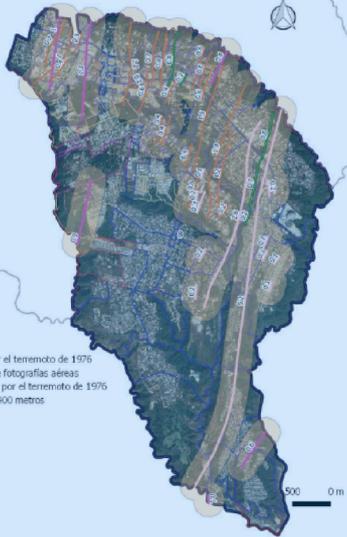
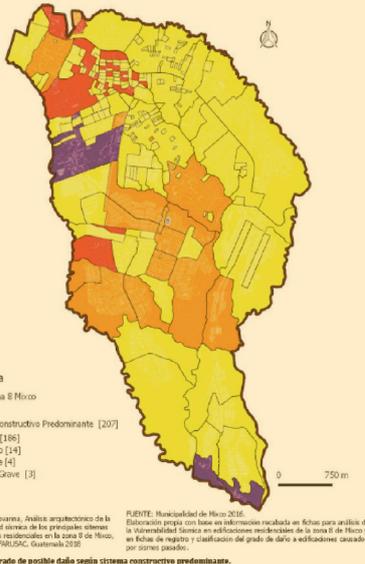


Mapa Zona de Atención de Fallas
Zona 8 Municipio de Mixco



Mapa Grado de Posible daño según Sistema Constructivos en
Zona 8, Municipio de Mixco, Departamento de Guatemala



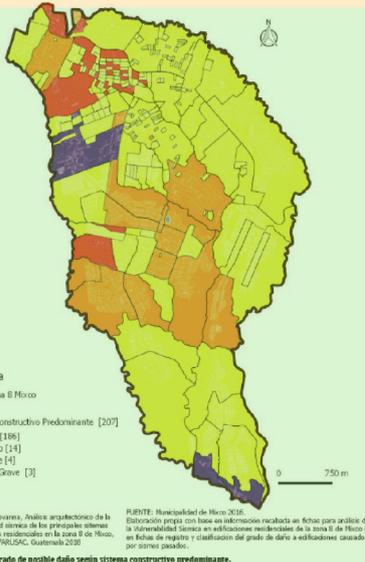
DECLARATORIA DE ALTO RIESGO
Zona 8 del Municipio de Mixco del Departamento
de Guatemala



Mapa Zona de Atención de Fallas
Zona 8 Municipio de Mixco



Mapa Grado de Posible daño según Sistema Constructivos en
Zona 8, Municipio de Mixco, Departamento de Guatemala



DECLARATORIA DE ALTO RIESGO
Zona 8 del Municipio de Mixco del Departamento
de Guatemala



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO



FACULTAD DE
ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS RESIDENCIALES EN LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA.

GUATEMALA, OCTUBRE 2018.

ARQ. GIOVANNA BEATRICE MASELLI LOAIZA DE MONTERROSO



FACULTAD DE
ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO**

**ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE
LOS PRINCIPALES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS RESIDENCIALES EN
LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA.**

ARQ. GIOVANNA BEATRICE MASELLI LOAIZA DE MONTERROSO

Guatemala, Octubre 2018.

“La autora es responsable de las doctrinas sustentadas, originalidad y contenido, eximiendo de cualquier responsabilidad a la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala.”



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO**

JUNTA DIRECTIVA

Decano	Dr. Arq. Byron Alfredo Rabe Rendón
Vocal I	Arq. Gloria Ruth Lara Cordón de Corea
Vocal II	Arq. Sergio Francisco Castillo Bonini
Vocal III	MSc. Arq. Alice Michele Gómez García
Vocal VI	Br. Kevin Christian Carrillo Segura
Vocal V	Br. Ixchel Maldonado Enríquez
Secretario	MSc. Arq. Publio Alcides Rodríguez Lobos

TRIBUNAL EXAMINADOR

Decano	Dr. Arq. Byron Alfredo Rabe Rendón
Secretario y examinador	MSc. Arq. Publio Alcides Rodríguez Lobos
Consultora	Dra. Eliana Esposito
Consultor	Dr. David Monterroso

Consultores externos en el marco de la Red Interuniversitaria en Análisis y Evaluación de la Peligrosidad Natural en Centro América, UNIPA-USAC-UES-UNAN-Managua:

Dr. Giuseppe Giunta
Universidad de Palermo, Italia –UNIPA-.

Dra. Eliana Esposito
Consejo Nacional de Investigaciones –CNR, Napoli, Italia-.

Asesor Principal: MSc. Arq. Publio Alcides Rodríguez Lobos

DEDICATORIA

*A Raúl, socio de sueños y proyectos, complemento perfecto de mi vida.
A Isa y Fabian, razón de mi superación diaria, amor incondicional.
A mis padres, por su ejemplo de esfuerzo y enseñanzas, mi amor y admiración.*

AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por su infinita misericordia en mi vida.
Al Departamento de Planificación Urbana de la Municipalidad de Mixco, por su disponibilidad.
A Diana Osorio, Eliana Esposito y Giuseppe Giunta, por su paciencia y amistad.
A mis suegros, por su constante apoyo.*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Definición del problema.....	11
1.2 Antecedentes.....	12
1.3 Justificación del objeto de estudio.....	14
1.4 Objetivos.....	15
1.5 Alcances.....	15
1.6 Metodología.....	16
1.7 Preguntas de investigación.....	16
1.8 Delimitación.....	16
1.9 Limitantes en la investigación.....	17
2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	18
2.1 La amenaza sísmica.....	18
Período de recurrencia de sismos en Guatemala.....	24
2.2 Vulnerabilidad Sísmica.....	25
2.3 Escala Macrosísmica Europea (EMS-98).....	27
2.3.1 Tabla de Vulnerabilidad.....	33
2.3.2 Clasificación del daño.....	35
2.3.3 Tipologías constructivas establecidas en la EMS-98.....	38
2.3.4 Factores que afectan la vulnerabilidad sísmica de los edificios.....	40
3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	45
3.1 Ubicación y definición del área de estudio.....	45
3.2 Población y Crecimiento Urbano.....	53
3.3 Amenaza sísmica y su correlación a la Geología.....	68
4. MODELO METODOLÓGICO.....	99
4.1 EXPLICACIÓN DEL MODELO.....	99
4.2 APLICACIÓN DEL MODELO.....	101
4.2.1 Identificación y clasificación de daños a sistemas constructivos similares ocasionados por eventos sísmicos del pasado comparado con las tablas de daños de la EMS-98.....	101
4.2.2 Identificación y descripción de los sistemas constructivos que se encuentran en la zona de estudio.....	117
4.2.3 Análisis de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones residenciales.....	127
4.2.4 Elaboración de mapas de áreas residenciales vulnerables ante sismos.....	138
5. CONCLUSIONES.....	147
6. RECOMENDACIONES.....	150
7. BIBLIOGRAFÍA.....	151
8. ANEXOS.....	154
8.1 Modelo de ficha para registro y clasificación del grado de daño a edificaciones, basado en EMS-98.....	154
8.2 Modelo de ficha para análisis de vulnerabilidad sísmica, basado en EMS-98.....	154

1. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas – ONU, estima que para el 2050 el 89% de la población mundial vivirá en zonas urbanas y afirma que en la actualidad 828 millones de personas viven en barrios marginales, lo que evidencia que cada día las personas buscan migrar a ciudades con mejores oportunidades, aunque esto implique habitar en zonas con poco o ningún acceso al agua potable, deficiencia en servicios y saneamiento o asentarse en áreas de alto riesgo, entre otros males.

Este crecimiento de las ciudades es motivo de preocupación a nivel mundial, por lo cual en septiembre del 2015, fueron aprobados en la Asamblea de Naciones Unidas los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, en donde el objetivo número 11 busca el desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles, lo que conlleva que los esfuerzos de los Estados comprometidos se deben orientar a que los asentamientos humanos sean cada vez más seguros, inclusivos, resilientes y sostenibles. Por tanto, si se habla de sostenibilidad y seguridad no puede dejarse de lado el tema de los riesgos, un tema vinculado totalmente a la ocupación del territorio y la dinámica social y económica.

Por otra parte, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, adoptado en marzo de 2015 en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas realizada en Japón, busca la reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas por los mismos, tanto en vidas, medios de subsistencia y salud como en bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas, las empresas, las comunidades y los países, por lo que en este caso, el presente estudio se vincula especialmente a la prioridad 2, la cual busca fortalecer la gobernanza del riesgo para gestionarlo, en el sentido que las municipalidades deben llevar a cabo las acciones de desarrollo de los territorios y la gestión del riesgo es un tema primordial en el mismo.

En tal sentido, el presente estudio tiene como objetivo principal elaborar un modelo que permita identificar áreas vulnerables de vivienda ante un evento sísmico de elevada magnitud en la zona 8 de Mixco, el sector mejor conocido como Ciudad San Cristóbal con lo cual se busca contribuir en la gestión del riesgo y poner en evidencia la importancia que tiene el análisis sísmico en los procesos de planificación urbana y ordenamiento territorial.

La herramienta metodológica para el análisis de daños y vulnerabilidad sísmica utilizada es la EMS-98¹, la cual es una escala usada ampliamente en Europa y otros países del mundo para la evaluación de la intensidad sísmica posterior a un terremoto. Esta es la única escala de intensidad sísmica que además de ser ampliamente descriptiva, es ilustrada, lo que facilita el trabajo en la evaluación y asignación de daños en sistemas constructivos porque permite la comparación con lo observado y lo que establece la escala. Tiene la particularidad de fomentar la cooperación entre sismólogos e ingenieros, por lo que la información no es de uso exclusivo para los primeros y es cada vez más común que urbanistas, ingenieros y planificadores recurran a la intensidad como parte de un

¹ Gottfried Grünthal y Lorenzo Martín. *Escala Macrosísmica Europea 1998*. (Luxemburgo: Comisión Sismológica Europea, 2009).

procedimiento para construir herramientas de escenarios futuros para estimar posibles pérdidas futuras ocasionadas por terremotos.

El documento cuenta con tres principales capítulos, el Marco teórico conceptual que pretende explicar la amenaza y vulnerabilidad sísmica y entender cómo la EMS-98 puede utilizarse como instrumento metodológico de análisis. La caracterización del área de estudio en donde se presenta un análisis del área de la zona 8 de Mixco y la población que lo habita. Finalmente el Modelo metodológico, en el cual se explica el mismo y se indica paso a paso cómo aplicarlo.

Dentro de los principales aportes del estudio se pueden mencionar: fichas de registro histórico de daños ocasionados a distintos sistemas constructivos en Guatemala con base en registros fotográficos históricos y la tabla de daños de la EMS-98; modelo de ficha de posibles daños a los sistemas constructivos residenciales identificados con base en la EMS-98; y los más importantes como herramienta de planificación y toma de decisiones son el Mapa de posible daño según sistema constructivo, el Mapa de áreas residenciales vulnerables y el Mapa de infraestructura y equipamiento vulnerable ante sismos.

El capítulo de conclusiones presenta aspectos de suma importancia a nivel de investigación y aplicación del modelo, así como las recomendaciones que suceden al estudio, como parte de un seguimiento de la autoridad municipal de Mixco, de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres – CONRED y de las instituciones académicas.

1.1 Definición del problema

El terremoto de 1976 con epicentro en la falla Polochic-Motagua activó el sistema de fallas secundarias al occidente del graben de la ciudad de Guatemala, conocido como la falla de Mixco.

En el caso específico de la zona 8 de Mixco, departamento de Guatemala, se mapearon en su momento los fallamientos originados por la activación de esta falla secundaria. En ese entonces, existía muy poco desarrollo urbano en el sector. Décadas después y por la necesidad de crecimiento urbano y la cercanía con la ciudad capital, el área ha presentado un rápido crecimiento que ha ocultado la amenaza sobre la cual se han asentado proyectos residenciales, comerciales e industriales, así como infraestructura importante.

A pesar que existen normativas en cuanto a la resistencia en el diseño de los sistemas estructurales, como es el caso de las normas AGIES², y que de una u otra forma se vinculan a los procesos de licencias de construcción de algunas municipalidades, no existen los reglamentos que hagan operativas dichas normas y menos un proceso de verificación en obra.

Por otra parte, la norma AGIES indica que “deben ser las municipalidades las encargadas de microzonificar el área bajo su jurisdicción para identificar las amenazas de inestabilidad del terreno...” y que “la municipalidad normará la construcción en cada tipo de microzona...” sin embargo, ni existen los estudios, ni los mapas de microzonificación ni los instrumentos legales para la aplicación.

En tal sentido, las edificaciones que se encuentran ubicadas en el área de estudio podrían sufrir daños a causa de un evento sísmico, principalmente si se llegaran a activar las fallas, ya que, aunque no es un fallamiento que origina eventos de elevada magnitud, si puede afectar en un radio de al menos 20 kilómetros.

En cuanto a los daños a los sistemas constructivos por efecto de un sismo, pueden ser estimados por las escalas macrosísmicas, las cuales, de acuerdo a la magnitud del sismo establecen la intensidad de los daños en los edificios. Esta información es importante porque permite prever los posibles daños a los sistemas constructivos, de acuerdo a magnitudes similares presentadas históricamente en Guatemala y analizar la vulnerabilidad sísmica a la que están determinados relacionados a la geología de su ubicación.

² Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.

1.2 Antecedentes

La Organización de las Naciones Unidas – ONU- estima que para el 2050 el 89% de la población mundial vivirá en zonas urbanas y afirma que en la actualidad 828 millones de personas viven en barrios marginales, lo que evidencia que cada día las personas buscan migrar a ciudades con mejores oportunidades aunque esto implique habitar en zonas con poco o ningún acceso al agua potable, deficiencia en servicios y saneamiento o asentarse en áreas de alto riesgo, entre otros males.

En Guatemala este crecimiento hacia las ciudades es más lento aunque con tendencia a subir, según el Banco Mundial³ para el 2014 el porcentaje de población que habitaba zonas urbanas en nuestro país estaba en el 51% en comparación con Costa Rica con un 76%.

Este crecimiento de las ciudades es motivo de preocupación a nivel mundial, por lo cual, en septiembre del 2015 fueron aprobados en la Asamblea de Naciones Unidas los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, dentro de los cuales se encuentra el objetivo número 11 que busca el desarrollo de ciudades y comunidades sostenibles, lo que conlleva que los esfuerzos de los Estados comprometidos se deben orientar a que los asentamientos humanos sean cada vez más seguros, inclusivos, resilientes y sostenibles. Por tanto, si se habla de sostenibilidad y seguridad no puede dejarse de lado el tema de los riesgos, un tema vinculado totalmente a la ocupación del territorio y la dinámica social y económica de esta ocupación.

Cabe resaltar que dicho objetivo hace énfasis en ciudades y comunidades sostenibles, es decir que orienta a abordar los problemas principalmente en el ámbito urbano dada la tendencia al crecimiento mencionado, pero también en el ámbito rural de los asentamientos humanos, buscando aprovechar mejor los recursos y reducir la contaminación y la pobreza.

Por otra parte, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, adoptado en marzo de 2015 en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas realizada en Japón, busca la reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas por los mismos, tanto en vidas, medios de subsistencia y salud como en bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas, las empresas, las comunidades y los países, por lo que en este caso, el presente estudio se vincula especialmente a la prioridad 2, la cual busca fortalecer la gobernanza del riesgo para gestionarlo, en el sentido que las municipalidades deben llevar a cabo las acciones de desarrollo de los territorios y la gestión del riesgo es un tema primordial en el mismo.

Bajo estos compromisos de Estado es importante que tanto instituciones como población, vean hacia el futuro y se tomen acciones de acuerdo al escenario actual y la tendencia del crecimiento urbano así como las condiciones bajo las cuales se da el mismo, ya que por todos es sabido que el territorio guatemalteco es afectado por múltiples amenazas de origen diverso las cuales encuentran condiciones de alta vulnerabilidad y que en conjunto, generan comunidades y poblaciones con un alto riesgo a los desastres.

³ <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>

La ciudad de Guatemala y los municipios conurbados a ésta no son la excepción, el crecimiento urbano desordenado que ha presentado el área desde la década de los años 50, ha generado ocupaciones de alto riesgo⁴ en lugares no aptos para la habitabilidad humana, en laderas con fuertes pendientes, orillas y partes altas de barrancos e incluso, al fondo de los mismos donde corren pequeños ríos que afectan e inundan las construcciones por la alteración antinatural de su cauce.



Figura 1. Vista aérea del puente conocido como "El Incienso"

Fotografía donde se observan asentamientos precarios formalizados en zona 3 y 7 de la ciudad, bajo condiciones de alto riesgo.

Tomado de: Guatemala es Impresionante, consultado el 17 de octubre de 2015 <https://www.facebook.com/GT502Impresionate/photos/a.1563496220559772.1073741829.1562941340615260/1672229406353119/?type=3>

La ciudad por su parte cuenta con un Plan de Ordenamiento Territorial que ha limitado, desde que entró en vigencia en el 2009, las construcciones “formales” en las áreas de barrancos principalmente. A pesar de ello, son miles de familias que están ocupando los barrancos actualmente, como lo muestra la Figura 1, y otras que por necesidad se asientan a diario sin un monitoreo por parte de la autoridad competente.

Sin embargo, el riesgo no se presenta únicamente en estas áreas, otras en cambio, llevan ocultas las cicatrices de una amenaza latente, que tarde o temprano, pondrá a prueba los sistemas constructivos y las edificaciones formales y no formales en ciudades y áreas de rápido crecimiento urbano, de la misma manera que pondrá a prueba los niveles de organización social e institucional para enfrentarla.

La amenaza sísmica es quizá la que más daños puede producir en una ciudad pero por ser de recurrencia eventual, queda en el subconsciente colectivo como un borroso recuerdo de una desagradable situación que no quiere ser repetida, a pesar que los períodos de recurrencia de terremotos en Guatemala indican que el territorio está expuesto a un evento sísmico de gran magnitud.

El aumento de la población, la necesidad de un espacio para habitar y la cercanía a las oportunidades de trabajo son causas que obligan muchas veces a ocupar áreas en riesgo.

⁴ Una zona de alto riesgo es definida con base en estudios y evaluación científica y técnica del riesgo, implica que el lugar es inhabitable, no se pueden invertir fondos públicos, ni autorizar construcciones privadas, además se deben aplicar medidas de mitigación.

En ocasiones este riesgo no es totalmente evidente, como es el caso de las fallas geológicas que no siempre son visibles en la superficie del territorio pero que está comprobado que al presentarse un evento sísmico se manifiestan con consecuencias que pueden ser fatales.

Un claro ejemplo de esta situación se presenta en Ciudad San Cristóbal en el municipio de Mixco, territorio que se vio severamente afectado con una serie de fallas geológicas producto del terremoto de 1976 y de la activación de la falla de Mixco⁵, lo cual puso en evidencia el alto grado de peligrosidad sísmica que lo afecta. En esa ocasión, poco era el desarrollo urbano en el área, sin embargo 41 años después, las cicatrices se borraron y es uno de los territorios con alta plusvalía y de más rápido crecimiento urbano en el área metropolitana, por estar relativamente accesible a la ciudad y por contar con todos los servicios para vivir.

El sector fue lotificado previo al terremoto de 1976 en parcelas para granjas y viviendas unifamiliares de clase media. Luego del evento que evidenció las fallas geológicas en el terreno, las personas tuvieron temor de habitar el área y su crecimiento fue relativamente lento. Años más tarde, la presión y especulación del mercado inmobiliario hicieron que estas parcelas unifamiliares fueran divididas en condominios donde habitan entre 4 y 8 familias.

1.3 Justificación del objeto de estudio

Por lo anterior se hace necesaria la planificación del territorio y aplicación de normativas que tomen en cuenta este tipo de amenazas previo a autorizar las construcciones y el crecimiento urbano. Es de urgencia, y no solo bajo el enfoque de este tipo de amenaza, la ley de ordenamiento territorial que defina y regule la ocupación y el uso principalmente en todas estas áreas de alto riesgo, un problema que requiere voluntad política y participación de todos los sectores involucrados para consensuar límites y acciones que contribuyan a que los territorios sean más seguros y sostenibles.

Los procesos de urbanización dificultan el reconocimiento o borran la evidencia de la existencia de los escarpes de falla, los cuales son signos del desplazamiento “reciente” del terreno a causa de un movimiento sísmico y que en términos de planificación deberían ser geo referenciados para evitar construcciones sobre el mismo.

Bohnenberger (1996) indica que las edificaciones que estén situadas sobre las fallas sufrirán un mayor daño que las que se encuentran localizadas lejos a ésta y recomienda que se realicen estudios del subsuelo previo a la planificación.

El crecimiento urbano en el área de estudio ha carecido de planificación con enfoque de riesgo y los proyectos inmobiliarios se han construido de acuerdo a la demanda del mercado. Cabe mencionar que los medianos y grandes proyectos comerciales e industriales y otros complejos residenciales de mediana magnitud generalmente cuentan

⁵ Una importante falla secundaria que dio origen al graben de la Ciudad de Guatemala junto a la falla de Pinula al Este del mismo.

con el aval de un ingeniero estructural en su diseño y planificación, sin embargo, buena parte de las viviendas unifamiliares han sido construidas sin la supervisión de un profesional de la construcción y sumado a lo anterior, la ubicación en un territorio con claras evidencias de fallamientos geológicos lo cual aumenta la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, poniendo en riesgo vidas humanas y pérdidas económicas.

Por otra parte, en el terremoto de 1976, además de las más de 23,000 personas que se estima perdieron la vida y más de 70,000 que resultaron heridas, el sector vivienda fue el más afectado, destruyéndose total o parcialmente alrededor de 220,000 casas y calculándose pérdidas que ascendieron a más de 470 millones de dólares entre reposiciones y reparaciones de casas y reposición de mobiliario y enseres, según CEPAL (1976).

El presente estudio busca identificar, a nivel residencial, el comportamiento y la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, vinculadas a la geología del lugar con el objeto de demostrar la importancia de integrar el riesgo sísmico en los planes de desarrollo urbano, planes de ordenamiento territorial y desarrollos inmobiliarios.

1.4Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Elaborar un modelo que permita identificar áreas vulnerables de vivienda ante un evento sísmico de elevada magnitud en la zona 8 de Mixco.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un registro de daños ocasionados a distintos sistemas constructivos en Guatemala con base en registros fotográficos históricos y la tabla de daños de la EMS-98.
- Elaborar una ficha de posibles daños a los sistemas constructivos residenciales identificados en la zona 8 de Mixco con base en la EMS-98.
- Elaborar un mapa, como herramienta de planificación y toma de decisiones, de las áreas residenciales más vulnerables en la zona 8 de Mixco.

1.5Alcances

- Poner a disposición una herramienta que permita analizar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones residenciales y que pueda ser replicada en otras áreas.
- Identificar la necesidad de realizar estudios microsísmicos y mapas de amenaza sísmica a escala local e integrarlos a los planes de desarrollo urbano, planes de ordenamiento territorial y desarrollos inmobiliarios para evitar riesgos por ubicación de edificaciones sobre fallas sísmicas.
- Visibilizar y poner en discusión la importancia de integrar la variable sísmica en la planificación y ordenamiento del territorio, así como en los instrumentos de control y construcción urbana para nuevas urbanizaciones.

- En el área de estudio ya construida, identificar las áreas más vulnerables para el conocimiento y toma de decisiones por parte de la CONRED y la información a las comunidades que podrían verse afectadas al momento de un evento de magnitud elevada.

1.6 Metodología

El presente estudio se basará en el método inductivo, por medio del cual se pretende analizar la particularidad de los sistemas constructivos del área de estudio compararlos con daños en sistemas constructivos similares y los establecidos en la EMS-98 para poder concluir, de acuerdo al comportamiento del sistema constructivo, el daño posible que podrían sufrir los mismos con eventos sísmicos de magnitud similar al terremoto de 1976 e identificar de esta manera las áreas residenciales más vulnerables.

A continuación se mencionan las actividades a desarrollar como parte del modelo metodológico las cuales se explican con mayor detalle en el capítulo 4:

1. Identificación y clasificación de daños a sistemas constructivos similares ocasionados por eventos sísmicos del pasado comparándolo con las tablas de daños de la EMS-98.
2. Identificación y descripción de los sistemas constructivos que se encuentran en la zona de estudio.
3. Análisis de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones residenciales.
4. Realización del mapa de áreas residenciales vulnerables ante sismos.

1.7 Preguntas de investigación

Con el objeto de orientar la investigación se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Las viviendas ubicadas en la zona 8 de Mixco podrían verse afectadas si se presenta un sismo de elevada magnitud relacionado a las fallas secundarias del Oeste del graben de Guatemala?
- ¿Las fallas secundarias en el área de la zona 8 de Mixco representan un riesgo para el desarrollo urbano en el área?
- ¿El análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas correlacionadas con la geología del área puede contribuir a identificar áreas de vulnerabilidad en la zona 8 de Mixco y con ello generar un modelo que pueda replicarse en otras áreas, que sirva para la toma de decisiones en el sistema CONRED, así como para integrarlo en los planes de ordenamiento del territorio?

1.8 Delimitación

La delimitación teórica se establece con base en un enfoque arquitectónico y de ordenamiento del territorio. No se pretende abordar temas específicos de sismología,

sismotectónica, geología o geomorfología, sino más bien cómo por medio del análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas se puede desarrollar un modelo para identificar áreas vulnerables en la zona de estudio.

Como referencia de análisis de daños se tomará la Escala Macrosísmica Europea 1998 – EMS98-, la cual es una escala de evaluación de la intensidad sísmica utilizada ampliamente en Europa y otros países del mundo para establecer el grado de daño ocasionado a diferentes sistemas constructivos.

Al referirse el presente trabajo a la amenaza sísmica, se alude al término desde el enfoque de la gestión del riesgo, en donde es necesario conocer las amenazas que afectan el territorio en estudio y no de acuerdo al cálculo que implica establecer la amenaza sísmica del territorio por ser un tema fuera de la competencia disciplinar.

La delimitación espacial se establece en la zona 8 del municipio de Mixco, departamento de Guatemala por ser un sector con rápido crecimiento urbano y alta plusvalía en las últimas décadas, afectado por fallas geológicas que se evidenciaron en el terremoto de 1976.

La delimitación temporal toma como referencia el terremoto de 1976 el cual generó grandes pérdidas económicas y una gran cantidad de pérdida de vidas humanas, y que fue el evento que activó las fallas secundarias de Mixco más recientemente. En cuanto al análisis de daños a edificaciones, se toman de referencia daños ocasionados por los terremotos de 1917-1918, 1976, 2012 y 2014 en Guatemala.

1.9 Limitantes en la investigación

La principal limitante se establece en relación a la identificación predio por predio de cada edificación ubicada en la zona 8 de Mixco por la falta de un catastro actualizado y el recurso económico y de tiempo que requeriría, por lo que el análisis de los sistemas constructivos se realiza desde un enfoque de macro escala con apoyo de fotointerpretación a través de imágenes aéreas y una muestra de fotografías en campo.

A pesar que el presente no es un estudio en la rama de la sismología, se identifica como limitante el no contar con un catálogo sísmico completo que incluya los terremotos que potencialmente pueden afectar en el área a trabajar, así como la inexistencia de equipo de monitoreo sísmico en la zona y de estudios de amenaza microsísmica que permitan la toma de decisiones en cuanto a la planificación urbana a nivel local.

En cuanto al resultado final cabe aclarar que se elaborará un mapa de áreas vulnerables y no se prevé realizar un mapa de riesgo sísmico ya que implica otras competencias que no refieren al presente estudio.

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Para el enfoque del presente estudio se busca analizar la vulnerabilidad sísmica de los sistemas constructivos basado en la comprensión, desde un punto de vista general, de la amenaza sísmica del área en estudio y en el análisis de daños que establece la Escala Macrosísmica Europea 1998 (EMS-98) para las tipologías constructivas identificadas. Este análisis va correlacionado a la geología del lugar y se aborda desde el enfoque arquitectónico y del ordenamiento territorial, buscando generar una metodología que pueda ser aplicada a cualquier otra área con condiciones similares y que contribuya no sólo a la planificación del territorio sino también a identificar las áreas y población vulnerable al momento de un evento sísmico de gran magnitud.

2.1 La amenaza sísmica

En un sentido muy amplio, un sismo o terremoto se refiere a la vibración de la superficie terrestre a causa de un movimiento brusco y repentino de las capas internas de la Tierra y una amenaza, en este caso de origen natural, se refiere al potencial daño que puede ocurrir en un espacio y momento específico a causa de un evento de origen natural de elevada magnitud.

Sin embargo el término amenaza sísmica es mucho más complejo, se puede entrar a definir que la amenaza sísmica es la probabilidad que un determinado nivel de intensidad sísmica sea excedido como resultado de la ocurrencia de terremotos en el área de interés durante un período de tiempo especificado (CEPREDENAC 2011).

Según el Proyecto RESIS II (2008) la amenaza es un concepto probabilista, en el que se debe especificar qué nivel de movimiento del suelo se considera constitutivo de peligro potencial y durante qué periodo de tiempo se espera que ocurra un sismo que produzca tal movimiento.

En este sentido, es importante indicar que para Guatemala se han realizado varios estudios de amenaza sísmica posterior al terremoto de 1976⁶. Luego en los años 1990 y 2000 se publicó una segunda generación de estudios⁷ dentro de los cuales, la propuesta de zonificación sísmica para el diseño estructural de Monzón Despang fue incorporada en la Norma Recomendada para la Construcción (1996) propuesta por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, AGIES. Posteriormente en los

⁶ Kiremidjian, A., H. Shah, y L. Lubetkin (1977). Seismic hazard mapping for Guatemala. John Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Pasadena; y Monzon H. (1984). Earthquake Engineering Technical Cooperation program GTZ/INDE. Report Phase 1, Guatemala.

⁷ Villagran M., C. Lindholm, A. Dahle, H. Cowan, y H. Bungum (1997). Seismic hazard assessment for Guatemala City. *Natural Hazards* 14, 189-205; Ligorria, J.P., C. Lindholm, H. Bungum, y A. Dahle (1995). Seismic Hazard for Guatemala. NORSAR Technical Report 2:20; y Molina, E., P. Majol, y H. Bungum (1999). Amenaza sísmica en el valle de la ciudad de Guatemala. Reporte Técnico, INSIVUMEH, Guatemala; y Benito B., J.E. Molina y L. Lain (2001). Metodología para la evaluación de la amenaza sísmica en Guatemala, aplicación al diseño sismoresistente. En: *mitigación de desastres naturales en Centroamérica*. Ed: AECI, vol 1, pp 125-158.

primeros años del siglo XXI se presentó la Cartografía de Peligros Naturales⁸, identificando la amenaza para cinco ciudades del país. Y finalmente en el 2004 se presentan los mapas de amenaza sísmica basados en el método Monte Carlo para Guatemala, El Salvador y Honduras⁹.

El mapa más reciente es el presentado por el Proyecto RESIS II (2008) en el cual se observa la amenaza sísmica para Centro América y en el caso específico de Guatemala se concluye que, la mayor amenaza se presenta en la costa sur del país, disminuyendo de sur a norte, así también en la parte del altiplano central y oriental. El departamento del Petén es donde se tiene la menor peligrosidad (ver Mapa 2). Dicho estudio fue realizado con base en las fuentes sísmicas que corresponde al fallamiento local y a la zona de subducción, permitiendo conocer la distribución espacial de la sismicidad en el territorio (CEPREDENAC 2011).



Mapa 1. Amenaza sísmica en Centro América (PR 500 años).

Fuente: Estudio de Amenaza Sísmica en América Central. Proyecto RESIS II. 2008, tomado de (CEPREDENAC 2011).

La importancia de contar con estudios de amenaza sísmica es que son la base sobre la cual se fundamentan los códigos de diseño y construcción sismorresistente, los cuales permiten mejorar las normativas de construcción del país.

Aclarado lo anterior, es necesario indicar que al referirse el presente trabajo a la amenaza

⁸ JICA-INSIVUMEH, 2003. The Study for Establishment of Base Maps and Hazard Maps for GIS in the Republic of Guatemala. Progress Report 3, February 2003.

⁹ Tavakoli, B. y D. Monterroso (2004). Monte Carlo seismic hazard maps for northern Central América, covering El Salvador and surrounding área. In: W.I. Rose, J.J. Bommer, D.L. Lopez, M.J. Carr, J.J. Major (eds.). Natural Hazards in El Salvador. Geol. Soc. of Am., Special Paper 375, Boulder, Colorado, 423-433.

sísmica, se alude al término desde el enfoque de la gestión del riesgo, en donde es necesario conocer las amenazas que afectan el territorio en estudio, por lo que en adelante se tratará el tema como el potencial fenómeno sísmico que puede producir importantes daños materiales y pérdidas de vidas humanas en el área a trabajar.

Es importante entonces aclarar algunos conceptos que están relacionados al tema y que en muchos casos tienden a generar confusión a la población en general, principalmente en cuanto a la magnitud y la intensidad de los movimientos sísmicos se refiere.

Un movimiento sísmico se genera en hipocentro que es el punto de ruptura de la zona interior de la Tierra y desde donde se propagan las ondas sísmicas. El epicentro está situado en la superficie terrestre, justo sobre el hipocentro, y es el dato que se registra como punto de origen del sismo. Cuando se habla de profundidad del sismo se hace referencia al hipocentro.

Una falla es la zona de fractura que materializa el contacto entre dos partes de una roca o terreno y que presenta o experimenta desplazamiento una respecto a la otra. Las fallas activas presentan evidencias de desplazamiento en tiempos recientes (últimos 10,000 años).

El escarpe de falla es la expresión morfológica de la falla en la superficie terrestre, en ocasiones puede observarse como grada, separación o desplazamiento horizontal, en algunos casos podría no ser claramente visible debido al paso del tiempo, al proceso natural de revegetación o al proceso de urbanización.

Para comprender mejor lo indicado arriba, se puede observar en la Figura 2 el origen y efectos producidos por un sismo. Nótese que en esta figura los diferentes estratos geológicos están desfasados.

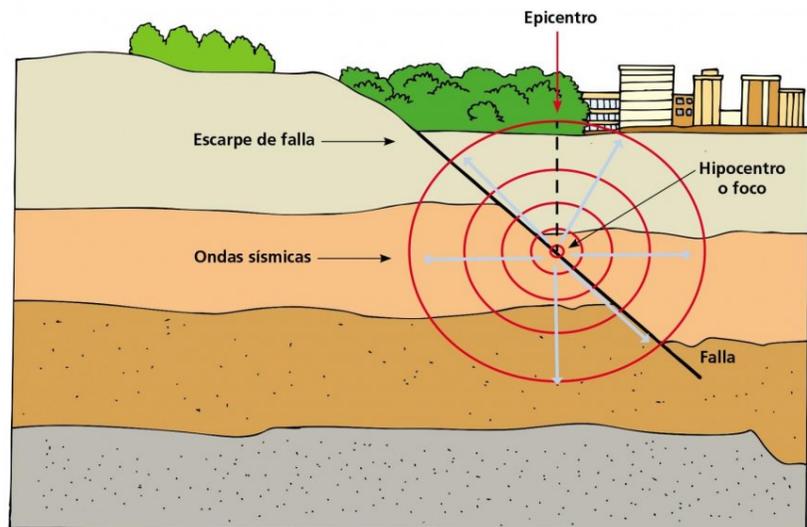


Figura 2. Origen y efectos de un sismo.

Fuente: Blog de Biología y Geología, en:
<http://bg4mcrespo.blogspot.com/2017/> consultado 13/5/2018.

Los sismos liberan gran cantidad de energía y pueden producir diversos efectos por lo que para poder medirlos se utilizan dos medidas que son la magnitud y la intensidad, las cuales se tiende a confundir pero son totalmente diferente una de otra.

La magnitud está relacionada a la cantidad de energía liberada durante el movimiento en la falla, se registra con instrumentación y es única para cada sismo, no depende del lugar en donde se mida. Esa energía se puede medir, indirectamente, de la amplitud máxima observada en el sismograma y para medirla existen diversas escalas, la más conocida y utilizada es la Escala de Richter. La magnitud permite medir de forma cuantitativa el tamaño de un temblor INSIVUMEH (2016). Por ejemplo, la magnitud del terremoto de 1976 fue estimada en 7.5 grados.

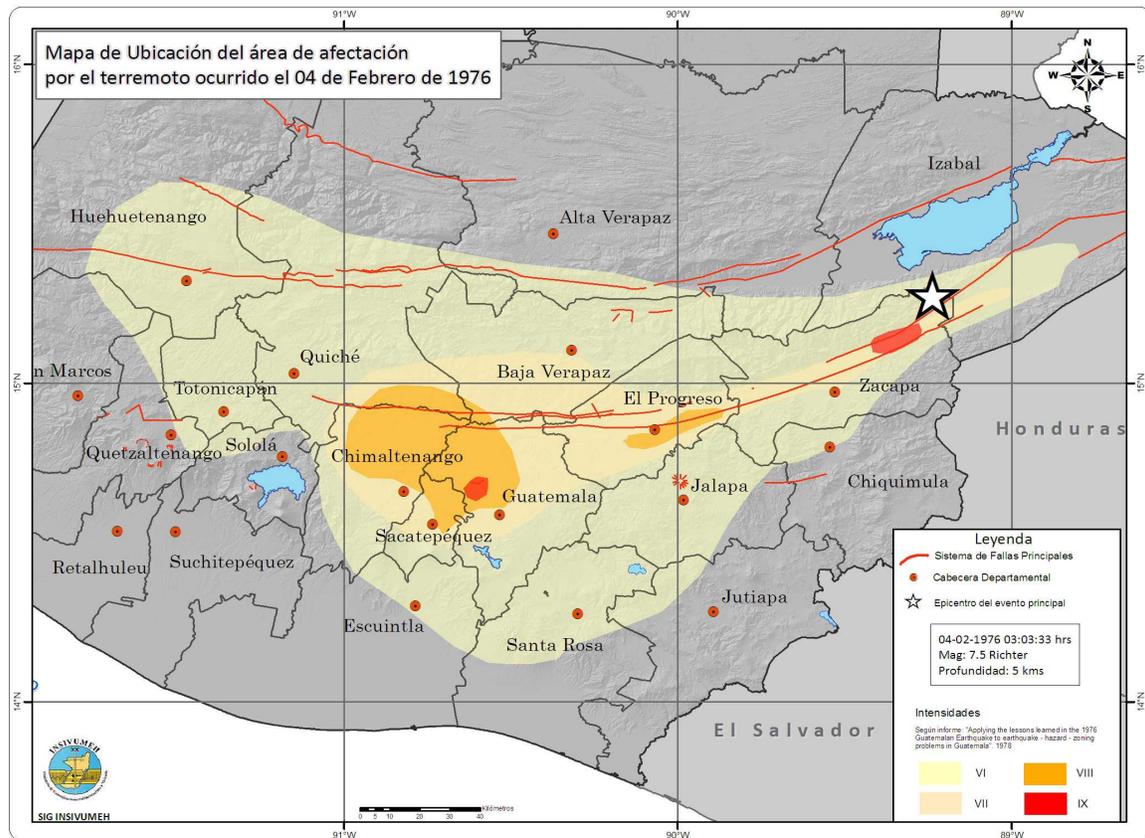
En cuanto a la intensidad¹⁰ se puede decir que es la clasificación de la severidad del movimiento del suelo a partir de los efectos observados en un área limitada (Grünthal 2003), estos efectos pueden ser visibles en el paisaje y en las edificaciones, está ligada a la localización y normalmente sólo puede ser considerada con referencia a un lugar especificado. Por ejemplo, la intensidad en Mixco fue estimada en 6, mientras que en Tecpán fue estimada en 8, siendo ésta la mayor intensidad registrada.

Un temblor produce varios grados de intensidad, la cual tiende a ser mayor en el área epicentral y disminuye con la distancia. El tamaño del sismo está relacionado con la intensidad máxima observada y el tamaño del área afectada. Aún cuando ésta es una forma subjetiva de medir los temblores, es muy útil ya que también da información sobre las condiciones locales del terreno, calidad de la construcción y permite reconstruir la historia sísmica, pre-instrumental, de una región INSIVUMEH (2016).

De acuerdo a Grünthal (2003) el término “intensidad macrosísmica” se usa en la EMS-98 totalmente en el sentido de una clasificación de la severidad del movimiento del suelo en función de los efectos observados en un área limitada.

En el Mapa 2 puede observarse el área afectada por el terremoto del 4 de febrero de 1976, con una magnitud de 7.5 grados en la escala de Richter e intensidades que van de VI a IX grados en la escala de Mercalli modificada, la cual es la mayormente utilizada en Guatemala. Obsérvese que en rojo se indican las áreas en donde el sismo presentó los efectos destructivos más severos, con una intensidad de grado IX.

¹⁰ También llamada intensidad macrosísmica.



Mapa 2. Mapa de Afectación e Intensidades por el terremoto de 1976.

FUENTE: recuperado de http://www.insivumeh.gov.gt/geofisica/sismologia/terremoto_1976.jpg consultado el 12/mayo/2018.

