

Peligro sísmico en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: dos casos de estudio

Seismic hazard in the metropolitan zone of Tuxtla Gutiérrez:
two case studies

—

Roberto Moreno Ceballo¹ • roberto.moreno@unicach.mx

Jorge Antonio Paz Tenorio² • jorge.paz@unicach.mx

Carlos Narcía López³ • carlos.narcia@unicach.mx

Raúl González Herrera⁴ • ingeraul@yahoo.com

Josué Alexis Clemente Quezad⁵ • josalex003@gmail.com

1 LABORATORIO DE CÓMPUTO Y SIG, ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL,
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS,
TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO.

2 MAESTRÍA EN CIENCIAS EN DESARROLLO SUSTENTABLE, FACULTAD DE
INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS, TUXTLA
GUTIÉRREZ, CHIAPAS, MÉXICO.

3 ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL, FACULTAD DE INGENIERÍA,
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS, TUXTLA GUTIÉRREZ,
CHIAPAS, MÉXICO.

4 CONSULTOR PRIVADO, OTTAWA, CANADÁ

5 PROTECCIÓN CIVIL MUNICIPAL DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.MÉXICO



Para citar este artículo:

Moreno Ceballo, R., Paz Tenorio, J. A., Narcía López, C., González Herrera, R., & Clemente Quezada, J. A. Peligro sísmico en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: dos casos de estudio. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 14(39). <https://doi.org/10.31644/IMASD.39.2025.a06>

RESUMEN

En la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez-conformada por los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, Berriozábal, San Fernando y Suchiapa-, la interacción de la actividad humana con las características naturales ha originado escenarios peligrosos en los que se presentan diferentes niveles de vulnerabilidad ante eventos sísmicos. Las consecuencias de los sismos ocurridos en esta región sureste de la República Mexicana han cobrado vidas y generado daños importantes que han trascendido en los grupos con mayor grado de marginación de la población. Esta investigación aborda los daños históricos y los espesores de suelo como indicadores del efecto de sitio para un análisis de la peligrosidad sísmica de dos municipios: Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo. Se empleó una metodología multiparámetro (Moreno Ceballo et al., 2019, Moreno Ceballo et al., 2020) basada en los Sistemas de Información Geográfica, que contempló una revisión documental y un registro en campo de daños históricos por sismo en las dos localidades, las microzonificaciones sísmicas de estas ciudades que cuentan con períodos fundamentales de vibración del suelo que varían entre 0.14 s y 0.39 s para Chiapa de Corzo (Salgado et al., 2004) y entre 0.08 s y 1.33 s para Tuxtla Gutiérrez (González-Herrera et al., 2013, Narcía López et al., 2006). Con el modelo empleado por Newmark y Rosenbleuth (1976), se obtuvo la variación de los espesores de sedimentos que conducen el efecto de sitio en la zona, considerando una velocidad media de onda de corte de 150 m/s. Finalmente se elaboraron mapas de espesor de sedimentos para ambas manchas urbanas, que oscilan entre 7.12 m y 14.62 m para Chiapa de Corzo y entre los 3 m y 46.78 m para Tuxtla Gutiérrez y se realizó una correlación espacial con los daños históricos por sismo en ambas localidades.

Palabras Clave:

Amplificación sísmica; mapa; microzonificación sísmica; vulnerabilidad sísmica.

— Abstract—

In the metropolitan zone of Tuxtla Gutiérrez, made up of the municipalities of Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, Berriozábal, San Fernando and Suchiapa, the interaction of human activity with natural features has given rise to dangerous scenarios in which the region presents different levels of vulnerability to seismic events. The consequences of the earthquakes that occurred in this southeastern region of the Mexican Republic have claimed lives, generating significant damage that has transcended the groups with the greatest degree of marginalization of the population. This research addresses historical damage and soil thicknesses as indicators of the site effect for an analysis of the seismic hazard of two municipalities: Tuxtla Gutiérrez and Chiapa de Corzo. A multiparameter methodology (Moreno Ceballos et al., 2019, Moreno Ceballos et al., 2020) based on Geographic Information Systems was used, which included a documentary review and a field record of historical damage due to earthquakes in the two localities, the seismic microzonings of these cities that have fundamental periods of ground vibration that vary between 0.14 s and 0.39 s for Chiapa de Corzo (Salgado et al., 2004) and between 0.08 s and 1.33 s for Tuxtla Gutiérrez (González-Herrera et al., 2013, Narcía López et al., 2006). With the model used by Newmark and Rosenbluth (1976), the variation of sediment thicknesses that lead to the site effect in the area was obtained, considering an average shear wave velocity of 150 m/s. Finally, sediment thickness maps were prepared for both urban areas, ranging from 7.12 m to 14.62 m for Chiapa de Corzo and between 3 m and 46.78 m for Tuxtla Gutiérrez, and a spatial correlation was made with the historical damage caused by earthquakes in both localities.

Keywords:

Seismic amplification; map; seismic microzonation; seismic vulnerability.

En México, gran parte del territorio nacional presenta un riesgo sísmico significativo, generado principalmente por los terremotos que ocurren en la Costa del océano Pacífico, en la conjunción de las placas tectónicas de Cocos y de Norteamérica. El estado de Chiapas es una región considerablemente propensa a la actividad sísmica, esto debido a una característica singular con respecto al resto de la República Mexicana, en él convergen tres placas tectónicas: la Placa de Cocos, la Placa de Norteamérica y la Placa del Caribe (Figura 1).

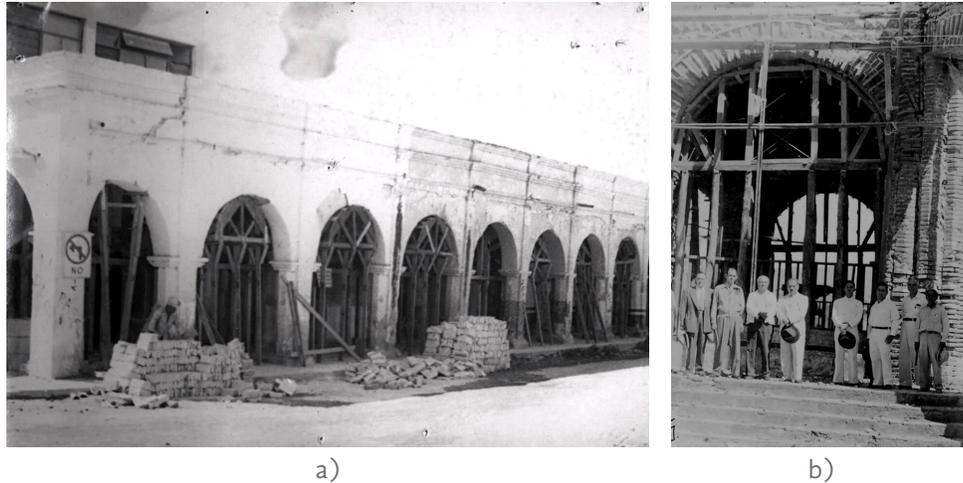


Nota. (CENAPRED, 2006).

