

EVALUACIÓN TEMPORAL DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN UNA CUENCA HIDROLÓGICA USANDO EL MODELO DEL BALANCE DE AGUA EN EL SUELO (SWB)

Mauricio José Ríos¹, Fermín Pascual Ramírez², Rosalva Mendoza Ramírez³
y Rodolfo Silva Casarín³

¹ Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Campus Morelia.

² Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM, Campus Morelia:

³ Instituto de Ingeniería, UNAM. México.

E-mail: mjose@cieco.unam.mx, fpascualr@cieco.unam.mx, rmr@pumas.iingen.unam.mx, rsc@pumas.iingen.unam.mx

Introducción

La determinación de la disponibilidad hídrica (DH) de una región es necesaria para evaluar las condiciones del recurso y con ello la capacidad de cobertura a la población. El propósito del presente trabajo es calcular la DH de una cuenca hidrológica localizada en la región centro sur de México y conocer como ha variado ésta en el tiempo. Para ello se usó el modelo del balance de agua en el suelo (SWB) (Westenbroek et al., 2010) alimentado con valores tabulares establecidos y con información de precipitación y temperatura, clasificación de uso del suelo, grupo hidrológico de suelo, dirección de flujo y, capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. El modelo está diseñado para aprovechar las ventajas de los Sistemas de Información Geográfica (Westenbroek et al., 2010) y calcula el balance hídrico a nivel pixelar para después hacer la integración de resultados a nivel de la cuenca en diferentes resoluciones temporales.

El material se encuentra organizado en 4 apartados, a saber: en el primero se describe el sitio de estudio, en el segundo se presenta la metodología usada, en el tercero los resultados obtenidos y finalmente, en el cuarto se dan las conclusiones que se hacen del trabajo.

Sitio de estudio

Como sitio de estudio se eligió la cuenca del lago de Zirahuén que se ubica entre los paralelos 19°21'09" y 19°29'50" de Latitud Norte y, los meridianos 101°29'11" y 101°46'21" de Longitud Oeste, en el estado de Michoacán de Ocampo (figura 1); pertenece a la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico y la subprovincia Neovolcánica Tarasca (INEGI, 2001). Se ubica dentro de la Región Hidrológica 18 'Balsas'; tiene una superficie oficial de 273.07 km², es una cuenca de tipo endorreico, la corriente superficial principal es el río El Silencio (CONAGUA, 2009) que desemboca al lago de Zirahuén.

En la mayor parte de la región prevalece el clima templado subhúmedo. El régimen de precipitación que se presenta estriba entre los 1000 y 1200 mm anuales con temperaturas máximas registradas de 18°C a 21°C y temperaturas mínimas que oscilan entre los 6°C y 9°C (INEGI, 2005a); en cuanto a cobertura vegetal, los más representativos son el bosque de pino-encino, el bosque mesófilo de montaña y el bosque de encino-pino.

El uso de suelo predominante es la actividad agrícola de temporal anual. La geología presenta una litología basada en rocas ígneas intrusivas del Cenozoico, constituida principalmente por basaltos y el resto se distribuye entre brechas volcánicas básicas, basalto-brecha volcánica básica, aluviones, dacita y toba básica (INEGI, 2005b); demográficamente el territorio se encuentra ocupado por 47 localidades con un total de 37,137 habitantes (INEGI, 2010).

Metodología

Los datos y la información cartográfica utilizada en el presente trabajo fueron obtenidos a través de consultas a la página web y solicitudes de información al Instituto Nacional de Estadística,

Geografía e Informática (INEGI). Los datos correspondientes a los registros diarios de elementos climatológicos para la estación climatológica 16146 Zirahuén, se obtuvieron mediante solicitud realizada a la dirección general de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Las coberturas vectoriales fueron convertidas a matrices de datos de formato raster ASCII a resolución de 100 metros por pixel. Por otro lado, la información meteorológica a nivel diario, fue convertida a unidades inglesas, debido a que el modelo precisa que los datos se encuentren en ese sistema de unidades.

