



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Agua Subterránea desde la Academia

Visibilización y protección

Luis R. Alfaro, Ph.D.

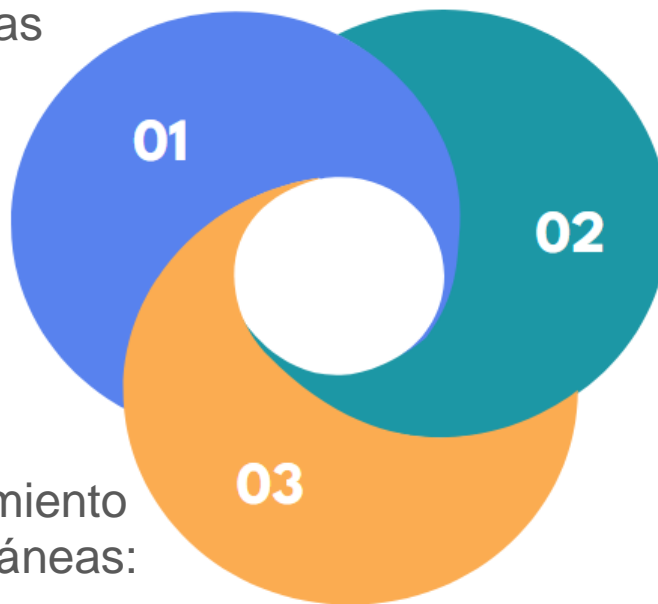
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos –ERIS–

Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, 7 de julio del 2023

Puntos a tratar:

Proporcionar una comprensión integral de las aguas subterráneas



Importancia de las aguas subterráneas en el ciclo hidrológico

Protección y mejoramiento de las aguas subterráneas:

¿Que son las aguas subterráneas?

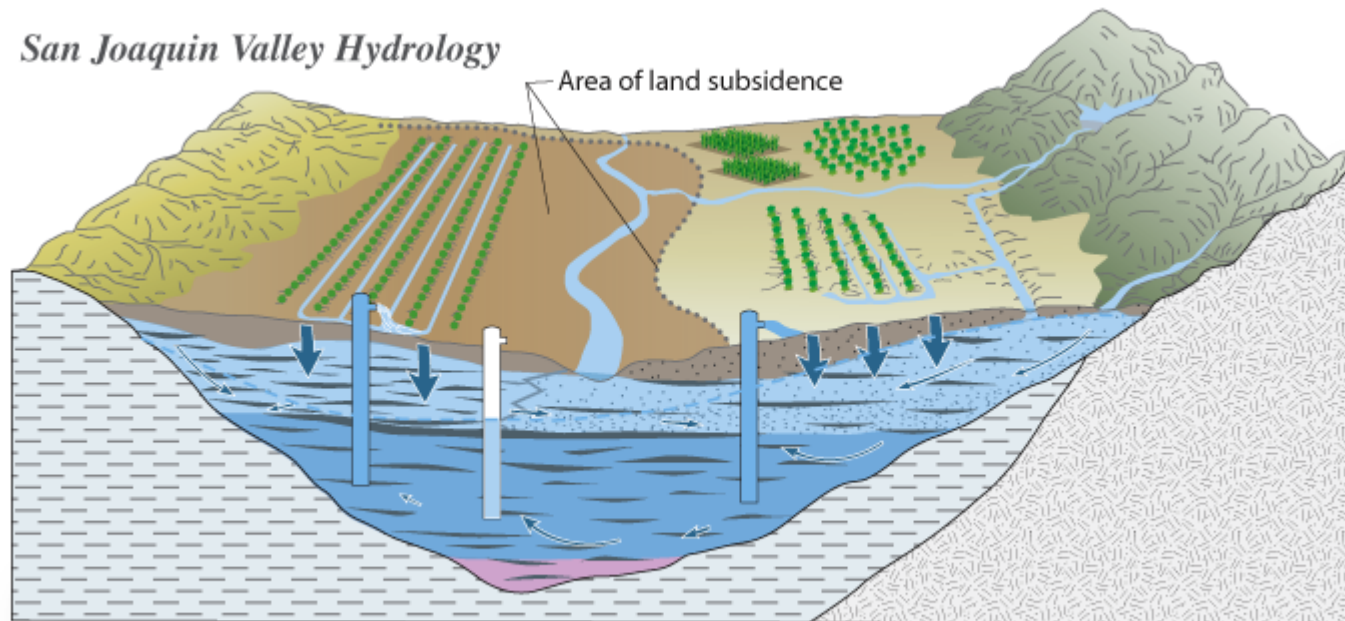
El agua subterránea es un recurso esencial que desempeña un papel fundamental en la sostenibilidad hídrica y el abastecimiento de agua potable. Se encuentran contenidas en depósitos subterráneos llamados *acuíferos*.

