

SIMULACION DE LIXIVIACION EN BASUREROS ACTIVOS

Roger González Herrera⁽¹⁾

Profesor Investigador. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería. Cuerpo Académico de Hidráulica e Hidrología.

Luciano Kú Cárdenas

Posgraduado en Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería. Unidad de Posgrado e Investigación.

Ramiro Rodríguez Castillo

Profesor Investigador. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica. Departamento de Recursos Naturales.

- (1) **Dirección:** Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería. Apartado Postal 150. Administración de Correos Urbana 10. Cordemex, 97111, Mérida, Yucatán, México. Teléfono: (52 999) 941 0191 ext. 133 - Fax: (52 999) 941 0189. E-mail: gherrera@uady.mx; rogon_2@hotmail.com

RESUMEN

Se presenta un método para estimar patrones de lixiviación, considerando la historia constructiva de un sitio de disposición de desechos. Se utilizó el modelo HELP el cual, aunque se generó para aplicaciones en rellenos sanitarios clausurados, arrojó una buena representación de la producción del lixiviado en basureros activos. La metodología consiste en discretizar el sitio en unidades que se analizaron individualmente; los resultados de cada unidad se combinaron según su posición espacial y cronológica. La calibración del modelo se efectuó con datos del ex basurero de Mérida, Yucatán, emplazado sobre un acuífero cárstico sin obra de ingeniería que evite la percolación del lixiviado hacia el subsuelo. El modelo produjo flujos de lixiviado durante la fase de construcción del sitio de acuerdo a las tendencias observadas en el campo; esto es, se produjeron fluctuaciones estacionales en el flujo del lixiviado cuya magnitud se reduce conforme el sitio crece en dimensiones.

Palabras clave: HELP, lixiviado, modelación, sitios de disposición.

ABSTRACT

A method to estimate leachate patterns is presented, considering a waste disposal site life history. Although designed for closed landfill applications, the HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) model was used in active waste disposal sites where its output is a good representation of leachate production. The methodology consists in discretizing the site in units which were individually analyzed; results obtained for each unit were combined considering its spatial and chronologic position. Model calibration was carried out with data collected in the Merida, Yucatan, Mexico, waste disposal site, emplaced on a karstic aquifer with unlined bottom which allowed leachate percolation to the subsurface. The model produced leachate flows during the active life of the site matching field observations; that is to say, seasonal leachate flow fluctuations were produced whose magnitude decreases as the site grows dimensionally.

Key words. HELP, leachate, disposal sites, modeling.

INTRODUCCIÓN

Los modelos convencionales utilizados para estimar la producción de lixiviado, particularmente el modelo HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance; por sus siglas en Inglés) (Schroeder et al., 1994), no tienen en sus algoritmos una dimensión para considerar el crecimiento físico de un sitio de disposición. El análisis inicia cuando se han depositado todos los desechos.

Es importante admitir que las condiciones en un sitio de disposición no son uniformes. Algunas secciones podrían tener cubierta mientras otras no la tienen. El sitio crece con el tiempo; como resultado, las condiciones serán diferentes para cada celda de basura. También, en cierto tiempo, la basura colocada en el sitio tendrá un rango de edad entre nueva y vieja y podrá, por lo tanto, estar expuesta a diferentes cantidades de percolación para producir lixiviado (Farquhar, 1989).

ANTECEDENTES

Para identificar los flujos de lixiviado a través de las celdas de basura en un sitio de disposición, se aplicó una versión modificada de HELP (Gonzalez et al., 1998). El concepto es modelar un conglomerado de lisímetros, cada uno de diferente tamaño, posición y tiempo de inicio con relación a los otros.

