

# EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO DE USO DE SUELO SOBRE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LAS FUENTES: SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA, USANDO COMO CASO DE ESTUDIO LA CUENCA DEL RÍO TURBIO EN GUANAJUATO

Molina Hernández, Lisbeth Josefina (1), Orozco Medina, Ismael (2), Farfán Gutiérrez, Michelle (2), Delgado Galván, Xitlali (2), Mora Rodríguez, José De Jesús (2)

<sup>1</sup> [Licenciatura en Ingeniería Hidráulica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [lisbethmohl@hotmail.com]

<sup>2</sup> [Dpto. Ingeniería Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [i.orozco@ugto.mx] [michelle.farfán@ugto.mx] [xdelgado@ugto.mx] [jjmr@gmail.com]

## Resumen

Existe una falta de conocimiento sobre el comportamiento de los sistemas hidrológicos frente a los cambios en el uso del suelo y el cambio climático. Es por ello, que la presente investigación se enfoca a evaluar los efectos futuros del cambio de uso de suelo y el cambio climático sobre la producción de escurrimiento y la recarga del acuífero. Para ello, la metodología propuesta en este trabajo incluye el acoplamiento de la modelación prospectiva de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo con el programa DINAMICA EGO, integrando además otros modelos como son los modelos climáticos de proyecto CMIP5 y los escenarios del IPCC y el uso del modelo hidrológico distribuido TETIS. Los resultados muestran que los cambios de uso de suelo y el cambio climático producen interacciones que crean efectos combinados en los regímenes de flujo que producen un aumento de escorrentía superficial y en la percolación que influye directamente en la recarga del acuífero.

## Abstract

There is a lack of knowledge about the behavior of hydrological systems in the face of changes in land use and climate change. For this reason, the present research focuses on evaluating the future effects of land use change and climate change on the production of runoff and the recharge of the aquifer. For this, the methodology proposed in this work includes the coupling of the prospective modeling of the dynamics of change of coverage and land use with the DINAMICA EGO program, also integrating other models such as the climate models of the CMIP5 project and the IPCC scenarios and the use of the distributed hydrological model TETIS. The results show that changes in land use and climate change produce interactions that create combined effects in the flow regimes that produce an increase in surface runoff and in the percolation that directly influences the recharge of the aquifer.

## Palabras Clave

TETIS, DINAMICA EGO®, CMIP5, IPCC, cambio climático, cambio de uso de suelo

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un desconocimiento sobre el comportamiento de los sistemas hidrológicos frente a los cambios en el uso del suelo y el cambio climático. Es decir, se desconoce los efectos en los flujos y almacenamientos que interactúan en los procesos de una cuenca hidrológica. Los procesos que se derivan del cambio del uso de suelo usualmente se engloban en deforestación que se asocia a impactos ecológicos importantes, como aquellos que afectan el funcionamiento de cuencas hidrográficas y asentamientos humanos [1]. Por otro lado las interacciones entre clima e hidrología son tan estrechas que cualquier cambio en las variables climáticas (ej. temperatura y precipitación) producen impactos significativos en los recursos hídricos, y a partir de éstos en las sociedades y los ecosistemas [2]. Ya que conocer el impacto que tiene el cambio de uso de suelo y cambio climático en la zona de estudio, permitirá evaluar la disponibilidad hídrica actual y futura de la cuenca para contribuir al aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos de la región.

### Área de Estudio

El área de estudio seleccionada es una subcuenca del Río Turbio (IMAGEN 1). La subcuenca tiene un área de 3041.8km<sup>2</sup> y se ubica al suroeste del estado de Guanajuato y al noreste del estado de Jalisco, México. La precipitación promedio en la cuenca oscila entre 600mm y 700 mm, la primera en la porción norte y centro de la cuenca y el resto en el sur [3]. Por otro lado, la actividad productiva presente en la cuenca es diversificada, pero se caracteriza por una importante producción de granos, forrajes, hortalizas y especias [3]. Además, existe una de las zonas industriales y urbanas más importantes comprendida principalmente por el municipio de León.

