

## Evaluación de los potenciales efectos del cambio climático sobre las fuentes de abastecimiento superficial: caso de estudio presa Solís

Mayra Guadalupe Vázquez Rodríguez<sup>1</sup>, Juan Enrique Collazo Aranda<sup>1</sup>, David Alonso Rocha Díaz<sup>1</sup>, María de Lourdes Rodríguez Morales<sup>1</sup>, Jimena Vázquez Cisneros<sup>1</sup>, Ismael Orozco Medina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, 36000, México; je.collazoaranda@ugto.mx, da.rochadiaz@ugto.mx, mg.vazquez.rodriguez@ugto.mx, mdlrodriguezmorales@ugto.mx, j.vazquezcisneros@ugto.mx

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, 36000, México; i.orozco@ugto.mx

### Resumen

En esta investigación se ha evaluado a través del modelado hidrológico distribuido los potenciales efectos del cambio climático sobre las fuentes de abastecimiento superficial, específicamente sobre la presa Solís. La cual, se ubica en el estado de Guanajuato, México y es fuente importante del abastecimiento urbano y agrícola del distrito de riego número 011. Sin embargo, existe una gran incertidumbre de como puede verse afectado su volumen útil ante los efectos del cambio climático y de los riesgos en el abastecimiento de los diferentes usos consuntivos de la zona. Es por ello, que la metodología propuesta involucra el uso del modelo hidrológico distribuido TETIS, información geográfica, datos hidrometeorológicos y escenarios futuros. Con la finalidad de evaluar los posibles efectos del cambio climático y diseñar las acciones y las estrategias de adaptación y mitigación, que permitan el manejo eficiente del recurso hídrico, así como las acciones de protección necesarias para garantizar el bienestar y la seguridad hídrica en la región.

**Palabras clave:** cambio climático, presa Solís, modelación hidrológica, modelo TETIS.

### Introducción

La variación espacio temporal de los flujos terrestres observados en variables del ciclo hidrológico, tales como la precipitación, evaporación, escorrentía, etc. Estos procesos se han visto afectados por el cambio climático y por ende la disponibilidad del recurso hídrico, así como, calidad de agua, escasez y amenazas al desarrollo sostenible del mundo (ONU, 2019). Según Martínez (2021), es preocupante observar que en el Estado de Guanajuato cada vez más se presentan eventos naturales extremos atribuidos al cambio climático. Asimismo, según Kharraz (2012), estos impactos son uno de los principales retos para la gestión del agua, especialmente en países en desarrollo, donde el aumento de la población y la escasez del recurso hídrico han producido pérdidas de cultivos y ganado, hambrunas, migración y riesgos a la seguridad humana. En el mismo contexto estudios como el realizado por Orozco et al. (2022), muestran disminuciones en las precipitaciones de hasta 36 mm entre 1982 y el año 2014. Lo anterior, muestra la gran relevancia de evaluar los efectos del cambio climático sobre la infraestructura hídrica como las presas, al ser fuentes principales de usos como el agrícola. Sin embargo, esta no es una tarea sencilla al requerirse incorporar en la evaluación flujos y procesos que superan técnicas como los balances hídricos. En los últimos años se ha popularizado el uso de modelados hidrológicos para evaluar los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico. Es por ello, que en esta investigación se evalúa los efectos del cambio climático bajo la hipótesis de que, al incluir el modelado hidrológico se podrá evaluar y proyectar los posibles impactos aludidos. Con la finalidad de diseñar las acciones y las estrategias de adaptación y mitigación, que permitan el manejo eficiente del recurso hídrico, así como las acciones de protección necesarias para garantizar el bienestar y la seguridad hídrica en la región.

## Caso de estudio

En esta investigación se ha seleccionado como caso de estudio la presa Solís y su cuenca de aportación (figura 1). La cuenca se sitúa en el cauce del Río Lerma con un área de aportación de 8, 247 km<sup>2</sup>. La presa Solís pertenece a los municipios de Jerécuaro, Acámbaro y Tarandacuaio, cuenta con un volumen de almacenamiento promedio de 779 hm<sup>3</sup> y una capacidad al NAMO de 800 hm<sup>3</sup>. En la figura 2 se presentan las variaciones del volumen util de la presa Solís en el periodo comprendido de 1990 al 2021 según los registros del Sistema Nacional de Información del Agua de la Comisión Nacional del Agua (SINA, 2021). El principal uso de la presa es el riego agrícola de la zona de Acámbaro (Distrito de Riego 011).

