

## DETERMINACIÓN DE MAPAS DE PELIGROSIDAD PARA LA CIUDAD DE CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

### DETERMINATION OF RISK MAPS FOR CARDENAS CITY, TABASCO, MEXICO

Gil-Custodio J.J.<sup>1</sup>, Hernández-Jiménez R.E.<sup>1</sup>, Munguía-Balvanera E.<sup>1\*</sup>, Magaña-Hernández F.<sup>1</sup>, Mora-Ortiz R.S.<sup>1</sup>, Ramos-Reyes R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

\* Avenida Universidad s/n Zona de la Cultura, Colonia Magisterial CP 86690 Villahermosa Centro  
Tabasco México

<sup>2</sup>El Colegio de la Frontera Sur

\*emmanuel.munguia@ujat.mx

#### RESUMEN

Los asentamientos ancestrales, en su mayoría, se establecían en las márgenes de los ríos para utilizar el agua en sus cultivos y el uso doméstico. En varios casos, al paso de cientos de años y al crecer la ciudad, los antiguos canales se desecan, luego son rellenados o entubados y se oculta el antiguo escurrimiento; estas acciones causan inundaciones con lluvias intensas a torrenciales. En este documento se intenta reconocer los lugares que sufren inundaciones frecuentes; como también los lugares que poco se inundan para la ciudad de Cárdenas Tabasco, México. Para el estudio se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) y el Modelo Digital de Elevaciones

(MDE) de la zona, así como la cartografía de las áreas geográficas ocupadas por edificios y calles. Con el SIG se obtuvieron mapas que determinaron zonas de inundación con base en el MDE. Se detectó cuáles son las zonas de mayor, menor o nula inundación. Las de mayor inundación están en el antiguo cauce del río. De las imágenes generadas se obtuvieron mapas de peligrosidad con base en la topografía. El estudio puede ser utilizado para difundir entre la población, no familiarizada con los mapas especializados, las zonas de alta a baja peligrosidad y lograr una alerta temprana en caso de lluvias torrenciales.

**Palabras clave:** Escurrimientos; Inundación; Mapa de alerta; QGIS; Riesgo.

## ABSTRACT

Ancestral settlements, for the most part, were established on river margins to use water for their crops and domestic use. In several cases, as cities developed through the centuries, ancient stream-beds dried out, then they were filled or piped and the old runoff was hidden; these actions caused flooding with heavy to torrential rains. This document attempts to recognize places that suffer frequent flooding; as well as the places that are little flooded on the city of Cárdenas, in the state of Tabasco in Mexico. For the study, a Geographic Information System (GIS) and a Digital Elevation Model (DEM) of the zone were used, as well as the mapping of the geographical areas occupied by buildings and streets. The GIS obtained maps that determined flood zones based on the DEM. Zones of lesser, higher or null flood risk were differentiated. The zones with the highest risk are adjacent to the ancient riverbed. Hazard maps were

obtained from the images generated based on the topography. This study can be used to communicate areas from high to low danger to the population unfamiliar with specialized maps, and carry out early warnings in case of torrential rains.

**Keywords:** Flooding; QGIS; Terraflow; water flow; warning map.

## INTRODUCCION

Muchas de las ciudades y los núcleos de población en Tabasco, desde algunos miles de años, se asentaron en los márgenes de los antiguos ríos. Muchos de los ríos, en la actualidad, han cambiado su curso y los antiguos causes han sido ocupados por ciudades. Unas de las ciudades más importantes de Tabasco son Cárdenas, Paraíso y Comalcalco; las tres se encuentran en el antiguo cauce del río Mezcalapa, este cauce ahora recibe el nombre de río Seco. En el año de 2015 el municipio de Cárdenas contaba con 258,554 habitantes y cerca de cien mil en

la cabecera municipal según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [1].

La cabecera municipal de Cárdenas, la ciudad con el mismo nombre se encuentra a escasas decenas de metros sobre el nivel del mar y es propenso a inundarse (ver **Figura 3**). En su territorio se encuentra uno de los sistemas lagunares más importante del Estado; por su relieve poco irregular y casi plano, con zonas de depresión entre 2 y 17 metros [2], hace fácil la acumulación del agua y, por ende, la inundación.