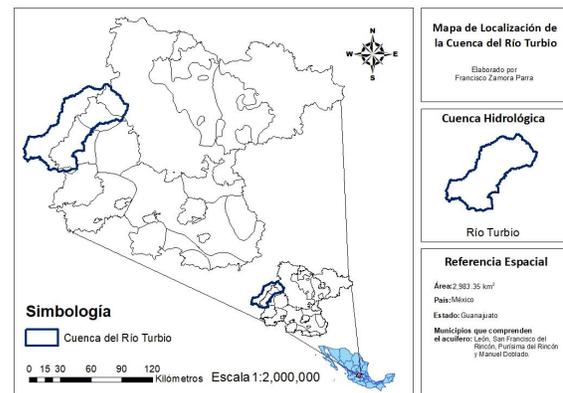


IMAGEN 1: Zona de estudio

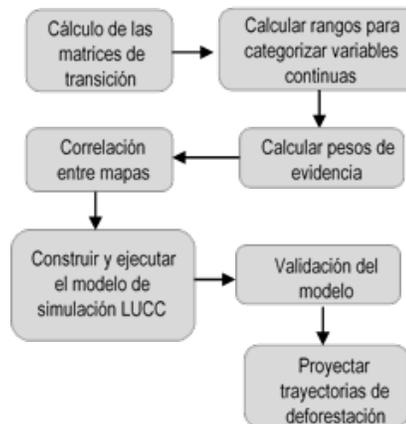
## MATERIALES Y MÉTODOS

En la evaluación del efecto el cambio de uso de suelo y el cambio climático sobre la disponibilidad hídrica en la zona de estudio se ha diseñado una metodología que incorpora el uso de tres modelos matemáticos. Lo anterior, para poder realizar la representación espacio-temporal futura de los procesos del ciclo hidrológico en la cuenca. Los modelos propuestos son: el modelo DINAMICA EGO®, el modelo hidrológico TETIS, los Modelos sGlobales del Clima del proyecto CMIP5 y los escenarios de cambio climático del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

En la proyección de los cambios de uso de suelo se utilizó el programa DINAMICA EGO la cual es una plataforma de modelado ambiental que se empleó para calibrar y simular un modelo de cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS), la cual fue desarrollada en la Universidad Federal de Minas Gerais en Brasil [4], (para más información del modelo consultar la referencia [5]). La base de datos que se utilizó como insumo para el modelo CCUS, fueron los mapas de cubierta y uso del suelo a una escala 1: 250 000 de la serie IV (2010) y V (2012) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [6]. Los mapas con las características geográficas y demográficas se obtuvieron del Instituto de Planeación Estadística y Geográfica (IPLANEG) [7]. Inicialmente se realizó un procesamiento en ArcGIS que consistió en una clasificación en diez categorías de cubierta y uso del suelo (Tabla 1). En la IMAGEN 2 se presentan los pasos seguidos para generar las proyecciones de los cambios de uso de suelo.

**Tabla 1: Clasificación de los usos de suelo**

Clave	Categoría
1	Agua y Urbano Construido
2	Bosque perenne de hoja delgada
3	Bosque caducifolio de hoja delgada
4	Bosque mixto
5	Bosque, monte, selva
6	Prado arbolado
7	Arbustos cerrados
8	Arbustos abiertos
9	Prado
10	Tierra de cultivo



**IMAGEN 2: Proceso para la elaboración del modelo CCUS**

Para la validación del modelo se empleó el método índice de similitud difusa [8] para evaluar la simulación del paisaje para el año 2015 al compararlo con el mapa de la serie VI (2015) de INEGI. Posteriormente se realizó la proyección de los cambios de uso de suelo a los años 2050 y 2100.

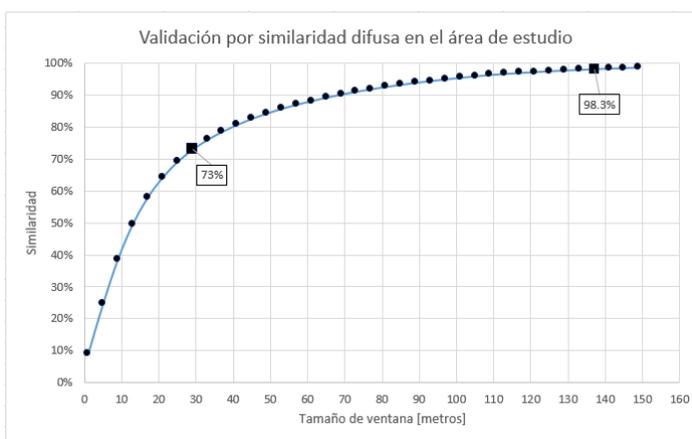
La simulación del cambio climático se realizó a través del uso de los Modelos Globales del Clima (MGC) del Proyecto Inter-Comparación de Modelos Acoplados-fase 5 (CMIP5 por sus siglas en inglés) [9]. El CMIP5 es uno de los métodos más usados desde finales de los ochenta [9], al considerar un total de 18 GCMs de manera conjunta para realizar las predicciones de las variaciones de la precipitación y temperatura utilizando los escenarios de cambio climático RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 del IPCC [10].