Representan una fuente vital de agua dulce, especialmente en regiones donde la disponibilidad de agua superficial es limitada.

Además de su uso como fuente de agua potable, el agua subterránea también juega un papel crucial en la agricultura, la industria y los ecosistemas.

Los acuíferos son formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua subterránea.

La capacidad de almacenamiento y la velocidad de recarga de los acuíferos varían según las características geológicas locales.



Fuente: Faunt, C.C. ed., 2009, Groundwater Availability of the Central Valley Aquifer: U.S. Geological Survey Professional Paper 1766, 225 p.

Importancia de las aguas subterráneas en el ciclo hidrológico

El agua subterránea se forma a través de la infiltración de las **precipitaciones** hacia el subsuelo.

Una vez almacenada en los acuíferos, el agua subterránea puede fluir lentamente y ser liberada a través de manantiales y pozos.

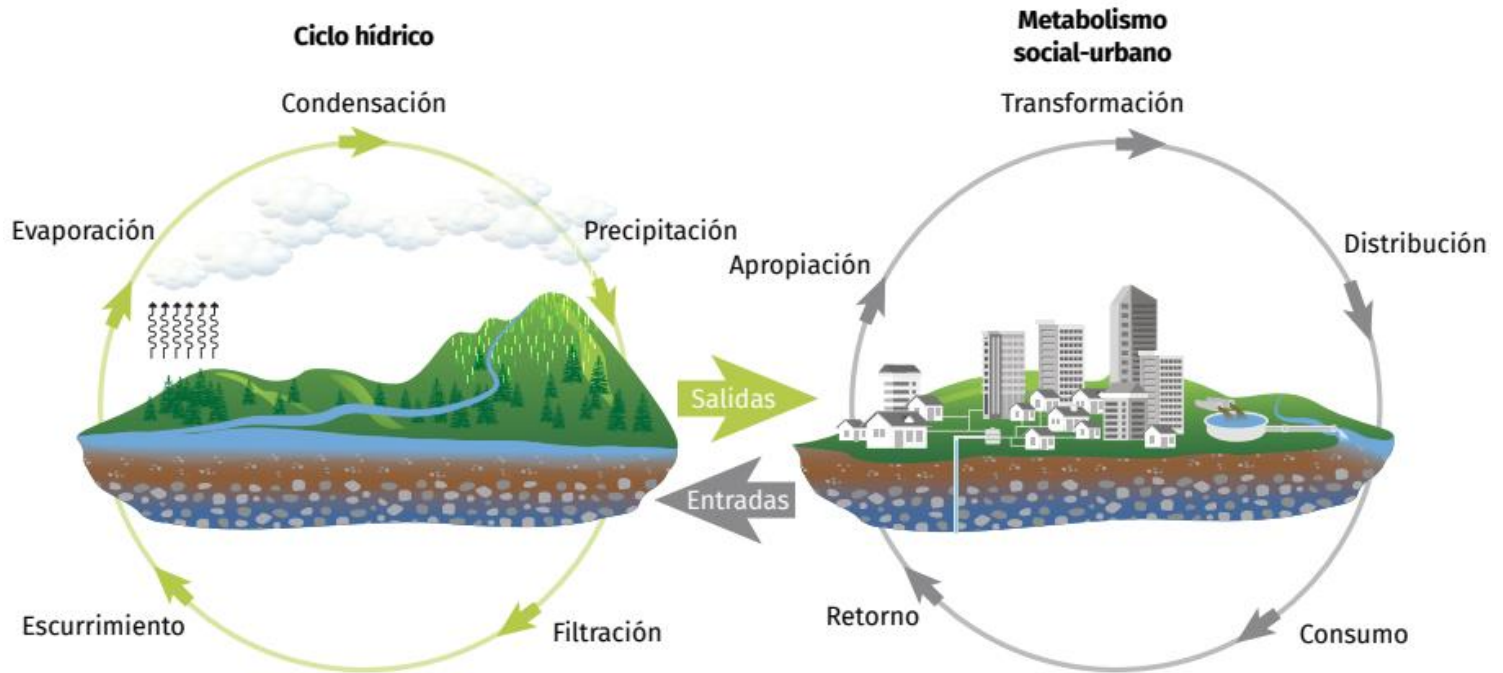
Comprender el **ciclo hidrológico** es fundamental para evaluar la recarga y extracción sostenible de los acuíferos.

