



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**

**COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**El uso de vehículos aéreos no tripulados para el análisis  
de exposición a procesos de remoción en masa a escala  
local: Estudio de caso en La Gloria, Teziutlán.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**Licenciado en Geografía**

**P R E S E N T A :**

**García Marroquin Galdino**



**DIRECTOR DE TESIS:  
Dra. Irasema Alcántara Ayala**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, ENERO, 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Dedicatoria

A mis padres *Ángeles Marroquín* y *Galdino García*.

A mi madre por ser siempre una persona cariñosa y comprensiva. A mi padre por ser una persona que siempre me enseñó el valor del trabajo. Porque ustedes con su amor, cariño y paciencia siempre me procuraron e inculcaron valores y por ustedes soy una persona de bien, que aprendió que con dedicación todo se puede lograr.

Este trabajo se los dedico con mucho respeto, amor y orgullo.

A mis amigos y compañeros del 1101 y de geografía, por las cascaritas de fútbol, por las fiestas, por las prácticas de campo y sobre todo a los que se volvieron amigos cercanos.

A lo largo de este proceso, ustedes fueron personas importantes y también les corresponde éste logro.

Gracias

## **Mi eterna gratitud para:**

La Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi segundo hogar durante la duración de la carrera y hasta mi titulación, porque en este espacio llamado Cu encontré el espacio de libre reflexión, el conocimiento y sobre todo a personas maravillosas.

El instituto de Geografía, por haberme facilitado el uso de sus instalaciones y también por ser un lugar donde se promueve y atienden las problemáticas actuales. Por haberme acercado con investigadores, permitiéndome aprender un sinfín de cosas y entender la importancia de la investigación en diversos temas donde incursiona la disciplina geográfica.

El proyecto PAPIIT IN300818 COMPRENDER-LA: Comunidades de práctica para el entendimiento de los desastres y el riesgo en laderas, por su compromiso para realizar actividades de beneficio común y generar conocimiento comprometido con la realidad, además de brindar las condiciones oportunas para la realización de este trabajo.

La Dra. Irasema Alcántara Ayala, quien sin duda alguna es una persona muy cálida, paciente, empática, creativa e innovadora, con mucho sentido humano y un gran ejemplo de disciplina y voluntad. Tiene toda mi admiración por ser un referente de la geografía no sólo en la universidad sino a nivel nacional e internacional, por siempre dejar en alto a la UNAM y a la geografía. Le agradezco infinitamente su confianza, apoyo, atención y sobre todo el tiempo que me brindó a lo largo de la realización de mi proyecto de grado.

Al Mtro. Ricardo Garnica, quien no sólo es un excelente profesionalista en su labor como técnico académico, sino un gran maestro y amigo en todo este proceso. Por las pláticas, por hacer divertidas y amenas las salidas a campo, por ser un entusiasta de la geografía y siempre tener una actitud positiva hacia su labor y para con nosotros los que aprendemos de personas como él, sin su ayuda mucho del presente trabajo no hubiera sido posible.

Los profesores de la carrera, que se enfocan en hacer y formar geógrafos integrales, que dejan de lado las diferencias y buscan que las generaciones se hagan y apropien de un pensamiento crítico sin dejar de lado el objetivo del porqué estudiar ésta disciplina.

El comité de sinodales, por brindarme un poco de su tiempo para leer mi tesis y quienes con sus oportunas y acertadas observaciones contribuyeron a la mejora de este trabajo.

Mi mejor amigo de la EPO 92 Salvador Alvirde, una persona muy inteligente, con sentido humano y de quien he aprendido mucho... lo logramos amigo!

Mis hermanos de Buitres FBA y Buitres Arena.

Mi mejor amigo de casi toda la vida, Giovanni el buen "Cadáver", por su optimismo y por ser la persona que me llevó a conocer el deporte de las tackleadas y donde me volví un Buitre.

Los compañeros del cubículo de geografía física y geógrafos excepcionales, Lore, Sharon, Gerardo, Carlos, Jesús "Chuy", Diana Lara, Alma Hdz, Obet, Ruben, René, Jhonny, Noé, Adrián, y a todos los demás que se me pasen, gracias por su amistad y convivencias.

Todos aquellos que me permitieron convivir y que sin pensar se convirtieron en personas cercanas, gracias por haber coincidido en ese momento y por permanecer.

"Cuando el poder del amor sobrepase el amor al poder, el mundo conocerá la paz..." Jimi  
Héndrix (1942-1970)

Músico, compositor, cantante y guitarrista estadounidense sumamente innovador, considerado por muchos como el mejor guitarrista de todos los tiempos y uno de los artistas más influyentes en la historia del rock and roll.

"...I'm a romantic adventurer  
And a reptile too

But it don't make no difference  
'Cause I ain't gonna be, easy, easy  
The only time I'm easy's when I'm  
Killed by death, killed by death  
Killed by death, come on!"

Fragmento de la canción Killed By dead (Motörhead) compuesta por Ian Kilmister "Lemmy".

Aquel músico que en alguna ocasión mencionó "... si sientes que has nacido para perder, entonces vive para ganar (Born to loose, live to win)". Porque la muerte está tan segura de ganar, que nos da una vida de ventaja, vive cada momento como si no hubiera un mañana.

**I am a champion (Coach Flowers, fragmento).**

"... Derrota, retirarse... no están en mi vocabulario. No entiendo sus significados. No entiendo cuando las cosas van mal. No entiendo de errores. Pero si entiendo esto. Entiendo victoria y entiendo el nunca rendirse. **No importa cuán mal vayan las cosas, mi corazón y mi mente sostendrán mi cuerpo cuando mis piernas se debiliten.**

Nadie me dirá lo que puedo o no puedo ser y nunca regresaré a casa sin entregar todo de mí".

## Índice

* Introducción	
** Justificación	
*** Objetivos	
**** Hipótesis	
*****Estructura de Tesis	
<b>Capítulo 1 Riesgo de desastres por inestabilidad de laderas</b>	<b>18</b>
<b>1.1 Paradigmas en el estudio de los desastres: enfoque alternativo</b>	<b>21</b>
<b>1.2 Conceptos básicos desde el enfoque alternativo</b>	<b>24</b>
<b>1.3 Procesos de remoción en masa</b>	<b>30</b>
<i>Factores determinantes o condicionantes de inestabilidad de laderas</i>	31
<i>Factores desencadenantes de inestabilidad de laderas</i>	32
<i>Tipos de movimientos</i>	33
<b>1.4 Desastres asociados a procesos de remoción en masa</b>	<b>34</b>
<i>Desastres a nivel internacional</i>	35
a) Barrio Villatina, Colombia	35
b) Aldea Shiao Lin, Taiwán	37
c) Villa Santa Lucia, Chile	39
<i>Desastres en México</i>	41
a) Rio Grijalva, Chiapas	42
b) Cerro Tortuguero, Tabasco	43
<i>Desastres en Teziutlán, Puebla</i>	44
a) La Aurora	44
b) Fraccionamiento Siete Sabios	46
c) Cerrada de Los Portales	47
d) Cerrada de Los Sauces	48

<b>Capítulo 2 Inestabilidad de laderas en la Colonia La Gloria, Teziutlán, Puebla</b>	<b>50</b>
<b>2.1 Características geográficas de Teziutlán</b>	<b>50</b>
<i>Perfil socio-demográfico de Teziutlán</i>	60
<b>2.2 La Colonia La Gloria</b>	<b>67</b>
<i>Procesos de remoción en masa en la Colonia La Gloria</i>	72
<b>Capítulo 3 El uso de vehículos aéreos no tripulados (drone) para análisis de riesgo de los desastres</b>	<b>75</b>
<b>3.1 Introducción a las diferentes metodologías empleadas en el entendimiento de desastres: una perspectiva geográfica</b>	<b>76</b>
<b>3.2 Antecedentes históricos: fotointerpretación, Globo Aerostático y Fotogrametría convencional</b>	<b>79</b>
<b>3.3 Los VANT en estudios de riesgo y desastre</b>	<b>84</b>
<i>Fotogrametría digital y productos geoespaciales</i>	85
<i>Cartografía digital y geo tecnologías</i>	
<b>3.4 Los VANT: aplicaciones para el análisis de riesgo por inestabilidad de laderas</b>	<b>87</b>
<i>Escala local: importancia en estudios de riesgo y desastre</i>	89
<b>3.5 Los VANT: aplicaciones para el análisis de riesgo por inestabilidad de laderas en México</b>	<b>92</b>
<b>Capítulo 4 Materiales y método: análisis de exposición a procesos de remoción en masa</b>	<b>95</b>
<b>4.1 Ubicación del lugar y planificación de la ruta de vuelo (imágenes de satélite)</b>	<b>95</b>
<i>Materiales cartográficos</i>	96
<i>Programa Map pilot</i>	96
<b>4.2 Materiales (formato de campo para evaluación de viviendas de la Colonia La Gloria, VANT, LIDAR y GPS)</b>	<b>97</b>
<i>Especificaciones del sistema DJI Phantom 4 Pro</i>	100

<i>GPS (Sistema de Posicionamiento Global)</i>	101
<i>GPS Diferencial</i>	102
<i>LIDAR</i>	104
<i>Escáner laser FARO FOCUS 3D X330</i>	104
<b>4.3 Delimitación de la zona y definición del área de mapeo</b>	106
<i>Vuelos y características: software Airdata uav</i>	107
<i>Airdata uav</i>	108
<b>4.4 Procesado y cálculo de datos mediante el programa ContextCapture (Modelo 3D), generación de mosaicos: digitalización y revisión de las características del relieve mediante tomas fotográficas</b>	111
<i>ContextCapture</i>	111
<i>Modelo3D</i>	114
<i>Generación de mosaicos y Digitalización</i>	115
<b>4.5 Elaboración de un mapa de indicadores de exposición a PRM</b>	117
<i>Índice topográfico de humedad (ITH o TWI)</i>	118
<i>Resultados del formato de evaluación</i>	121
<b>Capítulo 5 Análisis de exposición ante PRM en la Colonia La Gloria y zonas aledañas</b>	126
<b>Conclusiones y discusión</b>	132
<b>Bibliografía y Referencias</b>	136



## Introducción

Los estudios sobre desastres desde las ciencias naturales, ciencias de la tierra y las geociencias, plantean el conocimiento de las distintas variables de la naturaleza para poder entender la causa e impacto de las amenazas naturales en distintos lugares del planeta Tierra. No obstante, con frecuencia, dicha información está basada en el modelado de las variables naturales, y, difícilmente explican de fondo la interrelación entre el ser humano y el medio ambiente como factor inductor de riesgo de desastre, además de analizar los fenómenos desde escalas regionales.

Para la geografía, el conocer y estudiar los elementos del espacio geográfico, como el clima, permite obtener información sobre la precipitación, el relieve de la zona, que, en conjunto con las actividades humanas, constituyen las condiciones que generan exposición, susceptibilidad y vulnerabilidad para la población ante los procesos de remoción en masa (PRM). Así mismo, el factor suelo (presencia de tobas volcánicas, detritos, etc.) asentamientos irregulares, falta de planeación y desarrollo territorial, generan problemas de inestabilidad de laderas y con ello los deslizamientos.

Debido a su localización en la franja del Eje Neo-volcánico transversal y parte de la Sierra Madre Oriental, el estado de Puebla, muestra un paisaje mayormente conformado por sierras y cadenas montañosas. La zona en estudio Teziutlán, se ubica dentro de la porción centro-este de la región Nororiental de Puebla. En un contexto donde, el clima, la geología, edafología y el uso de suelo, etc., propician la susceptibilidad a PRM en diversos municipios.

El municipio de Teziutlán es considerado como cabecera municipal; su desarrollo se debió al auge en las actividades agrícolas, el sector minero y de maquiladoras, donde fungió como un foco de atracción de inmigrantes. CONEVAL (2010) refiere que, debido a las condiciones socioeconómicas de la población, Teziutlán se clasificó como municipio de muy bajo grado de rezago social. No obstante, la condición de vulnerabilidad ante la posible ocurrencia de deslizamientos sigue subyacente en parte de la población que habita zonas expuestas a la inestabilidad de las laderas.

En Teziutlán han ocurrido desastres debido a la ausencia de una gestión integral del riesgo y de acciones preventivas hacia la población en cuanto al tema de riesgos (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017). Para ejemplificar lo anterior, cabe hacer mención del evento de octubre de 1999, donde se presentaron lluvias torrenciales y extraordinarias en la

Sierra Norte de Puebla, a causa de una depresión tropical y un frente frío (CONAGUA, 2009 y Noriega, 2005).

A nivel estatal, el 30% de la población se vio afectada a causa de las lluvias. En el municipio se presentaron más de 80 deslizamientos, entre los principales, el evento de la colonia La Aurora, donde fallecieron 109 personas a causa de un deslizamiento (de tipo complejo, iniciado con un deslizamiento rotacional que después se convirtió en un flujo de lodo) que arrasó todo lo que había a su paso (Bitrán, 2001). El suceso fue catalogado como el desastre de la década de los noventa (Flores y Alcántara-Ayala, 2002).

Actualmente en Teziutlán, la ocurrencia de desastres sigue latente, por lo que es necesario comprender la construcción social del riesgo dentro de la región. Los estudios y las herramientas deben permitir el manejo de las escalas espaciales y temporales acorde con los fenómenos existentes, de lo contrario resulta imposible dilucidar cada caso como el resultado de un conjunto de factores.

Una de las formas en que se estudian las problemáticas asociadas al riesgo de desastres es mediante la cartografía de riesgos. Desde ésta se puede tener un panorama general de cualquier situación potencialmente dañina hacia un sistema o comunidad y con base a ello, es posible proponer la zonificación de lugares aptos y no aptos para viviendas, zonas con síntomas de inestabilidad de laderas, asentamientos en exposición, entre otros aspectos.

Referente al tema, la tecnología ha servido como complemento para corregir problemas de escala, facilitar la obtención de insumos cartográficos y realizar estudios a un costo moderado o bajo, en comparación a metodologías tradicionales como la fotointerpretación o la fotogrametría. El uso e implementación de nuevas herramientas no sustituye las anteriormente usadas, sin embargo, representan un campo de oportunidad para que, además del estudio de diversos eventos naturales, se generen propuestas integrales sobre el manejo del espacio donde está asentada la población y con ello saber su grado de vulnerabilidad o exposición a PRM.

### **Justificación**

Esta tesis pretende, mediante el uso de un VANT, analizar la exposición de los habitantes de la Colonia La Gloria ante PRM a escala local. Los vehículos aéreos no

tripulados (VANT o *drone*) han sido utilizados desde hace tiempo en diversos campos (desde lo militar hasta lo científico y la vida cotidiana) para obtener conocimiento de nuestro entorno. Sin embargo, en años recientes su aplicación ha sido principalmente avocada al tema de los riesgos y desastres que afectan a la población mundial en distintas escalas y latitudes del planeta Tierra.

Los estudios realizados desde métodos convencionales como la fotointerpretación y fotogrametría presentan sesgos e inconvenientes debido a los costos operativos con los que son realizados. De la misma manera, el análisis sobre distintos eventos naturales estaban demarcados por la predeterminación de la escala en la que eran obtenidos los productos o insumos cartográficos (fotografías aéreas, imágenes de satélite, orto fotografías y orto mapas, etc.) comúnmente a escala regional o sub-regional. Sin embargo, es necesario mencionar la importancia de la escala local (que no se tenía en investigaciones y estudios previos) porque, mediante ella es como se puede llegar a conocer diferentes factores condicionantes del riesgo o bien, para alertar a la población sobre la vulnerabilidad que tienen ante la exposición de diversas amenazas naturales de las zonas donde habitan.

El análisis de las diversas amenazas naturales tomó otra perspectiva al pasar de los métodos convencionales (fotointerpretación y fotogrametría) al plano digital. Ello no quiere decir que las herramientas y métodos anteriormente utilizados sean obsoletos, sino que han tenido una revitalización mediante los constantes avances de la tecnología.

Entre las principales ventajas que se pueden mencionar desde la fotogrametría digital (VANT o *drone*), está la temporalidad o multitemporalidad (análisis de los eventos de manera inmediata y con la posibilidad de darles continuidad), el manejo de la escala (desde lo regional, sub-regional y local), el bajo costo operativo (la gama de VANT que ofrece el mercado permite elegir el adecuado conforme las necesidades del investigador), desde uno básico hasta uno mayormente especializado, la inmediatez en la obtención de datos (el sistema del VANT realiza sobrevuelos en tiempo real lo que permite conocer las características naturales del medio físico de manera puntual e inmediata), la posibilidad de complementar el estudio con herramientas topográficas como *LIDAR* o *GPS* y maximizar los resultados, etc.

## **Objetivo general**

Analizar la exposición a los procesos de remoción en masa, de la población ubicada en la Colonia La Gloria, Teziutlán, Puebla.

## **Objetivos particulares**

- Obtener insumos cartográficos, mediante el uso de un Vehículo Aéreo No tripulado (VANT), sobre las características físicas del relieve en la zona bajo estudio.
- Evaluar la condición estructural de las viviendas de la colonia La Gloria.
- Realizar un modelo en 3D a partir de las imágenes del VANT sobre la exposición de los predios de la Colonia La Gloria, ante los PRM.
- Elaborar un mapa de indicadores de exposición a PRM de la Colonia La Gloria.

## **Hipótesis**

El VANT aplicado al análisis de exposición ante PRM, es una herramienta útil para obtener insumos cartográficos y productos como ortofoto, modelo digital de elevación, modelo digital en 3D, mapa de exposición, etc.: a bajo costo, de manera eficaz e inmediata, para el estudio multitemporal a escala local de eventos potencialmente dañinos por procesos de remoción en masa en las comunidades.

## **Estructura de Tesis**

El presente trabajo comprende cinco capítulos. En el primer capítulo se aborda el tema del riesgo de desastre como construcción social a través del espacio-tiempo bajo la perspectiva teórica del enfoque alternativo y los conceptos básicos desde este enfoque para llevar a cabo los estudios de riesgo y desastre. De igual forma, se hace una revisión

de desastres ligados a la inestabilidad de laderas a nivel mundial, en México y en Teziutlán, Puebla.

En el segundo apartado se hace una revisión de las características geográficas de la zona en estudio, así como del perfil sociodemográfico, para comprender los factores inductores de riesgo en la población a nivel municipal así como la ocurrencia de PRM en la Colonia la Gloria.

En el capítulo tercero se hace una revisión del estado del arte, a nivel mundial y en México, de los vehículos aéreos no tripulados VANT o *drone*, su utilización en estudios de riesgo de desastre y, desde la perspectiva geográfica, su viabilidad en estudios a escala local.

En el cuarto capítulo, se describe la metodología empleada para la realización del mapa de indicadores de exposición a PRM de la colonia La Gloria, y que comprende la recopilación de información en gabinete y en campo además del posterior tratamiento de los datos nuevamente en gabinete.

El quinto apartado hace referencia al análisis sobre la exposición a PRM que hay en la colonia La Gloria y las zonas aledañas a esta mediante datos estadísticos y gráficos sobre los datos recabados en campo.

Finalmente se presenta un apartado con las conclusiones y la discusión respecto al trabajo realizado.

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### Tablas

Tabla 1.1. Tipos de vulnerabilidad, elaborada con base en Wilches-Chaux (1993).....	24
Tabla 1.2 Tipos de amenazas, elaborado con base en UNISDR (2017).....	25
Tabla 1.3 Conceptos específicos de riesgo, elaboración propia con base en UNDR0 (1979).....	26
Tabla 1.4 Conceptos de Riesgo de desastre asociado, elaborado con base a UNISDR (2017).....	27
Tabla 1.5 Tipos de riesgo de desastre, elaboración propia con base en Lavell (2003) y Oliver-Smith <i>et al.</i> (2016).....	27
Tabla 1.6 Factores determinantes o condicionantes de inestabilidad de laderas. Elaboración propia.....	31
Tabla 1.7 Factores desencadenantes de inestabilidad de laderas. Elaboración propia.....	32
Tabla 1.8 Tipos de movimientos de remoción en masa (Elaboración propia con base en WP/CLI, Citado por Alcántara-Ayala, 2000).....	33
Tabla 1.9 Desastres por PRM a nivel mundial, en México y en Teziutlán, Puebla. Elaboración propia.....	35
Tabla 2.1 Características generales de la SNP. Elaborada con base en Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, Regiones Indígenas de México, 2006, Sistema para la consulta de información censal (SCINSE), INEGI, 2010.....	61
Tabla 2.2 Categorización de las colonias de la cabecera municipal en riesgo (Elaborada y modificada con base a Juárez, 2012).....	72
Tabla 3.1 Relación de Escalas, Proyecciones y unidad mínima cartografiable, elegibles para generar la cartografía de peligros y riesgos. Elaborada con base en CENAPRED, 2014.....	91
Tabla 3.2 Principales conceptos del MGN y su normatividad, elaborado con base en INEGI 2010.....	92
Tabla 4.1 Características del <i>DJI Phantom 4 pro</i> , elaborado con base a DJI (2018).....	101
Tabla 4.1 características de los tipos de vuelo programados en <i>MapPilot</i> , elaboración propia.....	108
Tabla 4.2 Características de vuelo en forma oblicua del programa <i>FVP Camera</i> , elaboración propia.....	110
Tabla 4.3 Desglose del total de casas registradas en el formato de evaluación. Elaboración propia, 2019.....	121

Tabla 4.4 Porcentaje de ubicación de los predios respecto de la ladera y servicios básicos en el conjunto de viviendas del área de estudio. Elaboración propia.....	121
Tabla 4.5 Porcentaje de la estructura general del conjunto de viviendas del área de estudio. Elaboración propia.....	122
Tabla 4.6 Porcentaje de la condición estructural respecto a la vegetación y síntomas de inestabilidad de laderas del conjunto de viviendas del área de estudio. Elaboración propia.....	123
Tabla 4.7 Valores de ponderación respecto a cada indicador de exposición. Elaboración propia.....	124

## Figuras

Figura 1.1 Paisaje descrito sobre la erupción del Vesubio que destruyó la ciudad de Pompeya (Tomado de ABC, 2018).....	19
Figura 1.2 De la construcción social del riesgo a la producción social del desastre, Tomado de Oliver-Smith (et al., 2016).....	28
Figura 1.3. Inundación en el Río de la Plata Argentina, donde se observa la ocurrencia de un desastre el cual puso en evidencia la susceptibilidad de la comunidad a sufrir eventos de tal magnitud (Tomado de periódico El país, Argentina, 2013).....	29
Figura 1.4 Plano descriptivo sobre el deslizamiento sobre el barrio de Villatina, tomado de Coupé <i>et al.</i> (2007.).....	36
Figura 1.5 Asentamientos en Villatina, 20 años después del desastre. En la imagen se observa que la población residente continua susceptible y con vulnerabilidad ante nuevos eventos de desastre. Tomada de García (2007).....	37
Figura 1.6 Deslizamiento en la aldea Shiao lin, Taiwán, tomada de La Nación (2009).....	38
Figura 1.6. Imagen satelital del proceso y su recorrido hasta llegar a Santa Lucia, tomado de SERNAGEOMIN (2017).....	39
Figura 1.7. Fotografía aérea sobre el área del deslizamiento en la parte inicial, tomada de SERNAGEOMIN (2017).....	40
Figura 1.8 Deslizamiento en el Río Grijalva, tomado de Morales (2008).....	42
Figura 1.9 Cerro El Tortuguero donde se puede observar la inestabilidad de laderas por actividades antrópicas (tomado de Alcántara-Ayala <i>et al.</i> , 2001).....	43
Figura 1.10 Deslizamiento en la colonia La Aurora, tomado de Alcántara-Ayala et al, (2001).....	44
Figura 1.11 Afectaciones por deslizamiento en la colonia Francia Teziutlán en el año 1999, tomado de CENAPRED (2001).....	45

Figura 1.12 Localización del Fraccionamiento 7 Sabios. Trabajo de campo, noviembre 2018.....	46
Figura 1.13 Localización de la Cerrada de Portales. Trabajo de campo, noviembre 2018.....	47
Figura 1.14 Localización de la Privada de los Sauces. Trabajo de campo, noviembre 2018.....	49
Figura 2.1 Localización del municipio de Teziutlán, elaborado con base en INEGI, 2010.....	50
Figura 2.2 Tipos de climas en la Sierra Norte de Puebla, elaborado con base en INEGI, 2010.....	51
Figura 2.3 Provincias Fisiográficas del estado de Puebla, elaborado con base en INEGI, 2010.....	53
Figura 2.4 Geología de Teziutlán, elaborado con base en INEGI, 2010.....	55
Figura 2.5. Edafología de la SNP, fuente: INEGI, 2014.....	57
Figura 2.6 Hidrología del municipio de Teziutlán, Puebla, elaborado con base en INEGI, 2010.....	58
Figura 2.7 Crecimiento poblacional del municipio de Teziutlán. Elaboración propia con base en datos censales del INEGI (1990, 2000, 2010 y 2015).....	60
Figura 2.8 Indicadores de pobreza en Teziutlán, elaboración propia con base en CONEVAL, 2010.....	62
Figura 2.9 Indicadores de vulnerabilidad en Teziutlán, elaboración propia con base en CONEVAL, 2010.....	63
Figura 2.10 Tipos de carencia social en Teziutlán, elaboración propia con base en CONEVAL, 2010.....	64
Figura 2.11 Ingresos y rezago educativo en Teziutlán, elaboración propia con base en CONEVAL, 2010.....	66
Figura 2.12 Localización de la colonia La Gloria y su cercanía con el centro, Trabajo de campo, noviembre 2018).....	68
Figura 2.13 Ampliación de la Cerrada de Emilio Carranza, Colonia La Gloria, foto autoría propia, noviembre 2018.....	69
Figura 2.14 Deslizamiento en la colonia La Gloria, vista desde el Circuito Bicentenario, foto autoría propia, noviembre 2018.....	71
Figura 2.15 Deslizamiento desde el flanco trasero de la cerrada de Emilio Carranza, Colonia La Gloria, Fotografía de autoría propia, noviembre 2018.....	73
Figura 3.1 Elaboración de estudio de riesgo (Amenaza y vulnerabilidad) y diseño de obras de estabilización en la Vereda Serranía, municipio de Macanal, jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional De Chivor. Tomado de UPTC, 2012.....	80



