

La cartografía sísmica como testimonio de la geografía para la mitigación del riesgo sísmico en las zonas arqueológicas

Hugo Paredes Márquez*, Jaime Cedeño Nicolás**, Esperanza Palma Salgado***, José Emilio Baró Suárez*** y Fernando Carreto Bernal***

*Estudiante de la maestría en análisis espacial y geoinformática
Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México

**Laboratorio de Geomática

Coordinación Nacional de Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia

***Facultad de Geografía

Universidad Autónoma del Estado de México

Resumen

El trabajo forma parte de una investigación denominada *Análisis espacial de la vulnerabilidad estructural a peligros naturales, presiones antropogénicas y ambientales de las zonas arqueológicas del Estado de México* la cual pertenece al programa de maestría en análisis espacial y geoinformática de la Facultad de Geografía en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). De tal manera que la principal contribución en este trabajo es resaltar la utilización de la cartografía sísmica aplicada a las zonas arqueológicas, como herramienta para el análisis, para identificar y determinar zonas vulnerables ante el riesgo sísmico con base en los terremotos ocurridos en 1985 y 2017, siendo estos instrumentos otra forma de realizar estudios complementarios a la arqueología para mitigar los impactos al patrimonio cultural. De esta manera la falta de utilización de esta herramienta se vuelve una necesidad insoslayable para generar nuevo conocimiento en pro del beneficio para la conservación de las zonas arqueológicas de una manera sustentable, garantizado el futuro cultural de las nuevas generaciones. Resaltando que el estudio servirá como base para la formulación de estrategias y toma de decisiones para la preservación de las estructuras arqueológicas, pretendiendo así la vinculación entre la sociedad, instituciones académicas y gubernamentales.

Palabras clave

Cartografía sísmica; geografía; mitigación; zonas arqueológicas.

Abstract

This paper is part of a research project entitled Análisis espacial de la vulnerabilidad estructural a peligros naturales, presiones antropogénicas y ambientales de las zonas arqueológicas del Estado de México which belongs to the master program in spatial analysis and geoinformatics in the Faculty of Geography at the Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). The main contribution in this work is to highlight the use of mapping seismic activity as a tool for analysis, to identify and determine zones that may be vulnerable to seismic risks, based on the earthquakes that took place in Mexico in 1985 and 2017. These instruments are another way to carry out complementary studies to archeology, with the aim of mitigating the impacts to cultural heritage. In this way the lack of use of this tool becomes an unavoidable necessity to generate new knowledge in favour of the conservation of archaeological sites in a sustainable way, guaranteeing the cultural future of the new generations. Emphasis is made on how this study will serve as a basis for the formulation of strategies and decision-making for the preservation of archaeological structures, looking for links between society, academic and government institutions.

Keywords

Seismic cartography; geography; mitigation; archaeological sites.



La geografía junto a la geotecnología ofrece nuevas perspectivas para la prevención de desastres naturales, en este sentido la interrelación con otras disciplinas como es el caso de la arqueología, permite analizar ante el riesgo sísmico en las 18 zonas arqueológicas abiertas al público del Estado de México. Las más modernas herramientas geotecnológicas de la geografía interrelacionada con la arqueología facilitan realizar un análisis espacial que funge como un instrumento para obtener conocimientos y construir escenarios complejos, con énfasis en la toma de decisiones.

México por su ubicación geográfica se encuentra sujeto a una diversa ocurrencia de fenómenos naturales, además de los generados por la actividad humana, que año tras año, causan pérdida de vidas, daños a los bienes de la población, infraestructura, medio ambiente y al patrimonio cultural. [Por lo cual, el punto de partida para la reducción de las pérdidas de estas estructuras arqueológicas ante el riesgo sísmico es su cartografía](Cenapred, 2006: 13).

En México la institución encargada de determinar los riesgos socio-naturales es el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), por lo cual el primer proceso para identificar las tipologías y características de los riesgos es la identificación de los fenómenos que pueden afectar a las zonas arqueológicas, de esta forma esta institución reconoce de acuerdo con su origen 5 agentes perturbadores: (Figura 1).



Figura 1. Agentes perturbadores. Imagen: ©Hugo Paredes, 2017.

De esta forma el peligro sísmico se encuentra clasificado en la tipología de riesgos geológicos-geomorfológicos, dado que la actividad sísmica se debe principalmente al movimiento brusco de las placas tectónicas que conforman la corteza terrestre, generándose en zonas de contacto entre placas o en fallas geológicas en su interior. Precisamente, la magnitud de un sismo, es reflejo de la energía liberada en estos movimientos de las placas. La escala más común al respecto es la de Richter. Sin embargo, lo que interesa son sus efectos en los sitios donde se encuentran las zonas arqueológicas. Esta medida se llama intensidad sísmica. Es decir, un sismo tendrá una sola magnitud pero se sentirá con diferentes intensidades en distintos sitios de la región. La escala de intensidades más empleada es la Mercalli Modificada.

En la actualidad se reconoce la importancia de las consecuencias que tiene para el patrimonio cultural la alta exposición al peligro sísmico; éstos alteran y modifican las zonas arqueológicas, por lo cual la presente investigación desempeña un papel importante en la identificación de zonas susceptibles y vulnerables por su exposición a este tipo de peligro que ponen en riesgo al patrimonio cultural y nacional.