La escala de intensidad es en cierta forma similar al sistema de taquigrafía, desde el punto de vista de que permite una comprensión de los efectos de un terremoto mediante un único símbolo, generalmente un número, pero que tiene un carácter descriptivo en prosa más que un carácter analítico del tipo de una medición instrumental.

Cualquier escala de intensidad consiste de una serie de descripciones de los efectos producidos por distintos grados de temblores sísmicos sobre una serie de objetos que se pueden encontrar en el ambiente cotidiano. Estos objetos se pueden considerar como sensores, puesto que su respuesta al temblor se usa para medir la fuerza del mismo. No son partes de algún equipo especial instalado por el investigador, sino que por ser parte del ambiente normal, estos sensores son extremadamente comunes Grünthal (2003). Esta es una de las grandes ventajas de la intensidad como herramienta, que no requiere de instrumentos para ser medida, aunque también por ello se dice que podría ser subjetiva ya que entra en juego la observación y criterio del investigador.

Citando textualmente a Izquierdo Alvarez (1999) en cuanto a la importancia de las escalas de intensidad para tratar de comprender los efectos de los terremotos:

“..nos damos cuenta de que se trata de un fenómeno sumamente complejo, en el que influye el tipo de mecanismo focal, el camino que recorre la energía, la topografía, el tipo de suelo, la situación de un edificio dentro de una manzana de casas, su tipo de construcción, etc. Con los equipos de medida y conocimientos actuales se pueden parametrizar, mejor o peor, cada uno de estos factores individualmente, pero, al estar todos íntimamente relacionados, ninguno de ellos nos refleja por sí solo el resultado global, cómo se ve afectada una población por un sismo. Mientras no se dé con la forma de conjuntar estos parámetros para obtener un único número representativo de los efectos producidos, habrá de seguir usándose el concepto de intensidad, por poco científico que pueda parecer. Por el momento la intensidad es el mejor parámetro con el que se cuenta para “resumir” en un solo número todo un complejo fenómeno.”

Izquierdo Alvarez se refiere con “poco científico” a que las escalas de intensidad se han basado históricamente en sensores utilizados aún en la actualidad, sujetos a la observación y por ende a la subjetividad del observador pero que definitivamente permiten medir los daños producidos por el sismo. Estos sensores son:

- Seres vivos, gente y animales: según aumenta la intensidad una mayor proporción de gente o animales nota las vibraciones o se asusta debido a ellas.
- Objetos ordinarios: según aumenta la intensidad, un mayor número de objetos domésticos ordinarios (utensilios de cocina, libros, etc.) empiezan a vibrar, desordenarse y caer al suelo.
- Edificios: según aumenta la intensidad los edificios experimentan progresivamente mayores daños.
- Ambiente natural: según aumenta la intensidad, existe una mayor probabilidad de que se manifiesten efectos tales como grietas en diques y terraplenes, caídas de rocas, etc.

Existen diferentes tipo de escalas de intensidad entre las cuales se pueden mencionar algunas, basado en INPRES (2012):

- Rossi-Forel 1874 – 1881, con diez grados de intensidad.
- Giuseppe Mercalli en 1884 modifica la escala Rossi-Forel, con diez grados de intensidad
- Adolfo Cancani en 1902 extendió la escala de Mercalli a doce grados pero sin detallarlos.
- August Heinrich Sieberg en 1912, con doce grados de intensidad y completa descripción para cada uno de ellos, llegando a ser la base para las escalas modernas. Posteriormente Mercalli-Cancani-Sieberg publican la escala MCS, realizando ligeras modificaciones a la primera versión de Sieberg.
- Esta escala fue mejorada y traducida al inglés por Harry O. Wood y Frank Neumann en 1931, bajo el nombre de escala Mercalli Modificada (MM).
- En 1956 fue perfeccionada completamente por C. F. Richter, quien se abstuvo de

agregar su nombre a la nueva versión para evitar confusiones con la escala de magnitud de Richter. Esta va del grado I (detectado sólo con instrumentos) hasta el grado XII (destrucción total), es la primera que toma en cuenta la vulnerabilidad del edificio y es la que se utiliza actualmente en América.

- En 1964 Medvedev, Sponheuer y Karnik publican la primera versión de la escala MSK o MSK-64. En 1981 fue ligeramente modificada y pasó a ser la escala más utilizada en Europa y en la URSS.
- A inicios de la década de los noventa, la Comisión Sismológica Europea usó muchos de los principios de la escala MSK-64 para desarrollar la Escala Macrosísmica Europea (EMS-92) publicándose su versión final en 1998 (EMS-98) junto con las instrucciones textuales y gráficas para su uso.

Esta última es la escala que se utilizará en el presente trabajo y será ampliada en el inciso 2.3.

En las ciudades, la amenaza sísmica se convierte en un gran reto debido a la alta densidad poblacional, a la concentración de personas en el interior de las edificaciones, a la infraestructura construida, a los deficientes sistemas constructivos en muchos casos, sumado a ellos, una incipiente planificación del territorio en donde el mercado inmobiliario es el que delinea el crecimiento urbano, sin considerar que este silencioso enemigo late desde las entrañas de la tierra, poniendo en riesgo la vida de las personas, el costo que implica la urbanización y poniendo a prueba la resiliencia de los sistemas.

Poca suerte llevan también los asentamientos informales, de viviendas precarias sin las condiciones mínimas de seguridad y resistencia frente a terremotos, los cuales generalmente se ubican en zonas de alto riesgo por ser más accesibles en términos económicos.

Período de recurrencia de sismos en Guatemala

La información histórica comprende un periodo de aproximadamente quinientos años para Guatemala, basados principalmente en informes de gobierno, eclesiásticos, cronistas, historiadores, viajeros y testigos presenciales que han documentado los daños que los eventos más importantes han ocasionado. En cuanto a información instrumental se cuenta con algunos registros de estaciones lejanas desde 1900 y desde 1925 con registros de estaciones locales por parte del Observatorio Nacional y posteriormente por el INSIVUMEH (Molina, Villagrán and Ligorría n.d.).

En la Tabla 1 se indican los eventos sísmicos más relevantes en el territorio guatemalteco, siendo los de 1902, 1917-18 y 1976 los más destructivos. El de mayor magnitud registrada es el de 1942 con 8.3 grados en la escala de Richter, sin embargo por la ubicación o por la poca población existente en esa época no produjo graves daños.

En el caso de la ciudad de Guatemala los sismos que han tenido mayor incidencia han sido los de 1917-18 y el de 1976.

Tabla 1. Principales terremotos en Guatemala

Año	Epicentro o población más afectada	Magnitud
1717	Antigua Guatemala	Estimada en 7.4
1765	Ostuncalco, Quetzaltenango	Estimada entre 7.6 y 8.2
1773	Antigua Guatemala	Sin dato
1816	Alta Verapaz	Sin dato
1902	Quetzaltenango y Sololá, uno de los más destructivos	7.5
1913	Cuilapa, Santa Rosa	Sin dato, baja magnitud
1917-1918	Ciudad capital y Villa Nueva	Enjambre sísmico
1942	Occidente del país	8.3
1959	Ixcán, Quiché	Sin dato
1976	Sistema de fallas Polochic-Motagua-Chamalecón; el más destructivo. Activación de la falla de Mixco.	7.5
1988	Uspantán, Quiché	5.0
1991	San Miguel Pochuta, Chimaltenango	5.3
2011	Santa Rosa	Enjambre sísmico
2012	Costa de Champerico	7.4
2014	En el Pacífico, a 27 km de Ciudad Tecún Umán, frontera con México	6.9
14/jun/2017	Occidente y Costa Sur	6.6
22/jun/2017	Costa de Escuintla	6.7

Basado en: Red Interuniversitaria en Análisis y Evaluación de la Peligrosidad Natural en Centro América (2014) e INSIVUMEH (2016).

2.2 Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica se relaciona principalmente al comportamiento y respuesta que tiene el edificio o sistema constructivo al momento de presentarse un sismo. Dicha vulnerabilidad generalmente tiene relación con el diseño estructural, las técnicas y el proceso constructivo, la calidad de los materiales, entre otros, sin embargo la ubicación y las características geológicas juegan también un papel muy importante.

A pesar que algunos territorios en Guatemala cuentan con normativas municipales para la construcción de edificaciones, existen otros muchos que no las tienen o que únicamente se solicita la planificación para poder extender la licencia de construcción pero no existe verificación por parte de autoridad o del propietario de que verdaderamente se construya de acuerdo al diseño.

En todo el país se observan ejemplos claros en donde el sistema constructivo no es el adecuado, sea por la calidad de materiales, sea por las técnicas constructivas, sea por la ubicación en el territorio, lo que incide en la vulnerabilidad de los edificios. En el mejor de los casos las edificaciones, hablando propiamente de viviendas, son construidas por profesionales, empresas o maestros de obra responsables, en otros no muy afortunados, son construidas por albañiles e incluso autoconstruidas, poniendo en duda la calidad de materiales y técnicas constructivas.

Comúnmente, se cae en el error de pensar que un edificio que soportó el terremoto de 1976, soportará el próximo, lo cual no puede afirmarse con tal severidad debido a diversas razones entre las cuales están:

- el sismo pudo haber debilitado la estructura interna sin mostrar daños visibles y en el próximo evento puede no tener la misma resistencia.
- cada sismo tiene características y comportamientos diferentes relacionados a los aspectos geológicos del territorio; una edificación pudo no verse afectada con el terremoto de 1976 por el comportamiento de la onda sísmica en relación a la geología de su ubicación, no precisamente porque el edificio estuviera construido adecuadamente.
- los edificios pueden sufrir fatiga de la estructura y de los materiales por haber llegado al límite de su vida útil, por factores climáticos y de contaminación, entre otros.

En cuanto a la normativa antisísmica, la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica – AGIES-, luego de varios años de esfuerzos, logró que en el 2007 por Acuerdo Ministerial 1686-2007, el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda adoptara entre otras, las normas técnicas de diseño y construcción, denominadas Normas AGIES¹¹, las cuales buscan reducir los daños a los edificios e infraestructuras a causa de sismos, en este caso.

Posteriormente, la Coordinadora para la Reducción de Desastres – CONRED- por Acuerdo Número 03-2010 y modificado en el 05-2011, emite la Norma para Reducción de Desastres Uno – NRD1-, con base a los requerimientos para obras críticas, esenciales e importantes, la cual tiene por objeto establecer los criterios técnicos mínimos que deben implementarse en el diseño de obras nuevas, la remodelación o reparación de obras existentes, y la evaluación de obras a efecto de prevenir daños a la integridad de las personas y a la infraestructura indispensable para el desenvolvimiento socioeconómico de la población¹².

¹¹ AGIES NSE 1-10: Generalidades, administración de las normas y supervisión técnica; AGIES NSE 2-10: Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección; AGIES NSE 2.1-10: Estudios geotécnicos y de microzonificación; AGIES NSE 3-10: Diseño estructural de edificaciones; y AGIES NSE 4-10: Requisitos prescriptivos para vivienda y edificaciones menores de uno y dos niveles.

¹² Adicionalmente emite la NRD2-Normas mínimas de seguridad en edificaciones e instalaciones de uso público, Acdo. 04-2011, modificada por Acdo. 01-2014; NRD3-Especificaciones técnicas de materiales para la construcción, Acdo. 02-2013, modificada por Acdo. 02-2014 y posteriormente modificada por Acdo. 01-2015; y la NRD4-Normas mínimas de seguridad en eventos socio organizativos, Acdo. 04-2015.

Con esta norma se validan y aprueban las normas recomendadas por AGIES, las cuales pasan a formar los requerimientos estructurales de la NRD1. Sin embargo, esta normativa no aplica para viviendas unifamiliares o grupos de viviendas menores a 15 unidades, aunque cabe mencionar que la norma AGIES si establece requerimientos para la ubicación y diseño de viviendas y edificios hasta de dos niveles, clasificadas como obras ordinarias.

Bohnenberger (1996) indica que las edificaciones que estén situadas sobre la fallas sufrirán un mayor daño que las que se encuentran localizadas lejos a ésta y recomienda que se realicen estudios del subsuelo previo a la planificación.

He aquí que la importancia de la relación de ubicación en cuanto a la geología del lugar es relevante ya que los sismos se comportan de diferente manera de acuerdo al material que conforma el terreno y la proximidad de las fallas sísmicas. La norma AGIES NSE 2.1-10 establece que *“la selección del sitio para la construcción debería... estar libre de riesgos como ruptura o fallamiento del suelo...”* y que *“las obras y edificaciones solo se construirán sobre terrenos que tengan baja probabilidad de quedar sujetos durante su vida útil a inestabilidad por causa directa e indirecta de fracturas geológicas, sismos, derrumbes, deslizamientos...”*. Lo anterior pone en alerta sobre el crecimiento que ha tenido la zona de estudio en relación con los mapas de fallas producidas por el terremoto de 1976. En el inciso 3.3 se ampliará este tema.

2.3 Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)

La EMS-98 es una escala de intensidad macrosísmica utilizada en Europa y en otros países del mundo como la base para la evaluación de la intensidad sísmica posterior a un terremoto. Tiene la particularidad de fomentar la cooperación entre sismólogos e ingenieros, por lo que la información no es de uso exclusivo para los primeros, de hecho, es cada vez más común que urbanistas, ingenieros y planificadores recurran a la intensidad como parte de un procedimiento para construir herramientas de escenarios futuros para estimar posibles pérdidas futuras ocasionadas por terremotos, Grünthal (2003).

La escala permite evaluar la intensidad de eventos recién ocurridos y un aporte valioso es que puede utilizarse para establecer intensidades de eventos históricos, previo al uso de equipos de medición sísmica, contando con registros fotográficos o descriptivos de los daños a las estructuras de un poblado. Esto es importante en el sentido que se puede identificar la vulnerabilidad de los edificios de acuerdo al sistema constructivo para poder establecer el tipo de daño que podría sufrir con un evento de determinada magnitud, en la misma ubicación o en otra con características geológicas similares.

El grado de intensidad para un terremoto reciente también puede identificarse por medio de cuestionarios a los pobladores en donde respondan a ciertas preguntas que permiten establecer el comportamiento y la percepción del sismo, por supuesto que esta herramienta vendría a complementar la observación en campo de los daños sufridos a las estructuras.

La base para el establecimiento de la EMS fue la escala MSK, la cual es en sí misma una actualización basada en las experiencias disponibles en los años sesenta, deducidas de la aplicación de la escala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), la escala modificada de Mercalli (MM-31 y MM-56) y la escala de Medvedev, conocida también como escala GEOFIAN, que data de 1953. Medvedev propuso en 1976 y en 1978 pequeños cambios, casi indetectables, a la escala MSK-64.

La mayor diferencia entre la escala EMS-98 y las otras escalas de intensidad radica en el detalle con el cual se definen los diferentes términos usados, en concreto el tipo de edificio, el grado de daño y las cantidades, de tal manera que éstos se consideran ahora individualmente. Por otra parte, es la primera escala de intensidad en ser ilustrada, viene con un manual detallado con gráficas y fotografías a modo de ejemplo para ser utilizadas en el campo para comparaciones reales en estructuras dañadas.

Aunque la escala EMS-98 tiene doce grados, al igual que otras escalas, en la práctica tienden a funcionar como escalas de ocho grados debido a que la intensidad 1 significa en la práctica “no sentido” y la intensidad 2 es muy débil que normalmente no se informa de ella y se usa muy raramente. En el otro extremo de la escala, la intensidad 12 se define de tal modo que describe los efectos máximos concebibles, que no necesariamente han de poder ser observados en un terremoto. Las intensidades 10 y 11 son difíciles de distinguir en la práctica, así que la intensidad 11 se usa en raras ocasiones. Entonces, el “rango funcional” de todas estas escalas de 12 grados tiende normalmente a ser de la intensidad 3 a la intensidad 10, Grünthal (2003).

A manera comparativa, se presenta en el siguiente cuadro la síntesis de la Escala de Mercalli Modificada en donde se establecen doce grados de intensidad y la descripción para cada uno de ellos y más adelante se presentan los grados de intensidad de la EMS-98 para evidenciar la amplitud en la descripción de la intensidad. Sin embargo, cabe hacer la aclaración que la EMS-98 será aplicada en este estudio no para evaluar la intensidad sino para evaluar la vulnerabilidad y grado de posible daño en edificaciones, por lo que esta comparación se presenta como marco general de conocimiento.

Tabla 2. Escala de Mercalli Modificada

ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA	
GRADO	DESCRIPCIÓN
I	No sentido excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido solo por muy pocas personas en posición de descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios. Objetos suspendidos delicadamente pueden oscilar.
III	Sentido muy sensiblemente en interiores, especialmente en los pisos altos de edificios, pero mucha gente no lo reconoce como un terremoto. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como al paso de un camión. Duración apreciable.
IV	Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos se despiertan. Platos, ventanas, puertas agitadas; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentidos por casi todos, muchos se despiertan. Algunos platos, ventanas y similares rotos; grietas en el revestimiento en algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algún mueble pesado se mueve; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.
VII	Todo el mundo corre al exterior. Daño insignificante en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras diseñadas especialmente; daños considerables en edificios corrientes sólidos, con colapso parcial; daño grande en estructuras de construcción pobre. Paredes separadas de la estructura. Caída de chimeneas, rimeros de fábricas, columnas, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Conductores de automóviles entorpecidos.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas se alejan de la vertical; daño grande en edificios sólidos con colapso parcial. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunos edificios bien construidos en madera destruidos; la mayoría de las obras de estructura de ladrillo destruidas con los cimientos; suelo muy agrietado. Carriles torcidos. Corrimientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.
XI	Pocas o ninguna obra de albañilería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Carriles muy retorcidos.
XII	Destrucción total, se ven ondas sobre las superficies del suelo. Líneas de mira (visuales) y de nivel deformadas. Objetos lanzados al aire.

Fuente: Escala Mercalli Modificada
Elaboración propia.

La EMS-98 también tiene doce grados de intensidad medidos en números romanos y presenta efectos más detallados en las personas, en los objetos o naturaleza y principalmente en los edificios, en donde se hace referencia a vulnerabilidades y daños. El “ambiente” como sensor ya no es tomado en cuenta en esta escala por considerarse poco fiable¹³ debido a que estos efectos son complejos y se ven influenciados con frecuencia por

¹³ La EMS-98 los aborda como “efectos sismogeológicos” y los presenta separadamente como consideraciones generales sobre el uso limitado que se puede hacer de efectos como el cambio del nivel del agua en pozos, grietas en el suelo, deslizamientos o desprendimientos, sin embargo se pueden aplicar en entornos rurales con poca evidencia de daños en edificaciones.

distintos factores tales como la estabilidad inherente de una ladera, el nivel freático, entre otros, que pueden ser difíciles de evaluar para un observador.

En la siguiente tabla se presentan los efectos para los diferentes grados de intensidad en esta escala y más adelante se explicará la tabla de vulnerabilidad y daños. Se hace la aclaración que esta es la versión resumida de la escala y no debe utilizarse como única herramienta para la asignación de intensidades.

Tabla 3. Escala Macrosísmica Europea resumida (EMS-98)

ESCALA MACROSÍSMICA EUROPEA (EMS-98)			
Grado	Percepción / daño	Sensor	Descripción
I	No se ha sentido	Personas	No sentido, aun en las condiciones más favorables.
		Objetos /naturaleza	Sin efecto.
		Edificios	Sin daños.
II	Apenas sentido	Personas	El temblor es sentido sólo en casos aislados (< 1%) por individuos en reposo y en una posición especialmente receptiva en el interior de un edificio o vivienda.
		Objetos /naturaleza	Sin efecto.
		Edificios	Sin daños.
III	Débil	Personas	El temblor es sentido en el interior de viviendas y edificios por algunas pocas personas. Las personas en reposo sienten un balanceo lento o temblor leve.
		Objetos /naturaleza	Los objetos colgantes se mecen levemente.
		Edificios	Sin daños.
IV	Observado ampliamente	Personas	El temblor es sentido por muchas personas en el interior y sólo por pocos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas personas se despiertan. El nivel de vibración no es alarmante. La vibración es moderada. Los observadores sienten un leve temblor o balanceo del edificio, dormitorio, cama, silla, etc.
		Objetos /naturaleza	La porcelana, vasos, ventanas y puertas traquetean. Los objetos colgantes se balancean. Los muebles ligeros vibran notablemente en algunos pocos casos. En algunos casos los objetos de carpintería crujen.
		Edificios	Sin daños.
V	Fuerte	Personas	El temblor es sentido por la mayoría en el interior y por pocos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas pocas personas se asustan y corren al exterior. Muchas personas se despiertan. Los observadores sienten una fuerte vibración del edificio, dormitorio o de los muebles.
		Objetos /naturaleza	Los objetos colgantes se mecen considerablemente. La porcelana y los vasos entrechocan y repiquetean. Los objetos pequeños que son más pesados en su parte alta o bien los

			objetos que se sostienen de forma precaria se pueden mover o caer. Las puertas y ventanas se abren o se cierran. En algunos pocos casos los cristales de las ventanas se pueden quebrar. Los líquidos oscilan y se pueden derramar de contenedores llenos hasta el borde. Los animales en el interior se pueden inquietar.
		Edificios	Daños de grado 1 en algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad A y B.
VI	Daños leves	Personas	El temblor es sentido por la mayoría en el interior y por muchos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas personas pierden el equilibrio. Muchas personas se asustan y corren al exterior.
		Objetos /naturaleza	Los objetos pequeños de estabilidad normal pueden caerse y los muebles pueden desplazarse. En algunos casos se pueden romper platos y vasos. Los animales de granja se pueden asustar (incluso aquellos que se encuentran en el exterior).
		Edificios	Daños de grado 1 a muchos edificios de clase de vulnerabilidad A y B; algunos pocos de clase A y B sufren daños de grado 2; algunos pocos de la clase C sufren daños de grado 1.
VII	Daños	Personas	La mayoría de las personas se asustan y tratan de correr hacia el exterior. A muchos les cuesta mantenerse de pie, especialmente en los pisos altos.
		Objetos /naturaleza	Los muebles se desplazan y los muebles que son más pesados en su parte superior pueden volcarse. Se caen los objetos de los estantes en gran número. El agua salpica en los contenedores, tanques y piscinas.
		Edificios	Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3. Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2. Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 1.
VIII	Daños severos	Personas	Mucha gente encuentra difícil mantenerse de pie, incluso en el exterior.
		Objetos /naturaleza	Los muebles pueden volcarse. Se caen los objetos tales como televisiones, máquinas de escribir, etc. Las lápidas pueden desplazarse o caerse. Se pueden ver ondas en suelos muy suaves.
		Edificios	Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4. Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3. Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2.
IX	Destructivo	Personas	Pánico general. El terremoto tira a la gente al suelo.
		Objetos /naturaleza	Muchos monumentos y columnas se caen o se retuercen. Se ven ondas en suelos suaves.

		Edificios	<p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.</p> <p>Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2.</p>
X	Muy destructivo	Edificios	<p>La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.</p> <p>Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2.</p>
XI	Devastador	Edificios	<p>La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.</p> <p>La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4 y muchos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.</p>
XII	Totalmente devastador	Edificios	<p>Todos los edificios de clase de vulnerabilidad A, B y prácticamente todos los de clase C quedan destruidos. La mayoría de los edificios de las clases D, E y F quedan destruidos.</p> <p>Los efectos del terremoto alcanzan los efectos máximos concebibles.</p>

Fuente: Grünthal (2003).
Elaboración propia.

La tabla anterior muestra la descripción de los efectos en los sensores para cada grado de intensidad, sin embargo la EMS-98 es mucho más que una descripción de efectos, es poder entender o bien explicar, según sea el caso, los daños en los edificios de acuerdo al tipo de estructura o sistema constructivo y el grado de vulnerabilidad que se asigna de acuerdo al comportamiento del mismo y por diferentes factores, como el posible mal estado del edificio, la calidad de la construcción, irregularidad en la forma del edificio, el nivel de diseño sismorresistente (DSR), entre otros, el sistema puede ser más o menos vulnerable, lo que indica que la escala incorpora entonces edificios construidos con y sin técnicas de ingeniería. Esto es un adelanto con respecto a escalas previas, las cuales usan solamente el tipo de construcción como un equivalente de vulnerabilidad.

2.3.1 Tabla de Vulnerabilidad

La EMS-98 presenta la vulnerabilidad de forma gráfica en la Tabla de Vulnerabilidad, la cual presenta una línea para cada tipo de edificio, mostrando su(s) clase(s) de vulnerabilidad más probable(s), así como su rango posible (mostrado como una línea punteada donde es incierto) cuando se presentan factores como los indicados en el párrafo anterior, que pueden hacer deficiente la estructura.

El círculo muestra la clase más probable. Si no existen fortalezas o debilidades especiales evidentes en un edificio, esta es la clase que se le debe asignar. Una línea continua muestra el rango probable hacia arriba o hacia abajo. Algunas fortalezas o debilidades permiten que se clasifique al edificio dentro de este rango. Una línea punteada muestra el rango en casos extremos. Se puede clasificar el edificio dentro de este rango si tiene muchas fortalezas o debilidades, fortalezas que son particularmente notables, o debilidades que son muy severas.

Los valores de vulnerabilidad van de la A a la F, en donde un tipo de estructura vulnerabilidad A es un edificio muy vulnerable y un tipo de estructura con vulnerabilidad F es poco vulnerable.

Tabla 4. Tabla de Vulnerabilidad EMS-98

Tipo de Estructura	Clase de Vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERÍA	Paredes de peña viva / roca de cantera	○				
	Adobe (ladrillo de tierra)	○—				
	Roca simple	—○				
	Roca masiva		—○—			
	Unidades de roca manufacturada	—○—				
	Ladrillo no reforzado, pisos de HA		—○—			
	Reforzado o confinado			—○—		
HORMIGÓN ARMADO (HA)	Armazón sin diseño sismorresistente (DSR)		—○—			
	Armazón con un nivel moderato de DSR		—○—			
	Armazón con un alto nivel de DSR			—○—		
	Paredes sin DSR		—○—			
	Paredes con un nivel moderado de DSR			—○—		
	Paredes con un nivel alto de DSR				—○—	
ACERO				—○—		
MADERA				—○—		

○ Clase de vulnerabilidad más probable; — Rango probable;
 Rango de casos excepcionales, menos probables

Fuente: Grünthal (2009).

2.3.2 Clasificación del daño

La forma en la cual se deforma un edificio bajo la carga sísmica depende del tipo de edificio. En una primera clasificación general se pueden distinguir los tipos de edificios de mampostería y los edificios de hormigón armado.

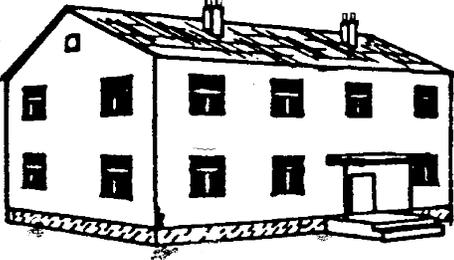
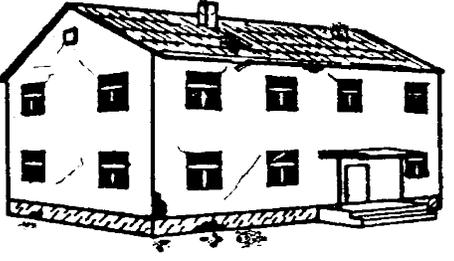
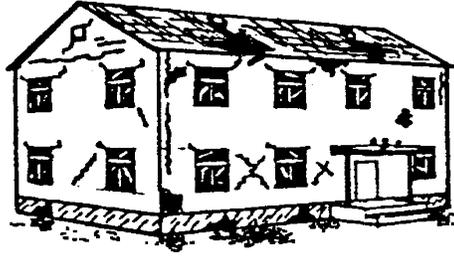
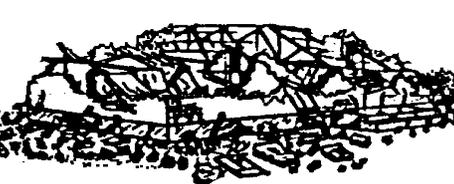
Idealmente, los grados del 1 a 5 deberían representar un aumento lineal en la fuerza de la vibración. Esto es cierto sólo de forma aproximada, y dichos grados están fuertemente condicionados por la necesidad de describir clases de daño que puedan distinguirse fácilmente por el usuario.

Ha de notarse que no se mencionan todas las combinaciones posibles de clases de vulnerabilidad y grados de daño para cada grado de la escala; normalmente, para una clase de vulnerabilidad concreta sólo se mencionan los dos mayores grados de daño, y se asume que un número proporcionado de edificios sufrirá daños de menor grado.

Un aspecto que no se había considerado en las versiones previas de la escala es el hecho de que los distintos tipos de edificios responden y fallan en formas distintas, lo que se ha incluido en esta versión al separar los apuntes ilustrados sobre daños en edificios de mampostería y de hormigón armado. Los lugares donde ocurren los daños y los patrones de daños también pueden ser distintos dependiendo de si las estructuras han sido construidas con o sin técnicas de ingeniería.

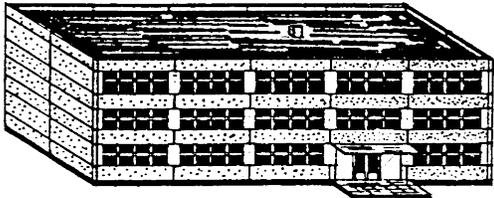
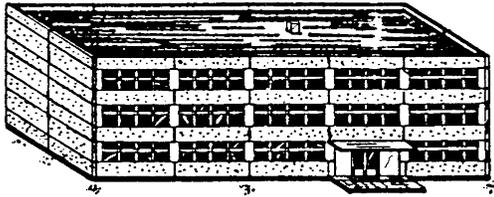
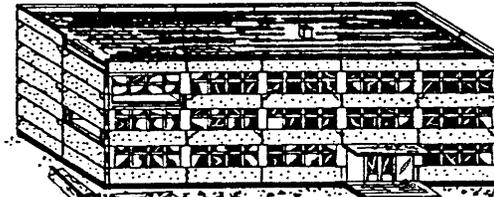
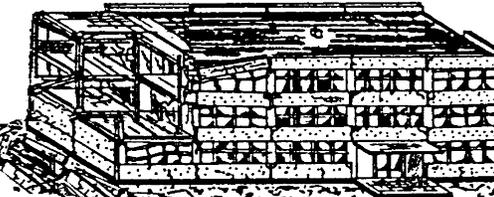
Es importante apreciar la diferencia entre los daños estructurales y no estructurales, así como distinguir cuidadosamente entre los daños al sistema primario (estructura/elementos de carga) y daños a elementos secundarios (no estructurales), como tabiques o fachadas ligeras. En el caso especial de estructuras con Diseño Sismo Resistente –DSR–, también debe distinguirse entre daños en zonas especiales de plastificación (tales como vigas de unión en muros de carga, juntas en edificios de muros prefabricados o vigas en las juntas de las estructuras porticadas).

Se ha de tener muy presente que cuando se investigan los daños causados por las réplicas sísmicas los edificios pueden ser más vulnerables de lo que ordinariamente serían debido al daño (tal vez no muy visible) causado por el terremoto principal. Esto se debe tomar en consideración cuando se establece la vulnerabilidad.

Clasificación del daño a edificios de mampostería	
	<p>Grado 1: Sin daños a daños leves (Sin daño estructural, daño no estructural leve)</p> <p>Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de enlucido o enfoscado. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.</p>
	<p>Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado)</p> <p>Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de guarnecido. Colapso parcial de chimeneas.</p>
	<p>Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo)</p> <p>Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; fallo de los elementos individuales no estructurales (particiones, frontones).</p>
	<p>Grado 4: Daños muy severos (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)</p> <p>Fallo serio de los muros; fallo estructural parcial de techos y pisos.</p>
	<p>Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo)</p> <p>Colapso total o casi total.</p>

Fuente: Grünthal (2009).

Figura 3. Clasificación del daño a edificios de mampostería.

Clasificación del daño a edificios de hormigón armado	
	<p>Grado 1: Sin daños a daños leve (Sin daño estructural, daño no estructural leve)</p> <p>Grietas delgadas en el guarnecido sobre elementos de la estructura o en la base de los muros. Grietas delgadas en particiones y tabiques.</p>
	<p>Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado)</p> <p>Grietas en columnas y vigas y en muros estructurales. Grietas en particiones y tabiques; caída de revestimiento frágil y guarnecido. Caída de mortero en las uniones de paneles de muros.</p>
	<p>Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo)</p> <p>Grietas en columnas y uniones entre columnas y vigas de la estructura en la base y en las uniones de muros acoplados. Desconchamiento del revestimiento de hormigón, torcedura de varillas de refuerzo. Grandes grietas en muros de particiones y en tabiques, fallo de tabiques individuales.</p>
	<p>Grado 4: Daños muy severos (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)</p> <p>Grandes grietas en elementos estructurales con fallo por compresión de hormigón y fractura de barras corrugadas; Fallos en la junta de vigas reforzadas; inclinación de columnas. Colapso de algunas columnas o de un único piso superior.</p>
	<p>Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo)</p> <p>Colapso de la planta baja o de partes de edificios (por ejemplo alas).</p>

Fuente: Grünthal (2009).

Figura 4. Clasificación del daño a edificios de hormigón armado

2.3.3 Tipologías constructivas establecidas en la EMS-98

A manera de poder identificar posteriormente los sistemas constructivos que se encuentran en la zona de estudio, se presenta una síntesis de las tipologías constructivas que establece la Escala Macrosísmica Europea 1998, la cual define cuatro tipos de estructuras constructivas, mampostería, hormigón armado, acero y madera y describe cada una de ellas en relación a la vulnerabilidad que pueden presentar de acuerdo a su comportamiento, calidad de materiales, ductilidad, entre otros¹⁴.

Tabla 5. Tipologías Constructivas establecidas en la EMS-98

TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS EMS-98		
Tipo	Material	Descripción
Estructuras de mampostería	Roca de cantera	Construcciones tradicionales construidas con rocas desnudas como material básico de construcción, normalmente con un mortero de mala calidad, creando edificios pesados y con poca resistencia a las cargas laterales. Los pisos son típicamente de madera y otro material que no proporciona rigidez horizontal.
	Adobe	Los métodos de construcción con adobe varían ampliamente y esto introduce algunas variaciones en la resistencia contra las vibraciones sísmicas de las viviendas de adobe. Los muros construidos de capas de adobe sin el uso de ladrillos son rígidos y débiles; pueden comportarse mejor dependiendo de la calidad del mortero, y, en menor grado, de la calidad del ladrillo. El peso del techo es uno de los factores más importantes en el rendimiento de este tipo de viviendas, siendo los techos pesados más peligrosos. Las viviendas de adobe con armazones de madera poseen una resistencia mayor y tienen un mejor rendimiento. Tales edificios pueden sufrir daños en los muros fácilmente, mientras que el armazón de madera permanece intacto debido a su mayor ductilidad. También se pueden encontrar viviendas de adobe en las que se utilizan vigas y columnas de madera no unidas; éstas proporcionan una rigidez horizontal adicional y por lo tanto mejoran el rendimiento, pero no lo hacen tanto como en el caso de un armazón conectado.
	Roca simple	Difiere de la construcción de roca de cantera en que ésta ha sido labrada antes de ser usada. Estas rocas labradas se colocan en la construcción del edificio según ciertas técnicas para mejorar la resistencia de la estructura, por ejemplo usando rocas grandes para enlazar los muros en las esquinas.
	Roca masiva	Esta tipología se limita normalmente a construcciones monumentales, castillos, grandes edificios civiles, etc. Estos edificios normalmente poseen gran resistencia, por lo que se reduce su vulnerabilidad.
	Ladrillo no reforzado	Este tipo de construcción, común en muchos casos, es construida con piezas manufacturadas. Los pisos son casi siempre de madera, siendo muy flexibles. En general, la vulnerabilidad se ve afectada por el número, el tamaño y la posición de aberturas. Aberturas grandes, pequeños entrepaños entre las aberturas y esquinas, así como largos muros sin elementos de rigidez perpendiculares contribuyen a una estructura más vulnerable. Un problema que debe tenerse en cuenta es el uso de sistemas de muros huecos con revestimientos internos y externos, los cuales si no se conectan apropiadamente pueden crear muros muy débiles sin suficiente sismorresistencia, de tal forma que responden de una forma muy pobre.
	Ladrillo no reforzado con piso de hormigón armado	Aunque los muros de los edificios son las partes más evidentes para el observador, los elementos horizontales pueden ser de hecho más importantes para determinar la resistencia de la estructura con respecto a las cargas laterales. Por ello, el tipo de construcción donde los muros son de

¹⁴ Para ampliar se recomienda consultar el documento completo Grünthal (2009).

		<p>ladrillo no reforzado pero que tienen pisos de hormigón armado se comportará significativamente mejor que las viviendas normales de ladrillo. Donde los muros se unen entre sí mediante una solera rígida con vigas perimetrales, creando así una estructura de cajón que reduce de manera efectiva el riesgo de un colapso de los muros fuera del plano, así como la separación y distanciamiento de muros perpendiculares que se intersecten. Esta mejora del rendimiento sólo se materializa si el piso de HA está conectado adecuadamente a la estructura, lo que no siempre es el caso.</p>
	<p>Ladrillo reforzado y mampostería confinada</p>	<p>Se insertan barras o mallas de acero, en el mortero, en huecos o entre capas de ladrillos de mampostería, creando un material compuesto que actúa como un muro o un sistema de muros altamente resistente y dúctil. Dicho refuerzo aparece en direcciones horizontales y verticales. La mampostería confinada se caracteriza como mampostería construida rígidamente entre columnas estructurales y vigas en los cuatro lados y provee un nivel de resistencia similar. En tales estructuras no se pretende que los elementos de conexión respondan como un armazón resistente a momentos, donde la mampostería actúa como un relleno no estructural en la mayoría de los casos.</p>
<p>Estructuras de hormigón armado</p>	<p>Estructuras de armazón de hormigón armado</p>	<p>El sistema estructural de edificios con armazón de hormigón armado consiste en un sistema de vigas y columnas que forman un armazón y que están acopladas mediante uniones monolíticas de vigas y columnas resistentes a momentos y esfuerzos de cizalla. Las estructuras de armazones de HA resisten tanto cargas verticales como laterales. El comportamiento de los armazones de HA lo determina la proporción entre la altura de las columnas y la longitud de las vigas, así como la resistencia (secciones transversales) de las vigas y columnas. Unas columnas débiles y unas vigas fuertes indican un sistema vulnerable a cargas laterales. Las estructuras con armazón de HA son muy comunes y están muy extendidas, y deben ser consideradas como el tipo de edificio con la mayor variabilidad de sismorresistencia.</p> <p>El colapso de edificios con armazón de HA provoca con frecuencia daños espectaculares. Los daños observados en terremotos pasados proporcionan experiencia sobre defectos típicos de diseño y las razones detrás de los patrones de daños observados repetidamente.</p> <p>En la mayoría de los casos prácticos los sistemas estructurales se pueden clasificar como de armazón de HA con rellenos de mampostería. La posible interacción entre el armazón de HA y los rellenos frágiles puede contribuir a un sistema más vulnerable. Debido a esta interacción, las columnas y enlaces tienen que reaccionar a cargas adicionales para las cuales no están diseñadas. Si el relleno tiene aberturas o tiene otras discontinuidades, es de esperar un efecto de “columna corta” que resulta en fallos de corte en las columnas (grietas diagonales e inclinación del reforzamiento de la columna).</p> <p>La vulnerabilidad sísmica de los armazones de HA se ve afectada por la regularidad, la calidad y la fabricación o la ductilidad. Los armazones de HA son particularmente vulnerables a las interrupciones de rigidez lateral en toda la altura del edificio. Un primer piso débil puede provocar el colapso de todo el edificio. Tales tipos de edificios son muy vulnerables a cargas laterales. Si los edificios tienen irregularidades en la planta, el daño se concentrará en lugares alejados del centro de rigidez. Es decir, si algunas columnas exteriores se dañan, esto se debe interpretar como la indicación de efectos torsionales y una armazón vulnerable.</p>
	<p>Estructuras de muros de hormigón armado</p>	<p>Las estructuras de muros de hormigón armado se caracterizan por elementos generalmente verticales que soportan otros elementos y que tienen secciones transversales alargadas con una relación entre longitud y grosor mayor de 4 a 1 y/o un confinamiento en secciones parcial. Si dos o más muros están conectados en un patrón regular mediante vigas de acoplamiento, el sistema estructural se conoce como estructura de muros acoplados, en la cual las vigas deberían proveer suficiente ductilidad y tienen la finalidad de ser los elementos donde se produce la disipación de energía, de acuerdo a principios recientes de diseño sismo resistente (DSR). La vulnerabilidad se ve afectada por grandes aberturas o discontinuidades en los muros y su</p>

		<p>forma geométrica en toda la altura del edificio, así como por las interrupciones en el nivel del suelo (que crean una planta débil).</p> <p>Las estructuras de muros de HA se caracterizan por una rigidez mayor que las estructuras de armazón de HA. Si los muros no están colocados en forma regular y en todos los lados exteriores de un edificio, los efectos torsionales pueden contribuir a un fallo parcial del sistema. Las irregularidades en la planta o los defectos internos deben ser considerados como defectos serios aun en el caso de un aspecto exterior uniforme, y pueden contribuir a casos excepcionales de vulnerabilidad.</p>
	Estructuras de acero	<p>Bajo esta categoría se clasifican los edificios en los cuales el sistema estructural principal lo proporciona una armazón de acero. Hasta ahora se cuenta con muy pocos datos de evaluaciones macrosísmicas para estructuras de armazones de acero, pero estos datos indican un alto nivel de sismorresistencia. El daño estructural puede, sin embargo, estar enmascarado por elementos no estructurales tales como el repello, paredes de tabique, o añadidos de hormigón (incluidos para aumentar la resistencia a los incendios) en sistemas compuestos. En tales casos, el daño a las uniones es visible solamente después de que se haya retirado el revestimiento de hormigón.</p> <p>La ductilidad del sistema completo estará determinada por el sistema de resistencia lateral (es decir, el tipo de armazón y el tipo de arriostramiento).</p>
	Estructuras de madera	<p>A los edificios de madera se les ha tratado brevemente porque no se encuentran con frecuencia en las regiones de mayor actividad sísmica de Europa. La flexibilidad innata de la construcción de madera les brinda mayor resistencia a los daños, aunque esto puede variar considerablemente en función de las condiciones en las que se encuentren las estructuras. La madera podrida o las uniones flojas pueden hacer una vivienda de madera bastante vulnerable al colapso; en el caso del terremoto de Kobe en 1995, fue notable que las viviendas de madera tradicionales en ciertas partes de la ciudad respondieron muy mal debido a su mala condición. Este fue un muy buen ejemplo de cómo la vulnerabilidad depende de algo más que el tipo de construcción.</p> <p>El sistema estructural que proporciona la resistencia lateral debe ser considerado cuidadosamente. Si la vigas y las columnas están conectadas mediante placas clavadas (de yeso u otros materiales quebradizos) o si estas conexiones son débiles, la estructura se colapsará si las conexiones fallan.</p>

Elaboración propia, basado en Grünthal (2009).

