

Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la evaluación de daños en caso de Tsunami en La ciudad de Acapulco, Guerrero.

José Guadalupe
Barrón Vargas

Florencio Villarreal S/N.
Colonia amado Nervo.
Chilpancingo, Gro.
7471406048
C.P. 41801

jose.barron19@hotmail.com

Dra. Rocío N.
Ramos-Bernal

Ciudad Universitaria
Av. Lázaro Cárdenas
S/N. Chilpancingo, Gro
7474727943.
C.P. 39070

rramos@uagro.mx

M.I. Wendy
Romero Rojas

Ciudad Universitaria
Av. Lázaro Cárdenas
S/N. Chilpancingo, Gro
7474727943.
C.P. 39070

geowromero@gmail.com

Dr. René Vázquez-
Jiménez

Ciudad Universitaria
Av. Lázaro Cárdenas
S/N. Chilpancingo, Gro
7474727943.
C.P. 39070

rvazquez@uagro.mx

RESUMEN

El presente trabajo trata de un análisis sobre la evaluación los daños en caso de presentarse un tsunami en la ciudad de Acapulco, Guerrero. En principio se analiza que tipo de consecuencias provocaría un evento de este tipo hacia la población, pero además el análisis incluye el efecto en las unidades económicas de la ciudad. Con ello se pretende contar con información de primera mano para tomadores de decisión, para de alguna manera colaborar en el establecimiento de alguna medida de prevención tales el establecimiento de rutas de evacuación o ubicación de albergues temporales para refugio de personas afectadas.

Palabras reservadas

Tsunami, Análisis espacial, Sistema de Información Geográfica, Acapulco.

INTRODUCCIÓN

El termino Tsunami proviene de la lengua japonesa y significa *ola del puerto*. Se trata de un fenómeno que se origina, como efecto de la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, la erupción de volcanes sumergidos, impacto de meteoritos y deslizamientos submarinos. De estos, el sismo es el que con mayor frecuencia se presenta y cuando ocurre provoca que en el fondo del mar se origine un desplazamiento diferencial en la corteza terrestre; este desplazamiento agita el agua de mar en ese punto y hace que se formen las olas de Tsunami, las cuales viajan a alrededor de 800 km/hora que es la velocidad de un jet comercial. A su arribo a las costas a medida que disminuye la profundidad del lecho marino, se reduce su velocidad y se acortan las longitudes de sus olas, en consecuencia, su energía se concentra, aumentando su altura y las olas así resultantes pueden llegar a tener características destructivas [1].

Acapulco es una ciudad y puerto mexicano ubicado en el Estado de Guerrero en la costa sur del país, a 379 kilómetros de la ciudad de México. Es la mayor ciudad además de que forma parte de la única zona metropolitana del Estado y concentra a la mayor población de este. Es cabecera del municipio homónimo y uno de

los principales destinos turísticos de México; además de ser considerada la décima sexta metrópoli más grande del país y la vigésimo primera ciudad más poblada de México. Ciudad Renacimiento es la zona más extensa y superpoblada del puerto, de acuerdo con los últimos censos de población [2].

La ciudad cuenta con 20 km de playas, desde Barra vieja hasta Pie de la cuesta, las cuales se dividen en tres grandes zonas turísticas: Acapulco tradicional, Acapulco dorado y Acapulco diamante. La primera se desarrolló entre los años 1930 y 1960: aquí se localiza el centro de la ciudad y el Puerto transatlántico internacional, así como los barrios y fraccionamientos más antiguos. La zona dorada tuvo su auge hotelero entre los años 1960 y 1980, ocupa la mayor parte de la bahía de Santa Lucía y es donde se concentra la mayor cantidad de cuartos de hotel, la zona hotelera y condominios residenciales, además de ser la zona que presenta más afluencia turística en el puerto. La zona diamante tuvo su desarrollo entre los años 1990 y los años 2010; es la parte más reciente y con mayor desarrollo e inversión del puerto, cuenta con diversos núcleos comerciales y de entretenimiento, está conformada por hoteles exclusivos, villas de lujo y resorts de cadenas internacionales. Acapulco pertenece a la zona turística llamada Triángulo del sol del Estado, junto con el binomio de playa Ixtapa-Zihuatanejo y el pueblo mágico de Taxco.