Figura 1. Placas tectónicas que interactúan en el estado de Chiapas con su respectiva dirección de desplazamiento

Chiapas se divide en cuatro provincias tectónicas: la provincia de las Fallas Inversas, la provincia de las Fallas Laterales, el Batolito de Chiapas y las Fallas de Motagua-Polochic (Guzmán y Meneses, 2000) y se han identificado además cinco fuentes sismogénicas (González-Herrera, 2014) que han originado los sismos ocurridos en la región, siendo la primera el proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica (Suárez y Singh, 1986; Pardo y Suárez, 1995). La segunda fuente está asociada a la deformación interna de la placa subducida, esta produce sismos que van desde los 80 hasta los 300 km de profundidad, del tipo intraplaca, como el ocurrido el 07 de septiembre de 2017, de Mw 8.2. La tercera fuente corresponde a sistemas de fallas superficiales que han provocado una deformación cortical, esta origina temblores de magnitud y profundidad moderada (González-Herrera et al., 2015).

Estos sismos provocan daños a nivel local, como los ocurridos en Chiapa de Corzo entre julio y octubre de 1975 (Figura 2a y 2b) (Nadayapa, 2011). La presencia de volcanes activos en el estado (el Tacaná y el Chichonal o el Chichón) y el fallamiento lateral izquierdo entre la Placa de Norteamérica y la Placa del Caribe (González-Herrera, 2015), corresponden a la cuarta y quinta fuente respectivamente.



Nota. (Nandayapa, 2011).

Figura 2. Daños en los portales y caída de uno de los remates de los arcos botareles de la fuente colonial de Chiapa de Corzo, Chiapas

ÁREA DE ESTUDIO

Las Zonas Metropolitanas (ZM) se definen como el conjunto de municipios relacionados entre sí por un alto grado de integración física o funcional de manera intermunicipal o interestatal. Otro requisito para ser catalogada ZM es que la población total de los municipios que la conforman sea superior a los 200 mil habitantes y que la localidad urbana o conurbación que da origen a la misma cuente con más de 100 mil habitantes (SEDATU, 2020).

La dinámica de desarrollo y crecimiento económico que experimentan algunas ciudades, como el caso de Tuxtla Gutiérrez, las ha llevado a rebasar sus límites municipales (INEGI, 2014), esto ha provocado que se actualicen en su composición. En el 2023 se publicó el documento “Metrópolis de México 2020”, resultado de un trabajo colaborativo entre el Consejo Nacional de Población (CONAPO), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) en el cual se definen 48 ZM en México, conformadas por 345 municipios en los que residen 67.6 millones de personas.

Por lo tanto, la ZM de Tuxtla Gutiérrez (Figura 3), está integrada por este municipio (capital del estado de Chiapas), además de Berriozábal, Chiapa de Corzo, Suchiapa y San Fernando, tal como puede apreciarse en la Tabla 1.

Tabla 1
Municipios que conforman la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez

Municipio	Superficie (Km ²)	Altitud	Cantidad de habitantes
Tuxtla Gutiérrez	334.61	527	604,147
Chiapa de Corzo	829.98	509	112,075
Berriozábal	351.70	904	64,632
Suchiapa	283.66	460	25,627
San Fernando	359.26	912	41,793

Mapa de localización de la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez en el estado de Chiapas, México

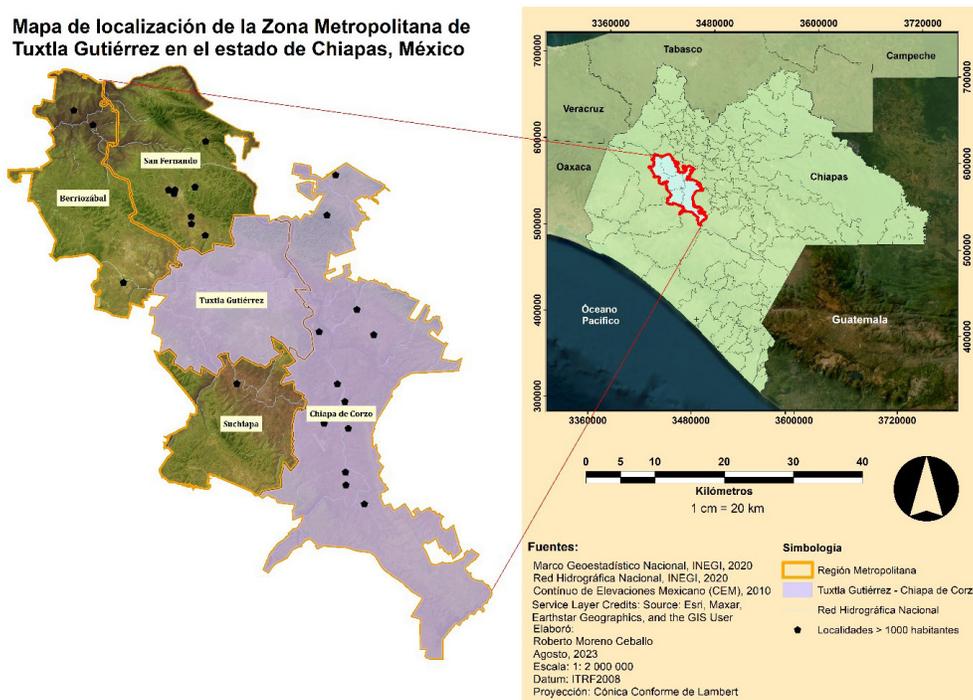


Figura 3. Mapa de localización de la Región Metropolitana del estado de Chiapas, México

La ZM de Tuxtla Gutiérrez ha experimentado un crecimiento importante en el período comprendido entre 2010 y 2020, a nivel población, aumentó en más de 100 mil habitantes, lo cual representa un incremento del 14 por ciento aproximadamente (Figura 4).



Figura 4. Crecimiento poblacional en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez de acuerdo a los censos poblacionales de INEGI de los años 2010 y 2020 respectivamente

Características generales del área de estudio

En la zona norte de la región predomina la sierra alta de laderas tendidas, seguido de sierra alta escarpada compleja; al sur de la región predomina la meseta con cañadas, seguido de la sierra alta de laderas tendidas y en menor proporción de áreas de cañones típicos. En la zona este de la región se localiza el valle de laderas tendidas con lomerío y sierra alta de declive escarpado; en la parte oeste de la región predomina el lomerío típico, al centro de la región se localiza la meseta típica y llanura aluvial con lomerío (Mullerried, 1957), en esta zona se encuentra el Cañón del Sumidero, geoforma de grandes dimensiones producto de un sistema de fallas y fracturas geológicas, además de la acción erosiva del río Grijalva; las formas de relieve con poca pendiente con lomas, mesetas y valles predominan en el centro, lo que representa aproximadamente el 60% del territorio.