2.3.4 Factores que afectan la vulnerabilidad sísmica de los edificios

Como se indicó en el inciso 2.3.1 al presentarse la Tabla de Vulnerabilidad, se hizo referencia a fortalezas o debilidades que pueden presentar las estructuras y que las pueden hacer más o menos vulnerables.

La EMS-98 establece una lista descriptiva de los factores que afectan a la vulnerabilidad general de una estructura además del tipo de construcción. Estos factores afectan generalmente a todo tipo de estructuras, independientemente de si están construidas con o sin técnicas de ingeniería, con o sin normas de diseño sismo resistente (DSR).

A continuación se hace un extracto de dichos factores indicados en Grünthal (2009), tomando todo aquello que tiene mayor relación con el enfoque del estudio. Más adelante estos factores serán integrados en la ficha para el análisis de la muestra en el área de estudio.

a) Calidad y fabricación

Es obvio que un edificio que esté bien construido es más fuerte que uno mal construido, pero previamente esto no se ha tenido en consideración en las escalas de intensidad, sin duda en parte por la dificultad de definir lo que constituye “buena” y “mala” construcción. Sin embargo, incluso una discriminación subjetiva de estas condiciones es mejor que descartarlas por completo. El uso de materiales de buena calidad y buenas técnicas de construcción resultará en un edificio más capaz de resistir la vibración que si se usan materiales de baja calidad, o si se da una fabricación deficiente. En el caso de los materiales, la calidad del mortero es de particular importancia, hasta el punto de que incluso se puede construir un edificio fuerte con mampostería con paredes de rocas si el mortero es de alta calidad. La fabricación de mala calidad puede estar motivada por negligencia o recortes de presupuestos, por ejemplo en el caso de no conseguir conectar adecuadamente las partes de la estructura. En los casos de estructuras construidas con técnicas de ingeniería, una construcción deficiente puede provocar que la estructura final no satisfaga los requisitos del código sísmico apropiado si lo hubiere.

b) Estado de preservación

Un edificio mantenido de forma adecuada funcionará de acuerdo a la resistencia que se espere de él. Un edificio al que se le haya permitido deteriorarse puede ser significativamente más débil, lo suficiente incluso como para incrementar su vulnerabilidad en al menos una clase. Esto se puede observar en los casos de edificios abandonados o en ruinas, así como en los casos en los cuales ha existido una falta evidente de mantenimiento. Un caso particular es el de edificios previamente dañados (por lo general por un terremoto previo, cuando se han manifestado series de réplicas). Tales edificios pueden responder de una manera muy pobre, de forma que una réplica considerablemente débil puede causar daños desproporcionados (incluyendo colapso) entre edificios dañados por el sismo principal.

Se debe notar que un edificio puede aparentar estar en buenas condiciones porque se ha atendido al mantenimiento de la apariencia estética del edificio. Sin embargo, es obvio que un guarnecido reciente y unas capas de pintura vistosa no conllevan necesariamente buen estado del sistema estructural del edificio.

c) Regularidad

Desde el punto de vista de la sismorresistencia, el edificio ideal sería un cubo en el cual todas las variaciones en la rigidez (como las cajas de las escaleras) están dispuestas en forma simétrica. Como tales edificios no funcionarían adecuadamente y serían rechazados estéticamente, hay que esperar variaciones más o menos significativas en la mayoría de edificios con respecto a esta estructura ideal. Cuanto mayor sea la discrepancia en simetría y regularidad, mayor será la vulnerabilidad del edificio con relación a la vibración sísmica, y con frecuencia es posible observar en edificios dañados cómo las irregularidades ha contribuido claramente al daño (por ejemplo por el colapso de pisos débiles).

La regularidad se debe considerar en un sentido global, es decir, la regularidad es más que la simetría externa en plano y elevación. En el sentido de esta escala, la regularidad incluye tanto las características naturales del edificio como, en el caso de las estructuras

construidas con técnicas de ingeniería, las medidas tomadas en el interior para asegurar un comportamiento simple y hasta cierto punto controlado en caso de terremoto. Es de esperarse que las estructuras construidas con técnicas de ingeniería incorporen medidas en correspondencia con las reglas del diseño sismorresistente para garantizar la regularidad.

Ciertas irregularidades evidentes se pueden identificar fácilmente por ejemplo, los edificios diseñados con un plano en forma de L son comunes y están sujetos a efectos torsionales que pueden aumentar dramáticamente los daños sufridos. Por otro lado, no sería inteligente asumir que un edificio acata las normas de regularidad solamente por el hecho de que posee una simetría en sus dimensiones exteriores. Incluso si la planta es regular, pueden surgir problemas en edificios que poseen una marcada asimetría en la disposición interna de componentes de rigidez variable. Un aspecto notable en este caso es la posición de cavidades para ascensores y escaleras.

Con frecuencia se encuentran casos de edificios en los cuales un piso (normalmente el más bajo) es significativamente más débil que los otros; a menudo es muy abierto, con columnas sin muros que soportan los pisos superiores. Tales casos se conocen como pisos débiles y son muy susceptibles de colapsar. Unos ventanales a lo largo de un edificio pueden introducir efectos similares.

En algunos casos las modificaciones subsecuentes pueden afectar negativamente a edificios que tenían un buen nivel de regularidad. Por ejemplo, la transformación del primer piso de un edificio en un garaje o local comercial puede debilitarlo (creando un piso débil); igualmente, la construcción de una extensión de un edificio puede introducir irregularidades en la planta e irregularidades de rigidez y período sobre toda la estructura. Los edificios antiguos de mampostería pueden haber sido modificados considerablemente a lo largo de varios años, resultando en pisos a distintos niveles cuya planta no concuerda, cimientos en distintos niveles de una pendiente y casos similares.

d) Ductilidad

La ductilidad representa una medida de la capacidad de un edificio para tolerar cargas laterales en el rango post-elástico, disipando la energía del terremoto y creando daños de forma controlada, dispersa o concentrada localmente según el tipo de construcción y de sistema estructural. La ductilidad puede ser función directa del tipo de construcción; las viviendas de acero bien construidas tienen una alta ductilidad y por lo tanto resisten la vibración de forma adecuada, en comparación con edificios más quebradizos y menos dúctiles tales como las viviendas de ladrillo. En los edificios diseñados contra terremotos, los parámetros que determinan las características dinámicas del edificio (rigidez y distribución de masas) se controlan y la calidad de la transformación y disipación de la energía se asegura en los acoplamientos entre el piso, los cimientos y los elementos estructurales, así como eludiendo las concentraciones críticas de daños locales (fracturas).

e) Localización

La localización de un edificio con respecto a otros edificios vecinos puede afectar su comportamiento durante un terremoto. En el caso de una fila de viviendas en una manzana

urbana, por lo general son las viviendas situadas en los extremos de la fila o las situadas en las esquinas las que se ven más afectadas. Un extremo de la vivienda está anclado a la vivienda vecina, mientras que el otro lado no lo está, generando una irregularidad en la rigidez general de la estructura que provoca un daño mayor.

Cuando dos edificios altos con períodos naturales distintos están situados muy cerca el uno del otro se pueden producir daños de importancia. Durante el terremoto, ambos edificios pueden oscilar a frecuencias distintas y chocar el uno contra el otro, causando un efecto conocido como “golpeteo”. Tal daño no representa una medida de la fuerza de la vibración del terremoto y debe ser descartado al asignar la intensidad.

f) Refuerzo

Cuando se han tomado medidas para reforzar los edificios con el fin de mejorarlos contra los terremotos, el efecto es el de crear lo que son prácticamente nuevos tipos de edificios compuestos. Estos pueden diferir radicalmente en su rendimiento con respecto al edificio original sin modificaciones. Por ejemplo, tomar construcciones antiguas de rocas de cantera y mejorar los elementos horizontales reemplazando los pisos o insertando enlaces puede mejorar el rendimiento hasta una clase B. Si además de esto, se inyecta mortero o epoxi o se encamisa con HA, el rendimiento puede mejorar hasta el punto de incluir el edificio en las clases asignadas a edificios con DSR.

g) Diseño Sismorresistente (DSR)

Para el propósito de una escala macrosísmica, sería imposible ofrecer una clasificación completa de los edificios construidos con técnicas de ingeniería que reflejara las diferencias y refinamientos dentro de los códigos sísmicos nacionales. Las correlaciones entre los niveles de sismorresistencia de acuerdo a los códigos sísmicos en países europeos o de otras nacionalidades y las clases típicas de vulnerabilidad deben ser desarrolladas y requieren de una discusión entre los especialistas nacionales. Las funciones de vulnerabilidad para los distintos tipos de estructuras construidas con técnicas de ingeniería se deben evaluar principalmente en función del nivel deseado del diseño sismorresistente. Estos niveles pueden variar de un país a otro. Las clases de vulnerabilidad tampoco son uniformes con respecto al nivel y a las metas de las regulaciones nacionales en torno a terremotos y pueden cambiar con el tiempo en cualquier país o región. La clase real de vulnerabilidad será asignada con respecto al diseño final (real) de DSR, el cual puede diferir (aunque en la mayoría de los casos no debería hacerlo) del nivel consistente con el código debido a otros factores.

En conclusión¹⁵, la EMS-98 permite evaluar las intensidades de un terremoto reciente por medio de la identificación de daños en campo, con base en la observación y comparación de los ejemplos proporcionados por la escala y los daños sufridos en las edificaciones, de acuerdo al correspondiente sistema constructivo. Puede también complementarse dicha observación con un cuestionario formulado a los pobladores en donde respondan a ciertas preguntas que permitan establecer el comportamiento y la percepción del sismo.

¹⁵ La conclusión expresada se realiza desde el enfoque del presente estudio, es decir, desde la aplicación que tiene la EMS-98 en el campo de la arquitectura, el urbanismo y el ordenamiento territorial.

En casos en donde no exista un catálogo sísmico o hay poca información instrumental sobre un evento sísmico, se puede llegar a establecer la intensidad del evento, siempre y cuando se cuente con registros fotográficos de los daños a las edificaciones y/o relatos históricos que detallen, por ejemplo, cómo fueron los daños a la iglesia, al mercado, al teatro e incluso a las viviendas, lo cual es menos probable encontrar porque generalmente estos documentos se centran en edificios públicos de mayor importancia en la ciudad.

Con esta información documental se puede identificar la intensidad del evento y con los resultados hacer comparaciones en otras ubicaciones con características geológicas similares, para establecer escenarios futuros.

Otra aplicación, que es la que se trabaja en el presente estudio, es analizar la vulnerabilidad de los sistemas constructivos identificados en el área y poder establecer un grado de posible daño, de acuerdo a la tabla de vulnerabilidad de la EMS-98. Con esta información se puede llegar a establecer zonas homogéneas en el territorio en estudio y así identificar por medio de un mapa las áreas más vulnerables. Esta información es importante ya sea para fijar normas de construcción más estrictas o en un plazo más inmediato, para que la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres cuente con información que permita la toma de decisiones en el marco de la gestión para la reducción del riesgo.

Desde un enfoque preventivo y estratégico, los resultados de la aplicación de la EMS-98 en cualquiera de los casos indicados arriba, constituye una herramienta para establecer escenarios de riesgo y puede contribuir en el ordenamiento y la planificación territorial.

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación y definición del área de estudio

El caso de estudio se ubica en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala con una extensión de 103.39 km², el cual colinda al norte con Baja Verapaz, al Este con El Progreso y Jalapa, al Sur con Escuintla y Santa Rosa y al Oeste con Sacatepéquez y Chimaltenango (Mapa 3).

El área delimitada¹⁶ es la zona 8 del mismo municipio (Mapa 4), por considerarse una de las zonas de mayor crecimiento urbano y con alta plusvalía, con usos residenciales, comerciales, industriales y con equipamiento urbano importante. Esta zona tiene una extensión territorial de 16.80 km².

La zona 8 de Mixco es también llamada Ciudad San Cristóbal, fue lotificada en 1969 como granjas familiares. Se ha desarrollado sobre el eje vial principal del Bulevar San Cristóbal, con una vía de dos carriles en cada sentido y de 5.6 km de longitud, que comunica la ciudad capital (Las Charcas) con la ruta Interamericana - CA1. Cuenta además con otro acceso desde la CA9 en Villa Nueva a través del Bulevar Sur, también de dos carriles en ambos sentidos, y se conecta al bulevar principal. Otra vía principal es el bulevar que comunica a Pinares de San Cristóbal, llegando finalmente al Cementerio Los Parques, siendo este bulevar la única salida para los habitantes de dichas áreas (Mapa 5).

Su crecimiento ha sido delimitado principalmente por barrancos por lo que el desarrollo urbano ha sido sobre las mesetas formadas por estos accidentes geográficos conformando islas que en algunos casos se comunican únicamente por una vía, como es el caso de Ciudad Peronia, que aunque no forma parte del Municipio de Mixco, sino de Villa Nueva, cuenta con una población aproximada de 75,000 habitantes los cuales se comunican principalmente por el bulevar de Pinares ya que es el acceso más viable.

Lo anterior representa un verdadero problema en cuanto a la evacuación o asistencia a la población al momento de presentarse un evento catastrófico debido a que podrían quedar incomunicados.

El área representa en la actualidad, una de las zonas con mayor oferta de proyectos de vivienda¹⁷ pero con una gran presión automovilística¹⁸ debido a la inexistencia de transporte público y porque es una ciudad dormitorio en donde la mayoría de los residentes viajan diariamente hacia la ciudad capital.

¹⁶ Cabe aclarar que existe una diferencia en cuanto a los límites municipales por parte del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y por parte de la Municipalidad de Mixco y que para el presente estudio se toman los de ésta última ya que es una propuesta para gestión del territorio a nivel local.

¹⁷ Según reportaje de Prensa Libre (2014) para ese año existían 20 proyectos de vivienda con una oferta de 2055 unidades habitacionales. En <http://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala/ciudad-san-cristobal-crece-en-medio-del-desarrollo-y-riesgos-naturales>

¹⁸ Prensa Libre (2010), en Ciudad San Cristóbal transitaban diariamente en 2014, 45,000 vehículos.

La Municipalidad de Mixco se encuentra trabajando en su Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y aunque aún no existe un documento publicado, se encuentra en su página de internet una infografía para cada una de sus zonas a manera de socialización a la población.

En cuanto al uso del suelo, de acuerdo a información cartográfica proporcionada por la Municipalidad de Mixco se encuentran usos de suelo mixto, encontrándose uso comercial con un 3%, uso industrial con 2.4% y en su mayoría uso habitacional con un 31%. El área de amortiguamiento representa un 29.7% y corresponde a los barrancos del sector; con un 10% se identifican predios baldíos, los cuales representan áreas de futura expansión urbana; las calles y vías de comunicación representan el 10.6% del territorio (Mapa 6).

Este un sector en donde, según la Municipalidad de Mixco,¹⁹ existe una aldea, una finca, 18 colonias y 221 condominios. Por otra parte y con el objeto de poder identificar el equipamiento y la infraestructura importantes para el funcionamiento del municipio o bien por el tipo de actividad y la cantidad de personas que albergan, se elaboró el Mapa de Infraestructura de Conexión y Elementos Críticos (Mapa 7), en el cual se muestra la vialidad principal y secundaria y la ubicación de 63 centros educativos privados, 6 centros educativos públicos, 29 equipamientos religiosos, estación de bomberos, estación de policía, plantas de tratamiento de aguas residuales, pozos del Sistema de Agua San Cristóbal Intervención Municipal (SASCIM), tanques elevados de agua, entre otros. Este mapa permitirá contar con la información para la gestión estratégica de la emergencia.

En relación a los servicios públicos para las viviendas, la Municipalidad de Mixco indica que la zona 8 cuenta con 94% de cobertura de agua potable, 91% de cobertura en drenajes, 98% de cobertura en energía eléctrica y 95% en recolección de desechos sólidos.

¹⁹ En <https://www.munimixco.gob.gt/wp-content/uploads/2018/02/ZONA-8.pdf> consultado 11/7/2018.

Mapa de ubicación del Municipio de Mixco del Departamento de Guatemala



Leyenda

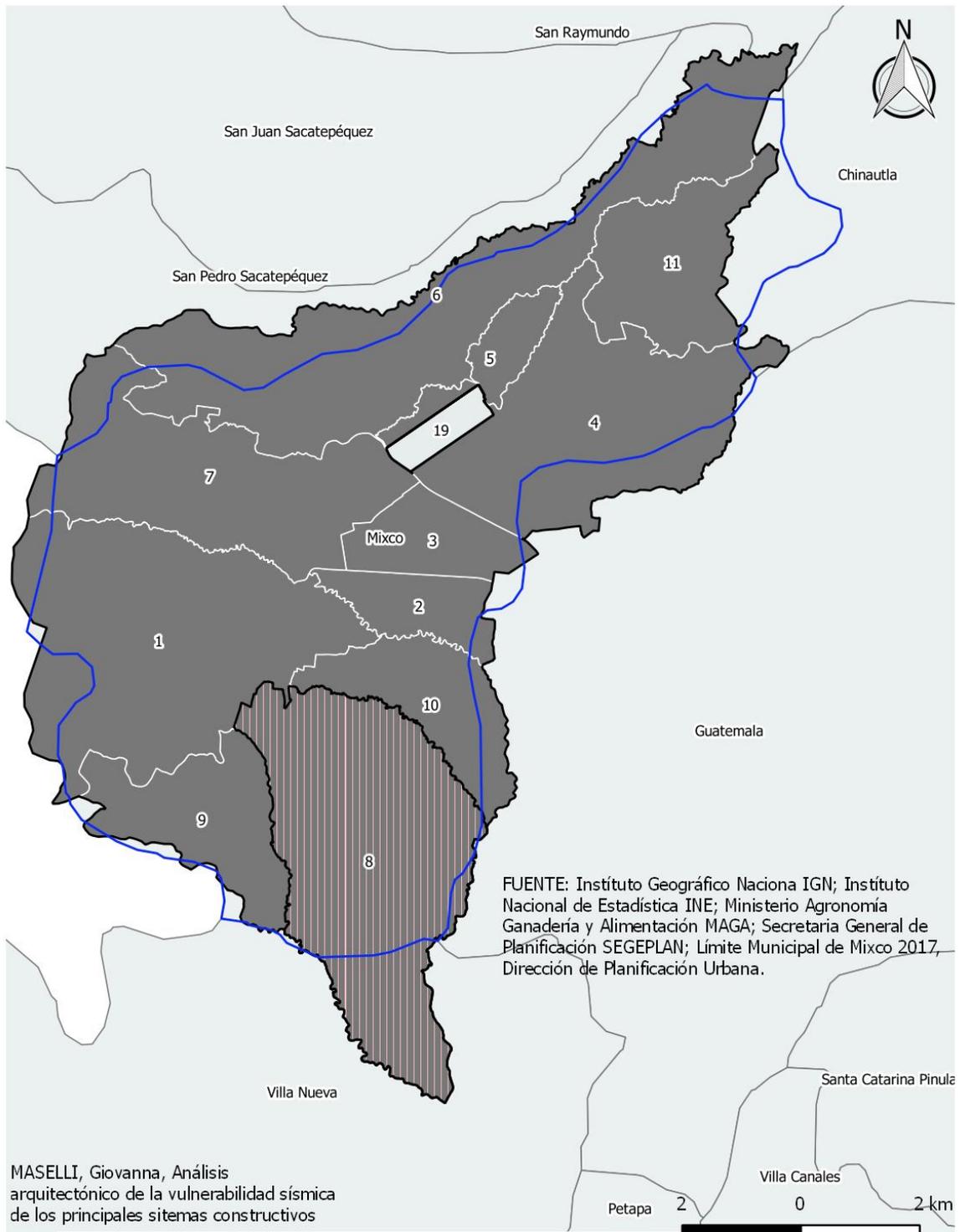
FUENTE: Instituto Geográfico Nacional IGN, Instituto Nacional de Estadística INE, Ministerio Agronomía Ganadería y Alimentación MAGA, Secretaría General de Planificación SEGEPLAN (1996-2000)

- Lagos y Lagunas
- Limite IGN Mixco
- Municipios Departamento de Guatemala
- Departamentos de Guatemala

Mapa 3. Ubicación del Municipio de Mixco en el departamento de Guatemala.

Elaboración propia.

Mapa de Zonas del Municipio de Mixco del Departamento de Guatemala

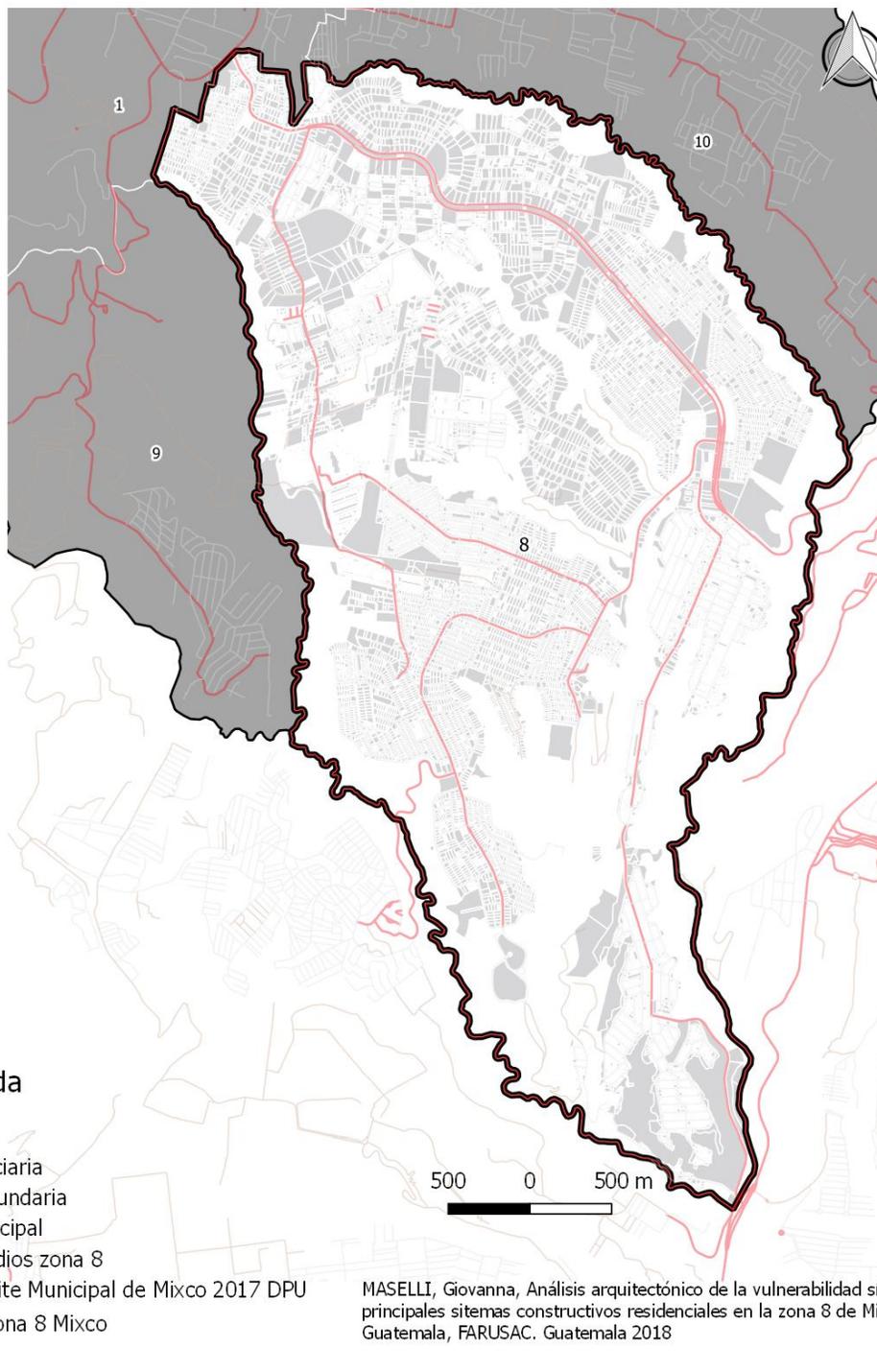


Leyenda

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Límite IGN Mixco Límite Municipal de Mixco 2017 DPU límite zona 8 MX | <ul style="list-style-type: none"> Zona 19 ciudad de Guatemala Límite de Zonas Mixco Municipios Departamento de Guatemala |
|---|--|

Mapa 4. Zonas del Municipio de Mixco

**Mapa de vías de acceso
Zona 8, Municipio de Mixco**

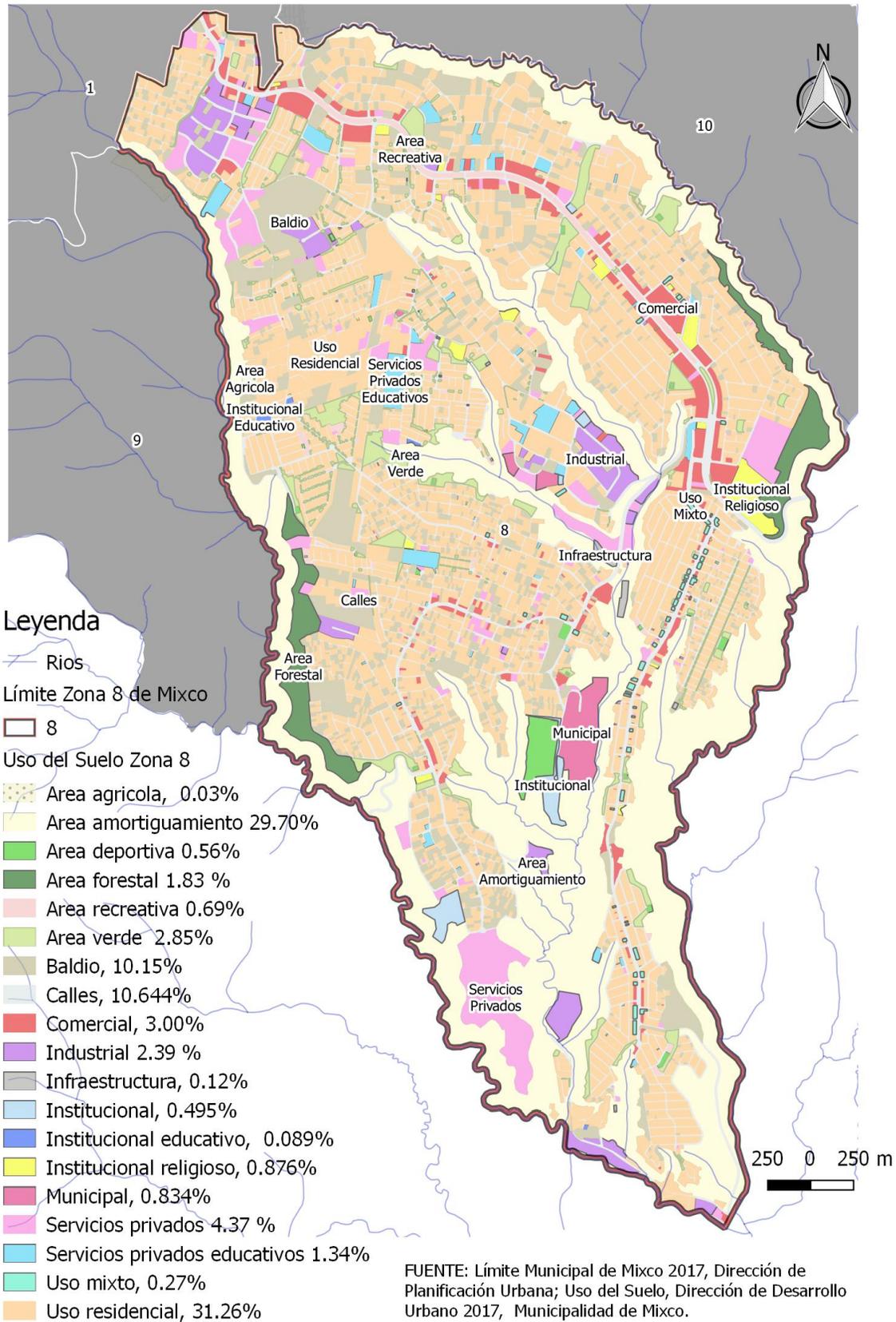


FUENTE: Límite Municipal de Mixco 2017, Dirección de Planificación Urbana, Sistemas de Agua San Cristóbal Intervención Municipal SASCIM año 2016, Dirección de Desarrollo Urbano, Municipalidad de Mixco.

Mapa 5. Vías de acceso

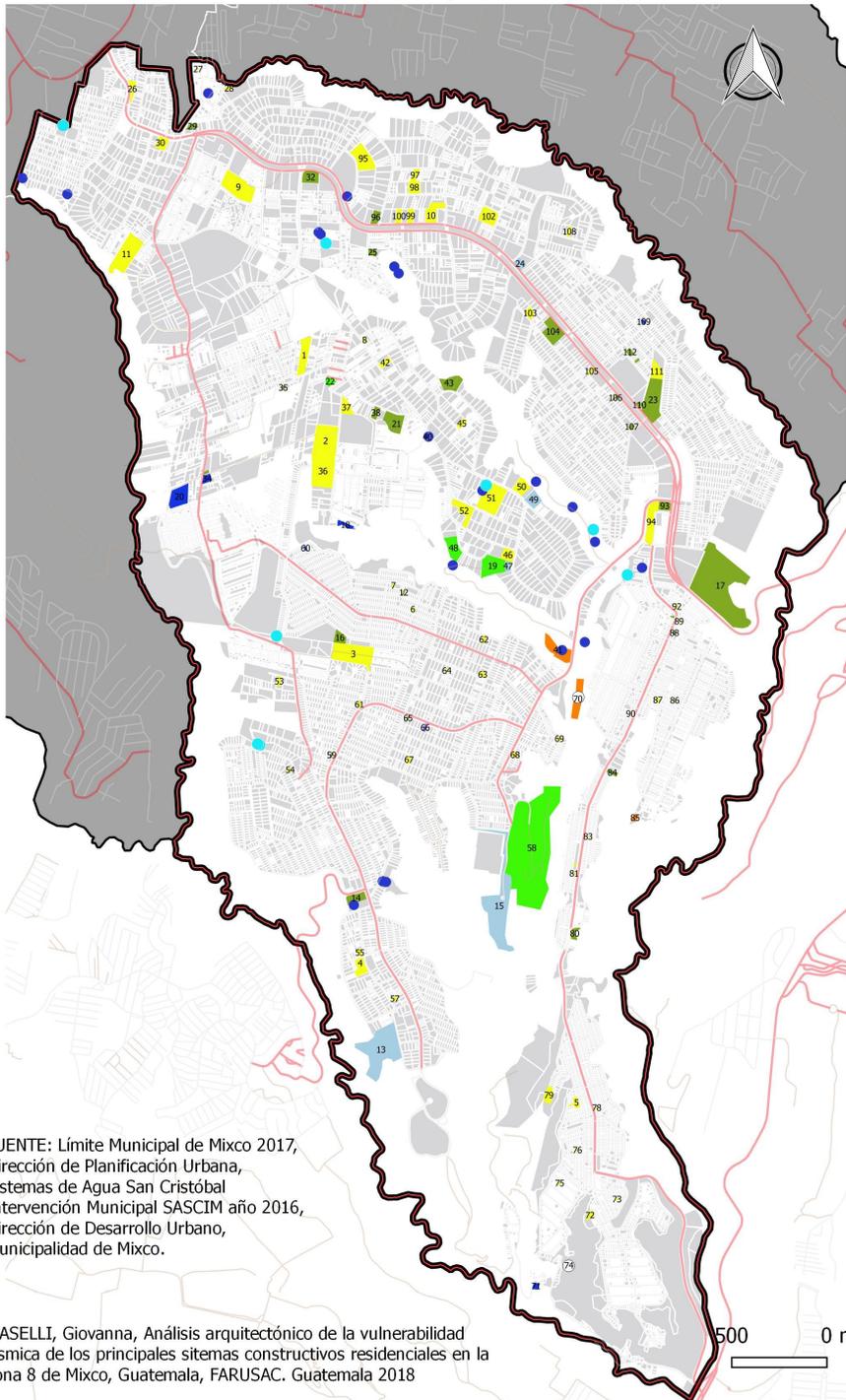
Elaboración propia.

Mapa Usos del Suelo Zona 8 del Municipio de Mixco



Mapa 6. Usos del suelo en Zona 8 de Mixco.

**MAPA 7. Mapa de Infraestructura de Conexión y Elementos Críticos
Zona 8, Municipio de Mixco**



Legenda

Caminos

- Terciaria
- Secundaria
- Primaria

Tanques Agua SASCIM

- TANQUE
- TANQUE 1
- TANQUE 2
- Pozos SASCIM [28]
- Plantas de Tratamiento

Límite Zona 8 Mixco

- 8
- Límite Municipal de Mixco 2017 DPU

Infraestructura Predios Z8 [113]

- Infraestructura [5]
- Institucional [5]
- Institucional educativo [6]
- Institucional religioso [29]
- Municipal [4]
- Servicios privados [1]
- Servicios privados educativos [63]
- predios zona 8

No. Infraestructura

- 1 Colegio Verbo Valle
- 2 Christian Academy of Guatemala
- 3 Colegio Suizo Americano
- 4 Educación privada
- 5 Colegio Mixto Mayaland
- 6 Colegio Mundo Americano
- 7 Colegio Jardín Infantil Soñadores
- 8 Educación privada
- 9 Colegio Santa María de Montesclaros
- 10 Educación privada
- 11 Liceo Secretarial Bilingüe
- 12 Iglesia evangélica del Nazareno
- 13 Confederación Deportiva Autónoma de Guatemala
- 14 Iglesia católica
- 15 Institucional
- 16 Capilla Santo Hermano Pedro
- 17 Mega Frater
- 18 Educación pública
- 19 Municipal
- 20 Centro educativo Campo Jehova Es Mi Bandera
- 21 Iglesia San Pedro Nolasco
- 22 Bodega
- 23 Iglesia católica
- 24 Bomberos Voluntarios
- 25 Iglesia evangélica
- 26 Colegio MacDermont
- 27 Educación privada
- 28 Educación privada
- 29 Iglesia evangélica
- 30 Colegio Piramide

- 31 Colegio Chiqui Piramide
- 32 Religioso
- 33 Iglesia católica
- 34 Escuela El Campanero
- 35 Iglesia evangélica
- 36 Colegio Campo Alto
- 37 Christian American School Of Guatemala
- 38 Parroquia San Pedro
- 39 Seminario mercenario
- 40 Pozo SASCIM
- 41 Pozo
- 42 Liceo Monterroso
- 43 Fraternidad Sacerdotal
- 44 Iglesia Católica
- 45 Educación privada
- 46 Educación privada
- 47 Policía Nacional Civil
- 48 Municipal
- 49 Subestación eléctrica
- 50 Colegio Green Lawn
- 51 Educación privada
- 52 Educación privada
- 53 Educación privada
- 54 Colegio Jardín Mágico
- 55 Educación privada
- 56 Educación privada
- 57 Educación privada
- 58 Predio de carros
- 59 Religioso
- 60 Centro Educativo Fé y Alegría No. 44
- 61 Educación privada
- 62 Colegio Enseñame Jardín Infantil
- 63 Escuela privada Jardín Infantil Mickey Mouse
- 64 Colegio Enseñame Jardín Infantil
- 65 Iglesia evangélica
- 66 Antena
- 67 Colegio Español Americano
- 68 Educación privada
- 69 Colegio Los pastorcitos
- 70 Planta de tratamiento
- 71 EODP anexa a EORM La Polvillera
- 72 Colegio Centro de Aprendizaje Integral en Computación
- 73 Jardín Infantil Muñequitos
- 74 Planta de tratamiento
- 75 Educación privada
- 76 Colegio Bilingüe Enseñanza Total
- 77 Colegio Mixto Mayaland
- 78 Preschool Tesoros de Mamá
- 79 Escuela Parroquial Mixta San Antonio Maria Claret No 2
- 80 Iglesia evangélica
- 81 Colegio Mentes Sanas
- 82 Colegio Mentes Sanas
- 83 Colegio Bilingüe Génesis de Genios
- 84 Iglesia evangélica
- 85 Planta de tratamiento
- 86 Educación privada
- 87 Educación privada
- 88 Religioso
- 89 Educación privada
- 90 Educación privada
- 91 Iglesia evangélica
- 92 Educación privada
- 93 Iglesia Mormona
- 94 Educación privada
- 95 Educación privada
- 96 Iglesia evangélica
- 97 Educación privada
- 98 Educación privada
- 99 Colegio Pestalozzi
- 100 Educación privada
- 101 Educación privada
- 102 Educación privada
- 103 Kid's Corner
- 104 Casa de retiro Claret
- 105 Educación privada
- 106 Iglesia evangélica
- 107 Iglesia evangélica
- 108 Liceo Buenos Aires
- 109 Escuela Oficial Urbana Mixta San Cristóbal
- 110 Parroquia San Antonio Maria Claret
- 111 Educación privada
- 112 Iglesia evangélica
- 113 Iglesia evangélica

FUENTE: Límite Municipal de Mixco 2017, Dirección de Planificación Urbana, Sistemas de Agua San Cristóbal Intervención Municipal SASCIM año 2016, Dirección de Desarrollo Urbano, Municipalidad de Mixco.

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

3.2 Población y Crecimiento Urbano

Según publicación del Instituto Nacional de Estadística²⁰ para el 2013 el municipio de Mixco contaba con 483,705 y para el 2020 alcanzará un aproximado de 510,000 habitantes. La población en 1976 era de 129,878 habitantes²¹.

Este crecimiento se ha manifestado desde la década de 1950, caracterizado como un municipio rural pero con un aumento acelerado de población urbana, lo que se atribuye a la cercanía con la ciudad capital.

En el censo de población del año 1964 Mixco registró una población de 12,248 habitantes urbanos según J.F. Martínez (2011). Hacia el año 2002 solamente existían 4 municipios con población urbana mayor a 100 mil habitantes, Guatemala con 942,348 habitantes; Mixco con 384,428 habitantes; Villa Nueva con 301,947 habitantes y Quetzaltenango con 120,496 habitantes, siendo entonces el segundo municipio con mayor población urbana del país (ver Figuras 5 y 6).

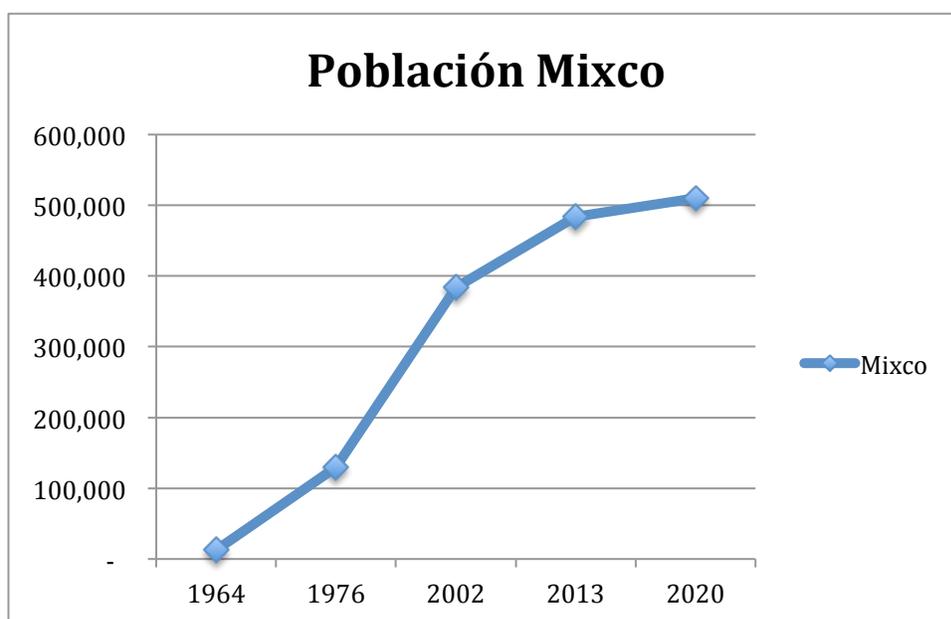


Figura 5. Gráfica población Mixco 1964-2020

Elaboración propia.