Finalmente, en la evaluación de los efectos del cambio de uso de suelo y el cambio climático sobre la disponibilidad hídrica se utilizó el modelo hidrológico distribuido TETIS, desarrollado por el Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA) del Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la Universitat Politècnica de València (UPV), España. En la implementación del modelo TETIS se utilizaron datos meteorológicos diarios proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional. (Para más información referente al modelo consultar la referencia [11]).

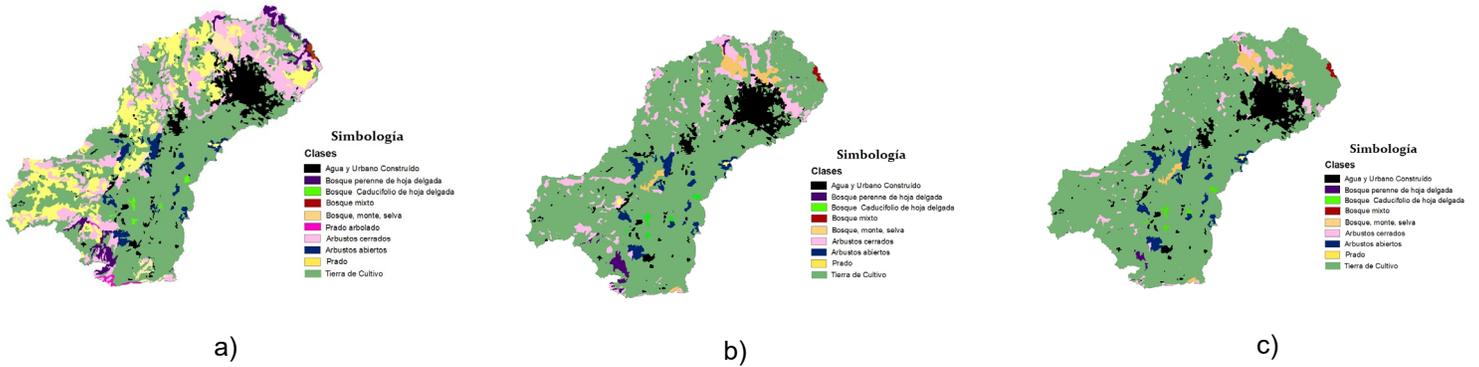
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelado del CCUS para la subcuenca del Río Turbio se validó a través de la comparación por similitud difusa. Los resultados muestran una similitud del 70% en una ventana de 29x29 píxeles equivalentes a 84 ha y que se estabilizó a partir de una ventana de 137x137 píxeles (1877 ha) [IMAGEN 3].

Una vez calibrado y validado el modelo, se han generado los escenarios de deforestación con la finalidad de observar los cambios que se presentaron en la subcuenca desde el año 2015 al 2050 y 2100 (IMAGEN 4).