La altura del relieve va desde menos de 30 m y hasta los 2,600 m sobre el nivel del mar (INEGI, 2004). En el área de estudio, de manera general se presentan 8 unidades de suelo, dentro de las cuáles existe una mayor distribución porcentual del Litosol, Regosol y Rendzina:

Tabla 2
Unidades de suelo de la Zona Metropolitana

Unidades de suelo	Distribución Porcentual
Litosol	38.04
Regosol	20.90
Rendzina	14.38
Vertisol	10.51
Luvisol	4.91
Acrisol	4.55
Feozem	3.54
Fluvisol	1.67
Cuerpo de agua	0.93
Zona Urbana	0.58

Nota. (INEGI. Carta Topográfica escala 1:250 000 Serie III. INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005)

En cuanto a la Geología, la superficie de la ZM presenta siete tipos de roca y se compone de suelos terciarios, predominan tres tipos, caliza (34.46%), limonita-arenisca (29.01%), y lutita-arenisca (16.55%). También de suelos cretácicos: limolita (7.35%) y aluvial (07.22%). Otras composiciones variadas de suelo conforman el 05.40% restante de la superficie de la región (Secretaría de Hacienda, 2017).

Sismicidad en la región

Los sismos ocurridos en la región han tenido un fuerte impacto en la región sureste de México, trascendiendo considerablemente en los grupos con mayor grado de marginación de la población. De acuerdo al censo de población y vivienda realizado por INEGI en el año 2010, más del 70% de la población de la región presenta un grado de marginación medio – alto. El análisis del peligro sísmico en una región determinada engloba el manejo de gran cantidad de información, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos para dos casos de estudio: Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo. Ambos sitios fueron seleccionados por la existencia de edificaciones con alto valor patrimonial, por contar con un fondo habitacional con cierto grado de deterioro y por la presencia de zonas con alto grado de marginación.

El efecto de los sismos en las ciudades antes mencionadas se puede apreciar a distintas escalas, a nivel estatal por haber sufrido eventos telúricos de gran envergadura que afectaron las construcciones patrimonio cultural de la humanidad como es el caso de Chiapa de Corzo (sismos de octubre de 1975), o el sismo de octubre de 1995 para Tuxtla Gutiérrez y a nivel local por las características del suelo los niveles de amplificación sísmica. La

ocurrencia de eventos de gran magnitud (Figura 5), como el suscitado el 07 de septiembre de 2017 (Mw 8.2) nos reiteran la necesidad de realizar estudios de peligro en zonas de una amplia riqueza cultural.



Figura 5. Sismos ocurridos en el estado de Chiapas entre 1900 y 2022 con una magnitud $M > 6$

METODOLOGÍA

Para esta investigación se empleó una metodología multiparámetro (Moreno Ceballos et al., 2019, Moreno Ceballos et al., 2020) basada en los Sistemas de Información Geográfica, que contempló las características geológicas, edafológicas y se determinaron además las zonas susceptibles a inundación o llanuras inundables. También se empleó una base de datos de daños históricos por sismos en la región, muchos de ellos recabados en campo entre 2017 y 2020:

Revisión documental y recolección de datos en campo

Revisión documental de los eventos sísmicos registrados en la zona de estudio, a partir de encuestas aplicadas a la población y entrevistas semiestructuradas realizadas a cronistas e historiadores. Esto permitió realizar una recopilación de los daños presentados con la ocurrencia eventos sísmicos en la región, destacando los ocurridos el 06 de octubre de 1975 (para el caso de Chiapa de Corzo) y el sismo del 07 de septiembre de 2017 de 8.2 Mw.

Las bases de datos de los daños históricos se construyeron fortaleciendo la investigación documental con trabajo de campo, donde también se consideró el uso que han tenido los inmuebles desde 1975 a la actualidad (Moreno-Ceballos et al., 2020). Se empleó un navegador GPS/GNSS para referenciar geográficamente las edificaciones que presentaron daños por los eventos sísmicos considerados para este trabajo.

Zonas inundables

Las zonas adyacentes a los cauces fluviales son muy atractivas para los desarrollos urbanísticos, la utilización de dichas zonas, sin considerar los límites naturales necesarios para evacuar las crecientes, ha contribuido a amplificar el efecto negativo de las inundaciones, que en algunos casos dejan consecuencias trágicas (Arbeláez et al., 2002). Es por ello que se determinaron las zonas inundables por la presencia de ríos importantes que históricamente han provocado afectaciones en las zonas urbanas del área de estudio, como es el caso de las inundaciones provocadas por el huracán Arthur en el 2008 (Hernández, 2009) y huracán Matthew en el 2010 (López, 2010) en Chiapa de Corzo.

La amplificación del movimiento del suelo es una de las principales causas de daños importantes en zonas con depósitos sedimentarios poco compactados. Según Schmudde (1968), la llanura de inundación, una forma geomorfológica generalmente compuesta por material no consolidado transportado por los ríos, favorece este fenómeno. Estos suelos incrementan la amplificación sísmica, intensificando los efectos de un sismo, de manera general, los daños causados se relacionan con variaciones de los materiales geológicos cercanos a la superficie y, de manera particular, estas amplificaciones del movimiento del terreno se asocian con depósitos sedimentarios recientes y poco consolidados (Tinsley y Fumal, 1985).

Grado de daño y determinación de la vulnerabilidad

Para la asignación del grado de daño y determinación de la vulnerabilidad sísmica se empleó la Escala Macrosísmica Europea (EME), esta considera una descripción y esquema gráfico, además define en forma cualitativa cada uno de los cinco grados de daño de que consta; donde el grado de daño varía del grado 1 que corresponde a daños despreciables, hasta el grado 5 que es asociado al colapso total del inmueble (Grunthal, 1998), (Arellano et al., 2003), (Silva, 2006). Se analizó además la calidad en la edificación tomando en cuenta los materiales empleados y se determinaron las zonas de mayor amplificación sísmica a partir de mediciones de los períodos fundamentales de vibración del suelo y su posterior comparación con el espesor de sedimentos y el empleo de las variables: Edafología, Geología, Daños históricos, Amplificación Sísmica.

Elaboración de mapas

Finalmente se elaboraron mapas que contienen información sobre los daños históricos por sismo y el espesor de sedimentos para las manchas urbanas.