¿Cuanta agua tenemos?

Agua disponible = Entradas - Salidas

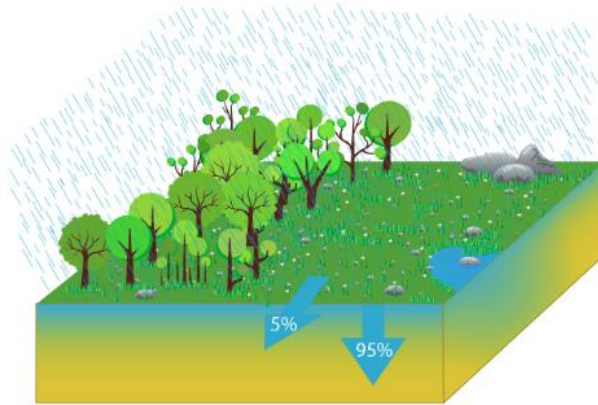
¿Será que el ciclo hidrológico de hoy es igual al de hace 200 años?

El ciclo hídrico



Fuente: Toledo (2013) y Peniche (2019) en Martínez y Peniche (s. f.).

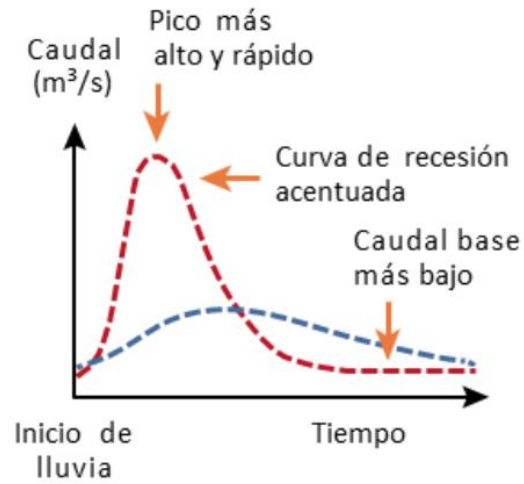
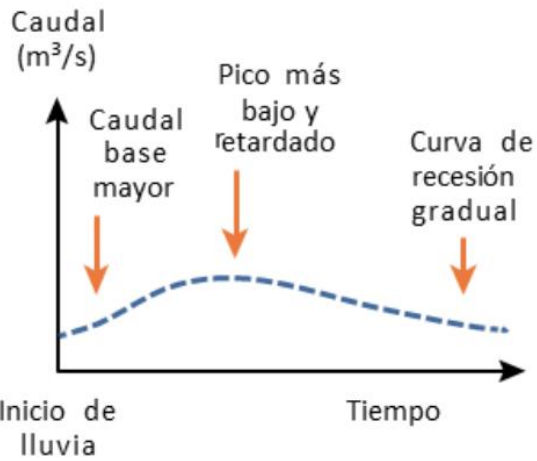
El ciclo hídrico



Before



After



Resultados de una disminución en la infiltración de las lluvias:



Fuente: diario La Hora



Fuente: Prensa Libre: Antonio Ixcot

¿Que podemos hacer al respecto?