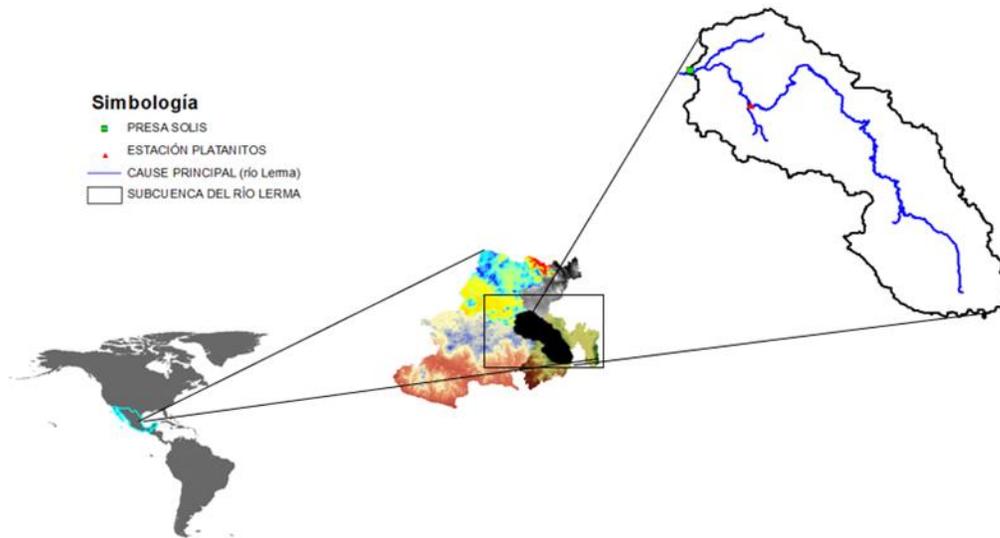


Figura 1. Ubicación de la cuenca de aportación a la presa Solís y de las estaciones hidrometeorológicas usadas en el modelado hidrológico.

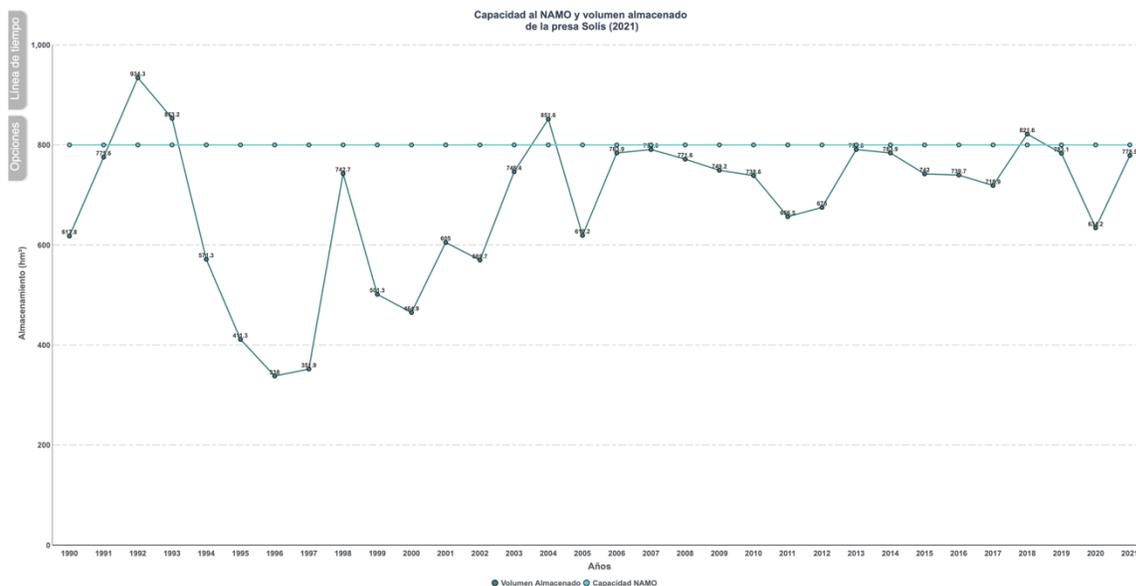


Figura 2. Capacidad al NAMO y variaciones del volumen almacenado de la presa Solís (fuente: SINA, 2021).

