

## CAUSAS E IMPLICACIONES DE LOS ERRORES INVEROSÍMILES EN EL MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL CEM 3.0 DE INEGI OBSERVADOS EN PLANICIES

*E.M. Uribe-Alcántara<sup>1,\*</sup>, J.C. Escamilla-Casas<sup>1</sup>, S. Montiel-Palma<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>UAEH, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, MÉXICO.

<sup>2</sup>UAEH, Área Académica de Ingeniería, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, MÉXICO.

*\*Autor de correspondencia: edgar\_uribe8920@uaeh.edu.mx*

### RESUMEN

Los Modelos de Elevación Digital (MED) constituyen uno de los insumos más importantes para realizar análisis mediante Sistemas de Información Geográfica. El MED mexicano oficial es el CEM 3.0 de INEGI. Uribe-Alcántara *et al.* [1] realizaron una evaluación del CEM 3.0 en tres zonas con distintas características topográficas: 1) una zona agreste (pendientes y elevaciones altas), 2) una zona de transición (pendientes y elevaciones medias), y 3) una planicie (pendientes suaves y elevaciones bajas). Se encontró que la zona con los errores más altos correspondía a la planicie de inundación, donde, aunque las elevaciones son menores a 10m, los errores pueden alcanzar cientos de metros, es decir, los errores alcanzan valores inverosímiles de más del 1000%. El presente artículo explora en detalle las causas e implicaciones de esos errores mediante mapas de errores, secciones transversales, así como de modelos tri-dimensionales y su relación con cuerpos de agua. El análisis sugiere que los errores se deben a una manipulación de las elevaciones en la vecindad de cuerpos de agua menores realizada por INEGI, que consiste en crear murallas artificiales de hasta cientos de metros alrededor de ellos. Dicha manipulación constituye una seria limitante para la aplicación del CEM 3.0, especialmente en estudios hidrológicos, donde la exactitud de la red de flujo es muy importante, especialmente para la identificación de planicies de inundación.

**Palabras Clave:** CEM 3.0, Planicies de inundación, Evaluación de Productos de INEGI, Modelo de Elevación Digital mexicano, Cuenca del Papaloapan.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los Modelos de Elevación Digital (MED) han cobrado gran relevancia en las Ciencias de la Tierra, gracias a su pertinencia para la realización de cálculos matemáticos, como ocurre con los análisis superficiales (cálculo de pendiente, aspecto, sombreado de relieve), hidrológicos (red de drenaje, delimitación de cuencas), y también en la elaboración de mapas de riesgo [2-5], todo ello en el contexto de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Existen diversos MED públicos disponibles para México. Entre ellos se tiene el SRTM (Shuttle Radar Topography Mission [6]), de la NASA, así como el ASTER, de la Agencia Espacial Japonesa [7]. El primero tiene una resolución de 90m, mientras que el segundo, de 30m. Por otra parte, INEGI indica que el MED mexicano oficial es el CEM 3.0 (Continuo de

Elevación Mexicano Versión 3 [8]), tiene una resolución de 15m. Así que, en teoría ofrecería una resolución mucho mejor que la ofrecida por el SRTM y ASTER. Por lo cual, resulta de gran interés evaluar la exactitud y calidad del CEM 3.0 pues la comunidad de usuarios continuamente manifiesta errores en los CEM de INEGI. Desafortunadamente no existían evaluaciones formales.

Uribe *et al.* [1] realizan la primera evaluación formal del CEM 3.0. La evaluación se realizó comparando datos del CEM 3.0 con datos LiDAR (resolución de 5m [9]). La comparación se realizó en tres zonas representativas de la variabilidad topográfica observada en México: 1) Una zona agreste (con elevaciones y pendientes pronunciadas), 2) una zona intermedia (con elevaciones y pendientes medianas), y 3) planicies costeras (con elevaciones y pendientes muy bajas), todas en la cuenca del Río Papaloapan. La evaluación muestra que en las zonas agrestes e intermedias se encuentran errores aceptables en el CEM 3.0 (de entre 1% y 10%, aproximadamente), y existe una regresión lineal muy cercana a la identidad con los datos de LiDAR. Sin embargo, en las planicies los datos se encuentran muy lejos de mostrar semejanza, y se encuentran errores de cientos de metros. Lo cual es particularmente preocupante porque las altitudes no exceden los 10m de elevación, es decir, los errores pueden ser de hasta 1500%. En el presente artículo se documentan las causas de estos errores tan inverosímiles, utilizando como ejemplo la planicie de la Cuenca del Río Papaloapan.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Como se indicó anteriormente, el presente análisis está completamente enfocado a la planicie de la cuenca del Río Papaloapan, pues es en la planicie donde Uribe *et al.* [1] encuentran los errores más altos. La Figura 1 muestra la ubicación de la planicie de interés, así como los datos de elevación de LiDAR.

