

Evaluación del efecto del cambio climático y variabilidad climática sobre las fuentes de abastecimiento superficial: caso de estudio presa La Purísima

Mayra Guadalupe Vázquez Rodríguez¹, Jaime Ramírez Acosta², David Rocha Díaz¹, Juan Enrique Collazo Aranda¹, Edgar Omar Reynoso Martínez³, Alan Joaquín Arias Diosdado⁴, Ismael Orozco Medina⁵

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

²Licenciatura en Ingeniería Biotecnología, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Campus Celaya Salvatierra, Universidad de Guanajuato, Av. Ing. Barros Sierra No. 201 Ejido de Santa María del Refugio, Celaya, Guanajuato, 36000, México; j.ramirezacosta@ugto.mx

³Licenciatura en Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, 36000, México; eo.reynosomartinez@ugto.mx

⁴Licenciatura en Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, 36000, México; aj.ariasdiosdado@ugto.mx

⁵Departamento 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 evalúa a través del modelado hidrológico distribuido los efectos del cambio climático y la variabilidad climática sobre las fuentes de abastecimiento superficial, concretamente sobre la presa La Purísima. La metodología propuesta involucra el uso de un modelo matemático, información geográfica, datos hidrometeorológicos y escenarios futuros. Actualmente existe un desconocimiento entorno a los efectos del cambio climático a pesar de los esfuerzos de estudios como el Diagnóstico Climatológico en el estado de Guanajuato llevado a cabo por el Instituto Estatal de Ecología. Es, por lo tanto, indispensable evaluar los posibles efectos que los fenómenos asociados al cambio climático y la variabilidad climática puede generar en los recursos hídricos para 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 de la sociedad.

Palabras clave: Cambio climático; variabilidad climática; presa La Purísima; modelación hidrológica.

Introducción

Debido a la crisis mundial del cambio climático hay un aumento de la variabilidad del ciclo hidrológico, lo que dificulta la previsión de la disponibilidad de los recursos hídricos. Agregado a lo anterior, la disminución de la calidad del agua exacerba aún más su escasez y constituye una amenaza al desarrollo sostenible en todo el mundo (ONU, 2019). De acuerdo con Martínez y Patiño (2012), las variaciones de temperatura y precipitación esperadas en los escenarios más probables de cambio climático tendrán un impacto importante en la disponibilidad de los recursos hídricos de México. En regiones con latitudes medias y zonas subtropicales se prevén importantes disminuciones en la precipitación y, por ende, una disminución del escurrimiento, lo que ocasionará escasez y presión sobre los recursos hídricos en tales regiones. Por otra parte, se esperan lluvias más intensas y eventos extremos, que incrementarán la peligrosidad de algunas cuencas del sureste que ya registran problemas de inundaciones. Para lidiar con estos y otros efectos del cambio climático en el territorio mexicano, se requiere de mejores modelos matemáticos basados en escenarios de cambio climático para diseñar y priorizar acciones de adaptación en las regiones hidrológicas más vulnerables. Los modelos matemáticos se han venido usando como una opción para tratar de proyectar los efectos que los fenómenos asociados al cambio climático y la variabilidad climática sobre los recursos hídricos introduciendo escenarios de cambio climático. Esto permite desarrollar medidas de adaptación y políticas regionales, entre otras (Manzano et al., 2017). Con base en lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo evaluar a través de la modelación matemática los

efectos de la variabilidad climática y el cambio climático sobre la disponibilidad hídrica de la presa La Purísima ubicada en el estado de Guanajuato.