La sismicidad es uno de los fenómenos derivados de la dinámica interna de la Tierra que ha estado presente en la historia geológica de nuestro planeta, y que seguramente continuará manifestándose de manera similar a lo observado en el pasado. Los sismos no pueden predecirse, es decir, no existe un procedimiento confiable que establezca con claridad la fecha y el sitio de su ocurrencia, así como el tamaño del evento. Sin embargo, los sismos se presentan en regiones bastante bien definidas a nivel regional y se cuenta con una estimación de las magnitudes máximas, en función de los antecedentes históricos y estudios geofísicos (Cenapred, 2001: 42).

De esta forma el riesgo sísmico depende de las condiciones específicas correspondientes a cada zona arqueológica en el Estado de México, según su ubicación y si pueden manifestarse con mayor o menor intensidad, de acuerdo con los sistemas expuestos de su espacio geográfico que condicionan los niveles de vulnerabilidad a los que están sometidas.

Objetivo

El objetivo principal de esta investigación es construir modelos cartográficos que permitan localizar y analizarlas áreas susceptibles al peligro sísmico con herramientas geotecnológicas. Esta detección permitirá identificar la vulnerabilidad a esta amenaza en las zonas arqueológicas del Estado de México.

Geografía y arqueología

Para entender la relación de la geografía con la arqueología, partimos del modelo científico, el cual divide el conocimiento en tres grandes grupos: el correspondiente a las ciencias abstractas (matemáticas), a las ciencias naturales (física, química, biología) y a las ciencias sociales (historia, sociología, demografía).

En este sentido la ciencia geográfica estudia hechos y fenómenos físicos, biológicos y humanos, siendo una ciencia mixta e interdisciplinaria. Aunque surgió como una disciplina empírica que consistía en la descripción de los lugares por los viajeros y naturalistas, es una ciencia que explica las relaciones recíprocas entre el hombre y el medio que lo rodea. Por otra parte la arqueología "es una ciencia social encargada de estudiar a las sociedades a través de las muestras tangibles del pasado" (Hernando, 1992: 20).

La geografía y la arqueología son disciplinas que se vinculan y que tienen varios puntos en común, uno de ellos es conocer cómo se relaciona la sociedad con el medio. Si el interés está puesto en indagar cómo es esta relación en nuestra propia sociedad, el tema será abordado desde la geografía, pero si el interés está puesto en alguna sociedad del pasado, el tema será abordado desde la arqueología (Lanzelotti, 2015: 93).

De esta manera la geografía es una disciplina donde muchas ciencias convergen para poder realizar un análisis espacial orientado a las cuestiones naturales y humanas, que a través de métodos y técnicas pueden procesar y generar resultados, lo que hace que la ciencia geográfica haya registrado cambios a través del tiempo, adquiriendo distintas visiones desde diferentes áreas de conocimiento, resultando ser una ciencia holística y compleja al integrar distintas disciplinas científicas que tienen en común el hecho de estudiar y analizar todo aquello que se distingue por su espacialidad.



En el estudio de los riesgos (naturales o inducidos por el hombre) se han incorporado gradualmente las ciencias aplicadas “centrándose en el estudio de los desastres y del daño o pérdidas de elementos ante la ocurrencia de un fenómeno peligroso” (Castillo *et al.*, 2017: 4), de esta manera las disciplinas como la ingeniería, la geografía, la geología y otras fortalecieron esta tendencia a través de los productos de sus investigaciones apoyados en métodos de evaluación multicriterio, que considera diversas aproximaciones para llegar a un fin determinado (Keller y Blodgett, 2007: 34).

Antecedentes históricos de zonas arqueológicas expuestas a peligros sísmicos

Alrededor del mundo se presentan desastres asociados con fenómenos naturales de tipo sísmico que han causado daños a las zonas arqueológicas en diversos países; de tal manera que los monumentos arqueológicos son vulnerables en un tiempo indefinido y espacio determinado, ya que a veces ocurren por la falta de interés de las instancias gubernamentales de cada nación para su conservación, debido a que se vinculan con la mala planeación de los asentamientos humanos y la prevención divulgada a la sociedad; Igualmente los sismos amenazan a los grupos humanos y aunque se han diseñado estrategias para mitigar la pérdida de vidas y del patrimonio cultural aún existen grandes riesgos debido a que las técnicas que permiten reducir la vulnerabilidad son aún limitadas.

Durante un sismo, la cimentación de la zona arqueológica tiende a seguir el movimiento del terreno y, por efectos de inercia, la masa de la estructura arqueológica se opone a ser desplazada y a seguir el movimiento de la base. Estas fuerzas de inercia que se generan, ponen en peligro la seguridad del monumento arqueológico.

El movimiento del terreno es complejo, pero se puede visualizar por sus componentes ortogonales, es decir, genera vibraciones horizontales y verticales. Las horizontales son las más críticas, por otro lado, el efecto conjunto del movimiento horizontal y vertical puede ser crítico en las construcciones cuya estabilidad se basa en la acción equilibrante del peso propio ante los empujes laterales. Las vibraciones verticales actúan ya sea aumentando o disminuyendo las fuerzas de gravedad. Cuando actúan hacia arriba reducen el efecto de las fuerzas debidas a la gravedad que, en las zonas arqueológicas, son generalmente favorables a la resistencia ante cargas horizontales.