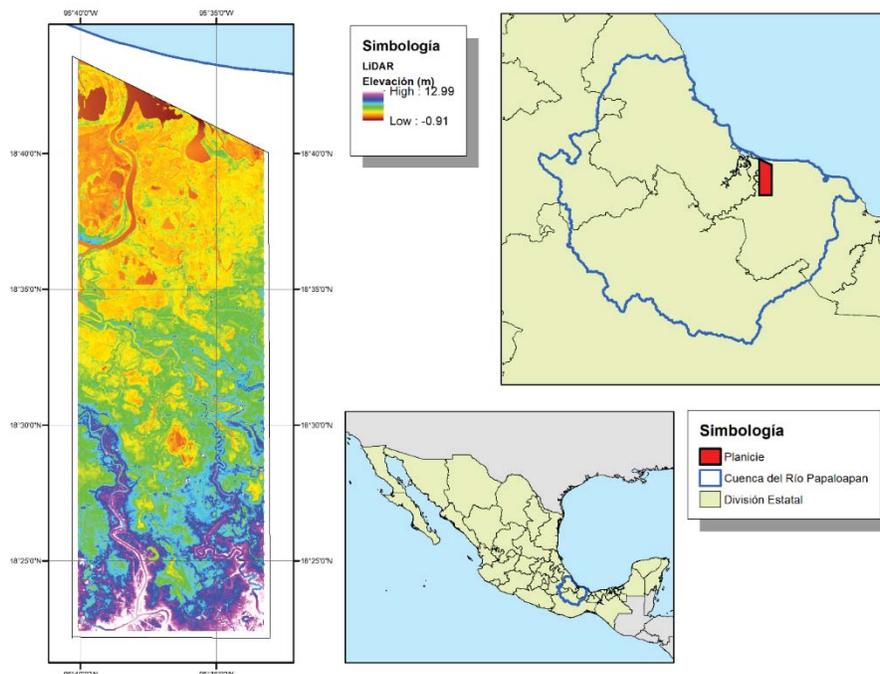


Figura 1. Mapa de ubicación de la planicie de interés, ubicada en la cuenca del Río Papaloapan, y datos de elevación de LiDAR (resolución a 5m).

Los análisis que se realizaron para tratar de comprender la causa de los errores son los siguientes:

- Secciones transversales comparativas de elevación y errores, y su relación con cuerpos de agua.
- Modelo tri-dimensional de los MED y su relación con cuerpos de agua.

Todos los análisis se realizaron para LiDAR y para el CEM 3.0 para poder así compararlos, y lograr una mejor comprensión de las diferencias existentes entre ambos MED.

### 3. RESULTADOS

Como se ha mencionado anteriormente, los errores más altos parecen estar asociados a cuerpos de agua. Por lo cual, para poder validar esta hipótesis, se crearon secciones trasversales meridionales y latitudinales a través de cuerpos de agua para verificar que efectivamente coinciden con los errores más altos. La Figura 2 muestra los mapas de elevaciones de LiDAR y CEM 3.0, así como el mapa de errores. Los datos de LiDAR oscilan entre -0.91m y 12.99m, mientras que los datos del CEM 3.0 oscilan entre -9m y 176m, es decir, con un orden de magnitud mayor. Además, se seleccionó una sección paralela que cruzara cuerpos de agua (línea doble discontinua semitransparente). Y se graficaron en la parte superior de los mapas los datos correspondientes para dicha sección.