Una de las necesidades del Estado y de los municipios de Tabasco es la determinación de mapas de peligrosidad ante las inundaciones u otros eventos. Algunos municipios como Teapa y Centro [3], cuentan con mapas de peligrosidad elaborados por especialistas, sin embargo, estos mapas resultan de un entendimiento complicado para la mayoría de la sociedad tabasqueña. Una de las

necesidades es la elaboración de mapas de fácil entendimiento para utilizarlos como herramientas y difundir entre la población las zonas de inundación. Mapas que deben de ser sencillos y fácil de imprimir, sin descuidar la fidelidad de dichos instrumentos.

Así, el objetivo es obtener mapas de peligrosidad para la ciudad de Cárdenas, de modo tal que se puedan divulgar entre los habitantes de la región.

## **METODOLOGÍA**

Para hacer los estudios de este documento se utilizan herramientas libres, un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS por sus siglas en inglés Geographic Information System), llamado QGIS [4] y tomando las referencias geográficas y estadísticas de la base de datos del INEGI [5]. La base de datos del INEGI contiene información relevante para evaluar una inundación; con base en ella se referenciarán las vialidades y se

agruparon en espacios urbanos delimitados por calles; el INEGI los define como Área Geoestadística Básica (AGEB).

**Utilización del Terraflow.** Terraflow es una herramienta de Grass GIS, es libre para emplear en el Sistema de Información Geográfica QGIS, la cual, para los estudios hidrológicos se basa en el estudio de la zona mediante un MDE o raster de terreno. La topografía es adquirida mediante la técnica de Lidar, obteniéndose una malla o cuadrícula donde se ingresa una elevación por cada coordenada (x, y, z) en la cuadrícula, esta coordenada se considera al centro de cada cuadro. Cada cuadrado es considerado plano y funciona de manera tridimensional tomando en cuenta la magnitud de sus coordenadas, las coordenadas (x,y) referenciadas en forma geográfica, y 'z' su elevación a nivel del mar. Así, por ejemplo, podemos tomar una

porción del MDE, teniendo como resultado una cuadrícula en la cual, las celdas que la conformen tendrán diferentes elevaciones formando el relieve del área de estudio, dando como resultado zonas planas, llanuras, lomeríos, zonas montañosas, mesetas y sumideros. Terraflow fue diseñado y optimizado para simular inundaciones en mallas masivas, haciendo posible trabajar con grandes extensiones de terreno. El caso de otros sistemas GIS las herramientas similares no son óptimas, las cuales en terrenos extensos resultan poco o nada prácticas. Terraflow calcula para cada celda de la malla, que llamaremos celda piloto, una trayectoria de flujo de agua tomando en cuenta las celdas adyacentes. Si es posible la dirección de flujo de la celda piloto entonces ese flujo va hacia una o algunas de sus vecinas de menor altura. Para lidiar con el caso en el que una celda forma parte de un sumidero, Terraflow identifica y divide el terreno en sumideros-

cuencas (un sumidero-cuenca contiene todas las celdas que fluyen hacia ese sumidero), y construye un gráfico que recoge la información de adyacencia de los sumideros-cuencas. Este gráfico es utilizado para, una vez que el agua ha inundado los sumideros, asignar trayectorias descendentes que conducen el flujo de agua hacia fuera del terreno. Una vez que se calculan las direcciones de flujo para cada celda de la malla, Terraflow calcula la acumulación de agua usando las direcciones de flujo y haciendo un seguimiento de la cantidad de agua que fluye a través de cada celda [6].

**Construcción de mapas.** El primer paso para elaborar los mapas es el análisis en forma escrupulosa la zona de estudio en Google Maps y en otras fotografías satelitales para observar el panorama global. Después se descarga el territorio o topografía del municipio en estudio, de gran ayuda es la información de INEGI,

esta institución tiene varias presentaciones de la información, en este estudio se obtuvieron las coordenadas x, y, z de la zona de interés. Las coordenadas se deben guardar en una matriz donde solo se encuentren las elevaciones, de esta forma el estudio se facilita y es más preciso que cuando se utilizan solo imágenes. De dicha matriz solo uno de los puntos está referenciado con las coordenadas y los demás puntos son calculadas con base en el punto referenciado. Posteriormente, se descargan los archivos vectoriales de los AGEB's de la zona de estudio. Según el INEGI. Los AGEBS correspondientes son 0305, 0945, 1252, 1159, 1144, 0771, 1089, 1229, 1271, 1178, 1002, 1125, 0983, 0377, 0733, 1214, 113 A, 1036, 0803, 1248, 0818, 1233, 0381, 0409, 0729, 0432, 0447, 0786, 1337, 1341, 1017, 1021, 0790, 1002, 1286, 1163, 1267, 1182, las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) están en los AGEBS, así como

las calles y accesos principales de la ciudad.