Figura 3.2 Referencia sobre Gaspard el primer fotógrafo aéreo (Izquierda). Fotografía de la ciudad de Boston, considerada la más antigua, tomada de Airdrone View, 2014.....	82
Figura 3.3 Comparación grafica de la elongación del perfil entre el método terrestre (izquierda) y la fotogrametría de un VANT (derecha). Tomado de Cahyono y Zayd, 2018.....	86
Figura 4.1 Imagen satelital de la colonia La Gloria, tomada de <i>Google Earth</i> , 2018.....	96
Figura 4.2 Programa <i>Map pilot</i> , ejemplo de programación de vuelo o misión. Tomado de Supportdrones, 2019.....	97
Figura 4.3 Formato de campo para evaluación de las viviendas, elaboración propia.....	98
Figura 4.4 Aplicación <i>Mapit Gis</i> para crear y cargar las capas de información creadas. Autoría propia, 2019.....	99
Figura 4.5 Esquema de un <i>GPS</i> y su funcionamiento. (Tomado de ESA, 2019).....	102
Figura 4.6 <i>GPS</i> diferencial (tomado de GNSS, 2018).....	103
Figura 4.7 <i>LIDAR</i> terrestre, escaneo de una vivienda, autoría propia, 2018.....	104
Figura 4.8 ilustración del equipo <i>FARO FOCUS 3D</i> , foto autoría propia (2018).....	105
Figura 4.9 Ejemplo de los puntos de control sobre el terreno, foto autoría propia, noviembre 2018.....	105
Figura 4.10 Estacionamiento público ubicado en la Colonia La Gloria. Tomado de datos en campo 2018.....	106
Figura 4.11 Delimitación de las zonas de mapeo y donde se realizó la toma de datos en campo, trabajo de campo, noviembre 2018.....	107
Figura 4.12 Detalles sobre el vuelo sentido Este-Oeste. Realizado con <i>Airdata uav</i> .....	108
Figura 4.13 Detalles sobre el vuelo sentido Este-Oeste. Realizado con <i>Airdata uav</i> .....	109
Figura 4.14 Fotografía del deslizamiento ocurrido en el fraccionamiento Siete Sabios, trabajo de campo noviembre, 2018.....	111
Figura 4.15 Creación de proyecto para modelo3D en el programa <i>ContextCapture</i> .....	112
Figura 4.16 Imagen considerada como apta para la creación del modelo 3D. Obtenida en campo, noviembre, 2018.....	112
Figura 4.17 Imagen considerada como no apta para la creación del modelo 3D. Obtenida en campo, noviembre, 2018.....	113
Figura 4.18 Proceso de Aero triangulación para el modelo 3D, trabajo de gabinete, 2019.....	114
Figura 4.19 Modelo 3D estéreo (arriba) y normal (abajo) del área de estudio (Colonia La Gloria y zonas aledañas). <i>ContextCapture</i> 2019.....	115

Figura 4.20 Mosaico <i>Raster</i> creado en <i>ArcGis</i> , 2018.....	115
Figura 4.21 Mosaico del <i>DSM</i> creado en <i>ArcGis</i> , 2018.....	116
Figura 4.22 Digitalización de predios de la Colonia La Gloria, fraccionamiento Siete Sabios, Los Portales y Los Sauces, <i>ArcGis</i> 2018.....	117
Figura 4.23 Proceso para obtener el mapa de índice de humedad topográfica. Elaboración propia.....	118
Figura 4.24 Mapa con el <i>ITW</i> completo. Se observan 3 gamas de colores, el rojo indica las zonas de mayor acumulación, las de azul de concentración media y el verde las zonas de baja humedad. Elaboración propia.....	119
Figura 4.25 Proceso de elaboración del mapa de indicadores de exposición.....	120
Figura 4.26 Mapa de indicadores de exposición de la colonia La Gloria. Elaboración propia, 2019.....	125
Figura 5.1 Ejemplo de viviendas donde se observa que de los niveles construidos, dos niveles son de cimientos (mampostería). Foto autoría propia noviembre, 2018.....	127
Figura 5.2 Nivel de susceptibilidad de los predios de la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).....	127
Figura 5.3 Niveles de edificación de los predios de la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).....	128
Figura 5.4 Condición de los predios de la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).....	129
Figura 5.5 Relación de proximidad de los predios respecto con PRM ocurridos en la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).....	130
Figura 5.6 Nivel de Índice Topográfico de Humedad de los predios de la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).....	130

## Capítulo 1 Riesgo de desastres por inestabilidad de laderas

El presente capítulo trata sobre la concepción histórica de los desastres en la sociedad bajo los enfoques dominante y alternativo para posteriormente, centrarse en la terminología del enfoque alternativo; actualmente usado como forma de analizar y entender las distintas amenazas naturales y siconaturales en el constructo social.

La concepción de eventos o desastres se remonta a antiguas civilizaciones en Grecia. Cuando se interpretaban las amenazas naturales como eventos ocurridos de la evolución de la naturaleza, como castigos divinos o como catástrofes producto de la continua interrelación hombre- naturaleza (Martínez, 2000).

El pensamiento sobre la ocurrencia de desastres, en el imaginario colectivo, se pronunció durante largos periodos como algo devenido de fuerzas no terrenales; donde el triunfante era el desastre ante la humanidad, quien padecía las consecuencias sin la posibilidad de hacer algo al respecto.

Los primeros aportes realizados sobre eventos catastróficos o de desastre fueron planteados desde la geografía, ciencia naciente en la antigua Grecia, encargada de la descripción de todos los fenómenos acaecidos en la Tierra o el *ecúmene* (espacio usado por los seres humanos para su existencia) (Jurado, 2009).

García (1994) menciona que actualmente, las primeras visiones de eventos de riesgo han motivado la discusión dentro de la comunidad científica en términos conceptuales, de escala y principalmente sobre la relación dialéctica del espacio con las sociedades.

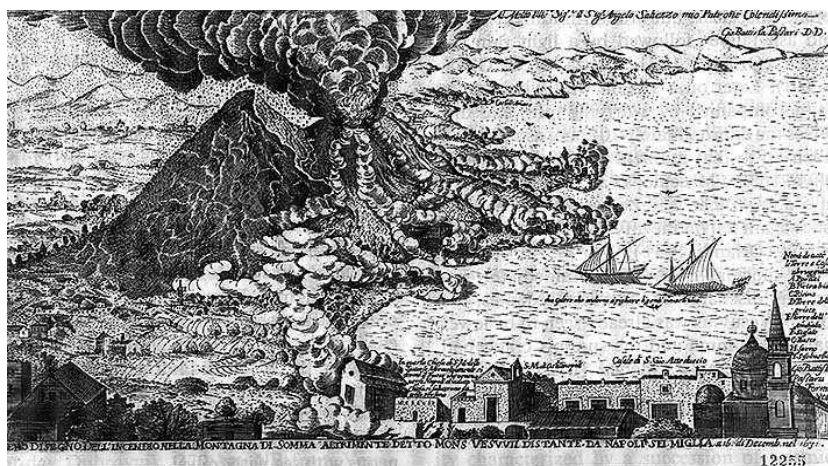
La teoría de riesgo de desastres es producto de las experiencias de las sociedades y las exploraciones de los distintos territorios. Desde la época clásica y hasta el renacimiento, distingue tres enfoques con relación a los desastres o catástrofes, los cuales son (Martínez, 2009):

- El enfoque donde se explican los orígenes del planeta y las causas físicas de los fenómenos terrestres, destaca la ausencia de aspectos humanos.
- El enfoque Teológico, basado en responder las preguntas acerca de la razón de la existencia humana sobre la tierra y de los castigos divinos que suceden en ella.

- El enfoque relacionado con la descripción de amenazas terrestres y de los habitantes.

Los distintos enfoques estuvieron ligados a las explicaciones por parte de los estudiosos de la vida y del espacio. Para Martínez (2009), la mezcla entre el primer y tercer enfoque permearon hasta la época del renacimiento mediante las descripciones sobre cómo ocurrían dichos eventos y las continuas modificaciones sobre el medio. El espacio o medio ambiente era la principal amenaza ante los asentamientos humanos, no obstante, también lo atribuían al castigo divino (Wijkman y Timberlake, 1984).

El tercer enfoque tuvo importancia a raíz de que los viajeros (generalmente comerciantes) observaban los eventos “catastróficos” (Figura 1.1), tendían a describir y retratar los lugares afectados para que las personas conocieran lo ocurrido (Unwin, 1995). Cabe destacar el papel de la corografía como antecesor a la cosmografía y de la cartografía en el rubro de la localización espacial.



**Figura 1.1** Paisaje descrito sobre la erupción del Vesubio que destruyó la ciudad de Pompeya (Tomado de ABC, 2018).

En la etapa medieval o del oscurantismo, el conocimiento quedó relegado a las explicaciones teológicas. Ello, propició el reforzamiento sobre la separación de la población ante los desastres por no ser quienes los originaban y si los que sufrían las consecuencias. El avance y producción del conocimiento científico (de manera general) y, en cuanto a los desastres, se mantuvo estancado (Bennassar, 1996).

Para los siglos XVII a XIX, los documentos giraban en torno a eventos hidrometeorológicos y la descripción de estos en cuanto a las consecuencias comerciales: movilización de mercancías y de personas. Entre las descripciones, comenzaba a tomar

importancia el interés por la afectación a poblaciones de animales y propiamente asentamientos humanos (Jurado, 2009).

En el siglo XVIII, aumentó el interés por describir y explicar los procesos modeladores del relieve (erupciones, tormentas, inundaciones, etc.) que sugerían la génesis superficial de la tierra. Los naturalistas empezaron a ocuparse en temas de resiliencia, tanto del medio físico como del social. En la esfera mundial era aceptado el carácter natural de los eventos peligrosos y, por ello, necesario implementar estudios desde diversas ciencias para explicar las causas precisas (Martínez, 2000).

En los siglos XIX y principios del XX, el papel de los geógrafos en cuanto a estudios de riesgo y desastre, se basó en la cartografía y la re-significación del concepto espacio. El diseño de mapas con temática de sismicidad (epicentros, peligrosidad sísmica, peligrosidad tsunamigénica, etc.) o de actividad volcánica (tipos de erupciones, densidad de flujos y peligrosidad volcánica) además de aspectos como tormentas y sequías, eran elaborados con fines informativos hacia la sociedad (Martínez, 2002). A la vez, el espacio pasó de ser un contenedor (población, flora y fauna, clima, relieve, etc.) a tener contenido (las sociedades cambian, transforman y desarrollan el medio que habitan) para mejorar su calidad de vida y, en ello pueden afectar el equilibrio natural lo que trae consigo desastres (Santos, 2004).

Para Martínez (2009), desde la disciplina geográfica, concretamente la rama física, surgen las aportaciones sobre los conocimientos técnicos. Los estudios desde la geomorfología ofrecen visiones sobre modelos y la dinámica del relieve; la hidrología y climatología contribuyen a explicar el funcionamiento de los fenómenos hidrológicos y atmosféricos que repercuten en la superficie terrestre; la dendrogeomorfología, estudia los aspectos relacionados con paleosuelos y cambios en la vegetación, etc.

La geografía humana o social, por su parte, contribuye a entender el comportamiento, conocimientos, significados e identidad por parte de la población para con los lugares donde habita. Así mismo, el surgimiento y reformulación de las corrientes en la disciplina geográfica (Descriptiva, Teológica, Naturalista, Positivista, Ecológica, Determinista, Posibilista, de la Percepción, Cualitativa, Cuantitativa, Crítica, Radical, etc.) pusieron de relieve la importancia que tenía el ser humano al interrelacionarse con su medio y, por ello surge el término “Espacio geográfico”; como forma de delimitar un objeto de estudio pero también para darle sentido al espacio (ya no como contenedor, sino como

producto de su contenido: objetos naturales y sociales además de la propia sociedad quien anima/interviene a los anteriores) de manera indirecta o directa (Santos, 2004).

En últimas décadas, desde la geografía, trabajar con enfoques sistémicos como apoyo para explicar las diversas amenazas como las de origen natural y los riesgos, integran variables físicas, sociales y humanas (Martínez, 2009). Los estudios físicos, aportan los procedimientos y teorías, tienen como base la experiencia, el análisis y explicaciones a diversas amenazas naturales. Los estudios sociales, buscan comprender cómo suceden y afectan los eventos de desastre mediante la comunicación con propósitos encaminados a la educación; la creación de protocolos ante la presencia de riesgos a partir de las condiciones sociales y culturales de las comunidades (Lavell, 1994; Blaikie *et al.*, 1996).

### 1.1 Paradigmas en el estudio de los desastres: enfoque alternativo

El inicio del estudio social de los desastres como campo de investigación, surge con los trabajos del geógrafo Gilbert White (EUA), pero es hasta los años 60's cuando inicia una corriente sociológica, ligada a la investigación social de los desastres (Ribas y Sauri, 2006). La necesidad de incluir estudios desde diversas disciplinas y que la conceptualización teórica colocaba al desastre como “componente de la vida” y no como “problema” permitió ubicarlo dentro de la dinámica de la vida social de las comunidades (Wilches-Chaux, 1989).

De acuerdo con Lavell (1993), los paradigmas enunciados por Khun (1962) o los “consensos académico-investigativos” de Said (1978), privilegiaron los enfoques de tipo fiscalista (derivados de las ciencias básicas y naturales) y estructurales (derivados de la ingeniería y la arquitectónica) lo que limitó o auto limitó los aportes de las ciencias sociales. En otras palabras, el **enfoque dominante**, fue resultado de la visión sobre los desastres como eventos temporal y territorialmente segregados, donde su causalidad deriva de extremos en los procesos físico-naturales como tsunamies, terremotos, tormentas, huracanes, etc.

Una consecuencia de esta visión fiscalista es que los desastres no se conciben como una parte integral del espectro de las relaciones ser humano-naturaleza o dependientes de ellos, eventos que son extraordinarios o raros, que perturban la vida normal y sus relaciones con el hábitat o medio (Lavell, 1993). De igual manera, la

tendencia de aislar los eventos uno del otro, crea una visión de los desastres como un mundo aparte. La perturbación que introduce “desorden” en el “orden natural” de la vida y la sociedad de manera fortuita. El enfoque se inserta dentro del movimiento tecnocrático al tratar de predecir lo impredecible para volverlo algo modelable y manejable (Cardona, 2001). Las geociencias se encargaron de llevar a cabo la investigación, modelación y predicción de las amenazas naturales mediante la creación de centros de prevención de desastres, lo que relegó el desarrollo de la investigación social a nivel América Latina (*ibid*).

La contraparte del **enfoque dominante** es conocida como **enfoque alternativo o enfoque de la vulnerabilidad**, donde la incorporación a detalle de la relación sociedad-medio ambiente permite analizar de manera óptima e integral el efecto de las amenazas naturales en cuanto a la organización, valores de la sociedad y de las instituciones encargadas de hacer investigación avocada al tema de los desastres (Hewitt, 1983; Cuny, 1983).

De acuerdo con Cardona (2001), el énfasis del **enfoque dominante** hacia el conocimiento de las amenazas por el sesgo investigativo y académico (movimiento tecnocrático) impidió el avance en la terminología sobre desastres, además, se conserva dicho énfasis particularmente en países desarrollados debido a su desarrollo tecnológico, mediante el cual intentan conocer con mayor detalle los fenómenos generadores de amenazas. El estudio desde las ciencias sociales dejó entrevisto que la concepción y término errado de “desastres naturales” debía ser modificado desde un enfoque holístico que diera respuesta en lo concerniente a la relación de la sociedad con los desastres.

Las amenazas naturales son la manifestación de la naturaleza como resultado de su funcionamiento interno y externo. La previsión de estos va en función del grado de conocimiento del ser humano para con la naturaleza. La ocurrencia de amenazas naturales de cualquier tipo, no necesariamente representan un desastre. La connotación de catástrofe o desastre se adquiere cuando dichos sucesos afectan el modo de vida de las personas (Maskrey, 1993).

Para autores como Lavell (2005 y 2007), es necesaria la inclusión de los aspectos sociales puesto que, el desastre es “tanto producto como resultado de procesos sociales, histórica y territorialmente circunscritos y conformados”. En la actualidad, una base

conceptual clara y definida ha contribuido a enriquecer la discusión en torno a las diversas problemáticas de la sociedad y la estrecha relación con los desastres.

## **1.2 Conceptos básicos desde el enfoque alternativo**

### **a) Vulnerabilidad**

Wilches-Chaux (1993) define la vulnerabilidad como “la capacidad de una comunidad para asimilar los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente”, dicho de otra forma, la dificultad de una sociedad para adaptarse a su nuevo entorno como producto del impacto negativo. En la misma línea, constituye un sistema dinámico que surge como consecuencia de la interacción de factores y características que suceden en una determinada comunidad, a dicha relación se le denomina “vulnerabilidad global”.

Por otro lado, para Blaikie *et al.*, (1996), el término vulnerabilidad refiere características que establecen el grado de exposición en el cual la vida y subsistencia de alguien (algunos) queda en riesgo por alguna amenaza. Desde las distintas disciplinas que estudian este tema, se han creado múltiples definiciones bajo las propias perspectivas, sin embargo, aspectos como empobrecimiento, incremento demográfico sin control y la falta de planeación urbana y ordenamiento territorial apuntan como las principales consecuencias en la creación de vulnerabilidad.

La oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres (*UNISDR* por sus siglas en inglés) (2017) define el término como “las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas”. Otro de los conceptos comúnmente usados es la de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2003), donde refiere la necesidad de premeditar acciones contra la vulnerabilidad, ya que ésta varía considerablemente dentro de una comunidad y a lo largo del tiempo.

Para entender la vulnerabilidad global, hay distintos tipos de “vulnerabilidades”; es decir, elementos interconectados entre si y no pueden estudiarse por separado (Tabla 1.1), es necesario valorar el conjunto de factores para comprender el conjunto, ejemplo de ello es la amplia relación entre los aspectos físicos, económicos y políticos (Wilches-Chaux, 1993).



**Tabla 1.1.** Tipos de vulnerabilidad, elaborada con base en Wilches-Chaux (1993).

Tipo de Vulnerabilidad	Características	Ejemplo
<b>Natural</b>	Los Límites ambientales que posibilitan la vida, así como a las exigencias internas del organismo.	Condiciones de temperatura, humedad, densidad y composición atmosférica aptos para el desarrollo de vida.
<b>Física</b>	La localización de asentamientos humanos en zonas de riesgo, o las características estructurales precarias de las construcciones.	Presencia de asentamientos irregulares en laderas susceptibles a procesos de remoción en masa.
<b>Económica</b>	El nivel adquisitivo desigual dentro de las poblaciones.	Falta de empleo, salarios poco competitivos, inestabilidad laboral, dificultad de acceso a servicios educativos y de salud, dependencia económica.
<b>Social</b>	La deficiente organización social.	Escasas relaciones entre los miembros de la comunidad, nula organización social, falta de sentimiento de pertenencia dentro del grupo social, falta de liderazgo efectivo capaz de impulsar el sentido de coherencia y propósito en la sociedad.
<b>Política</b>	El nivel de autonomía, de una población, para la toma de decisiones.	Incapacidad de resolver los problemas locales, exigiendo la intervención externa.
<b>Técnica</b>	La ausencia de infraestructura adecuada para soportar el impacto de las amenazas.	Ausencia de estructuras sismo-resistentes en zonas propensas a terremotos.
<b>Ideológica</b>	La concepción del mundo, del medio ambiente y del papel del propio ser humano.	Creencias religiosas y mitológicas, fatalismo o pasividad ante las causas naturales y sociales.
<b>Cultural</b>	Las características particulares de la sociedad que conforman la identidad nacional. La influencia masiva de los medios de comunicación en la conformación de estereotipos.	La influencia de los medios de comunicación masivos sobre la personalidad y modelos de vida de los individuos.
<b>Educativa</b>	La falta de conocimientos locales y regionales para reducir la vulnerabilidad.	Deficiencia de programas educativos sobre el medio ambiente y el entorno natural. Falta de conocimientos de qué hacer en caso de desastre.
<b>Ecológica</b>	El inadecuado uso de los recursos e inapropiada convivencia con el medio ambiente.	Explotación desmedida de los recursos, destrucción de ecosistemas.
<b>Institucional</b>	El complejo burocrático de una sociedad.	Corrupción y falta de credibilidad en las instancias gubernamentales.

### **b) Amenaza**

El concepto ha sido modificado a través del tiempo, en 1979 la Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en Desastres (*UNDRO* por sus siglas en inglés) en conjunto con la *UNESCO* convocó la reunión de expertos con el fin de unificar las distintas definiciones sobre el término. Dentro de las primeras se incluyó el concepto (Maskrey, 1993): “Amenaza peligro (*hazard*) como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en determinado sitio”.

Para el año 2009 la *UNISDR*, consideró pertinente crear la terminología encaminada a la comprensión y reducción del riesgo de desastre. En 2017 la terminología fue actualizada bajo los nuevos parámetros a nivel mundial. De esta manera, la amenaza (*hazard*) es definida como: “Un proceso, fenómeno o actividad humana que puede causar muertes, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a los bienes, disrupciones sociales y económicas o daños ambientales” (UNISDR, 2017).

La clasificación que desarrollaron agrupa a las amenazas por el tipo de origen; natural, antropogénico o socionatural. Las amenazas naturales que están asociadas a procesos y fenómenos naturales. Las amenazas antropógenas o de origen humano, son las inducidas de manera parcial o total por actividades y decisiones humanas. Las amenazas socionaturales, ocurren de la asociación o combinación de factores naturales y antropogénicos, como la degradación ambiental y el cambio climático. A su vez, se dividen principalmente en (UNISDR, 2017) biológicas, geológicas, hidrometeorológicas y tecnológicas (Tabla 1.2).

Tipos de amenazas	Origen	Ejemplos
<b>Biológicas</b>	Microorganismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas que se transportan por vectores biológicos.	Brotos de enfermedades, Epidemias y Plagas
<b>Geológicas o Geofísicas</b>	Procesos internos y externos terrestres	Actividades y emisiones volcánicas, Terremotos y Procesos de remoción en masa
<b>Hidrometeorológicas</b>	Procesos o fenómenos de orden atmosférico, hidrológico u oceanográfico.	Ciclones tropicales, Granizadas, Tornados, Tormentas de nieve e inundaciones
<b>Tecnológicas</b>	Condiciones tecnológicas o industriales como: accidentes, procedimientos peligrosos, fallas en la infraestructura. Actividades humanas de extracción y transformación de recursos naturales.	Contaminación industrial, Radiación nuclear, Desechos tóxicos, Ruptura de presas, Accidentes de transporte y Explosiones de fábricas.

**Tabla 1.2** Tipos de amenazas, elaborado con base en UNISDR (2017).

La *UNISDR* (2017) puntualiza que, las amenazas del tipo ambiental, pueden incluir amenazas químicas, naturales y biológicas. Pueden ser creadas por la degradación ambiental o por la contaminación física o química del aire, el agua y el suelo. Sin embargo, aspectos como la degradación del suelo, la deforestación, pérdida de diversidad biológica, entre otros, pueden considerarse como factores impulsores de amenazas y riesgos más que amenazas puntuales (UNISDR, 2017).

### c) **Exposición**

Se entiende por exposición o grado de exposición, la situación en que se encuentran las personas, infraestructuras, viviendas, las capacidades de producción y otros activos humanos tangibles localizados en zonas expuestas a amenazas. El término refiere aspectos como: la ubicación de la sociedad, infraestructura, producción de recursos o bienes dentro de la zona bajo la influencia de los diferentes niveles de intensidad ante algún fenómeno natural y de sus posibles efectos nocivos (UNISDR, 2017).

El grado de afectación por la intensidad de los elementos expuestos depende directamente del grado de vulnerabilidad de los mismos (Oliver-Smith *et al.*, 2016). Maskrey (1993) propone las primeras concepciones que consideran la relación nivel/socioeconómico- exposición-vulnerabilidad, donde destaca que, en los países “desarrollados” existe mayor resiliencia debido a que se tienen las condiciones económicas necesarias para superar el desastre. Sin embargo, en la actualidad, se ha reformulado con la finalidad de puntualizar que el nivel socioeconómico no refleja una menor o mayor reducción de la exposición ante condiciones potenciales de sufrir algún evento negativo.

### D) **Riesgo**

En 1979, la *UNDRO* en la reunión junto con *UNESCO* expresaron la necesidad de puntualizar términos referentes al concepto. Las especificaciones se enmarcan en la (Tabla 1.3), además la acepción muestra la ligadura entre la amenaza y vulnerabilidad de manera general.

Tipo de Riesgo	Descripción
<b>Riesgo específico</b>	Grado de pérdidas estimadas debido a la ocurrencia de un evento y la función resultante entre amenaza y la vulnerabilidad.
<b>Riesgo total</b>	Total de pérdidas humanas, heridos, daños materiales (estructurales) y económicos debido a la ocurrencia de un evento desastroso. Interacción entre el riesgo específico y los elementos o sistema bajo riesgo.

Tabla 1.3 Conceptos específicos de riesgo, elaboración propia con base en *UNDRO* (1979).

De acuerdo con Maskrey (1993), el riesgo se produce del vínculo de la probabilidad de ocurrencia de un evento de intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos o sistema expuesto. Refiere la condición latente y potencial, su grado depende de la intensidad probable de la amenaza y los niveles de exposición existente (Lavell, 1996).

El término riesgo ha sido utilizado desde diferentes disciplinas como resultado de la combinación entre la posibilidad de ocurrencia de un evento y sus consecuencias nocivas. Con frecuencia, alude y enfatiza las posibles “pérdidas” derivadas del acontecimiento no controlado (UNISDR, 2017).

### **E) Riesgo de desastre**

La acepción se refiere a las posibles pérdidas, en términos de; vida, salud, medios de sustento o bienes y servicios, que podrían ocurrir en un sistema, comunidad o sociedad particular dentro de un periodo específico de tiempo a largo plazo. En otras palabras, el término desastre es la posibilidad de que se produzcan muertes, lesiones o destrucción y daños en bienes en un sistema, sociedad o una comunidad en un periodo de tiempo definido (UNISDR, 2017).

Además, el organismo puntualiza dos principales conceptos asociados al riesgo de desastre (Tabla 1.4) (UNISDR, 2017).

Tipo de riesgo	Descripción
<b>Riesgo aceptable</b>	También conocido como riesgo tolerable, es la medida en que un riesgo de desastre se considera aceptable o tolerable, depende de las condiciones sociales, económicas, políticas y culturales, técnicas y ambientales existentes en una sociedad.
<b>Riesgo residual</b>	Refiere el riesgo de desastre que se mantiene aun cuando hay en práctica medidas eficaces para la reducción del riesgo de desastres y, respecto del cual deben mantenerse las capacidades oportunas y efectivas de respuesta ante la emergencia y recuperación.