Es posible observar que las secciones transversales de LiDAR y C

EM 3.0 tienen comportamientos sumamente diferentes. Los datos de LiDAR muestran mucha variabilidad y representan claramente la presencia de cuerpos de agua con déficits en elevación. Por otra parte, los datos del CEM muestran una variabilidad muy suave, e incrementos de cientos de metros alrededor de cuerpos de agua, resultando en errores muy altos, es decir, INEGI ha creado murallas artificiales de cientos de metros alrededor de cuerpos de agua. Sin embargo, no ocurre en todos los cuerpos de agua. El río principal, por ejemplo, que cruza de SE a NW no muestra estos errores. Por lo cual, se considera que estas alteraciones sólo las ha realizado INEGI en cuerpos de agua menores, y no en los cuerpos de agua principales. Desafortunadamente, INEGI no documenta las razones ni la metodología detrás de esta alteración.

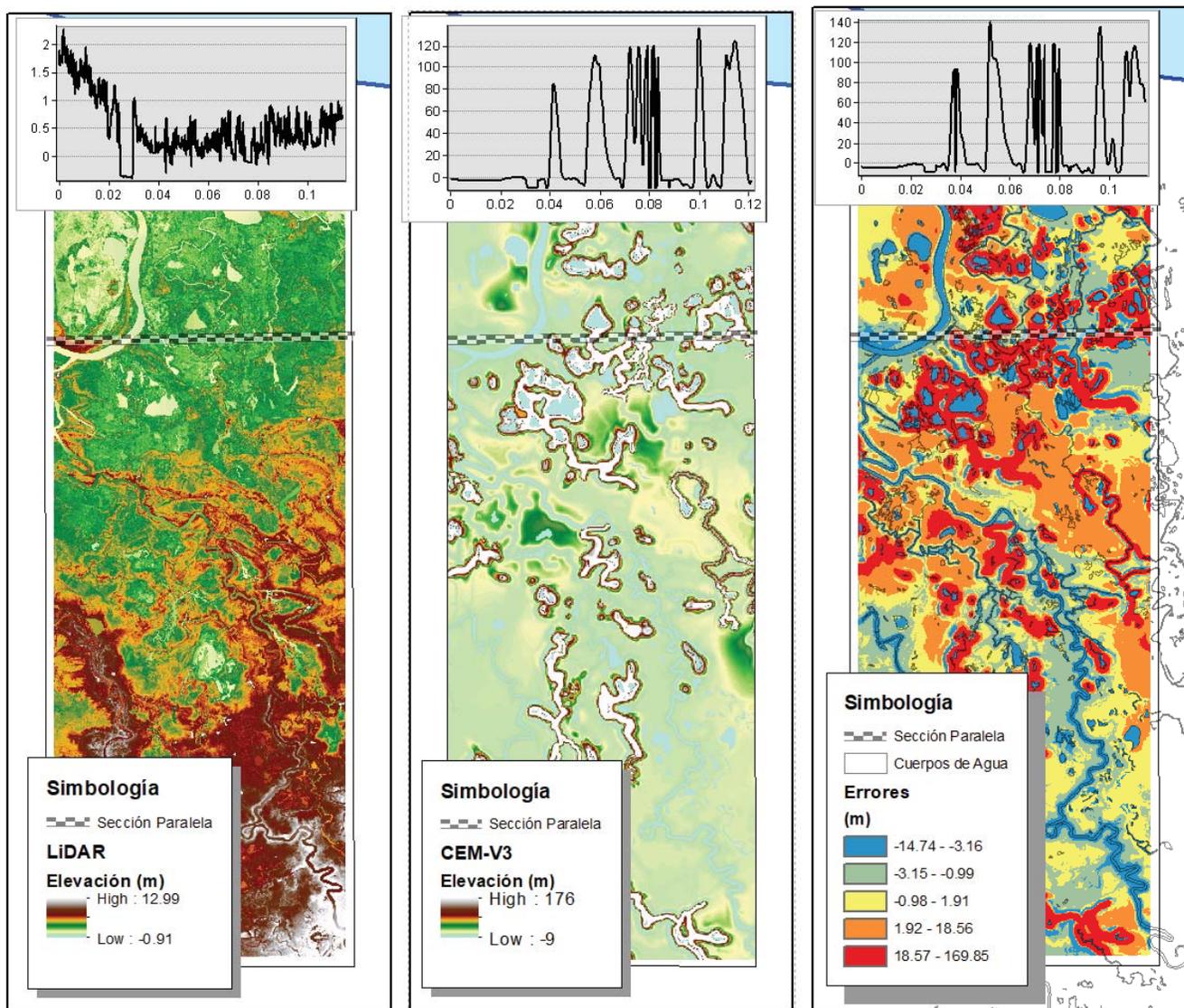


Figura 2. Mapas de elevación de LiDAR (panel izquierdo) y CEM 3.0 (panel central), y errores (panel derecho), todos en metros. La parte superior muestra los datos correspondientes para la sección paralela indicada en línea doble discontinua.