Caso de estudio

En esta investigación se ha seleccionado como caso de estudio la presa La Purísima y su cuenca de aportación. La cuenca se localiza en la región centro del estado y en la parte Suroeste del municipio de Guanajuato, Gto.; colinda al norte con las comunidades El Limón y Ciénega del Pedregal, al sur con las comunidades de El Zangarro y El Coyote, al este con las comunidades de San José de Gracia y La Trinidad y al oeste con las comunidades de El Capulín y Cañada de Bustos (Morales, 2008). La cuenca de aportación de la presa La Purísima tiene un área de 502 km² y tiene una alta importancia en la recarga del acuífero Silao-Romita. La presa recibe los afluentes de los ríos Guanajuato, Chapín y la Trinidad. Según el Sistema Nacional de Información del Agua de la Comisión Nacional del Agua (SINA-CONAGUA: sina.conagua.gob.mx/sina/), la presa tiene una altura de cortina de 52 metros, una capacidad al NAMO de 98 Hm³ y un volumen almacenado en el año 2019 de 79.346 Hm³. En la figura 1 se presenta la cuenca de aportación de la presa La Purísima y las estaciones hidrometeorológicas disponibles para realizar el modelado hidrológico.



Figura 1. Ubicación de la cuenca generada a partir de la ubicación de la presa La Purísima y de las estaciones hidrometeorológicas usadas en el modelado hidrológico.

La cuenca presenta tres tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio, vegetación acuática y subacuática y matorral xerófilo. Por otro lado, alberga a 215 especies de fauna, con 43 especies con alguna categoría de riesgo y/o endémica, y 137 especies de flora con 2 especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Metodología

Esta investigación se ha llevado a cabo a través de la implementación del modelo hidrológico distribuido TETIS. Este modelo ha sido 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). Entre sus ventajas se puede destacar que es un *software* de descarga libre a través del portal: lluvia.dihma.upv.es. El modelo TETIS se ha aplicado recientemente en la cuenta del Río Turbio de Guanajuato obteniendo buenos resultados (Orozco et al., 2020). En su conceptualización utiliza un esquema de seis tanques para simular los principales procesos y almacenamientos del ciclo hidrológico (figura 2). Para más información sobre el modelo TETIS, se recomienda consultar a Francés et al. (2007).