## Metodología

La metodología propuesta para llevar a cabo la presente investigación ha incluido el uso del modelo hidrológico distribuido TETIS, desarrollado por el Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA) del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Para más información sobre el modelo TETIS, consultar a Francés et al. (2007)

y Orozco et al. (2020). En la figura 3 se presenta el diagrama metodológico diseñado para llevar a cabo la presente investigación.

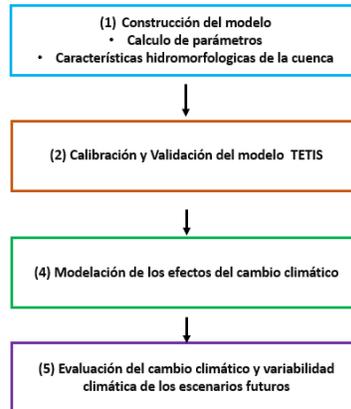


Figura 3. Diagrama general del desarrollo de las etapas de la metodología.

En la construcción del modelo TETIS se han utilizado 84 estaciones meteorológicas obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN: [smn.conagua.gob.mx](http://smn.conagua.gob.mx)), así como, datos de caudales diarios de la estación hidrométrica El Platanito obtenidos del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS: [hidrosuperficial.imta.mx/bandas/](http://hidrosuperficial.imta.mx/bandas/)) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La hidromorfometría de la cuenca se obtuvo a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) descargado en una resolución de 225x225 metros del Instituto Nacional de estadística y Geografía (INEGI: [inegi.org.mx](http://inegi.org.mx)). A partir del DEM se determinaron los mapas raster de: direcciones de flujo, celdas acumuladas, pendientes y velocidades de flujo (figura 4 y 5).

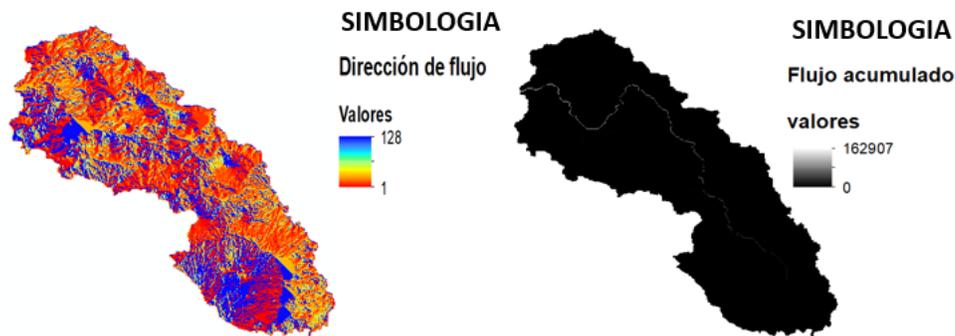


Figura 4. Mapas raster calculados para introducir las características hidromorfológicas de la cuenca: direcciones de flujo y celdas acumuladas.

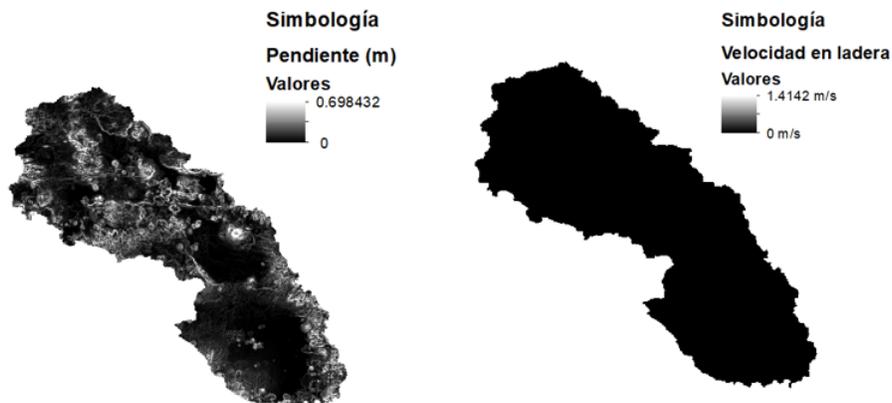


Figura 5. Mapas raster calculados para introducir las características hidromorfológicas de la cuenca: pendientes (m) y velocidades de flujo (m/s).

En la figura 6 se presenta el parámetro de Almacenamiento Estático (Hu) y en la figura 7 se presentan los parámetros de Conductividad Hidráulica del suelo (Ks) y Conductividad hidráulica de la Zona no Saturada (Kp) distribuidos espacialmente usando los valores de las tablas 1 y 2.