**Tabla 1.4** Conceptos de Riesgo de desastre asociado, elaborado con base a UNISDR (2017).

Cabe destacar, se incluyen también términos como, riesgo intensivo y riesgo extensivo en función de la magnitud y escala donde ocurren (Tabla 1.5).

Tipo de Riesgo	Descripción	Ejemplos	Magnitud	Escala
<b>Riesgo intensivo</b>	Exposición de ciudades o actividades económicas con respecto a la ocurrencia de alguna <b>amenaza intensa</b> . Generalmente hay alta concentración de población con alto nivel de vulnerabilidad.	Sismos Inundaciones Erupciones volcánicas.	Impactos potencialmente catastróficos de desastres.	Grandes ciudades
<b>Riesgo extensivo</b>	Sucede en poblaciones rurales, con exposición a <b>amenazas persistentes y bien localizadas</b> . Conducen a un impacto acumulativo y debilitante de los impulsores subyacentes del riesgo aunado a una mala gobernanza.	Degradación ambiental y social. Desigualdad económica. Desarrollo urbano mal planificado y gestionado	Impactos potenciales, acumulativos y debilitantes.	Población rural dispersa o poco aglomerada.

**Tabla 1.5** Tipos de riesgo de desastre, elaboración propia con base en Lavell (2003) y Oliver-Smith *et al.* (2016).

## F) Desastre

La conceptualización mayormente usada sobre los desastres denota las consecuencias que se materializan en la sociedad antes que señalar los factores que ocasionan las pérdidas (humanas, económicas, de vivienda, etc.). Los eventos de desastre se manifiestan en la sociedad (a través del continuo espacio-tiempo) al afectar una comunidad y provocar pérdidas humanas, ambientales y estructurales, que impiden el correcto funcionamiento de las sociedades o sistemas (Wilches-Chaux, 1993).

De acuerdo con Alcántara-Ayala (2002), múltiples definiciones del concepto han enfatizado el carácter de este término, además de la continua evolución en el tiempo con la finalidad de contextualizar los eventos y la repercusión en la sociedad. Como se ha mencionado anteriormente, en la década de los 60's los desastres eran concebidos como "eventos incontrolables", donde la sociedad o sistema corre peligro y, se interrumpe parcial o totalmente los elementos que articulan las funciones esenciales de la sociedad (Fritz, 1961).

En la misma línea, los desastres han sido percibidos como resultado de la ocurrencia de un evento natural extraordinario con efectos devastadores sobre un sistema, población o sociedad. Lo anterior, deja de lado el estudio complementario sobre la exposición, la vulnerabilidad (física, social, económica, política y cultural) que define la construcción social del riesgo (Figura 1.2) y por ende, al desastre (Oliver-Smith *et al.*, 2016).



**Figura 1.2** De la construcción social del riesgo a la producción social del desastre, Tomado de Oliver-Smith (*et al.*, 2016).

La Figura 1.2 hace referencia a la construcción social del riesgo y la producción social del desastre. La base señala la dinámica existente entre; la exposición (E), la amenaza (A) que puede tener origen natural, socio-natural o tecnológica y la vulnerabilidad (V), que resultan en riesgo de desastre (RD).

Según Oliver-Smith *et al.*, (2016) la Investigación Forense de Desastres (*FORIN*, por sus siglas en Inglés) plantea la ocurrencia de desastres como expresiones de procesos sociales, económicos, políticos y culturales que se relaciona al desarrollo desigual de los asentamientos humanos alrededor del mundo.

Los daños en países en vías de desarrollo se maximizan debido a dos razones. La primera se relaciona con la localización geográfica y geológica. La segunda se relaciona con el desarrollo histórico de las sociedades: condiciones sociales, económicas y culturales no aptas, que subsecuentemente actúan como factores activos de vulnerabilidad alta (Alcántara-Ayala, 2002).

Es claro precisar que los desastres pueden ser desencadenados por la ocurrencia de amenazas naturales (socio-naturales) como sismos, erupciones volcánicas, lluvias torrenciales, inundaciones, procesos de remoción en masa, gravitatorios, etc, o fallas técnicas como incendios, explosiones o accidentes, entre otros (Oliver-Smith *et al.*, 2016). El espacio donde ocurre el desastre no solo implica el componente físico del medio porque, entonces, sería un evento natural que pasa desapercibido de la población. Precisamente, la sociedad es quien externa las consecuencias negativas de los desastres (Figura 1.3). Como se ha mencionado líneas arriba, la creación y continua revisión/modificación de los conceptos tiene como finalidad la comprensión del porqué y bajo qué condiciones suceden los desastres.



**Figura 1.3.** Inundación en el Río de la Plata Argentina, donde se observa la ocurrencia de un desastre el cual puso en evidencia la susceptibilidad de la comunidad a sufrir eventos de tal magnitud (Tomado de periódico El país, Argentina, 2013).

La ocurrencia de eventos sucede en distintas latitudes del planeta, bajo condiciones físicas como clima, relieve, geología, edafología, etc., lo que forma parte del componente abiótico del ecosistema y sobre los cuales el ser humano no tiene injerencia en la creación pero sí en la transformación y consecuencias negativas o externalidades ambientales. Por otra parte, la población (componente biótico, dinámico y diverso) participa en el impacto ambiental, cuando deciden establecer viviendas en zonas no aptas, principalmente en las laderas de las montañas lo que puede culminar en potencial desastre.

### **1.3 Procesos de remoción en masa**




A finales del siglo XX, los procesos gravitacionales o de remoción en masa, cobraron mayor relevancia a nivel mundial, debido al incremento de daños por desastres vinculados al crecimiento poblacional y asentamientos en zonas de riesgo (Lugo *et al.*, 2005).

De acuerdo con Brunsten (1979) los procesos de remoción en masa son aquellos que involucran movimiento de los materiales formadores de las laderas, bajo influencia de la gravedad (llamados de igual manera como gravitacionales) y sin la necesidad de algún agente de transporte. La susceptibilidad de las laderas deriva a partir de factores determinantes o condicionantes y de factores desencadenantes. Las laderas son definidas como parte de la superficie inclinada del terreno o como una pendiente propia de las montañas, cerros, lomas, etc., también se le conoce como vertiente o falda (CENAPRED, 2001). La ladera se vuelve inestable cuando el medio ambiente afecta su estructura, la intemperiza y erosiona (caída o deslizamiento) junto con la gravedad (*ibíd.*). De acuerdo con Alcántara-Ayala *et al.*, (2001), la inestabilidad de laderas se cataloga dentro de las amenazas más importantes para la vida y los bienes materiales a nivel mundial en la población.




Para Alcántara-Ayala (2002), el impacto ocurre principalmente en países conocidos como dependientes o subdesarrollados debido a las condiciones socioeconómicas y su alto grado de vulnerabilidad. Aunado a ello, el factor antrópico contribuye a la inestabilidad de laderas y la ocurrencia de desastres asociados a estas.

*Factores determinantes o condicionantes de inestabilidad de laderas*

Diversos factores condicionan la inestabilidad de laderas. Se conocen como **factores condicionantes o determinantes** y su papel es importante pues a lo largo del tiempo modifican los materiales formadores y la geometría de la ladera. Entre estos, los de mayor importancia son: morfología, topografía, condición de la vegetación y las características geológicas. En la Tabla 1.6 se agrupan los distintos **factores condicionantes**.

Factor	Descripción	Ejemplo
<p><b>Geología</b></p>	<p>La resistencia de los materiales como principal factor en la pérdida de estabilidad de la ladera. La resistencia se condiciona por las propiedades litológicas y estructurales. Aspectos como el tipo de roca, grado de alteración y meteorización, además de la existencia de discontinuidades (geología estructural), porosidad, permeabilidad, propiedades físicas y mecánicas (resistencia y deformación) además de estado de esfuerzo (Cuanalo <i>et al.</i>, 2011).</p>	 <p>Bloques tabulares apoyados sobre un plano inclinado, donde se puede presentar un vuelco y/o deslizamiento. Tomado de Carlos-Valerio <i>et al.</i>, (2007).</p>
<p><b>Morfología y topografía</b></p>	<p>Se considera como uno de los elementos básicos para que un lugar tenga mayor susceptibilidad a PRM. Las características morfológicas pueden indicar inestabilidad de ladera, como consecuencia del proceso evolutivo y definido de una zona. La topografía abrupta (presencia de valles profundos) relieves escarpados, entre otros, provocan mayor inestabilidad sobre laderas con mayor pendiente. La forma de la vertiente incidirá en procesos como deslizamientos ya que el suelo elimina excesos de agua que recibe, por lo cual, las superficies cóncavas no podrán quitar dichos excesos por escurrimiento superficial (Cuanalo <i>et al.</i>, 2011).</p>	 <p>Deslizamiento traslacional planar, Huesca, España. Tomado de Geología. Org (2014).</p>
<p><b>Vegetación</b></p>	<p>La cobertura vegetal es de suma importancia para los procesos de inestabilidad, ya que se encuentra ligado a la capacidad de retención de agua en una ladera, en tanto mayor presencia de cobertura, el suelo tendrá mayor capacidad de acumular grandes cantidades de agua (Cuanalo <i>et al.</i>, 2011).</p> <p>Es de vital importancia evitar la deforestación porque pueden perderse aspectos que reducen de manera natural la inestabilidad; las raíces como elementos que mantienen unidas las partículas de suelo, interceptación de precipitación pluvial, evapotranspiración y la compactación de estratos de suelo más profundos.</p> <p>Además de ello, presencia de grietas o fallas favorecen la inestabilidad. Aspectos como la inclinación de los árboles, infraestructura como postes o presencia de cercas pueden indicar</p>	 <p>Reptación del suelo-Allos (Alpes de Alta Provenza, Francia. Se observa la vegetación inclinada y propensa a deslizarse. Tomada de Los movimientos de la Tierra (2009).</p>




	evidencia sobre el talud debajo de una ladera (Mendoza <i>et al.</i> , 2002).	 Deslizamiento sobre la ciudad de Nova Friburgo, Río de Janeiro (Brasil), donde hubo reporte de 440 muertos. Tomado de El Universal online (2011).
<b>Erosión y socavación</b>	Distintos agentes erosivos (naturales como la causada por ríos y el oleaje) pueden generar planos de inestabilidad en las laderas. Una de las zonas que controla la estabilidad en ellas es el pie, donde sustenta todo su peso (Cuevas, 2012). Al momento de que una acción antrópica (socavación) ocurre en la zona, además de modificar la geometría, aumenta la posibilidad de ocurrencia de movimientos gravitatorios.	 Acantilado de la UE, Cerdeira, Tomado de TripAdvisor (2016).
<b>Antrópico</b>	La presencia de asentamientos humanos en zonas inestables y de riesgo ha sido uno de los principales factores inductores de la inestabilidad y también de desastres. Las modificaciones sobre el terreno ocurren debido a la falta de una adecuada planeación territorial y que se traduce en construcciones inadecuadas (excavaciones para construcción de presas y caminos, incendios forestales no controlados, la minería y la deforestación) impactan de manera negativa en las laderas (Cuanalo <i>et al.</i> , 2011).	 Ubicado a 402,57 metros de altura sobre el río Baluarte, en el límite de los estados de Durango y Sinaloa. El puente tiene una longitud de 1124 metros, un ancho de 20 metros y un vano de 520 metros. Tomado de IDM (2013).

**Tabla 1.6** Factores determinantes o condicionantes de inestabilidad de laderas. Elaboración propia.

### *Factores desencadenantes de inestabilidad de laderas*

Por otra parte, existen factores que provocan la pérdida inmediata de estabilidad en la ladera. Dentro de los más importantes se encuentran: la precipitación, la sismicidad, actividad volcánica así como diversas acciones antrópicas (Tabla 1.7).

<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo</b>
<b>Precipitación</b>	De acuerdo con Alcántara-Ayala (2004), un alto porcentaje de eventos de desastre asociados a procesos de remoción en masa (deslizamientos) han tenido como factor detonante la precipitación en diversos lugares de México. Por su parte, Cuanalo <i>et al.</i> , (2011), refiere aspectos como intensidad, duración y distribución de la lluvia y las consecuencias que impactan en los materiales (disolución y rotura de capilaridad), además de influir de manera directa en otros factores como la meteorización y el nivel de agua subterránea.	 Deslizamiento entre los barrios La Avanzada y Galán, Manizales, Guatemala, tomada de La Patria (2013).

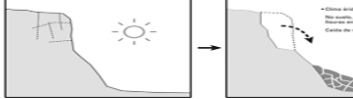
<p><b>Sismicidad</b></p>	<p>El movimiento de las placas tectónicas genera como consecuencia los movimientos telúricos en la superficie de la tierra. De acuerdo con Cuanalo <i>et al.</i>, (2011), las vibraciones de los sismos modifican la dinámica interna del terreno y pueden ocasionar movimientos gravitatorios (deslizamientos, caídos de roca, flujos, entre algunos otros.), además de considerar la magnitud del sismo y la distancia del epicentro del mismo.</p>	 <p><b>Deslizamiento de tierra causado por un terremoto de magnitud 6.7 en la isla Hokkaido, Japón. Al menos 7 personas perdieron la vida y varias casas quedaron sepultadas. Tomado de France 24 (2018).</b></p>
<p><b>Actividad volcánica</b></p>	<p>Ante la ocurrencia de un evento volcánico es necesario tener en cuenta la posible ligadura de eventos asociados a las laderas del volcán; éstas pueden perder estabilidad ante la continua actividad, los materiales que conforman las laderas son materiales inestables (suelos y poco consolidados) lo que provoca se movilicen de manera muy rápida casi instantánea (Alcántara-Ayala, 2010). Para Mendoza <i>et al.</i>, (2012), los lahares (flujos de detritos) se generan de manera rápida y el movimiento es continuo lo que puede representar una amenaza importante para las poblaciones que se asientan a la periferia de algún volcán o montaña.</p>	 <p><b>Lahar descendente del Volcán de Fuego, Guatemala, ante la actividad volcánica y las continuas precipitaciones. Tomado de CONRED (2018).</b></p>

**Tabla 1.7** Factores desencadenantes de inestabilidad de laderas. Elaboración propia.

### Tipos de movimientos

Los procesos de remoción en masa se han clasificado de distintas maneras, con base principalmente, en los atributos morfológicos de los movimientos, ya sea en el área de ruptura o de depósito, velocidad y el tipo de movimiento, así como el tamaño y el material involucrado (Tabla 1.8). De acuerdo con Alcántara–Ayala (2000), la clasificación con mayor aceptación a nivel mundial describe el mecanismo de movimiento y se dividen en:

- A. Caídas o derrumbes
- B. Vuelcos o desplomes
- C. Deslizamientos
- D. Flujos
- E. Expansiones laterales
- F. Movimientos complejos

Representación Gráfica (Tipo de Movimiento)	Descripción y Subtipo
 <p><b>Caídas de roca o Rockfall</b></p>	<p>Estos movimientos se caracterizan por el desprendimiento del material en zonas con pendientes abruptas y acantiladas que genera la caída libre del material (rocas, detritos o suelo). La velocidad de estos va de rápida a extremadamente rápida.</p>


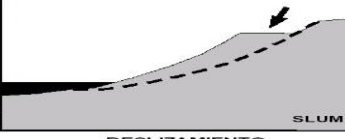

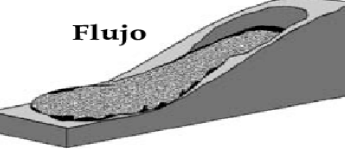
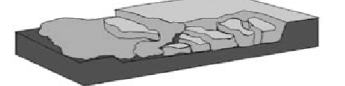
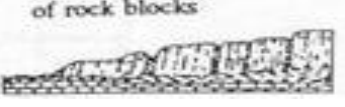

 <p><b>Vuelcos o desplomes</b></p>	<p>El movimiento consiste en la rotación de una masa de suelo o roca con base en un eje o pivote. La mecánica dirige el bloque hacia la parte externa lo que genera la inclinación del material. Se presenta con mayor frecuencia en superficies con discontinuidades como diaclasas, grietas de tensión o superficies columnares.</p>
 <p><b>DESLIZAMIENTO</b></p>  <p><b>DESLIZAMIENTO Y CAIDA DE DETRITO</b></p>	<p>Los deslizamientos son un movimiento de masa de material rocoso y suelo, delimitado por una o varias superficies planas o cóncavas sobre las que desliza el material desprendido. Debido a la forma de la superficie de ruptura del deslizamiento se pueden clasificar como: <b>rotacionales</b> y <b>traslacionales</b>.</p> <p><b>Rotacionales:</b> La superficie principal del deslizamiento es cóncava, en otras palabras, la superficie central es ligeramente más hundida que en los bordes, lo que genera un movimiento rotacional de material. La velocidad es variable y está en función de la inclinación de su escarpe y la deformación del mismo. Este tipo ocurre mayormente en suelos arcillosos blandos así como en formaciones de rocas blandas.</p> <p><b>Traslacionales:</b> La masa de roca o suelo desprendida se desplaza hacia abajo sobre una superficie relativamente plana, con escaso movimiento rotacional o de volteo. La profundidad es poca a comparación con los rotacionales. El movimiento está determinado por la superficie de debilidad en formaciones rocosas así como planos de estratificación.</p>
 <p><b>Flujo</b></p>	<p>Son movimientos continuos espacialmente, ocurren sobre la superficie de cizalla son de corta duración. El movimiento simula a un fluido viscoso, por tal motivo la velocidad es variable (muy rápido a muy lentos). Estos involucran todo tipo de materiales que encuentren a su paso.</p> <p><b>Flujo de lodo:</b> la masa del suelo, principalmente arena, limo y arcilla, se saturan de agua y fluyen ladera abajo con un movimiento rápido.</p> <p><b>Flujos o avalancha de suelos y roca:</b> La masa resultante desprendida contiene partículas sueltas, fragmentos de rocas, agua, vegetación que simula un fluido ladera abajo, comúnmente se conocen como flujos de escombros</p>
 <p><b>Expansión lateral</b></p>	<p>Son el resultado del proceso de licuefacción del suelo (fragmentación y expansión de suelos compactos). Se presentan en materiales de composición arenosa y limosa con poca consolidación y saturado, debido a que las vibraciones del suelo a causa de un sismo, se comportan como fluido. El movimiento de la masa es rápido y puede durar varios minutos.</p>
 <p>lateral spread of rock blocks</p>  <p>lateral spread of earth</p>	<p>Su nombre se adjudica por la transformación de un primer movimiento a otro durante su ocurrencia y desplazamiento ladera abajo. Entre los más comunes se encuentran los aludes o avalanchas de roca y los flujos deslizantes.</p>

Tabla 1.8 Tipos de movimientos de remoción en masa (Elaboración propia con base en WP/CLI, Citado por Alcántara-Ayala, 2000).

### 1.4 Desastres asociados a procesos de remoción en masa

Hablar de los desastres implica mencionar dos componentes (bióticos y abióticos) continuamente interrelacionados en el medio ambiente o el espacio geográfico, modificándolo en menor o mayor medida. Las transformaciones ocurren por medio de la parte social o humana, quien acorde con las necesidades básicas de subsistencia, modifica el ambiente para poder vivir, alimentarse, trabajar, recrearse, entre otros aspectos.

La sociedad mediante el aprovechamiento de sus recursos naturales crea condiciones de comodidad (vivienda, servicios, empleo, educación, etc.), pero no todos pueden acceder a ellas. La principal causa, el desarrollo económico desigual (brecha económica), es lo que delimita zonas para desarrollo (agrícola, comercial, habitacional, etc.) que, además de crear espacios con características demográficas específicas mediante el cambio de uso de suelo y segrega a las personas que para establecerse optan por sitios no regularizados (lo que aumenta la condición de exposición y vulnerabilidad). Al hablar de la construcción social del riesgo, debemos tener en cuenta la susceptibilidad de los grupos humanos ante su entorno inmediato y a partir de ello generar conciencia de la situación en la que se encuentran y el peligro latente de sufrir un evento de desastre.

### *Desastres a nivel mundial*

A continuación, se analizan algunos casos de desastre a nivel mundial y posteriormente en México respecto a los PRM y la construcción del riesgo (Tabla 1.9)

Lugar		Proceso
Villatina, Colombia		Deslizamiento (flujo)
Shiao Lin, Taiwan		Deslizamiento (flujo)
Villa Sta Lucía, Chile		Complejo (caída de rocas-deslizamiento)
México	Río Juan de Grijalva, Chiapas.	Deslizamiento-inundación
	Cerro Tortuguero, Tabasco.	Caída de rocas- deslizamiento
Teziutlán, Puebla	La Aurora	Complejo (deslizamiento-flujo)
	Fraccionamiento Siete sabios	
	Privada de los Portales	Deslizamientos
	Privada de los Sauces	

**Tabla 1.9** Desastres por PRM a nivel mundial, en México y en Teziutlán, Puebla. Elaboración propia.

#### a) El deslizamiento del barrio Villatina (Colombia) 1987

El 27 de septiembre de 1987, a las laderas del Cerro Pan de Azúcar, barrio de Villatina de Medellín ocurrió un proceso de remoción en masa (alud) durante el cual perecieron cerca de 500 personas y más de 100 viviendas fueron destruidas. Catalogado como uno de los 10 desastres urbanos más importantes en el mundo. La población damnificada se calcula en cerca de 2,400 personas (Coupé *et al.*, 2007).

La mayoría de los encabezados y fuentes periodísticas generaron títulos con alusión a la “tragedia, destrucción, catástrofe”, etc., ocurrido en el sitio. Sin embargo, la

construcción del desastre en esta zona parece indicar que, una vez más, dar por hecho que la naturaleza actuó de manera incontrolada sobre la población se vuelve errado.

Coupé (2007) menciona que, la construcción del riesgo en el barrio se asocia desde su creación en los años 40's (barrio pirata), donde el bajo crecimiento demográfico y el propio relieve del terreno no eran aptos para que la población se desarrollara de manera apta. Fue hasta los años 70's, donde procesos sociales como la urbanización, industrialización, aumento demográfico por migraciones que la población comienza a crecer y expandirse en zonas de riesgo (laderas pronunciadas).

Para el año 1985, la zona era catalogada como "Zona de alto riesgo", pero, los habitantes de la colonia tuvieron dificultades socioeconómicas que les impedían vivir en zonas estables (Coupé *et al.*, 2007). Por otra parte, en versiones de los propios habitantes y con base en notas periodísticas, en el lugar habían ocurrido pequeños deslizamientos e identificado grietas y presencia de humedad. No obstante, dos años después se presentó la tragedia con las consecuencias que se han mencionado.



Figura 1.4 Plano descriptivo sobre el deslizamiento sobre el barrio de Villatina, tomado de Coupé *et al.* (2007.)

Como se observa en la Figura 1.4, el volumen desplazado de tierra se calculó en 30.000 m<sup>3</sup>, a lo largo de 550 mts donde se encontraba el barrio Villatina. Cabe mencionar que, diversos estudios geológicos, no consideraban en zona de peligro el barrio. Posteriormente diversos expertos consideraron factores como las precipitaciones, el suelo poco consolidado (dunita) y con agrietamientos como indicios a considerar para que el proceso tuviera lugar (Flores, 2007).

Según Mendoza-López *et al.*, (2002), existe relación entre la inestabilidad de laderas y la intensidad de la lluvia. Los deslizamientos, mayormente, son inducidos por

lluvias cortas de alta intensidad, y los procesos de remoción en masa ocurren al mismo tiempo de la lluvia.

Posterior al desastre, las políticas sobre crecimiento urbano se vieron forzadas a redefinirse y por ende tomar en cuenta medidas para la reducción y mitigación de los desastres. Del mismo modo, para evitar el aumento en la vulnerabilidad y exposición de los asentamientos informales es necesario regularlos dentro de la planificación urbana y el desarrollo territorial.

El proceso de reubicación forma parte de las medidas para evitar eventos de desastre en la población, sin embargo, en el imaginario colectivo de las personas reubicadas, el concepto de riesgo sigue siendo latente. Lo anterior se reafirma en la imagen (Figura 1.5) donde se observa construcciones en la zona donde ocurrió el desastre, además de evidenciar aspectos como la susceptibilidad y vulnerabilidad como consecuencia de la falta de ordenamiento territorial.



**Figura 1.5** Asentamientos en Villatina, 20 años después del desastre. En la imagen se observa que la población residente continua susceptible y con vulnerabilidad ante nuevos eventos de desastre. Tomada de García (2007).

#### b) Alud de Lodo en la aldea Shiao lin (Taiwán) 2009.

El día 11 de agosto de 2009 la localidad al sur de Taiwán (Shiao lin) quedó completamente destruida y con alrededor de 400 personas desaparecidas (Figura1.6), ante ello, la zona fue declarada como zona de emergencia ante el desastre “natural” por parte de las autoridades.

Las primeras causas asociadas al desastre, se adjudican a las fuertes precipitaciones (2 m de lluvia) que dejó a su paso el tifón “*Morakot*”. Las lluvias saturaron y reblandecieron el suelo lo que provocó el deslizamiento de tierra sobre la aldea mencionada, además hubo inundaciones que hacían imperceptible el mar de la parte interior de la costa.

Entre las pérdidas más importantes, se encuentra la producción agrícola de la zona, principal actividad económica, por más de 345 millones de dólares. Las afectaciones en vías de comunicación como carreteras, escuelas y casas sucedieron principalmente en la zona sur del país a causa de los derrumbes y de las inundaciones. Es preciso señalar que dentro del área, había zonas marginales y con evidencia de población vulnerable y bajo riesgo por las condiciones de relieve, a pesar de ello, no se tenía un plan de acción concreto por parte de las autoridades.



**Figura 1.6** Deslizamiento en la aldea Shiao lin, Taiwán, tomada de La Nación (2009).

Los encabezados de algunos periódicos, hacen mención a la naturaleza como la culpable de la “catástrofe” y los desastres ocurridos, “... una parte de la montaña se desprendió y aplastó al pueblo” (La Nación, 2009). Evidentemente no se considera que, la población se encontraba expuesta y, como en el caso anterior, las localidades rurales o urbanas, semiurbanas y en proceso de urbanización se encuentran en crecimiento dispar y porque el uso del suelo es accesible para compra/venta/renta del mismo aunque carezca de regularidad por parte de las instancias gubernamentales.

Los protocolos de evacuación resultaron en aproximadamente un millón de habitantes desalojados de zonas de riesgo. A consecuencia de la vulnerabilidad y la exposición al impacto del Tifón, 22 personas más perdieron la vida en Filipinas.

