad de agua y con problemas de drenaje y salinidad a veces se practica el cultivo por fajas en que se introducen fajas cultivadas alteradas con fajas en [barbecho](#) permanente (*fajas de sacrificio*).[\[31\]](#) Por el aporte de agua, el nivel del agua subterránea en las fajas regadas es más elevado que en las fajas sacrificadas, lo que origina un flujo de agua subterránea hacia las fajas no regadas. Este flujo subterráneo funciona como un [drenaje subterráneo](#) de las fajas regadas en las cuales el [freático](#) así está controlado a un nivel aceptable, el lavado del suelo es factible, y la salinidad de suelo se puede mantener a un nivel lo suficiente bajo.

En las fajas no regadas, el suelo es seco y por succión [capilar](#) el agua subterránea asciende y evapora, dejando en la tierra las sales que eran disueltas en el agua. Como consecuencia, las fajas de sacrificio se salinizan. Sin embargo, las fajas no regadas pueden tener una cierta utilidad para el [ganado](#) agraria, sembrando [gramíneas](#) y [hierbas](#) comestibles que tienen resistencia a la salinidad. Además se pueden plantar árboles útiles que son resistentes a la salinidad (por ejemplo la [Casuarina](#), el [Eucalyptus](#), o [Atriplex](#)) tomando en cuenta que la salinidad del subsuelo mojado no es tan grande como la del suelo superficial. En estas formas también se controla la [erosión del suelo por vientos](#). Las fajas de barbecho también pueden servir para la cosecha de [sal](#).

## Modelos matemáticos

Véanse también: [Drenaje \(ecuación\)](#) y [Drenaje por pozos](#)



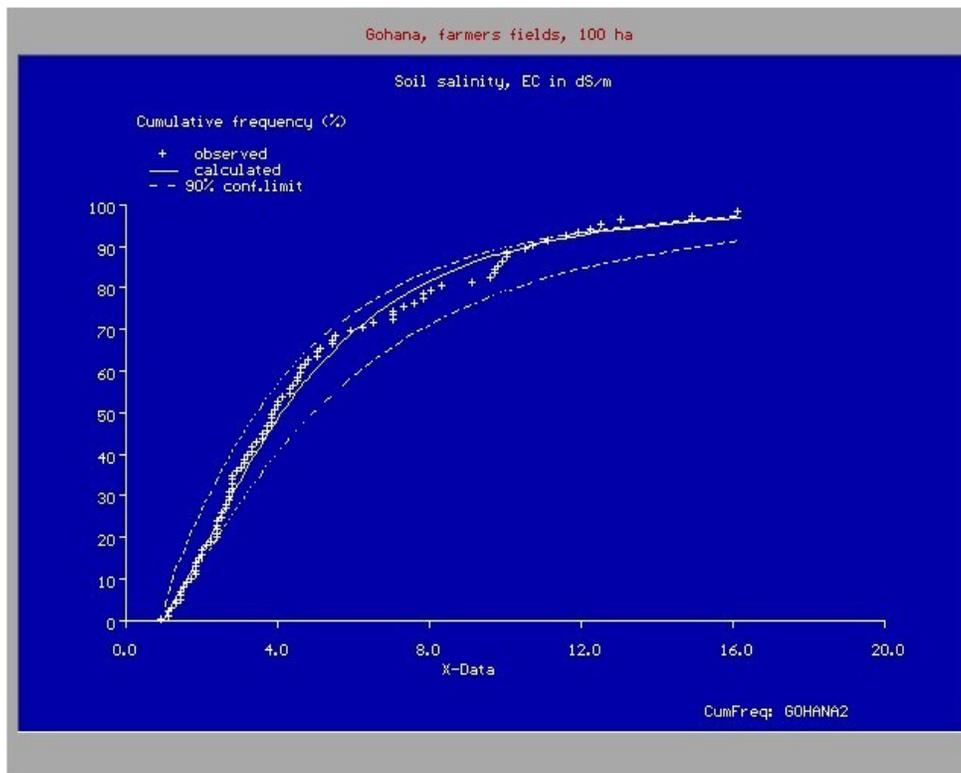
Algunos de los parámetros usados en el modelo SaltMod.