INEGI tiene una plataforma donde se estipulan los flujos y causas, se puede descargar la hidrografía de la zona de estudio en su aplicación (Plataforma SIATL)[7].

Con la información de la descarga de la topografía del vuelo Lidar, obtenida anteriormente, se adapta según los lineamientos solicitados por QGIS.

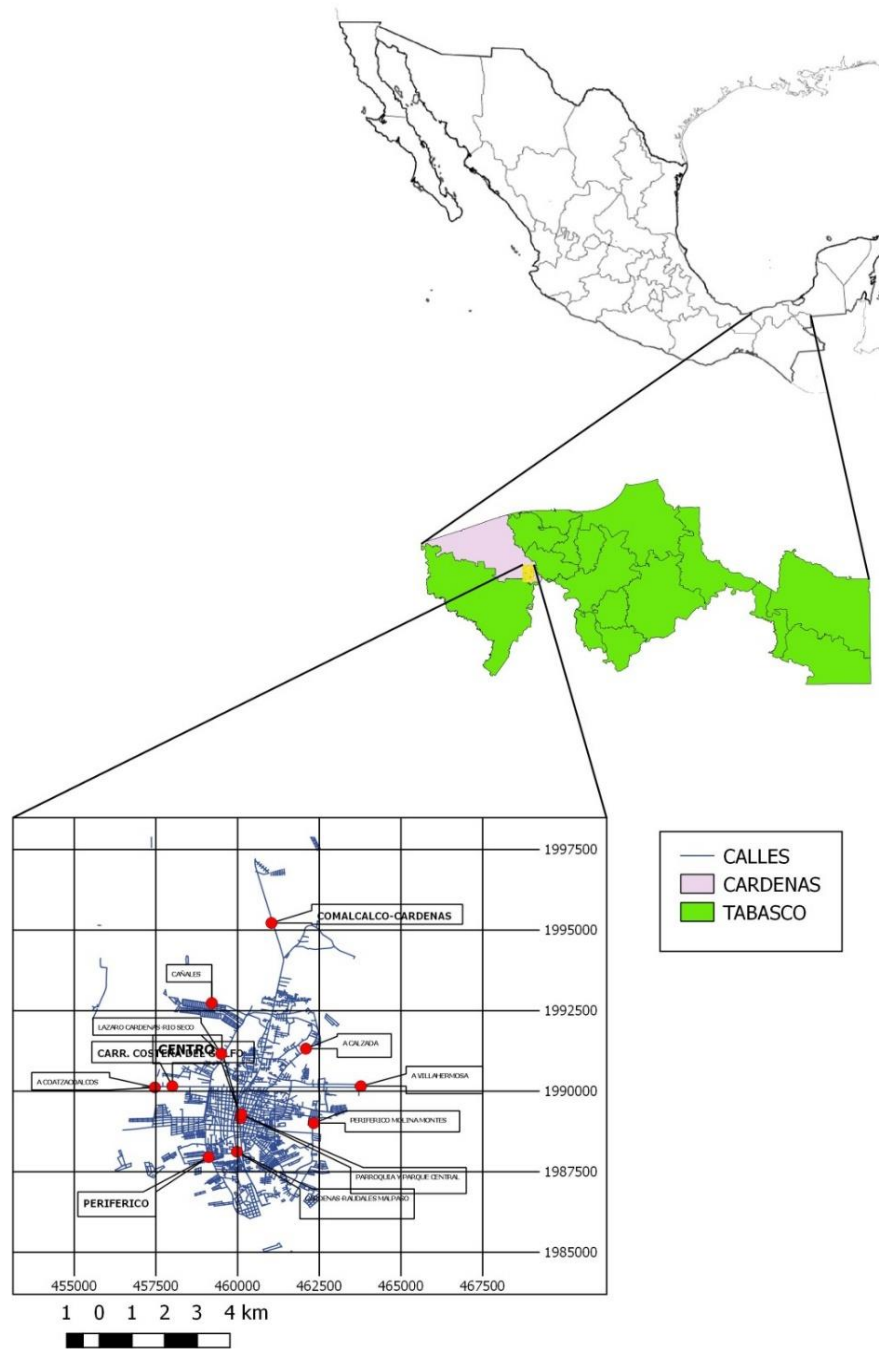
Toda esta información debe estar disponible para elaborar el proyecto en QGIS. Cargar las diferentes capas mencionadas anteriormente; MDE, fotografías georreferenciadas, AGEBS e hidrografía. Con ello se elaboran las imágenes cumpliendo los estándares de un mapa. El proyecto de QGIS consiste, además de las capas mencionadas, en aplicar los comandos de r.terraflow. Interactuar con las diferentes capas para obtener 3 mapas: hidrografía, topografía y