Cabe mencionar que comúnmente ante la continua ocurrencia de las amenazas, los protocolos de emergencia y, en general para mitigar los desastres, son inoperantes en la población puesto que, no son los óptimos al carecer de bases conceptuales/argumentales y de información consolidada respecto al tema de la protección civil.

Aunado a ello, la falta de planeación y ordenamiento territorial se vuelven aspectos acumulativos (coincidente con el concepto de riesgo extensivo), donde la falta de capacidad de gobierno, falta de ordenamiento y demás factores, debilitan el propio sistema social y natural; de la misma manera no se han hecho cambios significativos para poder evitar los eventos de desastre.

c) Deslizamiento en Villa Santa Lucia, (Chile) 2017

La mañana del 16 de diciembre de 2017 se presentó un proceso de remoción en masa en la localidad Villa Santa Lucia, que pertenece a la comuna de Chaitén, Chile (Figura 1.6 y 1.7). De acuerdo con el Servicio Nacional de Geología y Minería SERNAGEOMIN (2017), el proceso comenzó con la caída de una pared de roca que se deslizó sobre un glaciar (cubierto) en retroceso, lo que permitió la formación de un flujo que se desplazó hacia los puntos bajos del terreno con velocidad promedio de 72 km/hr.



**Figura 1.6.** Imagen satelital del proceso y su recorrido hasta llegar a Santa Lucia, tomado de SERNAGEOMIN (2017).

Algunas características del flujo se presentan a continuación (SERNAOGEMIN, 2017):

- Precipitaciones desencadenantes: 122 mm en 24 hrs.
- Remoción en masa tipo deslizamiento con flujo de detritos y lodo asociado.



- Volumen movilizado. 7.200.000 m<sup>3</sup>.
- Volumen depositado (VSL): 2.000.000 m<sup>3</sup>.
- Área afectada: 536 hectáreas.
- Longitud: 10 km.

El evento causó afectación en la vegetación, puesto que el flujo arrasó todo aquello a su paso hasta llegar a la localidad donde perdieron la vida 21 personas y un par más quedaron desaparecidos. Ante ello, la zona fue declarada como “Zona de desastre natural” por parte de la presidenta Michel Bachelet.

En las Figuras 1.6 y 1.7, se puede observar que en la parte alta donde ocurrió el deslizamiento ya se había delimitado una zona con presencia de remoción en masa anterior al año del desastre. Es evidente, la falta de aplicación de programas preventivos o de mitigación de riesgo en la zona y su periferia.



**Figura 1.7.** Fotografía aérea sobre el área del deslizamiento en la parte inicial, tomada de SERNAGEOMIN (2017).

La localidad se ubica en una zona relativamente alejada de las laderas y donde el relieve es plano. No obstante, la presencia de un proceso de remoción en masa complejo; reflejó la exposición que tienen las comunidades asentadas en la parte baja del terreno ante las inundaciones. La mala ubicación de asentamientos rurales o urbanos, contribuyó de manera importante en la ocurrencia del desastre del día 16 de septiembre. A pesar de que dichas localidades son provistas de servicios como alumbrado público, agua entubada y pavimentación de calles, es una de las tantas localidades que crecen por la falta de información y de regulación de predios.

Por otra parte, los procesos de remoción en masa no son los únicos peligros o amenazas en la localidad de Villa Santa Lucía y los alrededores. El riesgo de inundaciones es constante debido a la presencia del cauce del Río Frío que pasa por la zona. Protección civil y el SEONAGERMIN contemplan pertinente la evacuación de las personas cuando la precipitación sobrepase los 100 mm en 24 hrs, ya que puede afectar el nivel natural del río y provocar inundaciones en los poblados contiguos.

Cabe destacar que en los ejemplos revisados a nivel mundial, la ocurrencia de desastres se liga continuamente a una falta de planeación y ordenamiento territorial (zonas de crecimiento urbano y de reubicaciones por desastre o por desarrollo), falta de medidas preventivas, así como la escasa información proporcionada a los habitantes de zonas en riesgo. Así mismo, cabe mencionar la importancia que tiene, dentro de la planificación urbana y territorial, estipular zonas aptas para asentamiento de comunidades y las que no lo son, a partir de argumentos centrados en conceptos clave para evitar o en su defecto mitigar los desastres.

### *Desastres en México*

Debido a las condiciones geográficas del territorio tales como ubicación, clima, hidrografía, etc., relieve diverso (geo formas, topo formas, geología, etc.), la ocurrencia de amenazas es frecuente. La poca atención que se brinda al momento de evaluar zonas donde hay comunidades vulnerables expuestas al impacto de las amenazas, representa un sesgo importante al momento de referir el tema de la prevención. Para hablar de reducción de riesgo de desastre resulta importante mencionar la calidad de información que se presenta a las comunidades por parte de las autoridades gubernamentales.

Es pertinente resaltar que, en las distintas instituciones y dependencias del gobierno, debe existir una homologación en cuanto a la terminología de los riesgos; pues instituciones como el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) parten de conceptos base (como la vulnerabilidad), más el contexto en que son usados y aplicados difiere de lo que, ejemplo el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) concibe como población vulnerable mediante un indicador y el involucramiento de las comunidades y procesos de remoción en masa. Esto se explica con mayor detalle en el capítulo 2.

Algunos de los eventos más importantes de desastres asociados a PRM en México se mencionan a continuación.

a) Deslizamiento en Río Juan de Grijalva, Chiapas

El deslizamiento ocurrió el día 4 de noviembre del 2007 después de las 20 hrs (Figura 1.8). El volumen desplazado fue de aproximadamente 50.000 m<sup>3</sup> de tierra, mismos que obstruyeron de manera inmediata el cauce del Río Grijalva lo que provocó una ola gigante de aproximadamente 50 m. de alto que destruyó varias viviendas de la localidad del mismo nombre (Figura 1.7). Las pérdidas humanas fueron 19 y 6 más en condición de desaparecidos (Morales, 2008).

De acuerdo con Morales (2008), dicho proceso fue desencadenado por las fuertes lluvias que se presentaron en la zona. Al momento de ser depositado el material, se formó de manera natural una presa que obstruyó el paso del agua y, por ello, las consecuencias fueron devastadoras para la población debido al área que afectó y la magnitud del proceso de remoción en masa.



**Figura 1.8** Deslizamiento en el Río Grijalva, tomado de Morales (2008).

Diversos estudios realizados con Sistemas de Información Geográfica se utilizaron para obtener datos de la zona posterior al desastre. Sin embargo, es pertinente señalar la condición de vulnerabilidad en la que se encontraba la comunidad y que, al parecer, no había sido tomado en cuenta pese a los diversos factores de riesgo; entre los cuales se puede destacar, la cercanía del asentamiento con el cauce del río.

Del mismo modo el gobierno debió de haber alertado a la población sobre la condición de exposición en la que se encontraba la población del lugar, sin embargo, no se tiene registro de cartografía de riesgo para la zona.

b) Derrumbe en el cerro El Tortuguero, municipio de Macuspana, Tabasco, 2000

En junio del año 2000 se presentó un derrumbe de rocas en la cantera del cerro El Tortuguero ubicado en el municipio de Macuspana estado de Tabasco. La actividad antrópica (extractivismo) denotaba la presencia de maquinaria de la empresa que extraía roca caliza (Figura 1.9). Como resultado del derrumbe hubo afectación de dos viviendas situadas en los límites del predio de la empresa que resultaron con daño mayor. Respecto a la población, 7 personas fallecieron a causa del evento (Alcántara-Ayala *et al.*, 2001).



**Figura 1.9** Cerro El Tortuguero donde se puede observar la inestabilidad de laderas por actividades antrópicas (tomado de google images).

Este caso refleja la combinación entre, las condiciones climáticas de una zona y el impacto de las actividades antrópicas cuando se altera el medio y, las consecuencias que genera de manera ambivalente (pues hay perturbación de fauna nativa, además de depredar la flora y el relieve) en el ecosistema.

Cabe destacar que ocurrieron intensas lluvias 48 horas antes del incidente, lo que constituye un factor desencadenante en el desprendimiento de grandes porciones de roca (inestabilidad de laderas). Aunado a ello, la falta de legislación sobre la explotación de recursos y la inexistencia de protocolos (antes, durante y después) de un desastre dejó susceptible la estructura del cerro para colapsar como se observa en la Figura 1.9.

### *Desastres en Teziutlán, Puebla*

El principal evento de desastre en el municipio de Teziutlán, fue lo ocurrido en la colonia La Aurora. Posteriormente los otros dos casos se analizan como zonas potencialmente de desastre por las características que se mencionan a continuación.

#### a) El desastre en la colonia La Aurora Teziutlán, Puebla, octubre de 1999

A este evento se le considera, debido a su magnitud y por el número de decesos humanos, como “El desastre de la década” nombrado así por el mandatario Ernesto Zedillo Ponce de León (Domínguez, 2000). Las precipitaciones extraordinarias derivadas por la entrada de la depresión tropical No. 11 entre los días 1 al 7 del mes de octubre del año mencionado, desencadenaron procesos de remoción en masa además de inundaciones en los estados de Hidalgo, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Puebla (Figura 1.10) (CONAGUA, 2009 y Noriega, 2005).



**Figura 1.10** Deslizamiento en la colonia La Aurora, tomado de Alcántara-Ayala *et al*, (2001).

La Sierra Norte de Puebla fue la región que presentó mayores afectaciones, derivadas de procesos de remoción en masa e inundaciones. La población que tuvo afectaciones en su vivienda fue considerable, así mismo, los daños se extendieron a la infraestructura hidráulica, de electricidad, centros de salud y educación así como carreteras (Bitrán, 2001).

Los daños en el estado de Puebla, alcanzaron poco más de 2,300 millones de pesos; el impacto se suscitó en las áreas marginales o de mayor vulnerabilidad y exposición a fenómenos hidrometeorológicos, como las colonias ubicadas en las cercanías a la cabecera municipal de Teziutlán (Mansilla, 2010).

La afectación ocurrió en 81 municipios, de los 271 que alberga el estado de Puebla, además 263 personas perdieron la vida (Bitrán, 2001). Los municipios que presentaron mayor daño fueron 41, los de afectación media fueron 28 y en menor parte, aproximadamente 12 municipios sufrieron daños por producción ganadera y agrícola.

En la colonia Aire Libre, las constantes lluvias a inicios del mes ocasionaron el desborde del río, el cual arrasó las viviendas que se localizaban a lo largo del cuerpo de agua, lo que dejó sin hogar a las personas del lugar (Bitrán, 2001). De acuerdo con Flores (2002), otras colonias que sufrieron afectaciones fueron, Aire Libre, Xoloco, San Sebastián, La Gloria, La Aurora, colonia Juárez, Atoluca y San Juan Acateno.



**Figura 1.11** Afectaciones por deslizamiento en la colonia Francia Teziutlán en el año 1999, tomado de CENAPRED (2001).

La colonia mayormente afectada fue La Aurora, un solo deslizamiento desencadenado por las precipitaciones, ocasionó la muerte de 109 personas, además de otras víctimas por daños colaterales en otras colonias como Benito Juárez, La Gloria, Francia (Figura 1.11), Fraccionamiento Siete sabios, Campo Verde, etc. (CENAPRED, 2001).

Al igual que en los casos a nivel mundial, sigue presente el hecho de que la atemporalidad de los sucesos y sus consecuencias, no necesariamente reflejan acciones concretas que permitan mitigar los desastres. El manejo integral del riesgo implica una

combinación de medidas estructurales y no estructurales, invertir en los medios y canales de información para que la divulgación de los conceptos sea eficaz y que la población sea consciente del riesgo en que se encuentran ante alguna amenaza natural.

#### b) Fraccionamiento Siete Sabios

El fraccionamiento Siete Sabios se ubica a una distancia aproximada de 500 m (en línea recta) de la zona centro (Figura 1.12). Los habitantes del lugar consideran que pertenecen al centro más que a la colonia La Gloria. Respecto al tema de PRM, no hay estudios previos sobre este fraccionamiento y por ende no es posible conocer la temporalidad de los eventos de manera concreta.

Las personas del lugar reconocen que se localizan en zonas de riesgo y refieren que durante los eventos de 1999, parte de los deslizamientos ocurridos en la Gloria también sucedieron en predios de la ladera que ocupa el fraccionamiento. La cantidad de personas afectadas es desconocida, sin embargo, se reconoce que la mayor parte de los daños sufridos ocurrieron en las viviendas (daño estructural), y no se registraron decesos humanos.

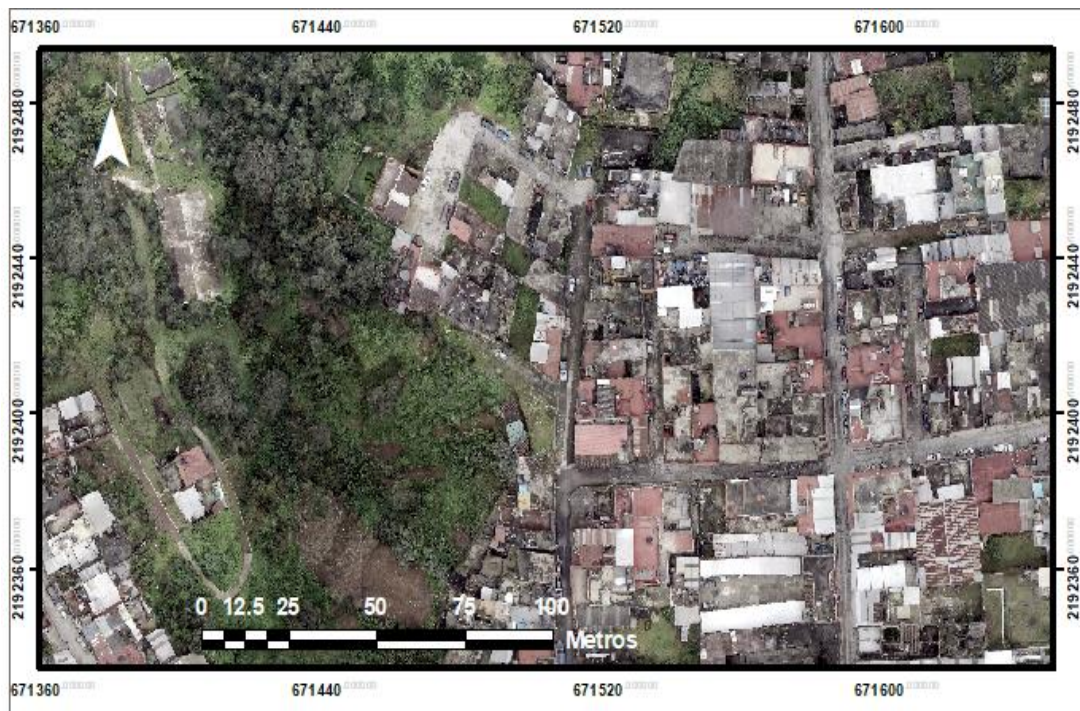


Figura 1.12 Localización del Fraccionamiento 7 Sabios. Trabajo de campo, noviembre 2018.

Durante el recorrido de campo por el fraccionamiento se observó que, aproximadamente el 95% de las casas cuenta con todos los servicios. Además,

estructuralmente hay predios con más de un nivel y también de uso de suelo mixto (negocio- vivienda) (ver resultados del formato de evaluación de viviendas), lo que denota económicamente estabilidad de su población y que, a pesar de ello, la población es vulnerable y sus viviendas se ubican en zonas de exposición a PRM.

De igual manera, con base en las observaciones, existen síntomas de inestabilidad en las calles y casas (grietas, cuarteaduras y humedad), además de deslizamientos que no afectaron de manera importante las viviendas. Respecto al protocolo de evacuación ante alguna emergencia, los habitantes mencionaron que no han tenido información oportuna sobre lo que deben hacer cuando las precipitaciones son constantes.

### c) Cerrada de Los Portales

La cerrada de Los Portales se ubica a una distancia aproximada de 600m de la zona centro. Es una zona habitacional de reciente creación (aún en construcción), se refiere no más de dos años, por lo cual tampoco existen estudios previos sobre la zona (Figura 1.13). Los habitantes consideran que pertenecen al centro por la proximidad.



Figura 1.13 Localización de la Cerrada de Portales. Trabajo de campo, noviembre 2018.



La cerrada se ubica sobre la ladera y en la parte final es posible observar la anterior ocurrencia de un deslizamiento (inactivo- relicto) que si bien está cubierto por vegetación, las condiciones del suelo parecen ser inestables y susceptibles (síntomas de inestabilidad de laderas), además que, por las condiciones que se presentan en la zona, podrían ser reactivados puesto que hay indicios de deslizamientos en el área.

La configuración que tiene el conjunto de casas parece tender a la homogeneización de éstas para albergar una población de características (económicamente) específicas. Aunque la construcción de las viviendas está a cargo de una constructora, es evidente la falta de estudios previos sobre el suelo y sobre todo de la condición de peligro, exposición y vulnerabilidad en la zona. No obstante, la obra se encuentra al 90% de su totalidad pese a las características anteriormente mencionadas.

En cuanto al tema de percepción del riesgo, los habitantes consideran el lugar como seguro (que cuenta con todos los servicios), no obstante, los problemas de humedad y filtración de agua en sus viviendas. De igual manera, los habitantes no cuentan con planes o protocolos de evacuación ante emergencias lo que los hace vulnerables en cuanto al riesgo de desastre por las características del lugar.

#### d) Privada de Los Sauces

La privada de Los Sauces se ubica aproximadamente a 1km de la zona centro, se encuentra en la periferia (Figura 1.14). Es una zona de reciente creación donde la mayor parte de las personas que habita las viviendas paga renta y llevan entre 2-3 años de residir en el lugar. Se localiza sobre la ladera y cuenta con los servicios de energía eléctrica, drenaje, agua potable, etc.

Cabe mencionar que de la zona no existen estudios previos, no obstante que su ubicación esté en una zona de alta susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. En la parte alta hay presencia de casas y, es evidente que, ante la ocurrencia de un proceso gravitacional las afectaciones serían graves, inmediatas e inevitables.

En el recorrido por las calles se observó que, 90% de las viviendas se construyeron para rentar y en pocos casos (10%) para vivienda personal. Estructuralmente, la zona denota una importante inversión para la cimentación de los hogares, pues al igual que en la Cerrada de Emilio Carranza, la gente piensa que con ello

brindan “soporte”, “estabilidad” y “mitigan” la posibilidad de sufrir un desastre (deslizamiento), lo que sesga su percepción del riesgo al no contar información puntual y cercana por parte de las autoridades de Protección Civil y el gobierno municipal.



**Figura 1.14** Localización de la Privada de los Sauces. Trabajo de campo, noviembre 2018.

De igual importancia, la falta de protocolos ante posibles eventos de riesgo para la población de la zona sigue sin ser atendida. Ante ello, el crecimiento de la población en lo que se considera el centro o cabecera municipal, propicia que las personas busquen vivir en la periferia del lugar en sitios poco seguros y con alta exposición debido a que el uso de suelo es más accesible en comparación a las demás colonias, principalmente la colonia Centro.

Los casos presentados sobre las colonias del municipio de Teziutlán, representan ejemplos de la vulnerabilidad que existe en la población local en cuanto al tema de riesgos y, las amenazas naturales que pueden terminar en desastre sino se manejan de manera adecuada. De igual forma, se vuelve necesario realizar de manera continua estudios sobre las zonas en exposición y platicas informativas para la población sobre cómo identificar los síntomas de inestabilidad de laderas en localidades que hayan presentado problemas al respecto.

## Capítulo 2 Inestabilidad de laderas en Teziutlán: Colonia La Gloria

### 2.1 Características geográficas de Teziutlán

Murillo-García y Alcántara-Ayala (2017) por medio de un estudio multitemporal sobre PRM, destacan el impacto socioeconómico en la población de Teziutlán, así como la importancia que adquirió el evento de 1999 a la actualidad para las personas residentes del lugar. El interés de haber centrado el estudio en el municipio de Teziutlán, deriva de la magnitud y cantidad de PRM que han ocurrido y ocurren en el lugar.

El municipio de Teziutlán se localiza al noreste del estado de Puebla y colinda al norte con los municipios de Hueyapan y Hueytamalco, al este con Xiutetelco y Jalacingo en Veracruz, al suroeste con Atempán y Chignautla (INAFED, 2011) (Figura 2.1).

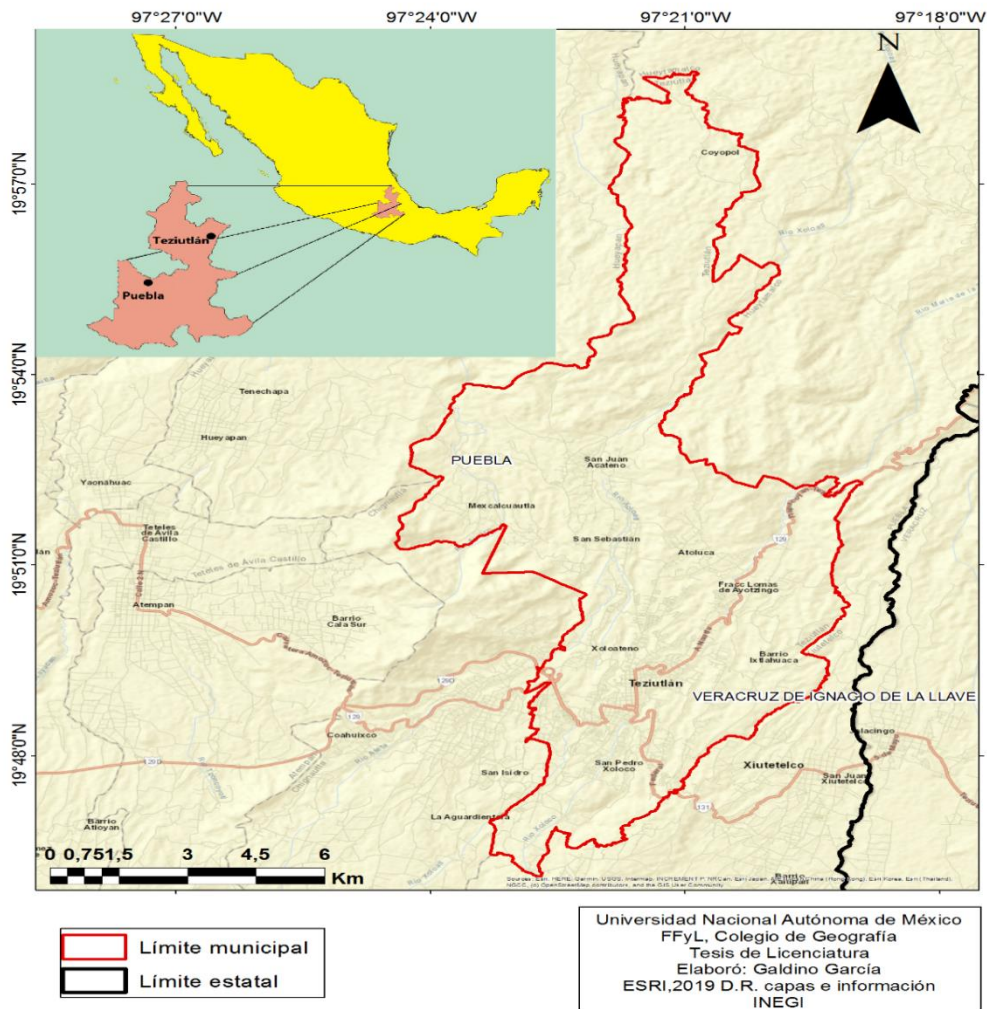


Figura 2.1. Localización del municipio de Teziutlán, elaborado con base en INEGI, 2010.

Teziutlán, se encuentra en una zona de transición de los climas templados de la Sierra Norte a los cálidos de la llanura del Golfo de México, por lo que existen tres tipos de clima a lo largo de todo el municipio (Figura 2.2) (CONABIO, 2018).

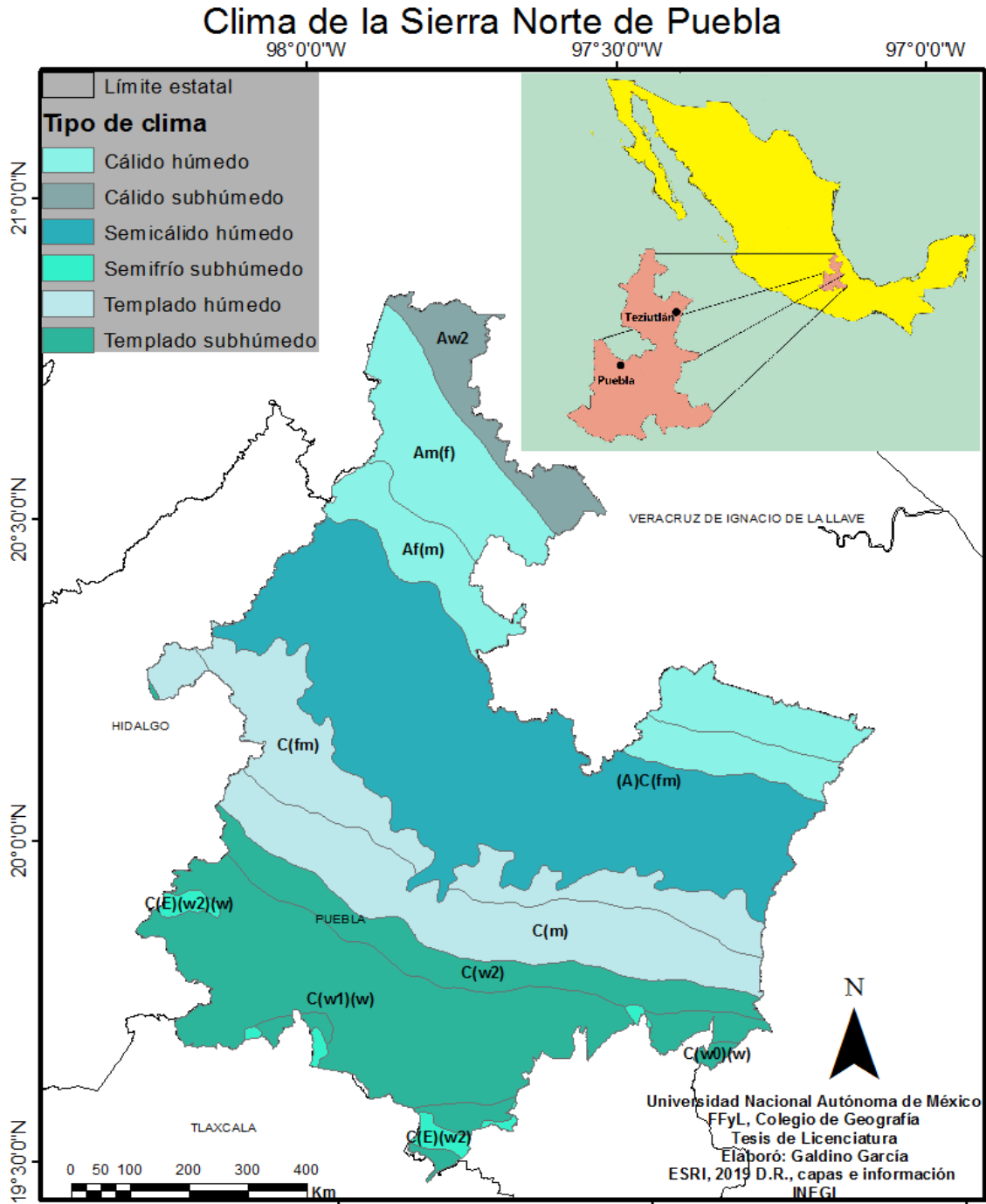


Figura 2.2 Tipos de climas en la Sierra Norte de Puebla, elaborado con base en INEGI, 2010.