Por otra parte, la Figura 3 muestra la misma información que la Figura 2 pero para una sección meridional. En este caso, las secciones transversales de LiDAR y CEM 3.0 tampoco muestran semejanza alguna. Los datos de LiDAR muestran un ascenso en la elevación conforme aumenta la distancia a la costa, como es de esperarse. Sin embargo, el CEM 3.0, muestra una variabilidad mucho más suave, a excepción de los cuerpos de agua donde, una vez más, es posible apreciar que los errores más altos coinciden con la ubicación de los cuerpos de agua.

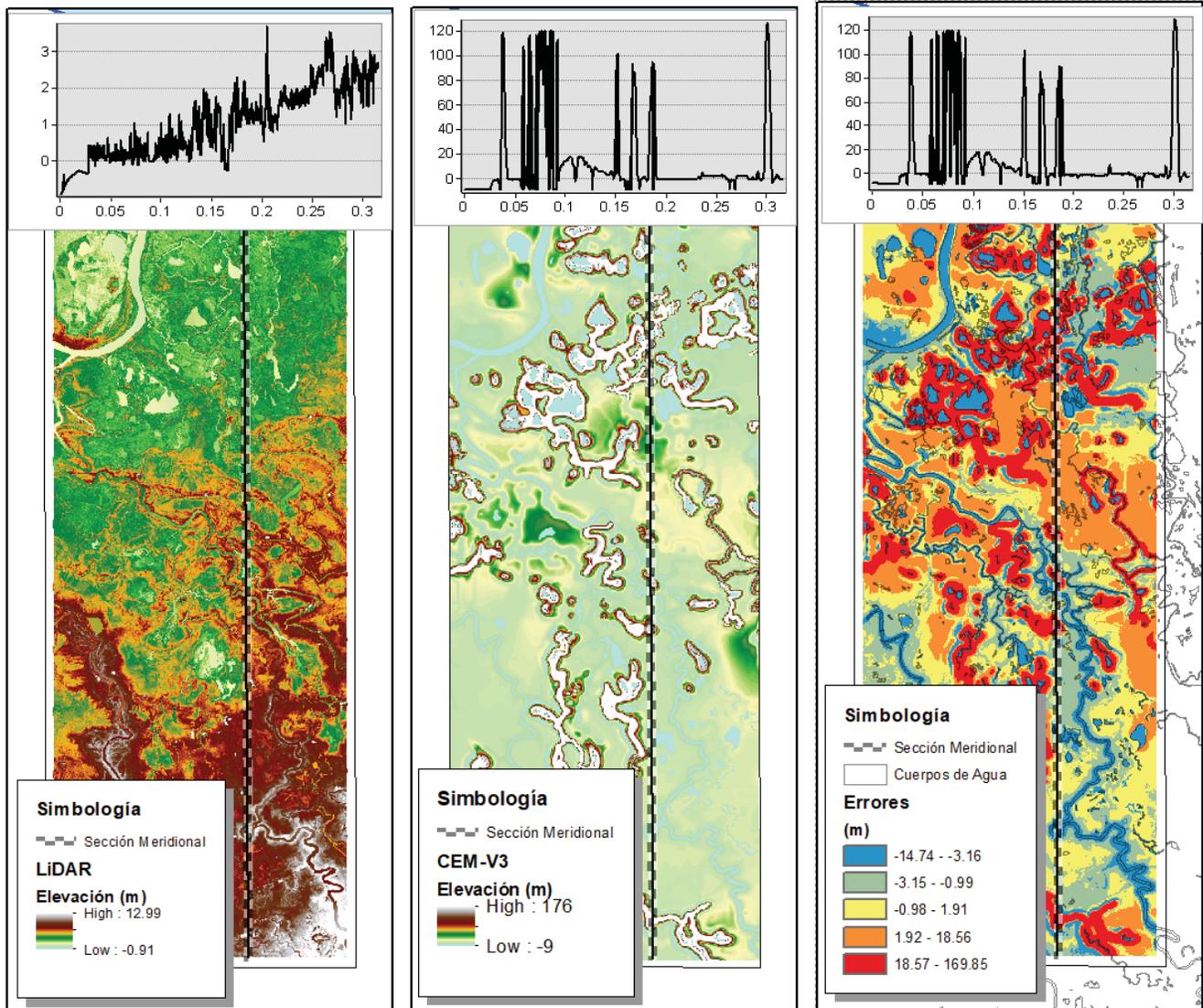


Figura 3. Mapas de elevación de LiDAR (panel izquierdo) y CEM 3.0 (panel central), y errores (panel derecho), todos en metros. La parte superior muestra los datos correspondientes para la sección meridional indicada en línea doble discontinua.

