

## Simulación de la Recarga hacia el Acuífero por Medio de Hojas Electrónicas como Herramienta en la Enseñanza

Marco Barahona-Palomo

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

E-Mail: marco.barahona@ucr.ac.cr

**Resumen.** El balance y la cuantificación de la recarga hídrica hacia los acuíferos es fundamental para la gestión adecuada del recurso hídrico, son además temas que han sido señalados como básicos en los contenidos de los cursos de Hidrogeología. Además, el uso de programas de cómputo ha sido exitoso como una estrategia para apoyar el aprendizaje en los cursos de Geociencias, complementando los temas vistos en la clase. En este artículo se presenta una intervención que se realizó en el curso de Hidrogeología del Bachillerato en Geología de la Universidad de Costa Rica. Por un periodo de dos semanas se estudió en la clase el tema del balance hídrico, durante este tiempo, de forma extraclase, los estudiantes crearon una hoja electrónica capaz de calcular la recarga hacia los acuíferos, siguiendo una metodología de uso obligatorio en el país para trámites y permisos gubernamentales.

**Palabras clave:** hidrogeología; recarga; agua; hoja electrónica; enseñanza.

### 3.1 Introducción

El curso Hidrogeología (G-0314) de la Universidad de Costa Rica es un curso que forma parte del plan de estudios de la carrera de Bachillerato y Licenciatura en Geología de la Escuela Centroamericana de Geología (ECG). Dentro de la malla curricular de esta carrera se encuentra en el sexto semestre. Este curso se ofrece anualmente (durante el primer semestre) en la Sede Central Rodrigo Facio. Este curso tiene una carga de 3 créditos, con seis horas semanales de clase; la modalidad es teórico-práctica pues además de las clases en el aula, se realizan varias salidas al campo para complementar los temas vistos en clase. En total se cubren 10 temas fundamentales del área de hidrogeología distribuidos en 16 semanas.

Dentro de una lista de trece temas claves del área de hidrogeología, identificados como básicos para el conocimiento crítico y parte de las habilidades para la práctica de los hidrogeólogos, Santi & Higgins (2005), señalan el ciclo hidrológico y el balance hídrico. Igualmente Gleeson et al. (2012) señalan a la recarga hacia los acuíferos como

uno de los 15 temas fundamentales dentro del currículum de los cursos de hidrogeología, a partir de una encuesta realizada a hidrogeólogos dentro de la academia.

El recurso hídrico subterráneo representa más de un 60% del agua dulce líquida del planeta (Fetter, 2001); en algunas zonas el recurso hídrico subterráneo representa la principal fuente de agua para el desarrollo de actividades productivas o consumo humano, por ejemplo, en el caso de Costa Rica hasta un 80% del agua que se utiliza para consumo humano proviene de los acuíferos (Estado de la Nación, 2012). Esto hace que el entendimiento de los acuíferos (distribución espacial, dirección del flujo, zonas y volumen de recarga, calidad del agua, etc.) sea muy valioso para el desarrollo del país.

En el curso de Hidrogeología uno de los temas iniciales es el balance hídrico, el cual está relacionado con el ciclo hidrológico e incide directamente en el cálculo de la recarga hacia el acuífero, esto es el volumen de agua que entrará en el acuífero. El balance hídrico es fundamental para la conceptualización de los sistemas hídricos.

Existen diferentes metodologías para el cálculo de la recarga hacia los acuíferos, la mayoría de estos basados en alguna forma de la ecuación del balance hídrico (Healy, 2010); el concepto universal de conservación de masa del agua, implícito en la ecuación, implica que el método del balance hídrico se puede aplicar en cualquier escala espacial y temporal.

En el caso de Costa Rica, de acuerdo con el Reglamento “Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico” (La Gaceta N°243, 2010), se debe utilizar la metodología del balance hídrico del suelo presentada por Schosinsky (2006), para el cálculo de la recarga potencial hacia el acuífero. Esta metodología utiliza valores promedio mensuales de algunos parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura, porcentaje de horas de luz), así como parámetros propios del suelo (infiltración básica, capacidad de campo, punto de marchitez) y del sitio (uso del suelo, pendiente, etc.), para estimar de manera mensual la recarga potencial hacia el acuífero.