²⁰ Caracterización Departamental, Guatemala 2013. INE 2014.

²¹ Informe de daños causados por el terremoto CEPAL (1976), de los cuales fallecieron 346 y resultaron heridos 2100.

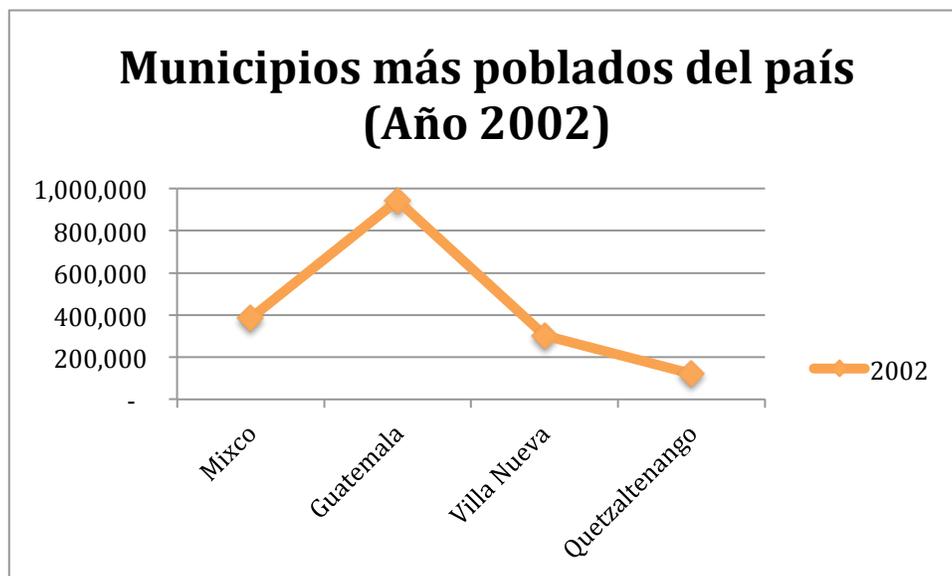


Figura 6. Municipios más poblados del país (Año 2002)

Fuente: J.F. Martínez 2011.

Elaboración propia.

Cabe considerar que en el año 1964 los municipios de San Miguel Petapa, Villa Nueva y Mixco fueron considerados como parte del Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala – AMCG y posteriormente, en el año 1973, los municipios que habían alcanzado la etapa avanzada dentro del proceso de transición urbana eran Guatemala, Mixco y Villa Nueva, sin embargo empezaba a evidenciarse la debilidad del sistema urbano en Guatemala por la incipiente infraestructura que sustentara las dinámicas y relaciones entre estos municipios, debido a que el AMCG alojaba el 47% de la población urbana²², teniendo como centro la primacía de la ciudad capital pero con un crecimiento lento en el tema urbano de las ciudades de menor jerarquía.

Para el año 1994 empiezan a tomar mayor importancia los municipios de Mixco y Villa Nueva convirtiéndose en las ciudades dormitorio donde residen gran cantidad de personas que diariamente se dirigen a la ciudad capital para trabajar, estudiar o hacer negocios.

Según J.F. Martínez López (2011) para el año 2002, los municipios de Mixco, Petapa, Villa Nueva y Chinautla habían alcanzado la etapa avanzada dentro del proceso de transición urbana. Fue hasta el 1 de agosto 2008 que la Villa de Mixco fue elevada a la categoría de Ciudad por Acuerdo Gubernativo 524-99.

²² José Florentín Martínez López. *El Proceso de Urbanización en Guatemala. Un enfoque demográfico, 1950-2002*. (Guatemala: CEUR-USAC, 2006).

En el caso de la zona 8 para el año 2017 la Municipalidad de Mixco estimó una población total de 108,286 habitantes y para el año 2037 se proyecta un total de 131,531 habitantes.

En esta zona es donde residen la mayor cantidad de profesionales en el municipio, en donde de cada 100 trabajadores, 22 se dedican a actividades de comercio, restaurantes y hoteles; 19 se dedican a servicios comunales, sociales y personales; y 15 se dedican a la industria textil y alimenticia. Por otra parte, de cada 100 trabajadores, 28 son trabajadores no calificados, 16 son profesionales y 14 son técnicos de nivel medio²³.

La ocupación del territorio en estudio como se indicó arriba, es mayormente residencial, en donde existen colonias y condominios que se fueron desarrollando en el parcelamiento diseñado al inicio de la urbanización para granjas pero que luego se convirtieron en condominios o proyectos de varias viviendas. En tal sentido, se trabajó el Mapa de Lugares poblados, con la información proporcionada por la Municipalidad de Mixco actualizada al 2017, sobre una imagen aérea y en mapas seccionados para una mejor visualización del crecimiento urbano en el lugar (Mapas 8 al 12).

En cuanto a la cantidad de población que reside en la zona 8 de Mixco, se trabajó el Mapa de Población (Mapa 13), utilizando la información del Censo 2002, con la información por sector censal, y se graduaron las poblaciones con mayor número de habitantes. Así el mapa da una imagen de las áreas más pobladas (en color más oscuro). Sobrepuesta a esta capa está la de predios, que es la unidad mínima de división de la estructura urbana, donde claramente se puede visualizar la expansión que se tuvo con nuevas colonias después del censo.

El crecimiento urbano específicamente en la zona 8 de Mixco, se ha visto en aumento, no solo en el sector residencial sino principalmente sobre el boulevard principal que ha crecido en centros comerciales y de conveniencia, restaurantes, gasolineras, iglesias y centros educativos lo que ha contribuido a aumentar la plusvalía de la zona.

Según nota de prensa²⁴, el lugar se lotificó en 1969, cuando la vara cuadrada costaba Q2.50. El sector inició la lotificación para uso de vivienda unifamiliar y granjas para la clase media de ese entonces, sin embargo con el terremoto de 1976, debido a las fallas geológicas que se hicieron visibles, las personas tuvieron temor de habitar el área.

Décadas después, la urbanización y el crecimiento fue aumentando ignorando lo sucedido y la creciente demanda de vivienda y de cercanía a las fuentes de empleo, que siguen estando la mayoría en la ciudad capital, aumentaron la oferta de proyectos en ciudad San Cristóbal. El tamaño promedio de las casas que se ofrecen es de 200m² y el valor promedio es de US\$137 mil según Prensa Libre (2014).

²³ En <https://www.munimixco.gob.gt/wp-content/uploads/2018/02/ZONA-8.pdf> consultado 11/7/2018.

²⁴ Reportaje electrónico de Prensa Libre del 28 de abril de 2014, consultado el 1/feb/2016 en http://www.prensalibre.com/economia/Ciudad-San-Cristobal-crece-exponencialmente_0_1128487146.html

En el bulevar principal la vara cuadrada vale alrededor de US\$600; cerca de los centros comerciales US\$400/vara²; en residenciales cercanos a centros comerciales US\$250/vara²; en terreno lejano y no condominio cuesta alrededor de US\$80/ vara². Los terrenos de menor condición económica cuestan entre US\$125 y US\$150/vara² en lote pequeño. Estos datos fueron publicados en Prensa Libre (2017) proporcionados por la empresa inmobiliaria EVINSA, con información actualizada al 2017.

Los promotores inmobiliarios como los profesionales del diseño y la construcción, poco toman en cuenta el riesgo que representa el comportamiento geológico en esta área en relación con el proyecto, sus actividades y el sistema constructivo que lo sustenta, comprometiendo la vida de las personas. Tal es el caso del argumento de un gerente de una empresa desarrolladora publicado en Prensa Libre (2014) que textualmente cita:

“Aunque existía anteriormente el miedo por fallas geológicas que pasan por el sector, a nadie se lo va a tragar la tierra; lo que pasa es que se puede sentir más de un temblor en el lugar que en otras zonas y puede agrietarse la vivienda.”

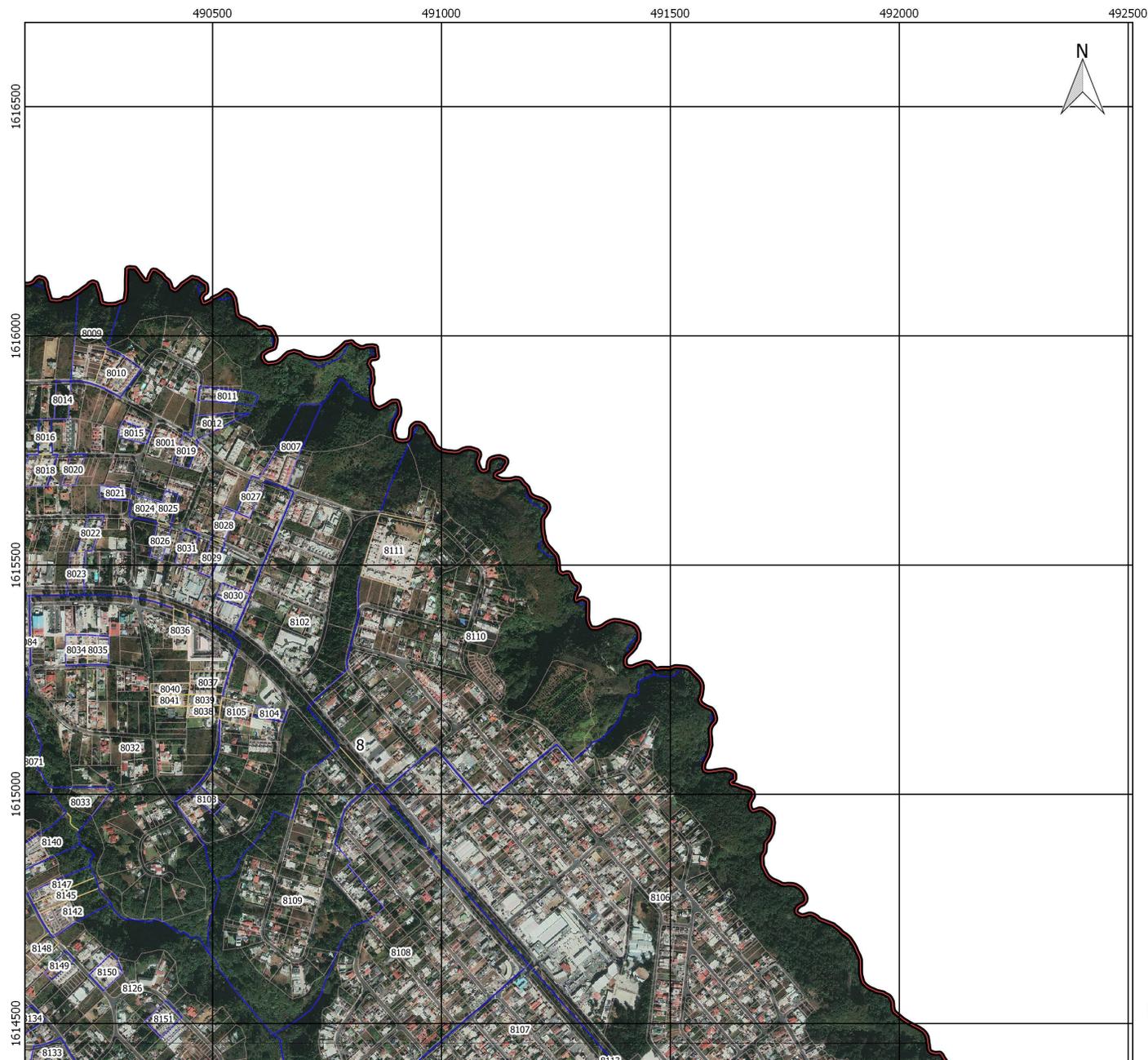
En este mismo sentido, se hace una llamada de atención a las universidades y principalmente a las Escuelas de Arquitectura, que avalan proyectos de graduación y tesis sin tomar en cuenta la variable riesgo y en el peor de los casos para maestrías que están dedicadas a la dirección de empresas constructoras e inmobiliarias, por tener gran responsabilidad en el desarrollo de las ciudades.

Es importante destacar que los procesos de urbanización dificultan el reconocimiento o borran la evidencia de la existencia de los escarpes de falla²⁵, los cuales son signos del desplazamiento “reciente” del terreno a causa de un movimiento sísmico y que en términos de planificación deberían ser georeferenciados para evitar construcciones sobre el mismo. Lo anterior implica que también son necesarios estudios geotécnicos para establecer el grado de afectación que puede tener la construcción debido a la falla, la cual puede quedar en áreas verdes, patios o jardines.

Sin embargo, mientras no existan Planes de Ordenamiento del Territorio, normativas y voluntad política que regule el desarrollo inmobiliario seguirá prevaleciendo el mercado sobre la seguridad y calidad de vida de las personas.

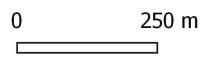
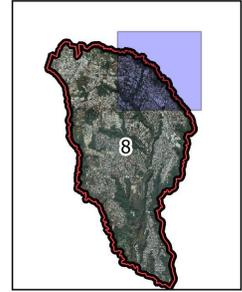
²⁵ Grada en el paisaje producida por efecto de un sismo en una falla.

MAPA 9. LUGARES POBLADOS ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO



Legenda

- Límite zona 8 Mixco
- 8
- CENTROS POBLADOS
- Colonia
- Condominio

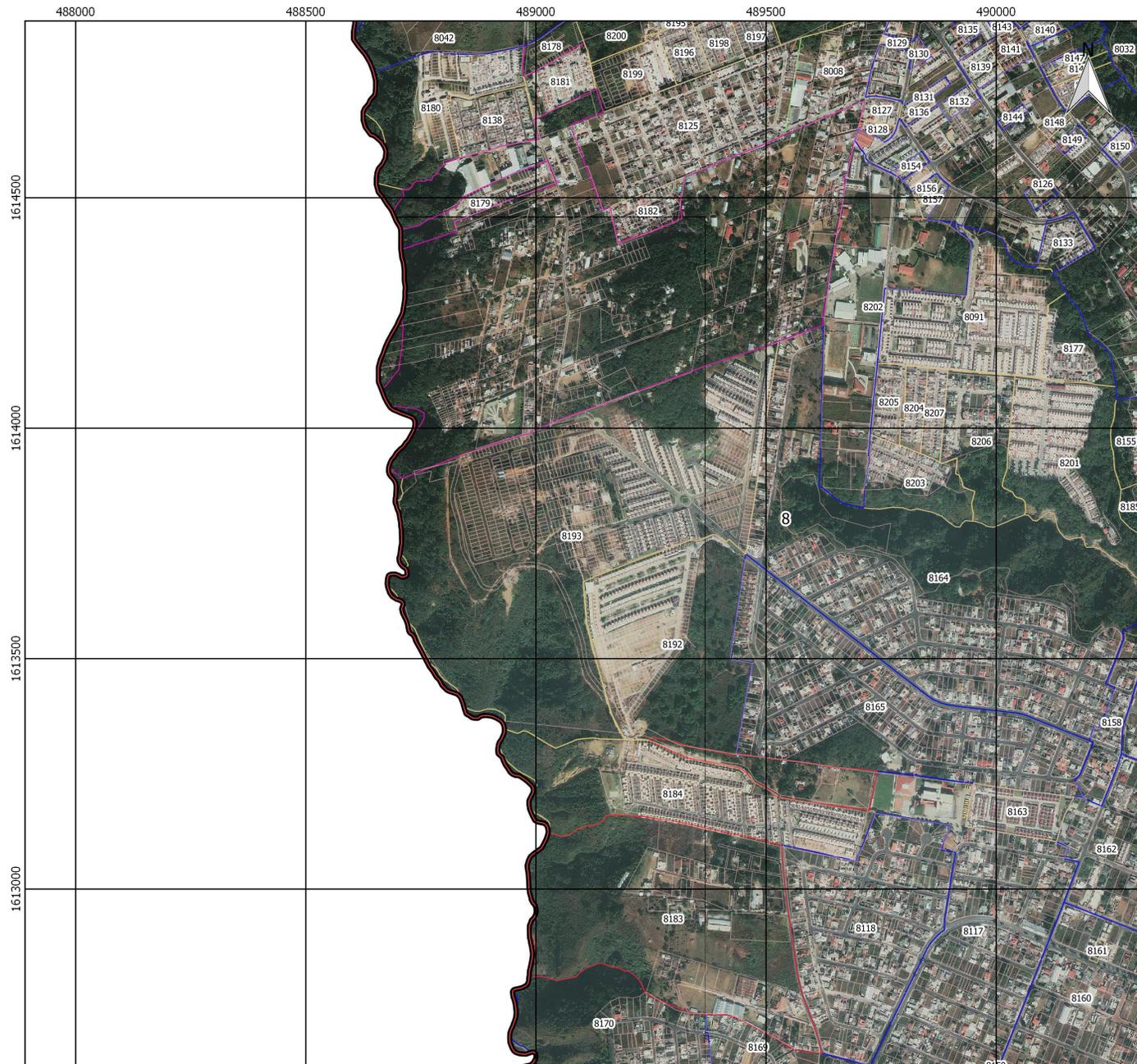


Código	Nombre Centro	Categoría
8033	Giampaolo	Condominio
8106	B-1 San Cristobal I	Colonia
8110	B-4 San Cristobal I	Colonia
8103	Veldeved	Condominio
8109	La Ceiba	Condominio
8140	San Patricio	Condominio
8142	Las Fuentes	Condominio
8145	Guita Mary	Condominio
8147	Villa Antigua	Condominio
8150	Sol Luna	Condominio
8007	Torre Fuerte	Condominio
8009	Vista Verde	Condominio
8010	Colinas de San Cristobal III	Condominio
8011	Jardines de Louisiana	Condominio
8012	Buena Vista	Condominio
8015	San Lucas	Condominio
8019	Aranjuez	Condominio
8020	Las Orquideas	Condominio
8021	Villas del Pedregal	Condominio
8022	Villa de Alcalá	Condominio
8023	Villa Real	Condominio
8024	Alejandria	Condominio
8025	Los Alpes	Condominio
8026	Los Cipreses	Condominio
8027	Los Geranios	Condominio
8028	El Dorado	Condominio
8029	Las Acacias	Condominio
8030	Bosque Real	Condominio
8031	Villa Colonial	Condominio
8001	A-1 San Cristobal I	Colonia
8034	San Esteban I	Condominio
8035	San Esteban II	Condominio
8032	A-2 San Cristobal I	Colonia
8036	San Sebastian	Condominio
8037	Regina	Condominio
8038	Las Campanas	Condominio
8039	Palos Verdes III	Condominio
8040	Jireh	Condominio
8041	Valle de Minerva II	Condominio
8104	Fuente Azul	Condominio
8102	A-9 San Cristobal I	Colonia
8105	Palos Verdes I	Condominio
8111	Santa Ana	Condominio
8126	A-10 San Cristobal I	Colonia
8108	B-3 San Cristobal I	Colonia

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

FUENTE: Límite Municipal de Mixco y Centros Poblados 2016, Municipalidad de Mixco.

MAPA 10. LUGARES POBLADOS ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO



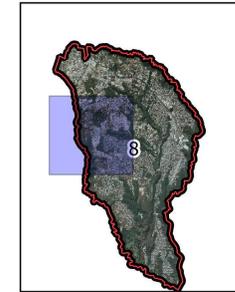
Legenda

Límite zona 8 Mixco

8

CENTROS POBLADOS

- Aldea
- Caserio
- Colonia
- Condominio
- Zona



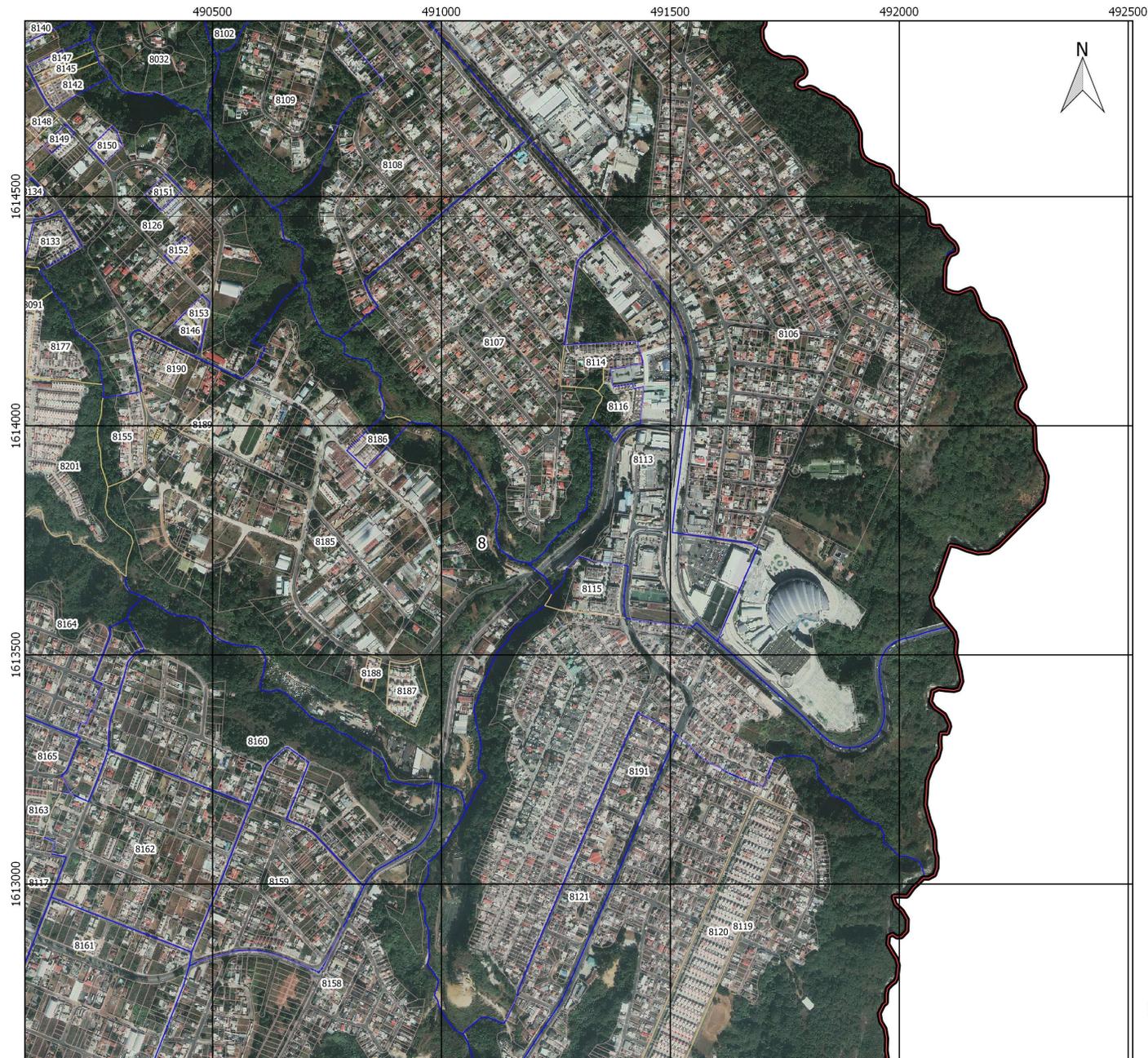
0 250 m



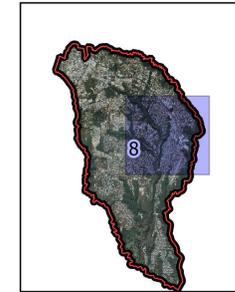
Código	Nombre Centro	Categoría
8162	B-4 San Cristobal II	Colonia
8192	Pinares de San Cristobal	Condominio
8160	B-3 San Cristobal II	Colonia
8158	B-1 San Cristobal II	Colonia
8164	B-1 Pinares de San Cristobal	Colonia
8165	B-2 Pinares de San Cristobal	Colonia
8203	Residenciales Santa Barbara I	Condominio
8125	Valles de San Cristobal	Colonia
8117	B-7 San Cristobal I	Colonia
8180	Los Fresnos	Condominio
8184	El Mirador	Condominio
8138	Las Praderas	Condominio
8179	Celajes de San Cristobal	Colonia
8008	Zona 8	Zona
8182	El Escalon	Condominio
8128	Lomas de San Cristobal II	Condominio
8133	Residenciales Jardines	Condominio
8134	El Pinar	Condominio
8144	Alta Verde	Condominio
8148	Marcela	Condominio
8149	Loma Verde	Condominio
8154	Olivares I	Condominio
8204	G&T III	Condominio
8205	Residenciales Santa Barbara II	Condominio
8206	Cristalinas	Condominio
8207	G&T II	Condominio
8201	Santa Barbara	Condominio
8091	Jardines de San Cristobal	Condominio
8177	G&T I	Condominio
8202	Santa Barbara	Colonia
8193	Prados de San Cristobal	Condominio
8118	Vista al Valle	Colonia
8156	Olivares II	Condominio
8157	Olivares III	Condominio
8163	Hacienda Vista Hermosa	Condominio
8178	El Campanero	Aldea
8183	El Recuerdo	Caserio
8126	A-10 San Cristobal I	Colonia

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

MAPA 11. LUGARES POBLADOS ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO



- Leyenda**
- 8 Límite zona 8 Mixco
 - CENTROS POBLADOS
 - Colonia
 - Condominio

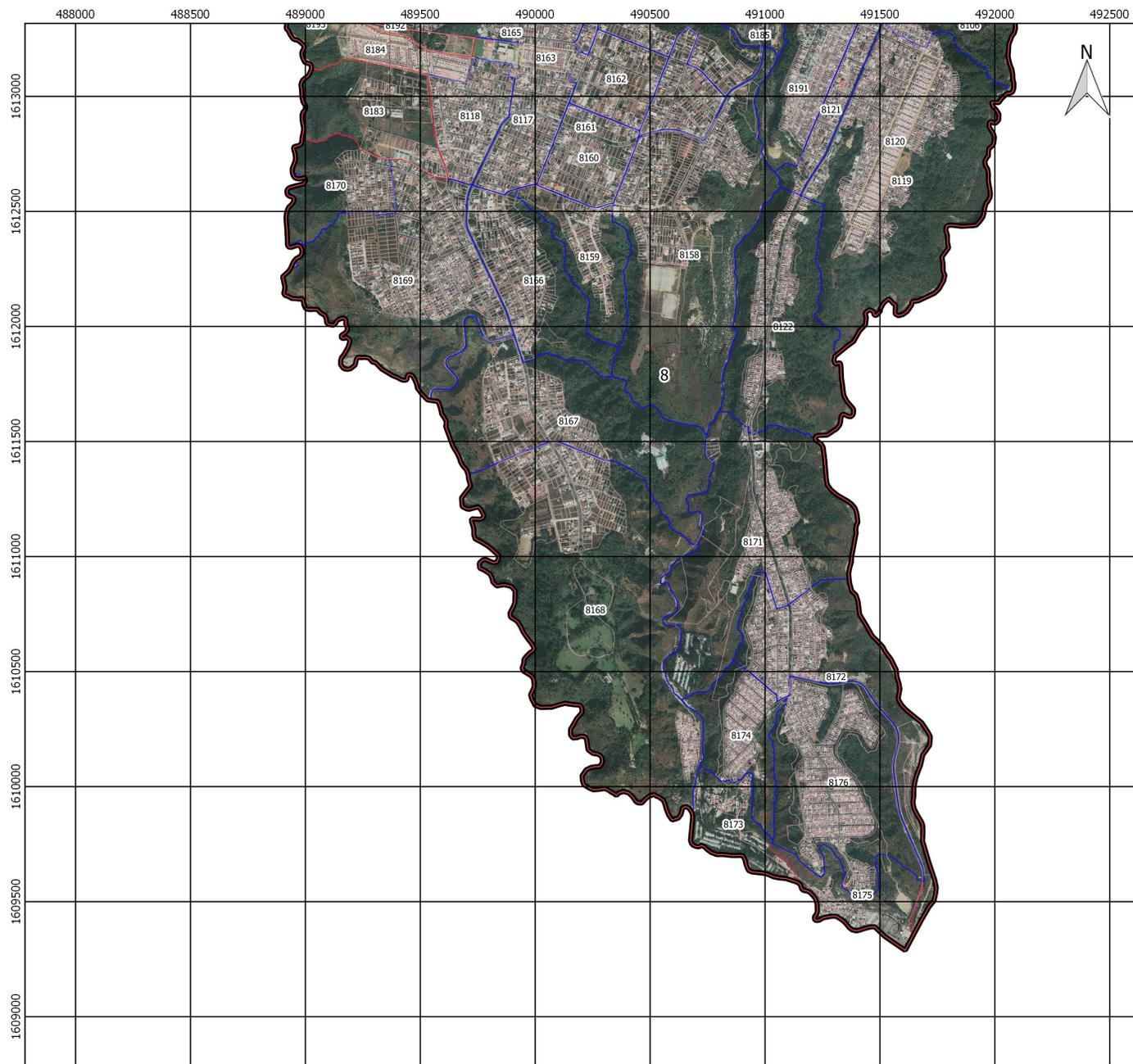


Código	Nombre Centro	Categoría
8107	B-2 San Cristobal I	Colonia
8106	B-1 San Cristobal I	Colonia
8191	Panoramas San Cristobal	Colonia
8121	C-2 San Cristobal I	Colonia
8119	C-1 San Cristobal I	Colonia
8186	Nueva Margarita	Condominio
8162	B-4 San Cristobal II	Colonia
8160	B-3 San Cristobal II	Colonia
8159	B-2 San Cristobal II	Colonia
8158	B-1 San Cristobal II	Colonia
8164	B-1 Pinares de San Cristobal	Colonia
8165	B-2 Pinares de San Cristobal	Colonia
8109	La Ceiba	Condominio
8133	Residenciales Jardines	Condominio
8146	Las Palmas	Condominio
8150	Sol Luna	Condominio
8151	Fuentes de Palmera	Condominio
8152	Adonai I	Condominio
8153	Aurora	Condominio
8185	Granjas San Cristobal I	Colonia
8187	Santa Fe	Condominio
8188	Kristal	Condominio
8189	Doña Elena	Condominio
8190	Villas del Campo	Condominio
8155	Villa Claret	Condominio
8201	Santa Barbara	Condominio
8177	G&T I	Condominio
8114	Bakara	Condominio
8115	Altos de San Cristobal	Condominio
8116	Los Manantiales	Condominio
8113	B-6 San Cristobal I	Colonia
8120	Pradera de San Cristobal	Condominio
8161	De Maria	Condominio
8126	A-10 San Cristobal I	Colonia
8108	B-3 San Cristobal I	Colonia

0 250 m

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

MAPA 12. LUGARES POBLADOS ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO



Leyenda

Límite zona 8 Mixco

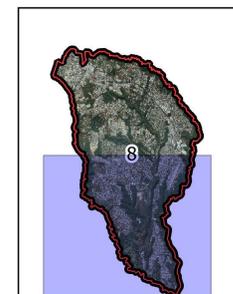


CENTROS POBLADOS

▭ Caserío

▭ Colonia

▭ Condominio

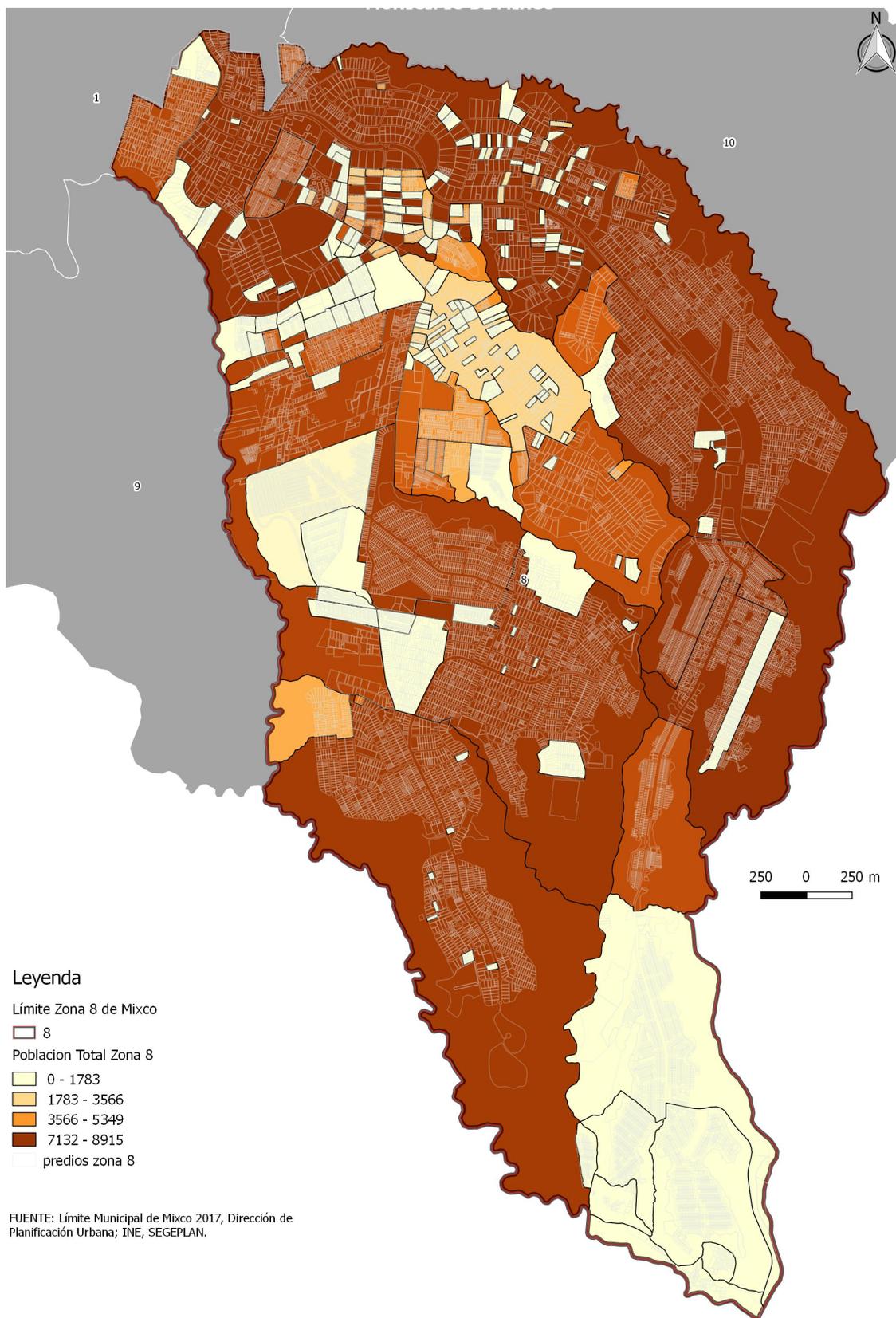


0 250 m

Código	Nombre Centro	Categoría
8122	Valle Dorado I	Colonia
8191	Panoramas San Cristobal	Colonia
8121	C-2 San Cristobal I	Colonia
8119	C-1 San Cristobal I	Colonia
8171	Valle Dorado II C-1	Colonia
8173	Valle Azul	Colonia
8172	Valle Dorado II C-2	Colonia
8175	Villa Lobos	Caserío
8160	B-3 San Cristobal II	Colonia
8159	B-2 San Cristobal II	Colonia
8158	B-1 San Cristobal II	Colonia
8169	B-4 Balcones de San Cristobal	Colonia
8168	B-3 Balcones de San Cristobal	Colonia
8167	B-2 Balcones de San Cristobal	Colonia
8166	B-1 Balcones de San Cristobal	Colonia
8117	B-7 San Cristobal I	Colonia
8120	Pradera de San Cristobal	Condominio
8174	Valles de Sevilla	Colonia
8176	Villas Club El Dorado	Colonia
8170	Lomas de San Cristobal	Colonia
8161	De Maria	Condominio
8118	Vista al Valle	Colonia
8183	El Recuerdo	Caserío

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

**Mapa Población
Zona 8 del Municipio de Mixco**



Mapa 13. Población Zona 8 Mixco, Censo 2002.

3.3 Amenaza sísmica y su correlación a la Geología

Guatemala se ubica en la convergencia de tres placas tectónicas, la de Norteamérica, la del Caribe y la de Cocos. Los movimientos relativos entre éstas determinan los principales rasgos topográficos del país y la distribución de los terremotos y volcanes. Estas placas son el origen de la alta amenaza sísmica que tiene el país y lo ubica entre uno de los lugares con mayor sismicidad en el mundo.

Guatemala está delimitada por numerosas fallas principales de acuerdo al origen tectónico, hacia el Sur el contacto es convergente, en donde la placa de Cocos se sumerge por debajo de la placa del Caribe, lo cual origina gran cantidad de sismos y la formación de los volcanes. Este proceso es conocido como subducción y está aproximadamente a 150 kilómetros frente a las costas del Océano Pacífico. Esta zona constituye la mayor fuente de terremotos históricos en la región, con períodos cortos de recurrencia.

En el caso de la placa de Norteamérica y del Caribe, el contacto es transcurrente y se manifiesta en la superficie como el sistema de fallas Motagua-Chixoy-Polochic y Jocotán. Esta zona presenta períodos largos de recurrencia y eventos de elevada magnitud.

Los procesos anteriores generan deformaciones interiores en el territorio los cuales, en el caso del graben de Guatemala, producen fallas secundarias como la de Jalpatagua, Santa Catarina Pinula y Mixco, entre otras, las cuales generan sismicidad local.

El terremoto de 1976 fue originado por la activación de la falla Polochic-Motagua (ver Figura 3), la cual presentó un desplazamiento horizontal máximo de 340 cm, mientras que en el occidente de la ciudad capital, en Mixco, se observaron patrones de desplazamiento NNE-SSO lo que confirmó el movimiento hacia el Este de la placa del Caribe, según afirma George Plafker en Bohnenberger and Barillas-Cruz (1978).

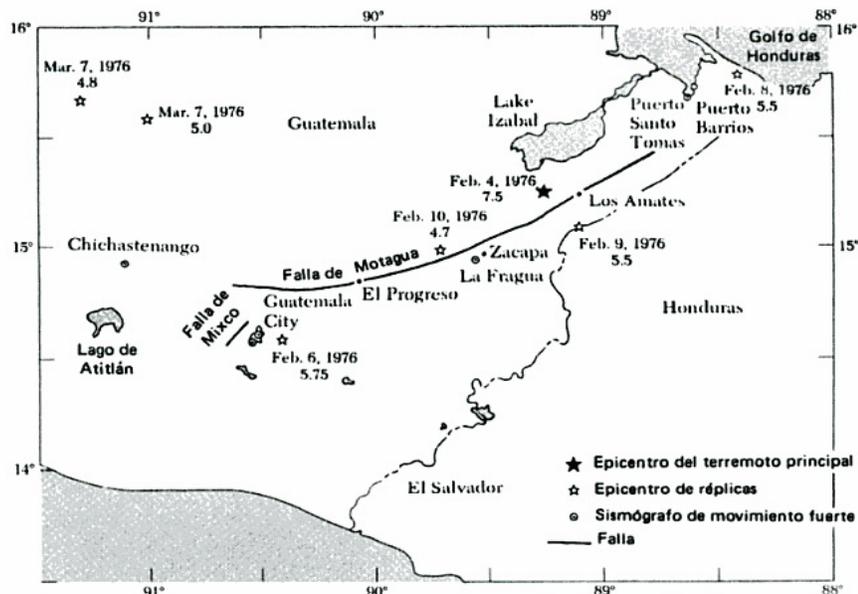


Figura 7. Falla de Motagua y falla de Mixco

La imagen muestra las fallas y las estrellas indican las réplicas con la fecha y magnitud del temblor.

Fuente: Bolt, Bruce A. Terremotos. 1981.

De acuerdo a reportes de daños²⁶ a causa del terremoto de 1976 según CEPAL (1976) las zonas más dañadas resultaron ser la central y la oriental del país, relacionada a la cercanía y extensión de la falla del Motagua principalmente. Las rupturas de fallas causaron daños extensos cuando se cruzaban y desplazaron edificios, carreteras y líneas del ferrocarril. Los daños que resultan directamente del deslizamiento de falla afectaron particularmente a Gualán, Cabañas y varias comunidades más pequeñas que se encuentran a orillas y sobre la falla del Motagua, así como a Mixco y los suburbios occidentales de la ciudad de Guatemala, que están atravesadas por rupturas secundarias en la zona de fractura de la Falla de Mixco, Plafker (1976).

Sin embargo los daños extendidos al altiplano también son atribuidos a los materiales y sistemas constructivos utilizados, en su mayoría de adobe y teja sin contar con una estructura rígida y con cimientos erosionados. No obstante, otros factores, como las variaciones laterales en la liberación de energía a lo largo de la falla, la topografía y el movimiento en fallas secundarias, sin duda influyen en la distribución del daño resultante de la sacudida sísmica.