**IMAGEN 3: Validación por similitud difusa**

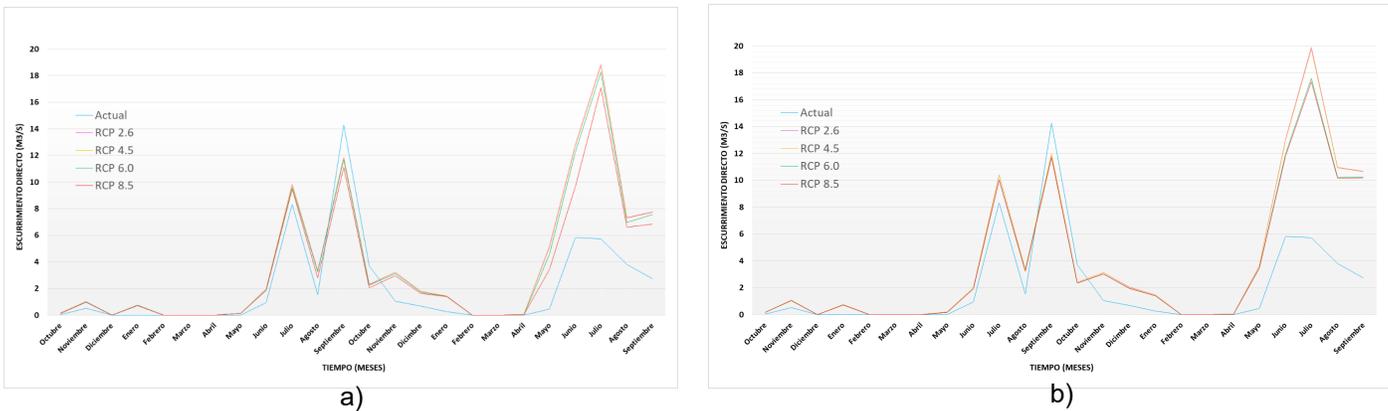


**IMAGEN 4:** a) Mapa de vegetación y uso de suelo de la zona de estudio (Serie VI, 2015), b) mapa de vegetación y uso de suelo proyectado al 2050 y c) mapa de vegetación y uso de suelo proyectado al 2100.

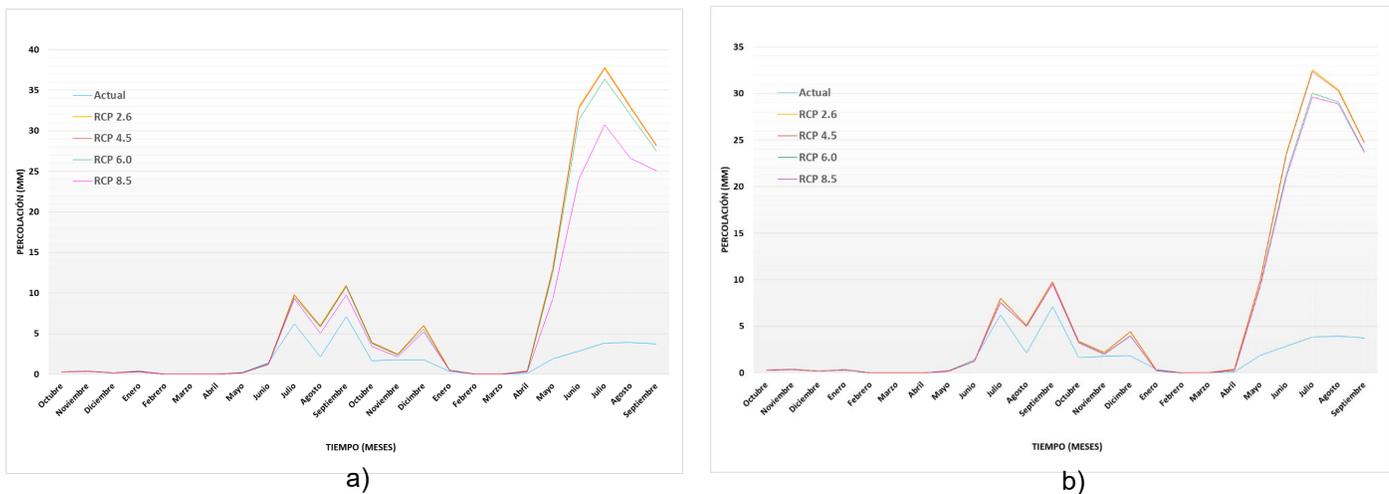
Las proyecciones de la variable de precipitación utilizando los modelos del CMIP5 muestran que para los escenarios RCP6.0 y RCP8.5, es donde se dan los cambios más fuertes respecto a la variable precipitación. Donde para el escenario RCP6.0 al 2050 se observa una disminución de  $-0.83\text{mm/día}$  y al 2100 de  $-0.95\text{mm/día}$ . En el caso del escenario RCP8.5 al 2050 de  $-0.76\text{mm/día}$  y al 2100 de  $-0.98\text{mm/día}$ .

Al implementar las proyecciones de cambio de uso de suelo y las variaciones de las precipitaciones en el modelo hidrológico distribuido TETIS y utilizando los nuevos mapas de uso de suelo al 2050 y al 2100. Los resultados muestran que existe una modificación significativa en la hidrodinámica de la cuenca. Es decir, aumenta el riesgo de avenidas máximas extraordinarias e inundaciones. En la IMAGEN 5 se puede observar que el escurrimiento directo proyectado al 2050 y 2100 en los distintos escenarios de cambio climático, aumento considerablemente los flujos de esta variable sobre todo en el segundo año hidrológico mostrado.