Por último, en la Figura 4 se presenta un modelo tridimensional de ambos MED: LiDAR y CEM 3.0 para la zona de interés. Es posible notar que el CEM 3.0 no tiene semejanza alguna con LiDAR, y que efectivamente se han creado murallas artificiales alrededor de los cuerpos de agua en el CEM 3.0. Además, también es posible apreciar, que los datos del CEM 3.0 no reflejan la topografía observada. Por el contrario, incluso eliminando las alteraciones asociadas a los cuerpos de agua, ofrecen un panorama sumamente distinto a lo observado en realidad.

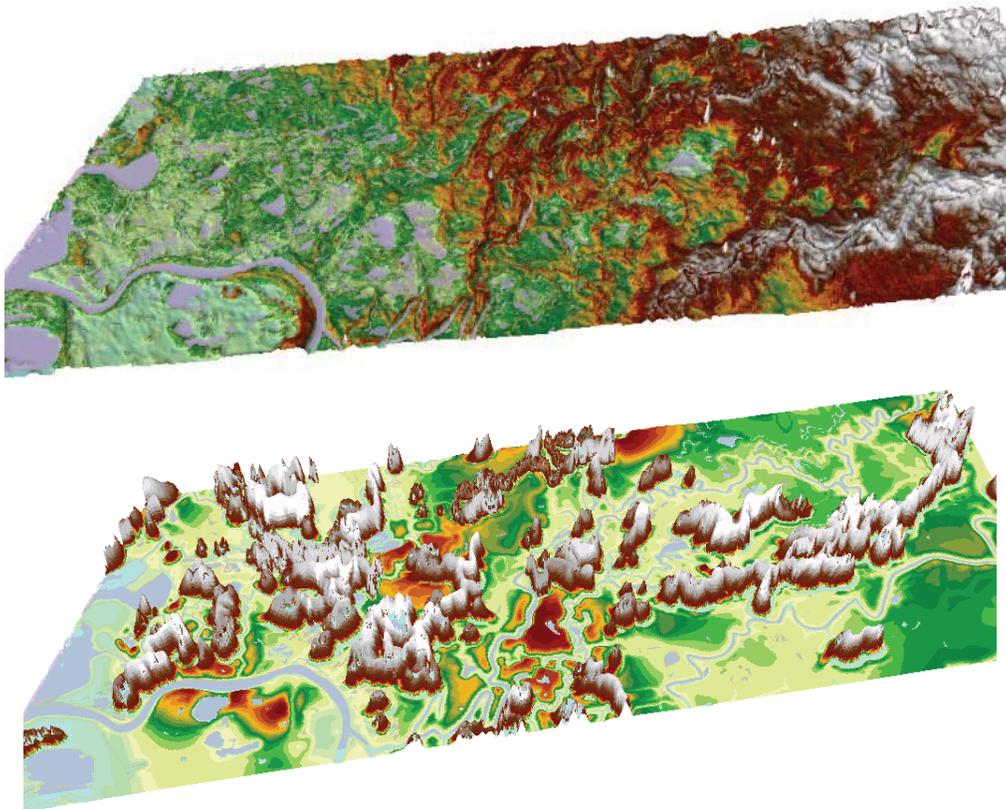


Figura 4. Modelos tridimensionales de LiDAR (panel superior) y CEM 3.0 (panel inferior) para la planicie de estudio. El MED basado en LiDAR varía entre  $-0.91\text{m}$  y  $12.99\text{m}$ , mientras que los datos de CEM 3.0, entre  $-9\text{m}$  y  $176\text{m}$ . Ambos modelos han sido coloreados usando la misma paleta de color y 32 quintiles. Se indican cuerpos de agua en color lila semi-transparente. El MED de LiDAR fue exagerado 200 veces, mientras que el CEM, sólo 10 veces.