Cabe destacar, que debido a la localización geográfica del estado de Puebla, además de su elevación y relieve abrupto, la mayor parte del año hay lluvias. La precipitación media anual es de 1,594 mm al año (CONAGUA, 1998). Las perturbaciones ciclónicas que se producen en el Mar de las Antillas y el Golfo de México introducen una gran cantidad de humedad en la troposfera media, manifestándose con el aumento de cantidad de lluvia en los meses de septiembre y octubre (Vidal, 2005).

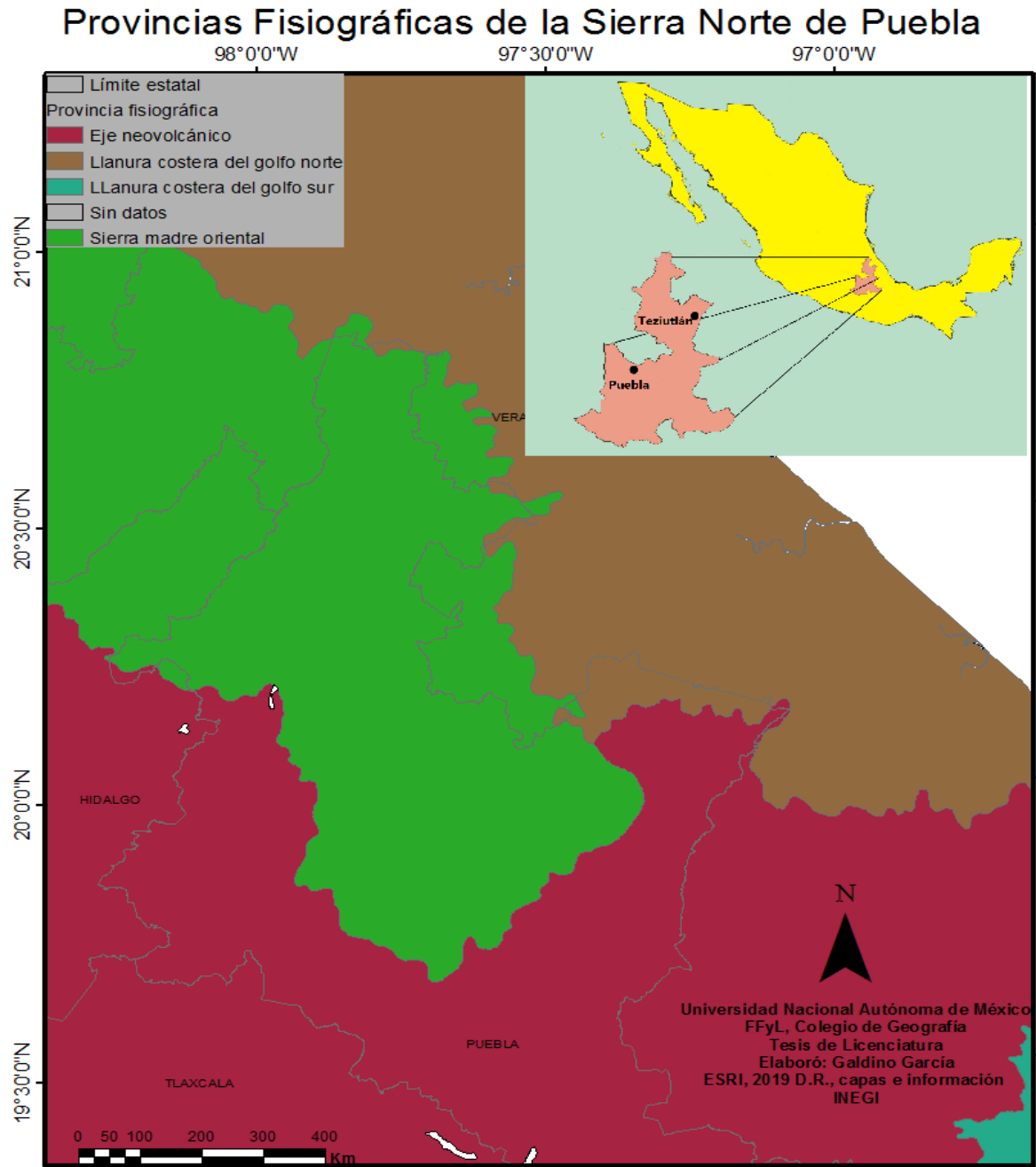
La distribución de los climas, sucede en tres porciones: al Norte, Centro y Sur. En la parte Norte el clima Semicálido húmedo con lluvias todo el año (A) C (fm) abarca la mayor parte de la zona. La porción centro con clima templado húmedo con lluvias todo el año C(fm), y en la parte Sur, clima templado húmedo con lluvias en verano C(m) cubre una pequeña porción del territorio (García, 1998).

Es pertinente resaltar este factor, debido a la relación que existe entre la ocurrencia de PRM y la cantidad de precipitación sobre el suelo. Como se mencionó en el ejemplo del Río Grijalva, la capacidad de absorción del suelo ante una fuerte y continua lluvia genera reblandecimiento y que se presenten flujos o deslizamientos de tierra. En Teziutlán, con base en la Figura 2.2 se observa que en el 80% del municipio el clima genera lluvias todo el año.

Teziutlán se sitúa dentro de la región denominada Sierra Norte de Puebla, la cual se localiza en la transición de dos provincias fisiográficas: Sierra Madre Oriental y el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) Figura 2.3 (Alcántara-Ayala, 2004). La formación del CVT es un arco volcánico que se extiende sobre el margen suroccidental de la placa Norteamericana resultado del movimiento subductivo entre las placas Rivera y Cocos a lo largo de la trinchera de Guerrero. Se encuentra al suroeste de la Sierra Norte, compuesta de depósitos volcánicos de la era Neogeno-Cuaternario sobrepuesto a las rocas mesozoicas. La provincia se extiende por 130km, desde el Océano Pacífico (desembocadura del río Grande en Bahía Balderas), con descenso al sureste (volcán Colima) continuando sobre el paralelo 19° N hasta Pico de Orizaba y Cofre de Perote en el estado de Veracruz (INEGI, 2008).

En tanto, la Sierra Madre Oriental, surge de la deformación de rocas mesozoicas y de su complejo basal que formaron plegamientos y cabalgaduras durante la Orogenia *Laramide* (Antuñano, *et al.*, 2000).

La Sierra Norte de Puebla (SNP), es la subprovincia que divide el Altiplano central de la costa del Golfo de México (pertenece a las subprovincias fisiográficas de Chiconquiaco y Lagos y volcanes de Anáhuac). Se constituye de amplias topoformas como sierras altas y lomeríos (de aluvión) escarpados con altitud variable que oscila entre 1000- 3000 msnm (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a).



**Figura 2.3** Provincias Fisiográficas del estado de Puebla, elaborado con base en INEGI, 2010.

La composición geológica del municipio es variada debido a su ubicación entre dos provincias fisiográficas, anteriormente mencionadas. La estructura incluye rocas con características de ambos conjuntos montañosos (Flores y Alcántara-Ayala, 2002).

En la parte norte se ubica la Sierra Madre Oriental, constituida por rocas sedimentarias plegadas del Mesozoico, en tanto la parte sur corresponde al Cinturón Transversal Mexicano (CVTM), influenciada por la caldera de Los Humeros, la cual se origina a finales del Plioceno (Ferriz, 1985).

Con base en el Servicio Geológico Mexicano (SGM) (2011), en Teziutlán se encuentran rocas sedimentarias y metamórficas de distintas edades como producto de la elevación de la Sierra Madre Oriental. Las rocas metamórficas más antiguas son esquistos de la formación Chilis (con 280 mda de antigüedad) (SGM, 2011).

Las rocas más antiguas que afloran en el área tuvieron origen con el depósito de sedimentos clásticos, los cuales tuvieron un metamorfismo regional de bajo grado, y es representado por esquistos, los cuales se encuentran relacionados a rocas intrusivas de composición granítica y granodiorítica (Viniestra-Osorio, 1965).

Los complejos rocosos de este tipo son susceptibles a procesos de intemperismo (debido a que es material poco consolidado, de estructura laminar y compuesta de granos finos) y se localizan en las cercanías de la comunidad de Aire Libre (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017). Sin embargo, en algunos lugares elevados del municipio se encuentran también, limonitas, areniscas y conglomerados que datan del periodo Jurásico Medio con aproximadamente 170 mda (*ibíd.*).

La formación Teziutlán dejó las rocas volcánicas de mayor edad (andesitas) con una antigüedad de aproximadamente 1.5 mda y pueden encontrarse en diversos cortes de carretera o en el fondo de los valles fluviales (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017).

En cuanto al material volcánico Cuaternario perteneciente al Cinturón Transverso Mexicano junto con la presencia de flujos piroclásticos de pómez que provienen de la Caldera de Los Humeros (situada a 18 km hacia el sur de la cabecera municipal de Teziutlán) deja el cubrimiento sobre las rocas sedimentarias y metamórficas del municipio (Flores y Alcántara-Ayala, 2002).

## Geología de Teziutlán, Puebla

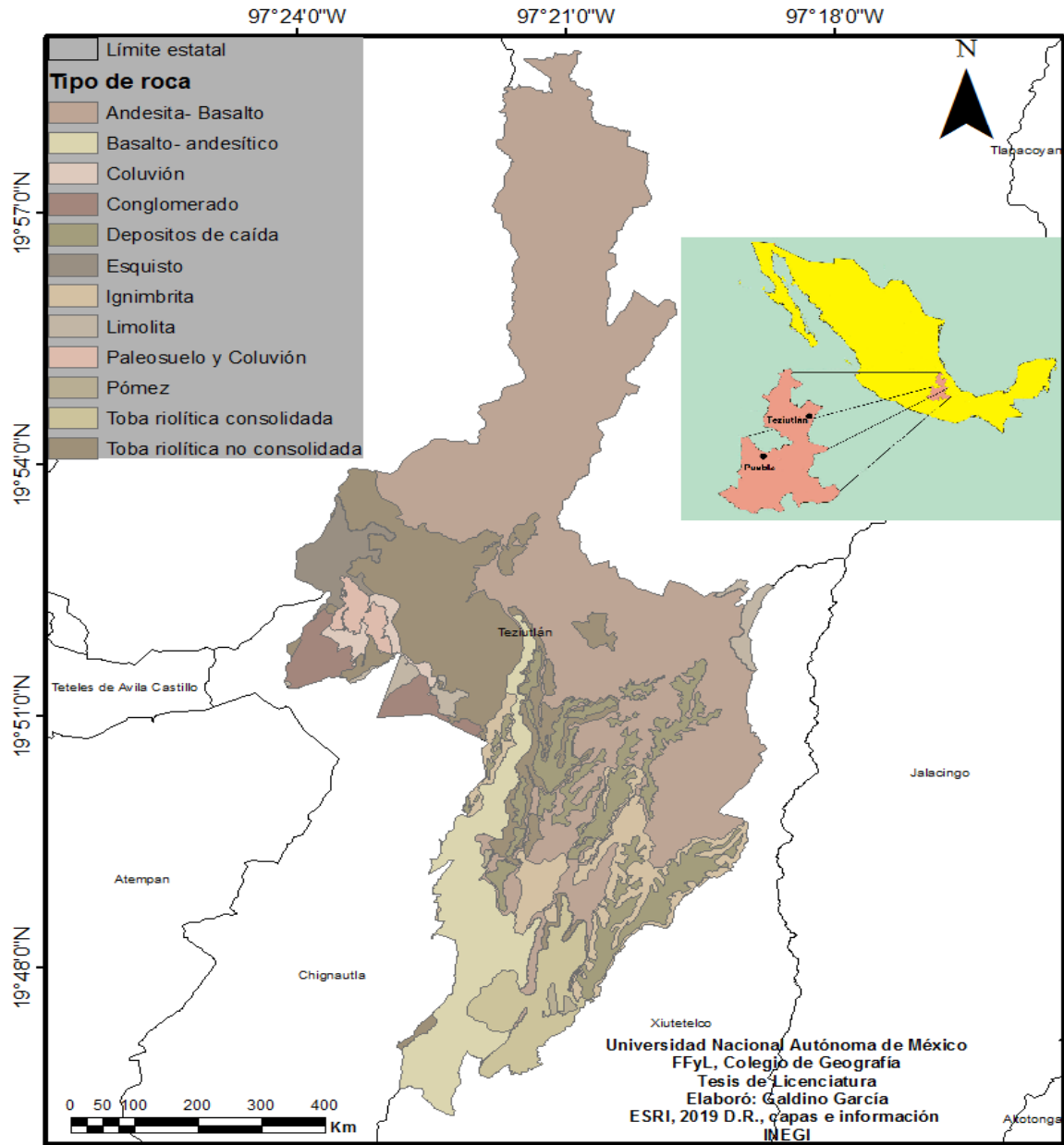


Figura 2.4 Geología de Teziutlán, elaborado con base en INEGI, 2010.

Respecto a la edafología, en la Sierra Norte se tiene identificados 13 tipos de suelo (*Acrisol*, *Andosol*, *Cambisol*, *Castañozem*, *Feozem*, *Fluvisol*, *Litosol*, *Luvisol*, *Nitosol*, *Planosol*, *Regosol*, *Rendzina* y *Vertisol*), sobresalen por la cantidad de superficie ocupada y dispersa en la región (*Regosol* al norte y al este, mientras que el *Andosol* se distribuye mayormente en las inmediaciones metropolitanas de Teziutlán) (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a).



Las condiciones debido a los factores físicos de localización (temperatura, humedad, y presencia de vegetación en las rocas) propician suelos arcillosos y limosos en todo el municipio (Suárez, 2006).

Con base en la carta de INEGI (2014) escala 1: 250,000, la distribución de suelos en el municipio de Teziutlán es la siguiente:

- **Andosoles:** es el de mayor predominancia en la región, con presencia en todo el municipio (INEGI, 2014). Son suelos con desarrollo sobre materiales piroclásticos y cenizas volcánicas. Contiene propiedades relacionadas con presencia de formas activas de aluminio (Al) y Hierro (Fe), en tanto minerales de bajo orden y con poca proporción como son: Alfano, Ferrihidrita e Imogolita (Verde, 2009). El comportamiento de estos suelos es similar al fluido y untuosos (suelo pesado) llamados también como Tixotrópicos. Dentro de sus características, es que sean fértiles, pero pueden presentar problemas de disponibilidad con el Fósforo, que se dirige hacia un mal desarrollo de la vegetación (*ibid.*).
- **Luvisoles:** son suelos con distribución en la porción norte del municipio (INEGI, 2014). Este tipo de suelo contiene un horizonte “B” árgico (quiere decir, tiene mayor contenido de arcilla que el horizonte “A”), se ubica aproximadamente a 100 cm de profundidad (respecto a la superficie). Son suelos que se desarrollan bajo ambientes húmedos y por procesos de lavado (FAO-UNESCO, 1990; FAO, 2014).
- **Regosoles:** con base en INEGI (2014) la predominancia de este tipo de suelo está al poniente del municipio. Dentro de sus características, no presenta una clara o evidente diferenciación entre sus horizontes (FAO, 2014). Debido a las propiedades flúvicas que presenta, la composición de sus materiales no están consolidados, comúnmente, se encuentran sobre pendientes o depósitos de laderas (FAO-UNESCO, 1990).

## Edafología de la Sierra Norte de Puebla

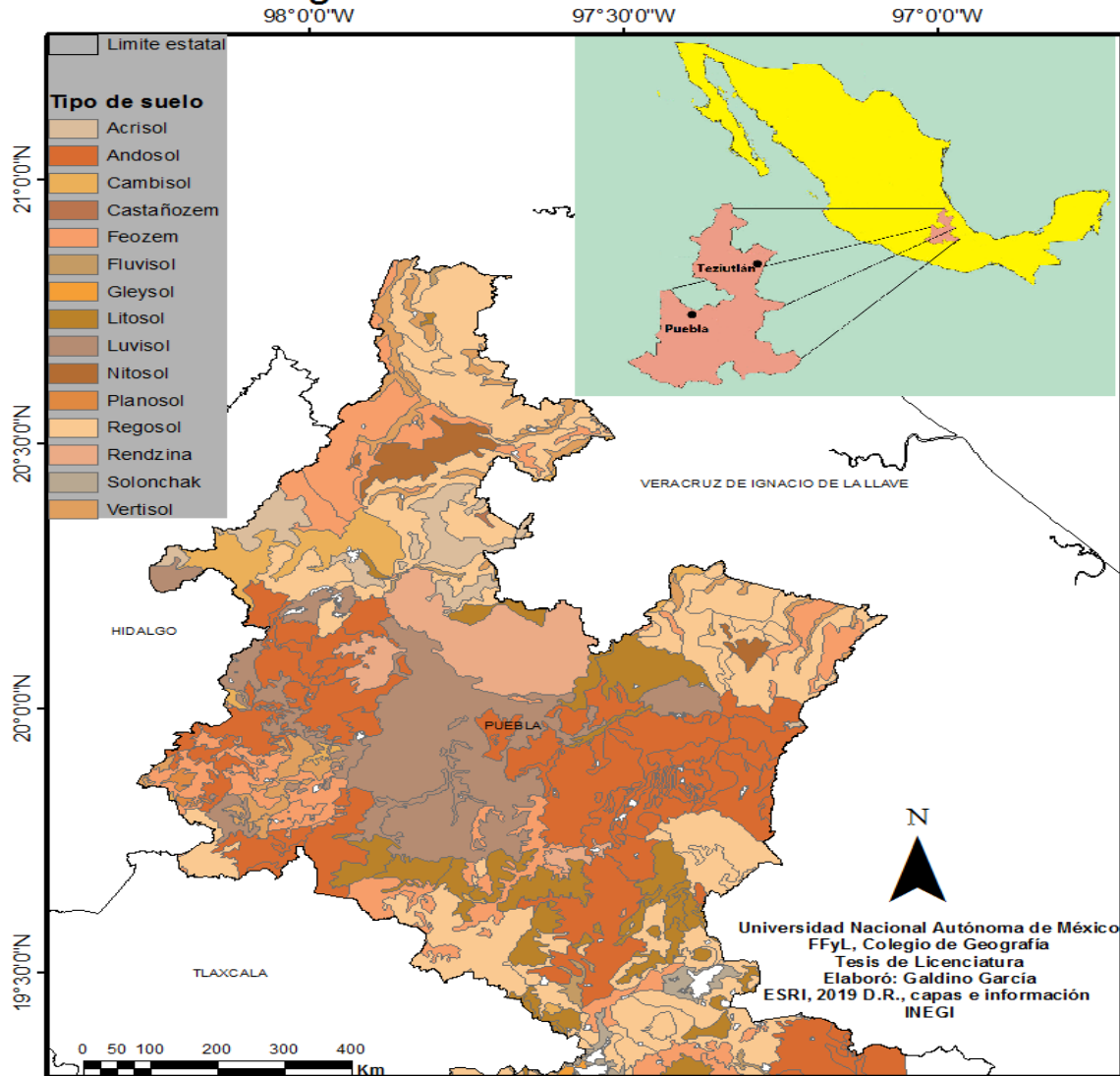


Figura 2.5. Edafología de la SNP, fuente: INEGI, 2014.

La Sierra Norte de Puebla se encuentra en la cuenca del Río Tecolutla (RH 27), donde las precipitaciones pluviales tienen un patrón decreciente en el sentido norte-sur / noreste- suroeste, como consecuencia de ello, se creó la franja con los mayores porcentajes de escurrimiento: franja colindante con Veracruz (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a).

En cuanto al municipio, el mayor porcentaje se localiza dentro de la región hidrológica Tuxpan- Nautla su extensión va desde el este de la Sierra Madre Oriental hasta la planicie costera del Golfo de México (Figura 2.6) (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a).

Conforme al INAFED (2011), las corrientes fluviales de mayor importancia en el municipio son: Río Xoloatl con su nacimiento en el cerro Tésivio (alimentado en la región suroriental por los ríos Barrosta y Ateta además del Río Margarita) (INAFED, 2011).

El río Nautla nace en Cofre de Perote (perteneciente a la SMO) con una altitud de 4,150 msnm, los principales afluentes son; el Río María de la Torre (formado por los ríos Ixtipac e Ixtlahuaca al Oriente) cuya cabecera está ubicada en el poblado de San Sebastián con el nombre Río Xoloco (*ibid*).

Al igual que las provincias fisiográficas, se conforma de dos cuencas hidrográficas: cuenca Río Tecolutla correspondiente a la SMO (al norte del municipio) y la cuenca del Río Nautla ubicado en la colindancia con el estado de Veracruz (al sureste del municipio).

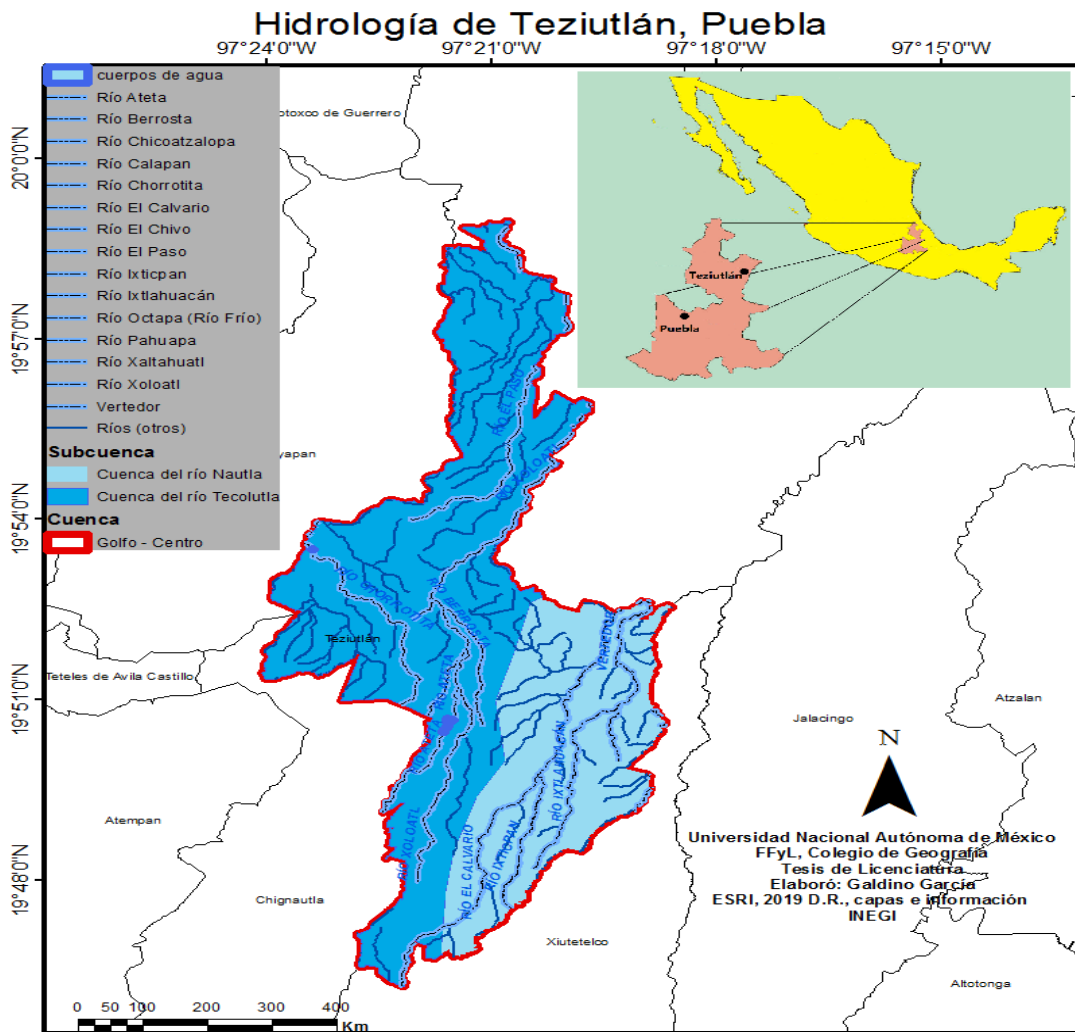


Figura 2.6 Hidrología del municipio de Teziutlán, Puebla, elaborado con base en INEGI, 2010.

Con base a INEGI (2009), El uso de suelo en Teziutlán se divide en 4 principales factores:

- **Bosque mesófilo de montaña (pino- encino y encino):** se encuentra a lo largo de todo el territorio con predominio en la zona noreste y al sur. Es posible encontrar distintas variedades de la especie de pino; *chahuite*, *cembroide*, *tlacocote*, *Pinus devoviana*, *teocote*, etc. Sin embargo también ha habido un alta perturbación de estos ecosistemas debido a la explotación forestal y como consecuencia que varias especies se hayan perdido (Muñoz-Hernández *et al.*, 2008).
  
- **Agricultura:** se extiende en todo el territorio y con base en INEGI, 2009, se clasifica en:
  - a) Agricultura de Temporal anual:** se toma como ciclo vegetativo de los cultivos con duración de 1 año y depende mayormente del agua de lluvia. La precipitación (frecuencia) y la capacidad del suelo para retener agua son elementos clave para el óptimo desarrollo de este tipo de agricultura. Las regiones donde se lleva a cabo se ubican al centro y suroeste del municipio.
  - b) Agricultura temporal permanente:** en el municipio se localiza en la parte norte de Teziutlán así como en una porción sureste. El ciclo vegetativo en este tipo es de hasta 10 años.