Protección y mejoramiento de las aguas subterráneas: Aguas subterráneas desde el punto de vista académico

La solución es clara. Debemos de incrementar la cantidad de agua se se infiltra en el suelo.

Este problema es común alrededor del mundo, por lo cual actualmente una línea de investigación muy fuerte son los **Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible** – SUDS

Adicionalmente se ha estudiado y recomendado el uso del suelo como sistema de tratamiento secundario para aguas residuales, lo cual ayuda a limpiar el agua y a recargar los acuíferos.

Sin embargo, debemos de ser cuidadosos con esto, ya que como veremos a continuación, **si el agua a infiltrar está contaminada, podría generar nuevos problemas.**

Aguas subterráneas desde el punto de vista académico

Son un tema muy complicado debido a las miles de interacciones que existen entre el suelo, el agua, los minerales y los microorganismos.

- Las interacciones no son fácilmente observables ni monitoreables.
- A diferencia del agua superficial, **la contaminación no siempre es evidente.**
- El conocimiento esta en constante evolución.

Veamos un ejemplo: El suelo como sistema de tratamiento filtrante

El suelo como sistema de tratamiento filtrante

El suelo tiene propiedades filtrantes por lo que se considera un tratamiento secundario de aguas residuales de origen doméstico, reconocido científicamente por la OMS y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

La investigación científica demuestra que la eficiencia del suelo con 1.20 metros de profundidad de filtración es de 98% de remoción de la materia orgánica expresada como DBO, Pérez Wilber, publicación de artículo científico “Uso del suelo como tratamiento secundario para remoción de aguas residuales domésticas” Revista Científica Agua, Saneamiento & Ambiente, ISSN 2222 2499, indexada en Latindex.

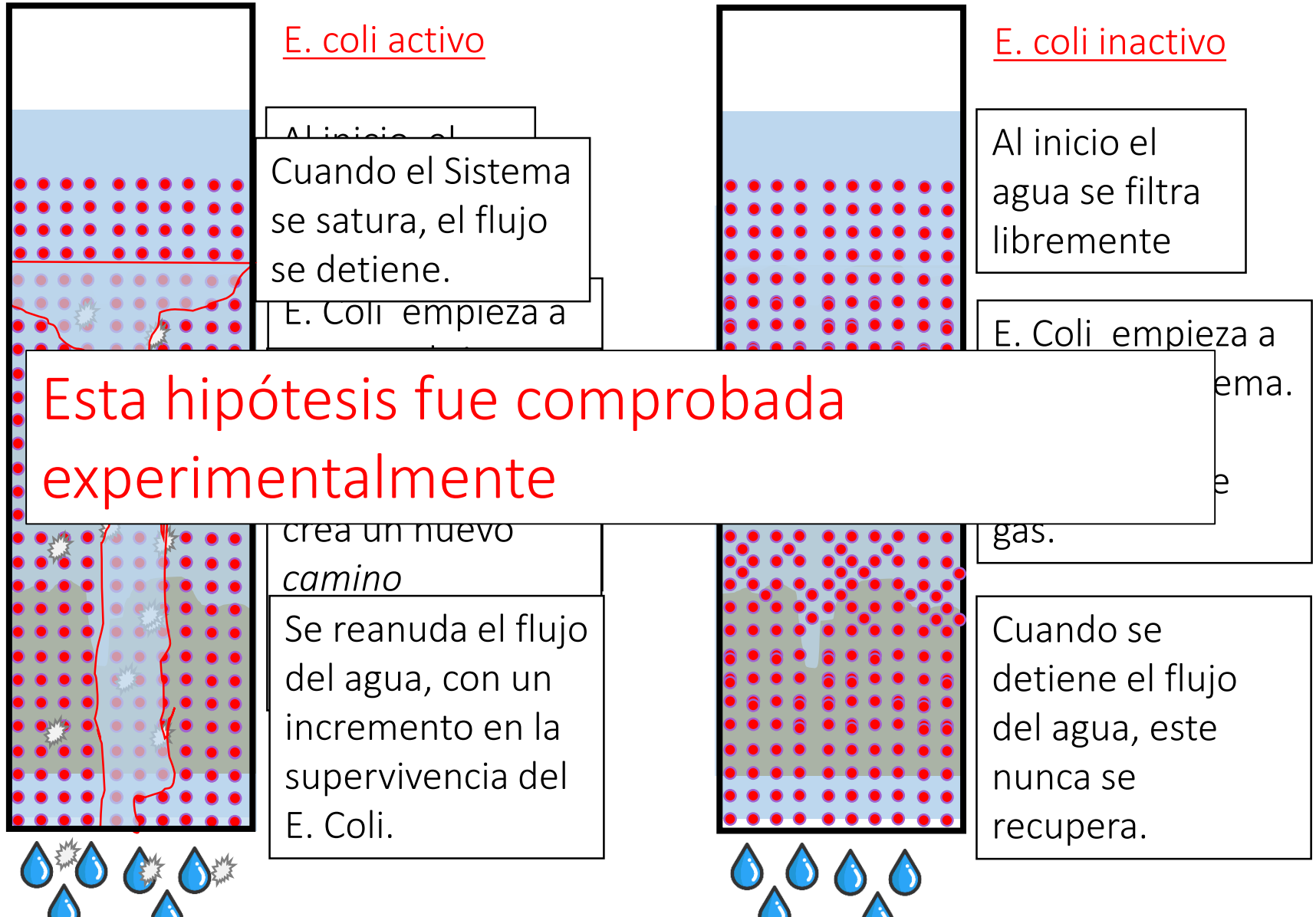
El suelo como sistema de tratamiento filtrante