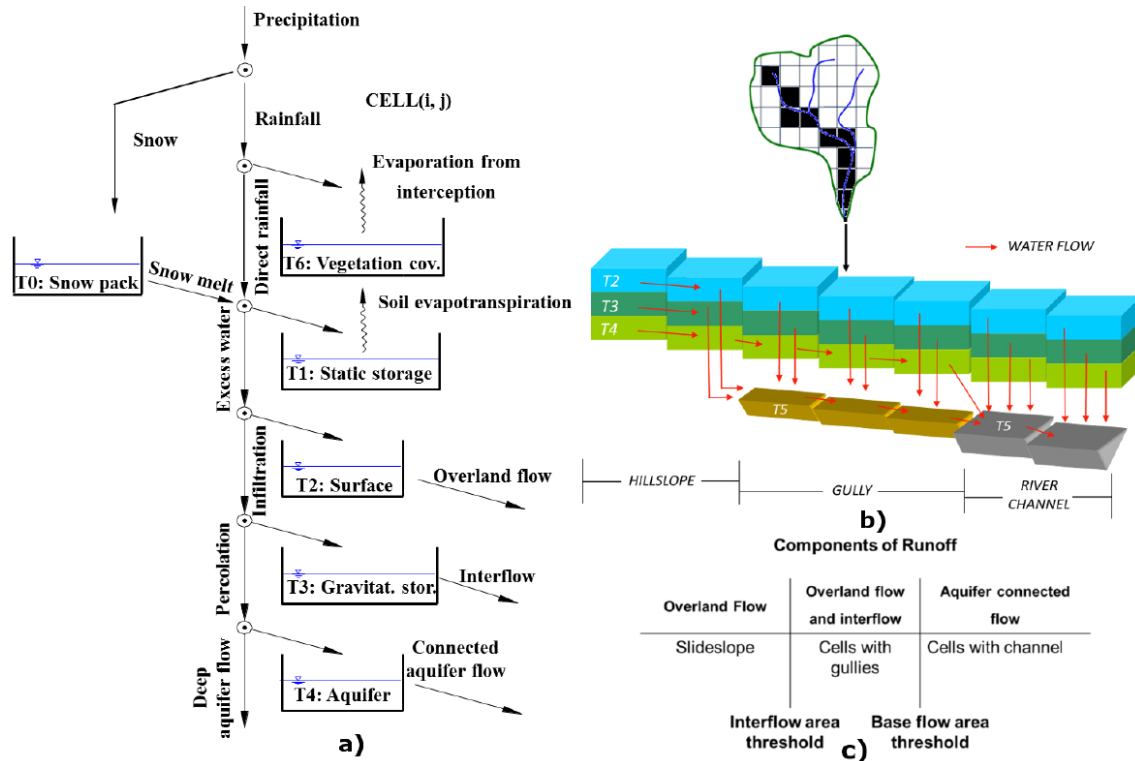


Figura 2. a) Esquema conceptual de tanques del movimiento vertical a nivel de celda, b) movimiento horizontal y c) elementos del sistema, umbrales de áreas y componentes de la escorrentía (Orozco et al., 2019).

En la construcción del modelo se ha usado datos diarios de cinco estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN: smn.conagua.gob.mx). Además, de los datos diarios de caudal de la estación hidrométrica la “Cuarenta II” del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales de CONAGUA (BANDAS: hidrosuperf.imta.mx/bandas/). Por otro lado, la hidromorfometría de la cuenca se ha definido a partir un Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) descargado con una resolución de 90x90 metros del Instituto Nacional de estadística y Geografía (INEGI: inegi.org.mx). A partir del DEM se determinaron los mapas ráster de dirección del flujo, flujo acumulado, pendientes y velocidades de flujo (figuras 3 y 4).

Paso siguiente se determinaron los tres parámetros principales del modelo TETIS, a partir de la información geográfica de geología, edafología y uso de suelo obtenidos del Sistema de Información Geográfica de la Secretaría de Medio ambiente y Ordenamiento Territorial del estado de Guanajuato (SEBIO-GTO). Estos parámetros han sido: almacenamiento estático (H_u), conductividad hidráulica del suelo (k_s) y conductividad hidráulica de la zona no saturada (K_p). En las tablas 1, 2 y 3 se presentan los valores de los parámetros calculados y distribuidos espacialmente en el área de estudio.

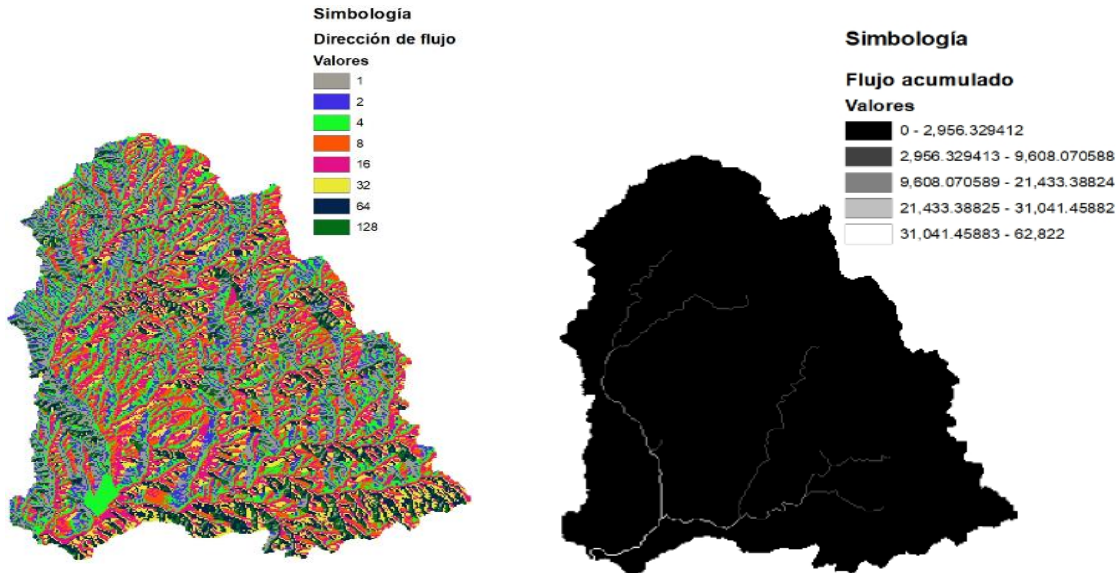


Figura 3. Mapas ráster calculados para introducir las características hidromorfométricas de la cuenca: direcciones de flujo y acumulación de celdas.