Los movimientos en el terreno se amplifican en forma importante por la vibración de la estructura de modo que las aceleraciones en la misma, llegan a ser varias veces superiores a las del terreno. El grado de amplificación depende del amortiguamiento propio de los edificios y de la relación entre el periodo natural de la estructura y el periodo dominante del movimiento del terreno. Algunos casos de estudio donde la actividad sísmica causó daños al patrimonio cultural son los siguientes:

El 12 de octubre de 1992 un terremoto en Egipto causó graves daños generando grietas en el templo de Luxor. En KomOmbo los movimientos sísmicos fueron graves como para desalojar y caer al suelo dos grandes bloques, cada uno con un peso de diez toneladas. El Centro del Patrimonio Mundial de La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) informó que “la Mezquita Azul y la Mezquita Al Hussein sufrieron fisuras graves y la bóveda de la mezquita Tachtuchi colapsó, estas mezquitas se vieron afectados por fisuras verticales y desprendimientos de rocas”, por lo cual la inquietud del Centro, es en qué medida las estructuras se vieron debilitadas por este terremoto o lo que el próximo evento causará (García Acosta, 1997: 9).



García señala que “los sitios del patrimonio arqueológico de Grecia han sido afectados continuamente por terremotos y otros desastres causando daños”, por ejemplo durante la inspección de columnas y edificios colapsados en Olimpia los daños indicaron un patrón direccional constante de fallas estructurales coherentes con fallas sísmicas de antiguos terremotos (García Acosta, 1997: 11).

El 9 de septiembre de 1999 un terremoto de magnitud 5.9 escala Richter producido en las cercanías de Atenas causó la destrucción de monumentos arqueológicos de la Grecia Clásica, “precisamente sobre el monasterio de Dafni ubicado cerca del epicentro sufrió daños por estar cerca de fallas sísmicas activas” (UNESCO, 2009: 86).

De esta manera en México se establece que “la preservación de las zonas arqueológicas surgió a partir de los años 80 y 90, como resultado de la ocurrencia de fenómenos naturales desconocidos no tanto por su origen, si no por su magnitud potencial de devastación”, [generando que se creen instituciones que tienen como propósito la prevención y conservación del patrimonio cultural ante el cambio climático] (Conde *et al.*, 2016: 27).

Asimismo en México el efecto más grave que causó severos daños y del cual surgió la tendencia de mitigación en nuestro país fue el sismo del 19 de septiembre de 1985 con una magnitud de 8.1 grados Richter que dejó miles de personas sepultadas bajo los escombros de las construcciones, siendo este hecho histórico la consolidación de las acciones de protección civil.

Fue hasta el 6 de mayo de 1986 cuando se organizó, estructuró, funcionó y estableció por decreto del poder Ejecutivo Federal, publicado en el *Diario Oficial de la Federación*, el Sistema Nacional de Protección Civil, “teniendo como elemento esencial la planeación y gestión de desastres, generando la necesidad de conformar Atlas de Riesgos Nacionales, Estatales y Municipales” (Cenapred, 2001: 4).

De este modo el peligro más reciente que causó daños estructurales a los monumentos arqueológicos, así como también en distintos bienes culturales, son los sismos ocurridos el 7 y 19 de septiembre del año pasado que afectaron al patrimonio cultural de los distintos Estados (Oaxaca, Chiapas, Puebla, Tabasco, Veracruz, Hidalgo, Tlaxcala, Ciudad de México, Guerrero y Estado de México) dejando en visto la vulnerabilidad al patrimonio cultural ante el riesgo sísmico.

Cartografía

Desde la antigüedad el ser humano ha querido conservar memoria de los lugares y direcciones para realizar sus diferentes actividades y comunicarse con sus semejantes, expresándose mediante mapas, por lo cual Calvo “en la antigüedad menciona que se conceptualizaba a la cartografía como un arte, ciencia y técnica de hacer mapas, además el estudio de éstos como documentos científicos y obras de arte” (INEGI, 2006: 11). En cambio la cartografía actual es una disciplina que trata sobre la concepción, producción, difusión y estudio de los mapas (Campos *et al.*, 2013: 29). De esta manera se establece que la cartografía, con el avance de la geotecnología aplicado al riesgo sísmico, permite conocer las ubicaciones y el radio de acción de la actividad sísmica, mostrando el epicentro de cada sismo y su magnitud. Como ejemplo de aplicación de la cartografía sísmica a nivel mundial se tiene el visualizador de *Live Earthquake Tracker* que utiliza datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), misma que es una herramienta útil para mostrar a los diferentes usuarios los detalles de la magnitud y profundidad de un sismo.



Con lo anterior se demuestra que la cartografía cada vez se vuelve una herramienta mucho más precisa y sofisticada aplicada a diversos temas de estudio, que está en constante cambio por el avance de la geotecnología. Asimismo es importante reconocer su valor como una herramienta enfocada a abordar muchos de los problemas más acuciantes de la humanidad, como es el caso del análisis espacial de los diferentes fenómenos naturales, así como la localización y distribución de bienes y servicios como es el caso de catastro, también la ubicación de incidencia de delitos, las cuestiones electorales por ejemplo la volatilidad y lealtad del voto, asimismo la zonificación de lugares óptimos de algún cultivo o zonas expuestas a un amenaza socio-natural (inundaciones, procesos de remoción en masa o sismicidad), entre otros problemas donde la interrelación de diversas variables geográficas permite optar por la mejor toma de decisiones para la sociedad.