En 1976, Newmark y Rosenbleuth acuñaron una expresión que relaciona el espesor de los sedimentos con su período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de ondas de corte:

$$T = 4 \sum_i^n \frac{h_i}{\beta_i} \quad (1)$$

Donde T representa el período natural del terreno, h es el espesor del i -ésimo estrato y β es la velocidad de propagación de ondas de corte. El número de estratos sedimentarios está representado por n . A partir de este modelo, simplemente despejamos para obtener la ecuación definitiva con la cual se alimentó al software ArcMap con el propósito de obtener los valores que se interpolaron posteriormente:

$$h_i = \frac{(T \times \beta_i)}{4} \quad (2)$$

Para estimar los espesores de sedimentos bajo ambas manchas urbanas, se utilizó el modelo descrito anteriormente, complementariamente al cálculo de los períodos naturales de vibración de los suelos. Para esto se usó una velocidad β promedio de 150 m/s (Narcía et al., 2006), los períodos usados para Chiapa de Corzo corresponden a los hallados por Salgado et al. (2004); mientras que para el caso de Tuxtla Gutiérrez se emplearon 285 mediciones realizadas en toda la mancha urbana (Figura 6).

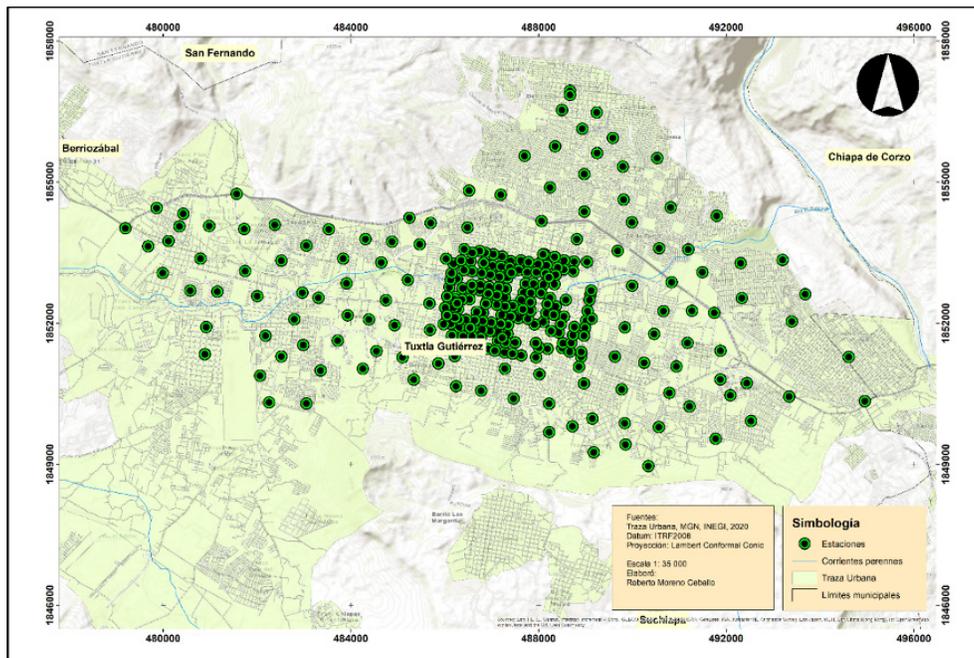


Figura 6. Localización de las estaciones para medir los períodos fundamentales de vibración ambiental en la cabecera municipal de Tuxtla Gutiérrez

CHIAPA DE CORZO

Chiapa de Corzo se localiza sobre la carretera federal 190, a escasos 12 Km de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas. Es cabecera municipal del municipio del mismo nombre y geográficamente se ubica en los límites de la depresión Central y del Altiplano Central, sus coordenadas geográficas son 16° 42"N y 93° 00"W (497920.00 m E y 1849152.00 m N, Zona 15 N), su altitud es de 406 msnm y cuenta con una extensión territorial de 869.21 km² (INAFED, 2018). Colinda al norte con los municipios de Osumacinta, Soyaló e Ixtapa; al este con los municipios de Ixtapa, Zinacantán, Acala, y Venustiano Carranza; al sur con los municipios de Venustiano Carranza y Villa Corzo; al oeste con los municipios de Villa Corzo, Villaflores, Suchiapa, Tuxtla Gutiérrez y Osumacinta (INEGI, 2008).

El municipio de Chiapa de Corzo tiene características geológicas, donde predomina la caliza en un 40.84%, Lutita – Arenisca (27.06%), Limolita – Arenisca (13.22%), Caliza – Lutita (10.56%), Conglomerado (7.44%), Ígnea Intrusiva Básica (0.74%) y Arenisca – Conglomerado (0.12%) (INEGI, 2008).

En cuanto a las características edafológicas, la porción Este de la población está conformada por un Regosol calcárico, en esta zona existen algunos lomeríos bajos. El lado Oeste y una pequeña porción al Sur se encuentran en un Vertisol pélico; así mismo, otra zona al Suroeste del poblado está constituido por un Fluvisol éutrico. Al Sur y Suroeste se encuentra el cuerpo de agua que constituye el río Grande de Chiapa o río Grijalva. La mayor parte del centro histórico de Chiapa de Corzo es sensiblemente plana (Salgado et al., 2004).

El mapa de la Figura 7 ilustra la distribución de los daños provocados por sismo en la cabecera municipal de Chiapa de Corzo, se puede apreciar una concentración en la zona centro y en las zonas cercanas al río Grijalva. Varias edificaciones importantes se han visto afectadas de manera reincidente como el templo del Calvario, la iglesia de Santo Domingo, la iglesia de San Jacinto y algunas viviendas que sobrevivieron a ambos eventos sísmicos. El mayor número de afectaciones corresponde a las tradicionales casas de adobe, aproximadamente el 30 % de las edificaciones censadas durante el trabajo de campo; es importante especificar que el adobe por lo general presenta un pobre comportamiento estructural durante la ocurrencia de fenómenos naturales como es el caso de los sismos.

La amplificación del terreno local puede deberse a la naturaleza, composición y morfología de las capas superficiales de suelo. A este fenómeno local del comportamiento del terreno se le conoce como “efecto local”, “respuesta local” o “efecto del sitio” (Rodríguez, 2005). El daño presentado en los inmuebles es causado, en gran medida por la amplificación del movimiento del suelo, la cual es mayor en áreas

constituidas por depósitos de sedimentos blandos y poco compactados, como las zonas cercanas a las márgenes de los ríos.

Geomorfológicamente, la llanura de inundación es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión (Schmudde, 1968), la presencia de este tipo de suelos favorece la amplificación sísmica provocando un mayor efecto de sitio ante un sismo, es por ello que tras una profunda revisión documental, así como la incorporación de reportes de Protección Civil, se elaboró un mapa del Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) para la cabecera municipal de Chiapa de Corzo (Figura 8).