flujo con acumulación del agua. Por último, se realiza el análisis y conclusiones de los mapas generados.

## RESULTADOS

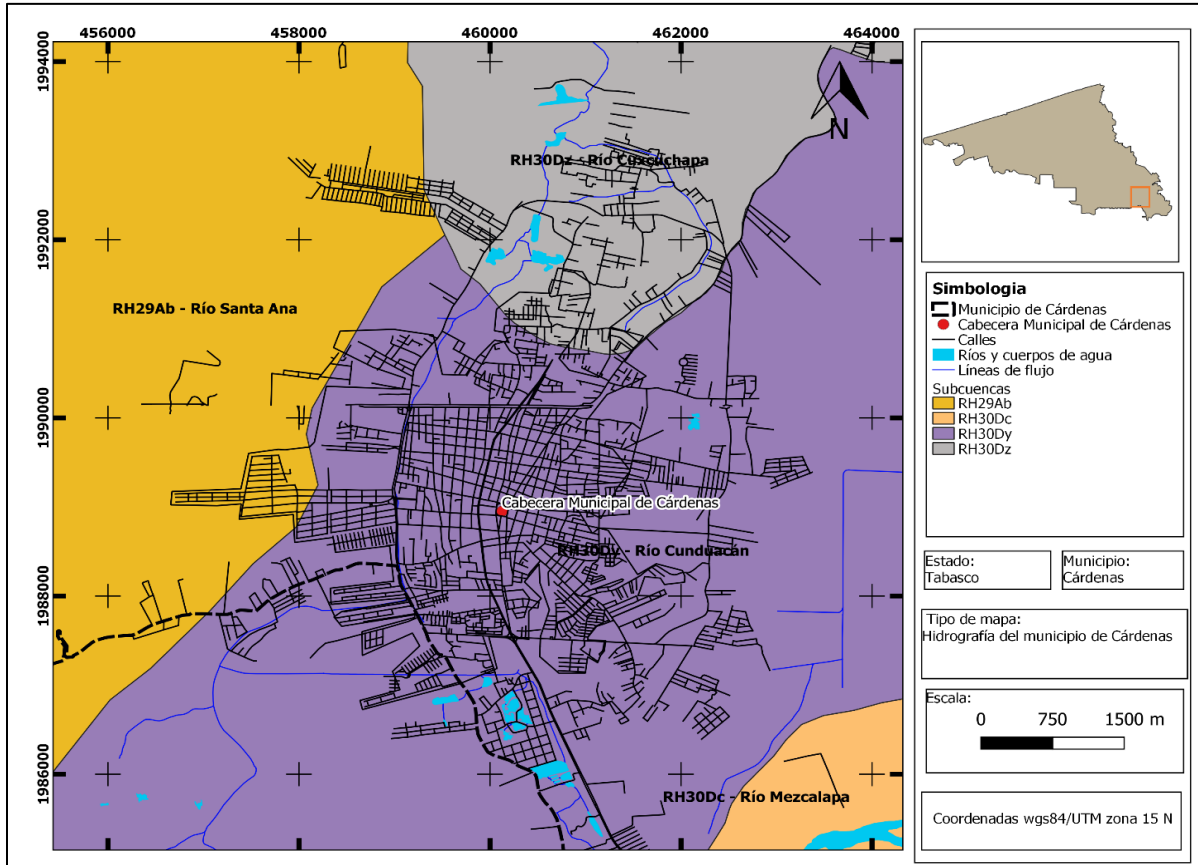
Los mapas serán fáciles de manejar y, en su caso, de imprimir. Puede ser de utilidad como material para exposiciones, talleres o mesas de trabajo con la población y con la autoridad municipal.