Caracterización geológica de las zonas arqueológicas del Estado de México

Con lo anterior se establece que una forma de analizar el riesgo sísmico es a partir de sus componentes que integran el conocimiento geológico, refiriéndose en este sentido a su representación cartográfica de la superficie sólida del planeta Tierra; describiendo el tipo de rocas, estructura, edad, periodo y época, que integran una historia evolutiva de los diferentes sitios, las cuales debido a sus diferentes condiciones y/o características permitirán identificar la susceptibilidad de las zonas arqueológicas ante el riesgo sísmico.

El componente geológico hace énfasis a la ciencia natural que se encarga del estudio del origen, evolución y dinámica de la parte sólida del planeta Tierra, expresada y medida por la unidad del tiempo, identificando y analizando los diferentes procesos que se dan, ya sean de tipo endógeno o exógeno. [Por lo cual, el punto de partida para la reducción de las pérdidas de estas estructuras arqueológicas ante el riesgo sísmico es su cartografía](Blyth y Freitas, 2003: 11).

En este sentido el fin de la cartografía geológica es generar mapas que contengan la información geológica que se represente de manera coherente y fácil de entender para comprender los problemas endógenos de la superficie terrestre como es el caso del peligro sísmico.

Por lo cual la importancia de la geología ante la susceptibilidad del riesgo sísmico, se inicia con el conocimiento de la historia geológica del Estado de México que está ligada a la evolución del Sistema Volcánico Transversal, que alcanzó su máximo movimiento en la era cenozoica (66 millones de años a.C. a la actualidad) del periodo Neógeno (23 a 5,3 millones de años a.C.) al Cuaternario (2,5 millones de años a.C. a la actualidad), sin embargo en la época del mioceno (33 a 23 millones de años a.C.) es donde se formaron fracturas estructurales características del sistema volcánico, constituida por diferentes materiales.

A continuación se presenta la cartografía sísmica con la descripción del tipo de rocas donde se localizan las 18 zonas arqueológicas abiertas al público del Estado de México; se parte de la unidad geológica y del periodo más antiguo al más reciente, en función de la clasificación de las rocas. Esto permitirá identificar aquellas zonas arqueológicas que pueden ser susceptibles al riesgo sísmico. Sin embargo con el presente estado de la tecnología, la mayoría de los eventos geológicos no pueden ser prevenidos ni pronosticados con alguna precisión; las estimaciones de ocurrencia de un evento sísmico dado son probabilísticas, basadas en la consideración de la magnitud y su ocurrencia en tiempo y espacio. No obstante, las medidas de mitigación apropiadas pueden reducir enormemente los daños causados por este tipo de peligro. En los sitios de estudio se presentan varios tipos de rocas además del suelo regolito donde no hay presencia de composición geológica (Figura 2).



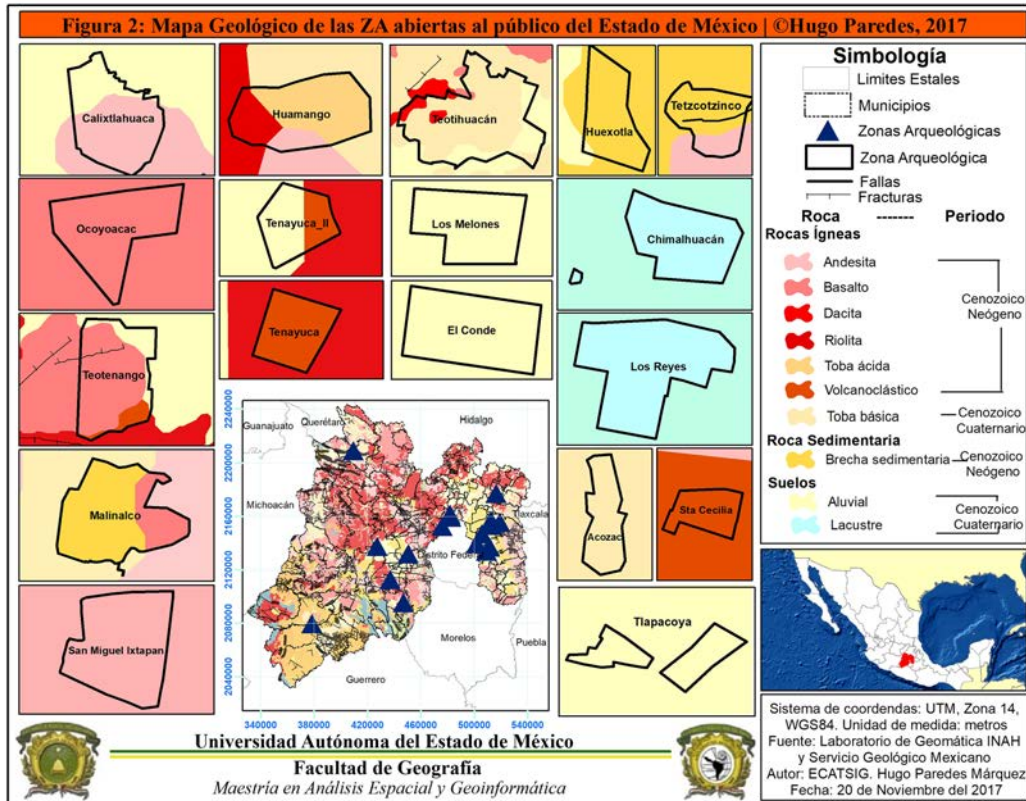


Figura 2. Mapa geológico de las zonas arqueológicas abiertas al público del Estado de México. Imagen: ©Hugo Paredes, 2017.