#### 4. CONCLUSIONES

Uribe *et al.* (2018) plantean la hipótesis de que los enormes errores en planicies observados en el CEM 3.0 se deben a una manipulación de INEGI de los datos en presencia de cuerpos de agua. El presente análisis demuestra que efectivamente, los mayores errores se muestran alrededor de cuerpos de agua, donde INEGI ha creado murallas artificiales, pero sólo en cuerpos de aguas menores. En ríos principales, como el Papaloapan, esta alteración no se ha llevado a cabo. Incluso descontando estas manipulaciones en cuerpos de agua, los análisis de secciones transversales muestran que los datos del CEM 3.0 reflejan una configuración topográfica muy diferente a la observada en realidad. La sección meridional de LiDAR, por ejemplo, muestra un aumento en la elevación conforme nos alejamos de la costa y nos acercamos a la cadena montañosa, como es de esperarse. Sin embargo, el CEM 3.0 no refleja este mismo gradiente. Los datos del CEM 3.0 muestran un ligero incremento cerca de la costa, pero después los datos se mantienen constantes. Lo cual, evidentemente contradice la realidad. Los modelos tri-dimensionales indican que tampoco existe una semejanza entre los MED de LiDAR y el CEM 3.0. Y también muestran que efectivamente es alrededor de cuerpos de agua menores donde se han creado murallas artificiales de cientos de metros.

Se considera de suma importancia evitar el uso del CEM 3.0, particularmente en las planicies costeras. Lo cual es lamentable, dada la gran necesidad de contar con datos de topografía en dichas zonas para realizar estudios hidrológicos, particularmente de inundación. Se considera importante llevar a cabo un análisis de las consecuencias hidrológicas de estos errores en la obtención de diversos factores como pendiente, red de drenaje, planicies de inundación, etc.

Es importante hacer un llamado a la comunidad de usuarios de productos de INEGI a realizar evaluaciones formales de sus productos, pues el presente producto deja muy claro que el CEM 3.0 es un producto de pésima calidad, que no refleja ni cercanamente la topografía real observada en planicies. Por otra parte, también se hace un llamado a INEGI a tener una mejor documentación de sus productos pues la documentación actual carece de información técnica que alerte al usuario sobre estas alteraciones, sus consecuencias, o incluso la justificación para llevarlas a cabo.

### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido realizado como parte de los siguientes proyectos de investigación: “Desarrollo de una metodología para la creación de mapas de riesgo estatales por procesos de Remoción de Masa con base en Sistemas de Información Geográfica”, y “Caracterización en un Espacio Bidimensional de Fallas y Fracturas en la Sierra de Pachuca”.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] E.M. Uribe-Alcantara, J.C. Escamilla-Casas, E. Cruz-Chavez, Evaluación del Modelo de Elevación Digital oficial mexicano (Continuo De Elevación Mexicano, CEM 3.0) de INEGI. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9 (2018) 21-31.
- [2] E.M. Uribe Alcántara, M.A.L. Montes-León, E. García-Celis, Mapa Nacional de Índice de Inundación. *Tecnología y Ciencias del Agua*, antes *Ingeniería Hidráulica en México*, I (2010) 73-85.
- [3] M.A.L. Montes-León, E.M. Uribe Alcántara, E. García-Celis, Mapa Nacional de Erosión Potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*, antes *Ingeniería Hidráulica en México*, II (2010) 5-17.
- [4] E.M. Uribe-Alcántara, et al., MAPA DE RIESGO POR INUNDACIÓN DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO, In XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA. 2016: LIMA, PERÚ.
- [5] S. Manfreda, M.D. Leo, A. Sole, Detection of Flood-Prone Areas Using Digital Elevation Models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16 (2011) 781-790.
- [6] A. Jarvis, et al., Hole-filled SRTM for the globe Version 4. 2008.
- [7] ASTER Level 1 Precision Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance. Version 3. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, N.L. DAAC, Editor. 2015: Sioux Falls, South Dakota, USA.
- [8] INEGI. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). 2017 [citado 2017 27/10/2017]; Disponible de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx>.
- [9] INEGI. Modelo digital de elevación de alta resolución LiDAR, Tipo terreno con resolución de 5m. 2017 [citado 2017 27/10/2017]; Disponible de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/presentacion.aspx>.