Según Molina, Villagrán y Ligorria (s.f.) el área del departamento de Guatemala se considera como una zona importante de sismicidad, no tanto como fuente de terremotos de elevada magnitud, sino por ser una zona de fallamiento secundario importante en donde los movimientos tectónicos se dan en un radio de 20 kilómetros respecto del epicentro. Lo anterior se traduce en que los sismos generados en los fallamientos del área del departamento de Guatemala pueden afectar la infraestructura y construcciones que están en un radio relativamente cercano al mismo.

Falla de Mixco

El área en estudio se ubica bajo la influencia de la falla secundaria²⁷ denominada falla de Mixco hacia el Occidente, la cual se remonta al origen del graben de la ciudad capital junto a la falla de Pinula.

La mayoría de desplazamientos en la zona de la falla de Mixco ocurrió al mismo tiempo que el terremoto principal del 4 de febrero, pero se produjo deslizamiento adicional, de hasta un 20 por ciento, en algunas rupturas asociadas a la gran réplica (magnitud de onda del cuerpo Mb = 5.8) del 6 de Febrero, que se sintió fuertemente en el área de Mixco-Guatemala.

A pesar que esta falla (Mixco) fue activada en el terremoto de 1976 la falla de Pinula no. En tal sentido, Bohnenberger (1996) indica que sería un error concluir que esta falla no

²⁶ Además de los daños a viviendas se registraron daños en carreteras, en la infraestructura ferroviaria, puertos y aeropuertos; en hidroeléctricas, líneas de transmisión eléctrica y plantas de generación; infraestructura de telecomunicaciones (teléfono, telégrafos y correo). En cuanto a edificios de instituciones del sector público fueron 150 los que sufrieron daños importantes, de los cuales 25 requirieron demolición y reconstrucción total. Los daños sufridos en el departamento de Guatemala corresponden entre el 25 y 69% del total del país.

²⁷ Cabe aclarar que tanto la falla de Mixco como la de Pinula son fallas secundarias, conformada cada una por un sistema de fallas sujetas a éstas.

será activada en un sismo futuro y que la amenaza sísmica persiste, por el hecho de la existencia de la falla.

En la actualidad existen pocos estudios relacionados al movimiento tectónico de la falla de Mixco y aunque se conoce que ha provocado algunos eventos sísmicos con actividad muy local, no se tienen registros ya que no se cuenta con instrumentación en el área.

Para el terremoto de 1976 el área fue mapeada sólo en reconocimiento y según Plafker, Bonilla y Bonis (1976) la longitud y el ancho de la zona de rupturas son inciertas en la actualidad. Indican que las fallas están bien desarrolladas al noreste de La Brigada y una ruptura cruzó la Carretera CA1 justo al sur de Mixco, que sus longitudes van desde aproximadamente 100 m hasta 3.5 km y la longitud total de la zona de fallas de Mixco es mayor a 21 km según Plafker (1976).

En la Figura 8 se observa hacia el noreste, a lo largo de una de las rupturas más grandes en la zona de falla de Mixco, cerca de la Colonia El Milagro en ciudad de Guatemala. El desplazamiento en este punto fue de aproximadamente 12 cm verticalmente hacia el este y 5 cm dextralmente. La ruptura se produjo en la base de un escarpe degradado que probablemente se formó por el desplazamiento cuaternario anterior de esta falla Plafker (1976).



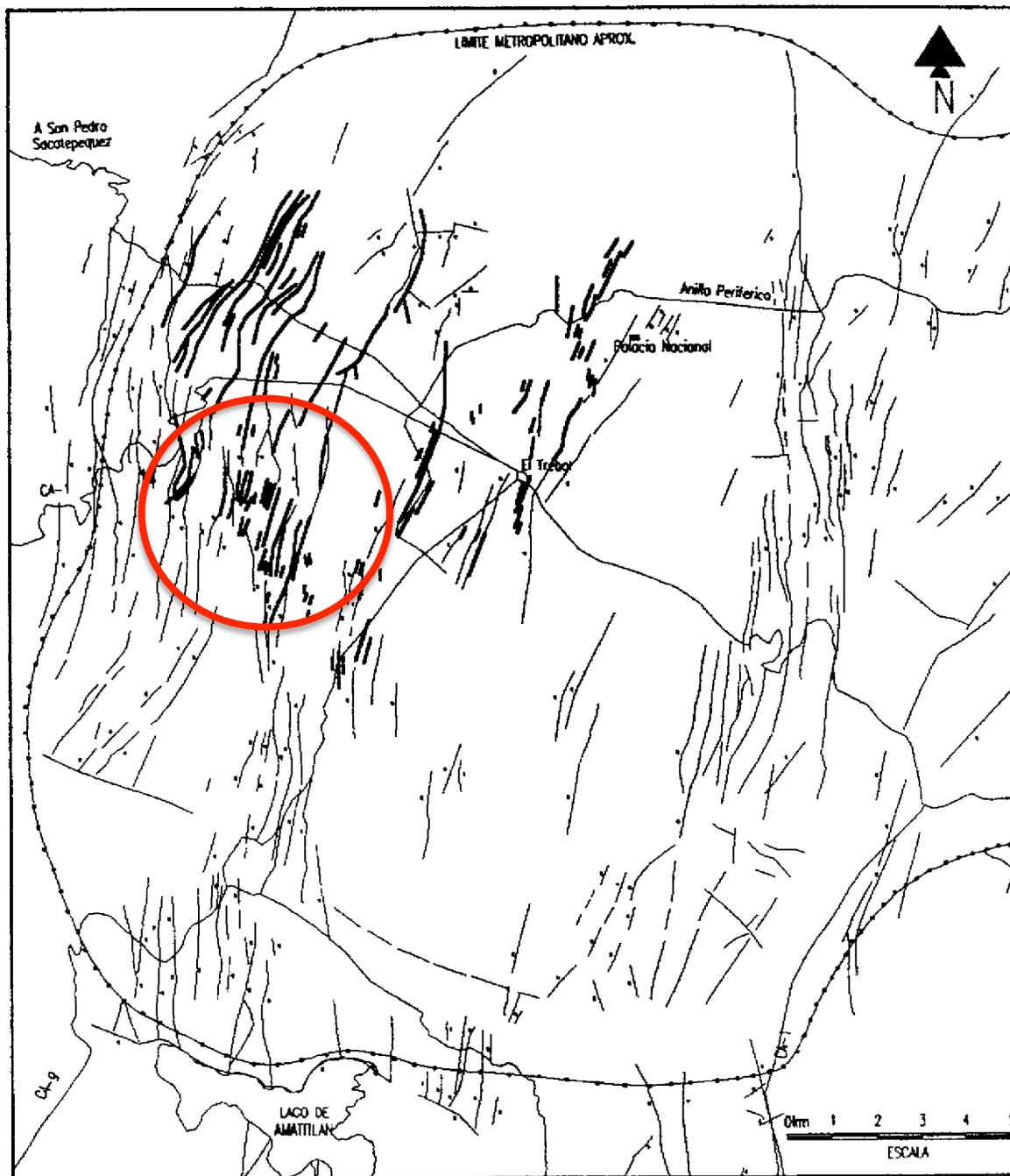
Figura 8. Ruptura cerca a la Colonia El Milagro.

El documento de Plafker, Bonilla y Bonis (1976) indica que se examinaron tres fallas, la primera trazable por 1.2 km, la cual cortó varias carreteras pavimentadas y rompió los bordillos y el pavimento en cada cruce. El desplazamiento máximo medido consistió en aproximadamente 12 cm de deslizamiento vertical (hacia el este). Una segunda falla, casi paralela a la primera, podría seguirse alrededor de 1 km. Esta falla intersectó y desplazó un muro alto del jardín, pasando a unos 4 m de una casa sin dañarla. La pared, hecha de ladrillo con una viga de hormigón armado a media altura, se desplazó verticalmente 13 cm hacia el este; se observó una ligera separación derecha-lateral. Una tercera falla podría rastrearse durante 1.7 km y su principal desplazamiento fue vertical, hacia el este. El desplazamiento vertical medido en un muro de jardín cortado fue de 12 cm, no se observó deslizamiento. La falla pasó a través de un grupo de casas de concreto, donde su curso estuvo marcado por techos y cimientos desplazados verticalmente, ventanas rotas y paredes interiores y exteriores severamente dañadas. Las fotografías aéreas tomadas en 1966 antes de la construcción de las casas muestran una ruptura de pendiente orientada hacia el este, probablemente un escarpe de falla, que la ruptura de 1976 continuó.

Por otra parte, Bohnenberger (1996) había mapeado en 1969 las fallas del área metropolitana basado en un estudio fotogeológico. Posteriormente, en 1996 realizó una nueva versión del mapa incluyendo las fallas activadas por el terremoto del 76 y las fallas con expresión morfológica²⁸.

En la Figura 9 se pueden observar estas fallas en el área metropolitana y la delimitación esquemática del área de estudio, fallas que en su mayoría, según asegura el autor, deben clasificarse como potencialmente activas porque no hay manera de predecir desde la superficie cuáles son susceptibles de activarse y cuáles no.

²⁸ Conocidos también como escarpes de falla.



MAPA ESQUEMATICO DE FALLAS GEOLOGICAS
EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUATEMALA

————— Falta activada
en 1976

————— Falta con expresion
morfologica

Otto Bohnenberger
Guatemala, America Central 1996

Figura 9. Mapa esquemático de fallas geológicas en la zona Metropolitana de Guatemala.

Fuente: Bohnenberger, Otto. Revisión del sistema de fallas en la región metropolitana de Guatemala, 1996.
Área en estudio 

Geología y Zona de Atención en fallas

La conformación geológica del área en estudio está caracterizada como tipo *Qp* correspondiente a rocas ígneas y metamórficas, del período cuaternario, la cual está caracterizada por rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso. En la figura 10 se observa el mapa geológico de la ciudad de Guatemala realizado por el Instituto Geográfico Nacional en 1977, el cual indica las fallas identificadas con el terremoto de 1976.

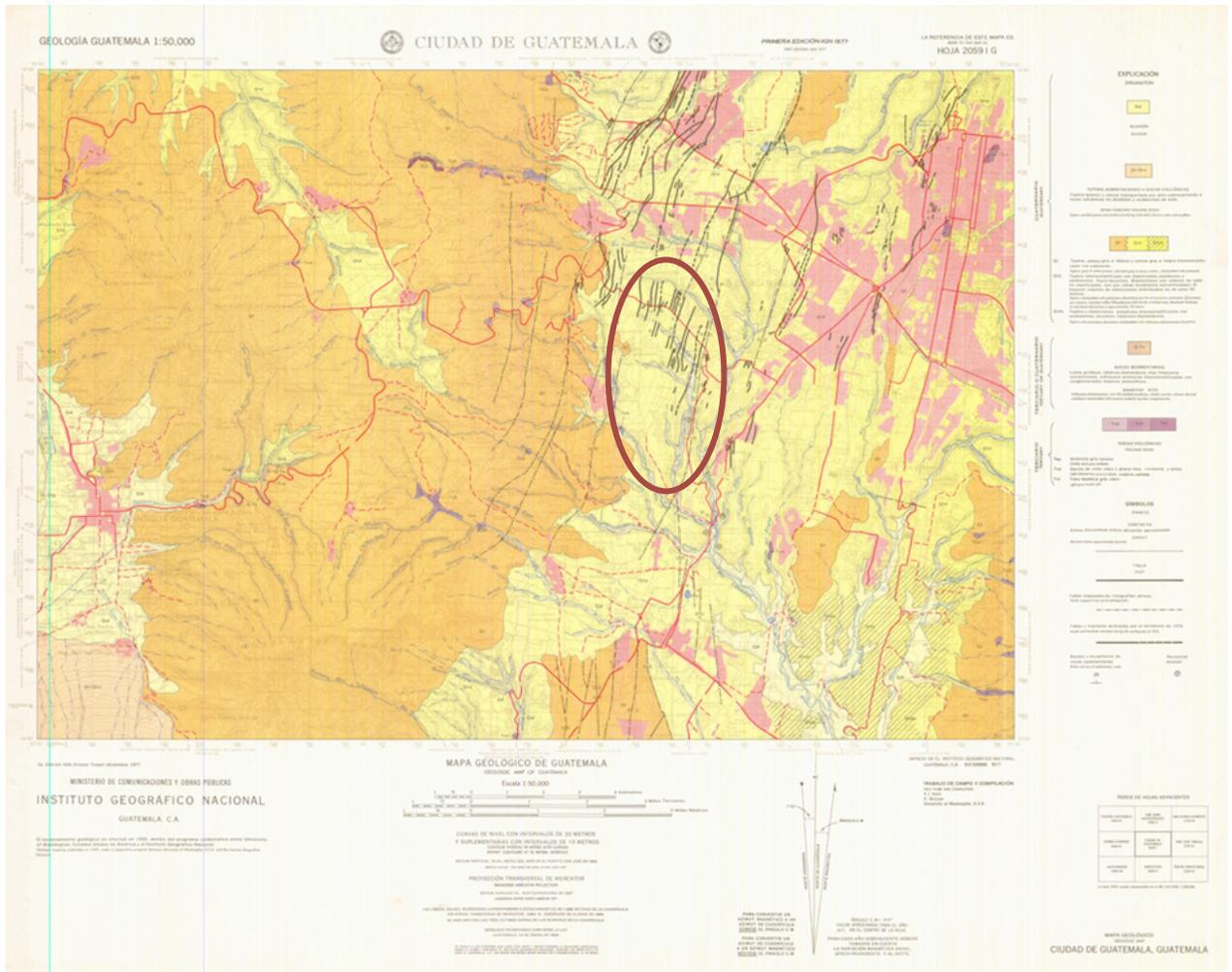


Figura 10. Mapa geológico Ciudad de Guatemala

Fuente: IGN 1977.

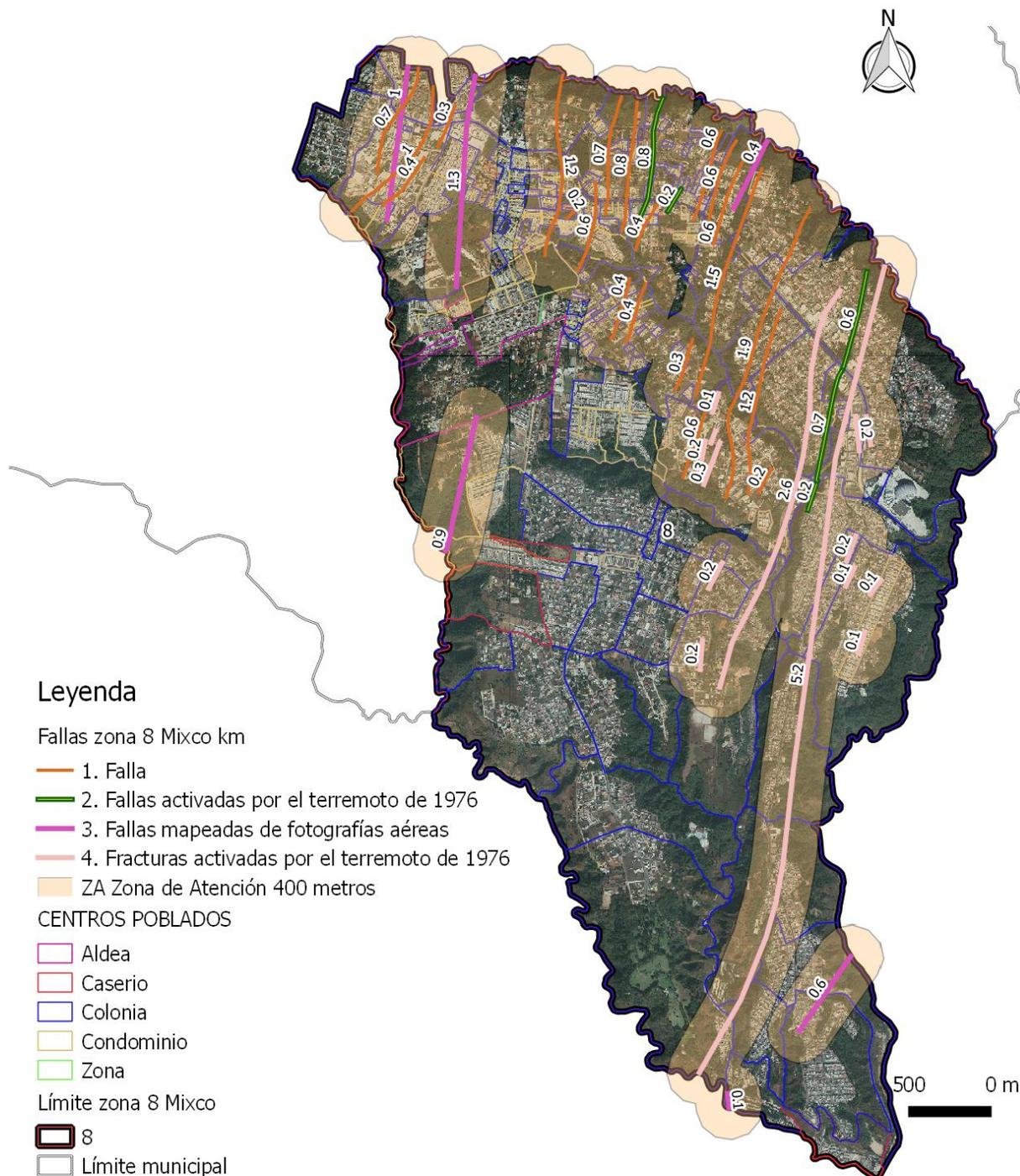
La Comisión Técnica para la microzonificación sísmica en Roma, Italia establece una Zona de Atención (ZA)²⁹ de 200 metros hacia cada lado de una falla, como medida de prevención de daños a edificaciones e infraestructura, en la gestión del territorio, incluyendo la planificación del mismo. Este es un parámetro tomado en cuenta para la realización del mapa 14 en donde se sobre pone la capa de fallas y lugares poblados sobre una imagen aérea y en cada falla se realiza un buffer de 200 metros hacia cada lado de la misma. Con ello se puede observar las áreas pobladas y libres que se encuentran dentro de la Zona de Atención en fallas.

Por la relevancia de esta Zona de Atención en fallas se trabaja el mapa por sectores para poder observar con mejor detalle los lugares poblados que se encuentran dentro de la misma, para lo cual se segmenta el área (Mapas 15 al 19).

En el caso de las áreas pobladas, conviene realizar estudios y evaluaciones más específicas para establecer, con mejor detalle, el nivel de riesgo de las construcciones. En el caso de futuras expansiones, la Municipalidad deberá normar las construcciones dentro de estas Zonas de Atención en Fallas y en el mejor de los casos, realizar estudios de microzonificación sísmica.

²⁹ Commissione tecnica per la microzonazione sísmica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2015.

Mapa Zona de Atención de Fallas Zona 8 Municipio de Mixco

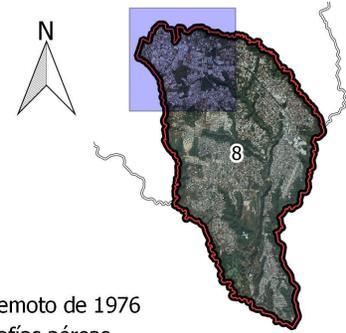


MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

FUENTE: Zona de Atención. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile 2015; Fallas IGN 1976; Límites Municipales, l Municipalidad de Mixco 2016.

Mapa 14. Longitud de fallas y su Zona de Atención (ZA).

**MAPA 15. Mapa Zona de Atención de Fallas Superficiales
Zona 8 Municipio de Mixco**



Legenda

- Fallas zona 8 Mixco km
- 1. Falla
- 2. Fallas activadas por el terremoto de 1976
- 3. Fallas mapeadas de fotografías aéreas
- Límite zona 8 Mixco
- 8
- ZA Zona de Atención 400 metros
- CENTROS POBLADOS
- Aldea
- Colonia
- Condominio
- Zona

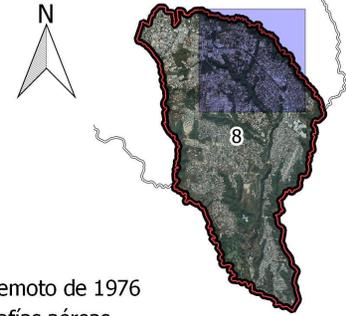
Centros Poblados en Zona de Atención de Fallas

Código	Sector	Categoría	Nombre
8112	B-5 San Cristobal I	Colonia	B-5 San Cristobal I
8094	A-4 San Cristobal I	Colonia	Loma Real
8033	A-2 San Cristobal I	Condominio	Giampaolo
8097	A-5 San Cristobal I	Condominio	Bougambilia
8194	San Marino	Condominio	Residenciales Bari
8043	A-3 San Cristobal I	Condominio	Paisajes de San Cristobal II
8180	El Campanero	Condominio	Los Fresnos
8002	A-1 San Cristobal I	Condominio	Vista al Bosque
8124	C-5 San Cristobal I	Colonia	C-5 San Cristobal I
8101	A-6 San Cristobal I	Colonia	A-6 San Cristobal I
8095	A-4 San Cristobal I	Colonia	A-4 San Cristobal I
8123	C-5 San Cristobal I	Colonia	Hamburgo
8098	A-5 San Cristobal I	Condominio	Valle del Sol
8099	A-5 San Cristobal I	Condominio	Los Altos
8100	A-5 San Cristobal I	Condominio	Bella Vista
8096	A-5 San Cristobal I	Colonia	A-5 San Cristobal I
8044	A-3 San Cristobal I	Condominio	El Exito
8045	A-3 San Cristobal I	Condominio	Paisajes de San Cristobal I
8046	A-3 San Cristobal I	Condominio	Paisajes de San Cristobal III

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

FUENTE: Zona de Atención. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile 2015; Longitud de Falla, Fallas IGN 1976; Límites Municipales, Municipalidad de Mixco 2016.

MAPA 16. Mapa Zona de Atención de Fallas Superficiales Zona 8 Municipio de Mixco



Leyenda

Fallas zona 8 Mixco km

- 1. Falla
- 2. Fallas activadas por el terremoto de 1976
- 3. Fallas mapeadas de fotografías aéreas
- 4. Fracturas activadas por el terremoto de 1976

Límite zona 8 Mixco

- 8
- ZA Zona de Atención 400 metros

CENTROS POBLADOS

- Aldea
- Colonia
- Condominio
- Zona

Centros Poblados en Zona de Atención de Fallas

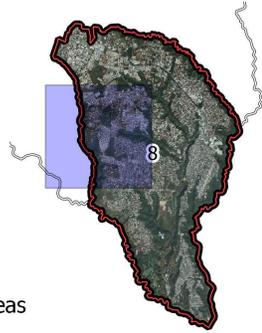
Código	Sector	Categoría	Nombre
8033	A-2 San Cristobal I	Condominio	Giampaolo
8106	B-1 San Cristobal I	Colonia	B-1 San Cristobal I
8110	B-4 San Cristobal I	Colonia	B-4 San Cristobal I
8103	A-9 San Cristobal I	Condominio	Veldeved
8109	B-3 San Cristobal I	Condominio	La Ceiba
8140	A-10 San Cristobal I	Condominio	San Patricio
8142	A-10 San Cristobal I	Condominio	Las Fuentes
8145	A-10 San Cristobal I	Condominio	Guita Mary
8147	A-10 San Cristobal I	Condominio	Villa Antigua
8150	A-10 San Cristobal I	Condominio	Sol Luna
8007	A-1 San Cristobal I	Condominio	Torre Fuerte
8009	A-1 San Cristobal I	Condominio	Vista Verde
8010	A-1 San Cristobal I	Condominio	Colinas de San Cristobal III
8011	A-1 San Cristobal I	Condominio	Jardines de Louisiana
8012	A-1 San Cristobal I	Condominio	Buena Vista
8015	A-1 San Cristobal I	Condominio	San Lucas
8019	A-1 San Cristobal I	Condominio	Aranjuez
8020	A-1 San Cristobal I	Condominio	Las Orquideas
8021	A-1 San Cristobal I	Condominio	Villas del Pedregal

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018



FUENTE: Zona de Atención. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile 2015; Longitud de Falla, Fallas IGN 1976; Límites Municipales, Municipalidad de Mixco 2016.

MAPA 17. Mapa Zona de Atención de Fallas Superficiales Zona 8 Municipio de Mixco



Legenda

- Fallas zona 8 Mixco km
 - 1. Falla
 - 3. Fallas mapeadas de fotografías aéreas
- Límite zona 8 Mixco
 - 8
 - ZA Zona de Atención 400 metros
- CENTROS POBLADOS
 - Aldea
 - Caserio
 - Colonia
 - Condominio
 - Zona

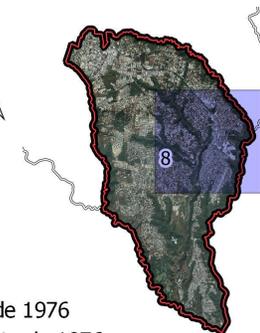
Centros Poblados en Zona de Atención de Fallas

Código	Sector	Categoría	Nombre
8192	Pinares de San Cristobal	Condominio	Pinares de San Cristobal
8184	El Recuerdo	Condominio	El Mirador
8133	A-10 San Cristobal I	Condominio	Residenciales Jardines
8134	A-10 San Cristobal I	Condominio	El Pinar
8144	A-10 San Cristobal I	Condominio	Alta Verde
8148	A-10 San Cristobal I	Condominio	Marcela
8149	A-10 San Cristobal I	Condominio	Loma Verde
8154	A-10 San Cristobal I	Condominio	Olivares I
8091	Santa Barbara	Condominio	Jardines de San Cristobal
8177	Santa Barbara	Condominio	G&T I
8202	Santa Barbara	Colonia	Santa Barbara
8193	Pinares de San Cristobal	Condominio	Prados de San Cristobal
8156	A-10 San Cristobal I	Condominio	Olivares II
8157	A-10 San Cristobal I	Condominio	Olivares III
8178	El Campanero	Aldea	El Campanero
8183	El Recuerdo	Caserio	El Recuerdo
8126	A-10 San Cristobal I	Colonia	A-10 San Cristobal I

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

FUENTE: Zona de Atención. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile 2015; Longitud de Falla, Fallas IGN 1976; Límites Municipales, Municipalidad de Mixco 2016.

MAPA 18. Mapa Zona de Atención de Fallas Superficiales Zona 8 Municipio de Mixco



Leyenda

Fallas zona 8 Mixco km

1. Falla

2. Fallas activadas por el terremoto de 1976

4. Fracturas activadas por el terremoto de 1976

Límite zona 8 Mixco

8

ZA Zona de Atención 400 metros

CENTROS POBLADOS

Colonia

Condominio

Centros Poblados en Zona de Atención de Fallas

Código	Sector	Categoría	Nombre
8107	B-2 San Cristobal I	Colonia	B-2 San Cristobal I
8106	B-1 San Cristobal I	Colonia	B-1 San Cristobal I
8191	Panoramas San Cristobal	Colonia	Panoramas San Cristobal
8121	C-2 San Cristobal I	Colonia	C-2 San Cristobal I
8119	C-1 San Cristobal I	Colonia	C-1 San Cristobal I
8186	Granjas San Cristobal I	Condominio	Nueva Margarita
8162	B-4 San Cristobal II	Colonia	B-4 San Cristobal II
8160	B-3 San Cristobal II	Colonia	B-3 San Cristobal II
8159	B-2 San Cristobal II	Colonia	B-2 San Cristobal II
8158	B-1 San Cristobal II	Colonia	B-1 San Cristobal II
8164	B-1 Pinares de San Cristobal	Colonia	B-1 Pinares de San Cristobal
8109	B-3 San Cristobal I	Condominio	La Ceiba
8133	A-10 San Cristobal I	Condominio	Residenciales Jardines
8146	A-10 San Cristobal I	Condominio	Las Palmas
8150	A-10 San Cristobal I	Condominio	Sol Luna
8151	A-10 San Cristobal I	Condominio	Fuentes de Palmera
8152	A-10 San Cristobal I	Condominio	Adonai I
8153	A-10 San Cristobal I	Condominio	Aurora
8185	Granjas San Cristobal I	Colonia	Granjas San Cristobal I

0 250 m



MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

**MAPA 19. Mapa Zona de Atención de Fallas Superficiales
Zona 8 Municipio de Mixco**



Leyenda

Fallas zona 8 Mixco km

3. Fallas mapeadas de fotografías aéreas

4. Fracturas activadas por el terremoto de 1976

Límite zona 8 Mixco

8

ZA Zona de Atención 400 metros

CENTROS POBLADOS

Caserio

Colonia

Condominio



Centros Poblados en Zona de Atención de Fallas

Código	Sector	Categoría	Nombre
8122	C-3 San Cristobal I	Colonia	Valle Dorado I
8191	Panoramas San Cristobal	Colonia	Panoramas San Cristobal
8121	C-2 San Cristobal I	Colonia	C-2 San Cristobal I
8119	C-1 San Cristobal I	Colonia	C-1 San Cristobal I
8171	C-1 Bulevar Sur	Colonia	Valle Dorado II C-1
8173	C-3 Bulvar Sur	Colonia	Valle Azul
8172	C-2 Bulvar Sur	Colonia	Valle Dorado II C-2
8160	B-3 San Cristobal II	Colonia	B-3 San Cristobal II
8159	B-2 San Cristobal II	Colonia	B-2 San Cristobal II
8158	B-1 San Cristobal II	Colonia	B-1 San Cristobal II
8168	B-3 Balcones de San Cristobal	Colonia	B-3 Balcones de San Cristobal
8120	C-1 San Cristobal I	Condominio	Pradera de San Cristobal
8174	C-3 Bulvar Sur	Colonia	Valles de Sevilla
8176	C-4 Bulvar Sur	Colonia	Villas Club El Dorado

0 250 m



FUENTE: Zona de Atención. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile 2015; Longitud de Falla, Fallas IGN 1976; Límites Municipales, Municipalidad de Mixco 2016.

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

Declaratoria de Alto Riesgo, Acuerdo Gubernativo 179-2001

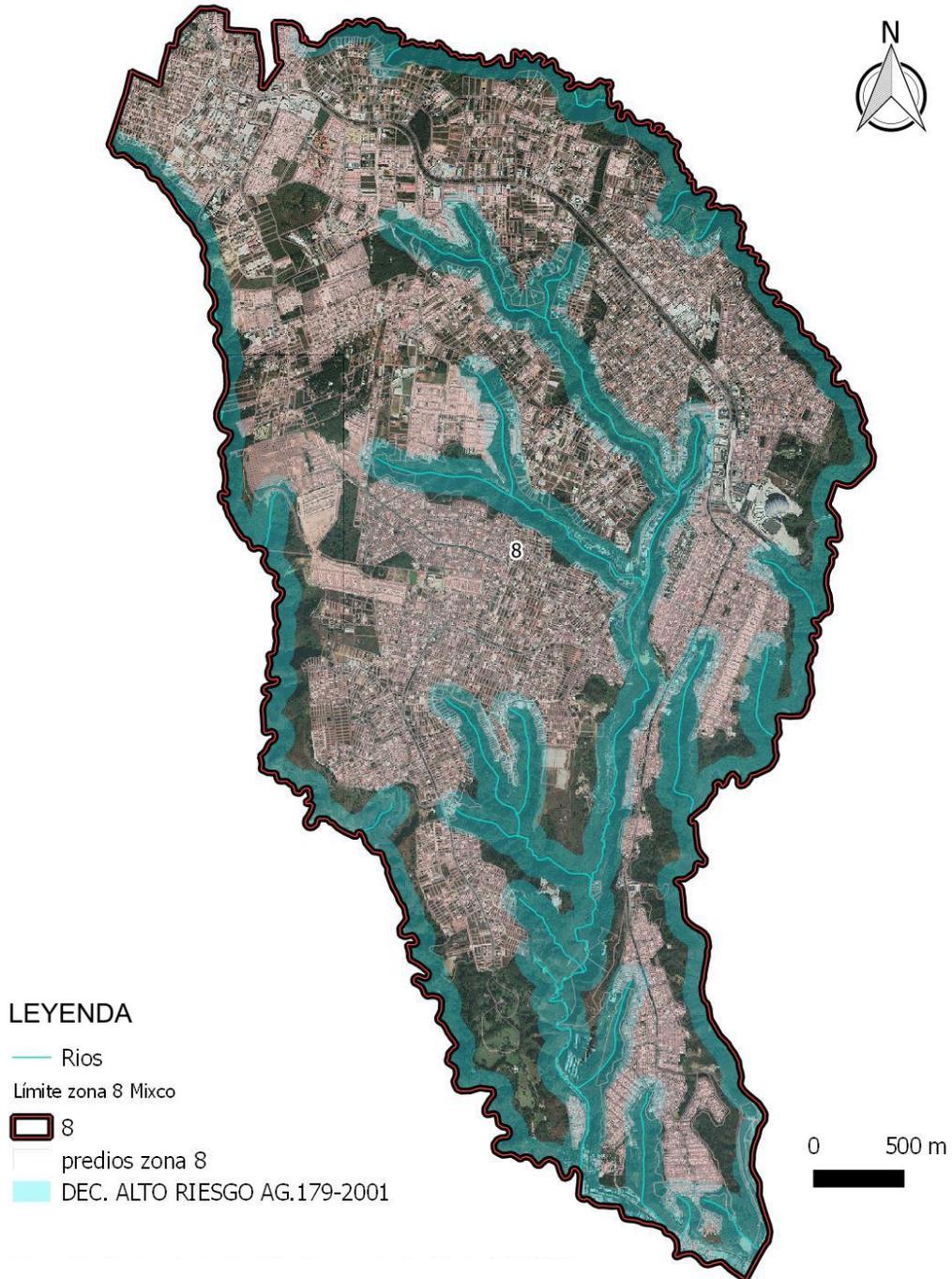
Como se ha indicado, el crecimiento urbano en el área de estudio se ha desarrollado en el territorio delimitado por los barrancos, los cuales representan un peligro para las edificaciones que se encuentran en ellos principalmente por eventos de deslizamientos, vinculados o no a la sismicidad.

En tal sentido, por Acuerdo Gubernativo 179-2001 fueron declarados sectores de alto riesgo las cuencas hidrográficas del río Villalobos, lago de Amatitlán y río Michatoya, delimitadas de forma más precisa en informe técnico científico por el Consejo de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres – CONRED, en donde se extiende éste a una distancia de 100m horizontales hacia cada lado de río, zanjón o quebrada y que para el caso de la zona 8 de Mixco, se presenta en el Mapa 20 la gráfica de dicha declaratoria.

De la misma manera, para visualizar con un mejor detalle, se realizan los mapas por sectores (Mapas 21-25), en ellos pueden observarse aquellas construcciones que se encuentran dentro del área declarada de alto riesgo.

Estos mapas se incluyen en el presente estudio para evidenciar que en los planes de ordenamiento del territorio es imprescindible considerar la pendiente del territorio, la cual puede representar una amenaza en los procesos de urbanización. En este caso probablemente ya existían construcciones previo a la declaratoria de alto riesgo, sin embargo será necesario una revisión por parte de la autoridad municipal de todos estos predios y construcciones que están en el área de la declaratoria ya que conlleva responsabilidad a la comuna en el caso que se presente un desastre en el área.

**DECLARATORIA DE ALTO RIESGO
Zona 8 del Municipio de Mixco del Departamento
de Guatemala**



FUENTE: Declaratoria Alto Riesgo A.G.179-2001, Límite Municipal de Mixco Centros Poblados 2016, Municipalidad de Mixco.