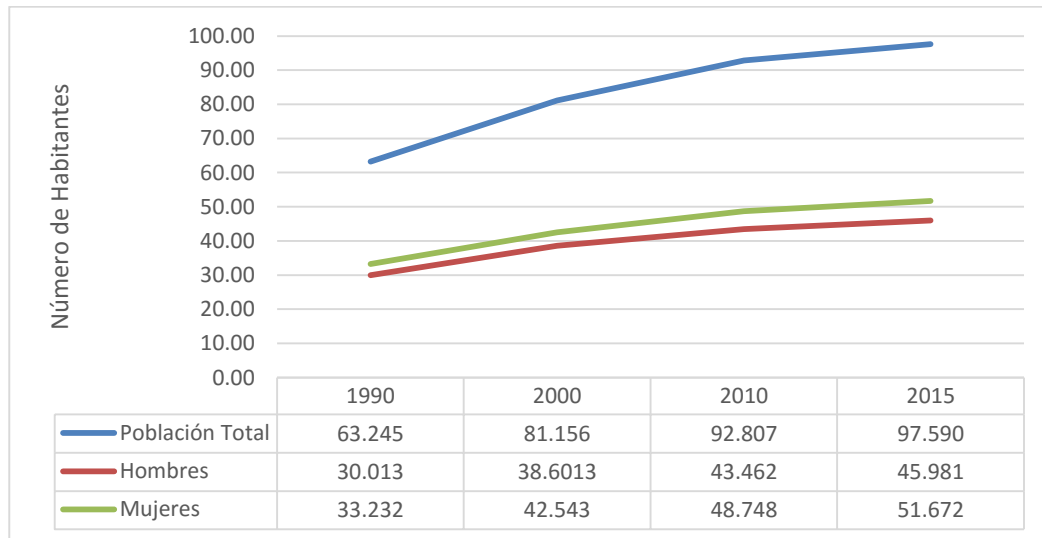
Los principales cultivos que se obtienen son maíz, frijol, legumbres y algunos forrajes. El clima es propicio para poder cultivar arboles de frutales como: el ciruelo, peral, manzano, tejocote y capulín. La técnica usada más comúnmente es la recolección manual (INEGI, 2010).

- **Pastizales inducidos y cultivados:** ubicados al norte y este del municipio respectivamente. Generalmente se localizan entre las aéreas agrícolas y de bosque. La principal especie que sobresale es: *pennisectum nervosum*.

## Perfil Socio-demográfico de Teziutlán

El municipio de Teziutlán está dividido en 32 localidades, las principales son: Xoloateno, San Sebastián, San Juan Acateno, Atoluca y la cabecera municipal Teziutlán. Según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para 2015 (muestra intercensal), la población absoluta del municipio era de 97,590 habitantes, de los cuales 45,918 son hombres y 51,672 mujeres (Figura 2.7). La densidad de población, para el mismo año, se registró en 1,054 hab/km<sup>2</sup>, lo que sitúa al municipio en la novena posición a nivel estatal (CEIGEP, 2015).

Mediante cifras obtenidas de los censos poblacionales del INEGI, la población ha tenido un incremento del 54.3%. El crecimiento poblacional dentro del municipio ha sido constante durante los últimos 25 años (1990-2015). La proyección para 2017 se estimó en 99,527 habitantes, lo que significa más del 67% de la población total del municipio (SEDESOL, 2015).



**Figura 2.7** Crecimiento poblacional del municipio de Teziutlán. Elaboración propia con base en datos censales del INEGI (1990, 2000, 2010 y 2015).

El fenómeno de la migración destaca entre los procesos más importantes de la dinámica poblacional. Así mismo, la migración está determinada por diversos factores (económico, cultural, social, natural, inseguridad, persecución política, etc.) que influyen (positiva y negativamente) en la estructura de la sociedad. De manera general, se puede decir que el ser humano migra en busca de mejorar su calidad de vida (satisfacer necesidades económicas y sociales).

Para la demografía es importante el fenómeno migratorio debido a la redistribución y re-composición de la estructura poblacional (edad y sexo), a la par, el espacio vivido es re-significado mediante las prácticas y hábitos culturales de las personas desplazadas al materializarlo a su paso (expresión cultural). En sentido ambivalente, el cambio o modificación aplica al lugar que dejan y al que ingresan (emigración e inmigración) conforme la periodicidad a través del tiempo.

La zona metropolitana de Puebla es considerada como núcleo poblacional puesto que alberga una importante diversidad de etnias; las del estado y de estados circunvecinos como consecuencia de la atracción migratoria (mejora en la calidad de vida). Los grupos migratorios indígenas tuvieron que resignificar su lugar de residencia como método de subsistencia ante el desprecio de las personas por considerar improductivo el suelo para establecer actividades económicas que permitieran desarrollar zonas urbanas y las comodidades (servicios) que conllevan (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a).

Debido a la referencia territorial, en el estado de Puebla se ubican dos principales zonas con presencia indígena: la Sierra Norte de Puebla y la Sierra Negra (ubicada al sur de la entidad) (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a). En la Sierra Norte destaca la presencia de hablantes Náhuatl (más del 70% de representación), Otomí (segunda lengua más hablada) y Totonaca (tercer lengua con baja representación de hablantes). Las características generales de la SNP se observan en la Tabla 2.1

Sierra Norte de Puebla en cifras	
<b>Extensión Territorial</b>	8,463.98km <sup>2</sup>
<b>Población total</b>	1,200,876
<b>Mujeres</b>	621,833
<b>Hombres</b>	579,043
<b>Municipios</b>	63
<b>Localidades</b>	2,524
<b>Localidades Urbanas</b>	8
<b>Población Urbana</b>	242,144
<b>Localidades Rurales</b>	2,516
<b>Población Rural</b>	958,732
<b>Población Indígena</b>	520,018

**Tabla 2.1** Características generales de la SNP. Elaborada con base en Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, Regiones Indígenas de México, 2006, Sistema para la consulta de información censal (SCINSE), INEGI, 2010.

En el municipio de Teziutlán existen 22,912 viviendas, lo que representa el 1.7% del total estatal. La agrupación, por hogar, es de aproximadamente cuatro individuos. Respecto a la participación (rol de género) predomina la forma tradicional (familia núcleo,

donde el jefe de familia es hombre), por su parte las jefas de familia tienen participación del 31.4% del total municipal (7195 habitantes) (CONEVAL, 2010).

El factor pobreza ha sido ubicado entre los principales factores inductores de vulnerabilidad. Al interior de Teziutlán, con base en los datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), (2010), la situación de pobreza así como los niveles de ésta siguen presentes de manera considerable en la población. Como se muestra en la Figura 2.8, a nivel municipal, la pobreza representó casi la mitad de la población (49% del total) para el año 2010 y en la siguiente estimación aumentó (6%) lo que hace cuestionable la implementación de programas de asistencia social así como el alcance que tuvieron al transcurso de 5 años.

Por otra parte, la pobreza moderada tuvo menor representación (41%) para el año 2010, para 2015 aumentó (7%), poco más de 11 mil personas adquirieron estatus de pobreza moderada dentro del municipio. Finalmente, dentro de la pobreza extrema, el municipio presentó mejora en el rubro pues pasó del 8.6% (8272 personas) en el año 2010, al 7% (7584 personas) en el siguiente periodo 2015.

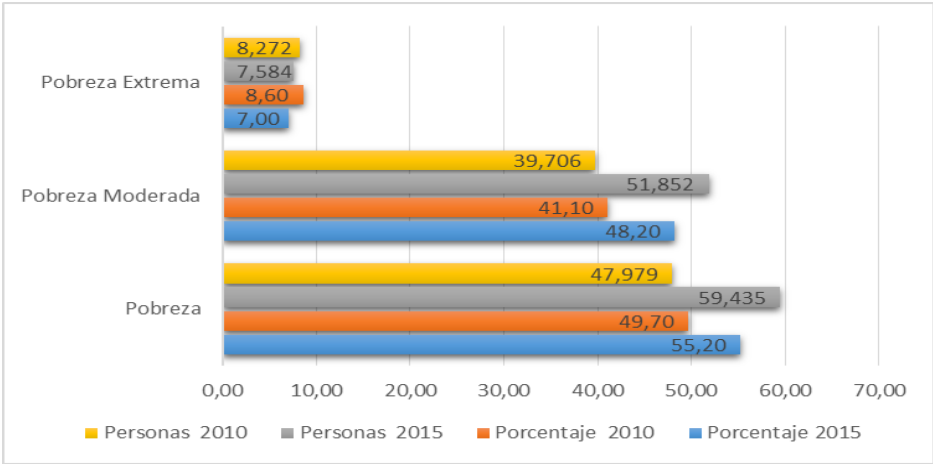
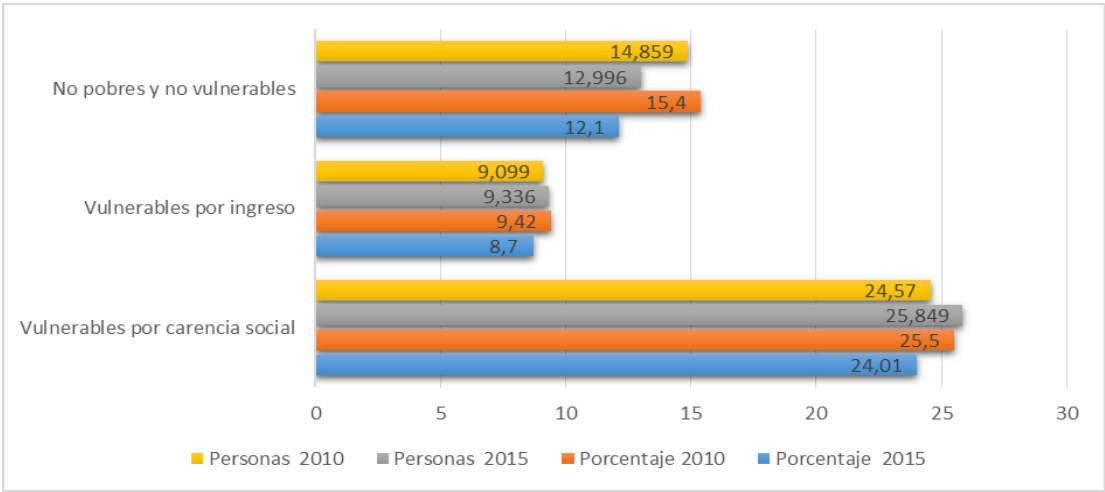


Figura 2.8 Indicadores de pobreza en Teziutlán, elaboración propia con base en CONEVAL, 2010.

La presencia de vulnerabilidad (Figura 2.9) en la población de Teziutlán muestra datos importantes de analizar; donde se observa que la cantidad de personas consideradas como no pobres y no vulnerables disminuyó 3.3% del año 2010 al 2015. Lo que empata con el aumento de población en situación de pobreza presentado en la Figura 2.7.

Con base en CONEVAL (2010), las personas que perciben mayor ingreso reducen la condición de vulnerabilidad en términos económicos. La población considerada vulnerable, en cuanto a ingresos, disminuyó 0.72% (2010-2015). Lo cual refiere al aumento de personas con empleo (más no con estabilidad laboral) y, tampoco refleja el impacto positivo del ingreso económico de la población en cuanto a su condición de exposición/susceptibilidad de las viviendas.

En el mismo rubro, la población vulnerable, por carencia social, pasó de 25.5% a 24% en cinco años. Las cifras aluden a que existe una condición de “estabilidad” económica de los habitantes del municipio. Sin embargo, es pertinente aclarar que el término vulnerabilidad utilizado por CONEVAL está relacionado con la economía, por ende, difiere del contexto bajo el que se analiza el tema riesgo. Cabe mencionar que, los periodos en que se analizan los datos muestran fluctuaciones, más no delimita la relevancia del porqué o en cuanto a qué es vulnerable la población y si es necesario un plan de acción para controlar/mitigar la situación.



**Figura 2.9** Indicadores de vulnerabilidad en Teziutlán, elaboración propia con base en CONEVAL, 2010.

Con base en CONEVAL (2010), las carencias que se presentan en el municipio se muestran en la Figura 2.10, donde se observa el aumento en la población con al menos una carencia social, del año 2010 al 2015 (de 75% al 79%). La población con tres o más carencias sociales, disminuyó en casi 3% en el mismo periodo de tiempo.

El tema de la alimentación presentó números positivos al pasar de 22.2% en el año 2010 a 20.5% para el siguiente periodo. Los datos concuerdan con la disminución en cuanto a personas en situación de pobreza extrema, más no en la considerada como



moderada y la pobreza general que aumentaron en la población del municipio. De la misma manera, sería importante considerar el origen y tipo de alimentos a los que acceden los habitantes (consumo local o en supermercados).

De acuerdo con la Figura 2.10, se observa la disparidad y desigualdades en la población del municipio, pues las condiciones (carencia) en que se encuentran las viviendas varían entre localidades. Entre las carencias que presenta la población, cabe destacar, la localidad de Atoluca donde 127 viviendas de 1296, no cuentan con servicio de agua entubada, aproximadamente 10% de los habitantes carecen de este servicio (CONEVAL, 2010). Por otra parte, en la cabecera municipal 151 viviendas de las 15,681 cuantificadas, no cuentan con el servicio de agua entubada, a comparación de la comunidad de Atoluca, representa un grueso de la población inferior al 1% que carecen del servicio.

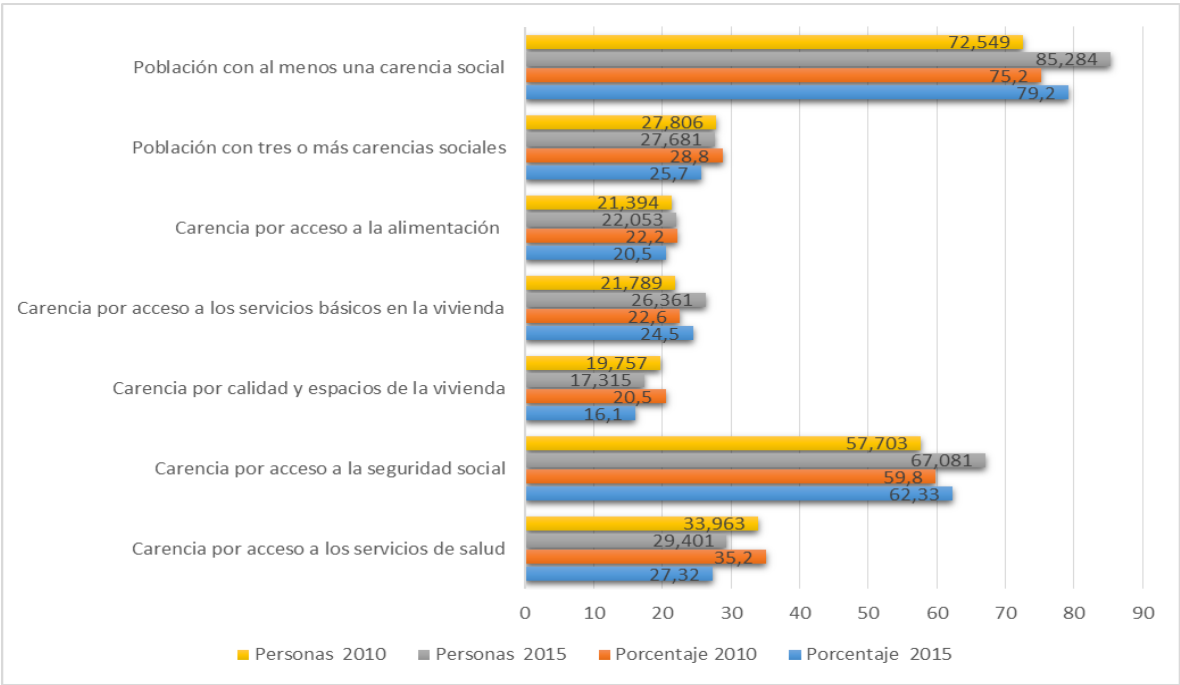


Figura 2.10 Tipos de carencia social en Teziutlán, elaboración propia con base en CONEVAL, 2010.

Las principales carencias que aumentaron su porcentaje y población son: acceso a servicios básicos en la vivienda (en 2% del 2010-2015) y los derechohabientes (2.5% en el mismo periodo de tiempo). Se puede referir que, la disparidad en acceso a los servicios básicos ocurre en la mayor parte de la población del municipio en relación a; servicio de drenaje, agua entubada y de energía eléctrica.

La carencia por calidad/espacios de vivienda, se relaciona en cuanto al tamaño de las localidades y los servicios ofertados. Las de menor tamaño son las que carecen de servicios básicos, previsión social, atención a la salud, oportunidades de trabajo y los niveles de rezago educativo aumentan. En términos de exposición y vulnerabilidad, es importante tipificar este factor porque en conjunto son impulsores del riesgo. En la misma línea, CONEVAL carece de bases para contrastar en qué medida las carencias que presenta la población impactan su condición de exposición y vulnerabilidad ante el riesgo de desastres.

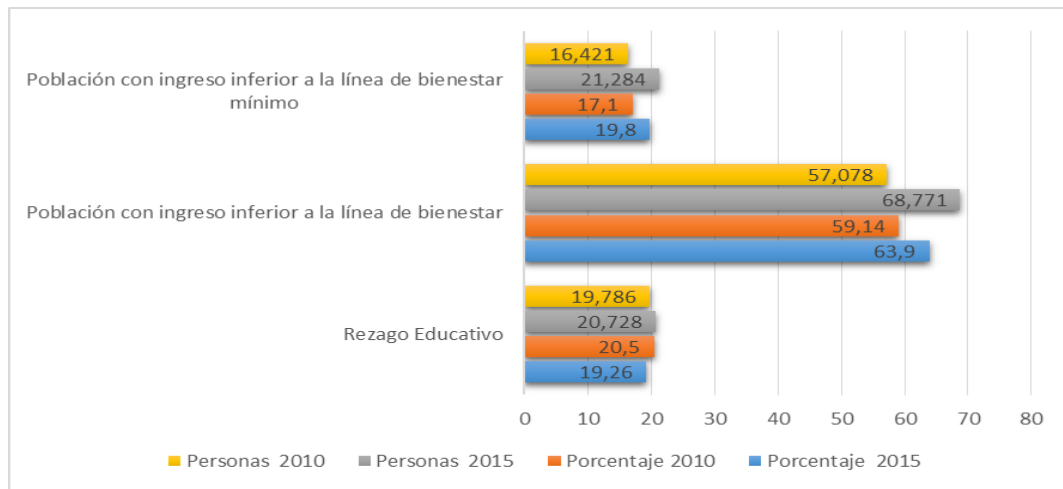
Además de ello, CONEVAL tampoco ofrece la zonificación de las colonias con mayor carencia por condición de vivienda, con la finalidad de implementar programas que; a mediano o largo plazo, reduzcan el estatus de la población mayormente expuesta y vulnerable a sufrir un evento de desastre. En la comunidad de Huehueymico, de 874 habitantes, el 42.5% de su población no cuenta con instrucción básica. En tanto, en la cabecera municipal, cerca del 25.6% de su población no ha concluido la educación básica. Lo anterior, representa ejemplo de la disparidad entre comunidades de mayor tamaño en cuanto al acceso/carencia de servicios básicos.

Es importante analizar cifras como el acceso a la seguridad social y el acceso a los servicios de salud. El primero muestra que la población carente en este rubro aumentó. Sin embargo, el acceso a servicios de salud disminuyó en 8% en cinco años. Posiblemente la población tiene acceso a los servicios de manera indirecta y no seguridad social por la parte laboral.

En la relación ingreso económico y bienestar (Figura 2.11), se observa el aumento en ambas variables: ingreso inferior a la línea de bienestar y bienestar mínimo. Para el primer rubro, pasó de 59% en 2010 a 63.9% en 2015. El indicador subsecuente aumentó 2.7% en el mismo periodo de tiempo, aunque con menor representación de habitantes. El tema del rezago educativo presenta números positivos con una disminución de 1.24% para el mismo periodo.

Con base en los datos mostrados en este apartado, resulta importante analizar que la condición socioeconómica a la que se sujeta la población, constituye un factor destacable en la construcción de vulnerabilidad presente en las comunidades de Teziutlán. Cabe resaltar la relación entre la vulnerabilidad y el rezago educativo, debido a que los individuos de las comunidades (sin instrucción básica) tienen menor oportunidad

de acceder a información oportuna al momento de enfrentar una situación de riesgo y hasta de la propia condición (nivel de exposición) en que se encuentran.



**Figura 2.11** Ingresos y rezago educativo en Teziutlán, elaboración propia con base en CONEVAL, 2010.

Con base en los datos mostrados en este apartado, resulta importante analizar que la condición socioeconómica a la que se sujeta la población, constituye un factor destacable en la construcción de vulnerabilidad presente en las comunidades de Teziutlán. Cabe resaltar la relación entre la vulnerabilidad y el rezago educativo, debido a que los individuos de las comunidades (sin instrucción básica) tienen menor oportunidad de acceder a información oportuna al momento de enfrentar una situación de riesgo y hasta de la propia condición (nivel de exposición) en que se encuentran.

Conforme el Censo de Población y Vivienda del INEGI (2010), la PEA (población económicamente activa) de Teziutlán es de 38, 495 personas (39.44% de la población total). La mayor parte de la PEA del municipio se concentra principalmente en dos zonas: la primera localizada al occidente (Huauchinango, Zacatlán, Xicotepec de Juárez y Chignahuapan), la segunda al oriente (municipio de Teziutlán y los continuos a este) (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a).

Entre las principales actividades económicas del sector primario que se llevan a cabo en el estado/municipio son (INEGI, 2010):

- **Agricultura:** Destacan los municipios de Cuetzalan del Progreso, Tlatlauquiltepec, Zacapoaxtla y Chignahuapan con valores de mayor representación de PEA (primaria), con rangos de participación de entre 28-

44% (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a). La agricultura de temporal, se desarrolla a lo largo de todo el municipio (mayormente al centro y sureste). El riego depende de la cantidad de lluvia que precipite en la temporada de lluvias. Los principales cultivos que se pueden encontrar son: maíz (18% del valor agrícola de la región), café (23% del valor agrícola de la región), papa (12.5%), frijol, ciruelos, legumbres, manzana, naranja, plátano, capulín y tejocote (INEGI, 1998).

- **Ganadería:** se ubica principalmente en zonas de pastizales inducidos. La crianza de ganado se concentra en el tipo: bovino, ovino y porcino.
- **Minería:** se concentra en la extracción y producción de materiales derivados del manganeso por parte de la compañía Autlán (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a).

Los municipios de Puebla como Teziutlán (Oriente, con 44%) y Chignahuapan (sureste, con 33%) destacan su participación dentro de las actividades secundarias. La economía de Teziutlán se basa en la industria maquiladora, la industria alimentaria y de los productos obtenidos de la minería. En las actividades económicas terciarias, Teziutlán destaca con una PEA del 63% junto con otros seis municipios (Venustiano Carranza, Xicotepec, Huauchinango, Zacatlán, Zacapoaxtla y Zaragoza), más de la mitad de su PEA dedicada a este sector (Alcántara-Ayala *et al.*, 2017a).

Las condiciones presentadas en este apartado, muestran de manera puntual aspectos que impactan directamente en la vulnerabilidad y exposición de la población de las diversas comunidades del municipio. Entre los cuales, el rezago educativo, el nivel de pobreza, las carencias en servicios básicos, entre otras particularidades, constituyen factores determinantes para la construcción de vulnerabilidad y, por ende, del riesgo.

## 2.2 Colonia La Gloria

Se seleccionó la colonia La Gloria como zona de estudio debido a que sus características (tanto físicas como sociales) que hacen del lugar un foco de alerta ante el riesgo de desastre y, que se expresa como consecuencia de una deficiente cultura de la prevención ante el tema de riesgos y la inestabilidad de laderas.

Cabe mencionar que la colonia La Gloria se conforma del Fraccionamiento Siete Sabios, Los Portales y Privada de Los Sauces. El conjunto de viviendas se sitúa al poniente del concentrado urbano. La avenida Cuauhtémoc es la referencia que delimita la colonia centro de los barrios anteriormente mencionados (Figura 2.12).



**Figura 2.12** Localización de la colonia La Gloria y su cercanía con el centro, Trabajo de campo, noviembre 2018)

Debido a que no existe registro alguno sobre el año de fundación de la colonia, su antigüedad no es posible conocerla con exactitud. Sin embargo, Juárez (2012) destaca la conformación de la colonia La Gloria junto con el Fraccionamiento Siete Sabios en un periodo superior a los 55 años. Posteriormente, se desarrollaron el conjunto de los Portales y de la privada de Los Sauces.

De acuerdo con Juárez (2012), el factor ubicación de la colonia en la periferia del centro de Teziutlán (600 m en línea recta) favoreció el crecimiento y “desarrollo urbano” debido a la provisión de servicios como energía eléctrica y agua potable. Sin embargo, la exposición del conjunto de viviendas muestra indicios de no haber sido planificada en cuanto a ubicación para desarrollo (en términos urbanos, el plan de acción que se tiene para que un lugar maximice sus capacidades socioeconómicas sin comprometer el bienestar de la población o sistema). En otras palabras, La Gloria es consecuencia de un

crecimiento por desarrollo donde la presión demográfica (es decir, la de establecerse en un lugar para vivir) superó el hecho de analizar las condiciones básicas para construcción de viviendas.

Es importante resaltar el hecho de que varios de los predios de la colonia fueron construidos en la cima de las laderas (Figura 2.13), a diferencia de otras localidades como La Aurora o Francia donde las construcciones predominan en la parte media y/o al pie de la ladera.



**Figura 2.13** Ampliación de la Cerrada de Emilio Carranza, Colonia La Gloria, foto autoría propia, noviembre 2018.

Debido al desarrollo y crecimiento, las calles de la colonia están pavimentadas, sin embargo son estrechas y no permiten más que la circulación de un vehículo, es necesario señalar que ante alguna contingencia la evacuación resultaría complicada; sobre todo para las personas que se encuentran en la ampliación de la cerrada de Emilio Carranza (Figura 2.12).

Como se observa en la Figura 2.13, la aglomeración de predios en la zona muestra el crecimiento no planificado de la colonia. Las construcciones tienden a aumentar el número de pisos y, generalmente, las personas con viviendas ubicadas en la cima de la ladera han tenido que construir o poner lo que ellos consideran como “medidas estructurales de mitigación” (bardas de mampostería), para dar “estabilidad” a su vivienda.