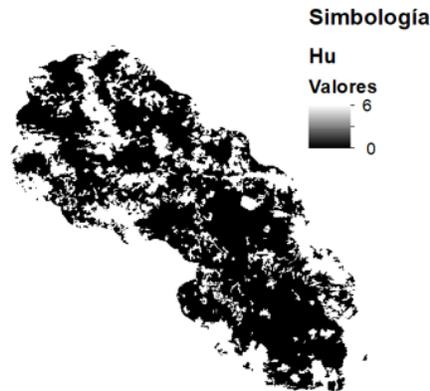


Figura 6. Parámetro Hu (mm).

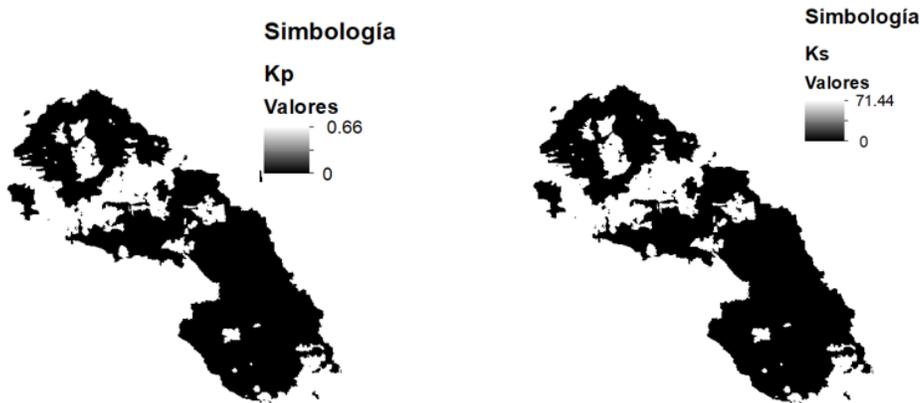


Figura 7. Parámetros Ks y Kp.

**Tabla 1.** Conductividad hidráulica de la zona no saturada usada en el calculo del mapa distribuido del parámetro Kp.

Geología	
Tipo de roca	parámetro K <sub>p</sub>
Sedimentarias	0.21
Metamórfica	0
Extrusiva	0.66

**Tabla 2.** Valores asignados a las abstracciones por el almacenamiento e intercepción (Orozco, 2010).

Cubierta vegetal y uso de suelo		
Vegetación	Almacenamiento (mm)	Intercepción (mm)
Agua	0	0
Bosque Perenne de hoja delgada	4.5	9
Bosque Caducifolio de hoja ancha	4.5	9
Bosque, Monte, Selva	4.5	9
Prado arbolado	6	3
Arbustos cerrados	6	3
Arbustos abiertos	5	2
Prado	6	3
Tierra de cultivo	1	1

## Resultados

El período seleccionado para realizar la calibración del modelo hidrológico TETIS ha comprendido del 01 de noviembre de 2006 al 31 de septiembre de 2008. Este periodo se ha seleccionado tomando en cuenta los años con mayor número de datos y la variabilidad de la precipitación y la evapotranspiración (figura 8 y 9). El proceso de calibración se ha llevado a cabo comparando el volumen observado en la estación hidrométrica El Platanito ubicada en la desembocadura de la cuenca y el volumen simulado a través de modelo hidrológico.

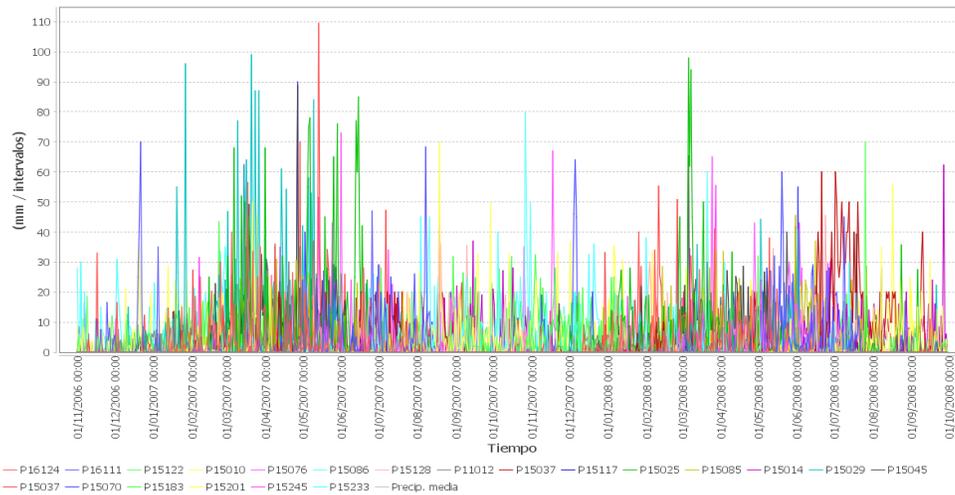


Figura 8. Precipitaciones en las estaciones meteorológicas usadas como inputs en el periodo de calibración del modelo TETIS.