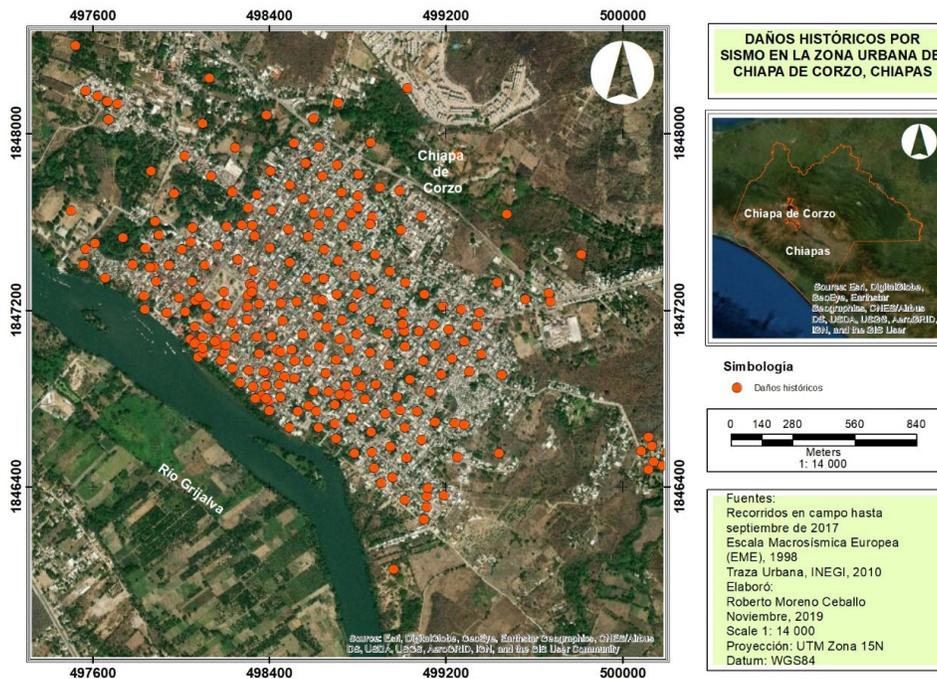


Figura 7. Ubicación de los daños históricos en Chiapa de Corzo Chiapas en dos eventos sísmicos

De manera general, los perjuicios causados por la sacudida del terremoto comúnmente se relacionan con variaciones de los materiales geológicos cercanos a la superficie y, de manera particular, estas grandes amplificaciones del movimiento del terreno se asocian con depósitos sedimentarios recientes y poco consolidados (Tinsley y Fumal, 1985).

Los planes de desarrollo de las poblaciones deben contemplar la respuesta sísmica local del subsuelo, con el fin de definir los parámetros específicos de diseño estructural sísmoresistente, de acuerdo al historial sísmico de la región (IPCMIRD, 2010). Esta investigación aborda principalmente la parte física dentro del análisis del riesgo sísmico, estudiando el estado actual de los edificios y el proceso de construcción de la vulnerabilidad, principal-

mente por la intervención humana que ante la ausencia de la asesoría técnica recurren a procesos de autoconstrucción o a la utilización de materiales que no cumplen con la normatividad correspondiente.



Nota. (Moreno-Ceballo et al., 2019)

Figura 8. Llanura inundable de la cabecera municipal de Chiapa de Corzo

Tabla 3
Sismos que han afectado a Chiapa de Corzo

Fecha	Latitud	Longitud	Magnitud
05/06/1897	16.30	-95.40	7.4
19/04/1902	14.90	-91.50	7.5
23/09/1902	16.60	-92.60	7.7
14/01/1903	15.00	-93.00	7.6
09/12/1912	15.50	-93.00	7.0
30/03/1914	17.00	-92.00	7.2
10/12/1925	15.50	-92.50	7.0
28/06/1944	15.00	-92.50	7.1
26/09/1955	15.50	-92.50	6.9
09/11/1956	17.45	-94.08	6.3
29/04/1970	14.52	-92.60	7.3
05/10/1975	16.74	-92.92	4.8
10/09/1993	14.20	-92.80	7.2
14/03/1994	15.98	-92.43	6.8
21/10/1995	16.81	-93.47	7.1
18/11/2001	15.45	-93.60	6.3
16/01/2002	15.58	-93.60	6.3
07/09/2017	15.76	-93.70	8.2

Nota. (Salgado et al., 2004; SSN, 2017)