La **Figura 1** (Mapa 1) indica la localización de Tabasco en la República, la ubicación del municipio en Tabasco, y las calles principales de la cabecera municipal, dando una imagen del arreglo urbano; y de tal manera que los usuarios pueden identificar la zona donde viven con facilidad. Se muestra lo cerca que se encuentra la cabecera municipal de la costa, así como comentar, a los usuarios de los mapas, del avance de la cuña salina y del ascenso de la salinidad en el estrato superficial.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la zona de estudio (cabecera municipal de Cárdenas, Tabasco).  
Elaboración propia con datos de INEGI.

La **Figura 2** (Mapa 2) es de hidrografía, en él se muestran las subcuencas y sus claves asignadas por la CONAGUA [8]. Así como las líneas, ríos y cuerpos de agua.

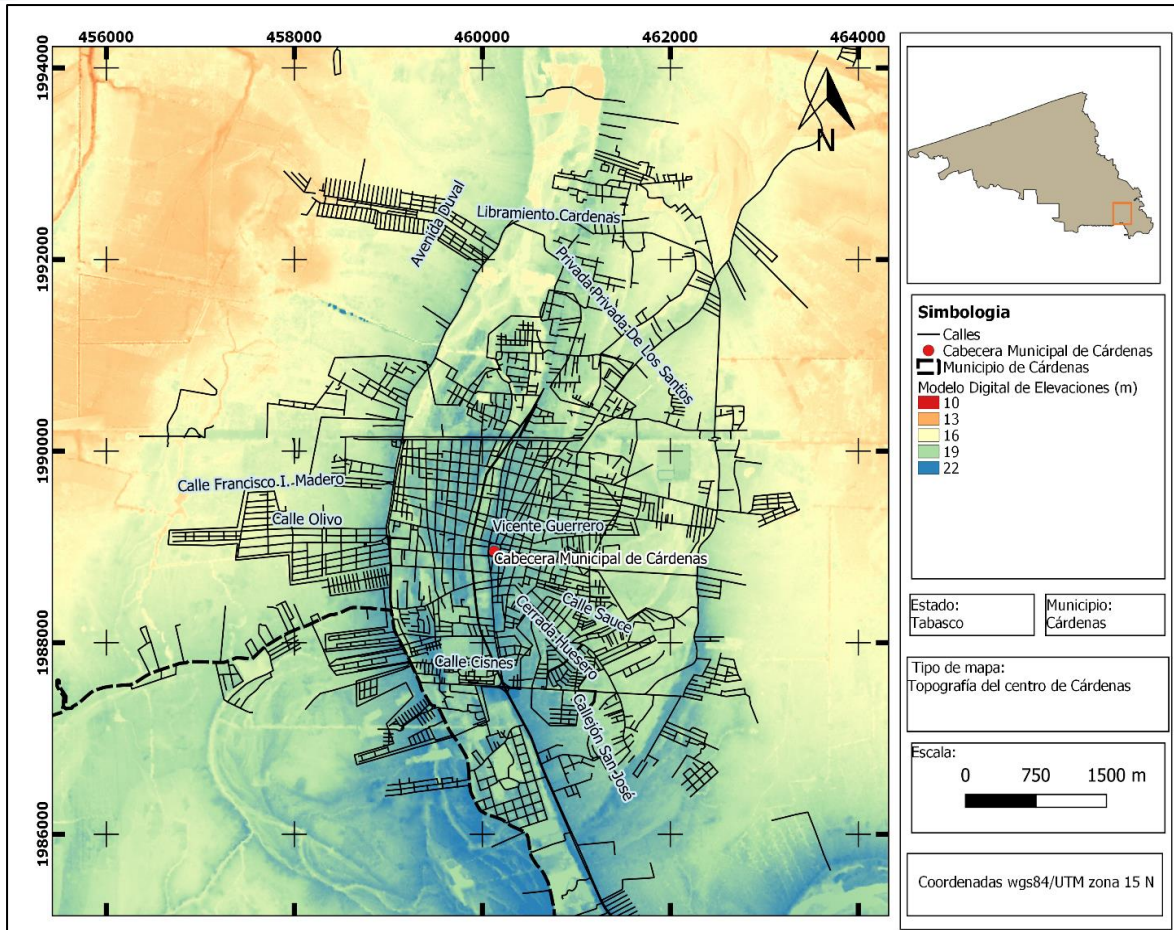


**Figura 2.** Hidrografía de la zona de estudio según INEGI. Elaboración propia con datos de INEGI.

La **Figura 3** (Mapa 3) es la topografía de la zona. En él se muestra con colores las elevaciones con respecto al nivel del mar de la ciudad; se puede apreciar el antiguo cauce del río y las consecuencias en el momento que abunde la lluvia en forma

torrencial, también se puede planear alguna prevención en caso de un aumento significativo del nivel del río Mezcalapa aguas arriba. El desbordamiento del río Mezcalapa tendría como consecuencia la inundación de la ciudad.