Debido a que esta metodología es utilizada de forma habitual en el país, se consideró apropiado que los estudiantes del curso de Hidrogeología complementaran las clases presenciales del tema del balance hídrico con un trabajo extraclase en donde crearan su propia hoja electrónica para el cálculo de la recarga acuífera.

### 3.2 Estrategia propuesta

La intervención se realizó por un periodo de dos semanas, en un tema específico del ciclo hidrológico: el Cálculo del Balance Hídrico de Suelos (BHS) para la determinación de la recarga hacia los acuíferos.

Se propuso a los estudiantes que construyeran una hoja electrónica que fuera capaz de realizar el cálculo del balance hídrico de los suelos y calcularan la recarga para un cuenca sintética con 10 polígonos, cada uno con características dadas. La hoja electrónica debía coincidir con la metodología de Schosinsky (2006). Esta intervención se planteó como una tarea (trabajo extraclase). Los estudiantes debían estudiar los fundamentos del

balance hídrico y la metodología antes indicada y programar la hoja electrónica; se indicó que tenían la oportunidad de venir a consultar al profesor si tenían dificultades para programar la hoja. Además, se les entregó tres ejemplos resueltos para que comprobaran si su hoja funcionaba y se indicó que la hoja tenía que ser capaz de resolver un ejercicio con un caso extremo que se utilizaría para revisar la tarea. La figura 1 muestra las instrucciones del ejercicio y la tabla de evaluación que se utilizó. Luego de dos semanas de asignada la tarea, los estudiantes debían subir la hoja electrónica al sitio electrónico del curso.

**Tarea del balance hídrico.**

Se debe estimar la recarga potencial en una cuenca, utilizando el método de Schosinsky (2006). Anteriormente se han dibujado los polígonos de Thiessen, como se muestra en la figura adjunta. Para cada estación meteorológica (A, B, C, etc.) existe un registro mensual de la precipitación y temperatura promedio. Muy cerca de cada estación meteorológica se tomaron muestras de suelo y se determinó CC, PM y se realizó el método del doble anillo para determinar fc.

De manera general:

- A) Construya una hoja de Excel que calcule la recarga potencial para cada uno de los polígonos, siguiendo la metodología expuesta por Schosinsky (2006). (70%)

La información que el usuario de la tabla debe digitar son los valores de fc, Kv, Kp, Cfo, CC, PM, P y T. Todos los demás parámetros los debe de calcular automáticamente la hoja electrónica. Pueden utilizar los balances adjuntos para comprobar que su tabla está funcionando correctamente.

Los datos que se utilizarán para revisar esta tarea pueden ser distintos a los mostrados en las tablas adjuntas, por lo que su hoja electrónica debe ser capaz de resolver cualquier situación.

- B) Calcule la recarga potencial (RP) hacia el acuífero e indique de forma porcentual cuánto representa esto de la Precipitación total en la cuenca. (30 %)

Este ejercicio es individual y la calificación será según la siguiente tabla:

Calificación	Condición
100	La tabla funciona correctamente para cualquier caso y RP bien calculado.
90	Error en el cálculo de 1 parámetro
80	Error en el cálculo de 2 parámetros
70	Error en el cálculo de 3 parámetros
60	Error en el cálculo de 4 parámetros
50	Error en el cálculo de 5 o más parámetros
0	No presentó la tabla en la fecha acordada o la tabla es la copia de la de un compañero.

La fecha máxima de entrega es el domingo 24 de abril a las 11:55 pm, a través de la plataforma de mediación virtual de nuestro curso (Hidrogeología G-4112).

**Figura 3.1:** Instrucciones de la tarea para crear la hoja electrónica que calcule la recarga acuífera a partir del balance hídrico del suelo.