No obstante, los síntomas de inestabilidad de laderas en la zona son visibles debido a las grietas en casas y avenidas, arboles inclinados y, en mayor medida la presencia de humedad en las fachadas de los predios. Respecto a la percepción del riesgo los habitantes expresan opiniones divididas en cuanto a la seguridad de la zona

que habitan, pues, algunos son conscientes del riesgo al que están expuestos por vivir sobre las laderas y que las precipitaciones son un factor importante para que ocurran deslizamientos. Por otra parte, hay personas que refieren sentirse seguras en su vivienda a pesar de haber sido uno de los sitios con mayor afectación en el evento de octubre de 1999.

De acuerdo con Alcántara-Ayala y Hernández-Moreno (2016) y Hernández-Moreno y Alcántara Ayala (2017), consideran que el análisis de la percepción del riesgo es de suma importancia al momento de plantear estrategias de confianza afines a la comunicación del riesgo en distintas escalas, principalmente la local. Para las autoras resulta necesario que la población cuente con información, principalmente sobre los PRM, en zonas como el municipio de Teziutlán (colonias como La Aurora y La Gloria), puesto que, no toda la población ha presenciado, por ejemplo, un deslizamiento (causa/origen, magnitud, consecuencias, síntomas de inestabilidad, etc.).

En la misma línea Alcántara-Ayala *et al.*, (2017a) realizaron un estudio desde la conciencia del riesgo por deslizamientos mediante mapeo comunitario en escala local en distintas colonias con problemas de PRM, donde destacan la importancia en la participación de población local en estudios de percepción a manera de establecer estrategias funcionales a los problemas de las personas ante las amenazas naturales.

Del mismo modo, el estudio de Alcántara-Ayala *et al.*, (2017a) destaca que en la colonia La Gloria (respecto a la percepción del riesgo) la mayor parte de la población (aproximadamente el 81.72 %) considera como prioritario (muy necesario) que se apliquen estrategias, métodos y sistemas que mantengan mayormente informadas a las comunidades en cuanto al tema de riesgos y los PRM. Asimismo, el estudio destaca el nivel de confianza que tienen las personas hacia distintas autoridades e instituciones, resulta importante mencionar que las personas mantienen un nivel de confianza mayormente consolidado (en orden de los valores con mayor porcentaje=48%) hacia Protección civil, gente de otros poblados, el Gobierno Estatal y hasta la policía municipal que ni en los investigadores (*ibíd*).

Sin embargo, la población continua expectante a lo que las autoridades deberían realizar en cuanto al tema riesgo en las distintas comunidades que, históricamente han sufrido las consecuencias de una deficiente gestión y por ello, los PRM son latentes debido a las características del relieve montañoso donde habitan las personas.

Por último, Alcántara-Ayala (2017) puntualiza que, para llegar a la prevención de desastres es necesaria una adecuada comunicación derivada del análisis de la percepción del riesgo. La cual debería tener un impacto positivo sobre los habitantes (evitar futuros eventos como el de octubre del 1999.), además de comprender su papel en cuanto a la construcción social del riesgo de desastres por deslizamientos.

En la colonia La Gloria, a través del representante de barrio, los vecinos hacen notorias sus peticiones a las autoridades municipales sobre lo que ocurre en sus predios y así poder manifestarse de manera conjunta. Sin embargo, hay una esfera de desconocimiento por parte de la población local hacia; las medidas que deben tomar ante una continua precipitación o en general el protocolo de evacuación que deben seguir frente a una emergencia no les resulta claro, además de carecer de información sobre los síntomas de inestabilidad de laderas, por lo que, la vulnerabilidad presente se incrementa y potencia en contra de los habitantes de la colonia al no contar con la información básica en cuanto al tema de la prevención de riesgo de desastre.

Durante el trabajo de campo (noviembre 2018) se observó que, efectivamente, en la colonia La Gloria los deslizamientos se presentan sobre todo en épocas de lluvias y frentes fríos. Protección Civil de Teziutlán (2018) hace referencia que, la semana anterior a la visita, las precipitaciones alcanzaron entre 280-320 mm (100 mm por debajo de lo que precipitó en octubre de 1999), por lo que, indicios de deslizamientos eran notorios en las carreteras (Circuito Bicentenario y Circuito al Sur) y sobre todo en algunos predios de la colonia donde era preciso haber realizado alguna acción por parte de Protección Civil (Figura 2.14).



**Figura 2.14** Deslizamiento en la colonia La Gloria, vista desde el Circuito Bicentenario, foto autoría propia, noviembre 2018.



### Procesos de remoción en masa en la Colonia La Gloria

Las fechas del 4 y 5 de octubre del año de 1999, marcaron significativamente el Estado de Puebla, por la cantidad de PRM, así como la magnitud de estos y los desastres derivados. El lunes 4 de octubre, se informó la presencia de una depresión tropical (por lo cual hubo suspensión de actividades en instituciones educativas). Resultado de las lluvias extraordinarias, deslizamientos, flujos de lodo y caídas de roca tuvieron lugar en caminos y carreteras de Teziutlán (Flores, 2002).

Flores (2002) y Juárez (2012) mencionan que, las localidades donde se presentaron dichos procesos fueron; Huehueymico (localizada al noreste de Teziutlán), la colonia La Aurora (el más conocido debido a las consecuencias fatales) y en La Gloria (donde no hubo decesos humanos) aunque si fue el lugar donde ocurrieron la mayoría de los procesos (deslizamientos, flujos de lodo y caídas) que dejaron diversas viviendas con una alta afectación estructural de acuerdo con información obtenida de Protección Civil.

Con base a Protección Civil del municipio, otras colonias afectadas fueron: Aire Libre, Atoluca, Francia, Fraccionamiento Siete Sabios, La Juárez, Mexcalcuautla, San Sebastian, Xoloateno y Xoloco (Flores, 2002). De acuerdo con Juárez (2012), las colonias con mayor riesgo han tenido procesos de remoción en masa desde el año 1999 al 2012 y, en el 2018 cuando se comenzó con el presente estudio (Tabla 2.2). Destaca la Colonia La Gloria que se ubica dentro de la categoría de muy alto riesgo y con continua presencia de procesos gravitacionales, entre los principales están los deslizamientos.

Riesgo	Colonia
Muy alto	Chignaulingo, <b>La Gloria</b>
Alto	Chignaulingo, Jardines de Teziutlán, Juárez, La Aurora, La Legua, La Garita, El Charco, El Pinal, Francia, Fresnillo y Unidad INFONAVIT Minera, <b>Fraccionamiento Siete sabios, Cerrada de Portales y Privada de los Sauces.</b>
Medio	Fresnillo, Juárez, La Aurora, La Garita, Lindavista, Taxcala, Unidad INFONAVIT Minera, <b>Los Portales y Fraccionamiento Siete sabios</b>
Bajo	FOVISSSTE, Fraccionamiento Magdalena, Xoloco y <b>Huehueymico</b>
Nulo	Xoloco

Tabla 2.2 Categorización de las colonias de la cabecera municipal en riesgo (Elaborada y modificada con base a Juárez, 2012).

En la Tabla 2.2, se anexaron otras colonias/fraccionamientos (debido a la exposición y riesgo a deslizamientos) como son; Fraccionamiento Siete Sabios (Figura 1.12), Cerrada de Los Portales (Figura 1.13) y Privada de los Sauces (1.14), cabe destacar que el factor humedad es el que afecta estructuralmente a las viviendas, además

de encontrar grietas por los sismos del año anterior. Cabe mencionar que ambos lugares (Los Portales y Los Sauces) son de reciente construcción.

El conjunto de viviendas que se localizan sobre la ladera rodeada por el Circuito Bicentenario, muestra aspectos contradictorios sobre la vulnerabilidad económica de la población, puesto que, se puede observar que la población, económicamente, no es homogénea. A pesar de ello, las familias con estabilidad o con condiciones buenas (economía) no están exentos de aumentar su condición de exposición debido a que las viviendas se localizan en zonas de muy alto y alto riesgo (Tabla 2.4). En otras palabras, en esta zona la vulnerabilidad económica de la población no está relacionada directamente con el nivel de exposición que adquieren las familias al ubicarse en zonas de riesgo a PRM.



**Figura 2.15** Deslizamiento desde el flanco trasero de la cerrada de Emilio Carranza, Colonia La Gloria, Fotografía de autoría propia, noviembre 2018.

En la Figura 2.15, se muestra la localización de viviendas sobre la cima de la ladera. En la parte baja, sobre el deslizamiento, se observa gran cantidad de basura que los propios pobladores han dejado. El evento ocurrió durante la semana de intensa precipitación (del 15-20 de noviembre de 2018) para lo cual no se activó ningún plan/protocolo de evacuación de las colonias afectadas pese a los síntomas de inestabilidad e indicios de deslizamientos.

En relación con el tema de la difusión de información sobre riesgo para la población, se puede referir que, de igual manera, los canales de comunicación no han

cubierto la necesidad de mantener prevenidos a los habitantes en riesgo (Tabla 2.8) respecto a la exposición y vulnerabilidad que adquieren acorde la zona que habitan. Como se observa en la Figura 2.14, tras el deslizamiento, la cantidad de material removido fue tal que, se puede observar los cimientos de la casa ubicada en el centro de la imagen.

Los síntomas de inestabilidad en las colonias ubicadas en la ladera, a lo largo de la zona, son evidentes y pueden ser desencadenados por las siguientes temporadas de lluvia. Asimismo, el uso y aplicación de metodologías debe estar dirigido a la obtención de información directa sobre las condiciones y características del lugar bajo estudio para, posteriormente, entender las causas de fondo del problema y en la medida de lo posible mitigar el impacto de las amenazas naturales sobre la población.

### Capítulo 3. El uso de vehículos aéreos no tripulados (drone) para análisis de riesgo

La tecnología muestra avances sustanciales; de tomar fotografías comunes (retratos de personas en alguna reunión social, de algún paisaje, sobre flora o fauna, etc.) se ha llegado al plano aéreo de los vehículos aéreos no tripulados (conocidos como VANT, por sus siglas en inglés UAV's – *drone* o RPA Remotely Piloted Aircraft) lo que permite tener una vista aérea sin necesidad de abordar un globo aerostático, avión o avioneta (Cook, 2016).

Las distintas aplicaciones sobre el uso de los VANT, surgen en primer momento desde la perspectiva militar con un enfoque hacia los conflictos bélicos. Posteriormente, el uso se diversificó en de la sociedad para hacer partícipe a las personas de los beneficios de los avances tecnológicos aplicados a los aparatos (Guardado *et al.*, 2017). Actualmente el empleo de los vehículos va desde fines recreativos como tomar fotos o videos de algún evento masivo, ubicar zonas de complicación vial, en estudios ambientales sobre evaluación de vegetación, entre otros (*ibíd*).

Verstappen (1992) destaca que recientemente, desde diversas disciplinas (geociencias, ciencias de la tierra y las ciencias naturales) se han podido analizar amenazas naturales como inundaciones, huracanes, erupciones volcánicas, eventos geológicos, fenómenos meteorológicos, procesos de remoción en masa, etc, debido a la utilidad que representa analizar múltiples eventos desde las alturas.

La eficacia e inmediatez que proporciona esta tecnología abrió diversos horizontes de estudio no solo en las ciencias exactas, sino en las ciencias que implican aspectos espaciales (como la geografía y el estudio de la interrelación entre el espacio - sociedad). Constituyen, en la actualidad, una herramienta base para el análisis y evaluación de eventos naturales que afectan especies de distintas zonas naturales y asentamientos humanos (Astre, 2010).

De acuerdo con Guardado *et al.* (2017), los complementos tecnológicos (SIG's y LIDAR) de ubicación y manejo espacial permiten conocer características inmediatas del relieve. Otro beneficio es que, a partir de la información recabada resulta factible crear estrategias de mitigación para antes y/o después de algún evento natural, lo que permite abrir campo hacia la prevención de riesgo en zonas o comunidades donde sea necesaria

la aplicación. La utilidad para el análisis geoespacial del riesgo, se enfoca en la creación de productos como mapas y modelos en 3D del relieve, donde es posible identificar distintos procesos de remoción en masa a distinta escala, así como el nivel de exposición de la población o comunidad ante un fenómeno natural.

Pinzón (2017) menciona que, la variabilidad de escala en los VANT permite (mediante la obtención de imágenes) observar las características inmediatas de un lugar y hacer un análisis puntual de la zona/área afectada en distintas escalas (regional, subregional y local de amenazas naturales) para la generación de cartografía y medir su impacto.

### **3.1 Introducción a las diferentes metodologías empleadas en el entendimiento de desastres: una perspectiva geográfica**

En este apartado se analizan algunos ejemplos de metodologías utilizadas para la evaluación de los desastres. La atención se centra en las tecnologías aplicadas, para posteriormente, proponer la más adecuada desde el ámbito geográfico.

Los desastres son consecuencia de la combinación entre población expuesta y vulnerable junto con las amenazas naturales desencadenantes de procesos que provocan daños físicos, pérdidas humanas, de capital, al tiempo que alteran la vida de comunidades y personas, así como la actividad económica del territorio afectado (CEPAL, 2014).

La ocurrencia de desastres, así como las múltiples consecuencias que derivan de éstos, han hecho necesario implementar distintas metodologías de estudio. En cuanto a la evaluación de los impactos, no solo se obtienen indicadores para las pérdidas monetarias o de macro-regiones económicas. La importancia de poder aplicar distintos métodos, considera el hecho de evaluar de mejor manera el sistema afectado y proponer medidas estructurales y no estructurales para la mitigación de los impactos por desastres.

Entre las metodologías mayormente empleadas para la evaluación de los desastres, se encuentra el de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la cual reúne datos de prioridad al momento de la ocurrencia de desastres. De acuerdo con la CEPAL (2014), parte de la metodología se basa en la obtención de cartografía actualizada. Principalmente de imágenes satelitales, sin embargo, cabe

destacar que, para fines de evaluación estructural, las imágenes no permiten conocer datos puntuales sobre el estado de las viviendas.

Además de que la obtención de insumos cartográficos (fotografías aéreas, las imágenes de satélite o similares) resultan inviables para los países en “vías de desarrollo” porque no cuentan con los recursos económicos. Parar ello, es necesario implementar, dentro de las distintas metodologías, herramientas accesibles (en términos económicos) que permitan evaluar de manera oportuna zonas de exposición a PRM.

A consecuencia de ello y, como vía alternativa de las imágenes de satélite, es factible el uso de fotografías aéreas. Entre los inconvenientes que presenta el uso de este material para fines cartográficos (que la propia CEPAL reconoce), radica en que debe haber especialistas en materia para la evaluación del material/producto (aerofotogrametría). Por lo anterior, resulta viable como método alternativo de uso más no por completo debido a la especialización que requiere el manejo, la interpretación y análisis del material.

De igual modo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Grupo de Evaluación de Riesgo de la Agencia del Medio Ambiente (AMA) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) crearon para el territorio cubano, la metodología para estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones por intensas lluvias, inundaciones por penetración del mar, fuertes vientos, sequía y deslizamientos de tierra (AMA y CITMA, 2014).

En la metodología del AMA y CITMA (2014), proponen conformar grupos inter y multidisciplinarios con conocimientos sobre ciencias de la tierra, debido a que parte de los objetivos metodológicos son presentar mapas con información entendible, pertinente y distribuible a toda la población, por ello el manejo de Sistemas de Información Geográfica es sustancial en cuanto al manejo de escalas (análisis socio-temporal y espacial).

La conformación del material cartográfico se realiza con base a tres tipos de mapas temáticos: uso de suelo, geológico y Modelo Digital de Elevación (MDE). Posterior a la recopilación y armado de estos mapas, es factible obtener zonas susceptibles a las diversas amenazas naturales que se presentan en el territorio. La base de datos con información geoespacial funge como parte sustancial en la creación del material y a la par

se utiliza como medio de actualización de datos sobre los diversos eventos que se busca mitigar o reducir.

Cabe destacar, no obstante, que la utilidad de esta metodología y los insumos necesarios para llevar a cabo el análisis pertinente, deben estar continuamente actualizados o la información sobre la evaluación no se completaría de manera satisfactoria. En tanto los MDE, son obtenidos de datos vectoriales y no con material propio del terreno (fotogrametría convencional o digital). Por lo cual, la información presentada, no necesariamente denota la temporalidad real del evento.

De forma alternativa y como un intento de estar a la vanguardia (desde América Latina) en cuanto a la aplicación de tecnología en el tema de riesgos, el gobierno de Chile junto con el Ministerio de Desarrollo Social mediante la División de Evaluación Social de Inversiones (2017), propusieron: “La metodología para la evaluación de riesgos de desastre dentro de la infraestructura pública”, con la finalidad de tener mayor control en áreas con alta susceptibilidad a procesos naturales (erupciones, sismos, deslizamientos, etc.). Cabe mencionar que la metodología fue propuesta el mismo año que ocurrió el deslizamiento de Santa Lucía (capítulo 1).

Con base en la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) (2017), la evaluación de las zonas susceptibles y en exposición, deben ser cotejados mediante la fragmentación de los espacios. El interés mostrado refleja la necesidad de aplicar distintas escalas de estudio para los fenómenos. La justificación principal radica en que cada entorno contiene características específicas y, por ello, es necesario estudiarlas de manera puntual sin regionalizar las zonas.

De acuerdo con ONEMI (2017), la principal fuente de información para fines de evaluación, es mediante la implementación de un *Software visor web “Chile Preparado”* con la finalidad de identificar la (s) zona (s) afectada (s) o expuestas a amenazas naturales. Posterior a la evaluación, los datos obtenidos del visor web, son utilizados como insumo del Sistema de Información Geográfica para dar como resultado mapas de riesgo geológico y de ordenamiento territorial (*Ibíd*).

A diferencia de las metodologías anteriores, la creación del *software* representa viabilidad debido a que la información se encuentra disponible para la población en general, solo deben ingresar al sitio *web*. Además de que, los gastos corrientes los

subsidió el gobierno con ayuda de empresas privadas interesadas en la mitigación de riesgos (acciones para reducir la vulnerabilidad y exposición a ciertos peligros). Sin embargo, en cuanto a la prevención del riesgo (aplicación de medidas para evitar que un evento termine en desastre) no se ahonda en datos e información, lo cual representa una brecha importante entre lo que se quiere realizar por parte de gobierno, empresas y lo que realmente necesita la población.

Después de haber revisado las metodologías anteriormente señaladas, se puede puntualizar que la combinación de distintas herramientas tecnológicas se vuelve sustancial al momento de poder prevenir y analizar los desastres. El método chileno, por ejemplo, puede ser utilizado como metodología en cuanto al costo moderado en su creación, que contempla localmente los diversos fenómenos al puntualizar las causas que los originan así como el impacto que tiene en el área. Las características de cada lugar difieren dentro del propio territorio y se vuelve necesario precisarlas para evitar que a mediano o largo plazo vuelvan a ocurrir, por ello, es importante señalar el papel que juega la escala en el análisis sobre eventos de desastre.

Desde la perspectiva geográfica del espacio, como objeto de estudio, la relación de elementos físicos y sociales refleja las consecuencias y modificaciones de eventos que perturben el sistema. Por ello, la combinación de elementos tecnológicos que enmarcan las distintas metodologías revisadas sugieren; el uso de fotogrametría digital, MDE, precisión en los elementos estructurales, la temporalidad del material y manejar distintas escalas de estudio para análisis de amenazas locales. Actualmente, la tecnología que combina los elementos mencionados son los Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT o *drone*).

### **3.2 Antecedentes históricos**

En el ámbito de las ciencias sociales, los estudios relacionados a riesgo y desastre se conciben desde posturas de vanguardia en ciencia y tecnología. Por ello, con el paso del tiempo, distintos métodos han sido utilizados para poder estudiar y comprender mejor el entorno cuando se suscitan perturbaciones en el espacio geográfico.



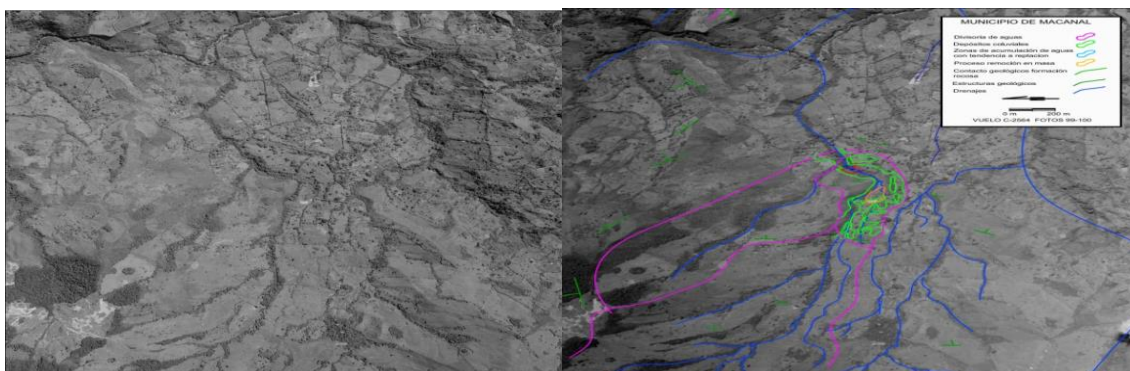
## Fotointerpretación

De acuerdo al Manual de Fotogrametría y Fotointerpretación (2006), la fotointerpretación se define como: “el acto de examinar imágenes fotográficas con el objetivo de identificar objetos y determinar su significado”. La fotointerpretación implica una serie de etapas consecutivas, durante el proceso, las variables deben ser detectadas, identificadas y, finalmente, analizadas para determinar su significado así como la relación que tienen con el medio ambiente.

Para Cayhono y Zaid (2018), el método de la fotointerpretación es “la obtención de información cualitativa sobre fotografías aéreas de un objeto, por el análisis visual del ser humano y la evaluación fotográfica”. Mediante la revisión de los elementos es posible realizar una primera valoración de los aspectos físicos del territorio. De acuerdo con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) (2012), para realizar el método de fotointerpretación se requiere conocer/encontrar características como:

- Tamaño de los elementos (la escala de la foto)
- La forma de los elementos
- Las sombras, que pueden dar forma de algunas formas no visibles desde la perspectiva aérea.
- Textura, tono y distribución de colores en una fotografía.
- Distribución de los elementos.

El método de trabajo tradicional requiere marcar objetos que aparecen en la fotografía sobre un acetato de mismo tamaño y forma que las referencias o fotogramas (Figura 3.1). Entre los objetivos de trabajo sobresalen; el uso de estereoscopio (instrumento de observación) en la comparación y trazado/marcado de objetos, la delimitación de zonas de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) para el diseño de obras de estabilización (UPTC, 2012).



**Figura 3.1** Elaboración de estudio de riesgo (Amenaza y vulnerabilidad) y diseño de obras de estabilización en la Vereda Serranía, municipio de Macanal, jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional De Chivor. Tomado de UPTC, 2012.

Como beneficio adicional, escanear la imagen facilita la posterior georreferenciación de forma semiautomática e incluirla en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Otras características que se toman en cuenta al realizar fotointerpretación son Geología y geomorfología (Topografía y Litología, estructuras, drenaje y depósitos fluviales), vegetación y uso de suelo, etc. Analizar dichos campos brinda un panorama general sobre las características del medio ambiente y permite realizar diversos estudios, entre ellos, los relacionados con riesgo de desastre (la posterior evaluación).

### **Globo Aerostático (Proto VANT)**

El antecesor “primitivo” de los VANT surge con la implementación de cámaras fotográficas a bordo de globos aerostáticos. Desde mediados del siglo XIX, el francés de nombre Gaspard Tournachon tomó la primera fotografía aérea (Figura 3.2). En 1855 patentó la idea de utilizar las fotografías aéreas en la cartografía y la topografía. Sin embargo, hasta 1858 no consiguió tomar la primera fotografía aérea desde un globo aerostático con éxito (Airdrone View, 2014).

Según Chango y Álvarez (2011), la relevancia de su labor fue la de dar otro tipo de perspectiva al estudio del espacio (sobre todo porque dio paso a los estudios urbanos) y que, a diferencia del vuelo común para hacer fotointerpretación, mediante el globo aerostático la escala y detalle podían planificarse conforme las necesidades de investigación para obtener insumos cartografiables, lo que supuso un avance importante en el quehacer de los especialistas y estudiosos del espacio.

El globo aerostático se puede considerar como el antecesor de los VANT, más el método de interpretación era similar al de la fotointerpretación convencional. La calidad de las imágenes estaba en función de la cámara usada y no debía exceder las dimensiones del globo para que se elevara adecuadamente (Chango y Álvarez, 2011).

Los estudios realizados mediante fotointerpretación representan alto costo operativo, por ende, no era común realizar estudios con el método anteriormente mencionado. La limitante económica ha estado presente en el estudio de distintos eventos, por ello, la obtención de tales productos se encontraba limitado. Sin embargo, existen alternativas de teledetección que son simples y económicas.



**Figura 3.2** Referencia sobre Gaspard el primer fotógrafo aéreo (Izquierda). Fotografía de la ciudad de Boston, considerada la más antigua, tomada de Airdrone View, 2014.

López y Palacio (1994-1996) en México, mediante la técnica de videografía entendida como; el uso de imágenes de video con el fin de evaluación del terreno y, la videogrametría definida como; el uso de imágenes de video con fines de dimensionar los rasgos del terreno. Como objetivo tuvieron la recopilación de video-imágenes para realizar comparación multitemporal sobre el avance de rasgos de erosión en cárcavas en el municipio de Huasca, Hidalgo. Para ello, montaron una cámara de video sobre un globo aerostático entre rangos de 13-200 m. de altura. Refieren que, el uso de ambas técnicas fue aplicado para evaluar las características del terreno en lugares de acceso restringido y, obtener productos con alta resolución (entre 5-7 cm) al usar un elemento aéreo no tripulado de bajo costo.

De acuerdo con López y Palacio (1994) con referencia de Vleck y Cheung, (1983), otras ventajas de utilizar las técnicas de videografía y videogrametría son:

- Cámaras con alta sensibilidad a la luz.
- El procesamiento y obtención de imágenes puede ser en tiempo real.
- Facilidad de digitalización de la señal de video.
- Desarrollo tecnológico constante.

López y Palacio (1996), refieren que la información obtenida (de la teledetección) representa mayor potencialidad en estudios regionales y subregionales, pero en el plano local presenta limitaciones además de altos costos de obtención. Entre los principales objetivos de la continuación de su estudio era mostrar (mediante la videografía y

videogrametría) un estudio local sobre la modificación del relieve como la presencia de erosión en cárcavas, la evaluación de recursos naturales (obtención de fotografías inmediatas), en el contexto de una técnica de apoyo innovadora, simple, económica y como complemento para estudios ambientales.