El modelo HELP en su aplicación general (estándar), solo permite condiciones de períodos largos en los cuales la simulación de un relleno sanitario involucra etapas de operación y clausura. Para ello considera el área total de disposición, limitando de esta manera los procesos de la construcción histórica del relleno. Sin embargo, el modelo HELP en su condición modificada permite establecer pequeñas áreas en períodos cortos de tiempo y de este modo es aplicable a cada columna establecida con respecto a la discretización propuesta, permitiendo generar la producción de los flujos de lixiviado mensual para los dos períodos: el de construcción y el de clausura de las columnas modeladas.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada permite acondicionar la situación constructiva del sitio de disposición, creando de esta manera una relación del tiempo de disposición con el de generación de lixiviado. Las situaciones que se toman en cuenta son las distintas series de simulación que se dan para cada columna en cualquiera de sus diferentes meses de comienzo durante el año, los diversos espesores y los diferentes tiempos de inicio para cada celda en la columna. De acuerdo a esto el número de series a simular para cada columna depende del número de celdas que contenga la columna. Ahora bien, si se considera que todas las columnas en el sitio requieren la estimación del flujo de lixiviado y no se toman en cuenta las columnas que son semejantes, el uso del método

modificado de HELP sería una tarea laboriosa. Por otra parte, si se considera una discretización del sitio que simplifique la creación de columnas idénticas se estaría cayendo en una rigidez y se alejaría del propósito del modelo modificado.

Discretización del sitio

El método aplicado para discretizar el sitio, consiste en dividir éste en secciones que puedan modelarse individualmente como columnas. El problema aquí es que no todas las secciones en el sitio tienen la misma historia de lixiviación. Sin embargo, el establecer este proceso permite acomodar la situación de construcción de un basurero a la aplicación del modelo, de manera que se obtiene una relación entre el tiempo de disposición y la generación de lixiviado. Las situaciones consideradas son las series de simulaciones para cada columna en cualquiera de sus diferentes meses de inicio durante el año, la variedad de espesores y los diferentes tiempos de inicio para cada celda en la columna.

La técnica consiste, básicamente, en dividir el sitio de disposición en áreas denominadas columnas. La altura total de estas columnas queda definida como la altura de los desechos hasta concluir con la cubierta. A su vez las columnas se dividen en secciones horizontales llamadas celdas; estas son apiladas una sobre otra y cada celda se cubre totalmente en su área para que pueda colocarse la siguiente hasta completar la columna. Esto se lleva a cabo siguiendo la metodología que se describe a continuación:

1. Se inicia con un proyecto en perspectiva del sitio de disposición, presentando el área de cubierta final para los desechos y el mayor contorno lineal. En esta etapa es esencial contar con un levantamiento topográfico del sitio en cuestión para identificar pendientes, áreas y desniveles; en el plano topográfico se trazan los linderos de la conformación del sitio.
2. Con la información del plano topográfico se obtienen las características geométricas del sitio de disposición, las cuales se consideran en la aplicación del modelo HELP, y el volumen de basura acumulada en el lugar hasta ese momento. Para conocer el volumen de basura se genera una base de datos de coordenadas; se aplican estos a un programa de mapeo de superficies para obtener contornos de nivel los cuales se seccionan en polígonos irregulares para obtener los volúmenes requeridos.
3. Con el plano del sitio se establecen áreas de disposición bien definidas con respecto a su altura, aislando una región de altura máxima (RMA); de esta manera se tiene un primer croquis de discretización correspondiente a la primera capa del sitio de disposición.
4. Se realiza un mapa de la construcción histórica de las primeras capas de los desechos sólidos con la ayuda del croquis del paso anterior, formando una cuadrícula e identificando el orden en el cual estas áreas fueron construidas para asignarles fechas de inicio y terminación de construcción.

5. Las áreas de las capas de desecho que no se van a cubrir por otra capa de desechos se clasifican como regiones de altura final (RAF1); estas se colocan a un lado de las RMA perimetralmente.
6. Con las regiones de máxima altura identificadas se crea una cuadrícula de columnas; estas pueden contener los desechos que fueron colocados en menos tiempo. Las columnas son finales y no cambiantes; por lo que en este caso las columnas y las celdas son las mismas. Se completa el plano con los RMA de la primera capa.
7. Para la segunda capa se repiten las últimas tres etapas: mapa de historial del sitio de disposición; separación de los RAF2 y finalmente se desarrolla la cuadrícula para los RAF2.