Mapa 20. Declaratoria Alto Riesgo Acdo. Gub. 179-2001

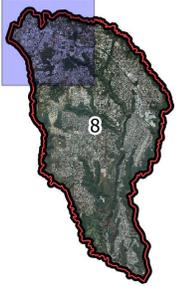
MAPA 21. MAPA DECLARATORIA DE ALTO RIESGO ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO

Legenda

- Rios
- DEC. ALTO RIESGO AG.179-2001

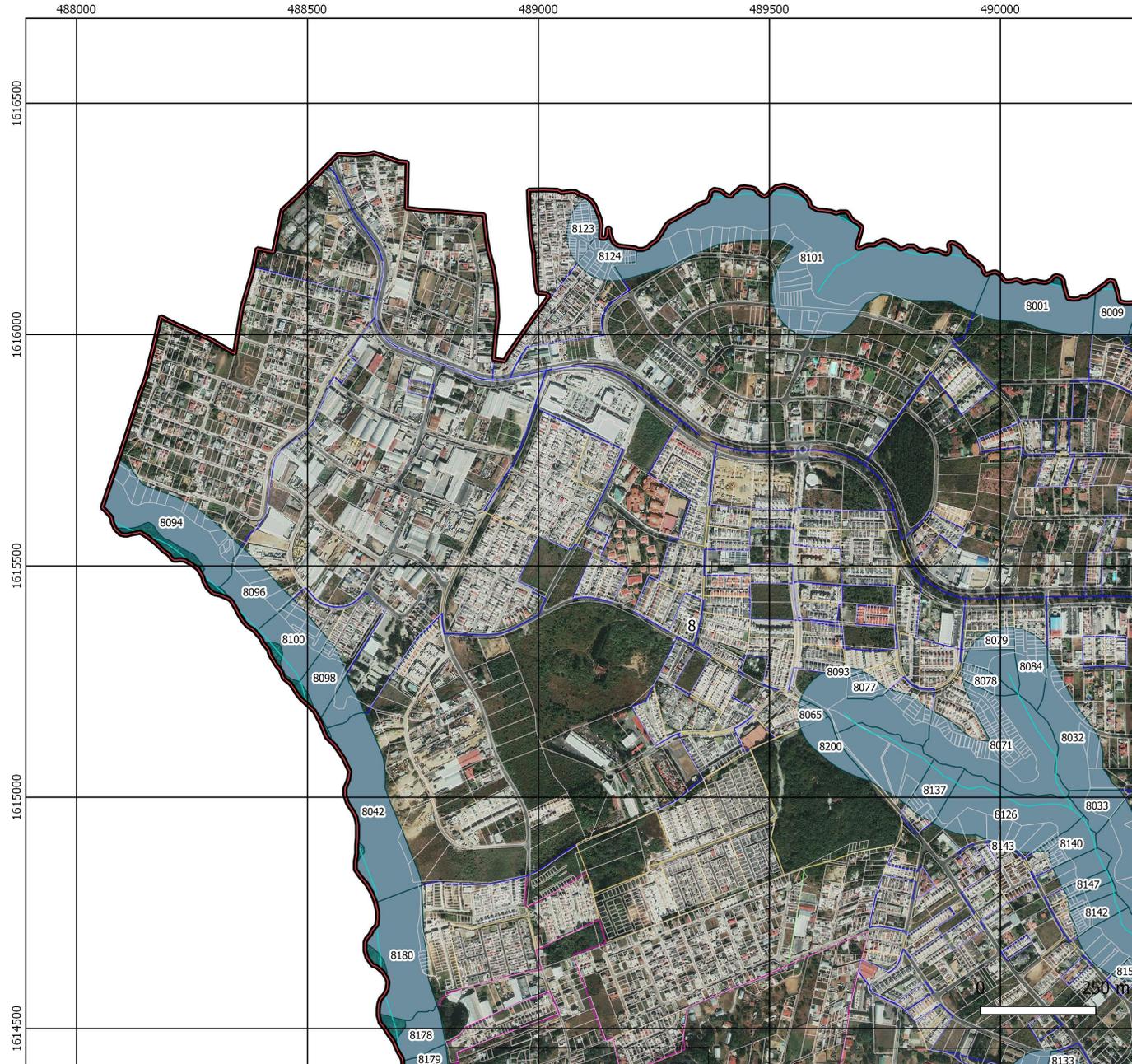
Límite zona 8 Mixco

- 8
- CENTROS POBLADOS
- Aldea
- Colonia
- Condominio
- Zona



Centros Poblados que están dentro de la Declaratoria de Alto Riesgo

código	Sector	Categoría	Nombre
8124	C-5 San Cristobal I	Colonia	C-5 San Cristobal I
8101	A-6 San Cristobal I	Colonia	A-6 San Cristobal I
8123	C-5 San Cristobal I	Colonia	Hamburgo
8001	A-1 San Cristobal I	Colonia	A-1 San Cristobal I
8009	A-1 San Cristobal I	Condominio	Vista Verde
8042	A-3 San Cristobal I	Colonia	A-3 San Cristobal I
8033	A-2 San Cristobal I	Condominio	Giampaolo
8071	A-3 San Cristobal I	Condominio	Fuentes del Mirador
8078	A-3 San Cristobal I	Condominio	Colinas de San Cristobal IV
8079	A-3 San Cristobal I	Condominio	Colinas de San Cristobal
8080	A-3 San Cristobal I	Condominio	La Corunia
8084	A-3 San Cristobal I	Condominio	Santa Monica
8137	A-10 San Cristobal I	Condominio	Estocolmo
8140	A-10 San Cristobal I	Condominio	San Patricio
8143	A-10 San Cristobal I	Condominio	Prados San Cristobal
8032	A-2 San Cristobal I	Colonia	A-2 San Cristobal I



MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

MAPA 22. MAPA DECLARATORIA DE ALTO RIESGO ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO

Legenda

-  Rios
-  DEC. ALTO RIESGO AG.179-2001

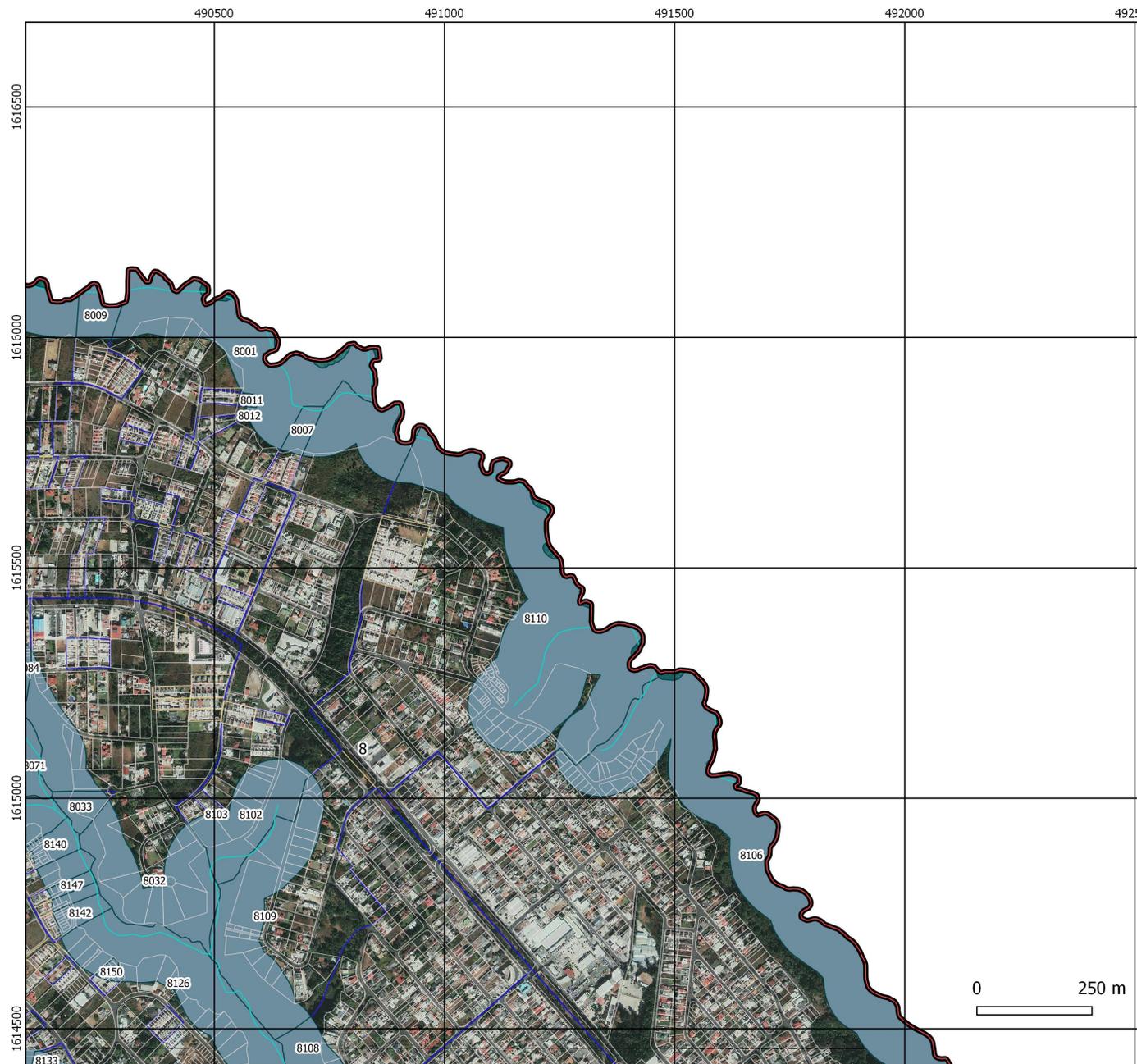


Límite zona 8 Mixco

-  8
- CENTROS POBLADOS**
-  Colonia
-  Condominio

Centros Poblados que están dentro de la Declaratoria de Alto Riesgo

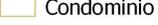
código	Sector	Categoría	Nombre
8110	B-4 San Cristobal I	Colonia	B-4 San Cristobal I
8007	A-1 San Cristobal I	Condominio	Torre Fuerte
8001	A-1 San Cristobal I	Colonia	A-1 San Cristobal I
8102	A-9 San Cristobal I	Colonia	A-9 San Cristobal I
8009	A-1 San Cristobal I	Condominio	Vista Verde
8011	A-1 San Cristobal I	Condominio	Jardines de Louisiana
8012	A-1 San Cristobal I	Condominio	Buena Vista
8106	B-1 San Cristobal I	Colonia	B-1 San Cristobal I
8033	A-2 San Cristobal I	Condominio	Giampaolo
8140	A-10 San Cristobal I	Condominio	San Patricio
8032	A-2 San Cristobal I	Colonia	A-2 San Cristobal I
8126	A-10 San Cristobal I	Colonia	A-10 San Cristobal I
8103	A-9 San Cristobal I	Condominio	Velveded
8109	B-3 San Cristobal I	Condominio	La Ceiba
8142	A-10 San Cristobal I	Condominio	Las Fuentes
8145	A-10 San Cristobal I	Condominio	Guita Mary



MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

MAPA 23. MAPA DECLARATORIA DE ALTO RIESGO ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO

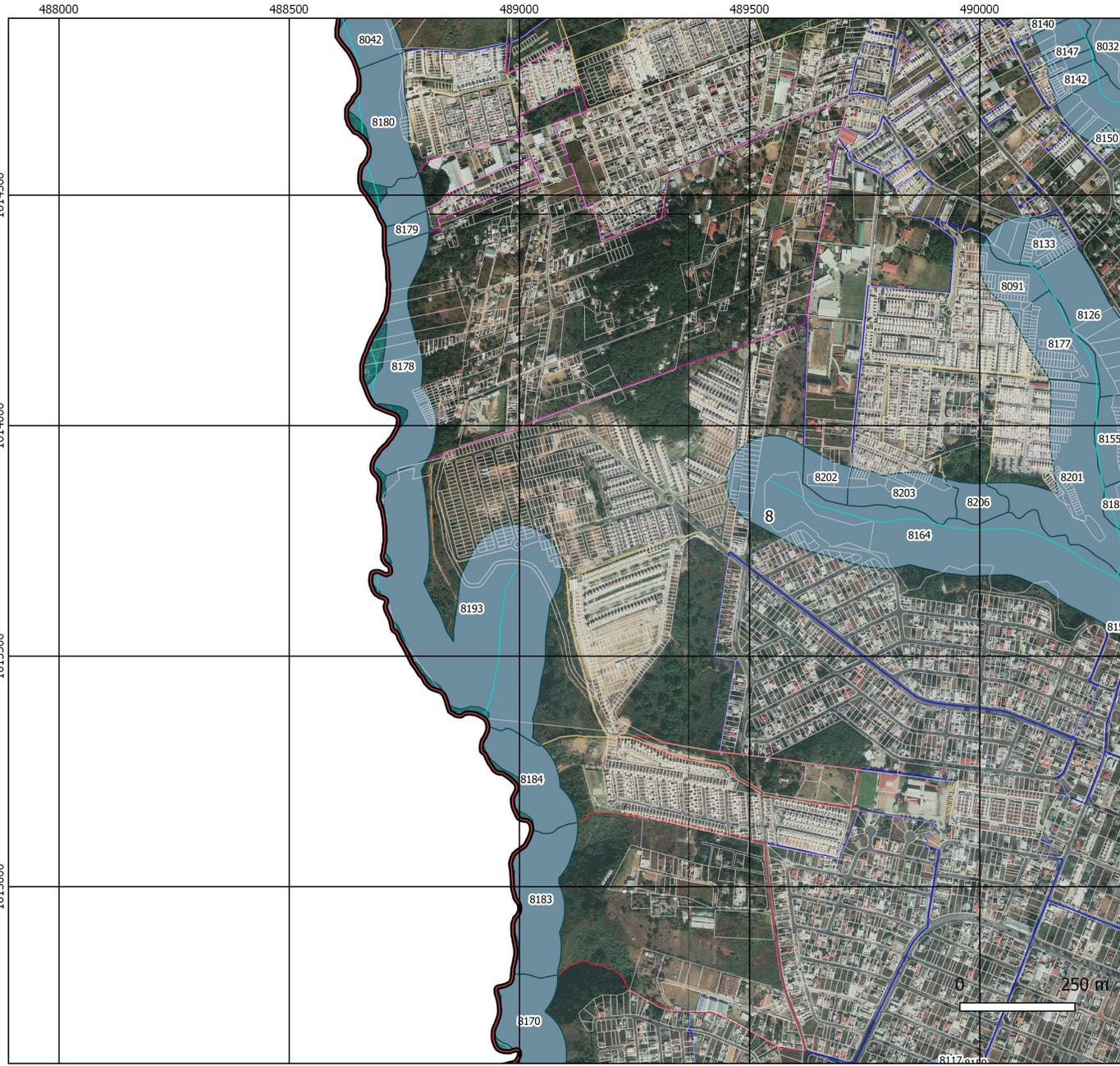
Legenda

-  Rios
-  DEC. ALTO RIESGO AG.179-2001
- Límite zona 8 Mixco
-  8
- CENTROS POBLADOS
-  Aldea
-  Caserío
-  Colonia
-  Condominio
-  Zona



Centros Poblados que están dentro de la Declaratoria de Alto Riesgo

código	Sector	Categoría	Nombre
8126	A-10 San Cristobal I	Colonia	A-10 San Cristobal I
8180	El Campanero	Condominio	Los Fresnos
8179	El Campanero	Colonia	Celajes de San Cristobal
8178	El Campanero	Aldea	El Campanero
8164	B-1 Pinares de San Cristobal	Colonia	B-1 Pinares de San Cristobal
8133	A-10 San Cristobal I	Condominio	Residenciales Jardines
8206	Santa Barbara	Condominio	Cristalinas
8201	Santa Barbara	Condominio	Santa Barbara
8091	Santa Barbara	Condominio	Jardines de San Cristobal
8177	Santa Barbara	Condominio	G&T I
8203	Santa Barbara	Condominio	Residenciales Santa Barbara I
8202	Santa Barbara	Colonia	Santa Barbara
8193	Pinares de San Cristobal	Condominio	Prados de San Cristobal
8184	El Recuerdo	Condominio	El Mirador
8183	El Recuerdo	Caserío	El Recuerdo

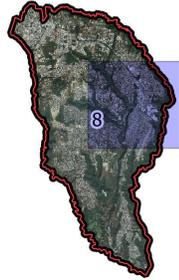


MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

MAPA 24. MAPA DECLARATORIA DE ALTO RIESGO ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO

Legenda

- Rios
- DEC. ALTO RIESGO AG.179-2001

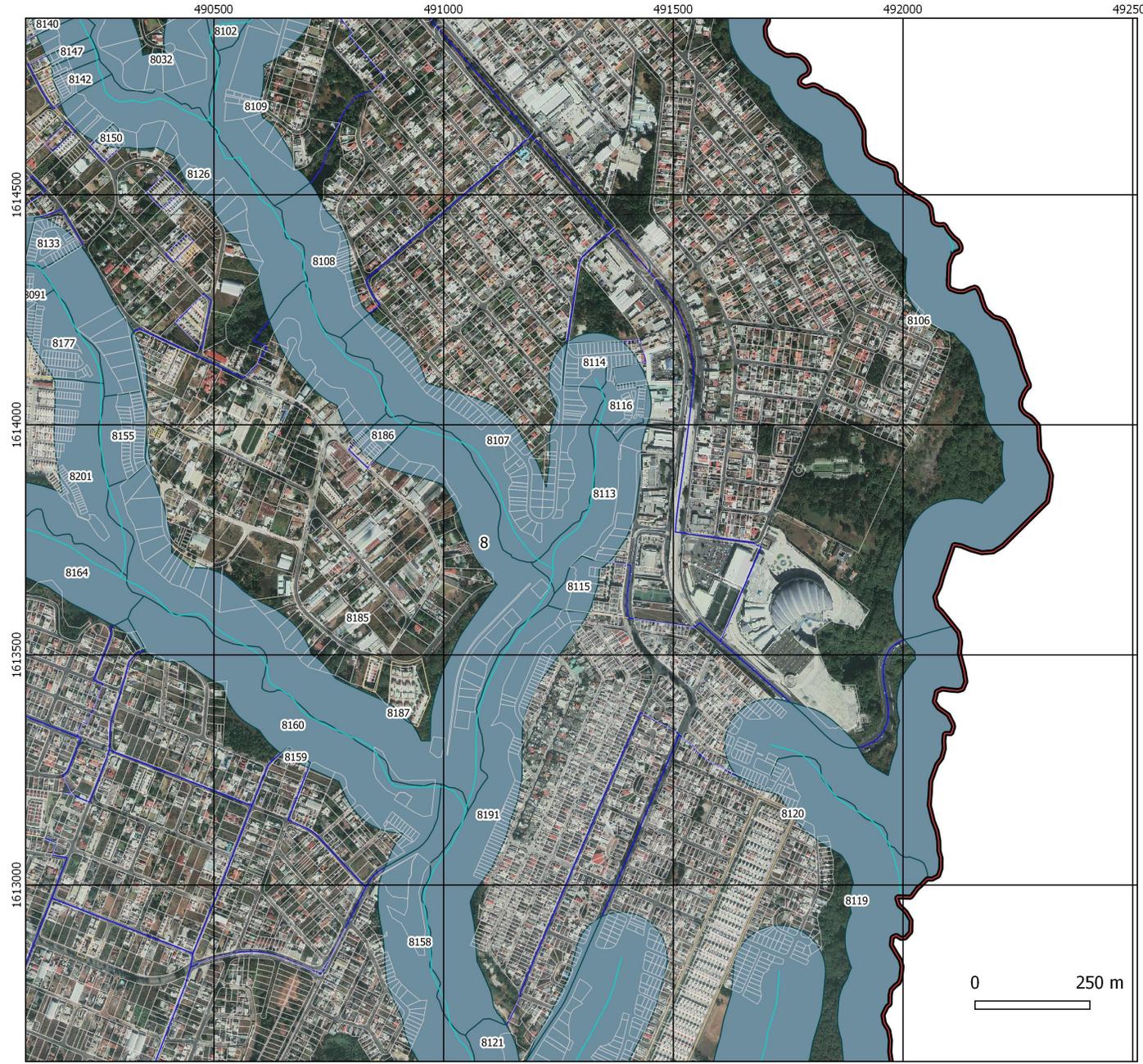


Límite zona 8 Mixco

- 8
- CENTROS POBLADOS
- Colonia
- Condominio

Centros Poblados que están dentro de la Declaratoria de Alto Riesgo

código	Sector	Categoría	Nombre
8106	B-1 San Cristobal I	Colonia	B-1 San Cristobal I
8126	A-10 San Cristobal I	Colonia	A-10 San Cristobal I
8109	B-3 San Cristobal I	Condominio	La Ceiba
8108	B-3 San Cristobal I	Colonia	B-3 San Cristobal I
8150	A-10 San Cristobal I	Condominio	Sol Luna
8107	B-2 San Cristobal I	Colonia	B-2 San Cristobal I
8191	Panoramas San Cristobal	Colonia	Panoramas San Cristobal
8185	Granjas San Cristobal I	Colonia	Granjas San Cristobal I
8114	B-6 San Cristobal I	Condominio	Bakara
8115	B-6 San Cristobal I	Condominio	Altos de San Cristobal
8116	B-6 San Cristobal I	Condominio	Los Manantiales
8113	B-6 San Cristobal I	Colonia	B-6 San Cristobal I
8186	Granjas San Cristobal I	Condominio	Nueva Margarita
8160	B-3 San Cristobal II	Colonia	B-3 San Cristobal II
8158	B-1 San Cristobal II	Colonia	B-1 San Cristobal II
8164	B-1 Pinares de San Cristobal	Colonia	B-1 Pinares de San Cristobal



0 250 m

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

MAPA 25. MAPA DECLARATORIA DE ALTO RIESGO ZONA 8 DEL MUNICIPIO DE MIXCO

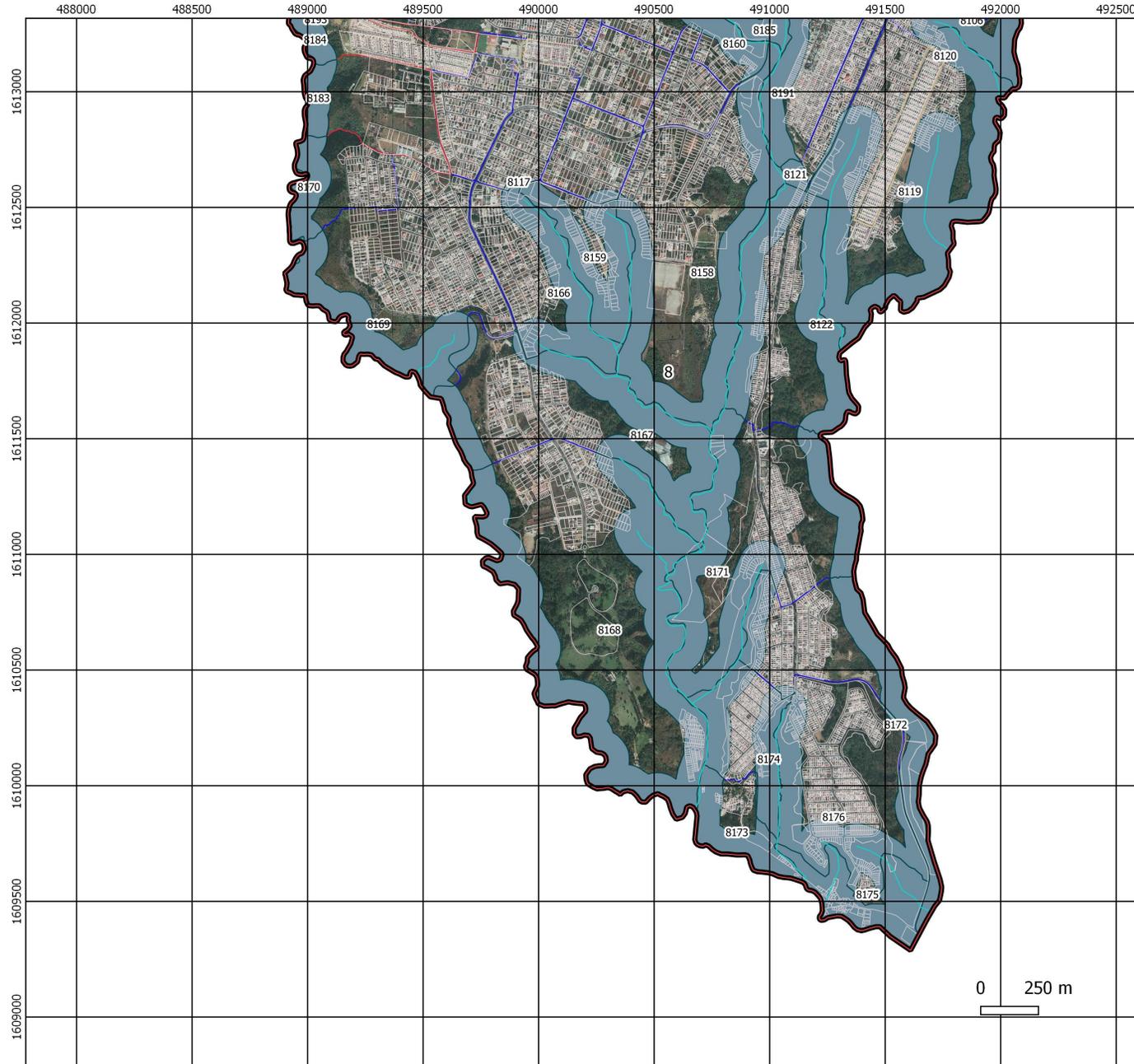
Legenda

- Rios
- DEC. ALTO RIESGO AG.179-2001



Límite zona 8 Mixco

- 8
- CENTROS POBLADOS
- Caserio
- Colonia
- Condominio



Centros Poblados que están dentro de la Declaratoria de Alto Riesgo

código	Sector	Categoría	Nombre
8191	Panoramas San Cristobal	Colonia	Panoramas San Cristobal
8160	B-3 San Cristobal II	Colonia	B-3 San Cristobal II
8158	B-1 San Cristobal II	Colonia	B-1 San Cristobal II
8121	C-2 San Cristobal I	Colonia	C-2 San Cristobal I
8159	B-2 San Cristobal II	Colonia	B-2 San Cristobal II
8119	C-1 San Cristobal I	Colonia	C-1 San Cristobal I
8170	B-4 Balcones de San Cristobal	Colonia	Lomas de San Cristobal
8183	El Recuerdo	Caserio	El Recuerdo
8169	B-4 Balcones de San Cristobal	Colonia	B-4 Balcones de San Cristobal
8167	B-2 Balcones de San Cristobal	Colonia	B-2 Balcones de San Cristobal
8166	B-1 Balcones de San Cristobal	Colonia	B-1 Balcones de San Cristobal
8117	B-7 San Cristobal I	Colonia	B-7 San Cristobal I
8122	C-3 San Cristobal I	Colonia	Valle Dorado I
8171	C-1 Bulevar Sur	Colonia	Valle Dorado II C-1
8168	B-3 Balcones de San Cristobal	Colonia	B-3 Balcones de San Cristobal
8172	C-2 Bulevar Sur	Colonia	Valle Dorado II C-2

0 250 m



MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

4. MODELO METODOLÓGICO

El presente estudio pretende poder llegar a establecer un mapa de áreas vulnerables enfocadas en los principales sistemas constructivos residenciales de la zona 8 de Mixco y de la infraestructura básica y elementos críticos relacionados a la densidad poblacional, la geología, las fallas geológicas y su Zona de Atención, con el objeto de contribuir en la planificación y ordenamiento territorial y toma de decisiones para la prevención del riesgo.

Para el análisis y clasificación de los principales sistemas constructivos residenciales de la zona 8 de Mixco se ha basado en la aplicación de Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), utilizada en este caso, no para identificar intensidad sino para identificar la vulnerabilidad de los edificios de acuerdo al sistema constructivo para poder establecer el tipo de daño que podría sufrir con un evento de determinada magnitud, en la misma ubicación o en otra con características geológicas similares.

4.1 EXPLICACIÓN DEL MODELO

El modelo propuesto consiste en cuatro fases:

1. **Identificación y clasificación de daños a sistemas constructivos similares ocasionados por eventos sísmicos del pasado comparado con las tablas de daños de la EMS-98.**

¿Qué es? Es necesario identificar y clasificar los daños a estructuras que han sido afectadas por sismos pasados para poder conocer cómo se ha comportado el sistema constructivo.

¿Cómo se hace? Se toman como base fotografías de daños causados por sismos en Guatemala y se analizan de acuerdo al sistema constructivo y grado de daño establecido en la EMS-98. Se utiliza el formato de la escala para asignación del daño, se indica el tipo de estructura o sistema constructivo y la información del terremoto y del sitio (fecha, magnitud, datos sismológicos, ubicación y profundidad). Se analiza la fotografía de acuerdo a los daños que se observan y se compara con la descripción de cada grado de daño que indica la escala. Se describen los daños y se asigna el grado. Es importante poder identificar si se trata de daños estructurales o no estructurales, así como distinguir cuidadosamente entre los daños al sistema primario (estructura/elementos de carga) y daños a elementos secundarios (no estructurales), como tabiques o fachadas ligeras.

¿Para qué? Esta información servirá para conocer cómo pueden resistir o dañarse los sistemas constructivos al momento de un sismo de determinada magnitud y para analizar los sistemas constructivos de la zona de estudio posteriormente.

Resultado: Fichas de registro y clasificación del grado de daño a edificaciones causado por sismos pasados.

2. Identificación y descripción de los sistemas constructivos que se encuentran en la zona de estudio.

¿Qué es? Es necesario identificar y describir los diferentes sistemas constructivos que se encuentran en el área de estudio para luego homogenizar las áreas residenciales.

¿Cómo se hace? Se toman fotografías de los diferentes sistemas constructivos residenciales encontrados en la zona de estudio y se utiliza la ficha propuesta para la descripción de los mismos. Es importante ejemplificar con una fotografía cada uno de los sistemas. Posteriormente y con ayuda de imágenes aéreas (Google Earth), sobreponiendo la capa de centros poblados (condominios y colonias), se van tratando de homogenizar cada uno de ellos, analizando su tejido urbano (calles, parcelas y emplazamiento) así como las características de las cubiertas; con ello se va identificando si son construcciones formales o informales, viviendas en serie (construidas por profesionales) o construidas aisladamente por cada propietario, entre otros.

¿Para qué? Sirve para conocer de una forma general, cómo están construidas las viviendas en el área de estudio.

Resultados: Ficha descriptiva de sistemas constructivos identificados en el área de estudio; Mapa de sistemas constructivos residenciales identificados en el área de estudio.

3. Análisis de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones residenciales.

¿Qué es? Es un análisis que se realiza para cada vivienda fotografiada en el área de estudio para poder identificar los aspectos vulnerables que pueden observarse, asignar una clase de vulnerabilidad de acuerdo al sistema constructivo y establecer un grado de posible daño con un evento a partir de 4 grados de magnitud.

¿Cómo se hace? Para cada vivienda fotografiada se realiza una ficha para analizar la vulnerabilidad de la misma. Se llena la información general para cada una; se van marcando los factores de vulnerabilidad que pueden observarse en la fotografía. Luego se llena el recuadro de Clase de Vulnerabilidad con base en la Tabla de Vulnerabilidad de la ESM-98 explicada en el inciso 2.3.1. Finalmente se llena el recuadro de Grado de posible daño, realizando un análisis comparativo con los daños registrados en sistemas similares del inciso 4.2.1, la clase de vulnerabilidad y de acuerdo a los factores de vulnerabilidad marcados en la ficha para cada vivienda.

¿Para qué? Lo que se busca es tratar de estimar, lo más objetivamente posible, la vulnerabilidad y el posible daño que puede sufrir un determinado sistema constructivo.

Resultado: Fichas para análisis de vulnerabilidad en edificaciones residenciales.

4. Elaboración del mapa de áreas residenciales vulnerables ante sismos.

¿Qué es? Es una herramienta que pretende identificar las áreas residenciales más vulnerables en el área de estudio.

¿Cómo se hace?

Relacionando los sistemas constructivos residenciales del área, la infraestructura básica y elementos críticos y las fallas geológicas y su Zona de Atención. Con lo anterior se puede identificar cuáles son las áreas que representan la mayor o menor vulnerabilidad de acuerdo a las variables anteriores e incluso identificando cuáles podrían presentar problemas de evacuación.

¿Para qué? Con la herramienta se pretende contribuir en la planificación y ordenamiento territorial, así como también contribuir en la toma de decisiones por parte de la CONRED para la prevención del riesgo.

Resultado: Mapa de posible daño según sistema constructivo; Mapa de áreas residenciales vulnerables; Mapa de infraestructura y equipamiento vulnerable ante sismos.

Esta herramienta pretende identificar las áreas residenciales más vulnerables relacionando el sistema constructivo con la geología del lugar, en especial con la Zona de Atención (ZA) establecida para cada falla. Como se ha mencionado, por no contar con estudios de microzonificación sísmica, se optó por trabajar con la ZA ya que es un parámetro que permite identificar el área de posible incidencia de los efectos de las fallas, aunque se hace la salvedad que al momento del presente estudio no se conoce si cada una de estas fallas puedan presentar sismicidad por sí mismas.

4.2 APLICACIÓN DEL MODELO

4.2.1 Identificación y clasificación de daños a sistemas constructivos similares ocasionados por eventos sísmicos del pasado comparado con las tablas de daños de la EMS-98.

En este inciso se pretende hacer una identificación y clasificación de daños a edificaciones construidas con sistemas constructivos similares a los encontrados en el área de estudio. Los ejemplos están ubicados principalmente en el área de San Marcos, afectados por los terremotos de 2012 y 2014 y otros más para el terremoto de 1976 y 1917-1918. La clasificación del daño se realiza con base en la Clasificación del daño y a la Tabla de Vulnerabilidad de la EMS-98, explicadas en el capítulo 2. El formato a utilizar es el que se encuentra en Grünthal (2009).

Cabe hacer la aclaración que esta asignación de grado de daño se realiza con base en análisis fotográfico, con evidencia de los daños externos, por lo que no se cuenta con información del daño en otras áreas de las edificaciones, entendiéndose interiores o fachadas completas.

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería no reforzada	Diciembre 1917 y enero 1918 (no se encontraron datos)				X	



Foto Prensa Libre: Marshall H. Saville, 3 de Enero de 2018
Consultado 18/mayo/18

Comentario: Colapso de los campanarios y del frontispicio de la catedral. Los daños se clasifican no estructural de grado 4.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería no reforzada	Diciembre 1917 y enero 1918 (no se encontraron datos)					X



Comentario: Se observa colapso total de cubierta y torreones, algunos muros de pie. Se considera daño de grado 5.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Hormigón armado	4/2/1976 M 7.4, 15.324 N, -89.138 W, profundidad 10 km (Global Earthquake Model _ GEM 2017)					X



Comentario: Colapso de un segmento del edificio en el segundo piso. Se observa daño estructural muy severo de grado 5.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería de ladrillo no reforzado	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)			X		



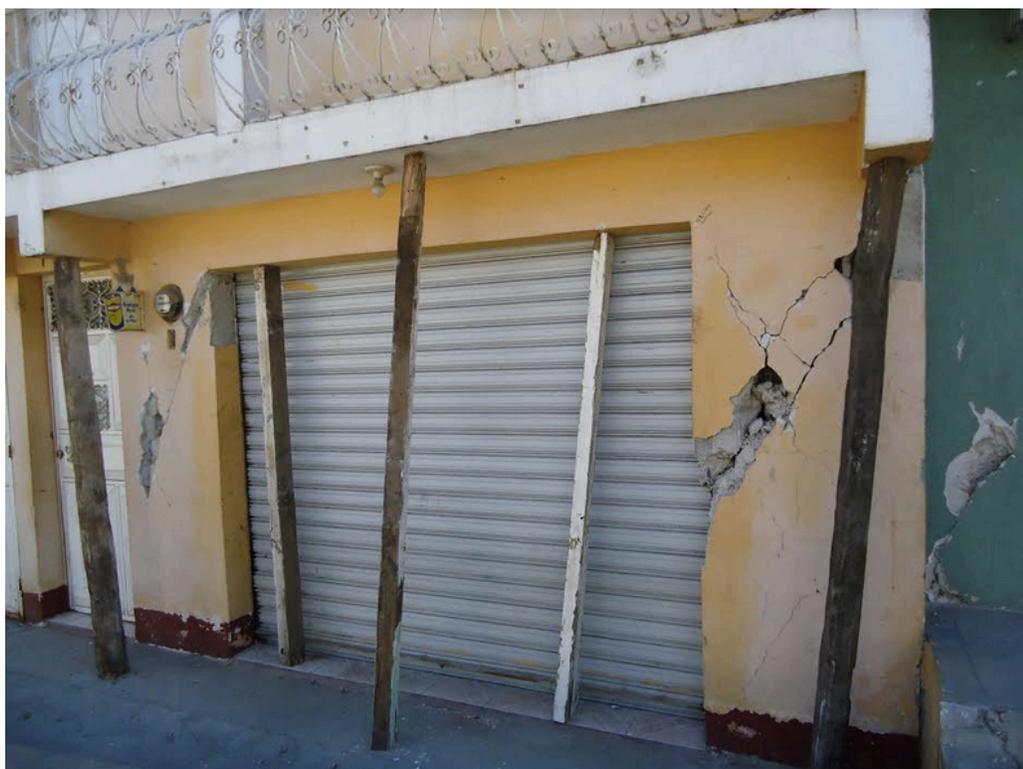
Fuente: Zona 4, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: Se observan grietas largas y en diagonal en casi todos los muros. Los muros no han fallado por lo que se identifica daño estructural moderado de grado 3.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)			X		



Fuente: Zona 3, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: Se observan grietas largas y extensas en los muros, los cuales no afectan a las columnas que sustentan las vigas del voladizo. Se consideran daños no estructurales de grado 3.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)		X			



Fuente: Zona 3, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: Se observan deficiencias en el sistema constructivo como pines sin empalmes ni fundición y puerta sin marcos estructurales. En el tabique del fondo no se observan refuerzos de concreto visibles.

A pesar que cayeron bloques de muro, los daños se observan en tabiques interiores por lo que se identifica un daño no estructural moderado de grado 2.

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)				X	



Fuente: Zona 3, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: Se observan daños muy severos en el primer nivel, lo cual podría considerarse como piso débil. Cayeron bloques de muros y quedaron expuestos refuerzos de acero vertical, lo cual evidencia deficiencia en estructura portante por no contar con el refuerzos adecuados. Estos daños se consideran de grado 4.

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)		X			



Fuente: Zona 3, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: Se observa grieta larga y desprendimiento de cernido y pedazos de block. Se considera daño no estructural moderado de grado 2.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)			X		



Fuente: Zona 3, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: La columna central falló, así como la parte inferior de la viga que sufrió desprendimientos de concreto. Se considera daño estructural moderado de grado 3.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)				X	



Fuente: Zona 3, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: Se observan daños muy severos en el primer nivel, lo cual podría considerarse como piso débil. Cayeron bloques de muros y quedaron expuestos refuerzos de acero vertical, lo cual evidencia deficiencia en estructura portante por no contar con el refuerzos adecuados para el peso superior. Se considera daño estructural severo de grado 4.

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)		X			



Fuente: Zona 3, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: Se observa grieta larga y desprendimiento de cernido y pedazos de block. Se considera daño no estructural moderado de grado 2.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	22/11/2012 M 7.4, OFFSHORE GUATEMALA, 14.05800 N, 92.31200 W, profundidad 33.2 km (INSIVUMEH 2014)			X		



Fuente: Zona 3, San Marcos. SEGEPLAN 2012.

Comentario: Se observa grietas largas y caída de pedazos de block, los cuales no afectan severamente la estructura. Se considera daño no estructural severo de grado 3.

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	8/9/2017 M 8.2, OFFSHORE CHIAPAS, MEXICO; 15.022 N, 93.899 W, profundidad 47.4 km (USGS)					X



Fuente: La Nación Gt, Tacaná, San Marcos.

En: <http://www.lanaciongt.com/2017/09/por-que-el-terremoto-en-guatemala-fue-extrano/>

Consultado: 17/mayo/2018

Comentario: Se observa colapso total del primer y segundo nivel, daños ligados a fenómenos de licuefacción, con daño estructural muy severo de grado 5.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	7/7/2014 M 6.9, OFFSHORE CHIAPAS, MEXICO; 14.724 N, 92.461 W, profundidad 53 km (USGS)				X	



Fuente: noticiadelvalle.com San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.
 En: <https://www.youtube.com/watch?v=BTePdc07C20>
 Consultado: 17/mayo/2018

Comentario: Se observa daño estructural severo en ambos campanarios de la iglesia de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, con grandes grietas por torsión de las estructuras, el daño es clasificado 4.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
Mampostería reforzada	7/7/2014 M 6.9, OFFSHORE CHIAPAS, MEXICO; 14.724 N, 92.461 W, profundidad 53 km (USGS)					X



Fuente: Noticias de bomberos en Guatemala

En: <http://noticiasdebomberosgua.blogspot.com/2014/07/terremoto-en-san-marcos-dejo-2-muertos.html>

Consultado: 6/junio/2018.

Comentario: Se observa colapso total del primer nivel con daño estructural muy severo de grado 5. Este tipo de daño está relacionado al fenómeno de licuefacción.

Análisis realizado por Giovanna Maselli

4.2.2 Identificación y descripción de los sistemas constructivos que se encuentran en la zona de estudio

A manera de preámbulo, es sabido que en Guatemala las tipologías o sistemas constructivos han ido cambiando principalmente por los efectos que los terremotos han tenido en las edificaciones. Materiales como el adobe y la teja eran predominantes antes de los terremotos de 1917 y 1918³⁰ e incluso aún en el de 1976, sin embargo, dejaron lecciones aprendidas ya que la mayor parte de vidas humanas se perdieron en edificaciones construidas con estos materiales por lo que las personas dejaron de usarlos a pesar del menor costo económico y de sus propiedades bioclimáticas.

En la actualidad existen estudios e investigaciones³¹ sobre nuevas tecnologías para la fabricación de un adobe mejorado y algunos proyectos en los cuales ya se ha utilizado el nuevo material, pero será hasta que se presente un evento sísmico de elevada magnitud cuando se evalúe la resistencia real del mismo.

Según el INE (2003) en el último registro a nivel nacional (2002) se contabilizó que el 50.1% de las casas estaban construidas con block, cemento y ladrillo, en contraposición con el adobe con el 24.3%. Y en cuanto al material para el techo, la lámina era el 67.3% y la fundición de concreto con el 14.6%. En este sentido, la mampostería reforzada es actualmente el método más utilizado para la construcción de vivienda urbana y rural, variando quizá en porcentajes y definitivamente sin integrar la variable pobreza y pobreza extrema que definitivamente arrojarían otros resultados a considerar en otro estudio.

Es de considerar que factores como la falta de capacitación para la autoconstrucción de vivienda, la deficiencia en la fabricación de materiales de construcción, la falta de ética por parte del encargado en la construcción y el aspecto económico familiar pueden generar vulnerabilidad en las edificaciones, mismos que no son evaluados en esta identificación por no contar con el proceso completo de construcción sino únicamente lo que es evidente a la vista del observador.

Como sistema constructivo se alude a la interrelación y comportamiento de los componentes (muros, cubierta, pisos), en este caso como proceso constructivo y de

³⁰ Según reportaje de (Prensalibre 2018): “*Por la mañana -del 4 de enero- se vio que las dos torres majestuosas de la Catedral habían sido arrojadas, una al norte y otra al sur. La hermosa iglesia de La Recolectión (dañada desde el primer sismo) había sido reducida a escombros en el piso; ni una piedra quedó sobre piedra. Las gruesas paredes de ladrillo de la penitenciería estaban en el suelo; la fortaleza de San José no estaba allí. La estación del ferrocarril era un rastro de escombros.... Quizá solo cinco de cada cien casas de la ciudad podía ser reconstruida... Las calles y avenidas empedradas de la Nueva Guatemala de la Asunción lucían polvorientas. Viejas y modernas construcciones públicas y privadas quedaron reducidas a promontorios de lámina y hierro retorcidos, y millares de fragmentos de teja estaban esparcidos en el suelo. La cúpula de la Catedral Metropolitana se vino a pique, los edificios que rodeaban la Plaza Central se derrumbaron, la campana de La Recolectión sonó al desprenderse con todo y campanario, y el fuego consumió varias casas en los viejos barrios de la ciudad”.*

³¹ Proyecto G-22 y Cementos Progreso, bloques de tierra comprimida estabilizados con Terraforte; Proyecto Taishin, El Salvador y JICA, entre otros.

acuerdo a las características de los materiales que lo conforman. Por lo anterior, por ejemplo, se hace una subdivisión en la mampostería reforzada de acuerdo a la cubierta de lámina o losa de concreto (prefabricada o fundida) porque el comportamiento puede ser diferente.

En visita de campo al área de estudio se han podido identificar los principales sistemas constructivos para viviendas, los cuales se ha intentado homogenizar haciendo una descripción de sus principales características.

Cabe hacer la aclaración que la EMS-98 es muy específica en indicar que los sistemas constructivos (tipologías constructivas) en el área de análisis deben de compararse y enmarcarse dentro de las tipologías constructivas establecidas en la EMS-98 y que no es posible crear o añadir otros sistemas porque la misma se ha calibrado de acuerdo al comportamiento de las tipologías identificadas³².

En tal sentido se explica que, en la zona 8 de Mixco se pueden encontrar viviendas construidas con lámina y madera o lámina, block y madera así como también algunos pocos ejemplares de sistemas prefabricados como planchas de concreto prefabricado. Estos no pueden enmarcarse dentro de las tipologías que establece la EMS-98 debido a que la escala no contempla la integración de otros sistemas sino que el análisis debe sujetarse a los que establece la misma; por lo tanto únicamente se explican en este capítulo. Por el contrario, el sistema constructivo que predomina es la mampostería reforzada y es en este caso en donde, en la Tabla 6 se hace una subdivisión para intentar explicar con mayor detalle las características de éstos y se presenta una imagen a manera de ejemplo.

Lámina y madera

Es un sistema constructivo de autoconstrucción en donde la estructura portante son piezas de madera clavadas entre sí, en algunos de los casos enterradas y fundidas en la tierra, y en otros únicamente enterradas. El cerramiento tanto en muros como en cubierta es de lámina, generalmente “de segunda”, es decir que viene de fábrica con algunos defectos o bien es reutilizada. El piso puede ser de tierra o bien de concreto en proporciones pobres.

Este sistema constructivo es empleado por familias de escasos recursos económicos, y aunque no es predominante en la zona 8 de Mixco, se encuentra en algunos sectores, principalmente en la aldea El Caminero y en la Polvillera.



Figura 11. Vivienda construida con lámina y madera.