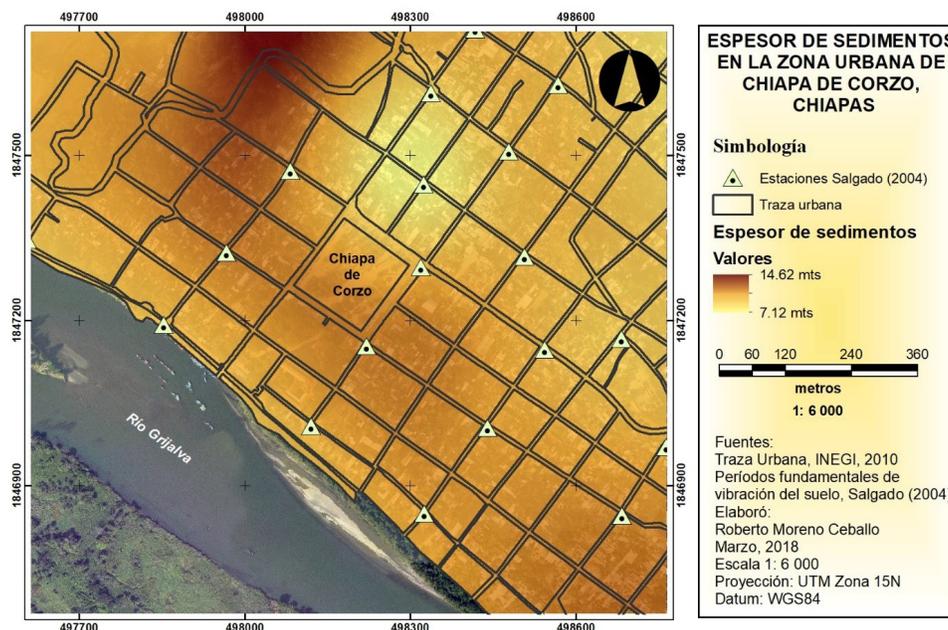


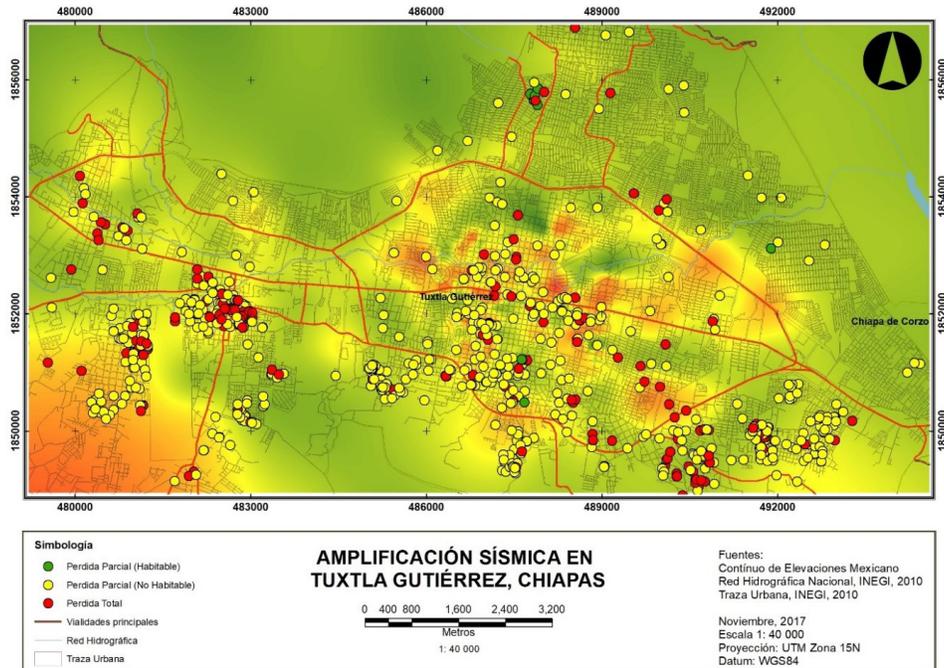
Figura 9. Mapa de espesor de sedimentos para la cabecera municipal de Chiapa de Corzo, Chiapas

TUXTLA GUTIÉRREZ

Ubicada en la Depresión Central del estado de Chiapas presenta relieve montañoso al norte y al sur. Su extensión territorial es de 412.40 km², lo que representa el 3.26% de la región Centro y el 0.55% de la superficie estatal. Esta ciudad limita al norte con los municipios de San Fernando y Usumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocuahtla y Berriozábal (CEIEG, 2010).

El territorio municipal está conformado por sierras altas con laderas tendidas, llanuras con aportes aluviales y mesetas por erosión; en el parteaguas norte prevalece un conjunto de sierras cuya altitud no rebasa los 1,200 msnm. La ladera norte es estable, y está constituida por calizas del Cretácico superior (formación Ocozocoautla-La Angostura), corresponde a los flancos de la mesa de las Ánimas. En cambio, la ladera sur es inestable por naturaleza (Paz, 2012), ya que corresponde a depósitos recientes tipo coluvión, generados partir de los materiales desprendidos de bordes de la mesa kárstica de Copoya (Paz et al., 2011), misma que se compone de calizas y areniscas del Eoceno medio (formación San Juan) (Ferrusquia et al., 2000, citado en Paz-Tenorio et al., 2017).

La señal medida sobre el suelo durante la ocurrencia de un evento sísmico presenta distintas duraciones (Atakan et al., 1997; Lermo y Chávez-García, 1993), sobre todo en aquellos con una composición inestable, esto se debe al cambio que sufren las ondas sísmicas al atravesar los distintos estratos del suelo.



Nota. (González et al., 2020).

Figura 10. Amplificación sísmica en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

En la Figura 10 se presenta un mapa de amplificación sísmica en Tuxtla Gutiérrez (González-Herrera et al., 2012), en donde también se pueden observar los daños del sismo del 7 de septiembre de 2017 (8.2 Mw), resaltan un número importante de pérdidas totales y parciales con la ocurrencia de ese fenómeno. Cuando los materiales y sistemas constructivos empleados son homogéneos, por ende, también la vulnerabilidad de las construcciones, esto quiere decir que las afectaciones están condicionadas por el efecto de sitio (Moreno et al., 2019).

Además, se encuentra dentro de la cuenca del río Sabinal y está inmersa dentro de la Región Hidrológica Número 30 Grijalva-Usumacinta, cuenta con una longitud en su trayecto de 407 km, de los cuales 148.96 km se ubican en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, que representa el 36 %, aproximadamente. Nace en la loma “El Chupadero”, a 5 km al noroeste del municipio de Berriozábal (al poniente) y recorre 46.4 km para ir a desembocar en el río Grijalva (al oriente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez) en el municipio de Chiapas de Corzo (García Benítez, et al., 2022). En la Figura 11 se presenta un mapa de las zonas inundables en la cabecera municipal de Tuxtla Gutiérrez, elaborado a partir de reportes de Protección Civil Municipal en el período comprendido entre 2004-2016.

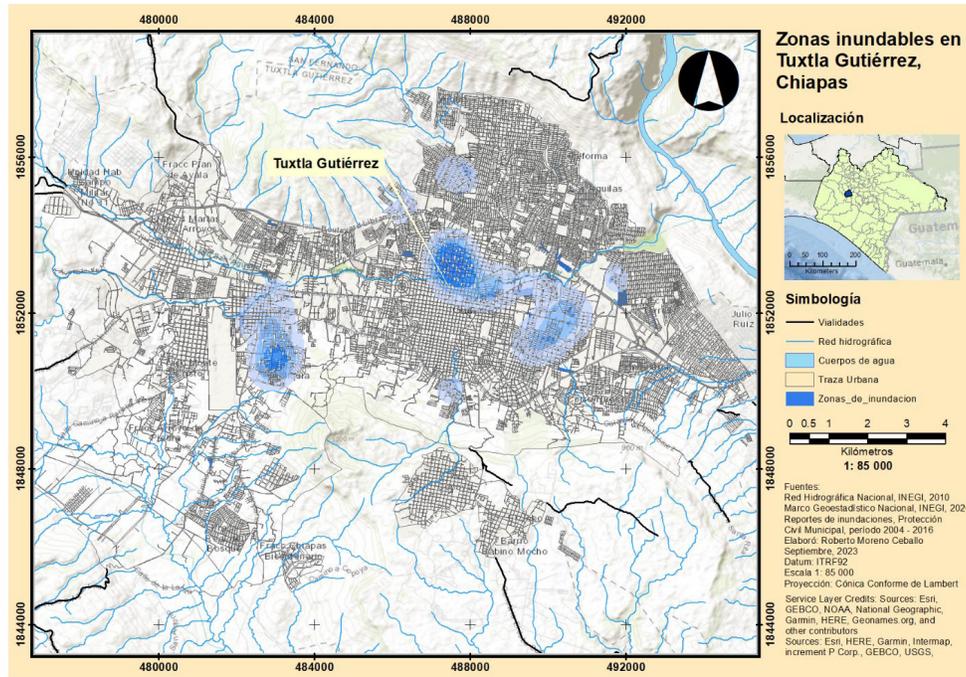


Figura 11. Zonas inundables de la cabecera municipal de Tuxtla Gutiérrez, mapa elaborado a partir de reportes de inundaciones de Protección Civil municipal en el período comprendido entre 2004 – 2016

Finalmente empleando el modelo propuesto por Newmark y Rosenbleuth en 1976, se obtuvieron los espesores de sedimentos (Figura 12) para Tuxtla Gutiérrez. Los registros se tomaron en 285 estaciones ubicadas en distintos puntos de la mancha urbana (Figura 6); los períodos obtenidos van desde los 0.08s hasta 1.33min. Además se puede observar la distribución espacial de los daños provocados por el sismo del 7 de septiembre del 2017.