En el caso de la recarga del acuífero asociada al proceso de percolación se observa un aumento en la recarga (IMAGEN 6), contrario a lo esperado para la recarga esta aumenta a pesar de una disminución en las precipitaciones, por lo cual será necesario realizar más modelaciones y un análisis más detallado de los resultados.



**IMAGEN 5:** a) Efectos del cambio climático y cambios en el uso de suelo sobre el escurrimiento directo al 2050, b) Efectos del cambio climático y cambios en el uso de suelo sobre el escurrimiento directo al 2100



**IMAGEN 6: a) Efectos del cambio climático y cambios en el uso de suelo sobre la percolación al 2050, b) Efectos del cambio climático y cambios en el uso de suelo sobre la percolación al 2100**

## CONCLUSIONES

Los cambios presentados en la cubierta vegetal y uso de suelo proyectados al 2050 y al 2100, se dan principalmente en las clases de Prado, Tierra de cultivo y Agua y urbano construido, donde se observa que el prado disminuye de manera considerable, pasando a convertirse principalmente en tierra de cultivo. Y por otro lado en la zona de la ciudad de León es donde se observa un incremento en la mancha urbana para ambas proyecciones. También se observó una disminución en la variable precipitación para los cuatro escenarios manejados. Los resultados muestran que los cambios de uso de suelo y el cambio climático producen interacciones que crean efectos combinados en los regímenes de flujo que producen un aumento de escorrentía superficial y en la percolación que influye directamente en la recarga del acuífero.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido apoyada por la Dirección General de Educación Superior Universitaria (DGESU) de la Secretaría de Educación Pública de México (a través de su Programa para el Desarrollo Profesional Docente FOLIO PRODEP: UGTO-PTC 613) y por la División de Ingenierías de la Universidad de Guanajuato, México.

## REFERENCIAS

- [1] Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación Investigación Geográfica no.44, México.
- [2] Duarte, Carlos M (2006). Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra (Colección divulgación, 3). Madrid. Cyan, Proyectos y Producciones Editoriales, S.A.
- [3] González-Santana, O. (2013). "El reto de la gestión del agua en las regiones de México ante los efectos del cambio climático: el caso de la cuenca del río Turbio". Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía (Volume 22). México.
- [4] Espinoza-Mendoza, Victoria E. (2016). DINAMICA EGO: UNA HERRAMIENTA GRATUITA PARA MODELAR Y BRINDAR SOPORTE EN EL [ANÁLISIS DE CCUS. Perú. National Scientific and Technical Research Council.
- [5] Britaldo S. Soares Filho, Hermann O. Rodrigues, William L. Costa (2009). Modelamiento de Dinámica Ambiental con DINAMICA EGO. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG), Brazil.
- [6] INEGI (2007). Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Guanajuato. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=SERIE+IV+DE+USO+DE+SUELO>
- [7] IPLANEG (2016). CAPAS. Demografico y social. Guanajuato. Recuperado de <http://geoinfo.iplaneg.net/layers/>.

- [8] González, J., Cubillos, A., Arias, M., Zapata, B. IDEAM-MADS. 2014. Resultados de la simulación de la deforestación para el ajuste del nivel de referencia del área subnacional A8. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.
- [9] Giorgetta, M.A., Jungclaus, J., Reick C.H., Legutke, S., Bader J., Böttinger, M., Brovkin, V., Crueger, T., Esch, M., Fieg, K., Glushak, K., Gayler, V., Haak, H., Hollweg, H.D., Ilyina, T., Kinne, S., Kornblueh, L., Matei, D., Mauritsen, T., Mikolajewicz, U., Mueller, W., Notz, D., Pithan, F., Raddatz, T., Rast, S., Redler, R., Roeckner, E., Schmidt, H., Schnur, R., Segschneider, J., Six, K.D., Stockhause, M., Timmreck, C., Wegner, J., Widmann, H., Wieners, K.H., Claussen, M., Marotzke, J., Stevens, B. (2013). "Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5". J. Adv. Model. Earth Syst., 5, pp. 572–597.
- [10] Stocker, TF, D. Qin, G.-K. Plattner, LV Alexander, SK Allen, NL Bindoff, F.-M. Bréon, JA Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, JM Gregory, DL Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, GA Meehl, II Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, LD Talley, DG Vaughan y S.-P. Xie (2013). Climate Change 2013 The Physical Science Basis. United States of America. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- [11] Francés García, F. (2007). DESCRIPCIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL DISTRIBUIDO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA TETIS v.8. Universitat Politècnica de València, España.