En Guerrero se ha podido rastrear la presencia de algunos Tsunamis en las crónicas y registros del fenómeno en los siglos recientes pasados. Al mismo tiempo, el estudio detallado de mareógrafos ha permitido la relocalización de sismos cuyo epicentro se creía tierra adentro, ubicándolos en el mar o en zonas próximas al litoral [1].

La zona de subsidencia de la fosa Mesoamericana, fuente generadora de grandes sismos y localizada frente a las costas del Estado, es una de las regiones sísmicas más activas del hemisferio occidental. Se ha estimado entre 30 y 75 años el tiempo de repetición de grandes sismos, en la franja sísmica de Guerrero. A lo largo de la historia, los sismos en esta zona han generado consistentemente, maremotos destructivos con olas que van de los 2 a los 11 m de altura.

Las zonas costeras del Estado son las más vulnerables a este fenómeno por ser el asiento de áreas urbanas densamente pobladas, incluyendo desarrollos turísticos, comunidades pesqueras e importantes instalaciones portuarias, navales y de almacenamiento de combustible, como lo es el caso de la ciudad y puerto de Acapulco.

En el puerto de Acapulco está documentada la llegada de tres maremotos en la época colonial, de 5 en el siglo XIX y de 22 en el siglo XX, de los cuales los 19 más recientes fueron registrados por el mareógrafo del puerto, lo que permite suponer razonablemente que un número similar de maremotos arribó a los márgenes oceánicos del Estado, aunque estos hayan pasado desapercibidos. Una crónica del siglo XVII ilustra de manera explícita el arribo de un Tsunami al Puerto de Acapulco.

Entre los principales factores de riesgo en la ciudad de Acapulco, encontramos la fosa de Acapulco, que está localizada sobre la placa de Cocos, no así la brecha de Guerrero, ya que es verdad que ha producido sismos de magnitudes importantes, pero sus epicentros se han registrado sobre tierra no en el mar y es bien sabido que una de las condiciones para que se produzca un Tsunami con una gran ola es que el epicentro del sismo debe en el mar a una profundidad mayor a 4000 m y magnitud a partir de 6.4 grados en la escala de Richter.

La siguiente tabla registra los Tsunamis mas relevantes en el Pacifico.

Tabla 1. Tsunamis importantes registrados en el litoral del pacifico mexicano.

Fecha	Epicentro	Magnitud	Lugar del Tsunami	Altura máx. olas (m)
04 nov. 1952	52.8° N 159.5° E Kamchatka	8.3	La paz, B.C.	0.5
			Salina cruz, Oax.	1.2
22 may. 1960	39.5° S 74.5° W Chile	8.5	Ensenada, B.C.	2.5
			La paz, B.C.	1.5
			Guaymas, Son.	0.6
			Topolobampo, Sin.	0.2
			Salina cruz, Oax	1.6
			Mazatlán, Sin.	1.1
			Acapulco, Gro.	1.9
28 mar. 1964	1.1° N 147.6° W I. Kuriles	8.1	Ensenada, B.C.	2.4
			La paz, B.C.	0.5
			Guaymas, Son.	0.1
			Mazatlán, Sin.	0.5

16 may. 1968	41.5° N 142.7° E Japón	8.0	Manzanillo, Col.	1.2
			Acapulco, Gro.	1.1
			Salina cruz, Oax.	0.8
			Ensenada, B.C.	0.3
16 may. 1968	41.5° N 142.7° E Japón	8.0	Mazatlán, Sin.	0.1
			Manzanillo, Col.	0.4
			Acapulco, Gro.	0.4

Como se puede observar en la tabla anterior, Acapulco, Gro, ha sufrido la llegada de Tsunamis pequeños, que van de 0.4 a 1.9 m en los últimos 50 años, lo cual no indica que este puerto este exento a eventos de una mayor y hasta grandes magnitudes.

