

TRANSPORTE DE LIQUIDOS PERCOLADOS EN SUELOS NATURALES

Carlos Espinoza (*)

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile
Ingeniero Civil, Ph.D. en Ingeniería Ambiental, Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Su área de trabajo se relaciona con el análisis de sistemas ambientales, con énfasis en el área de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Actualmente tiene a su cargo las cátedras de Ingeniería Ambiental e Hidráulica de Aguas Subterráneas.

Walter Wilmans C.

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile

Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Chile
Casilla 228-3, Santiago, Chile
Fono: (56 2) 678 4400
Fax: (56 2) 6894171
espinoza@ing.uchile.cl

RESUMEN

Los rellenos sanitarios son el método de disposición final de residuos sólidos más utilizado en la actualidad en Chile, por tal razón se vuelve imperante estudiar los efectos de éstos sobre el medio ambiente y en especial sobre los recursos hídricos subterráneos.

En este trabajo se presentan resultados de un estudio que se aboca al análisis del movimiento de líquidos percolados en la zona no saturada del suelo y la posible atenuación de algunos compuestos contaminantes presentes en ellos. Esto permitirá contar con información técnica para abordar, de manera objetiva, futuros estudios de impacto ambiental y diagnósticos del funcionamiento de estos sistemas de disposición de residuos sólidos.

Se presenta un resumen de las experiencias de laboratorio (diseño, construcción y seguimiento) en 16 columnas de suelo, así como también resultados preliminares de la modelación numérica de flujo de líquidos percolados en la zona no saturada. Cabe señalar, que este proyecto se enmarca dentro del proyecto de investigación FONDECYT 1010526 y de una línea de investigación acerca del impacto de rellenos sanitarios sobre el medio ambiente.

Palabras Claves: agua subterránea, relleno sanitario, percolado, atenuación

INTRODUCCION

En la actualidad, el potencial de infiltración de líquidos lixiviados o percolados generados por la descomposición de la basura se controla a través de la impermeabilización del fondo del relleno sanitario mediante sellos de arcilla, a través del uso de materiales geotextiles altamente impermeables, y la mayoría de las veces a través de una combinación de ambas soluciones. Cada una de estas alternativas de impermeabilización tiene asociado un costo bastante elevado, el que se agrega al costo total de construir y operar el relleno sanitario. Esta protección pasiva se complementa con la recirculación del líquido percolado y con la construcción de plantas de tratamiento que permiten mejorar las condiciones de calidad de este líquido y cumplir con las normativas ambientales vigentes para su descarga.

En muchas situaciones reales el costo de la protección ambiental que otorga cada una de estas soluciones puede ser un porcentaje muy alto del costo total del proyecto, con lo cual éste se encarece más allá de las posibilidades de pequeñas ciudades, las que ven impedidas sus posibilidades de utilizar este método de disposición de residuos sólidos, por lo que mantienen vertederos o basureros que no cumplen con estándares mínimos de diseño.

Los elementos anteriormente descritos son los fundamentos de un proyecto de investigación en el que se está estudiando aspectos relativos al impacto de los líquidos percolados sobre el suelo y las aguas subterráneas cercanas a un sitio de disposición de residuos sólidos, de tal manera de evaluar la capacidad de los suelos naturales de atenuar o al menos retardar el avance de líquidos percolados descargados sobre ellos. Estos líquidos percolados podrían llegar hasta el suelo por diferentes eventos: un derrame accidental, la falla del sistema de impermeabilización, o simplemente debido a la inexistencia de sistemas de impermeabilización en el relleno. En todos los casos anteriores sería interesante conocer la longitud del avance del percolado en el suelo y la posible atenuación natural de contaminantes en él. Lo anterior permitiría evaluar el impacto real de la contaminación debido al líquido percolado y utilizar esta información para el diseño de nuevos sitios de disposición o el diagnóstico de los existentes.

ATENUACION NATURAL DE CONTAMINANTES

En los últimos años ha aparecido evidencia que indica que el proceso de atenuación natural o autopurificación de suelos puede jugar un rol muy importante en la degradación de compuestos contaminantes provenientes de variadas fuentes, entre ellas sitios de disposición final de residuos sólidos como vertederos o rellenos sanitarios, tanto de residuos sólidos domiciliarios como industriales).