Una vez que se tenga la cuadrícula de las columnas de los RMAs para la primera capa, se aplica a la segunda capa para tener así las columnas que involucran a las dos capas de desechos que componen el sitio de disposición; estas columnas pueden estar compuestas de RMAs y RFA2s o RMAs de la primera y segunda capas, completando la discretización tal como queda representada en la Figura 1.

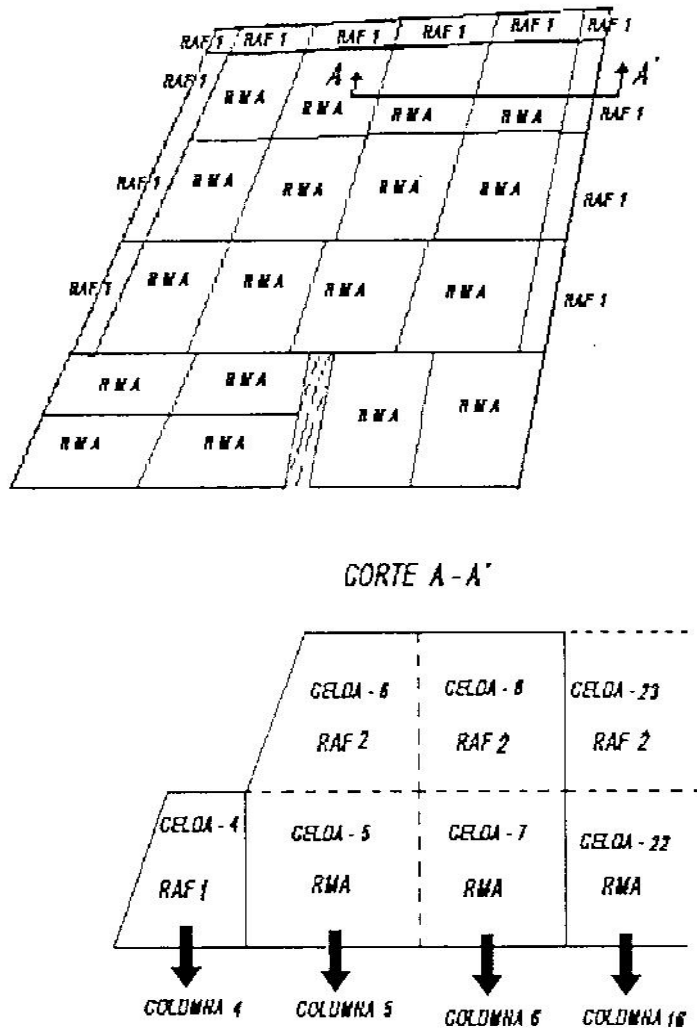


Figura 1. Cuadrícula de discretización del sitio

Para la numeración de las columnas y celdas se requieren los tiempos de disposición para cada una; para definir estos tiempos constructivos se siguen algunas reglas que se dan a continuación:

La numeración de las columnas es de 1 a N y las celdas se numeran de 1 a n; la celda 1 pertenece a la columna 1. La numeración sigue una secuencia en el espacio verticalmente; la primera celda de una columna estará en la base de esta y las subsecuentes celdas que se colocan encima tendrán una numeración en secuencia; en la Figura 2 se presenta un patrón de la numeración. Como condición para la numeración de las celdas se consideran a todas las posibles celdas que pertenecen a una columna, hasta completarla. La importancia de esta regla es evitar un problema con la contabilidad del algoritmo en el proceso de la simulación; esto se puede presentar al iniciar una nueva columna antes de lo previsto o no ser finalizada. La numeración asignada a las columnas refleja su tiempo relativo de inicio con respecto a otras columnas en el sitio. No así con las celdas, las cuales no reflejan su tiempo de inicio pero sí su posición en la columna donde están colocadas.