Rocas ígneas

Se forman por la actividad volcánica, debido al enfriamiento y solidificación del magma y puede presentarse en el interior (rocas ígneas intrusivas) o en la superficie terrestre (rocas ígneas extrusivas).

Rocas sedimentarias

Este tipo de rocas se originan por la fragmentación de otras rocas debido a la acción del agua, el aire y los cambios de temperatura, con el tiempo los fragmentos o sedimentos vuelven a unirse por efecto de un material cementante, como el agua, para constituir nuevas rocas mediante la formación de conglomerados.

Suelos

Hace énfasis a los suelos regolitos, definidos como la combinación de materia orgánica y mineral, además se entiende como la capa de roca y fragmentos producidos por meteorización que soporta el crecimiento vegetal.

Con lo antepuesto se interrelaciona que la ubicación de las zonas arqueológicas (Teotihuacán, Calixtlahuaca, Huexotla, Tenayuca II, Teotenango, El Conde, Los Melones y Tlapacoya) en depósitos de aluvión presentes en los Valles de México y Toluca, y en otras depresiones pequeñas, resultado del bloqueo del drenaje por actividad volcánica, además el suelo formado por depósitos de sedimentos no consolidados que se crean por las corrientes fluviales, pueden ser susceptibles al riesgo sísmico, así como también aquellas zonas arqueológicas (Chimalhuacán y Los Reyes) donde se encuentran en sedimentos lacustres de origen fluvial, que son poco evolucionados aunque profundos y al igual que la anterior unidad presenta interstratificaciones de ceniza volcánica.



Asimismo las zonas arqueológicas ubicadas en zonas de fallas como es el caso de Teotenango y Tetzcotzinco catalizan la vulnerabilidad y por tanto la exposición al peligro sísmico, por tanto los procesos tectónicos referente a las fallas y fracturas como se observa en la cartografía anterior, las cuales son producto de las fuerzas orogénicas de tensión que afectan a los materiales de la corteza, fracturando y deslizando en sentido horizontal y vertical los bloques. Los bloques elevados se denominan pilares y los hundimientos fosas. Es frecuente que en un sistema de fallas existan bloques escalonados y estas deformaciones generan elevaciones de fallamiento.

Otra manifestación resulta de las fuerzas de compresión donde los materiales se doblan o arquean, elevando y hundiendo la corteza; estas formaciones son los pliegues. Pueden ser anticlinales, cuando las capas se encuentran elevadas, o sinclinales, cuando las capas se inclinan hacia abajo y forman una depresión.

En cambio las fracturas hacen alusión a la separación bajo presión en dos o más (fragmentos rocosos de un cuerpo sólido, representado por una grieta del terreno por fuerzas tectónicas; muchas fracturas se originan porque el terreno carecía de la necesaria flexibilidad para plegarse cuando es sometido a empujes laterales

En el Estado de México se presentan varios tipos de fallas: la normal que se caracteriza porque el plano de falla desciende hacia el borde hundido, que se genera como respuesta a esfuerzos distensivos, además los bloques se desplazan indicando el sentido relativo del movimiento de un bloque con respecto al otro; la falla inversa, en la cual el plano de falla desciende hacia el borde levantado, ocurrido como consecuencia de esfuerzos comprensivos. Mientras que en las fallas normales la superficie de falla presenta pendiente elevada o prácticamente vertical, en las inversas sucede lo contrario; en ese plano suelen ser de forma muy tendida con pendiente baja. Por debajo de 45°, se habla de cabalgamientos y si la pendiente no alcanza los 10°, recibe el nombre de mantos de corrimiento, en los que el desplazamiento es de gran magnitud.

Métodos y recolección de datos

Contempla la gestión y adquisición de los datos cartográficos y alfanuméricos solicitados al Laboratorio de Geomática del INAH, el Servicio Geológico de México y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), siendo la escala de análisis espacial a nivel de zona arqueológica; por tanto, el proceso de depuración y estandarización es necesaria para el procesamiento con otras capas temáticas cartográficas para poder generar la cartografía sísmica, además se establecen los parámetros de los datos geoespaciales para integrar la interoperabilidad en su manejo y procesamiento.

INEGI (2000: 3) menciona que los datos geoespaciales contemplan el contenido de cada una de las variables que se pueden cartografiar. Asimismo, los datos que se utilizan se clasifican de acuerdo con su naturaleza en tres tipos: vectorial, raster y alfanuméricos; el primero tiene que ver con los datos provenientes de las instituciones en formato shapefile¹, el segundo contiene la información de tipo imagen, de rejilla o teselar, originado por algún proceso realizado y el tercero comprende los datos tabulares y textuales de cada zona arqueológica con sus diferentes variables geológicas.