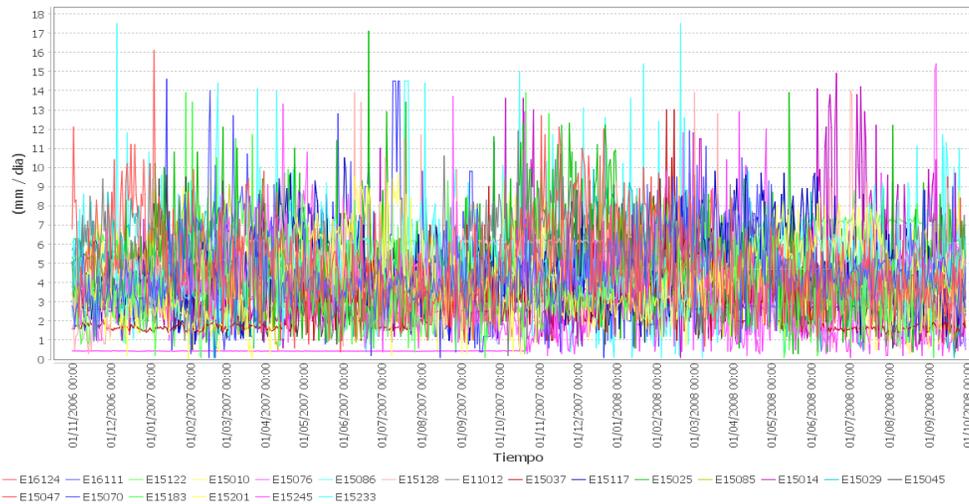


Figura 9. Tasas de evapotranspiración diarias usadas como inputs en el periodo de calibración del modelo TETIS.

En la figura 9 se puede observar que en la evapotranspiración se presentan valores de tasas muy altas, las cuales pueden introducir incertidumbre significativa relacionada con el método y equipo usado en la medición de esta variable. De acuerdo con los resultados del modelado hidrológico se ha podido observar que hay una precipitación de 878 mm y una evapotranspirando de 826 mm. Esta última supone más de la mitad la precipitación acumulada en la condición actual del sistema. Asimismo, se ha observado que el proceso de infiltración representa una lamina de 26.58 mm y una percolación de 11.68 mm.

## Conclusión

Es importante destacar que a pesar de que el análisis de los datos y los resultados preliminares obtenidos presentan indicios de posibles efectos del cambio climático sobre la fuente de abastecimiento superficial estudiada, estos deberán ser validados a través de más simulaciones y mejoras al modelo hidrológico, sobre todo mejoras en la calibración y validación. Por lo anterior, se recomienda considerar que son resultados preliminares de la primera etapa de la presente investigación.

## Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato y al órgano colegiado a cargo de los veranos de investigación UG-2022 por brindarnos la oportunidad y el financiamiento para participar en esta investigación.

## Referencias

- Francés, F., Vélez, J. I., Vélez, J. J. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332(1), 226–240.
- Kharraz, J., El-Sadek, A., Ghaffour, N., & Mino, E. (2012). Water scarcity and drought in WANA countries. *Procedia Engineering*, 33, 14-29.
- Martínez, A.(2021). Evaluación de la vulnerabilidad de un sistema hidrológico ante los efectos del cambio climático y de uso de suelo. *Tesis de Maestría*, 1, 254.
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). Informe de Políticas de la ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el agua. <https://www.un.org/es/observances/water-day/resources>
- Orozco, I., Martínez, A., Ortega, V. (2020). Assessment of the water, environmental, economic and social vulnerability of a watershed to the potential effects of climate change and land use change. *Water*, 12(6).
- Orozco Medina, I. (2010). Evaluación del submodelo de fusión de nieve del Modelo TETIS en las cuencas de alta montaña del río American y Carson dentro del proyecto DMIP2.
- SINA (2021). Sistema Nacional de Información del Agua-Comisión Nacional del Agua. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php>