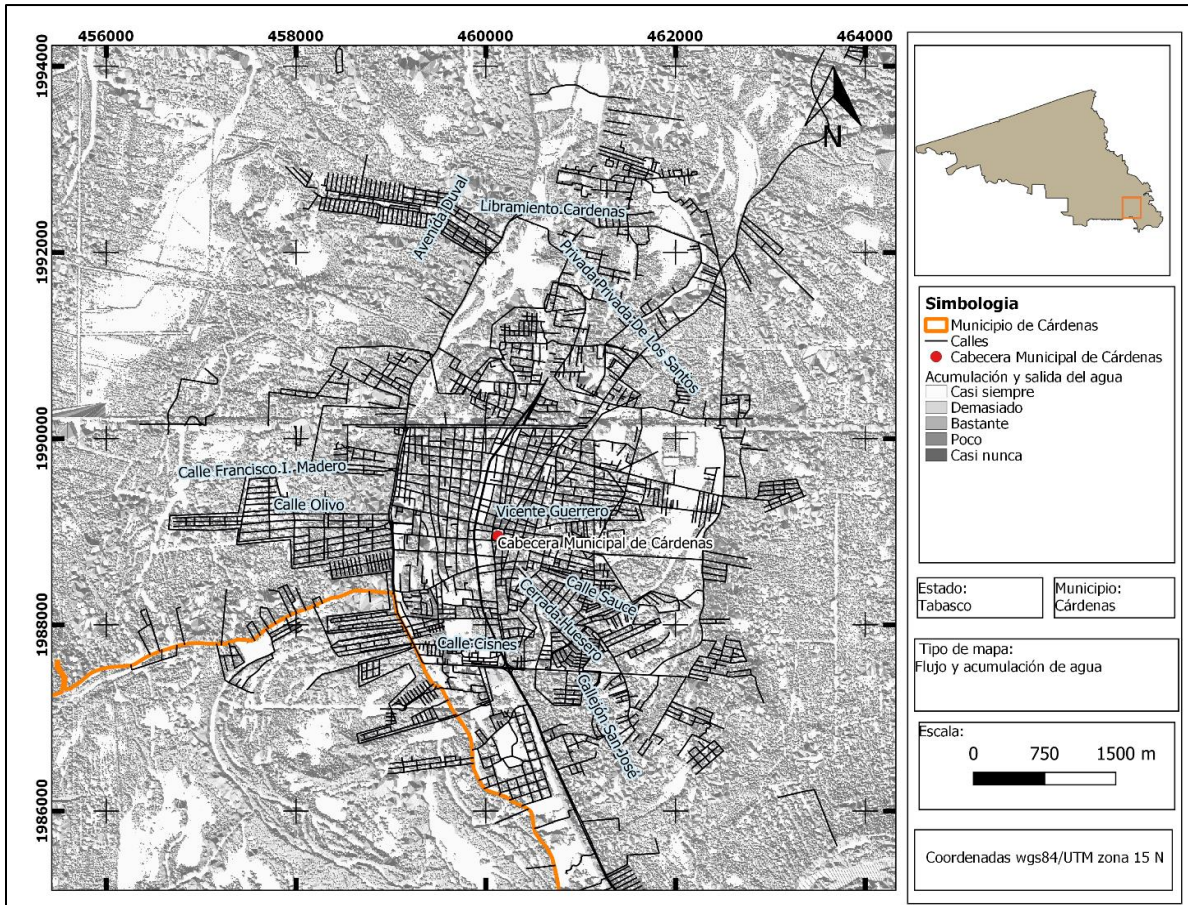




**Figura 3.** Topografía basada en el MDE de la zona de estudio. Elaboración propia con datos de INEGI.

La **Figura 4** (Mapa 4) es de flujo y acumulación del agua. En él se muestran las zonas más propensas a inundación y las menos propensas. Mostrando las calles; los usuarios de los mapas pueden

intuir la frecuencia de las zonas inundadas y las zonas de menos inundación, las cantidades se dan en forma cuantitativa para no mencionar estadísticos, como son los periodos de retorno.