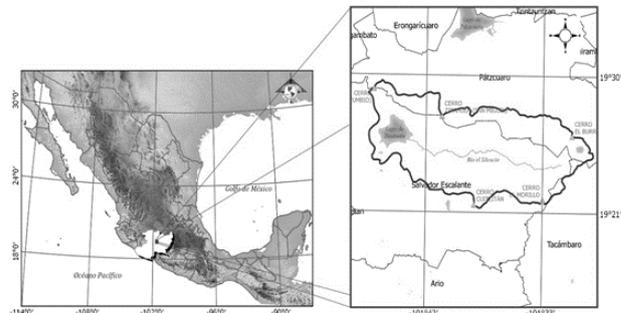


Figura 1.- Localización de la cuenca del lago de Zirahuén, Mich., México (Fuente: José, 2017).

La evaluación de la variación espacio temporal de la recarga hídrica se realizó para los años 1972, 1980, 1992, 2000, 2003, 2009 y 2015; la elección de los años analizados se hizo con base en la disponibilidad de datos confiables sobre la cobertura de uso de suelo y vegetación.

El modelo SWB requiere 5 variables: 1) precipitación y temperatura, 2) clasificación de uso de suelo y vegetación, 3) grupo hidrológico de suelo, 4) dirección de flujo calculado a partir de un modelo digital de elevaciones, y 5) capacidad de agua en el suelo. Permite calcular, para cada año seleccionado, los principales componentes de la recarga (precipitación menos procesos de pérdida) por separado en cada unidad mínima de análisis (a nivel de pixel). Las fuentes y sumideros de agua para cada celda, fueron determinados con base en los datos climáticos de entrada y las características del terreno aportadas por el modelo digital de elevaciones.

Los resultados se interpretaron en conjunto con los volúmenes de agua concesionados, para considerar la influencia de las actividades antropogénicas sobre la disponibilidad hídrica en las simulaciones de los años 2000, 2003, 2009 y 2015.

Resultados

Los principales resultados al realizar las corridas de simulación con el modelo SWB, mostraron que los mayores volúmenes (área por lámina unitaria) se tienen en las corridas de los años 1992 y 2000, y los valores más bajos en las corridas de los años 2009 y 2015. Estos resultados están fuertemente influenciados por el régimen de precipitación y el térmico, en particular por los efectos del Niño y Niña, así como los cambios de uso de suelo presentes en la cuenca.

La tabla 1 presenta los resultados de las variables más importantes del ciclo hidrológico integrados al nivel de la cuenca. Los resultados obtenidos con la simulación fueron analizados de manera conjunta con los volúmenes de agua concesionados en la cuenca, de conformidad con la base de datos del Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), que reporta la totalidad de aprovechamientos legales en la cuenca.

La tabla 2, detalla la relación que existe entre los volúmenes de recarga calculados por el modelo SWB y la demanda de agua o volúmenes comprometidos de agua. Esta comparación, permite conocer los volúmenes de agua disponibles a futuro. La disponibilidad de agua subterránea, ha sido calculada restando a la recarga los volúmenes comprometidos.

Tabla 1.- Valores de los principales componentes de la recarga hídrica.

Año	R (mm/año)	I (mm/año)	E (mm/año)	ETP POTENCIAL (mm/año)
1972	178.816	26.924	484.124	1238.25
1980	156.464	27.178	596.9	1771.65
1992	415.798	32.512	935.228	1560.068
2000	206.756	31.242	681.736	1695.704
2003	107.696	44.45	519.684	1555.496
2009	53.086	43.18	465.582	1613.154
2015	45.212	41.402	487.426	1636.268
Promedio	166.26	35.27	595.81	1581.51

Tabla 2.- DH subterránea en Mm³/año.