En el caso específico de los sitios de disposición de residuos sólidos se han estudiado mecanismos que en forma natural permiten que el suelo degrade o absorba elementos químicos y biológicos presentes en el líquido lixiviado o percolado generado por la descomposición de la basura y la incorporación de lluvia en la masa de residuos (Bagchi, 1983). Estudios a nivel nacional (Alegria et al, 1990) han permitido identificar procesos de intercambio catiónico, procesos biológicos y de colmatación en sellos de arcillas que han sido sometidas a cargas continuas de líquido percolado.

La capacidad de autopurificación, o atenuación natural de un suelo, se manifiesta como una reducción de la concentración de los contaminantes presentes en el líquido percolado, debido a una serie de procesos de remoción que ocurren en el suelo. La atenuación natural es un concepto que engloba una serie de reacciones químicas, físicas y biológicas que ocurren en la zona saturada y no saturada, los que permiten disminuir el potencial contaminante de compuestos que lleguen a éstas. Considerando las altas cargas de contaminantes que presentan los líquidos percolados que se generan en un relleno sanitario y migran fuera de éste, es importante conocer cual es el efecto real que estos mecanismos ejercen sobre los compuestos presentes en el percolado y si es posible considerar este efecto como un tratamiento efectivo de remoción de ciertos tipos de contaminantes.

El proceso de autopurificación deja una zona del suelo en condiciones de muy baja calidad, la que sin embargo no se expande más allá de límites específicos definidos por las condiciones climáticas (precipitación), propiedades del suelo (espesor de la zona no saturada y su litología) y por las características del percolado que se genera en la operación del relleno sanitario (volumen y

características del líquido percolado que se genera). Al conocer la extensión de la zona de autopurificación, y verificar que ésta no impacte ningún uso actual o potencial de los recursos subterráneos, se podría reducir en forma importante la inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto del relleno sanitario. En efecto, al conocer la ubicación y extensión de esta zona, se podría diseñar una adecuada protección ambiental de los recursos de aguas subterráneas sin el uso de costosas, y a veces, innecesarias medidas de mitigación adicionales. En el caso de incorporarse medidas de protección adicionales para la impermeabilización de un relleno sanitario (mediante sello de arcilla o con geotextil), el concepto de autopurificación o atenuación natural permitiría asegurar un grado de protección adicional al proyecto del relleno, lo que permitiría aumentar sus posibilidades de ser aprobado por la autoridad ambiental respectiva.

Todos los aspectos anteriores relacionados con el control y manejo de los líquidos percolados, así como la capacidad del suelo de atenuar algunos o todos sus componentes, dependen en forma directa de la cantidad (es decir volumen) y calidad del percolado que se produce para las condiciones específicas de un relleno sanitario. El conocimiento adecuado de estos aspectos permitirá mejorar el diseño de un relleno sanitario, especialmente aquellos para pequeñas comunidades, reduciendo la incertidumbre que actualmente existe a este respecto.

TRABAJO EXPERIMENTAL

La instalación experimental utilizada en este estudio consta de 16 columnas de experimentación en PVC, cada una de las cuales tiene un diámetro interno de 10 cm y una altura de 1.5 m.

Para llenar las diversas columnas se consideró ocho suelos de características diferentes, de tal manera que existan dos columnas similares para cada tipo de suelo. Las 16 columnas de experimentación fueron preparadas de manera similar, colocando un estrato de gravilla en el fondo, seguido por un espesor de suelo de aproximadamente 1 m de espesor. Sobre el suelo se colocó una capa de arcilla y arena, y finalmente se colocó una lámina de percolado (30 a 40 cm) para generar la carga hidráulica sobre el sistema. Esta carga típica de percolado es recomendada por la EPA en los EEUU para efectos de diseño.

Luego del armado se realizó un seguimiento de las diferentes columnas, el que incluyó el control de la cantidad y calidad del percolado que se agregó para mantener el nivel constante, así como la información a la salida de las distintas columnas.