El terremoto de Guerrero, también conocido como el terremoto de Acapulco-San Marcos de 1907, fue un sismo ocurrido alrededor de las 23:30 hora local (05:30 UTC) del miércoles 14 de abril de 1907, el sismo fue de tipo trepido-oscilatorio con una magnitud de 7.9, según lo registra el Servicio Sismológico Nacional (SSN), en un reporte publicado en 1985 como *Grandes sismos sentidos en la ciudad de México a través de su historia*. El epicentro se localizó en la costa de Guerrero, entre el puerto de Acapulco y la localidad de San Marcos, en el sur de México [3].

Aunque la Sociedad mexicana de ingeniería sísmica y otras fuentes del Instituto de geofísica de la UNAM, sostienen que este sismo alcanzó una magnitud de 8.2 grados en la escala de Richter; y se estima que tuvo una duración de un minuto y medio, aunque los nativos afirman que llegó a durar hasta cinco minutos. Su epicentro fue registrado muy cercano al puerto de Acapulco, en la región sísmica conocida como *brecha de Guerrero*.

En el puerto de Acapulco, algunas de las familias que habían perdido su hogar con el sismo o que simplemente habían decidido no regresar a éstos por sus severos daños, optaron por acampar provisionalmente en la plaza principal del puerto y en las calles centrales. Media hora después del sismo, se registró un Tsunami que devastó las partes bajas de la población en donde se introdujo una corriente con embarcaciones hasta donde lo que hoy es la importante avenida Cuauhtémoc, en la zona centro del puerto. Esto a su vez hizo prevalecer un severo ambiente de pánico, confusión y desesperación ya que en aquel entonces Acapulco no contaba con energía eléctrica.

Gran parte de las partes bajas de la bahía de Acapulco resintieron los embates del mar que inundaron playas, campos, huertas y muchos lugares que en 1907 aún no estaban habitados.

Acapulco no registró víctimas mortales, sólo se reportaron cuantiosos daños materiales que llevarían a los pobladores varios meses reparar y restablecer a la normalidad.

Como se indicó antes, los Tsunamis se producen por una dislocación súbita de una porción extensa del fondo marino que a su vez perturba a la superficie del mar, desplazando grandes volúmenes de agua varios metros por arriba de su posición de equilibrio y su velocidad de propagación es de aproximadamente 800 km/hora en mar abierto, donde las profundidades alcanzan los 5000 m y su velocidad disminuye al aproximarse a la costa, llegando a 35 km/hora en 10 metros de profundidad [4]. Los Tsunamis se amplifican al llegar a las costas y pueden ocasionar inundaciones repentinas o una retirada del mar seguida por una inundación que se manifiesta como una marea que sube rápidamente y en ocasiones como una pared de agua que avanza sobre la costa, pudiendo penetrar varios kilómetros tierra adentro alcanzando alturas de hasta 30 m, tal como fue el caso del Tsunami de Sumatra en 2004 (Figura 1) y de Tsunami de Japón en el 2011 (Figura 2).



Figura 1. Tsunami de Sumatra en el 2004

No siempre la primera ola es la más alta, en ocasiones es la tercera o cuarta, mismas que se suceden a intervalos de 30 minutos y continúan llegando con menor altura durante al menos 24 horas.

Los Tsunamis originados por terremotos de magnitud 8 a 9.5 grados, son muy destructivos y son una amenaza para la vida y la infraestructura de las comunidades. Arrastran a su paso rocas de varias toneladas junto con embarcaciones y escombros y se desplazan tierra adentro a gran velocidad, como una máquina trituradora, como ocurrió el 11 de marzo del 2011 durante el Tsunami que arrasó la costa de Japón tras el terremoto de magnitud 9.0 (Figura 2).



Figura 2.- Tsunami de Japón en el 2011

Debido a las grandes afectaciones y devastaciones que causan los Tsunamis, la gran cantidad de víctimas mortales y cuantiosos daños materiales, el entendimiento de los factores que los provocan y las condiciones que prevalecen en los lugares que se presentan, son factores de gran interés para los gobiernos y la comunidad científica en todo el mundo, con el objetivo de identificar las zonas en la que pudieran presentarse estos fenómenos y de alguna forma estar preparados con el desarrollo de planes de atención o de gestión de riesgo.