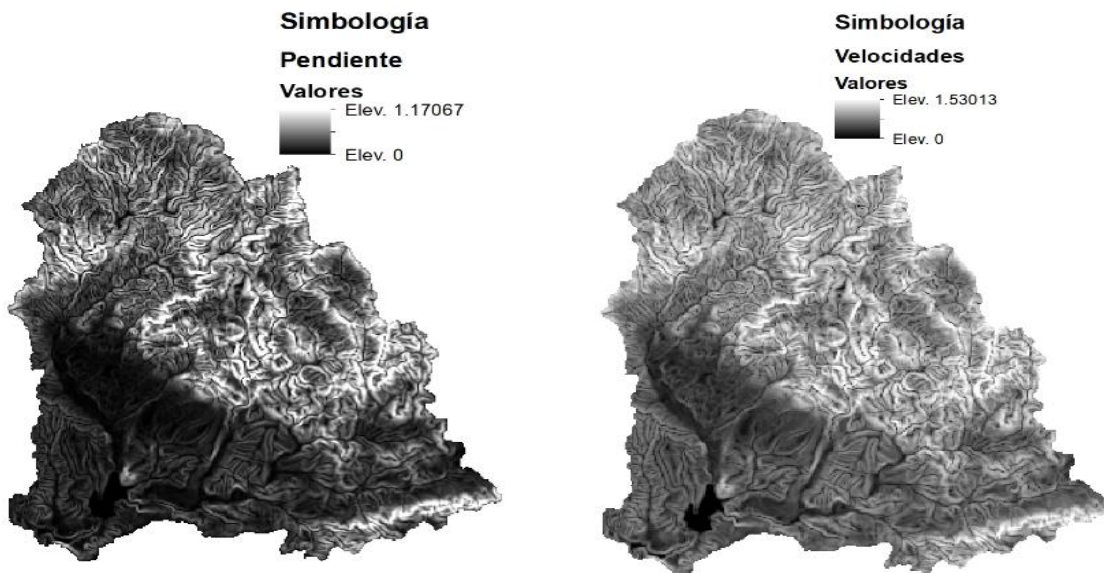


Figura 4. Mapas ráster calculados para introducir las características hidromorfométricas de la cuenca: pendientes en metros y velocidades de flujo (m/s).

Tabla 1 Almacenamiento estático y conductividad hidráulica del suelo usados en el cálculo de los parámetros H_u y K_s .

| Textura | Edafología | | | Parámetro K_s |
|---------|-----------------|------|-------|-----------------|
| | Parámetro H_u | | | |
| | Mín. | Máx. | Medio | |
| Fina | 105 | 242 | 173.5 | 1.054 |
| Media | 388 | 582 | 485 | 2.741 |

| | | | | |
|--------|-----|------|-----|-------|
| Gruesa | 582 | 1030 | 806 | 3.716 |
|--------|-----|------|-----|-------|

Tabla 2. Conductividad hidráulica de la zona no saturada usada en el cálculo del parámetro K_p .

| Geología | |
|------------------------|-----------------|
| Tipo de roca | parámetro K_p |
| Ígneas y sedimentarias | 0.019 |
| Metamórficas | 0.910 |

Tabla 1. Valores asignados a las abstracciones iniciales por 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 |

En las figuras 5 y 6 se presentan los parámetros H_u , K_s y K_p distribuidos espacialmente usando los valores de las tablas anteriores. En el caso de la conductividad hidráulica del acuífero (k_{sa}), este ha sido obtenido reduciendo las conductividades del mapa K_p .