En los *Estados Unidos* de América se estima que el *40% de la población rural* cuentan con sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales consistentes en *fosas sépticas* e infiltración en el suelo, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos USEPA, *consideran el suelo como tratamiento secundario*,

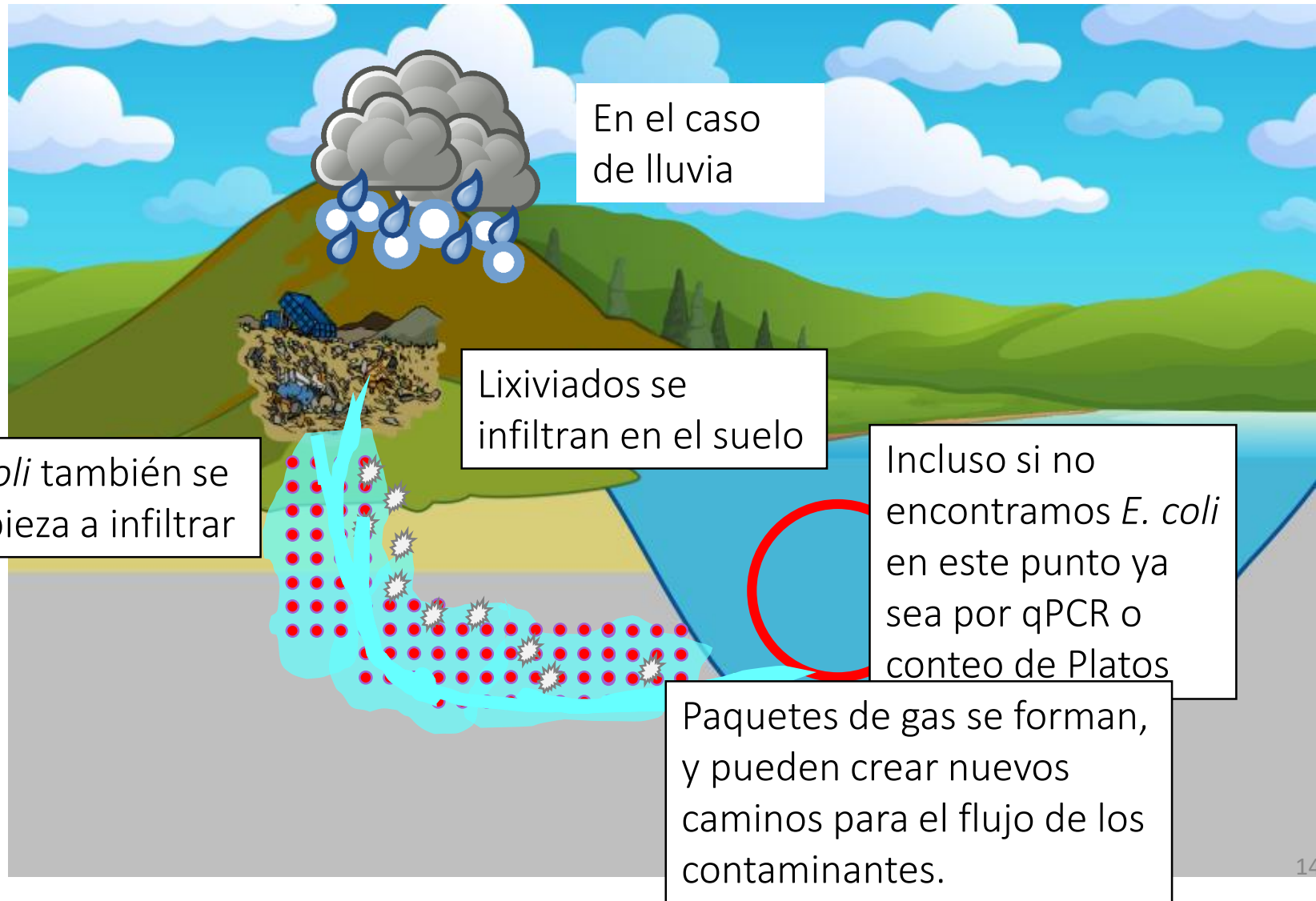
<https://www.epa.gov/septic/types-septic-systems>.