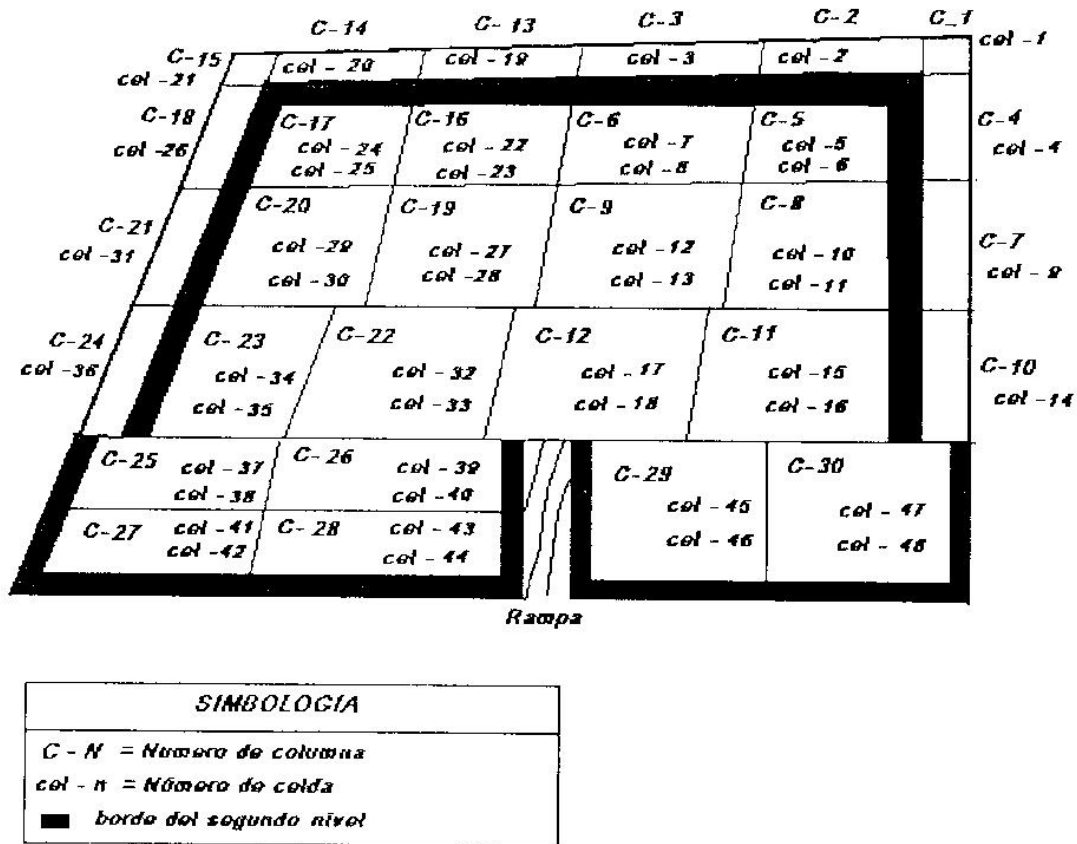


Figura 2. Numeración de columnas y celdas de basuras, considerando la discretización.

Consideraciones para la aplicación del modelo HELP

La técnica utilizada consiste en discretizar el sitio usando las características del perfil de las columnas y clasificar estas en tres categorías. Se desarrolla una nueva forma de asignar las características de las columnas, tomando en cuenta la información que se tiene de las columnas de cada categoría y generar un nuevo grupo de columnas representativas de manera que el tiempo de inicio y los espesores de las columnas y celdas originales se promedian y se asignan a estas nuevas columnas. En esta etapa se considera conveniente aplicar el método modificado a las columnas representativas y tener resultados adecuados que vayan de acuerdo a la entrada de datos del modelo, como la serie de información climatológica para cada área estándar con la intención de incluir un grado de variabilidad en los resultados.

La descripción del proceso para decidir cuales celdas son incluidas en la columna, de acuerdo a la clasificación dada con anterioridad, se da a continuación (ver Figura 3): a las tres categorías se les denomina columnas estándar y son marcadas con letras mayúsculas como A, B y C. A las columnas que están en esta categoría se les asigna uno o dos nombres, dependiendo de la forma de la superficie final; si las columnas tienen una superficie con pendiente se les llama *sub - columnas* y a las que tienen celdas con una superficie plana se les llama *columna - núcleo*.