¹ Es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI, quien crea y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica como ArcGis y que varios softwares como Qgis, ENVI, Terrset y ERDAS lo han vuelto universal (INEGI, 2000: 8)



En este sentido para los datos cartográficos se emplea la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) adecuada a la zona 14 Norte, porque esta proyección conserva la forma del terreno, representando las características físicas y la distorsión, que es menor cuando se maneja información a gran detalle, así mismo el datum y elipsoide es (WGS84)², lo que conlleva a que todos los archivos se reprojecten en la proyección mencionada.

Es importante mencionar que la cartografía sólo es una herramienta que facilita el análisis para poder determinar aquellas zonas arqueológicas que ante un nuevo sismo podrían ser susceptibles o afectadas de acuerdo con sus condiciones geográficas e históricas como es el caso de los terremotos ocurridos en México. Propietario

Resultados

Los resultados es la producción cartográfica comparativa de magnitud e intensidad de los sismos ocurridos el 19 de septiembre de 1985 (Figura 3) y 2017 (Figura 4), por lo cual muchos nos cuestionamos si el sismo reciente de magnitud 7.1 fue más fuerte afectando las zonas arqueológicas del Estado de México que el terremoto de magnitud 8.0. Sólo por la diferencia de magnitudes, uno pensaría que no.

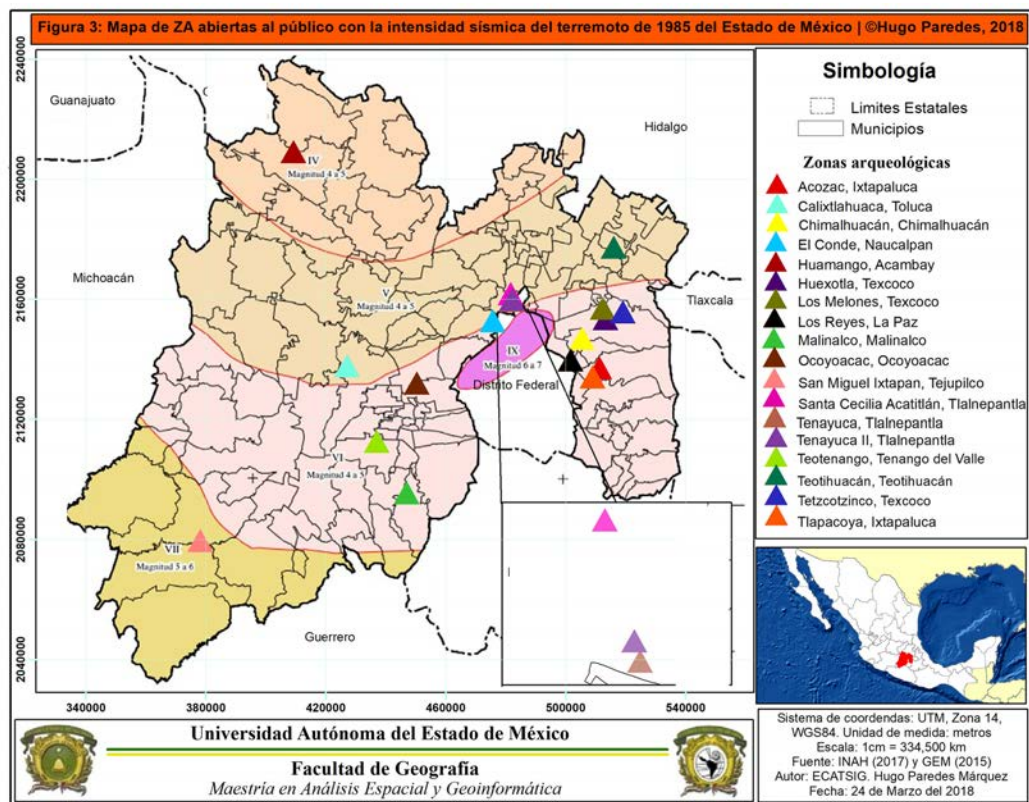


Figura 3. Mapa de zonas arqueológicas abiertas al público con la intensidad sísmica del terremoto de 1985 del Estado de México. Imagen: ©Hugo Paredes, 2018.

² Se refiere al Sistema Geodésico Mundial 1984, que permite ubicar cualquier punto de la superficie terrestre a partir del centro de la Tierra (sin necesitar otro de referencia). Cuenta con un estándar de referencia de la superficie esférica (elipsoide) para los datos de altitud y una superficie equipotencial gravitacional (geoide) que define el nivel del mar, se cree que el error es menor de 2 cm.