La recomendaciones sanitaria, de la Organización Mundial de la Salud, *OMS* y las regulaciones del *Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social*, Acuerdo Ministerial 573-2011 indican *1.5 metros de separación entre el fondo del sistema de absorción y el nivel freático*. Esta recomendación entre la distancia del fondo del pozo de absorción y el nivel freático, ha sido recomendada ampliamente por la OMS, para letrinas de pozo seco donde se dispone directamente las excretas y orina humana.

El suelo como sistema de tratamiento filtrante: Investigaciones recientes



Efectos del *E. Coli* activo en el proceso de infiltración



Efectos del *E. Coli* inactivo en el proceso de infiltración



Entonces...

¿Usamos o no el suelo como sistema filtrante?

Depende de las condiciones del agua a tratar. (temperatura, concentración de bacterias, etc)

Es importante tener en cuenta que:

- El suelo puede retener contaminantes presentes en el agua, pero dichos contaminantes aún pueden tener efectos que controlen el flujo del agua y otros contaminantes.
- El suelo no elimina los contaminantes, sino que los acumula.

Conclusión

Es imperativo implementar sistemas para promover la infiltración de agua de lluvia.

Fallar en hacerlo provocará que se acelere la exterminación de nuestros acuíferos, y causará que cada vez tengamos inundaciones mayores.

Asímismo, podemos utilizar infiltrar aguas residuales ya tratadas, pero tenemos que tener cuidado ya que los contaminantes presentes no solo se quedan acumulados en el suelo, sino que pueden dictar el flujo del agua y otros contaminantes.

Gracias por su atención

Luis R. Alfaro, PhD.