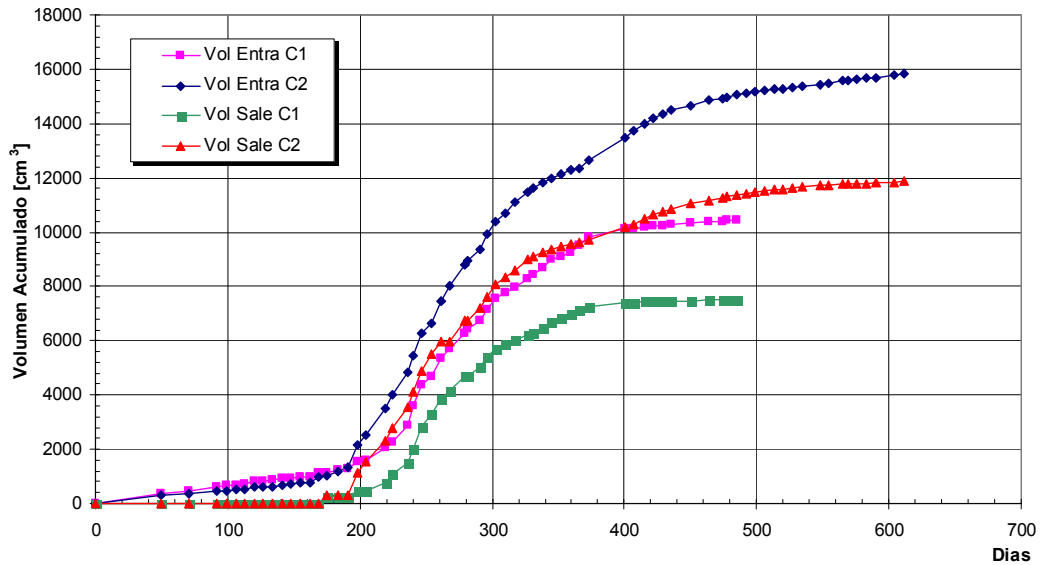
Para los distintos suelos se dispone de la siguiente información: densidad aparente, humedad, permeabilidad saturada, curva granulométrica, descripción visual de los suelos, curvas de retención (condición no saturada), capacidad de intercambio catiónico, ecotoxicidad (*Daphnia*, *Hydra* y *Lactuca* en condiciones iniciales) y recuento de bacterias heterótrofas.

En la etapa de seguimiento se monitorearon variables como: nivel de carga de percolado sobre la columna, volumen de percolado saliente, temperatura ambiente y densidad de percolado. La frecuencia de este monitoreo es semanal. Para análisis de calidad se utilizó muestras integradas para períodos mensuales.

RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA UNA COLUMNA DE SUELO

La Figura 1 permite apreciar algunos resultados correspondientes a la componente hidráulica de la experiencia. En esta situación se dispone de datos de volúmenes acumulados de líquido percolado que entra y sale de las columnas C_1 y C_2 de experimentación. En este caso se tiene la información correspondiente a dos columnas de suelo arenoso después de 470 y 617 días de operación. El flujo saliente corresponde al líquido percolado que lixivia por las dos capas de suelo (arcilla en la parte superior, 2 cm, y arena, 100 cm) y que es recuperado a través de la parte inferior del suelo.

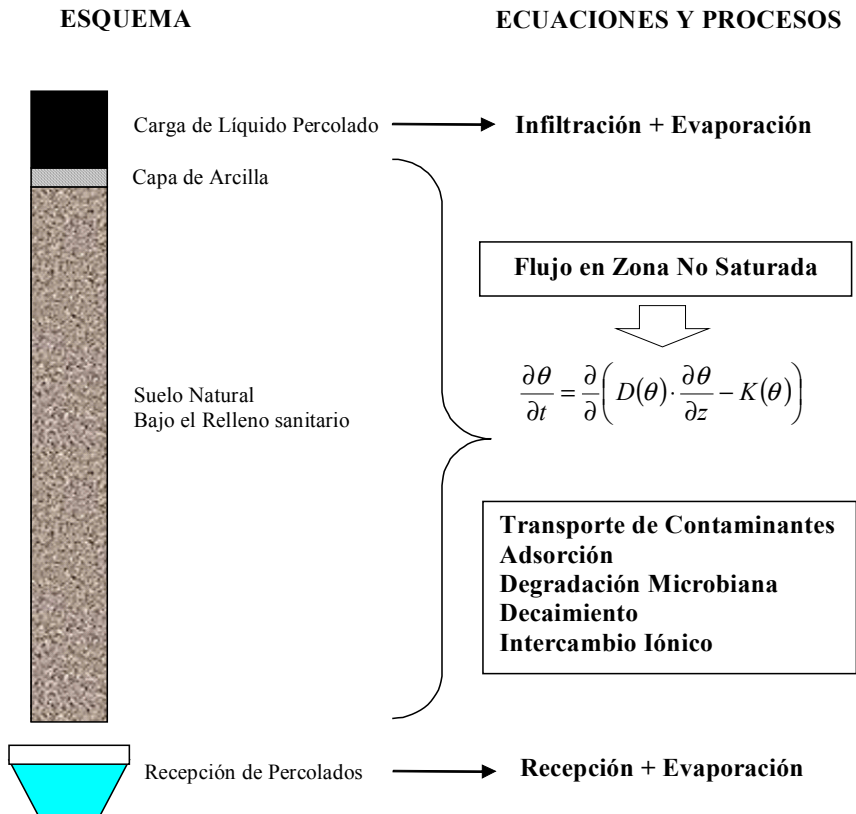
Figura 1: Volumen Acumulado de Percolado que Entra y Sale de la Columna C₁ de Suelo