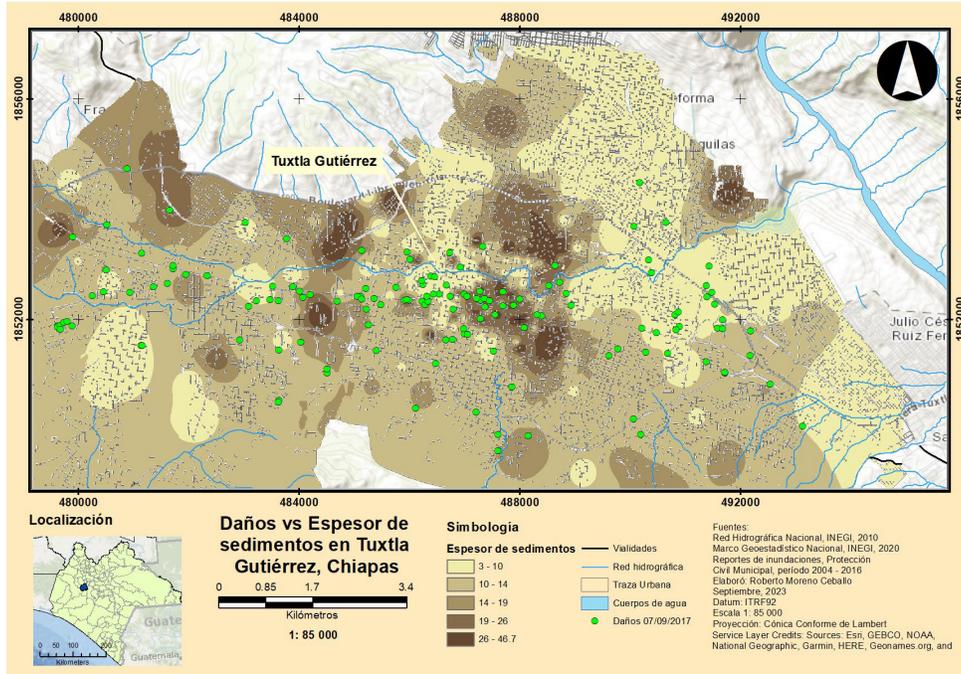


Figura 12. Espesor de sedimentos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

RESULTADOS

La elaboración de mapas de espesor de sedimentos y el análisis de la ampli-ficación sísmica en ambas manchas urbanas permitieron comparar los daños provocados por sismo y a su vez establecer una relación con las zonas de mayor afectación. Se analizaron 198 manzanas de la cabecera municipal de Chiapa de Corzo y se obtuvieron espesores de sedimentos que oscilan entre los 7.12 m y 14.62 m (Figura 8). La ciudad presenta patologías constructivas homogéneas, lo cual pone de manifiesto que las condiciones locales del subsuelo han sido determinantes en la localización de los daños; se observó además cómo la mayor cantidad de estos ocurren en zonas entre los 8 y 12 metros de espesor de sedimentos y se han concentrado en la zona centro de la ciudad y en las márgenes del río Grijalva, es decir, suelos blandos, poco consolidados.

Para Tuxtla Gutiérrez se obtuvieron espesores que oscilan entre los 3 m y 46.78 m (Figura 12) y se realizó una correlación espacial con los daños históricos por sismo, encontrando que la mayoría de los daños se localizan en la zona centro y en la zona sur poniente de la ciudad y se ubican además entre los 10 m y los 20 m de espesor de sedimentos. Es importante resaltar la necesidad de complementar los resultados obtenidos en este trabajo con mediciones actuales ubicadas en toda la extensión de la mancha urbana de ambas ciudades, ya que en los últimos años el crecimiento poblacional ha

sido considerable, ocupando además zonas consideradas en riesgo por fenómenos geológicos como la ladera sur de Tuxtla Gutiérrez (Paz-Tenorio, 2012).

CONCLUSIONES

La autoconstrucción es un factor determinante en las afectaciones provocadas por los sismos ocurridos en el área de estudio, esto ha tenido consecuencias en grupos con alto grado de marginación de la población que por desconocimiento o falta de recursos recurre a este medio para edificar su vivienda. Identificar las amenazas y vulnerabilidades existentes en nuestra comunidad es una tarea importante que permitirá generar acciones e ideas para reducirlas a través de planes de acción.

Los resultados aquí presentados forman parte de una investigación relacionada con la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, empleando una metodología que permita obtener zonificaciones preliminares utilizando información de libre acceso, que permita además replicar la misma en el resto de las ciudades de la ZM.

REFERENCIAS

- Arbeláez**, A. C., Posada, L., y Vélez, M. V. (2002). Usos de suelo en la zona inundable del río San Carlos, Colombia. *XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*.
- Arellano**, E., Juárez, H., Gómez, A., Lara, J., y Sánchez, E. (2003). *Caracterización y clases de vulnerabilidad en edificaciones de la colonia Roma, Ciudad de México*. CNIS MX.
- Atakan**, K., Brandsdóttir, B., Halldórsson, P., & Fridleifsson, G. O. (1997). Site response as a function of near-surface geology in the South Iceland Seismic Zone. *Natural Hazards*, 15(2-3), 139-164. <https://doi.org/10.1023/A:1007902419241>
- CENAPRED**, Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2006b). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: fenómenos geológicos*. Sistema Nacional de Protección Civil.
- Centro Estatal de Información Estadística y Geográfica (CEIEG)**. (2010). Para consulta en línea: <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/>
- García Benítez**, M., Nucamendi Hernández, S., y Ávila Flores, O. (2022). Condiciones de habitabilidad ante inundaciones: El caso de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Interdisciplinaria sobre Estudios Urbanos*, 8(8), 1-23.
- González Herrera**, R., Aguilar Carboney, J. A., Mora Chaparro, J. C., Palacios Silva, R. J., y Figueroa Gallegos, J. A. (2012). Análisis estadístico del peligro e inferencia del riesgo sísmico en el norte del estado de Chiapas. *Ingeniería: Revista Académica de la Facultad de Ingeniería*, 16(2), 58-70.
- González-Herrera**, R., Mora-Chaparro, J. C., Aguirre González, J., y Novelo-Casanova, D. A. (2013). La estructura de velocidades y su relación con el peligro sísmico en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 1(30), 121-134.
- González-Herrera**, R. (2014). *Estimación de las pérdidas económicas en las estructuras asociadas a peligro sísmico en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.ciencianueva.unam.mx/repositorio/handle/123456789/83>
- González-Herrera**, R., y Ortiz, S. (2015). Estimación de los costos del riesgo sísmico en Chiapa de Corzo: Vulnerabilidad sísmica en Chiapa de Corzo, Chiapas.
- González-Herrera**, R., Aguilar Carboney, J. A., Mora Chaparro, J. C., y Aguirre González, J. (2015). El sismo del 7 de julio de 2014, análisis de consecuencias y su repercusión en las estrategias de reducción de riesgo sísmico en Tapachula, Chiapas. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica*.
- Grunthal**, G. (1998). *Escala macrosísmica europea 1998* (segunda edición). Centro de Investigación y Mitigación de Desastres Naturales.