La ciencia Geomática a través de sus modelos de conocimiento y marcos teóricos orientados a la caracterización, uso y apropiación del territorio ofrece las herramientas geotecnológicas apropiadas para el desarrollo de estudios orientados a la evaluación de zonas susceptibles a ser afectadas por Tsunamis.

Geomática es el término científico moderno que hace referencia al conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica. También llamada información espacial o geoespacial. El término geomática está compuesto por dos ramas *Geo-Tierra*, y *Mática-Informática*; es decir el estudio de la superficie terrestre a través de la informática (tratamiento automático de la información) [5].

CAPÍTULO 1. Metodología

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, por sus siglas acrónimo inglés-*Geographic Information System*); es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión [6].

Para el desarrollo del presente estudio se aplicaron los SIG, mediante el software ArcGis 10.5, el cual ayudó a procesar información mediante el modelo digital de elevación del municipio de Acapulco, además para poder analizar espacialmente la ubicación de las afectaciones y determinar así las pérdidas tanto como económicas como sociales que produciría el suceso de un Tsunami.

Para lograr lo planteado, se desglosó la metodología de la siguiente manera:

- i. Zona de estudio
- ii. Materiales
- iii. Procesos

1. Zona de Estudio

La bahía de Acapulco se localiza en la plataforma del Estado de Guerrero (99°50'52"-99°56' N y 16°47'-16°51'40" O); tiene una forma semicircular, una longitud aproximada de 7 km y una anchura promedio de 10 km (Figura 3). Sus profundidades oscilan entre los 10 y 30 m, pero dada su cercanía con la Trinchera

Mesoamericana, apenas en su entrada ya existen profundidades de 50 m y 20 km mar adentro, incluso los 400 m [7].



Figura 3.- Zona de Estudio Bahía de Acapulco.

Para poder delimitar la zona de riesgo por Tsunami, se recurrió en recolectar información sobre el Estado, principalmente en la ciudad de Acapulco de Juárez, se identificó la zona de estudio con apoyo de herramientas como el programa de Google Earth para conocer su localización en la que se encuentra y su extensión aproximada.

ii. Materiales

Para cumplir con el objetivo planteado fue necesario contar con la traza urbana de la ciudad de Acapulco de Juárez, Gro., en su formato vectorial, el cual fue descargado de la página web del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Además, se requirió información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) y la base de datos del censo de población los cuales también se descargaron de la página web del INEGI.

Con el fin de establecer una cota máxima de afectación, fue necesario también se descargó Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la zona de Acapulco de Juárez desde la página web del US Geological Service (USGS).

iii. Procesos

En la etapa del análisis del trabajo, se inició, cargando en Arcmap, el archivo vectorial de la traza urbana de Acapulco y al mismo tiempo el MDE de la misma zona, con el fin de determinar la zona vulnerable ante el caso de un Tsunami; en función de las elevaciones registradas de la ciudad, considerando que las zonas afectadas serian aquellas con una elevación máxima de 12 m (Figura 5); que se obtuvo con un proceso de análisis espacial de un trabajo previo que determinó el valor de la altura hasta donde se extiende la ola tierra adentro [1].

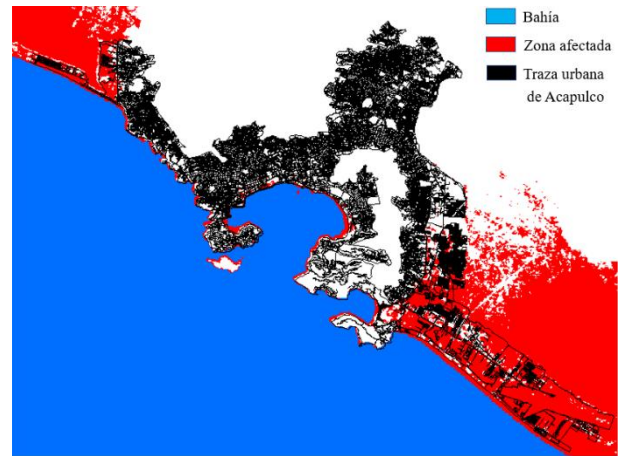


Figura 5.- Zona de afectación por posible Tsunami en Acapulco

La figura muestra la identificación de cotas menores o iguales a 12 m (color rojo) en la zona de estudio. Se incluye la traza urbana de Acapulco (color negro).