### 3.3 Resultados y discusión

Se ha mostrado que el desarrollo de ejercicios en la computadora basados en la teoría, ofrecen una oportunidad para el análisis e integración de los datos. En específico en el campo de la hidrogeología, los ejercicios desarrollados por estudiantes utilizando una computadora y construidos utilizando los principios teóricos, ofrecen una oportunidad para la integración y el análisis de datos (Gleeson et al. 2012).

Este ejercicio se planteó, buscando facilitar la comprensión de los conceptos hidrogeológicos involucrados en el cálculo del balance hídrico del suelo. Esto en consecuencia con uno de los objetivos específicos del curso, que está directamente relacionado con este tema: “Estudiar los conceptos básicos del ciclo hidrológico para comprender la interrelación entre el agua superficial y el agua subterránea”.

Se detectó que algunos estudiantes no eran capaces de construir fórmulas lógicas en la hoja electrónica y requirieron una mayor orientación. Sin embargo, este ejercicio no buscaba que los estudiantes aprendieran a usar un programa de cómputo, sino que comprendieran los conceptos ligados a la recarga acuífera, y potenciaran la habilidad de desarrollar en un ambiente virtual. Solo un estudiante no entregó la tarea y todos los que la entregaron lo hicieron correctamente.

Esta hoja electrónica, además de buscar que sirva como una herramienta para comprender el concepto del balance hídrico, le queda al estudiante como un instrumento que podrá utilizar en su futuro profesional, pues como se indicó, en Costa Rica está reglamentado el cálculo de la recarga acuífera siguiendo esta metodología.

Con respecto a las competencias, el estudiante desarrollo la capacidad de resolución de problemas, pues tuvo que enfrentarse y dar respuesta al ejercicio planteado, identificando el problema, planteando una secuencia lógica de solución, formulando las soluciones y evaluando si la solución era coherente. Además, con respecto a las competencias blandas, los estudiantes trabajaron en la programación de una hoja electrónica, responsabilidad y la creatividad.

### 3.4 Conclusión

En la enseñanza del cálculo del balance hídrico, el uso de hojas de cálculo es una herramienta útil que ayuda complementando lo visto en clase, generando un entendimiento mayor y más sistemático de los procesos que resultan en el volumen de agua que puede recargar el acuífero.

Esta herramienta le permite además al estudiante, variar los valores de los parámetros de entrada para observar cómo diferentes escenarios pueden afectar la recarga hacia el acuífero.

La hoja electrónica elaborada por los estudiantes en este curso, podrá ser utilizada en el futuro por ellos mismos para calcular la recarga potencial hacia el acuífero, en los

trámites que así lo requiera el gobierno de Costa Rica, pues sigue la metodología indicada en el Reglamento “Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico”.

## Referencias

1. Fetter, C.J. (2001) *Applied Hydrogeology*. Prentice-Hall, New Jersey.
2. Gleeson, T.; Allen, D.M.; Ferguson, G. (2012) “Teaching hydrogeology: a review of current practice”, *Hydrology and Earth System Sciences* **16**(7): 2159-2168.
3. Healy, R.W. (2010) *Estimating Groundwater Recharge*. Cambridge University Press, USA.
4. La Gaceta N°243. (15 de Diciembre de 2010) “Reglamento Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico”. Obtenido de Imprenta Nacional Costa Rica: <http://www.imprentanacional.go.cr/gaceta/?date=15/12/2010>
5. Programa Estado de la Nación (2012) *Decimooctavo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. Programa Estado de la Nación, San José, Costa Rica.
6. Santi, P.M.; Higgins, J.D. (2005) “Preparing geologists for careers in Engineering Geology and Hydrogeology”, *Journal of Geoscience Education* **53**: 512–521.
7. Schosinsky, G. (2006) “Cálculo de recarga potencial de acuíferos mediante balance hídrico de suelos”, *Revista Geológica de América Central* **34-35**: 13-30.