³² Para ampliar ver apartado “2.3.3 Tipologías constructivas establecidas en la EMS-98”, de este documento.

Planchas de concreto prefabricado

Este sistema constructivo es conformado por piezas prefabricadas (columnas y planchas) con las cuales se van armando los muros. La cubierta generalmente es de lámina con estructura metálica o de madera. No es un sistema predominante en el área pero pueden encontrarse algunas viviendas de este tipo.



Figura 12. Vivienda con planchas de concreto prefabricado y lámina.

Mampostería reforzada

De acuerdo con (Monzón Despang 1996) es un sistema noble y el más extendido en Guatemala, llamado internacionalmente como “mampostería confinada” y localmente conocido también como “construcción de mixto”. Este sistema es construido con block o ladrillo y estructura portante de hierro con fundición de concreto, y más confiable que el refuerzo integral colado entre las celdas del ladrillo o del block ya que requiere mayor supervisión al momento de colar el concreto para que no queden burbujas de aire que debilitan el sistema.

La cubierta puede ser de lámina con estructura metálica o piezas de madera; losa fundida en concreto reforzado; prefabricado de vigueta y bovedilla con fundición de concreto.

En palabras textuales de Monzón Despang (1996):

“Localmente, la mampostería suele configurarse y diseñarse empíricamente; el profesional no suele hacer cálculos de esfuerzos sino usar recetas empíricas; por lo tanto su sismo-resistencia depende en gran medida del ingeniero o arquitecto que debe reconocer los límites del sistema. Aunque el comportamiento sísmico ha sido satisfactorio en las dos últimas décadas se tiende a transgredir algunos de los aspectos que hacen que el sistema sea exitoso, como el uso de bloques huecos de pared excesivamente delgada, o someterlo a solicitaciones de carga inadvertidamente excesivas (esto suele pasar en residencias de lujo más que en vivienda popular)...”

Por lo anterior, es evidente que este sistema es, para las condiciones locales, el que mejor puede funcionar en la respuesta sísmica pero existen otros aspectos como los mencionados por Monzón y sumados a la ubicación en la zona, que pueden contribuir a la vulnerabilidad del mismo.

La tabla 6 es una herramienta que permite sistematizar y presentar la información de forma más comprensible para el lector. Para el caso es necesario identificar el sistema constructivo, tratando en lo posible de tener correlación con los nombres de las tipologías indicadas en la EMS-98. Se hace una explicación del sistema lo más detallado posible y es conveniente agregar una imagen ilustrativa para cada uno.

Tabla 6. Sistemas constructivos identificados en el área de estudio.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN VIVIENDA IDENTIFICADOS EN EL AREA DE ESTUDIO						
SISTEMA CONSTRUCTIVO	CUBIERTA	PISO	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN		
ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA	Ladrillo (o block) reforzado y mampostería confinada	Block o super block + concreto armado	Lámina + estructura metálica o madera	Concreto	Muros contruidos de block o superblock, generalmente de 0.14 x 0.20 x 0.40 m, unido con mortero de cemento y arena de río; con estructura de concreto armado con varillas de hierro, en sentido vertical aproximadamente cada 1.50 m o bien, con pines de hierro + concreto cada 0.60 m; en sentido horizontal en el cimientto, en la base, en la mitad del muro y en la corona del mismo. Cubierta de lámina con estructura metálica o madera; piso fundido en concreto.	
		Block o super block + concreto armado	Losa de concreto o prefabricada	Concreto	Muros contruidos de block o superblock, generalmente de 0.14 x 0.20 x 0.40 m, unido con mortero de cemento y arena de río; con estructura de concreto armado con varillas de hierro, en sentido vertical aproximadamente cada 1.50 m o bien, con pines de hierro + concreto cada 0.60 m; en sentido horizontal en el cimientto, en la base, en la mitad del muro y en la corona del mismo. Cubierta de concreto armado con vigas o bien con piezas prefabricadas (vigüeta y bovedilla) + fundición de concreto; piso fundido en concreto.	
		Ladrillo + concreto armado	Lámina + estructura metálica o madera	Concreto	Muros contruidos de ladrillo unido con mortero de cemento y arena de río; con estructura de concreto armado con varillas de hierro, en sentido vertical aproximadamente cada 1.50 m o bien, con pines de hierro + concreto cada 0.60 m; y en sentido horizontal en el cimientto, en la base, en la mitad del muro y en la corona del mismo. Cubierta de lámina con estructura metálica o madera; piso fundido en concreto.	
		Ladrillo + concreto armado	Losa de concreto o prefabricada	Concreto	Muros contruidos de ladrillo unido con mortero de cemento y arena de río; con estructura de concreto armado con varillas de hierro, en sentido vertical aproximadamente cada 1.50 m o bien, con pines de hierro + concreto cada 0.60 m; y en sentido horizontal en el cimientto, en la base, en la mitad del muro y en la corona del mismo. Cubierta de concreto armado con vigas o bien con piezas prefabricadas (vigüeta y bovedilla) + fundición de concreto; piso fundido en concreto.	
		Sistema mixto: block + concreto armado + lámina o fibrocemento	Concreto y/o lámina	Concreto	Muros contruidos de block o superblock, generalmente de 0.14 x 0.20 x 0.40 m, unido con mortero de cemento y arena de río; con estructura de concreto armado con varillas de hierro, en sentido vertical aproximadamente cada 1.50 m o bien, con pines de hierro + concreto cada 0.60 m; en sentido horizontal en el cimientto, en la base, en la mitad del muro y en la corona del mismo. Generalmente se integran áreas adosadas a los laterales o en niveles superiores, fabricados con lámina o planchas de fibrocemento. Las cubiertas varían entre lámina, concreto o mixto; piso fundido en concreto.	

Elaboración propia.

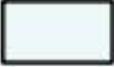
La tabla anterior trata de explicar con más detalle cómo está construida la vivienda no solo en muros sino también en cubierta y piso, sin embargo se necesita llegar a un nivel más homogéneo del sistema constructivo, que facilite la visualización en un mapa y que no quede únicamente en la clasificación que establece la EMS-98 en la que se enmarcan las construcciones del área de estudio (ladrillo reforzado y mampostería confinada) porque no mostraría ninguna diferencia.

En tal sentido, se trabaja con ayuda de imágenes aéreas (Google Earth), sobreponiendo la capa de lugares poblados (condominios y colonias) y se van tratando de homogenizar las viviendas/construcciones identificadas, analizando entre otros, su tejido urbano (calles, parcelas y emplazamiento) así como las características de las cubiertas, identificando si son construcciones formales o informales, viviendas en serie (construidas por profesionales) o construidas aisladamente por cada propietario. Posteriormente en la base de datos de los lugares poblados se va indicando para cada colonia o condominio, el sistema dentro del cual se encuentra la mayoría de viviendas de acuerdo a la Tabla 7 y con esta información se realiza el Mapa Sistema Constructivo predominante por Lugar Poblado (Mapa 26).

Para efecto de presentación de la información en mapas, y de acuerdo a lo explicado arriba, se realizó la homogenización dentro de los siguientes sistemas constructivos así:

Tabla 7. Sistema constructivo indicado en mapa y grado de posible daño.

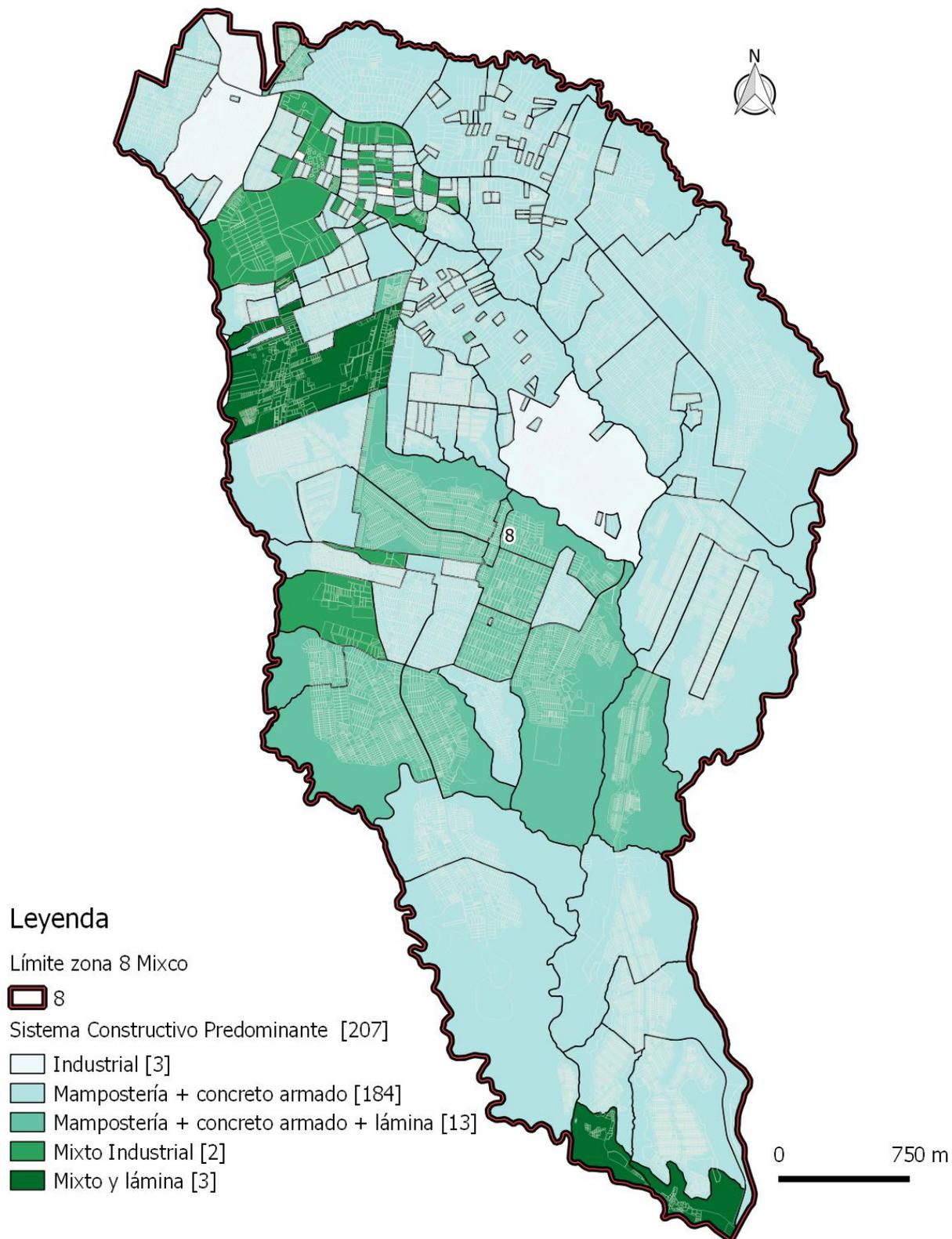
SISTEMA CONSTRUCTIVO	EXPLICACIÓN	GRADO DE POSIBLE DAÑO (según EMS-98)
<p>Mampostería + concreto armado</p> 	<p>La mayoría de construcciones está realizada con block, ladrillo o superblock; con estructura de concreto armado o pineado en su interior; con entepiso/cubierta de concreto armado, ya sea armado y fundido in situ o con vigueta y bovedilla. Es una construcción formal que se considera cumple con materiales de buena calidad y técnicas constructivas adecuadas.</p>	<p>2 a 3</p>
<p>Mampostería + concreto armado + lámina</p> 	<p>La mayoría de construcciones está realizada con block, ladrillo o superblock; con estructura de concreto armado o pineado en su interior; y con cubierta de lámina y estructura metálica. En algunos casos podrían presentarse deficiencias en la técnica constructiva o materiales de mediana o baja calidad.</p>	<p>3 a 4</p>
<p>Mixto Industrial</p> 	<p>En el área se encuentra un uso mixto en cuanto a vivienda e industria. Las características del sistema constructivo habitacional no fue posible homogenizarlo ya que se encuentran viviendas de mampostería + concreto armado; mampostería + concreto armado + lámina. En algunos casos podrían presentarse deficiencias en la técnica constructiva o materiales de mediana o baja calidad. Se identifica a la industria por el riesgo que podría representar al momento de presentarse un evento desastroso.</p>	<p>3 a 4</p>

<p>Mixto y lámina</p> 	<p>No es posible establecer un sistema constructivo ya que se encuentran viviendas de mampostería + concreto armado; mampostería + concreto armado + lámina y otras viviendas construidas con lámina. En general son viviendas de escasos recursos, autoconstruidas o construidas por personas no profesionales. Pueden presentarse deficiencias en la técnica constructiva o materiales de mediana o baja calidad.</p>	<p>4 a 5</p>
<p>Industrial</p> 	<p>Se utiliza el término para homogenizar un área que tiene predominancia de actividades industriales, en donde no se entra a analizar el sistema constructivo sino más bien se identifica por el riesgo que podría representar al momento de presentarse un evento desastroso.</p>	<p>--</p>

Elaboración propia.

El grado de posible daño es asignado con base en el análisis de los factores que afectan la vulnerabilidad sísmica de los edificios, según la EMS, indicados en el capítulo 2.3.4., y con base en el análisis de la clasificación de daños a sistemas constructivos realizado en el capítulo 4.2.1.

Mapa de Sistemas Constructivos por Centro Poblado Zona 8, Municipio de Mixco, Departamento de Guatemala



MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

FUENTE: Municipalidad de Mixco 2016, Elaboración propia con base en fotografías de campo y análisis de imágenes aéreas

Conclusión del Mapa 26:

La homogenización del sistema constructivo se realizó utilizando la capa de Centros Poblados y con apoyo de fotografías tomadas en campo y análisis de imágenes aéreas. En el mapa se observa que la mayoría de éstos presenta un sistema constructivo de mampostería + concreto armado, otros más presentan mampostería + concreto armado + lámina. En menor medida se encuentra el sistema clasificado como mixto industrial en donde no fue posible homogenizar el sistema constructivo y además se encuentra actividad industrial. En un menor número de centros poblados se encuentra un sistema mixto y de lámina, en donde las condiciones son más precarias. Y se identifican también tres centros poblados en donde existe predominancia de actividad industrial lo cual podría aumentar la vulnerabilidad en caso se presente un desastre, por ello se considera importante indicarlo.

Cabe recordar que el mapa busca la homogenización e identificación del sistema constructivo predominante, lo cual no implica que todas las edificaciones están construidas con el sistema indicado o que todas fueron construidas con buenas o deficientes prácticas constructivas según sea el caso.

4.2.3 Análisis de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones residenciales

Es un análisis que se realiza para cada vivienda fotografiada en el área de estudio para poder identificar los aspectos vulnerables que pueden observarse, asignar una clase de vulnerabilidad de acuerdo al sistema constructivo y establecer un grado de posible daño con un evento de por lo menos 4 grados de magnitud.

Para el efecto se ha diseñado una ficha en donde se va llenando la información general para cada una. Luego se van marcando los factores de vulnerabilidad que pueden observarse en la fotografía. En este sentido, se debe aclarar que la EMS-98 establece 7 factores que afectan la vulnerabilidad sísmica de los edificios. En la tabla se están tomando únicamente 6 ya que el "Refuerzo" es difícilmente observable en la fotografía. Las características que se desglosan para cada factor son extraídas de la explicación dada en la Escala y lo que se busca es intentar hacer más objetivo un análisis que, para este caso es subjetivo pues se basa en la observación y criterio del investigador.

Luego se llena el recuadro de Clase de Vulnerabilidad con base en la Tabla de Vulnerabilidad de la ESM-98 explicada en el inciso 2.3.1. En este caso el círculo se colocará en el índice más probable de vulnerabilidad; la línea continua indica el rango probable y se coloca hasta el índice que se considere que podría alcanzar³³; la línea discontinua representa casos excepcionales o menos probables y se coloca hasta el índice que se considere que el sistema puede alcanzar en estos casos³⁴. Esto nos permite poder conocer que tan vulnerable puede ser el sistema utilizado para la imagen en estudio, recordando que el índice A es muy vulnerable y el índice F es menos vulnerable.

Finalmente se llena el recuadro de Grado de posible daño, realizando un análisis comparativo con los daños registrados en sistemas similares del inciso 4.2.1, la clase de vulnerabilidad y de acuerdo a los factores de vulnerabilidad marcados en la ficha para cada vivienda. El grado de posible daño se valora así:

Tabla 8. Valoración del grado de posible daño

GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	Bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Grave
5	Muy grave

³³ Un sistema constructivo puede ser menos vulnerable si por ejemplo cuenta con elementos que lo mejoren como un buen mantenimiento o la técnica constructiva es adecuada. Por el contrario, puede también ser más vulnerable si por ejemplo los materiales utilizados no son de buena calidad o tiene elementos en su diseño arquitectónico como grandes ventanales que aumentan la vulnerabilidad.

³⁴ Aplica lo indicado en la nota 31 pero con situaciones más excepcionales.

**FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES
DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA**

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado	Muros	Block + concreto armado	Cubierta	Losa de concreto	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1990				1/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Vivienda de mampostería reforzada y losa de concreto, dos niveles, se observan materiales de buena calidad, técnica constructiva adecuada y que recibe mantenimiento periódico. Su diseño es asimétrico y no se observa piso débil. No cuenta con amplios ventanales y su sistema constructivo se considera de alta ductilidad. Está ubicado en esquina y se percibe que fue construido por un profesional de la construcción.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si	X	REGULARIDAD	Simétrico		DUCTILIDAD	Alta ductilidad		X
		No			Asimétrico			X	Baja ductilidad	
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si	X	REGULARIDAD	Piso débil	Si	LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	X
		No				No			X	No
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si	X	REGULARIDAD	Amplios ventanales	Si	DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si	X
		No				No			X	No

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado						



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	X
3	
4	
5	

Comentario: se considera que el sistema puede responder bien ante un evento sísmico porque se observa una técnica constructiva adecuada y materiales de buena calidad; la vulnerabilidad puede aumentar debido a que no es una construcción simétrica; la vulnerabilidad puede reducirse si recibe un mantenimiento adecuado.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado	Muros	Block + concreto armado	Cubierta	Losa de concreto	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1980				2/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Edificio residencial de cuatro niveles ubicado en esquina, con un diseño bastante simétrico y ventanas no amplios pero que si llegan a ser el 50% de los muros. Probablemente construido con buenos materiales pero una técnica constructiva no adecuada por la esbeltez de las columnas en el área de estacionamiento lo cual constituye un piso débil y baja ductilidad. Se observa poco mantenimiento. Probablemente construido por un maestro de obra.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si	X	REGULARIDAD	Simétrico		DUCTILIDAD	Alta ductilidad		
		No				X		Baja ductilidad		
Técnica constructiva adecuada	Si			Piso débil	Si	X	LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	X
	No	X			No				No	
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si		Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si	
		No	X		No	X			No	X

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado	I	-	○	-	I	



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	
3	
4	X
5	

Comentario: se asigna un índice de vulnerabilidad C y grado 4 de posible daño principalmente porque se estima que el edificio está llegando a 40 años de vida útil. Podría ser que mejore su vulnerabilidad si se realizan acciones de refuerzo de estructuras y mantenimiento. Se hace más vulnerable por la esbeltez de las columnas en el primer nivel lo que podría convertirse en piso débil.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

**FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES
DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA**

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado	Muros	Block + concreto armado	Cubierta	Losa de concreto	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1980				3/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Esta edificación inicialmente fue construida como vivienda y actualmente tiene un uso hospitalario y se analizó por la importancia en equipamiento que representa para la salud de la población en el sector. Construido en dos niveles con estructura de hormigón armado. Se observan materiales de buena calidad y técnica constructiva adecuada. Se percibe que recibe mantenimiento a pesar que pasó muchos años en obra gris. Su diseño es simétrico y aunque no tiene un piso débil, si cuenta con un pórtico con columnas esbeltas que lo hacen vulnerable por la baja ductilidad que representa en conjunto. Es una edificación aislada y se percibe fue construida por un profesional. Se ubica cercano a una falla.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si	X	REGULARIDAD	Simétrico		X	DUCTILIDAD	Alta ductilidad		
		No			Asimétrico				Baja ductilidad		X
	Técnica constructiva adecuada	Si	X		Piso débil	Si		LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	
		No				No	X			No	X
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si	X	Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si	X	
		No			No	X			No		

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado				—○—		



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	
3	X
4	
5	

Comentario: el edificio podría presentar un grado de posible daño tipo 2 pero se analiza principalmente por la estructura frontal la cual puede aumentar la vulnerabilidad por la baja ductilidad de éste con el resto del edificio. Podría reducirse la vulnerabilidad con buen mantenimiento y verificación de la estructura.

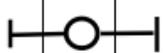
Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

**FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES
DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA**

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado	Muros	Block + concreto armado	Cubierta	Losa de concreto	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1990				4/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Casas en serie de uno y dos niveles construidas de mampostería y estructura de concreto armado, se observan materiales de buena calidad, una técnica constructiva adecuada y que reciben mantenimiento. La ductilidad se considera alta ya que los grupos van formando un bloque mas o menos uniforme en cuanto al comportamiento horizontal al momento de un sismo. Se considera fueron construidas por profesional.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si	X	REGULARIDAD	Simétrico		DUCTILIDAD	Alta ductilidad		X
		No			Asimétrico			Baja ductilidad		
Técnica constructiva adecuada	Si	X	Piso débil	Si	No	X	LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	
	No								No	X
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si	X	Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si	X
		No			No	X			No	

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado						



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	X
2	
3	
4	
5	

Comentario: se asigna grado 1-2 de posible daño, es decir que la vulnerabilidad se considera de índice D, pudiendo mejorar si reciben un mantenimiento adecuado o pudiendo reducir la misma si la estructura o carga del sistema cambiara.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

**FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES
DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA**

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado + lámina	Muros	Block + concreto armado	Cubierta	Losa concreto y lámina	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1990				5/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Vivienda construida en dos y medio niveles con estructura de concreto armado, de características simétricas y con amplio ventanal al centro. El estado de preservación se observa con poco mantenimiento, no hay clara evidencia de que la técnica constructiva sea la más adecuada y los materiales sean de la mejor calidad. Se considera fue construido por un maestro de obras o un albañil. Un factor externo que aumenta la vulnerabilidad es la torre de telefonía en la parte posterior.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si		REGULARIDAD	Simétrico		X	DUCTILIDAD	Alta ductilidad		
		No	X		Asimétrico				Baja ductilidad		X
	Técnica constructiva adecuada	Si			Piso débil	Si		LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	X
		No	X			No	X			No	
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si		Amplios ventanales	Si	X	DISEÑO SISMO RESISTENTE		Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si	
		No	X		No					No	X

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado		-	○	-		



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	
3	
4	X
5	

Comentario: La vulnerabilidad es considerada de índice C debido a los factores indicados arriba, en donde podría generarse un grado 4 de daño, principalmente por el bajo mantenimiento y los grandes ventanales al frente. Un factor externo que aumenta la vulnerabilidad de la vivienda es la antena de telecomunicación en la parte posterior la cual representa un elemento que podría colapsar durante un sismo, dañando las viviendas del sector.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado	Muros	Block + concreto armado	Cubierta	Losa de concreto	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1990				6/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Vivienda construida en dos y medio niveles, con estructura de concreto armado, es usada además para actividades religiosas. La evidencia que los materiales no son de la mejor calidad es la variación en color y textura de los block. La técnica no es adecuada, no se observa viga de amarre, la distancia entre columnas no es adecuada, la fundición de columnas es irregular. Probablemente construido por albañil. Un factor externo que aumenta la vulnerabilidad es la estructura publicitaria instalada en la parte interior.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si		REGULARIDAD	Simétrico		DUCTILIDAD	Alta ductilidad			
		No	X			X		Baja ductilidad			
Técnica constructiva adecuada	Si			REGULARIDAD	Piso débil	Si		LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	
	No	X	No			X	No			X	
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si		REGULARIDAD	Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si	
		No	X			No	X			No	X

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado		-	○	-		



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	
3	
4	X
5	

Comentario: es considerada grado 4 de posible daño principalmente porque se observan técnicas constructivas deficientes en el sistema estructural en pared lateral, entre otros factores anotados arriba. Otro factor externo es el rótulo publicitario que podría colapsar y afectar las viviendas del lugar.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

**FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES
DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA**

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Lámina y madera	Muros	Lámina y madera	Cubierta	Lámina y madera	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1980				7/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Vivienda precaria de un nivel, construida con estructura de madera y envolvente de lámina de zinc. Se considera de alta ductilidad debido a que el sistema resiste de mejor manera los movimientos horizontales por el menor peso de los materiales comparados con la mampostería. No se observa evidencia de la calidad o buen mantenimiento principalmente de la estructura de madera. Se considera autoconstrucción.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si		REGULARIDAD	Simétrico		X	DUCTILIDAD	Alta ductilidad		X
		No	X		Asimétrico				Baja ductilidad		
	Técnica constructiva adecuada	Si			Piso débil	Si		LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	X
		No	X			No	X			No	
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si		Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si		
		No	X		No	X			No	X	

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Lámina y madera	○					



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	
3	
4	
5	X

Comentario: para este sistema no existe clasificación en la EMS-98, por lo que se estima que el grado de posible daño sería 5 y una vulnerabilidad de índice A, es decir muy vulnerable ante sismos.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

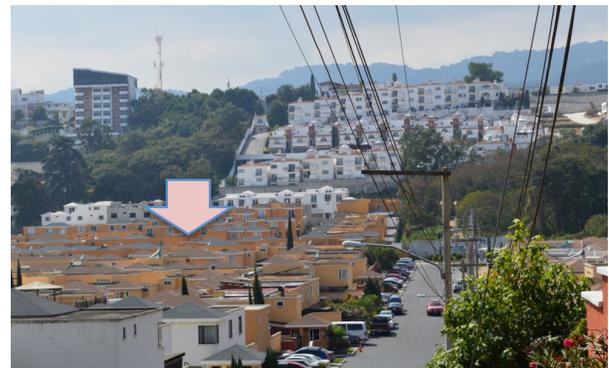
**FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES
DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA**

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado	Muros	Block + concreto armado	Cubierta	Losa de concreto	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	2000				8/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Condominio residencial en área plana, viviendas en dos niveles, con estructura de hormigón armado, construidas aparentemente con materiales de buena calidad, técnicas constructivas adecuadas y que reciben mantenimiento. La ductilidad se considera alta ya que los grupos van formando un bloque mas o menos uniforme en cuanto al comportamiento horizontal al momento de un sismo. Se considera fueron construidas por profesional.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si	X	REGULARIDAD	Simétrico		DUCTILIDAD	Alta ductilidad		X
		No			Asimétrico			Baja ductilidad		
Técnica constructiva adecuada	Si	X	Piso débil	Si	No	X	LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	
	No								No	X
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si	X	Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si	X
		No			No	X			No	

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado				H—○—H		



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	X
3	
4	
5	

Comentario: viviendas consideradas con un grado bajo de posible daño y una vulnerabilidad de índice D que puede disminuir si se afecta el sistema con ampliaciones o remodelaciones que alteren el mismo; y podría mejorar si reciben un adecuado mantenimiento.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado + lámina	Muros	Super Block + concreto armado	Cubierta	Entrepiso concreto, cubierta lámina	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1980				9/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Edificación en dos niveles con estructura de concreto armado, uso comercial planta baja y residencial planta alta. Los materiales no evidencian ser de la mejor calidad y la técnica constructiva no se observa la más adecuada ya que no hay certeza de la existencia de soleras intermedias y viga de amarre. Recibe poco mantenimiento. Se encuentra aislado y se considera fue construido por albañil.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si		REGULARIDAD	Simétrico		X	DUCTILIDAD	Alta ductilidad		
		No	X		Asimétrico				Baja ductilidad		X
Técnica constructiva adecuada	Si			REGULARIDAD	Piso débil	Si	X	LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	
	No	X	No				No			X	
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si		REGULARIDAD	Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si	
		No	X			No	X			No	X

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado + lámina		- -	○	-		



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	
3	
4	X
5	

Comentario: es considerada grado 4 de posible daño principalmente porque se observan técnicas constructivas deficientes en el sistema estructural en pared lateral, entre otros factores anotados arriba. Se presume que el segundo nivel fue construido años después del primero, con un sistema diferente lo que aumenta la vulnerabilidad.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES DE LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA

SISTEMA CONSTRUCTIVO: Mampostería + concreto armado + lámina	Muros	Block + concreto armado y prefabricado en segundo nivel	Cubierta	Entrepiso concreto, cubierta lámina	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:	1980 y 1990				10/10
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:	Edificación construida con mampostería reforzada en primer nivel y en el segundo nivel se observa material prefabricado construido posteriormente. Técnica constructiva y materiales se observan no son los más adecuados, el comportamiento en cuanto a ductilidad será complejo por la mezcla de sistemas ademas que se encuentra en la esquina de la cuadra. Se considera fue construido por albañil.				

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si		REGULARIDAD	Simétrico		X	DUCTILIDAD	Alta ductilidad		
		No	X		Asimétrico				Baja ductilidad		X
	Técnica constructiva adecuada	Si			Piso débil	Si		LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	X
		No	X			No	X			No	
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si		Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si		
		No	X		No	X			No	X	

TIPO DE ESTRUCTURA	CLASE DE VULNERABILIDAD					
	A	B	C	D	E	F
Mampostería + concreto armado + lámina		—	○	-		



GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	
3	
4	X
5	

Comentario: se considera grado 4 de daño y una vulnerabilidad índice C establecida principalmente por la mezcla de sistemas constructivos en el primero y segundo nivel lo cual representa un comportamiento diferente al momento de un sismo.

Diseñado, analizado y evaluado por Giovanna Maselli, basado en EMS-98.

4.2.4 Elaboración de mapas de áreas residenciales vulnerables ante sismos

Esta herramienta pretende identificar las áreas residenciales más vulnerables relacionando el sistema constructivo con la geología del lugar, en especial con la Zona de Atención (ZA) establecida para cada falla. Como se ha mencionado, por no contar con estudios de microzonificación sísmica, se optó por trabajar con la ZA ya que es un parámetro que permite identificar el área de posible incidencia de los efectos de las fallas, aunque se hace la salvedad que al momento del presente estudio no se conoce si cada una de estas fallas puedan presentar sismicidad por sí mismas.

Para el efecto, se trabajaron tres mapas, los cuales se presentan a continuación y constituyen una herramienta para la planificación y toma de decisiones.

MAPA DE POSIBLE DAÑO SEGÚN SISTEMA CONSTRUCTIVO (Mapa 27):

Este mapa permite visualizar los centros poblados que, por el sistema constructivo predominante y las características de vulnerabilidad del mismo, representa un grado de daño mayor o menor.

Este mapa se realiza con la capa de los sistemas constructivos identificados, en donde se asigna un grado bajo, medio, grave o muy grave de acuerdo a la tabla 9.

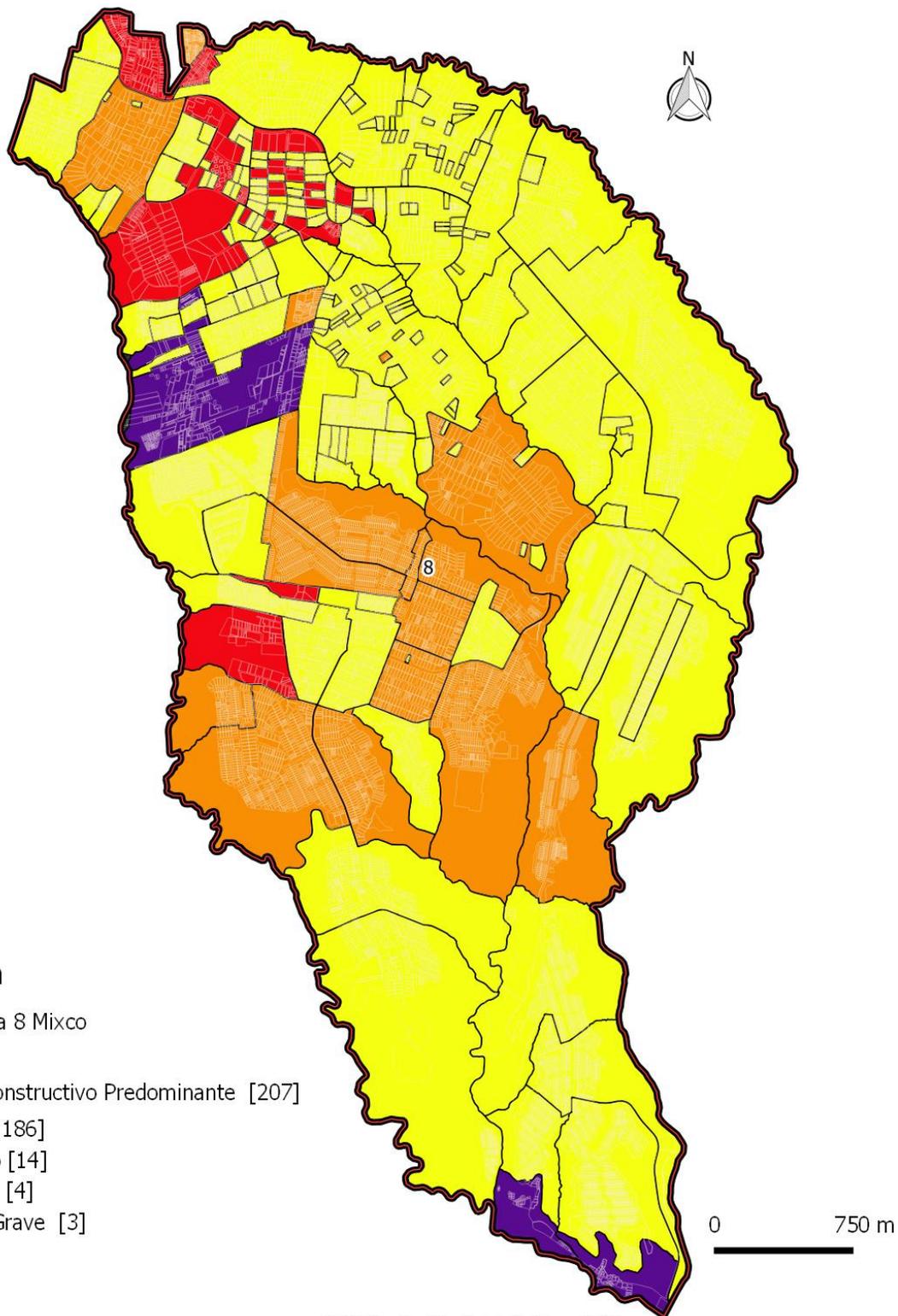
Tabla 9. Grado de posible daño según sistema constructivo.

SISTEMA CONSTRUCTIVO PREDOMINANTE	GRADO DE POSIBLE DAÑO
Mampostería + concreto armado	 BAJO
Mampostería + concreto armado + lámina	 MEDIO
Mixto industrial	 GRAVE
Mixto y lámina	 MUY GRAVE

Conclusión del mapa 27:

El mapa busca identificar los centros poblados que podrían resultar más afectados por un evento sísmico de acuerdo al sistema constructivo predominante que se identifica. En morado se identifican tres centros poblados los cuales pueden presentar daños muy graves (Aldea El Campanero, Colonia Valle Azul y Caserío Villa Lobos). En rojo se identifican 4 centros poblados con posibles daños graves (Sector B-5, C-5, A-3 San Cristóbal 1 y Caserío El Recuerdo) y en naranja 14 centros poblados que pueden presentar daños medios. Esta herramienta busca contribuir en la planificación y ordenamiento territorial y para la toma de decisiones por parte de la CONRED para la prevención del riesgo.

Mapa Grado de Posible daño según Sistema Constructivos en Zona 8, Municipio de Mixco, Departamento de Guatemala



Leyenda

Límite zona 8 Mixco



Sistema Constructivo Predominante [207]

Bajo [186]

Medio [14]

Grave [4]

Muy Grave [3]

MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

FUENTE: Municipalidad de Mixco 2016.

Elaboración propia con base en información recabada en fichas para análisis de la Vulnerabilidad Sísmica en edificaciones residenciales de la zona 8 de Mixco y en fichas de registro y clasificación del grado de daño a edificaciones causado por sismos pasados.

Mapa 27. Grado de posible daño según sistema constructivo predominante.

MAPA DE ÁREAS RESIDENCIALES VULNERABLES (Mapa 28):

Éste se realiza con el mapa del Grado de posible daño según sistema constructivo, sobreponiendo la capa de la zona de atención de fallas. Permite visualizar los centros poblados que se encuentran dentro de la Zona de Atención de fallas, ya sea completamente o parte de ellos. De igual manera se puede observar el grado de posible daño de acuerdo al sistema constructivo predominante, realizado en el mapa anterior. En el listado se indican los centros poblados que tiene parte o que están dentro de la ZA de falla.

Conclusión del mapa 28:

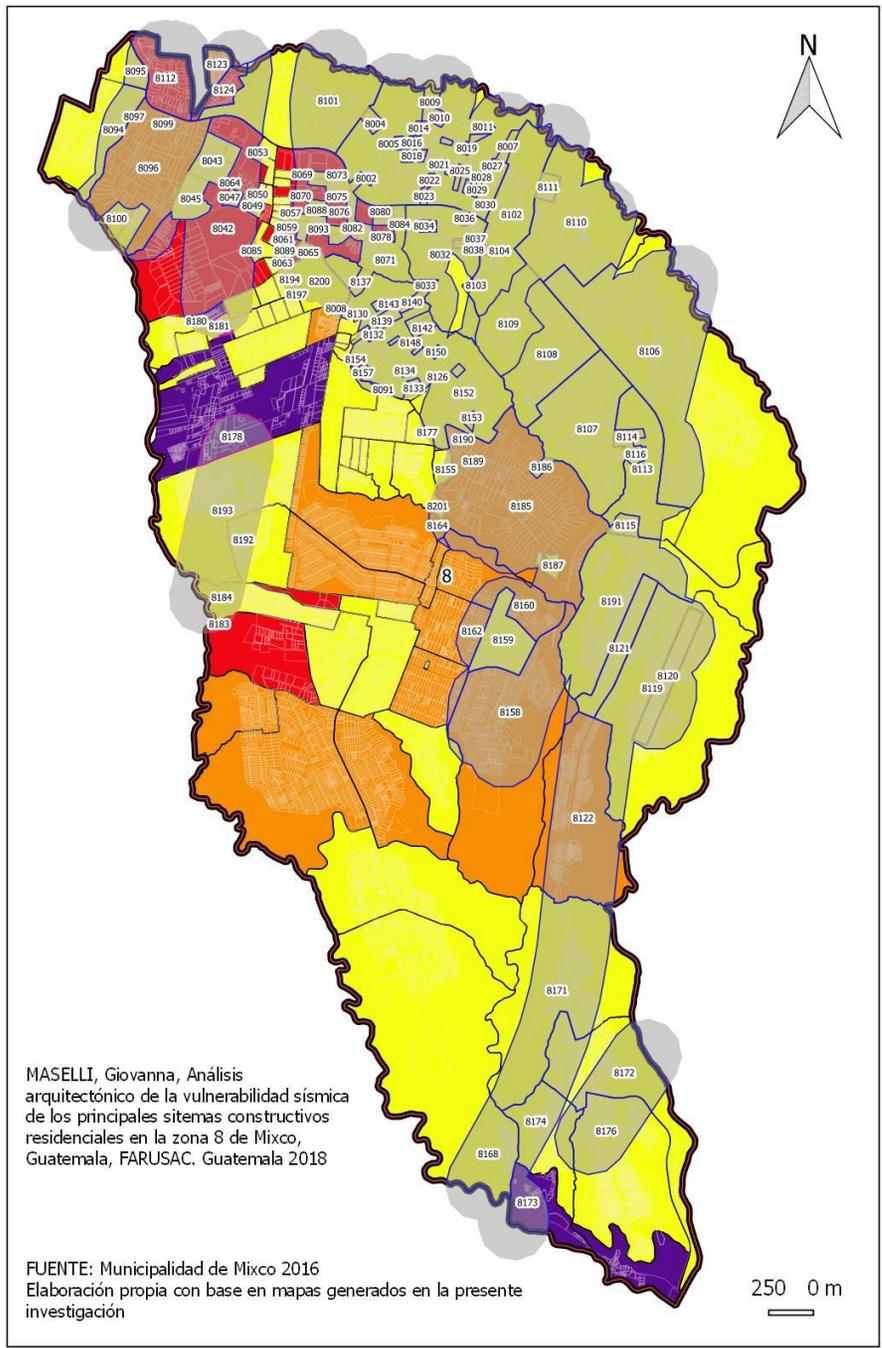
Requiere una especial atención los centros poblados que están dentro de la Zona de Atención de falla y que tienen color violeta, rojo y naranja (en orden de prioridad).

Por otra parte, a pesar que gran parte de la ZA de fallas abarca un posible daño calificado como BAJO (color amarillo) no quiere decir que automáticamente se descarta la posibilidad de daño en esta área ya que como se ha indicado:

- El sistema constructivo es identificado como predominante, es decir que puede haber construcciones que no tengan las características de calidad que representan a la mayoría y que podrían ser afectadas con un sismo.
- No se conoce con certeza cuáles fallas pueden ocasionar sismicidad local.
- Existen edificaciones construidas sobre la falla y aunque estén construidas adecuadamente podrían sufrir daños al momento de un sismo.