Una vez identificada la zona que sería afectada por el fenómeno, se analizaron las manzanas, agregando a la base de datos un campo referenciado como “afectación” y se seleccionó manzana por manzana asignándole un indicador (1), para las manzanas que por su elevación llegarían a ser alcanzadas por el Tsunami para así, después poder caracterizar y contabilizar las manzanas que serían afectadas (Figura 6).

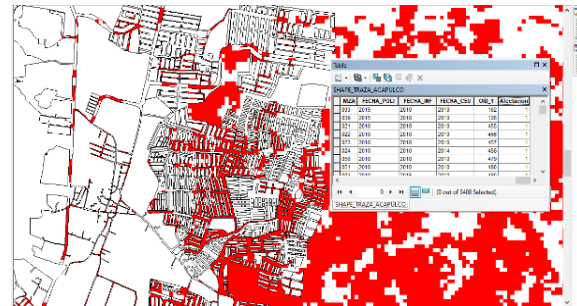


Figura 6.- identificación de manzanas afectadas.

A continuación, se incorporó al análisis la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) [8], para identificar las unidades económicas que por su ubicación quedan dentro de la zona de afectación y así obtener el impacto económico que ocasionaría un evento de este tipo. Para lograr esto, se agregaron dos campos en la base de datos del DENUE referenciando a uno como *Afectación* y asignándole el indicador (1) para determinar las unidades alcanzadas por el Tsunami. Un segundo campo se agregó y se referenció como *Actividad*, asignándole un indicador diferente correspondiente a un agrupamiento por categoría por cada tipo de establecimiento o negocio afectado (Figura 7).

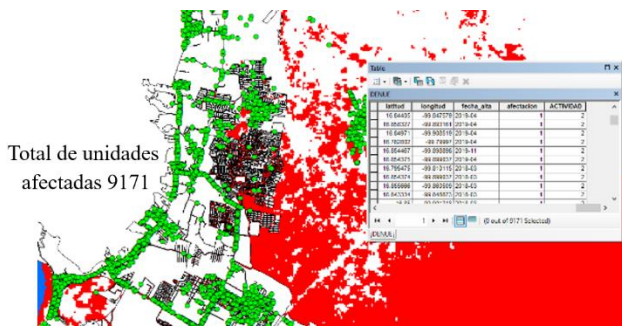


Figura 7.- Identificación de unidades económicas afectadas

A partir de las bases de datos ajustadas se procedió a complementar el análisis cualitativo y cuantitativo de las zonas afectadas en cuanto a superficies, número de manzanas, número de viviendas, cantidad de población afectada, el total de negocios afectados y su tipo.

CAPÍTULO 2. Resultados

De acuerdo con el análisis realizado, la presencia de un posible Tsunami en Acapulco con las características consideradas en este estudio; afectaría una superficie total de 5,012.33 hectáreas. De acuerdo con los datos del inventario de manzanas del 2016 del INEGI; en esta superficie se ubican 3,408 manzanas y en estas 60,298 viviendas, de las cuales 18,583 son habitadas. Se afecta un total de 62,871 habitantes, de los cuales 17,213 tienen entre 0-14 años y 4,135 son de edad de 60 y más años [9].

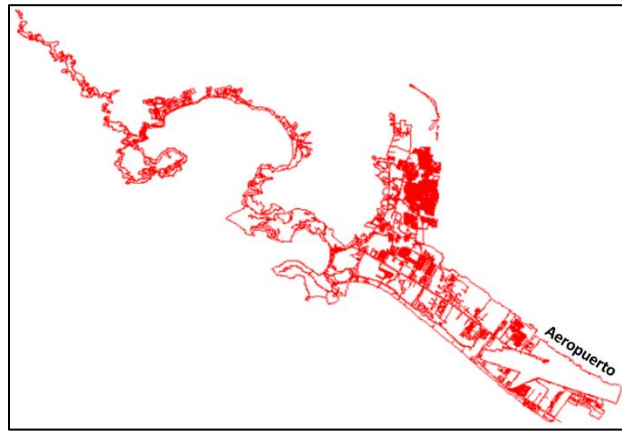


Figura 8. Afectación de manzanas

Respecto al análisis de las afectaciones económicas, de acuerdo con los datos del DENUE, en la zona a ser afectada por un posible Tsunami se encuentran un total de 9,171 unidades económicas [8], (Figura 9).