email: r_alfaro@outlook.com

Tel: +502 3740-6530



Artículos publicados

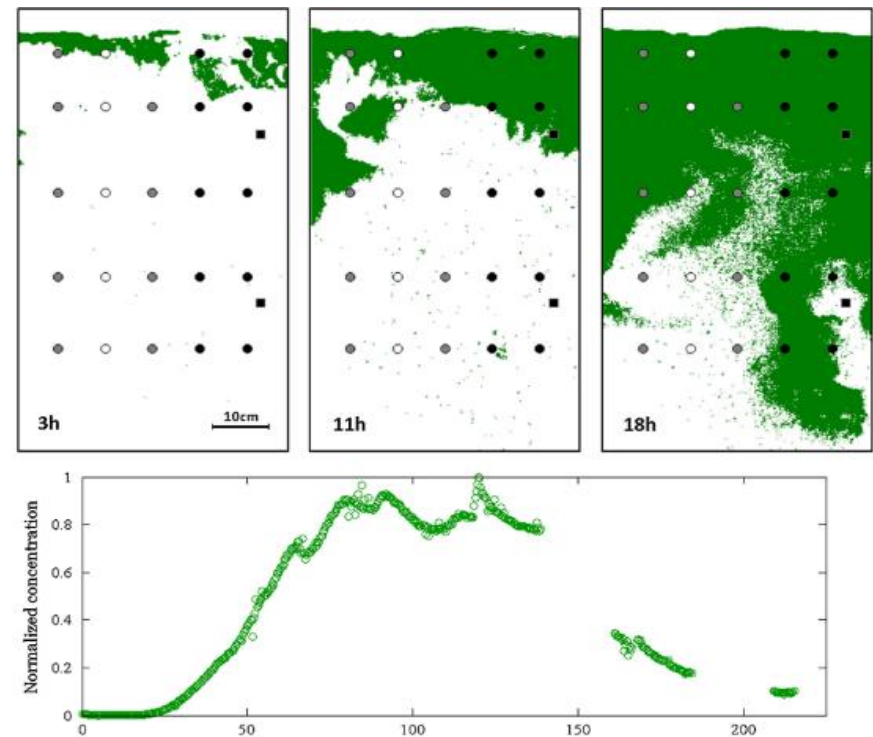
Alfaro L., Haramoto E. & Sakamoto Y. Laboratory-scale experiment measuring *Escherichia coli* infiltration in saturated soil columns. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 74, No.4, 1_31-I_36, 2018.

Alfaro L., Haramoto E. & Sakamoto Y. Examination of infiltration rate change in saturated soil inoculated with *Escherichia coli* at high temperature using three measuring methods. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser B1 (Hydraulic Engineering), Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 74, No. 5, I_349-I_354, 2018.

Literatura: Saturación del suelo por E. coli

Previas investigaciones han mostrado que factores como las [condiciones de luz y temperatura](#) afectan el proceso de infiltración de E. coli. (Gharabaghi et al., 2015).

Sin embargo, la [saturación del suelo por bacteria puede ser el factor predominante](#) en el procesos de transporte de coloides, como se muestra en la figura (Foppen et al., 2008) .



La infiltración de E. coli condujo a la continua saturación y desaturación del suelo, lo cual produjo variación en las velocidades de infiltración y recuperación de E. Coli (Bottero et al., 2013).

Literatura: Saturación del suelo por E. coli

Investigadores han sugerido que la saturación bacteriana también puede magnificar los efectos del flujo preferencial en el suelo (Morales et al., 2010; Rubol et al., 2014).

Otro investigador (Seki et al., 2006) demostró que el **flujo preferencial** causado por saturación bacteriana llevó a una reducción en el tiempo de residencia y a un **incremento de la velocidad de infiltración** y supervivencia de las bacterias.



Fig. 1. Preferential flow paths in water repellent dune sand visualized by using dyestuff staining, from Dekker and Ritsema (2000).