**CLASIFICACION
DE
LAS COLUMNAS
ESTANDAR**

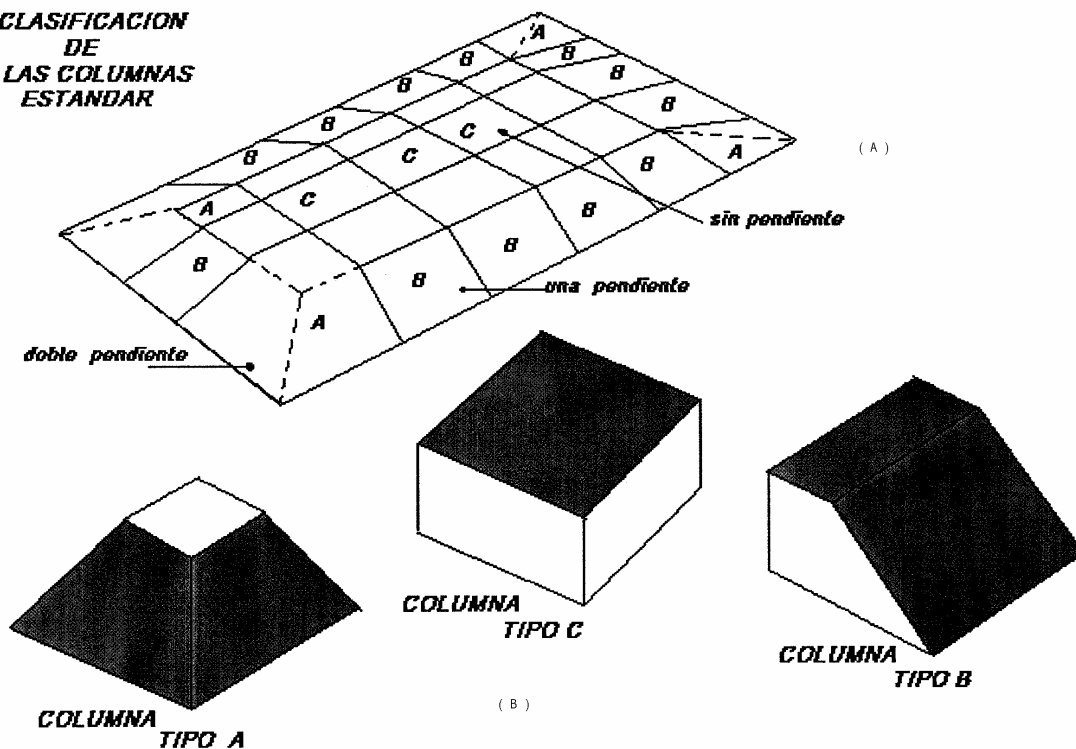


Figura 3. Columnas estándar. (A) Distribución. (B) Tipos.

Esta representación de las columnas en las categorías mencionadas se utiliza con el propósito de asignarles una etiqueta que permita identificar los tipos de celdas que componen una columna. Siguiendo con las condiciones que definen a las columnas estándar se tiene que: las primeras celdas en las columnas tengan aproximadamente de 2 a 4 m de espesor en el primer nivel; la colocación de celdas en cualquiera de sus tipos se debe realizar en un período máximo de 3 a 6 meses durante el año, esto permite tener tiempos de inicio aceptables para las primeras capas por que la historia del lixiviado de las primeras celdas colocadas en este período de tiempo varía significativamente. Se selecciona un área que contenga columnas con algún tipo de superficie con pendiente o plano.

Las consideraciones anteriores son importantes cuando se utiliza el modelo modificado de HELP para simular los flujos de lixiviado en columnas. Sin embargo, la razón por la que las áreas de las columnas no son consideradas en las columnas estándar es que el modelo HELP calcula el flujo de lixiviado en base a una unidad de área y segundo el hecho de considerar todas las primeras celdas en las columnas de inicio en un período de tres meses, de alguna manera queda definida automáticamente el área sin que esto signifique pérdidas en la estimación del historial del lixiviado para la celda, ya que como cada celda nueva se adiciona al sistema, el sitio crece y la celda más reciente contribuye a incrementar una fracción pequeña del total del contaminante producido en el sitio.

Modificación del modelo HELP

El aplicar el modelo HELP tiene ciertas restricciones en el manejo de los archivos de introducción de datos; por esto, la modificación del modelo se efectuó principalmente en los datos de entrada (contenido de humedad inicial y archivos de precipitación).