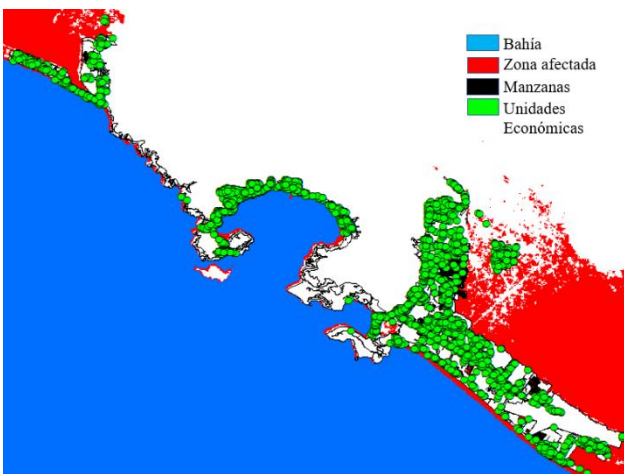


Figura 9.- Afectación de las unidades económicas

A continuación, se muestra en una gráfica de pastel, la categorización de las unidades económica afectadas organizadas por tipo (Figura 10).

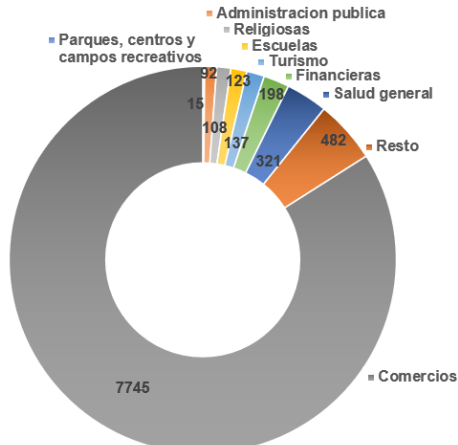


Figura 10. Unidades económicas afectadas por tipo

En la figura se observan organizadas por tipo las unidades económicas afectadas, con el número y porcentaje correspondiente. Se puede observar una categoría adicional denominada como *resto*; esta se refiere a los diversos tipos aislados de establecimientos que también resultan afectados.

Puede observarse que el grupo de unidades dedicadas al Comercio son las que más se afecta con el 84.4% (7,745) del total; también se observa que el grupo menos afectado es el de Parques, Centros y Campos Recreativos con el 0.2%.

CAPÍTULO 3. Discusión

Puede observarse de acuerdo con los resultados, que las 3,408 manzanas afectadas, resultan ser en su mayoría zonas de importante concentración no solo de habitantes, sino también registran un número importante de negocios y consecuentemente también registran una gran afluencia de turistas y pobladores nativos en actividades de recreación.

La zona de Puerto marqués y a lo largo del corredor Puerto marqués-Llano largo, es topográficamente baja y por sus elevaciones, eventualmente puede ser alcanzada por una ola de Tsunami. Esta zona presenta una gran concentración de población y en los límites se encuentran centros comerciales importantes como lo son Plaza Sendero y La Isla. De igual manera se encuentra el Forum Mundo Imperial que es el centro de espectáculos más importante de la ciudad de Acapulco, Gro. En este mismo orden de ideas, en esa misma zona al este de Llano largo, se encuentran una serie de fraccionamientos, como Joyas del marqués, La Marquesa, Las gaviotas I y II, etc., que presentan una importante concentración de habitantes.

Otro sector de importancia estratégica, lo representa el aeropuerto internacional General Juan N. Álvarez de Acapulco, pues aunque de acuerdo a la información topográfica, este está por encima de la cota de riesgo de 12 m, su cercanía a zona de la franja de costa en la playa Bonfil, hace necesario verificar y garantizar que se encuentre a salvo de un evento de este tipo.