- Guzmán, M., & Meneses, J. J.** (2000). The North America-Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: A fault jog in Southeastern Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 459-468.
- Hernández Unzón, A.** (2009). Informe de México sobre la temporada de Huracanes 2008 e inundaciones asociadas. En XXXI Reunión del Comité de Huracanes de la AR-IV de la OMM: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Hernández, O., Meli, M., y Padilla, M.** (1979). *Refuerzo de vivienda rural en zonas sísmicas: Estudios experimentales*.
- INAFED.** (2018). *Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México: Chiapa de Corzo*. (1 de mayo de 2017) <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07027a.html>
- INEGI.** (2004). *Guía para la interpretación de cartografía: Edafología*.
- INEGI.** (2008). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*.
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística.** (2014). *Programa de consulta en línea*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ce/2014/doc/minimonografias/m_zmm_ce2014.pdf
- IPCMIRD.** (2010). *Sistema Estatal de Protección Civil del Estado de Chiapas: Plan Operativo de Protección Civil por Riesgo Sísmico*, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Lermo, J., & Chávez-García, F. J.** (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(5), 1574-1594.
- López, R.** (2010, septiembre 28). Van siete muertos por Matthew en Chiapas; daños en más de mil casas. *La Jornada*, p. 29.
- Moreno Ceballo, R., González Herrera, R., Paz Tenorio, J. A., Aguilar Carboney, J. A., y Del Carpio Penagos, C. U.** (2020). Identificación de las zonas de mayor amplificación sísmica en la mancha urbana de Chiapa de Corzo, Chiapas como herramienta para evaluar la vulnerabilidad física por exposición. *Geofísica Internacional*, 59(3), 136-154.
- Moreno Ceballo, R., González Herrera, R., Paz Tenorio, J. A., Aguilar Carboney, J. A., & Del Carpio Penagos, C. U.** (2019). Effects of sediment thickness upon seismic amplification in the urban area of Chiapa de Corzo, Chiapas, Mexico. *Earth Sciences Research Journal*, 23(2), 1-9.
- Mullerried, F.** (1957). *La geología de Chiapas* (180 páginas). Gobierno Constitucional del Estado de Chiapas.
- Narcía López, C., Cruz Díaz, R., Aguilar Carboney, J., Ramírez Centeno, M., y González Herrera, R.** (2006). El período natural de vibración del suelo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(1), 22-36.
- Nandayapa, A.** (2011). *Temblores de 1975 en la ciudad de Chiapa de Corzo*. Tuxtla Gutiérrez.

- Newmark, N.**, y Rosenbleuth, E. (1976). *Fundamentos de ingeniería sísmica* (1.a ed.). Diana.
- Padrón, C.**, Mendes, K. C., Schmitz, M., y Hernández, J. J. (2011). La microzonificación sísmica en el proceso de planificación urbana: Caso de estudio, municipio Chacao. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 26(2), 89-101.
- Pardo, M.**, & Suárez, G. (1995). Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 100, 12357-12373.
- Paz-Tenorio, J. A.**, Gómez-Ramírez, M., González-Herrera, R., y Domínguez-Salazar, F. F. (2011). Los procesos de remoción en masa: Génesis, efectos y limitaciones en el crecimiento urbano de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47E), 1-18.
- Paz-Tenorio, J. A.** (2012). *La inestabilidad de laderas y la construcción social del riesgo: Tres casos en el sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas* (Tesis de maestría). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Paz-Tenorio, J. A.** (2017). *Procesos gravitacionales y la construcción social del riesgo en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas* (Tesis de doctorado). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Paz-Tenorio, J. A.**, González-Herrera, R., Moreno Ceballos, R., y Gómez-Ramírez, M. (2017). Mapa de susceptibilidad a procesos gravitacionales, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Eventos detonados por el sismo del 7 de septiembre*. Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jalisco.
- Rodríguez, J.** (2005). *Bases y desarrollo de sistemas de control sísmico para el ferrocarril: Aplicación a la Alta Velocidad Española (AVE)* (Tesis doctoral). Facultad de C.C. Físicas, Universidad Complutense de Madrid.
- Rodríguez, Q.** (2007). *Estructura tridimensional de velocidades para el sureste de México, mediante el análisis de trazado de rayos sísmicos de sismos regionales* (Tesis de maestría). Instituto de Geofísica, UNAM.
- Salgado, A.**, Escamirosa, F., y Calvo, A. (2004). Zonificación sísmica de tres centros históricos del sureste mexicano. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 11-15.
- Saldaña, L.**, Jaramillo, H., y Calvo, J. A. (2005). Metodología para la evaluación del riesgo sísmico de pequeñas y medianas ciudades: Estudio de caso, zona centro de la ciudad de Armenia, Colombia. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*.
- Schmudde, T. H.** (1968). Flood plain. In R. W. Fairbridge (Ed.), *The Encyclopedia of Geomorphology* (pp. 359-362). Reinhold.
- Secretaría de Hacienda.** (2017). *Secretaría de Hacienda*. (15 de mayo de 2017) <http://www.haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informacion/Desarrollo-Regional/prog-regionales/METROPOLITANA.pdf>

- Secretaría de Hacienda del Gobierno del Estado de Chiapas.** (2014). *Programa Regional de Desarrollo: Región I Metropolitana*. <http://haciendachiapas.gob.mx/planeacion/Informaci/Desarrollo-Regional/prog-regionales/METROPOLITANA.pdf>
- Silva, M. A.** (2006). *Comportamiento estructural por hundimientos de edificaciones ubicadas en distintas zonas en la ciudad de Pachuca* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDETU].** (2020). *Metrópolis de México 2020*. Ciudad de México, s.n.
- SSN.** (2017). *Reporte especial: Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 Mw 8.2)*.
- Suárez, G., & Singh, K.** (1986). Tectonic interpretation of the Trans Mexican Volcanic Belt discussion. *Tectonophysics*, 127, 155-160. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(86\)90098-0](https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90098-0)
- Tinsley, J. C., & Fumal, T. E.** (1985). Mapping Quaternary sedimentary deposits for areal variations in shaking response. In J. E. Ziony (Ed.), *Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region: An Earth-Science perspective* (pp. 101-126). U.S. Geological Survey Professional Paper 1360.
- Vicente, R., Ferreira, T., & Maio, R.** (2014). Seismic risk at the urban scale: Assessment, mapping and planning. *Procedia Economics and Finance*, 14, 71-80. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00641-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00641-1)