**Figura 4.** Acumulación del agua según el MDE, para la zona de estudio. Elaboración propia con datos de INEGI.

## DISCUSION

Como se ha mencionado, en algunas de las cabeceras municipales en Tabasco, como es el caso del municipio del Centro, han solicitado a empresas privadas la elaboración de Mapas de Peligrosidad, sin embargo, no se hacen campañas entre la población para constituir

diferentes agrupaciones de habitantes para que se organicen en una contingencia; además que los mapas de riesgos son de difícil interpretación si la persona no es especialista en el tema. Con la propuesta mostrada los mapas son de fácil interpretación, además un promotor social en coordinación con la población, precisa que actividades se

realizarían si sucediera en evento catastrófico. Se piensa que, de esta forma, se reducirían los daños y se activaría la resiliencia pasado el evento.

## **CONCLUSIONES**

Ya preparado el material, la siguiente etapa es presentárselo a la población. Se piensa que al mostrar mapas de peligrosidad mediante la aplicación de Terraflow puede ser un buen método para conocer zonas de inundación y de escurrimiento, ya que mediante esta herramienta se puede hacer un plan de contingencia y apoyar a la población en caso de desastres. Al platicar con la población ellos pueden indicar la mejor forma de enfrentar una contingencia, ello ayuda a tomar decisiones con base en una gobernanza y disminuir el riesgo de inundación.

Por otra parte, en el Figura 4 se aprecia como las partes más bajas se encuentran en la zona urbana y marcadas con color

blanco; casi siempre se inundan. En esas zonas existen algunos drenes donde se vierten aguas usadas. Al llover estas aguas se mezclan con las de lluvia y empiezan a fluir por las calles e invadir las casas, contaminando a su paso los recintos donde las personas viven o transitan, convirtiéndose en un problema de salud. Queda por determinar qué tipo de solución se puede brindar para que el problema de contaminación se resuelva, consultando a la población y especialistas para ofrecer la mejor solución.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos el apoyo de INEGI por la prestancia y amabilidad al ofrecernos toda la información y asesoramiento. Del mismo modo, a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por las facilidades ofrecidas a los investigadores.



## REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2015). Número de habitantes. Cuéntame INEGI. Tabasco. <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/poblacion/>. Fecha de consulta 12 de marzo de 2020.
- [2] Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) (2016). Cárdenas. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM27tabasco/municipios/27002a.html>. Fecha de consulta 12 de marzo de 2020.
- [3] H. Ayuntamiento Constitucional de Centro, Tabasco (2015). Atlas de Riesgos del Municipio de Centro, Tabasco. Servicios Integrales de Ingeniería y Calidad SA de CV, México. [https://transparencia.villahermosa.gob.mx/images/Documentos\\_transparencia/Informacion\\_de\\_Interes/Instituto\\_Municipal\\_de\\_Planeaci%C3%B3n\\_y\\_Development\\_Urbano/AtlasDeRiesgosCentro2015.pdf](https://transparencia.villahermosa.gob.mx/images/Documentos_transparencia/Informacion_de_Interes/Instituto_Municipal_de_Planeaci%C3%B3n_y_Development_Urbano/AtlasDeRiesgosCentro2015.pdf). Fecha de consulta 10 de marzo de 2020.
- [4] Geographic Information System (QGIS Development Team) (2019). <https://qgis.org>.
- [5] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2020). Topografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>. Fecha de consulta 10 de febrero de 2020.
- [6] L. Arge, J. Chase, P. Halpin, L. Toma, J. Vitter, D. Urban y R. Wickremesinghe. (2003). Efficient Flow Computation on Massive Grid Terrain Datasets. *Geoinformatica*, n° 7, pp. 283-313, 2003. DOI: 10.1023/A:1025526421410.
- [7] Simulador de Flujos de Aguas de Cuencas Hidrográficas (SIATL) (2020). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/). Fecha de consulta 16 de febrero de 2020
- [8] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2019). GeoSINA. <https://sina.conagua.gob.mx/sina/geosinav2.html>. Fecha de consulta 14 de marzo 2020