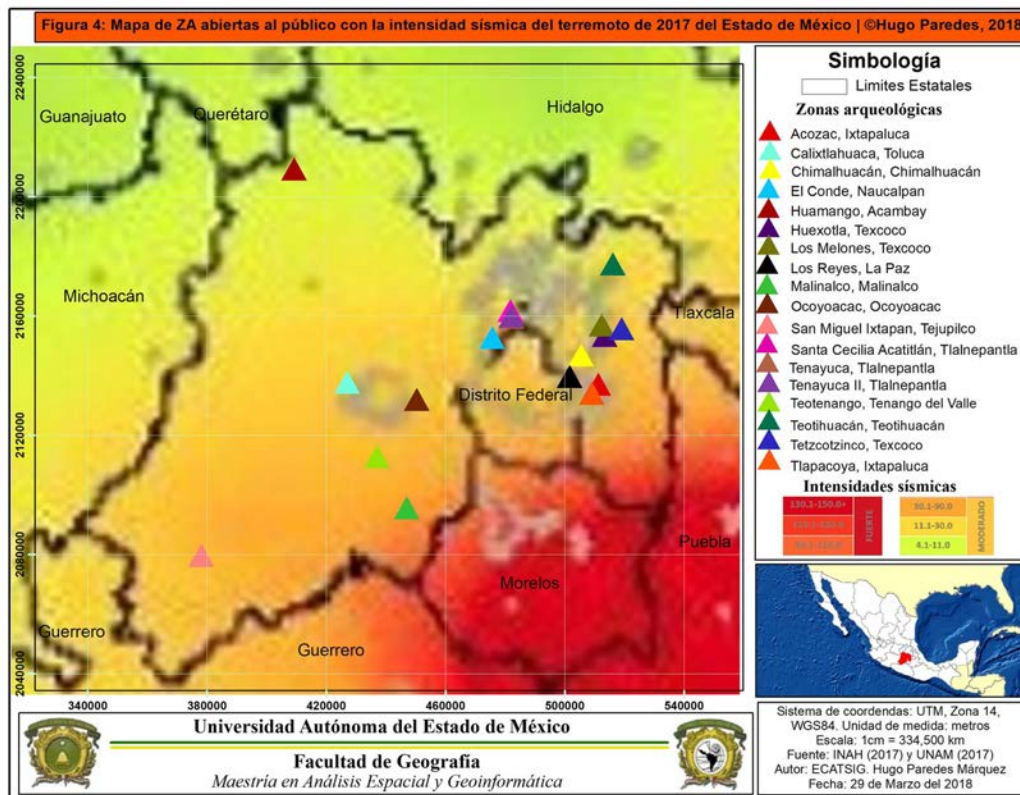


Figura 4. Mapa de zonas arqueológicas abiertas al público con la intensidad sísmica del terremoto de 2017 del Estado de México. Imagen: ©Hugo Paredes, 2018.

Sin embargo, con base en los registros antiguos del sismo de 1985, éste liberó 32 veces más energía sísmica que el del reciente terremoto. De esta manera el epicentro del primer sismo fue bajo las costas de Michoacán a más de 400 km con respecto a la capital del país, mientras que el de 7.1 ocurrió a los 120 km al sur de la Ciudad de México.

Esto conlleva a que, al propagarse las ondas sísmicas, se amortigüen rápidamente, por esta razón aunque la ruptura de las ondas sísmicas fueron menores con respecto al primero, las sacudidas del movimiento telúrico fueron mayores, dado que el sismo del 2017 ocurrió dentro de la placa oceánica de Cocos por debajo del continente a una profundidad de 57 km, en cambio el de 1985 las rupturas tuvieron lugar bajo las costas del Pacífico sobre el contacto de las placas de Cocos y Norteamérica.

A partir de la representación espacial se pueden representar aquellos que han emanado y los que dejan una marca en la corteza terrestre, por lo que la cartografía sísmica funge como testimonio de la geografía para la mitigación del riesgo sísmico con base en los datos históricos y con ello el establecimiento de zonas susceptibles ante este tipo de riesgo en zonas arqueológicas y en general el patrimonio cultural.

Con lo anterior se establece que la cartografía sísmica permite analizar cuál es la vulnerabilidad de las zonas arqueológicas ante un nuevo evento, ya que de acuerdo con los datos históricos con respecto al sismo ocurrido de 1985 (Figura 3) se puede identificar que, de acuerdo con la escala

de intensidad de Mercalli Modificada, la zona arqueológica de San Miguel Ixtapan es la que pudo o presentó algún tipo de daño clasificándose con la intensidad VII, seguido por la tipología VI donde se encuentra la mayor parte de sitios arqueológicos: Acozac, Chimalhuacán, Huexotla, Los Melones, Los Reyes, Malinalco, Ocoyoacac, Teotenango, Tetzcotzinco y Tlapacoya, y que pudieron presentar alguna alteración por el movimiento. Posteriormente en la clasificación V disminuye el número de zonas arqueológicas: Calixtlahuaca, El Conde, Tenayuca, Tenayuca II Y Santa Cecilia Acatitlán, que pudieron tener algún daño; y por último la zona arqueológica que registró la menor intensidad es Huamango que se encuentra al Noroeste del Estado de México.

Por otra parte, con respecto al del 2017 (Figura 4), se puede observar que la mayoría de las zonas arqueológicas estuvo vulnerable con respecto al movimiento telúrico, ya que de acuerdo con la clasificación de intensidades pudieron presentar daños leves estructurales, clasificándose de VI a VIII por las cuestiones antes mencionadas, dejando igualmente al sitio arqueológico de Huamango menos expuesto ante este tipo de riesgo.

De este modo se demuestra que la cartografía y los datos geoespaciales pueden ser herramientas para integrar información necesaria y útil en la toma de decisiones antes, durante y después de algún peligro, reduciendo la vulnerabilidad de las zonas arqueológicas.