Para la primera celda de basura construida, así como para las siguientes celdas que pertenezcan a la misma columna, el contenido de humedad inicial se considera en el modelo utilizando los siguientes criterios. El contenido de humedad inicial varía de acuerdo a la estación del año y la composición de la basura; por lo tanto, los datos se modifican tomando toda la columna y corriendo el modelo por tres años. Los valores obtenidos se utilizan como condiciones iniciales para esa columna en particular en cada estrato de la primera simulación, siguiendo la secuencia establecida en la discretización. Al construir la columna, se añade una nueva humedad inicial para cada simulación hasta que se termina de construir toda la columna; este proceso se lleva a cabo para mantener las condiciones correspondientes de humedad inicial en todas las simulaciones.

Los datos de precipitación solamente deben considerar valores a partir del día en que una celda particular inicia su construcción hasta el día en que inicia una nueva celda de basura. Esto se toma en cuenta poniendo ceros como datos para representar a los días en que no hubo precipitación y evitar obtener grandes volúmenes de lixiviado del modelo cuando la construcción de celda aún no inicia o cuando ésta ya ha finalizado.

Flujo de lixiviado

El volumen del lixiviado generado se determina con la recopilación de todos los datos requeridos por el modelo HELP, así como la adecuación de archivos para las diferentes simulaciones con respecto a la construcción histórica del sitio de disposición en columnas obteniendo resultados mensuales de flujo de lixiviado. Los resultados se relacionan con el empleo del modelo HELP modificado que en esencia es la suma de la serie de aplicaciones del modelo estándar a un área.

APLICACIÓN AL EX - BASURERO DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN

La ciudad de Mérida se localiza al sureste de la República Mexicana, a 36 km de la costa, en el estado de Yucatán (Figura 4). Dada su posición geográfica, el clima es predominantemente cálido y sub - húmedo con un régimen de lluvias en verano. Hay una influencia marina de vientos húmedos y fríos que establecen la diferencia termal entre el día y la noche; esto permite una homogeneidad relativa de altas temperaturas. Las temperaturas máxima, promedio y mínima registradas en Mérida son 40.2°C, 26.2°C y 14°C, respectivamente. La humedad máxima relativa es del 83%, la promedio de 72% y la mínima 61%. La precipitación anual promedio es mayor de 1000 mm. Esta zona tiene una fisiografía cárstica debido a la disolución la cual forma cavidades de diferentes tamaños que varían de huecos pequeños a grandes depresiones; por lo tanto, la lluvia se infiltra fácilmente sin dar oportunidad a la formación de escorrentía, ríos o lagunas en la superficie. El agua subterránea se localiza a 6 m debajo del nivel del terreno, siendo la principal fuente de abastecimiento de agua en toda la Península de Yucatán.