Esta herramienta también busca contribuir en la planificación y ordenamiento territorial, para evitar que continúe el crecimiento urbano en la ZA de fallas o al menos hasta que se cuente con un estudio más minucioso del área. Contribuye también en la toma de decisiones por parte de la CONRED para la prevención del riesgo.

MAPA 28. MAPA DE ÁREAS RESIDENCIALES VULNERABLES ANTE SISMOS, ZONA 8 DE MIXCO



MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

FUENTE: Municipalidad de Mixco 2016
Elaboración propia con base en mapas generados en la presente investigación

Leyenda

Centros Poblados dentro ZA de Falla

- Aldea
- Caserío
- Colonia
- Condominio
- Zona
- Zona de Atención de Fallas

Límite zona 8 Mixco

- 8 predios zona 8

Sistema Constructivo Predominante [207]

- Bajo [186]
- Medio [14]
- Grave [4]
- Muy Grave [3]

Centros poblados dentro de Zona de Atención

- 8112 B-5 San Cristobal I Colonia
- 8094 Loma Real Colonia
- 8033 Giampaolo Condominio
- 8097 Bougambilia Condominio
- 8107 B-2 San Cristobal I Colonia
- 8122 Valle Dorado I Colonia
- 8106 B-1 San Cristobal I Colonia
- 8110 B-4 San Cristobal I Colonia
- 8191 Panoramas San Cristobal Colonia
- 8121 C-2 San Cristobal I Colonia
- 8119 C-1 San Cristobal I Colonia
- 8171 Valle Dorado II C-1 Colonia
- 8173 Valle Azul Colonia
- 8172 Valle Dorado II C-2 Colonia
- 8186 Nueva Margarita Condominio
- 8162 B-4 San Cristobal II Colonia
- 8192 Pinares de San Cristobal Condominio
- 8160 B-3 San Cristobal II Colonia
- 8159 B-2 San Cristobal II Colonia
- 8158 B-1 San Cristobal II Colonia
- 8164 B-1 Pinares de San Cristobal Colonia
- 8168 B-3 Balcones de San Cristobal Colonia
- 8194 Residenciales Bari Condominio
- 8043 Paisajes de San Cristobal II Condominio
- 8103 Veldeved Condominio
- 8109 La Ceiba Condominio
- 8180 Los Fresnos Condominio
- 8002 Vista al Bosque Condominio
- 8184 El Mirador Condominio

- 8124 C-5 San Cristobal I Colonia
- 8101 A-6 San Cristobal I Colonia
- 8095 A-4 San Cristobal I Colonia
- 8123 Hamburgo Colonia
- 8098 Valle del Sol Condominio
- 8099 Los Altos Condominio
- 8100 Bella Vista Condominio
- 8096 A-5 San Cristobal I Colonia
- 8044 El Exito Condominio
- 8045 Paisajes de San Cristobal I Condominio
- 8046 Paisajes de San Cristobal III Condominio
- 8047 Villas Eugenia Condominio
- 8048 Valle III Condominio
- 8049 Colinas de San Cristobal V Condominio
- 8050 Villa Venecia Condominio
- 8052 Villas Pasanahl Condominio
- 8053 Real Villa Condominio
- 8057 Orleans II Condominio
- 8058 San Nicolas Condominio
- 8059 Valle I Condominio
- 8061 Villa Colima Condominio
- 8062 MDP Condominio
- 8063 Palermo Condominio
- 8064 Residenciales Buena Vista Condominio
- 8065 Los Arcos I Condominio
- 8067 Las Georginas Condominio
- 8068 Vista Real I Condominio
- 8069 San Remo Condominio
- 8070 Vista Real II Condominio
- 8071 Fuentes del Mirador Condominio
- 8072 Royal Hill I Condominio
- 8073 Royal Hill II Condominio
- 8074 Windsor Condominio
- 8075 Atlantis Condominio
- 8076 Valle de Toscana Condominio
- 8077 Alta Vista Condominio
- 8078 Colinas de San Cristobal IV Condominio
- 8079 Colinas de San Cristobal Condominio
- 8080 La Corunia Condominio
- 8081 Colinas de San Cristobal II Condominio
- 8082 Saint Moritz Condominio
- 8083 Colina Real Condominio
- 8084 Santa Monica Condominio
- 8085 Barcelona Condominio
- 8181 Caniadas de San Cristobal Condominio
- 8138 Las Praderas Condominio
- 8197 Residenciales Amalfi Condominio
- 8199 Residenciales Niza Condominio
- 8008 Zona 8 Zona
- 8129 Los Encinos Condominio
- 8130 Piramide Condominio
- 8131 Villas de Rabinal Condominio
- 8132 Las Arekas Condominio
- 8133 Residenciales Jardines Condominio
- 8134 El Pinar Condominio
- 8135 La Rosaleda Condominio
- 8136 La Rosaleda II Condominio
- 8137 Estocolmo Condominio
- 8139 Residenciales Santa Lucia Condominio
- 8140 San Patricio Condominio
- 8141 El Jardin de San Cristobal Condominio
- 8142 Las Fuentes Condominio
- 8143 Prados San Cristobal Condominio
- 8144 Alta Verde Condominio
- 8145 Guita Mary Condominio
- 8146 Las Palmas Condominio
- 8147 Villa Antigua Condominio
- 8148 Marcela Condominio
- 8149 Loma Verde Condominio
- 8150 Sol Luna Condominio
- 8151 Fuentes de Palmera Condominio
- 8152 Adonai I Condominio
- 8153 Aurora Condominio
- 8185 Granjas San Cristobal I Colonia
- 8187 Santa Fe Condominio
- 8188 Kristal Condominio
- 8189 Doña Elena Condominio
- 8190 Villas del Campo Condominio
- 8154 Olivares I Condominio
- 8155 Villa Claret Condominio
- 8201 Santa Barbara Condominio
- 8091 Jardines de San Cristobal Condominio
- 8177 G&T I Condominio
- 8202 Santa Barbara Colonia
- 8003 La Loma Condominio
- 8004 San Cristobal Gardens Condominio
- 8005 Capri Condominio
- 8006 Los Girasoles Condominio
- 8007 Torre Fuerte Condominio
- 8009 Vista Verde Condominio
- 8010 Colinas de San Cristobal III Condominio
- 8011 Jardines de Louisiana Condominio
- 8012 Buena Vista Condominio
- 8013 Residenciales Veralvalle Condominio
- 8014 El Ensueño Condominio
- 8015 San Lucas Condominio
- 8016 San Cristobal III Condominio
- 8017 Villas de Santo Domingo Condominio
- 8018 Las Cupulas Condominio
- 8019 Aranjuez Condominio
- 8020 Las Orquideas Condominio
- 8021 Villas del Pedregal Condominio
- 8022 Villa de Alcalá Condominio
- 8023 Villa Real Condominio
- 8024 Alejandria Condominio
- 8025 Los Alpes Condominio
- 8026 Los Cipreses Condominio
- 8027 Los Geranios Condominio
- 8028 El Dorado Condominio
- 8029 Las Acacias Condominio
- 8030 Bosque Real Condominio
- 8031 Villa Colonial Condominio
- 8001 A-1 San Cristobal I Colonia
- 8034 San Esteban I Condominio
- 8035 San Esteban II Condominio
- 8032 A-2 San Cristobal I Colonia
- 8036 San Sebastian Condominio
- 8037 Regina Condominio
- 8038 Las Campanas Condominio
- 8039 Palos Verdes III Condominio
- 8040 Jireh Condominio
- 8041 Valle de Mijnera II Condominio
- 8104 Fuente Azul Condominio
- 8102 A-9 San Cristobal I Colonia
- 8105 Palos Verdes I Condominio
- 8111 Santa Ana Condominio
- 8114 Bakara Condominio
- 8115 Altos de San Cristobal Condominio
- 8116 Los Manantiales Condominio
- 8113 B-6 San Cristobal I Colonia
- 8120 Pradera de San Cristobal Condominio
- 8174 Valles de Sevilla Colonia
- 8176 Villas Club El Dorado Colonia
- 8193 Prados de San Cristobal Condominio
- 8086 Van Gogh Condominio
- 8087 Real Cañada Condominio
- 8088 Luxemburgo Condominio
- 8089 Portofino Condominio
- 8090 Portugal Condominio
- 8156 Olivares II Condominio
- 8157 Olivares III Condominio
- 8092 Altos de Santa Ana Condominio
- 8178 El Campanero Aldea
- 8183 El Recuerdo Caserío
- 8126 A-10 San Cristobal I Colonia
- 8093 Richmond Condominio
- 8042 A-3 San Cristobal I Colonia
- 8108 B-3 San Cristobal I Colonia
- 8066 Los Arcos II Condominio
- 8200 Bosques de San Marino Condominio

MAPA DE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO VULNERABLE ANTE SISMOS (Mapa 29):

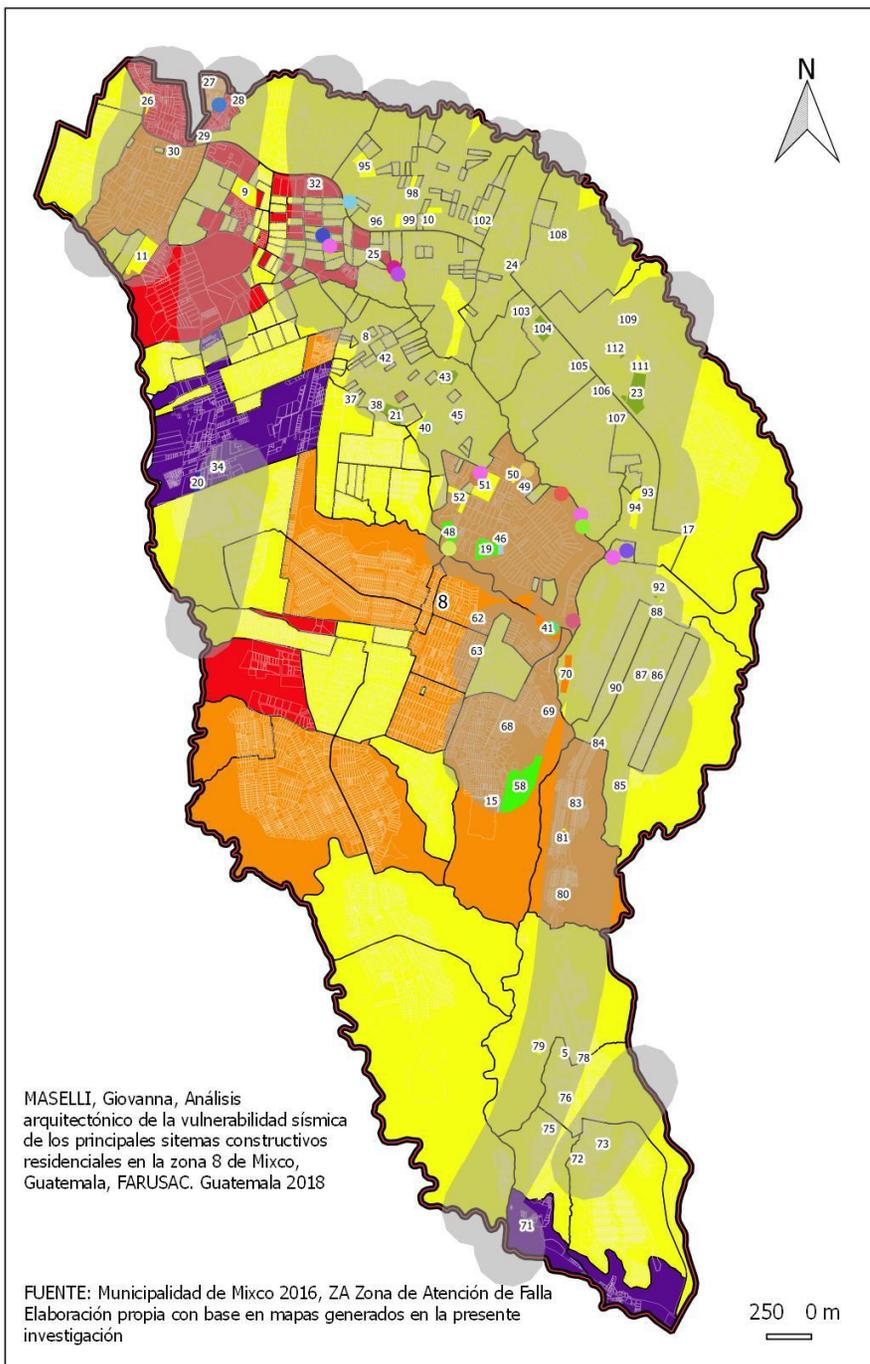
El propósito de este mapa es poder identificar infraestructura básica como tanques y pozos de agua principalmente, así como equipamiento urbano que por sus características es importante ya sea por su función o porque aglomera gran cantidad de personas en sus instalaciones. Para elaborarlo, se sobrepone el mapa de posibles daños en sistemas constructivos, la capa de la zona de atención de fallas y se identifica la infraestructura y equipamiento que está dentro de la ZA de fallas.

Conclusión del Mapa 29:

En el área de coincidencia de la ZA de fallas y posible daño calificado como Bajo (amarillo) existe gran cantidad de centros educativos e iglesias que por la actividad y la cantidad de personas que se encuentran en los edificios presentan una vulnerabilidad a considerar. Todos estos establecimientos deberán cumplir con la NRD1 cuando aplique y con la NRD2, así como contar con un plan de contingencia y capacitaciones constantes para prevenir en caso de desastres.

Este mapa es una herramienta que contribuye en la toma de decisiones por parte de la CONRED para la prevención del riesgo; y para la autoridad municipal para tener identificada esta infraestructura y equipamiento que será vital al momento de una emergencia.

MAPA 29. MAPA DE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO VULNERABLE ANTE SISMOS ZONA 8 DE MIXCO



MASELLI, Giovanna, Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala, FARUSAC. Guatemala 2018

FUENTE: Municipalidad de Mixco 2016, ZA Zona de Atención de Falla
Elaboración propia con base en mapas generados en la presente investigación

Leyenda

Tanques dentro de ZA de Falla

- P1-2
- P2-1
- P2-2
- P2-4
- P2-5
- P3-1
- P3-10
- P3-2
- P3-3
- P3-4
- P3-6
- P3-7
- P4-2
- P4-3
- P4-4
- TANQUE

Elementos Críticos en ZA de Falla

- Infraestructura
- Institucional
- Institucional educativo
- Institucional religioso
- Municipal
- Servicios privados educativos
- Zona de Atención de Fallas

Límite zona 8 Mixco

- ▭ 8 predios zona 8

Sistema Constructivo Predominante [207]

- Bajo [186]
- Medio [14]
- Grave [4]
- Muy Grave [3]

Equipamiento dentro de zona de atención

Código	Nombre
8	Educación privada
5	Colegio Mixto Mayaland
15	Institucional
17	Mega Frater
19	Municipal
20	Centro educacitvo Campo Jehova Es MI Bandera

21	Iglesia San Pedro Nolasco	92	Educación privada
23	Iglesia católica	93	Iglesia Mormona
24	Bomberos Voluntarios	94	Educación privada
25	Iglesia evangélica	95	Educación privada
11	Liceo Secretarial Bilingüe	96	Iglesia evangélica
10	Educación privada	97	Educación privada
9	Colegio Santa Maria de Montesclaros	98	Educación privada
26	Colegio MacDermont	99	Colegio Pestalozzi
27	Educación privada	100	Educación privada
28	Educación privada	101	Educación privada
29	Iglesia evangélica	102	Educación privada
30	Colegio Piramide	103	Kid´s Corner
31	Colegio Chiqui Piramide	104	Casa de retiro Claret
32	Religioso	105	Educación privada
33	Iglesia católica	106	Iglesia evangélica
34	Escuela El Campanero	107	Iglesia evangélica
37	Christian American School Of Guatemala	108	Liceo Buenos Aires
38	Parroquia San Pedro	109	Escuela Oficial Urbana Mixta San Cristóbal
39	Seminario mercenario	110	Parroquia San Antonio Maria Claret
40	Pozo SASCIM	111	Educación privada
41	Pozo	112	Iglesia evangélica
42	Liceo Monterroso	113	Iglesia evangélica
43	Fraternidad Sacerdotal		
44	Iglesia Católica		
45	Educación privada		
46	Educación privada		
47	Policía Nacional Civil		
48	Municipal		
49	Subestación eléctrica		
50	Colegio Green Lawn		
51	Educación privada		
52	Educación privada		
58	Predio de carros		
62	Colegio Enseñame Jardín Infantil		
63	Escuela privada Jardín Infantil Mickey Mouse		
68	Educación privada		
69	Colegio Los pastorcitos		
70	Planta de tratamiento		
71	EODP anexa a EORM La Polvillera		
72	Colegio Centro de Aprendizaje Integral en Computación		
73	Jardín Infantil Muñequitos		
75	Educación privada		
76	Colegio Bilingue Enseñanza Total		
77	Colegio Mixto Mayaland		
78	Preschool Tesoros de Mamá		
79	Escuela Parroquial Mixta San Antonio Maria Claret No 2		
80	Iglasia evangélica		
81	Colegio Mentes Sanas		
82	Colegio Mentes Sanas		
83	Colegio Bilingüe Génesis de Genios		
84	Iglesia evangélica		
85	Planta de tratamiento		
86	Educación privada		
87	Educación privada		
88	Religioso		
89	Educación privada		
90	Educación privada		
91	Iglesia evangélica		

250 0 m

5. CONCLUSIONES

Los resultados finales del estudio realizado en la zona 8 de Mixco indican que:

- De acuerdo a la vulnerabilidad del sistema constructivo residencial predominante, los centros poblados que podrían presentar un grado de posible daño clasificado como Muy Grave son Aldea El Campanero, Colonia Valle Azul y Caserío Villa Lobos. Los que pueden presentar un grado de posible daño clasificado como Grave son Sector B-5, C-5, A-3 San Cristóbal 1 y Caserío El Recuerdo.
- De acuerdo a las áreas residenciales vulnerables, se requiere principalmente una especial atención a los centros poblados que están dentro de la Zona de Atención de falla y que tienen grados de posible daño clasificados como Muy Grave y Grave (color violeta y rojo), siendo Aldea El Campanero, Colonia Valle Azul; Sector B-5 San Cristóbal 1, Sector C-5 San Cristóbal 1, Residenciales Buena Vista, Sector A-3 San Cristóbal 1, Condominio San Remo, Condominio Vista Real II, Condominio Valle de Toscana, Condominio La Coruña, Colinas de San Cristóbal IV, Condominio Richmond, Condominio Los Arcos I, Condominio Porto Fino y Condominio Villa Colima, respectivamente.

Por otra parte, a pesar que gran parte de la ZA de fallas abarca un posible daño calificado como Bajo o Medio (color amarillo y naranja) no quiere decir que automáticamente se descarta la posibilidad de daño en estas áreas ya que:

- El sistema constructivo es identificado como predominante, es decir que puede haber construcciones que no tengan las características de calidad que representan a la mayoría y que podrían ser afectadas con un sismo.
- No se conoce con certeza cuáles fallas pueden ocasionar sismicidad local.
- Existen edificaciones construidas sobre la falla y aunque estén construidas adecuadamente podrían sufrir daños al momento de un sismo.

Se elaboró un modelo metodológico para identificar áreas vulnerables de vivienda ante un evento sísmico de elevada magnitud en la zona 8 de Mixco. Este modelo puede ser utilizado para aplicarlo en otras zonas e incluso puede utilizarse con las modificaciones del caso, para evaluar espacios urbanos de usos mixtos.

Se elaboró un registro de daños ocasionados a distintos sistemas constructivos en Guatemala con base en registros fotográficos históricos y de acuerdo a lo que establece la tabla de daños de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98). Este registro permite conocer cómo pueden resistir o dañarse los sistemas constructivos al momento de un sismo de determinada magnitud y posteriormente para analizar los sistemas de la zona de estudio.

Una de las herramientas más significativas del estudio es la Ficha para identificar posibles daños a los sistemas constructivos residenciales, basada en la EMS-98 con la cual se realizó el análisis para los sistemas constructivos de las fotografías tomadas en el área. Esta ficha se aplica para identificar los aspectos vulnerables que pueden observarse, asignar una clase de vulnerabilidad de acuerdo al sistema constructivo y establecer un grado de posible daño con un evento de por lo menos 4 grados de magnitud. Lo que

intenta es hacer más objetivo un análisis que, para este caso es subjetivo pues se basa en la observación y criterio del investigador.

Como resultados finales se elaboraron los mapas de Posible daño según sistema constructivo; de Áreas residenciales vulnerables; y de Infraestructura y equipamiento vulnerable ante sismos, con los cuales se busca contribuir en la planificación y ordenamiento territorial por parte de las autoridades municipales y como herramienta para la toma de decisiones y gestión del riesgo por parte de la CONRED.

Desde un enfoque preventivo y estratégico, los resultados de la aplicación de la EMS-98 ya sea para identificar intensidades y daños en terremotos recientes, para establecer intensidades y daños en terremotos históricos, para mejorar el catálogo sísmico nacional, para realizar análisis comparativos de comportamiento de sistemas constructivos en áreas similares o para establecer áreas vulnerables ante sismos, constituye una herramienta para establecer escenarios de riesgo y puede contribuir en el ordenamiento y la planificación del territorio.

El área metropolitana de Guatemala se encuentra en una zona con alta amenaza sísmica por lo que es inminente que estamos sujetos a un fuerte evento sísmico que pondrá a prueba el crecimiento de la ciudad, sus edificaciones y la organización institucional, política y social. Por otra parte, el sistema de fallas en esta área deben clasificarse como potencialmente activas en la planificación urbana debido a que, al día de hoy, no hay manera de predecir desde la superficie cuáles son susceptibles de activarse y cuáles no por no contar con los estudios respectivos.

El criterio establecido en el presente estudio para este caso, fue el de generar la Zona de Atención para cada falla, con un buffer de 200 m hacia cada lado de la falla. Con ello se puede observar las áreas pobladas y libres que se encuentran dentro de la misma. En el caso de las áreas pobladas, conviene realizar estudios y evaluaciones más específicas para establecer el nivel de riesgo con mayor detalle. En el caso de futuras expansiones, las Municipalidades deberán normar las construcciones dentro de estas Zonas de Atención.

En un escenario de desastre generalmente se valoran las pérdidas económicas que podría ocasionar un determinado evento, lo que no se estima es el valor económico que a través de los años han ganado los desarrolladores inmobiliarios por no tomar en cuenta el factor del riesgo a futuro. Es evidente que los estudios de mercado para el desarrollo de vivienda no toman en consideración la variable sísmica o cualquier otra que represente riesgos a la vida humana, por lo tanto, mientras no existan Planes de Ordenamiento del Territorio, normativas y voluntad política que regule el desarrollo inmobiliario seguirá prevaleciendo el mercado sobre la seguridad y calidad de vida de las personas.

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN:

¿Las viviendas ubicadas en la zona 8 de Mixco podrían verse afectadas si se presenta un sismo de elevada magnitud relacionado a las fallas secundarias del Oeste del graben de Guatemala?

De acuerdo a los análisis de vulnerabilidad sísmica de los sistemas constructivos identificados, se podrían presentar daños a partir de un sismo de 4 grados de magnitud, y podría ser el caso que se presente un fenómeno de amplificación local con una amplificación del daño. Sin embargo, esto no es posible establecerlo con exactitud mientras no existan estudios de microzonificación sísmica en el área.

¿Las fallas secundarias en el área de la zona 8 de Mixco representan un riesgo para el desarrollo urbano en el área?

De acuerdo a los análisis realizados, se observa que las fallas representan un riesgo en el desarrollo urbano. Expertos afirman que no debería construirse edificaciones sobre éstas. La Comisión Técnica para la microzonificación sísmica en Roma, Italia establece una Zona de Atención (ZA) de 200 metros hacia cada lado de una falla, como medida de prevención de daños a edificaciones e infraestructura, en la gestión del territorio, incluyendo la planificación del mismo.

En la actualidad se desconoce cuáles fallas son capaces de generar sismicidad y cuáles no, por lo que son necesarios estudios en el área para conocer cómo se podrían comportar estas fallas para descartar aquellas que no representan riesgo y trabajar en la gestión para la reducción del riesgo en aquellas que si lo hacen.

¿El análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas correlacionadas con la geología del área puede contribuir a identificar áreas de vulnerabilidad en la zona 8 de Mixco y con ello generar un modelo que pueda replicarse en otras áreas, que sirva para la toma de decisiones en el sistema CONRED, así como para integrarlo en los planes de ordenamiento del territorio?

En este caso si se logró establecer un modelo de análisis de la vulnerabilidad de los sistemas constructivos identificados de acuerdo a la EMS-98 y se correlacionó específicamente con la Zona de Atención de fallas. Se considera que el mismo puede replicarse y adaptarse a otros territorios y constituye en una herramienta para la planificación, ordenamiento del territorio y toma de decisiones para la reducción del riesgo. En las conclusiones se identifican los centros poblados que presentan mayor vulnerabilidad sísmica, sea por el sistema constructivo predominante, sea por encontrarse dentro de la Zona de Atención de falla.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar el modelo metodológico planteado en el presente estudio para poder replicarlo en otras áreas de la ciudad y contribuir en la planificación y el ordenamiento territorial.

Es necesario que la Municipalidad de Mixco pueda ampliar la información del SIG en el área de estudio para contar con información que pueda incluirse como parte de otro estudio basado en el presente modelo. Es conveniente integrar también la información de densidad poblacional del reciente censo, cuando se cuente con la misma.

La academia debe realizar estudios sobre la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura urbana, especialmente las redes y líneas vitales, así como de la red hospitalaria y educativa del país, al menos a escala municipal.

Realizar estudios futuros para establecer las intensidades de los principales sismos de los siglos XIX y XX para contribuir en la alimentación del catálogo sísmico nacional y observar cómo podrían ser los comportamientos de sismos futuros.

Proponer como FARUSAC, a la CONRED, incorporar o replantear la ficha de Evaluación de daños, para integrar información que permita establecer la intensidad del sismo de acuerdo a la EMS-98, ya que permite tener más detalle sobre los daños y proporciona una herramienta gráfica que facilita la inducción y el trabajo al personal que recabará la información en campo.

Se hace una llamada de atención a las universidades y principalmente a las Escuelas de Arquitectura, que avalan proyectos de graduación y tesis sin tomar en cuenta la variable riesgo y en el peor de los casos para maestrías que están dedicadas a la dirección de empresas constructoras e inmobiliarias, por tener gran responsabilidad en el desarrollo de las ciudades.

Se elaboraron los mapas de la Declaratoria de Alto Riesgo Acdo. Gub. 179-2001 con la identificación de centros poblados para evidenciar que en los planes de ordenamiento del territorio es imprescindible considerar la pendiente del territorio, la cual puede representar una amenaza en los procesos de urbanización. En este caso probablemente ya existían construcciones previo a la declaratoria de alto riesgo, sin embargo será necesario una revisión por parte de la autoridad municipal de todos estos predios y construcciones que están en el área de la declaratoria ya que conlleva responsabilidad a la comuna en el caso que se presente un desastre en el área.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Audefroy, Joel. "La Problemática de los Desastres en el Hábitat Urbano en América Latina." *Boletín INVI* 18, no. 47 (2003): 52-71.
- Belén, Benito, Enrique Molina, y Luis Laín. *Metodología para estudio de amenaza sísmica en Guatemala, aplicación al diseño sismorresistente*. S.F.
- Bohnenberger, Otto. "Revisión del sistema de fallas en la region metropolitana de Guatemala." Guatemala: Sociedad Geológica de Guatemala, 1996.
- Bohnenberger, Otto, y Manolo Barillas-Cruz. "Diagnóstico y Monitoreo del Fenómeno Sísmico." *Simposio Internacional sobre el terremoto del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción*. 1978.
- Bolt, Bruce A. *Terremotos*. Barcelona: Reverte, 1981.
- Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC). *Cartilla Amenaza Sísmica en América Central*. Guatemala: 2011.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *Daños causados por el terremoto de Guatemala y sus repercusiones sobre el desarrollo económico y social del país*. Situación, México: Naciones Unidas, 1976.
- Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile. *Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)*. Versione I.0. Roma: 2015.
- D'Ambrosio, Stefania. *La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in Centro America attraverso modelli teorici e sperimentazione al vero*. Napoli: Università degli Studi di Napoli "Federico II", 2014.
- D'Ercole, Robert , y Pascale Metzger. "Las dimensiones espaciales del manejo de crisis." *Boletín del Instituto francés de estudios andinos*, no. 38 (2009): 893-915.
- D'Ercole, Robert, y Pascale Metzger. "Los mecanismos de transmisión de vulnerabilidad en el medio urbano ." *Boletín del Instituto francés de estudios andinos*, no. 38 (2009): 917-936.
- González, Marcelino, y José Chaclán Díaz. *Sismos en Guatemala 1524 - 1942*. Guatemala: DIGI, USAC, 1998.

- Grünthal, G., y Lorenzo Martín. *Escala Macrosísmica Europea 1998*. Luxemburgo: Comisión Sismológica Europea, Subcomisión de Ingeniería Sísmica, Grupo de Trabajo sobre Escalas Macrosísmicas. 2009.
- INPRES. *Escalas de Intensidad*. Argentina: Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2012.
- INQUA. *Environmental Seismic Intensity Scale 2007*. Roma: L. Guerrieri y E. Vittori, 2007.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). "Sismo de magnitud Mw 7.4 del 7 de noviembre del año 2012". Guatemala: 2014.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). *Censos Nacionales de XI Población y VI de Vivienda. Características de la población y de los locales censados*. Guatemala: 2003.
- Izquierdo Alvarez, Aránzazu. *Intensidad Macrosísmica*. Madrid: Instituto Geográfico de Madrid, 1999.
- Macau, A., y Figueras, S. "La intensidad, una herramienta para medir los terremotos a partir de sus efectos." *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19, no. 3 (2011): 261-266.
- Martínez López, José Florentín. *El Proceso de Urbanización en Guatemala. Un enfoque demográfico, 1950-2002*. Guatemala: CEUR-USAC, 2006.
- Martínez López, José Florentin. *Transformaciones Urbanas en Guatemala 1950 - 2002*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). "Población territorio y desarrollo sostenible". Santiago: Reunión expertos Naciones Unidas, 2011.
- Ministerio de Finanzas Públicas, Dirección de Catastro y Avalúo de Bienes Inmuebles. "Manual de Valuación Inmobiliaria." *Ministerio de Finanzas Públicas*. 2005. En: http://www.minfin.gob.gt/images/downloads/leyes_manuales/manuales_varios/dicabi.pdf (Consultado: Febrero 7, 2018).
- Molina, Enrique, Mario Villagrán, y Juan Pablo Ligorria. *Amenaza Sísmica en Guatemala*. S.F.
- Molina, S., Giner, J. J., y Jáuregui, P. "Tamaño de los terremotos: intensidad y magnitud. ." *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 12, no. 1 (2004): 99-107.
- Monterroso Juárez, David Anibal. *Statistical Seismology Studies in Central America*. Uppsala: Uppsala University, Disertación, Faculty of Sciences and Technology, 2003.
- Monzón Despang, Héctor. "La Construcción y el Uso del Terreno en Guatemala - Su vulnerabilidad Sísmica." Colegio de Ingenieros de Guatemala (CIG), Guatemala. Comité Nacional de Emergencia (CONE). Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC). Instituto Nacional de

Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Guatemala. Tegucigalpa: 1996.

Muñoz, D. "Conceptos básicos en riesgo sísmico. Física de la Tierra." Madrid: 1989.

Pérez, Carlos L. "Estructura Geológica del valle de la Ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión." *Revista Geológica de América Central*, no. 41 (2009): 71-78.

Plafker, George. "Tectonic Aspects of the Guatemala Earthquake of 4 February 1976." *Science* 193, no. 4259 (1976).

Plafker, George, Manuel G. Bonilla, y Samuel B. Bonis. "The Guatemalan Earthquake of february 4, 1976, a preliminary report. Geologic Effects." En: *Numerical Simulation Analysis of the Interaction of Lakes and Ground Water*, by Thomas C. Winter. Washington: 1976.

POT Zona 8 Mixco. *Municipalidad de Mixco*. S.F. En <http://www.munimixco.gob.gt/wp-content/uploads/2018/02/ZONA-8.pdf> (consultado mayo 18, 2018).

Prensa Libre. "Ciudad San Cristóbal crece en medio del desarrollo y riesgos." Octubre 30, 2017. En <http://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala/ciudad-san-cristobal-crece-en-medio-del-desarrollo-y-riesgos-naturales> (consultado mayo 17, 2018).

Prensa Libre. "Ciudad San Cristóbal crece exponencialmente." Abril 28, 2014. En <http://www.prensalibre.com/economia/Ciudad-San-Cristobal-crece-exponencialmente-0-1128487146> (consultado mayo 17, 2018).

Prensalibre. *Así vivió un estadounidense los terremotos de 1917 y 1918 en Guatemala*. Guatemala, Enero 3, 2018.

Proyecto RESIS II. "Evaluación de la Amenaza Sísmica en Centroamérica." 2008.

Quiñonez Nájera, Bryan Ricardo. *Delimitación y localización de centros poblados en zonas 2, 8 y 9; caracterización de uso de suelo de los cantones históricos: Centro, Pansalic, Sigüiche y El Cerrito utilizando el software QGis*. Tesis Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: 2017.

Red Interuniversitaria en Análisis y Evaluación de la Peligrosidad Natural en Centro América. *Experiencias en Análisis de la Peligrosidad Natural en en Centro América: Guatemala, El Salvador y Nicaragua*. UNIPA-USAC: 2014.

Saville, Marshall Howard. *The Guatemala Earthquake of december, 1917 and January, 1918*. Vol. V. En *The Geographical Review*, by American Geographical Society, 459-469. New York: 1918.

Zobin, V. M., y Ventura Ramírez, J. F. "Vulnerabilidad sísmica de edificios residenciales y pronóstico de daños en caso de sismos fuertes en la ciudad de Colima." *Geos* 19, no. 3 (1999): 152-158.

Sistema de Información Geográfica:

Tabla 10. Capas proporcionadas por el Departamento de Planificación Urbana Municipalidad de Mixco

No. Capa	Capa	Año	Fuente de la información
1	Bufer Acuerdo Gubernativo 179-2001 en ZONA 8	2016	AMSA / CONRED
2	Colonias con cerramiento zona 8	2017	Municipalidad de Mixco
3	Deslizamientos NASA 2010 zona 8	2010	NASA
4	Drenajes zona 8	2017	Municipalidad de Mixco
5	Fracturas 1976 zona 8	1976	IGN
6	Hundimientos 1976 zona 8	1976	IGN
7	Limites zonas Mixco	2016	Municipalidad de Mixco
8	Lugares poblados zona 8 Mixco	2017	Municipalidad de Mixco
9	Nomenclaturas de calles avenidas zona 8	2016	Municipalidad de Mixco
10	Plantas de tratamiento zona 8	2016	Municipalidad de Mixco
11	Población por edad zona 8	2002	Censo Nacional INE 2002
12	Pozos SASIM	2016	Sistemas de Agua San Cristóbal Intervención Municipal
13	Predios zona 8	2016	Municipalidad de Mixco
14	Uso suelo zona 8 Mixco	2017	Municipalidad de Mixco

8. ANEXOS

8.1 Modelo de ficha para registro y clasificación del grado de daño a edificaciones, basado en EMS-98.

8.2 Modelo de ficha para análisis de vulnerabilidad sísmica, basado en EMS-98.

Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco, Guatemala.

FICHA DE REGISTRO Y CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑO A EDIFICACIONES CAUSADO POR SISMOS PASADOS						
TIPO DE ESTRUCTURA	TERREMOTO / SITIO	GRADO DE DAÑO				
		1	2	3	4	5
<p>Comentario:</p> <p>Basado en EMS-98.</p>						

FICHA PARA ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES

SISTEMA CONSTRUCTIVO:	Muros	Cubierta	FICHA No.
DÉCADA ESTIMADA DE CONSTRUCCIÓN:			/
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EDIFICACIÓN:			

FACTORES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA BASADO EN EMS-98

CALIDAD Y FABRICACIÓN	Materiales de buena calidad	Si		REGULARIDAD	Simétrico		DUCTILIDAD	Alta ductilidad			
		No			Asimétrico			Baja ductilidad			
	Técnica constructiva adecuada	Si			Piso débil	Si		LOCALIZACIÓN	En esquina o final de bloque	Si	
		No				No				No	
ESTADO DE PRESERVACIÓN	Recibe mantenimiento	Si		Amplios ventanales	Si		DISEÑO SISMO RESISTENTE	Diseñado y construido por profesional de la construcción	Si		
		No			No				No		

GRADO DE POSIBLE DAÑO	
1	
2	
3	
4	
5	

Comentario:



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



FACULTAD DE
ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Doctor
Byron Alfredo Rabe Rendón
Decano Facultad de Arquitectura
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Decano:

Por este medio hago constar que he realizado la revisión de estilo del Proyecto de Graduación "**ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS RESIDENCIALES EN LA ZONA 8 DE MIXCO, GUATEMALA.**", de la Arquitecta **GIOVANNA BEATRICE MASELLI LOAIZA** perteneciente a la Escuela de Estudios de Postgrados de la Facultad de Arquitectura, **CUI 2501 76971 0101**, registro académico **100013857**, al conferírsele el Grado Académico de Maestría en Gestión para la Reducción del Riesgo.

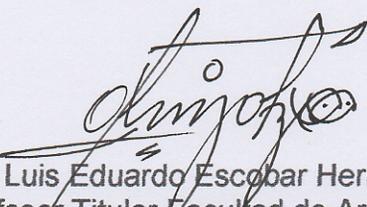
Por lo que considero que el proyecto de graduación que se presenta, cumple con la calidad lingüística requerida.

Extiendo la presente constancia en una hoja con los membretes de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de la Facultad de Arquitectura, a los cuatro días de octubre de dos mil dieciocho.

Al agradecer su atención, me suscribo con las muestras de mi alta estima,

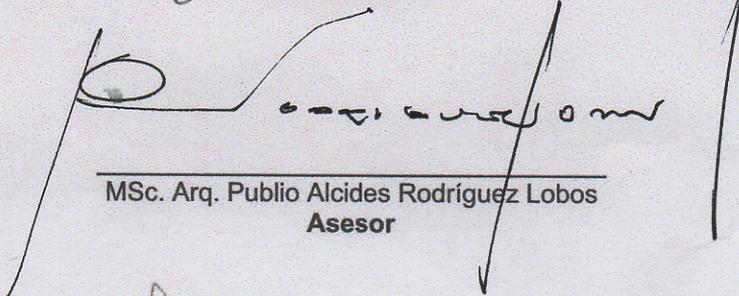
Atentamente,

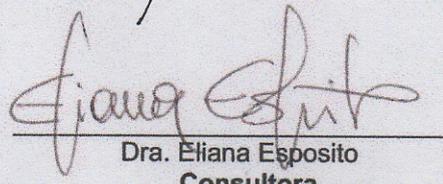
Lic. Luis Eduardo Escobar Hernández
COL. No. 4509
COLEGIO DE HUMANIDADES

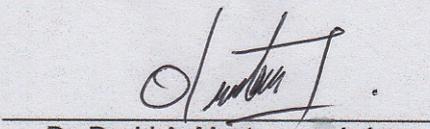

Lic. Luis Eduardo Escobar Hernández
Profesor Titular Facultad de Arquitectura
CUI 2725 41141 0101
Colegiado de Humanidades. No. 4509

“Análisis arquitectónico de la vulnerabilidad sísmica de los principales sistemas constructivos residenciales en la zona 8 de Mixco”


Arq. Giovanna Beatrice Maselli Loaiza
Sustentante

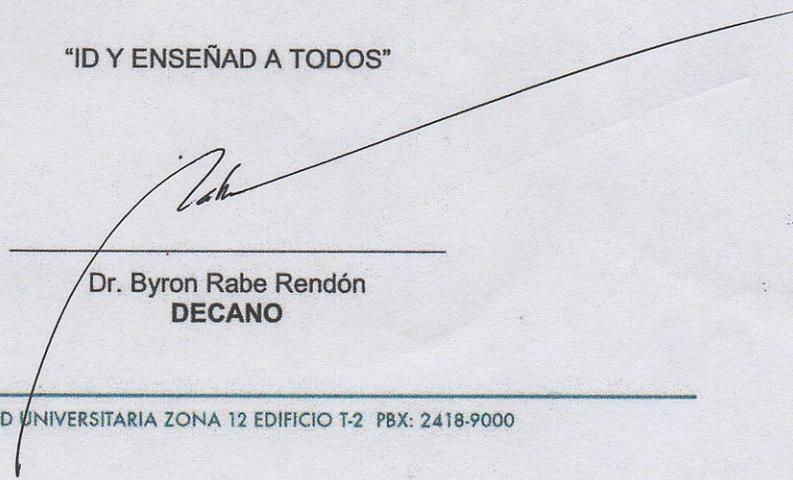

MSc. Arq. Publio Alcides Rodríguez Lobos
Asesor


Dra. Eliana Esposito
Consultora


Dr. David A. Monterroso Juárez
Consultor

IMPRÍMASE

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Dr. Byron Rabe Rendón
DECANO