MODELO CONCEPTUAL Y NUMERICO

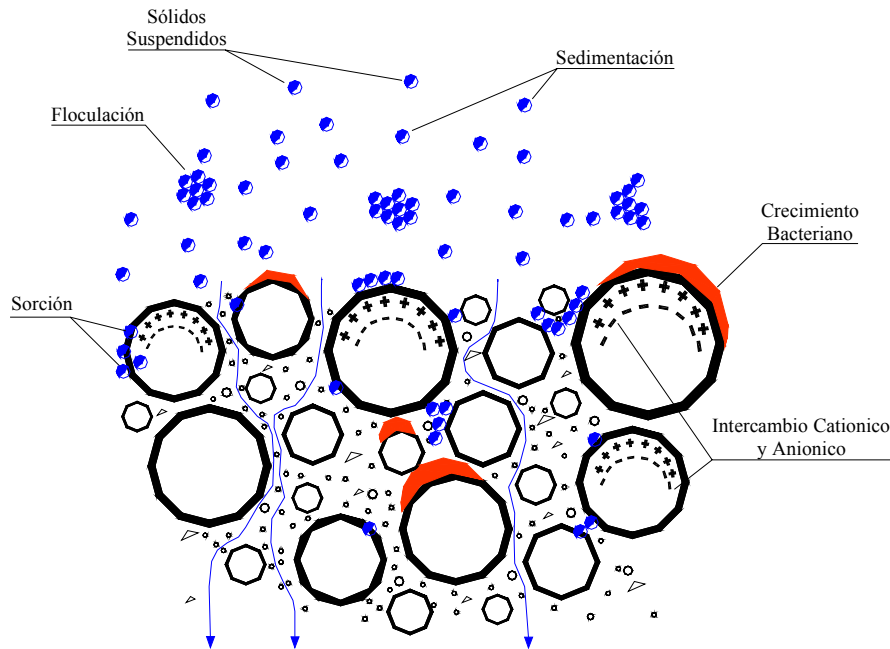
El modelo conceptual empleado para cada una de las columnas se presenta en el Figura 2 y 3. Aquí se pueden apreciar las principales ecuaciones y procesos que se llevan a cabo en cada una de las columnas experimentales, pudiéndose extrapolar a terrenos donde se emplazan rellenos sanitarios o vertederos ilegales.

Figura 2: Modelo Conceptual Utilizado



Posteriormente, se utilizó un modelo de simulación para el flujo en un sistema no saturado, HYDRUS 1D, (J. Šimůnek, M. Šejna and M. Th. Van Genuchten), que fue diseñado para analizar el flujo de agua, calor y solutos en medios porosos no saturados, parcialmente saturados y completamente saturados. Uno de los supuestos importantes realizados fue que la densidad del líquido percolado es muy parecida a la del agua. Mediciones realizadas en terreno indican que la densidad del líquido percolado, varía entre 1.012 y 1.018 gr/cm³, lo que significa un error de entre 1.2% y 1.8%, lo que es despreciable y se puede incluir dentro de los errores de aforo y medición de niveles. La cantidad de líquido percolado efectiva entrante a la columna, fue modelada como una precipitación sobre la capa de arcilla, esto conlleva a que los fenómenos de colmatación sean despreciados, lo que permite utilizar conductividades hidráulicas promedios, fijas en el tiempo, para el estudio de flujo en la zona no saturada.

Figura 3: Procesos que se Producen en el Medio Poroso



Las principales variables del modelo de flujo (curvas de succión y permeabilidades iniciales) fueron estimadas en estudios experimentales y luego calibradas compatibilizando caudales salientes y perfiles de humedad en cada una de las columnas estudiadas. Además, la carga de percolado se modeló como una infiltración por la parte superior de la columna, en forma de pulsos de precipitación efectiva en el tiempo, sobre la capa de arcilla.