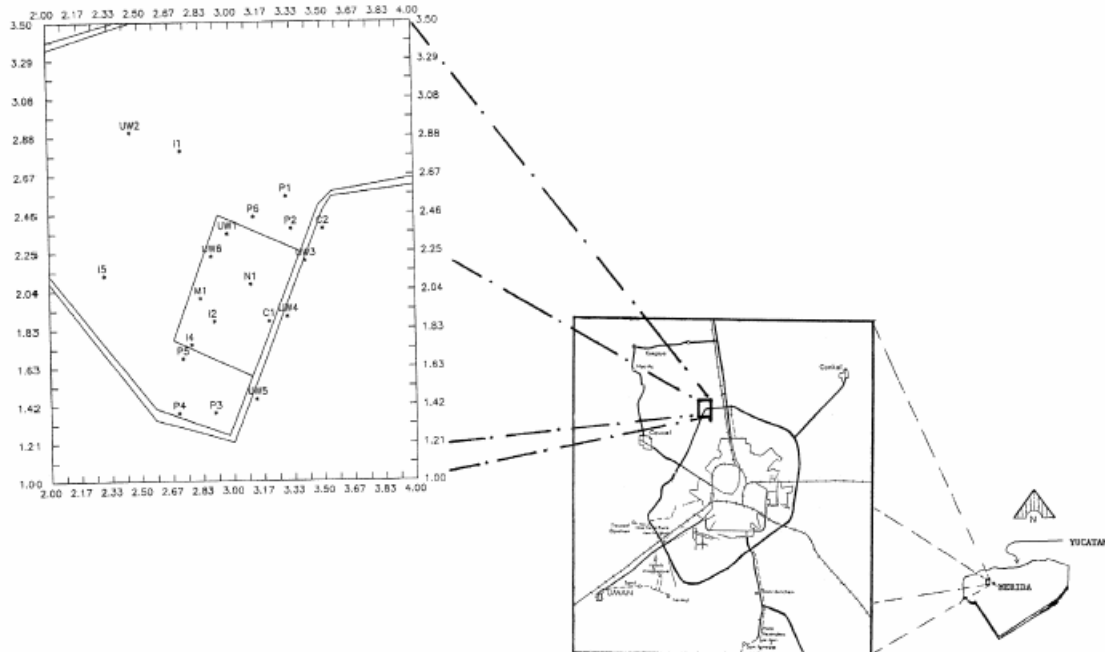


Figura 4: Localización de la zona de estudio. El plano de la izquierda tiene coordenadas que representan distancias en kilómetros. Las representaciones a la derecha de éste no están a escala.

Mérida cuenta con 750,000 habitantes aproximadamente, los cuales producen 0.582 kg de desechos domésticos per cápita al día (SEDUE, 1984). El sitio de disposición final de desechos de Mérida se localiza al noroeste de la ciudad (ver Figura 4), cubriendo una superficie de 30 Has. Existe una zona, de 7 Has., aproximadamente, en este sitio que corresponde a una plataforma de 3 metros de altura en la cual se acumularon desechos sólidos desde marzo de 1993, tratando de implementar el método de área que se utiliza en rellenos sanitarios; al primer nivel le sigue un segundo con una pendiente irregular en todo su perímetro, dejando un sendero de 3 metros de ancho aproximadamente a su alrededor. Una vez que se termina de construir una celda, se cubre con suelo del lugar.

Como el ex - basurero de Mérida no cuenta con sistema alguna de colección de lixiviado, las muestras de lixiviado se tomaron introduciendo tubos de PVC sanitario con un diámetro de 6 pulgadas debajo de las celdas de basura. Los desechos de la porción inferior de la celda su suponen más antiguos que los ubicados encima de ellos.

El flujo de lixiviado se calculó para 30 columnas diferentes para obtener valores de percolación mensuales (ver Figura 2). La Figura 5 compara flujos de lixiviado y precipitación con tiempos de disposición en el basurero municipal de Mérida; los volúmenes mensuales de lixiviado representan el producido en el área de disposición durante un mes particular. Se puede notar que mientras la construcción del sitio progresa, los flujos de lixiviado no tienen un incremento constante sino que se comportan de una manera cíclica. La producción máxima de lixiviado se reportó en el mes 16 después de haberse iniciado la construcción del sitio; esto se debe a que algunas áreas de disposición estaban expuestas a la intemperie (sin cubierta) permitiendo la ocurrencia de un gran flujo de lixiviado. Por lo tanto, los grandes flujos de lixiviado

están más relacionados a la fase de construcción que a la precipitación misma. Sin embargo, se espera que los flujos de lixiviado sigan un comportamiento estacional al finalizar la vida activa del sitio de disposición.