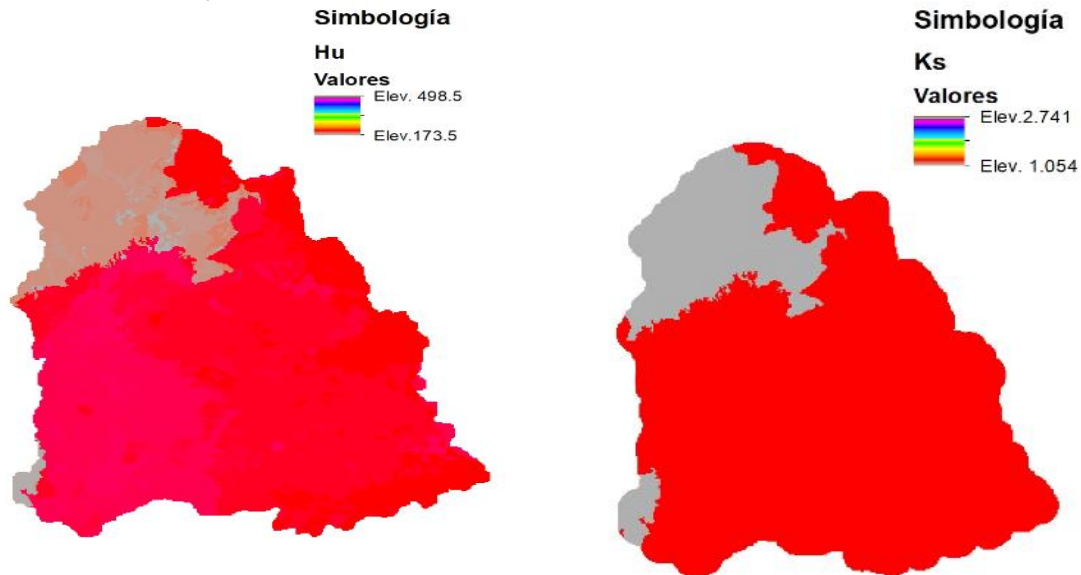


Figura 5. Parámetros de almacenamiento estático (H_u) y conductividad hidráulica del suelo (k_s).

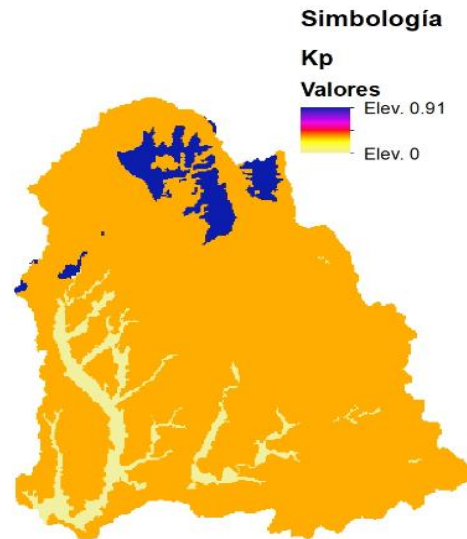


Figura 6. Parámetro de la conductividad hidráulica de la zona no saturada (K_p).

Resultados

El periodo seleccionado para realizar la calibración del modelo hidrológico TETIS ha comprendido del 05 de mayo de 1991 al 05 de mayo de 1992. Este periodo se ha seleccionado tomando en cuenta los años con mayor número de datos y la mayor variabilidad de la precipitación y la evapotranspiración (figura 7 y 8). El proceso de calibración se ha llevado a cabo comparando el volumen observado en la estación hidrométrica “Cuarenta II”, ubicada en la desembocadura de la cuenca y el volumen simulado a través de modelo matemático. En dicho proceso de calibración se ha conseguido un error del 11.73% entre los volúmenes.