La mayoría de los [modelos matemáticos](#) y [software](#) disponible para el agua del suelo y las materias [disueltas](#) en ello (por ejemplo SWAP,[32] DrainMod-S,[33] y UnSatChem)[34] están basados en la [ecuación diferencial](#) de Richards para el flujo en el suelo no saturado en combinación con una ecuación diferencial de la [dispersión](#)

Los modelos necesitan datos de ingreso de las características del suelo como la relación entre el contenido de líquido en suelo no saturado, la succión capilar, la [permeabilidad](#) y la dispersividad. Estas relaciones tienen una grande [variación](#) de un lugar al otro y no son fáciles de medir. Los modelos utilizan intervalos de tiempo muy pequeños y requieren por lo menos valores diarios de los variables que dependen del tiempo y de los factores [hidrológicos](#). Todo esto conduce a la condición de que la aplicación a la escala de un proyecto de riego es una actividad de un equipo de especialistas con amplias facilidades.

Modelos de hidro-salinidad mas simples como SaltMod,[35] que utilizan datos estacionales en vez de diarios y que disponen de una función empírica del ascenso [capilar](#), también están disponibles y tienen utilidad para las predicciones a largo plazo que dependen del manejo de agua como el riego y el drenaje. Variando el manejo, el modelo permite [simular](#) los subsecuentes efectos y apreciar el manejo óptimo.

SaltMod toma en cuenta la variación espacial [al azar](#) de la salinidad (véase el gráfico).



Distribución acumulada de la salinidad del suelo en un área de 100 ha.

El gráfico ha sido preparado con el programa CumFreq  
( <http://www.waterlog.info/cumfreq.htm> ) para la distribución de la [frecuencia acumulativa](#)

La variación espacial a causa de diferencias en elevación [topográfica](#) se puede calcular con modelos de hidro-salinidad combinados con un modelo de flujo subterráneo en el [acuífero](#), por ejemplo SahysMod.  
[\[36\]](#)

## Notas y referencias

1. ↑ A veces también se llaman suelos salinos a los suelos con muchas sales sólidas poco [solubles](#) como el [aljez \(suelo yesífero\)](#) y el [carbonato de calcio \(suelo calcáreo\)](#), pero su carácter es bien diferente de los suelos con exceso de sales solubles que se tratan en este artículo.
2. ↑ Ver [Impactos ambientales. Riego y drenaje.](#), en wikibooks.
3. ↑ [a b](#) United Nations, 1977. Water for Agriculture. In: Water Development and Management, Proceedings of the United Nations Water Conference, Part 3. Mar del Plata, Argentina.
4. ↑ [a b](#) ILRI, 1989, Effectiveness and Social/Environmental Impacts of Irrigation Projects: a Review. In: Annual Report 1988, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, pp. 18 - 34. Bajar de la página : [\[1\]](#), o directo como PDF : [\[2\]](#)
5. ↑ 0.3 g/l es igual a 0.3 kg/m<sup>3</sup> lo que corresponde con una conductividad eléctrica de mas o menos 0.5 dS/m
6. ↑ N.K.Tyagi, 1996. Salinity management: the CSSRI experience and future research agenda. In: W.B.Snellen (Ed.), Towards integration of irrigation and drainage management. ILRI, Wageningen, The Netherlands, 1997, pp. 17-27.
7. ↑ N.T.Singh, 2005. Irrigation and soil salinity in the Indian subcontinent: past and present. Lehigh University Press. [ISBN 0-934223-78-5](#), 9780934223782, 404 p.
8. ↑ Green Living Association Pakistan, Environmental Issues. On line: <http://greenlivingasc.org/pakistan2.htm>
9. ↑ A.K.Bhatti, 1987. A review of planning strategies of salinity control and reclamation projects in Pakistan In: J.Vos (Ed.) Proceedings, Symposium 25th International Course on Land Drainage. ILRI publ. 42. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands
10. ↑ Water in the 21st Century : Imperatives for Wise Water Management. From Public Good to Priced Commodity. On line: [http://www.adb.org/Documents/Reports/Water/from\\_public.asp](http://www.adb.org/Documents/Reports/Water/from_public.asp)
11. ↑ M.S.Abdel-Dayem, 1987. Development of land drainage in Egypt. In: J.Vos (Ed.) Proceedings, Symposium 25th International Course on Land Drainage. ILRI publ. 42. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands
12. ↑ L. Pulido Madrigal, 1994. Anexo Técnico: Estudio general de salinidad analizada. CNA-IMTA, Cuernavaca, México. Citado en: ILRI, 1996. Land drainage and soil salinity: some Mexican experiences. In: Annual Report 1995, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, pp. 44 - 52. Bajar de la página [\[3\]](#), o directo como PDF : [\[4\]](#)
13. ↑ A. de la Torre, 2004, La degradación de tierras por salinidad en la región desértica de la costa Peruana. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Recursos Naturales, Intendencia de Recursos Hídricos.
14. ↑ Claudio O. Stockle. Environmental impact of irrigation: a review. State of Washington Water Research Center, Washington State University. On line: <http://134.121.74.103/newsletter/fall2001/IrrImpact2.pdf>
15. ↑ R.Brinkman, 1980. Saline and sodic soils. In: Land reclamation and water management, p. 62-68. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands

16. ↑ [a](#) [b](#) ILRI, 2002. *Soil salinity*. Lecture notes International Course on Land Drainage, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. Bajar de la página : [\[5\]](#) o directo como PDF : [\[6\]](#)
17. ↑ [a](#) [b](#) L.A.Richards (Ed.), 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. [USDA Agricultural Handbook 60](#).
18. ↑ Alan D. Blaylock, 1994, *Soil Salinity and Salt tolerance of Horticultural and Landscape Plants*. [University of Wyoming](#)
19. ↑ Government of Alberta, Canadá, [Salt tolerance of Plants](#)
20. ↑ [a](#) [b](#) [c](#) [d](#) J.W. van Hoorn and J.G. van Alphen (2006), Salinity control. In: H.P. Ritzema (Ed.), *Drainage Principles and Applications*, p. 533-600, Publication 16, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. [ISBN 90 70754 3 39](#).
21. ↑ Abrol I.P., Yadav J.S.P, Massoud F. 1988. Salt affected soils and their management, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Soils Bulletin 39.
22. ↑ C.A. Alva, J.G. van Alphen, A. de la Torre, L. Manrique, 1976. Problemas de Drenaje y Salinidad en la Costa Peruana. ILRI bulletin 16 (Spanish). International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands
23. ↑ Case study leaching (Chacupe). Lecture notes International Course on Land Drainage, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. Data from CENDRET/SUDRET project, Perú, 1968 -1974. Bajar de la página [\[7\]](#) o directo como PDF : [\[8\]](#)
24. ↑ E.A. Vanegas Chacon, 1990. Using SaltMod to predict desalinization in the Leziria Grande Polder, Portugal. Thesis. Wageningen Agricultural University, The Netherlands
25. ↑ [a](#) [b](#) ILRI, 1996, *SaltMod: description of principles, user manual and examples of application*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. Bajar de la página [\[9\]](#) o directo como PDF : [\[10\]](#)
26. ↑ ILRI, 1990. Using SaltMod to predict drainage and salinity control in the Nile delta. In: Annual Report 1989, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen (ILRI), The Netherlands, p. 63-74
27. ↑ M.G.Bos and J.Nugteren, 1990, *On irrigation efficiencies*, Publication 19, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, [ISBN 90 70260 875](#) . Bajar como PDF : [\[11\]](#)
28. ↑ ILRI, 2003. *Drainage for Agriculture: Drainage and hydrology/salinity - water and salt balances*. Lecture notes International Course on Land Drainage, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. Bajar de la página : [\[12\]](#) , o directo como PDF: [\[13\]](#)
29. ↑ Safwat Abdel-Dayem and H.P. Ritzema 1990. Verification of drainage design criteria in the Nile Delta, Egypt. *Irrigation and Drainage Systems*, 4, 2, pp. 117-131.
30. ↑ ILRI, 1994, *Agricultural Drainage Criteria*. Chapter 17 in: H.P.Ritzema (ed.), *Drainage Principles and Applications*, Publication 16, p.635-690. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. [ISBN 90 70754 3 39](#). Bajar de la página : [\[14\]](#) o directo como PDF : [\[15\]](#)
31. ↑ ILRI, 2000. *Irrigation, groundwater, drainage and soil salinity control in the alluvial fan of Garmsar*. Consultancy assignment to the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. On line: [\[16\]](#)

32. [↑ SWAP model](#)
33. [↑ DrainMod-S model](#)
34. [↑ UnSatChem model](#)
35. [↑](#) ILRI, 1997. «SaltMod: A tool for interweaving of irrigation and drainage for salinity control». In: W.B.Snellen (ed.), Towards integration of irrigation, and drainage management. ILRI Special report, p. 41-43. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands. Bajar como PDF : [17]. Una descripción (y una posibilidad de libre bajada) de SaltMod se encuentra en la página : [18], un resumen se deja bajar directamente como PDF : [19], y el manual completo también como PDF : [20]
36. [↑](#) Una descripción (y una posibilidad de libre bajada) de SahysMod se encuentra en la página : [21], un resumen se deja bajar directamente como PDF : [22] , y el manual completo también como PDF : [23]