Uno de los problemas presentados durante el proceso de seguimiento y toma de datos fue la evaporación del lixiviado tanto de la parte superior e inferior de las columnas. Por tal razón, se debió estimar la pérdida de percolado por este concepto, para lo cual se recurrió a datos de evaporación de la estación Cerro Calán. En la Figura 1 se puede observar los resultados de la calibración del modelo de simulación de flujo para las condiciones con y sin evaporación, apreciándose el buen ajuste conseguido.

CALIBRACIÓN PARAMETROS

En las Figuras 4 y 5 se aprecian algunos resultados correspondientes a la componente hidráulica de la calibración de la columna C₁. Se dispone de datos de volumen acumulado del líquido percolado que entra y sale a una columna C₁ de experimentación. Además, se cuenta con el perfil de humedad al final de la vida útil de la columna, que permite comparar la modelación numérica, con la experimental. En este caso se tiene la información correspondiente a una columna de suelo arenoso después de 470 días de operación. El flujo saliente corresponde al líquido percolado que lixivia por las dos capas de suelo (arcilla en la parte superior, 2 cm, y arena, 100 cm) y que es recuperado a través de la parte inferior del suelo.

Figura 4
Ajuste Volúmenes Medidos y Simulados

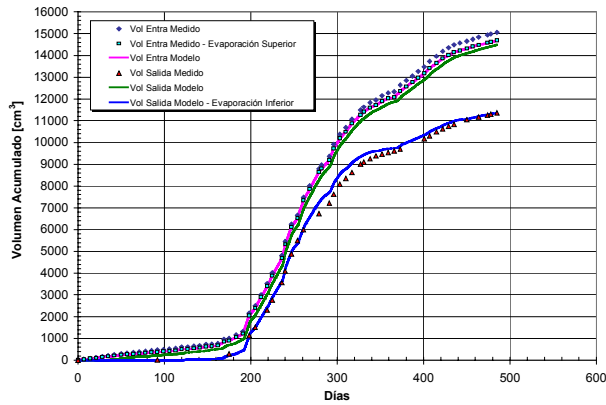
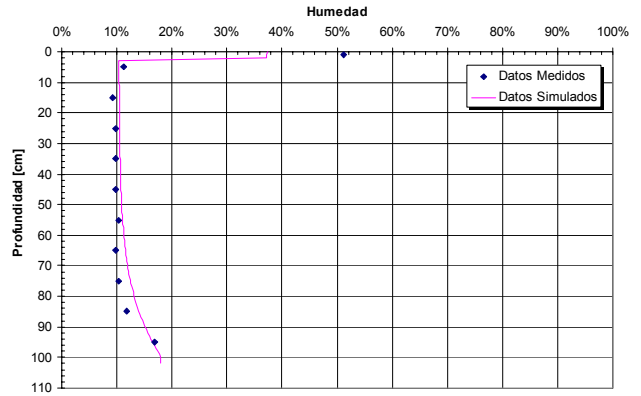


Figura 5
Ajuste Perfil de Humedad



VALIDACIÓN DEL MODELO

Se validaron los parámetros calibrados con la columna C₂ (no rota), construidas en forma similar que C₁, ya que se estimó que el comportamiento hidráulico de la columna C₂ es similar a la columna C₁. Se poseen aproximadamente 126 días extras de operación de la columna de validación (C₂), tiempo en el cual, se rompió la columna y se obtuvo el perfil de humedad. Los principales resultados, se presentan en forma gráfica en las Figuras 6 y 7.

Figura 6
Validación Modelos de Flujo

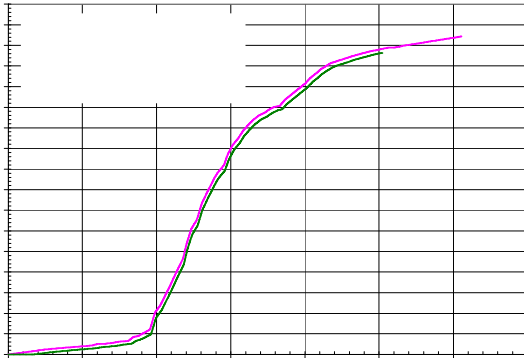


Figura 7
Validación Perfil de Humedad