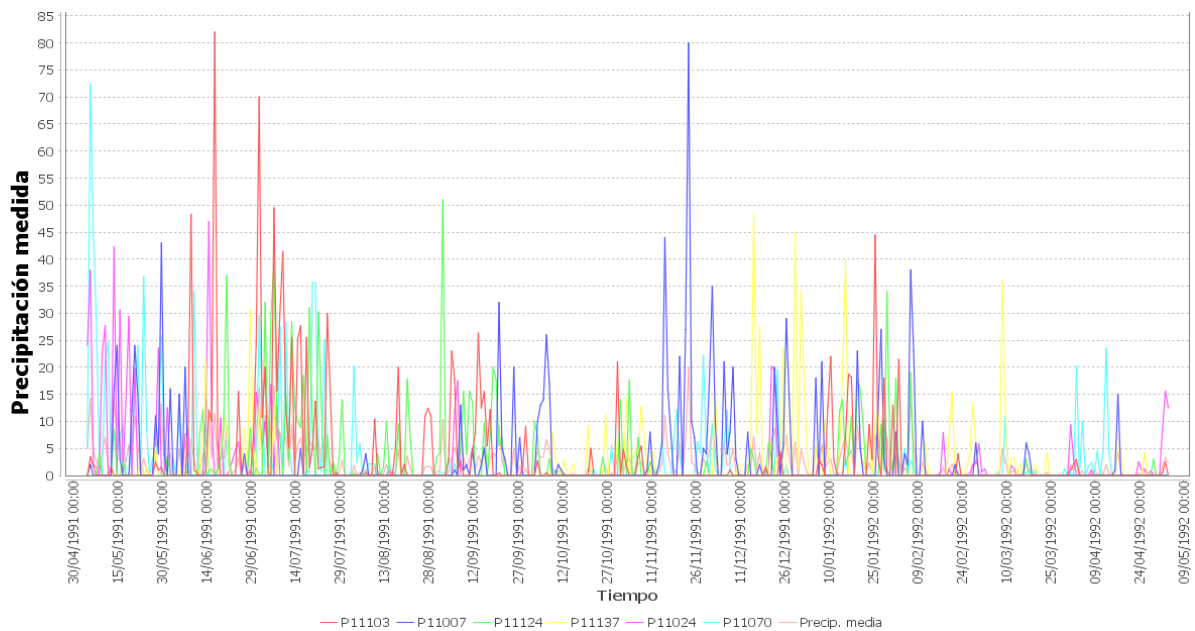


Figura 7. Precipitaciones medias (mm) en las estaciones meteorológicas usadas como *inputs* en el periodo de calibración del modelo TETIS.