Conclusiones

La cartografía sísmica cada vez se va especializando, dado que muestra una gran variedad de información: en las cartas topográficas y datos georreferenciados de la forma del relieve a diferentes escalas; en las cartas temáticas que representan las características topográficas de un lugar, pero representan además información propia de los temas como geología, geomorfología, edafología, uso de suelo, clima, isoyetas, isotermas, etc., así como toda información geográfica que se puede representar, y que al interrelacionarse permite realizar un análisis complejo.

Aunado a esto, toda herramienta cambia para mejorar y facilitar el trabajo debido a que la necesidad de información es constante, por eso es importante referir a la cartografía sísmica como una vertiente contemporánea, que parte de un conjunto de técnicas para el diseño y producción de mapas mediante el auxilio de computadoras, refiriéndose a la creación y aplicación de paquetes y programas para el manejo de cartografía digital. Es de acotar que los rápidos avances que ha tenido la aplicación de técnicas automatizadas para la realización de estudios geográficos, ha colocado a la cartografía automatizada en un plano de mayor relevancia, que incluye el uso de herramientas para el manejo de las bases de datos y la contribución al análisis espacial.

En este sentido las dificultades y limitantes que se han detectado es que no se ha valorado la realización de investigaciones que consideren la cartografía sísmica como herramienta para la interrelación de los componentes del espacio geográfico con respecto a las zonas arqueológicas, por lo cual el uso de las nuevas herramientas geotecnológicas para estos problemas aún es escasa en el área de la arqueología, dado que es evidente que no todas las zonas se encuentran localizadas espacialmente, lo que a su vez implica una limitación para la generación de información; sin embargo, esto también puede deberse a que en nuestro país existe una gran número de vestigios arqueológicos.

*



Referencias

- Blyth, Margaret y Freitas, Mary (2003) [1989] *Geología para ingenieros*, trad. José López, México, CECSA.
- Campos Vargas, María M., Monroy Gaytán, José F., Campos Alanís, Juan, y Cadena Vargas, Edel (2013) "Geografía y análisis espacial hacia la ciudad del conocimiento. Evaluación multicriterio y SIG IDRISI en la zonificación del uso de suelo urbano del CRCYTAB en Almoloya de Juárez, México", en María M. Campos Vargas, José F. Monroy Gaytán, José F. y Noel B. Pineda Jaimes, (eds.), *Estudios geográficos con técnicas de evaluación multicriterio*, México, Universidad Intercultural del Estado de México, pp. 24-47.
- Castillo M., Ricardo Torres, García, José, Rodríguez, Francisco, y Ruiz, Luis (2017) *Mapping recession risk for cultural heritage Stone in Mexico City due to dry and wet deposition of urban air pollutants* [en línea] 30 (3): 1-19, disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362017000300189&lng=es&nrm=iso> [consultado el 19 de septiembre de 2017].
- Cenapred (2001) *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*, México, Secretaría de Gobernación/Cenapred.
- Cenapred (2006) *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*, México, Secretaría de Gobernación/Cenapred.
- Conde, Ana Cecilia, Enríquez, Gilberto, Esquivel, Nora, López, Jorge, López, Fanny, Montes, Raquel, Nava, Yusif, y Ruiz Karina (2006) "Variabilidad climática y escenarios de cambio climático. Herramientas para los estudios de impactos potenciales y vulnerabilidad actual y futura. Ejemplos para México, Centroamérica y el Caribe", en Ana Cecilia Conde Álvarez y Jorge López Blanco (coords.), *Variabilidad y cambio climático. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Propuestas para métodos de evaluación*, México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, pp. 25-72.
- García Acosta, Virginia (1997) "Indicadores arqueológicos de desastres: Mesoamérica, los Andes y otros casos", en Virginia García (ed.), *Historia y desastres en América Latina*, Perú, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 4-27.
- García Acosta, Virginia (2008) "El estudio histórico de los desastres. Una década de reflexiones en América Latina", en Virginia García (ed.), *Historia y desastres en América Latina*, Perú, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 11-34.
- GEM (2015) *Atlas de riesgos del Estado de México* [pdf], disponible en: <<http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/62/2015/feb/Atlas-20150224.pdf>> [consultado el 20 de marzo de 2018].
- Hernando Gonzalo, Almudena (1992) "Enfoques teóricos en arqueología", *Revista de Prehistoria y Arqueología* [en línea] 13 (1): 11-35, disponible en: <<http://dx.doi.org/10.12795/spal.1992.i1.01>> [consultado el 17 de agosto de 2017].
- INEGI (2000) "Base de datos geográficos", en *Diccionario de datos*, México, pp. 48.
- INEGI (2006) *Antecedentes de la cartografía* [pdf], disponible en: <<http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/antecedentescartografia.pdf>> [consultado el 17 de febrero de 2018].
- Keller, Edward, y Blodgett, Robert (2007) [2004] *Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastre y catástrofes*, trad. Pilar Gil, Madrid, Pearson Prentice Hall.
- Lanzelotti, Sonia (2015) "La evaluación multicriterio en el espacio regional y dimensión histórico-arqueológica", en Gusatavo D. Buzai, Graciela Cacace, Luis Humacata, y Sonia L. Lanzelotti (eds.), *Teoría y métodos de la geografía cuantitativa*, Buenos Aires, MCA Libros, pp. 93-104.
- UNESCO (2009) *Estudios de caso. Cambio climático y Patrimonio Mundial*, trad. Ignacio Pisso, París, Centro de Patrimonio Mundial, UNESCO.