Literatura: Efectos de la temperatura

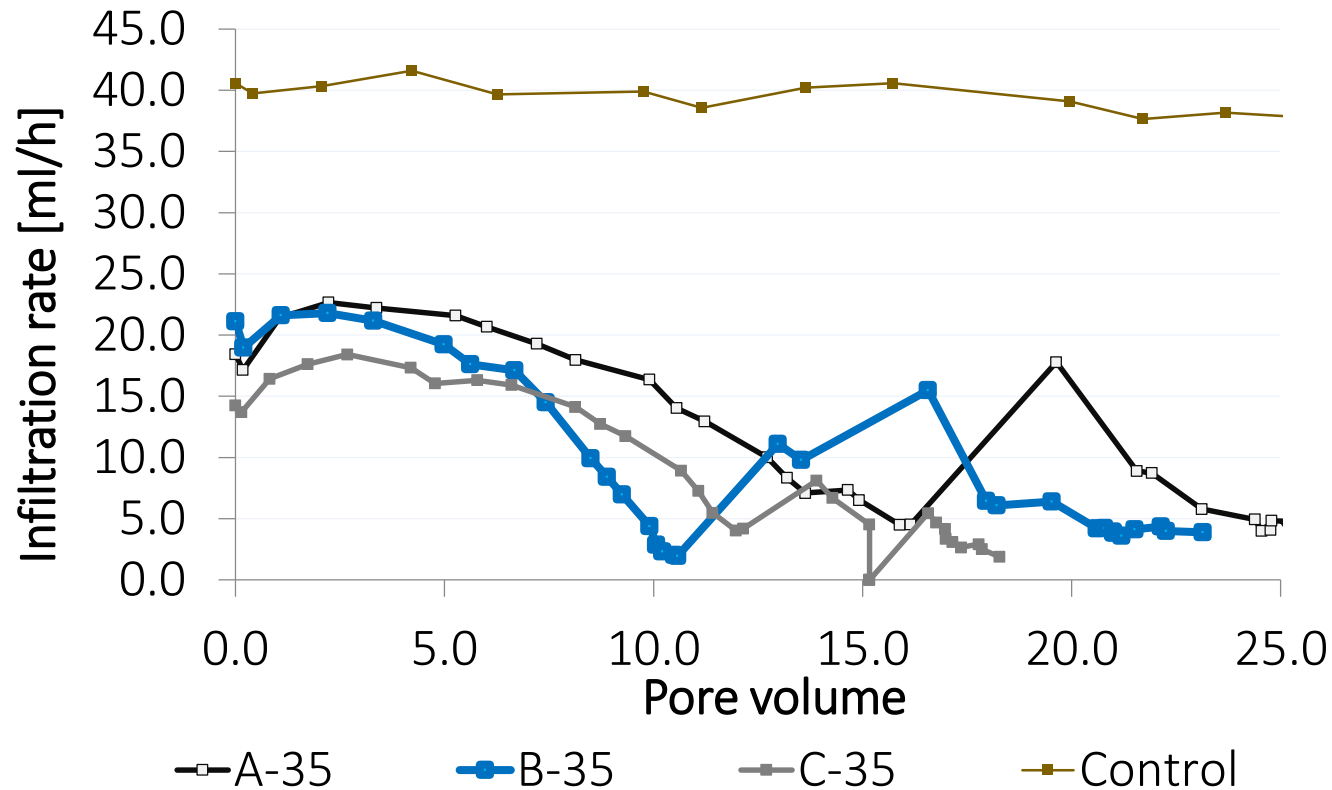
El cambio de temperatura en el agua no solo afecta la velocidad de infiltración debido al cambio de viscosidad, pero también puede afectar debido al efecto que tiene en la actividad bacteriana

A bajas temperaturas, 5°C por ejemplo, *E. coli* puede ser considerada como inactiva, mientras que a temperaturas alrededor de 35°C *E. coli* alcanza su máxima tasa de crecimiento.

Mientras que previas investigaciones han estudiado la velocidad de infiltración a diferentes temperaturas, ninguna se ha enfocado específicamente en los efectos de la temperatura en la saturación del suelo por *E. Coli* y en la exactitud de los diferentes métodos para la medición de *E. coli*.

Efectos de la temperatura

Columns at 35°C



Dado a que todas las columnas mostraron un comportamiento similar, me enfocare en la columna B-35°C Para simplificar la explicación.

Efectos de la temperatura: Incremento en la velocidad infiltración

En el experimento a 35°C, después de que la infiltración se detuvo, la columna se dejó en reposo por dos semanas bajo condiciones saturadas y temperatura constante.

Dos semanas después de que el experimento se detuvo, “Paquetes de gas” aparecieron dentro de la columna.

El mismo fenómeno fue observado a 25°C, aunque los paquetes de gas fueron mas pequeños.

¿Los “paquetes de gas” serían los responsables del incremento en la velocidad de infiltración?