Año	R	Demanda de aguas subterráneas	Disponibilidad hídrica Subterránea
	Mm ³ /año	Mm ³ /año	Mm ³ /año
2000	56.5204	0.0964	56.4241
2003	29.4406	0.1816	29.259
2009	14.512	0.1818	14.3302
2015	12.3595	0.7479	11.6116

Respecto al agua superficial, la disponibilidad se calculó de manera análoga al caso de la subterránea, considerando los volúmenes de agua comprometidos y los volúmenes de escurrimiento de agua obtenidos con el modelo SWB. Aunque la demanda superficial de agua es mínima comparada con los escurrimientos calculados, como ya se apuntaba, existe una tendencia creciente en la demanda de agua. Por lo que toca a la disponibilidad, los volúmenes parecen mantener similitud en 2003, 2009 y 2015 (tabla 3).

Tabla 3.- DH superficial en Mm³/año.

Año	E	Demanda de aguas superficiales	Disponibilidad hídrica superficial
	Mm ³ /año	Mm ³ /año	Mm ³ /año
2000	186.3646	0.755	185.6096
2003	142.0648	2.1926	139.8723
2009	127.2751	2.4389	124.8362
2015	133.2465	3.1761	130.0704

La figura 2 muestra la evolución temporal de los volúmenes de agua disponibles en la zona de estudio. Se puede observar una tendencia decreciente con un mínimo en el año 2009; a pesar de la aparente recuperación en el año 2015, los valores son inferiores a los de 2000 y 2003.

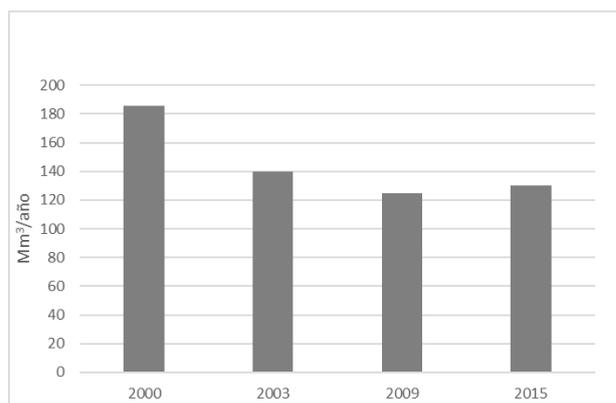


Figura 2.- Variación en el tiempo de la DH superficial.

Conclusiones

Con la aplicación del modelo SWB fue posible conocer las variaciones temporales y espaciales de la recarga hídrica y los elementos que conforman el balance hídrico como la infiltración, el escurrimiento y la evapotranspiración potencial en la cuenca del lago de Zirahuén.

Se identificó que la recarga hídrica es altamente influenciada por los regímenes de precipitación en el área, sin embargo, pudo observarse el decremento paulatino desde 1972 hasta el 2015.

Los usos más demandantes dentro de la cuenca corresponden a los usos público urbano y el agrícola, que acentúan los efectos de la variabilidad climática mundial sobre la disponibilidad hídrica.

La aplicación del modelo SWB, aporta un método alternativo confiable para la evaluación del recurso hídrico en cuencas hidrográficas, ya que considera la dinámica del uso del territorio y la dinámica de la cobertura vegetal como factores esenciales en la estimación de la disponibilidad hídrica. Además, mostró utilidad en el análisis de series de tiempo a nivel de cuencas.

Referencias

- CONAGUA.** (2009). *Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo*. (S. del M. A. y R. Naturales, Ed.) (Primera ed). México, D.F. Recuperado a partir de www.conagua.gob.mx
- INEGI.** (2001). Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. escala 1:1,000,000. Serie I. Aguascalientes, Ags.
- INEGI.** (2005a). *Guía para la interpretación de cartografía: Climatológica*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- INEGI.** (2005b). *Guía para la interpretación de cartografía geológica*. Aguascalientes, Ags.: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI.** (2010). Censo de Población y vivienda. México.
- José, R. M.** (2017). Evaluación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias en Desarrollo Sustentable. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México.
- Westenbroek, M. S., Kelson, V. A., Dripps, W. R., Hunt, R. J. y Bradbury, K. R.** (2010). SWB — A Modified Thornthwaite-Mather Soil-Water- Balance Code for Estimating Groundwater Recharge. *U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A31*, 60. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>