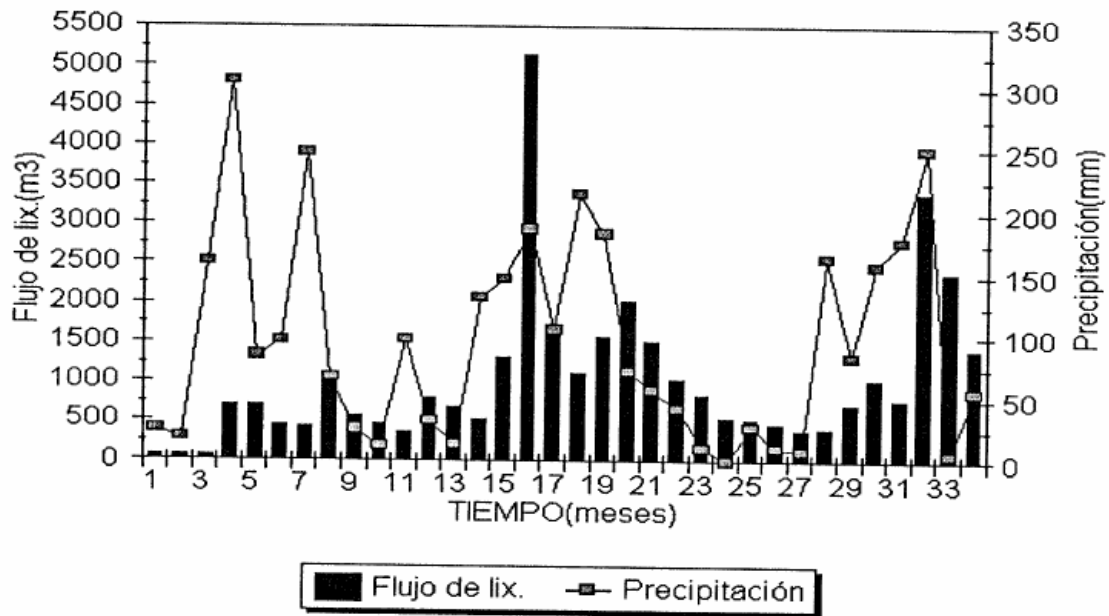


Figura 5: Flujo de lixiviado simulado y precipitación pluvial contra el tiempo de disposición en el basurero municipal de Mérida, México.

CONCLUSIONES

Predecir la cantidad de lixiviado producido en un sitio de disposición de desechos, durante su proceso constructivo, es importante para evaluar el impacto hacia el subsuelo o el acuífero local subyacente. Con el apoyo del modelo HELP en su versión modificada, se logró simular con éxito esta producción de líquido contaminante. El empleo del método modificado de HELP es justificable, por el hecho que produce flujos durante la construcción del sitio de disposición, lo que no se obtiene aplicando el modelo estándar. El flujo de lixiviado obtenido es importante en la determinación de plumas de contaminación en el acuífero subyacente al sitio ya que se considera como la carga de contaminación que entra al sistema de agua subterránea.

La aplicación del modelo HELP modificado produjo flujos de lixiviado durante la vida activa del ex – basurero municipal de la ciudad de Mérida, Yucatán, con fluctuaciones estacionales; la magnitud de las fluctuaciones de los flujos se reducen conforme el sitio crecía.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico obtenido del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y del Gobierno del Estado de Yucatán para llevar a cabo los

proyectos de investigación en el acuífero cárstico yucateco que subyace al ex – basurero de la ciudad de Mérida, Yucatán; específicamente a través de los convenios 32489 – T y YUC – 2002 – C01 – 8724 del Fondo Mixto del CONACYT – Gobierno del Estado de Yucatán.

REFERENCIAS

- Farquhar, G.J., 1989. Leachate: production and characterization. *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 16, pp. 317 - 325
- Gonzalez Herrera, R., Ku – Cardenas, L.H., Gomez – Azcorra, J.A., and Rodriguez – Castillo, R., 1998. Leachate production estimates at a MSWDS located in the tropics” *Environmental Geotechnics*. Proceedings of the Third International Congress on Environmental Geotechnics. Lisboa, Portugal, del 7 al 11 de Septiembre de 1998. Seco e Pinto, Editor. International Society for Soil Mechanics and Foundations Engineering y Sociedade Portuguesa de Geotecnia. A.A. Balkema., pp. 843 – 848.
- Schroeder, P., Dozier, T., Zappi, P., McEnroe, B., Sjostrom, J., and Peyton, L., 1994. *Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Engineering Documentation for Version 3*. EPA/600/R-94/168b, september 1994, U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Washington, D.C.
- SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), 1984. *Proyecto Ejecutivo de Recolección de Residuos Sólidos Municipales en la Ciudad de Mérida*. Mérida, Yucatán México.