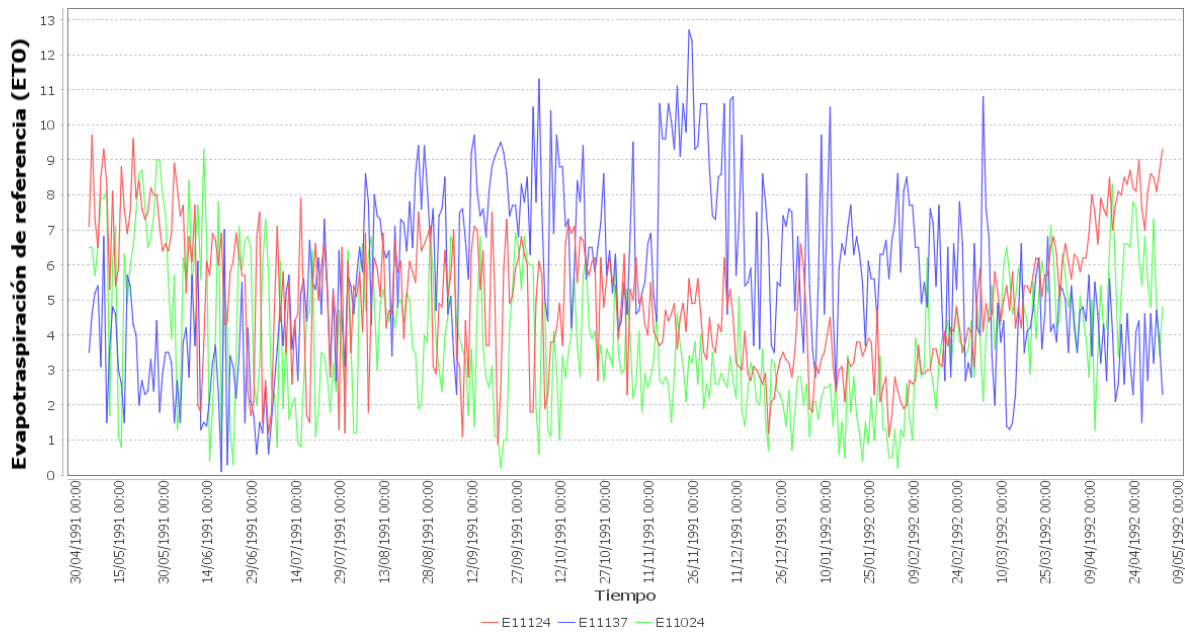


Figura 8. Tasas de evapotranspiración diarias (mm/día) usadas como *inputs* en el periodo de calibración del modelo TETIS.

En la figura 8 se puede observar que las evapotranspiraciones presentan valores de tasas muy elevadas, lo cual puede introducir incertidumbre significativa relacionada con el método y el equipo usado en la medición de esta variable.

Una vez calibrado el modelo TETIS, se ha procedido a evaluar el efecto de cambio climático y la variabilidad climática bajo tres escenarios futuros (tabla 4). Los escenarios propuestos hacen alusión a la condición más crítica que son las sequías en la región. Estos escenarios consideran reducciones de 400 mm, 200 mm y 100 mm en la precipitación acumulada.

Tabla 4. Disponibilidad actual y futura de la presa La Purísima usando los escenarios futuros propuestos.

| Condiciones | Precipitación (mm) | Volumen observado (Hm ³) | Volumen simulado (Hm ³) |
|--------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Actual | 913 | 186.518 | 164.635 |
| Escenario futuro 1 | 400 | | 7.521 |
| Escenario futuro 2 | 200 | | 0.213 |
| Escenario futuro 3 | 100 | | 0.000 |

De acuerdo con los resultados del modelado hidrológico, se ha podido observar que hay una precipitación de 913 mm y una evapotranspiración de 546 mm. Esta última supone más de la mitad de la precipitación acumulada en la condición actual del sistema. Asimismo, se ha observado que el proceso de infiltración representa en lámina 38.36 mm y una percolación de 20.47 mm.

Los resultados del modelado hidrológico introduciendo los escenarios futuros muestran que, si solo se precipitan en el sistema 400 mm, el volumen de escurrimiento se reduciría a 7.5 Hm³. En el mismo contexto, si solo se precipitan 200 mm, el volumen de escurrimiento a la presa La Purísima se reduciría a 0.2 Hm³. Agregado a lo anterior, habría que considerarse el volumen de sedimentos presente en la presa al momento de la simulación y su evolución a lo largo de su vida útil.

Conclusión

La conclusión principal de esta investigación es que la fuente de abastecimiento superficial estudiada es muy vulnerable ante los potenciales impactos del cambio climático y la variabilidad climática. Esto presupone que la fuente de abastecimiento superficial se verá afectada seriamente trayendo consecuencias sociales y económicas, no solo en la zona de estudio, sino en toda la región. Es importante destacar que, a pesar de que los resultados proyectan efectos significativos, estos deberán ser validados a través de más simulaciones y mejoras al modelo hidrológico desarrollado en la presente investigación.

Agradecimientos

A la Universidad de Guanajuato y al órgano colegiado a cargo de los veranos de investigación UG-2021 por la oportunidad y el financiamiento para desarrollar 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.
- Martínez-Austria, P., & Patiño-Cómez, C. (2012). Efectos del Cambio Climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(1), 5-20.
- Morales, a. (2008). *Manifestacion de impacto ambiental modalidad particular" embarcadero movil presa la purisima"*. Recuperado el 11 de julio de 2021, del sitio web SINAT-SEMARNAT: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiradocs/documentos/gto/estudios/2008/11gu2008hd084.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). Informe de políticas de ONU-Agua sobre el cambio climático y el agua. <https://www.un.org/es/observances/water-day/resources>.
- Orozco 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. Tesis de Máster, 1, 201.
- Orozco, I., Francés, F., & Mora, J. (2019). Parsimonious modeling of snow accumulation and snowmelt processes in high mountain basins. *Water*, 11(6).
- 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).