De acuerdo con lo anterior y a los mapas de afectación resultantes del presente estudio, resulta fundamental para las instituciones de salvaguarda de la población, considerar esta información para establecer programas de prevención y planes de gestión de desastres.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, es posible darse cuenta de que los Tsunamis son fenómenos naturales no predecibles ni controlables, cuya magnitud genera grandes pérdidas materiales y humanas y estos se pueden generar en zonas de acuerdo con sus condiciones geográficas y sísmicas. El Estado de Guerrero y especialmente la ciudad y puerto de Acapulco, se encuentra dentro de la posibilidad de ser afectado por un evento de este tipo.

CONCLUSIONES

La ciencia Geomática resulta en estudios de este tipo, toda vez que, a través de sus modelos de conocimientos y marcos teóricos, ofrecen herramientas geotecnológicas como los SIG, que como pudo constatare en el presente trabajo, son útiles para la evaluación de zonas vulnerables a Tsunamis u otro tipo de fenómenos naturales que afectan a la sociedad.

La topografía es una labor esencial para muchos trabajos. Construcción, urbanismo, ingeniería civil, edificación, industria, geoinformación, cartografía, territorio, etc., siempre que sea necesario realizar un estudio de un terreno es necesario el trabajo del topógrafo y de la Geomática. Precisamente son profesionales que pueden proporcionar la información del terreno con mayor detalle y pueden averiguar y analizar elementos que a otros les pasarían desapercibidos. Además, conocen las técnicas y herramientas topográficas y geomáticas necesarias para el análisis de estudios científicos.

Con la evaluación de este análisis observamos que las consecuencias de un posible Tsunami en la ciudad de Acapulco serían trágicas para la sociedad, ya que los daños serían muy grandes tanto en lo material como lo social. Para prevenir este

tipo de pérdidas y daños podemos trabajar conjuntamente tanto gobierno como pobladores para poder así determinar rutas de evacuación y alberges donde puedan refugiarse las personas afectadas.

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce el trabajo desarrollado por el M.C. Álvaro López Arellano (QEPD), un profesor incansable y ejemplo de la Facultad de Ingeniería de la UAGro. A través de sus publicaciones fue posible obtener información valiosa sin la cual no hubiera sido posible el presente trabajo. Se agradece también al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), ya que la información de estadística sociodemográfica y económica resultado vital para complementar el presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] López Arellano, A. 2012. *Modelado de riesgo de un Tsunami, mediante SIG, en la Cd. de Acapulco, Gro.* Congreso Internacional de Topografía y Geomática. Acapulco, Gro.
- [2] Wikipedia. 2020. *Acapulco de Juárez.* Enlace: https://es.wikipedia.org/wiki/Acapulco_de_Juárez. (consultado en abril de 2020).
- [3] Wikipedia. 2019. *Terremoto de Guerrero en 1907.* Enlace: https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Guerrero_de_1907 (consultado en marzo 2020).
- [4] SEMAR. 2020. *Que hacer en caso de un Tsunami.* Enlace: <https://digahm.semar.gob.mx/cat/tsunami.html> (consultado en marzo 2020).
- [5] Topoequipos. 2020. *¿Qué es Geomática?.* Enlace: <http://www.topoequipos.com/dem/qu-es/terminologa/que-es-geomtica> (consultado en marzo 2020).
- [6] Wordpress. 2010. *Sistemas de Información Geográfica.* Enlace: <https://langleruben.wordpress.com/?que-es-un-sig/> (consultado en marzo 2020).
- [7] Meave-del Castillo, M. E., Zamudio-Resendiz, M. E., & Castillo-Rivera, M. (2012). *Riqueza fitoplanctónica de la bahía de Acapulco y zona costera aledaña, Guerrero, México.* Acta botánica mexicana, (100), 405-487. Versión On-line, ISSN 2448-7589, Versión impresa ISSN 0187-7151. Enlace: www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512012000300013 (consultado en abril 2020).
- [8] INEGI. 2016. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Enlace: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/> (consultado en abril 2020).
- [9] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 2016. *Inventario Nacional de Viviendas 2016.* Versión SIG digital. Enlace: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/INV/Default.aspx?ll=23.840000000000003,-102.98&z=5> (consultado en abril 2020).