## **Fotogrametría**

Para el Manual de Fotogrametría y Fotointerpretación (2006), la fotogrametría es un método alternativo para el análisis espacial, utiliza elementos que se encuentran en determinado sitio con el fin de analizar los componentes (naturales y culturales) de manera consistente. De acuerdo con La Sociedad Internacional de Fotogrametría y de Sensores Remotos (ISPRS, 2005), la fotogrametría se define como “la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, con el fin de obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición) del objeto fotografiado”.

La técnica fotogramétrica utiliza imágenes (satelitales) de alta nitidez y calidad para delimitar con mayor precisión formas en los objetos de la zona bajo estudio. Aunque la interpretación sigue basándose en fotografías, destaca la variación en la calidad de las mismas conforme el tipo de cámara, número de vuelos, altura y ángulos de toma, procesamiento por equipos de cómputo, entre otros aspectos (ISPRS, 2005).

Los recientes avances en la fotogrametría han dado como resultado una nueva clase de algoritmos y herramientas de software para la reconstrucción de superficies de manera automatizada Stumpf *et al.*, (2014). La importancia de realizar interpretación de imágenes, dentro del campo de las ciencias de la tierra, geociencias (geomorfología, hidrología, geofísica y ciencias naturales) en general, radica en la obtención de conocimientos sobre el relieve y la topografía de diversos sitios con la finalidad de estudiar diversas amenazas naturales.

Las técnicas fotogramétricas permiten alcanzar con rapidez, amplitud, detalle y costo moderado la ubicación de cualquier variable impresa o de manera digital en la fotografía (Pacheco y Pozzobon, 2011). El uso de técnicas cartográficas permite una semiautomatización del proceso para ser usado en estudios de amplio espectro conforme los objetivos del investigador. De manera convencional el proceso se realiza con vuelos

desde aviones equipados con cámaras especiales integradas que realizan la toma fotográfica.

Conforme lo presentado en líneas arriba, la principal desventaja de usar métodos convencionales (fotointerpretación y fotogrametría) radica en el alto costo operativo, además de tener que realizar distintos tipos de vuelo para cubrir el área delimitada. Ejemplo de ello, es que obtener las imágenes mediante procesamiento de fotografía convencional, eleva el costo en tanto se deban usar distintos químicos y/o tipos de cámara (Chango y Álvarez, 2011). Implementar equipo digital en la toma de fotografías aéreas, facilita la obtención de imágenes con mayor detalle (escala) en los elementos del sitio, bandas de color *RGB* (rojo, verde y azul) útil en estudios ambientales y para identificar distintos tipos de vegetación y erosión en el lugar. Además de hacer notoria la presencia de PRM (ubicación e identificación de deslizamientos de tierra, caídos de roca, depósitos, etc.) (ISPRS, 2005).

A diferencia de la fotointerpretación, la fotogrametría, basa su análisis en cálculos métricos y geométricos que denoten la forma de los objetos registrados en la imagen. La fiabilidad de los datos es mejorada al implementar la fotogrametría digital. El nivel óptimo en la calidad de imágenes y los productos derivados se vuelven instrumentos base para la evaluación de distintas amenazas naturales (*ibíd*).

### **3.3 Los VANT en estudios de riesgo y desastre**

Como se ha mencionado, desde el campo de las ciencias de la tierra, ciencias naturales y geociencias, el estudio de diversas amenazas naturales, precisa implementar técnicas novedosas debido a que los fenómenos (pueden ocurrir) en lugares de difícil acceso para las plataformas terrestres como el Láser terrestre (*LIDAR*), *GPS* o algún otro elemento topográfico que requiera estabilidad.

A nivel mundial, el uso e implementación de nuevas tecnologías aplicadas a distintas áreas y, dentro de las mencionadas, permite ampliar el conocimiento sobre inundaciones, procesos de remoción en masa, huracanes, sismos, erupciones volcánicas, etc, (Calvo, 2016). La ocurrencia de los eventos puede generar peligro para los investigadores si el relieve es adverso para transitarlo. La introducción del VANT permite,

entre otros aspectos, hacer análisis geoespacial desde zonas seguras con la certidumbre de obtener información fiable.

Los VANT integran el proceso de fotogrametría digital (uso de fotografías aéreas, imágenes satelitales, mapas o cartas topográficas entre otros) para maximizar resultados (que en la forma tradicional) de análisis espacial no permitía la limitante natural del método empleado (Cook, 2016).

### *Fotogrametría digital y productos geoespaciales*

La innovación de la fotogrametría digital aplicada en Astre (2010), Westoby *et al.*, (2012), Jaboyedoff *et al.*, (2010 y 2012), Cook (2016) y Cahyono y Zayd (2018), refieren procesos en común para obtener productos del sobrevuelo de los VANT en distintas áreas y contextos de estudio. La primera ventaja mencionada, es la obtención de múltiples imágenes y, a partir de ello, aplicar distintas técnicas digitales de análisis fotogramétrico.

De acuerdo con Westoby *et al.*, (2012) y Jaboyedoff *et al.*, (2010 y 2012), para presentar y estudiar las características del relieve y el complejo topográfico, es necesario derivar un modelo digital de elevación de la técnica “*Structure For Motion*” por sus siglas en inglés (*SFM*). La técnica consiste en autoajustar de manera simultánea y automática mediante (*software SFMToolkit3*) funciones de coincidencia de las imágenes obtenidas del VANT (Astre, 2010).

Para Cahyono y Zaid (2018), la ventaja de usar la técnica es que genera un mosaico de fotografías (ortofotos, ortomapas) de manera sencilla, con alta resolución, precisión de corrección de datos y con la ventaja de ser económica en comparación con métodos tradicionales. Conjuntar el enfoque fotogramétrico terrestre con imágenes de alta calidad del UAV's, permite resolver problemas de ubicación y de geometría en 3D con el objetivo de modelar distintas formas de relieve en escala local o microescala. En cuanto a puntos de control terrestre (*GCP*), coinciden en que, la técnica *SFM* permite obtener más puntos *GCP* en comparación con métodos convencionales. La ventaja de ello radica en el trazado de perfiles, lo obtenido del VANT expresa mayor detalle (Figura 3.3) en comparación a la fotogrametría tradicional (*ibíd*).

Otro aspecto que se destaca en Jaboyedoff *et al.*, (2010 y 2012), es que, al hacer el autoajuste de imágenes (georreferenciación) la red espacial se amplía y, pueden ser

elegidos sitios puntuales para crear mapas y analizar algún fenómeno natural, por ejemplo, los deslizamientos de tierra. Otra ventaja relacionada es, obtener a partir de las coordenadas en las imágenes, el “*Digital Survey Model*” (DSM) o modelo de elevación digital, al determinar la forma (contorno), volumen de la superficie y estudiar el fenómeno natural ocurrido.

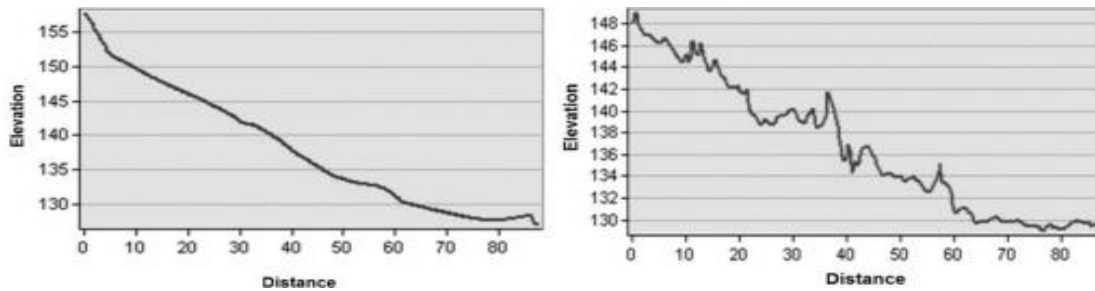


Figura 3.3 Comparación gráfica de la elongación del perfil entre el método terrestre (izquierda) y la fotogrametría de un VANT (derecha). Tomado de Cahyono y Zayd, 2018.

Del mismo modo, el estudio de Florinsky *et al.*, (2018), proporciona parte de la teoría y funcionamiento de los “Sistemas Aéreos No Tripulados” (UASs) para la creación de modelos digitales de elevación con alta resolución en el modelado geomorfométrico. Parte de los objetivos es potenciar a su máximo nivel el uso de los VANT, mediante la instalación de componentes adicionales. Los UASs requieren del *Geoscan*, el cual utiliza una cámara de alta resolución con un GNSS (una estación “punto de control” que recibe datos GPS, al momento que las procesa para determinar las características planimetrías y verticales de la zona) mediante aplicaciones java.

Para el procesamiento de imágenes, el parámetro clave es la superposición entre imágenes y se expresa mediante porcentajes. Para el levantamiento aéreo tripulado convencional, el mínimo requerido hacia adelante (y se supone que las superposiciones laterales) son iguales a 60 y 30%, respectivamente (Kraus, 2007).

Respecto al tema Florinsky *et al.*, (2018) menciona que el estudio aéreo por medio de UASs, aumenta la probabilidad de ocurrencia de áreas no superpuestas, por lo que recomienda, establecer parámetros entre 70 y 50% hacia adelante y superposiciones laterales para obtener modelos *DSM* y *SFM* de alta calidad), no obstante, si el modelo contuviera errores, pueden ser corregidos mediante mapas de morfometría local.

De acuerdo con Cook (2016), la importancia de realizar mediciones multitemporales (periodos de uno o más años, para corroborar si ocurrieron modificaciones del relieve por fenómenos como; lluvias de monzón, erosión por factores eólicos, fluviométricos y pluviométricos, etc.) resulta necesario para mantener la continua evaluación topográfica y con ello advertir sobre zonas de susceptibilidad y exposición de las comunidades o asentamientos humanos ante PRM.

### *Cartografía digital y geo tecnologías*

La cada vez más sofisticada tecnología de los VANT ha permitido cambiar la forma en que se diseñaba y producía anteriormente toda la cartografía de un lugar a escala predeterminada. Los avances tecnológicos (equipos topográficos como de cómputo o softwares) facilitan el plasmar la ocurrencia de fenómenos naturales así como los cambios en el relieve (geomorfología, geología, suelos, hidrología, etc) por medio de imágenes de alta calidad aplicados al análisis topográfico.

En diversos estudios, Carretero (2015), Cisnero *et al.*, (2016) Cook (2016), Pinzón (2017), Buitrago y Durán (2018), señalan que utilizar y comparar bases de datos (nubes de puntos del VANT y *LIDAR*) permite corregir aspectos que son visibles en imágenes del dron pero no son perceptibles en el barrido terrestre (*LIDAR*) lo que potencia el uso de herramientas de teledetección para determinar las variables (geológicas, geomorfológicas, edafológicas, etc.) de un lugar. Entre su objetivo de estudio, proponen el evaluar los cambios geomorfológicos mediante estructuras de movimiento de imágenes tomadas por un VANT y, como complemento, el uso de *LIDAR*.

Cisnero *et al.*, (2016) Cook (2016) y Pinzón (2017) sugieren que incluso los VANT básicos pueden producir datos adecuados para medir cambios en el relieve. Sin embargo, también mencionan que combinar herramientas, tanto aéreas como terrestres, potencia la teledetección para observar variaciones geomorfológicas en sitios con presencia de amenazas naturales.

Buitrago y Durán (2018), además proponen, sobre el tema de gestión de Riesgo y desastres, la creación de sistemas de alerta temprana, como beneficio adicional de los productos en cuanto a cartografía, el uso y la aplicación de las geo tecnologías con fines de prevención en cuanto a información demográfica, geográfica y catastral del (os) lugar



(es). Otra ventaja que mencionan, es que, a partir de la cartografía digital es posible centrar la atención en zonas donde hay riesgo de desastre por condición de exposición y vulnerabilidad.

### **3.4 Los VANT: Aplicaciones para el análisis de riesgo por Inestabilidad de laderas**

Anteriormente se ha hecho mención sobre las ventajas que tiene el uso de los VANT dentro de las geociencias. La revisión puntal de lo que representa el análisis de riesgo por inestabilidad de laderas lo constituye el componente tecnológico como vía alternativa a los estudios convencionales.

Estudios como el de Henry *et al.*, (2002), Fryer *et al.*, (2007), Sutton *et al.*, (2009), Jaboyedoff *et al.*, (2012) y Stumpf *et al.*, (2014), basándose en bibliotecas de código abierto para fotogrametría estéreo multivista y la técnica de *SFM*, lograron la reconstrucción en 3D de los rasgos topográficos para hacer la evaluación temporal de distintos deslizamientos (cálculo de los volúmenes de sedimentos y el desplazamiento de los mismos) ocurridos en la zona. Entre sus objetivos destacan, analizar diversas variables desde la fotogrametría multivista; la deformación y erosión (antrópica) por deslizamientos de tierra.

De acuerdo con Henry *et al.*, (2002), Fryer *et al.*, (2007) y Sutton *et al.*, (2009), la realización de *DSM*, junto con *SFM* permite la visualización de elementos en el terreno que son omitidos en estudios regionales. Cabe destacar que las observaciones espaciales son importantes por la información obtenida sobre la topografía a escala global, nivel regional, subregional o de escala local y microescala en cuanto al análisis de diversas amenazas socio-naturales. La mayor precisión obtenida resulta de la combinación de otros elementos (principalmente del *LIDAR*) puesto que, genera densas nubes de puntos con amplias características sobre el terreno (Jaboyedoff *et al.*, 2012) y Stumpf *et al.*, 2014).

Las técnicas fotogramétricas convencionales son empleadas con frecuencia. Sin embargo, requieren altas demandas como la geometría de adquisición de imagen, conocimientos sobre edafología, mecánica de suelos y la experiencia del operador para el procesamiento de datos recabados (Henry *et al.*, 2002; Fryer *et al.*, 2007).

De acuerdo con Sutton *et al.*, (2009), para medir el desplazamiento en 3D de algún fenómeno con alcance temporal importante sobre la población (principalmente el deslizamiento de laderas), desde la mecánica de suelos, refiere hacer la comparación de pares fotogramétricos, *SFM* y de *DSM*, lo que maximiza conocer las características del evento y aumentar la precisión en los cálculos al comparar métodos o técnicas de alta fiabilidad.

Para Sutton *et al.*, (2009) resulta posible realizar monitoreo de zonas volcánicas activas, deslizamientos (activos, inactivos o con indicios de reactivación), la pérdida de suelo por factores agentes exógenos como; el viento o la precipitación, analizar el avance erosivo sobre cárcavas, entre otros ejemplos. Al hacer uso de distintos medios, se potencializa aplicar técnicas accesibles (*software* libre), además de ser eficaces en el tiempo de obtención y procesado de imágenes que permiten observar a distinta escala los fenómenos, principalmente desde lo local (*ibíd*).

#### *Escala local: importancia en estudios de riesgo y desastre*

El estudio de eventos naturales y sociales requiere tener una delimitación sobre el espacio, puesto que, cuando ocurren no afectan a la misma cantidad de personas ni la misma superficie del espacio. Por ello, resulta imprescindible tener en cuenta los distintos niveles de escala con que estudiamos diversas amenazas desde la geografía. El concepto de escala es fundamental dentro de la geografía puesto que debemos estudiar fenómenos que van, desde lo más cercano, hasta lo que puede implicar una relación mundial respecto a la población y el espacio involucrado. Se pueden distinguir dos tipos, la expresión más simple, la relación entre la realidad y su representación gráfica, como técnica cartográfica (donde se indica la proporción a la que se dibuja un territorio) y, como noción geográfica (donde se explica a qué nivel se observa un fenómeno) (Christlieb y Urquijo, 2012).

De acuerdo al Manual de Cartografía Geoestadística de INEGI; la escala se define como: “la relación proporcional entre las dimensiones de los elementos representados en un mapa y las correspondientes en el terreno” (INEGI, 2010). Para comprender mejor la magnitud e impacto que tiene cualquier amenaza (natural y/o proceso social) en el espacio, es importante determinar la escala desde la cual se va a analizar y posteriormente representar el estudio en conjunto.

Christlieb y Urquijo (2012), con base en el concepto de Ferras (1992) definen la escala local como aquella que: “es inmediata y sostiene la vida cotidiana del individuo”. Es posible notar a esa escala los lazos que se desarrollan entre habitantes que se conocen y donde “el horizonte es limitado, los desplazamientos se hacen a distancias cortas y los grupos son bien definidos y restringidos” (Ferras, 1992). La escala local se entiende entonces como aquel lugar donde los seres humanos enfrentan su entorno, transformándolo y a su vez transformado, mediante la descripción y comprensión de la dinámica social presente entre comunidades que cohabitan el espacio. En los estudios de riesgo y desastre, los procesos de remoción en masa, a diferencia de otras amenazas naturales, ocurren en sitios puntuales donde la escala es primordial al momento de la evaluación del impacto. Entonces, es necesario realizar estudios desde la escala local para fines de; revisión, análisis y posterior evaluación de los eventos.

De acuerdo con CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), la creación del Atlas Nacional de Riesgos involucró; “la elección de la escala en función de factores como la superficie total del territorio estudiado, el tipo de proceso a representar, la cantidad de elementos a incluir en el mapa, entre otros (CENAPRED, 2014). De esta manera y en cuanto sea mayor la escala, habrá una mayor abstracción en la información representada, recurriéndose en mayor medida a los símbolos y a las normas de legibilidad y generalización cartográfica de la información, para CENAPRED (2014) son:

- Suavización lineal.
- Alineación de rasgos.
- Extensión de líneas o área.
- Acortamiento de líneas o áreas.
- Simbolización puntual o codificación de rasgos.
- Orientación y escalado de símbolos.
- Orientación, acomodo y escalado de textos.
- Armonización.
- Selección.
- Esquemmatización.
- Agregación.
- Simplificación.

En la construcción de la cartografía, para la definición y elección de la proyección geográfica así como la escala de trabajo, se deben considerar parámetros que representen las diferentes amenazas. Los Atlas de riesgos, retoman los criterios establecidos en la Norma Técnica NTG-013-2006, formulada por el INEGI, 2010 (Tabla 3.1), para representar los diversos eventos en el territorio.

Otro factor considerado por CENAPRED (2014), está relacionado con la unidad mínima cartografiable, misma que permite definir la escala de representación en función del valor mínimo de superficie (metros, hectáreas), que corresponde a los procesos cartografiados en los mapas.

La Tabla 3.1 muestra los parámetros definidos para estandarizar la cartografía de riesgos. Cabe señalar que la elección de la escala mayor (1:5,000) y menor (1:250,000), se basa en las características de los municipios del país como superficie y forma (CENAPRED, 2014).

Escala	Proyección Cartográfica	Unidad Mínima Cartografiable (Toma como base un cuadro)
1: 5 000	Universal Transversa de Mercator	2 x 2 mm= 25 cm <sup>2</sup>
1:10 000	Universal Transversa de Mercator	2 x 2 mm= 100 cm <sup>2</sup>
1:20 000	Universal Transversa de Mercator	2 x 2 mm= 400 cm <sup>2</sup>
1:50 000	Universal Transversa de Mercator	2 x 2 mm= 2,500 cm <sup>2</sup>
1:100 000	Universal Transversa de Mercator	2 x 2 mm= 10, 000 cm <sup>2</sup>
1:250 000	Universal Transversa de Mercator	2 x 2 mm= 62, 500 cm <sup>2</sup>

**Tabla 3.1** Relación de Escalas, Proyecciones y unidad mínima cartografiable, elegibles para generar la cartografía de peligros y riesgos. Elaborada con base en CENAPRED, 2014.

La conformación de la escala, dentro del Atlas Nacional de Riesgos, contiene cartografía de escala local en pocos rubros de análisis (como; lluvias, tormentas eléctricas, tornados, inundaciones, entre algunas otras amenazas naturales) que en parte, se toman con base en lo que el investigador quiere realizar, por ello, el manejo, procesado, tratado y muestra de información se realiza mediante diversas herramientas metodológicas y cartográficas.

Actualmente, el análisis y la evaluación de riesgo y desastre por PRM no están contemplados por INEGI en alguno de sus productos cartográficos. No obstante, la escala local puede ser considerada dentro del área geoestadística básica (urbana o rural) (Tabla 3.2), al considerar la extensión corta y puntual del territorio.

Por su parte INEGI (2010), en el marco geoestadístico nacional, toma como referencia base en la cartografía los siguientes parámetros (Tabla 3.2). Además, se debe considerar que la escala local denota información sobre la presencia de comunidades o habitantes que estén cerca de alguna geoforma (principalmente laderas). Puesto que, al momento de evaluar la ocurrencia de desastres, es necesario prevenir a dicha población sobre las consecuencias de habitar en zonas de riesgo.

Concepto	Normatividad
Área geoestadística estatal	Existe una agee por cada entidad federativa
Área geoestadística municipal	Existe una agem para cada uno de los municipios y delegaciones del país. Las claves de agem son irrepetibles en una misma agee.
Área geoestadística básica	Las claves de las ageb son únicas al interior de un municipio.
Área geoestadística básica urbana	Este tipo de ageb se asigna solamente en localidades urbanas. Están conformadas generalmente para un conjunto de 1- 50 manzanas, el uso del suelo es habitacional, comercial, de servicios, etc.
Área geoestadística básica rural	Su extensión territorial es variable y el uso de suelo se destina principalmente a actividades agropecuarias y forestales; contiene localidades urbanas, rurales y extensiones naturales como pantanos, lagos, desiertos, entre otros.

**Tabla 3.2** Principales conceptos del MGN y su normatividad, elaborado con base en INEGI 2010.

### 3.5 Los VANT: Aplicaciones para el análisis de riesgo por inestabilidad de laderas en México

El estudio mediante los VANT, como implementación tecnológica, permite un mayor acercamiento a distintas amenazas que suceden a lo largo del territorio y sobre los cuales se tiene un conocimiento general. Actualmente, la información es obtenida de manera rápida, eficaz y permite la caracterización de eventos conforme el contexto en que ocurren. Ejemplo de ello son, los PRM que suceden debido a las condiciones geográficas donde se localiza un lugar, condiciones abruptas del relieve (susceptibilidad), la resistencia de los materiales (presencia o no de vegetación) y, en general, los síntomas de inestabilidad de laderas que la población desconoce y por ello aumenta su condición de vulnerabilidad al establecerse en zonas de exposición.

En México, a nivel nacional, los estados con mayor incidencia de PRM son Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Baja California, Colima, Estado y Ciudad de México (CENAPRED, 2001). En dichas entidades la escala de análisis y estudio sobre las amenazas naturales es estatal – regional; lo que tiende a regionalizar los eventos y limita conocer su impacto a nivel local. No obstante, en la última década, diversos estudios destacan la importancia en la utilización de *drones* al resaltar las ventajas de la metodología ante las formas tradicionales (fotointerpretación y fotogrametría) en términos de eficiencia, costo, información recabada/seleccionada/mostrada, temporalidad de los eventos, etc.

El Instituto Nacional de estadística y Geografía (INEGI), es la institución que se encarga del sobrevuelo de *drones* en áreas geoespaciales, principalmente, en

levantamientos aerofotogramétricos para generar ortofotos (ortomosaicos y ortomapas) y MDE, utilizados como insumos básicos para producción cartográfica, levantamientos catastrales, monitoreo agrícola, cálculo de movimiento de tierras, inventario de suelos, entre otros aspectos (Guardado *et al.*, 2017). En el territorio nacional, los *drones* se utilizan principalmente en estudios de monitoreo de especies silvestres, clima, mapeo y exploración de terrenos y/o vestigios arqueológicos (ejemplo de ello, es la zona arqueológica de La Quebrada en el estado de Sinaloa), que, mediante la georreferenciación de los sitios crearon mapas del lugar (*Ibid*).

Andrade (2016) señala que mediante el uso de técnicas emergentes como la fotogrametría digital (*drones* e imágenes de satélite), además de datos *LIDAR* (para obtener MDE) es posible analizar la ocurrencia de PRM. Otra ventaja que puntualiza es, la implementación de plataformas aéreas basadas en *SFM* permiten la creación de MDE de alta resolución (espacial y temporal) para el monitoreo de procesos en evolución de la superficie del suelo. De igual manera, enfatiza el uso de los métodos tradicionales como base para entender los procesos observados. Por último, destaca la utilidad que permiten los *drones* en zonas de derrumbes (caídas o deslizamientos), puesto que el nivel de detalle de los modelos permite determinar la deformación del relieve, sobre todo en zonas de difícil acceso. Aunado a ello, el estudio dejó como precedente la necesidad de implementar protocolos de seguridad en la zona ante la ocurrencia de PRM.

Paz *et al.*, (2017) y Garnica y Alcántara-Ayala (2017), proponen el uso de *drones* como herramienta para elaborar mapas de susceptibilidad en laderas inestables; zonas de mayor incidencia a PRM, además de resaltar la importancia que tiene la zonificación de sitios con presencia de población que habita zonas susceptibles y de exposición.

Paz *et al.*, (2017) combina métodos heurísticos y de multicriterio para la elaboración del mapa de amenaza, además de que, la información con la que se construyó el mapa refiere datos de cartografía a escala subregional (entre 1:20 000 y 1:50 000). Sin embargo, la caracterización de las laderas y la zona, apeló al análisis regional más que a lo local. De manera contrastante, Garnica y Alcántara-Ayala (2017), a partir del sobrevuelo de un *drone* (fotogrametría digital) obtuvieron insumos cartográficos (ortofotos) para construir mapas de amenaza, exposición y susceptibilidad a PRM en escala local (nivel colonia) de la zona de interés. La principal diferencia entre ambos estudios radica en la distinta escala de análisis; a escala regional no es posible caracterizar una amenaza natural por la cantidad de elementos involucrados y la

variabilidad de cada uno de ellos; la escala local además del nivel de detalle, permite generar inventarios de distintas zonas a partir de los datos e información recabados en campo.

Por tanto, implementar distintos métodos, técnicas y escalas de estudio (respecto a los VANT) potencia el análisis o detección de cambios en la morfología de laderas (en caso de riesgo por deslizamientos de tierra u algún otro proceso asociado), por medio de imágenes de alta resolución, MDE, modelos 3D, *SFM*, entre otros. Ello brindaría un panorama completo de la topografía y geomorfología de comunidades vulnerables con exposición a PRM (a través de la multitemporalidad), en los cambios que el relieve presenta debido a la ocurrencia de amenazas naturales.

El uso y aplicación de los VANT, al igual que los métodos tradicionales (Fotointerpretación y Fotogrametría) representan una fuente confiable de datos. La característica principal es que la información obtenida es de manera inmediata, eficaz y a bajo costo; por lo que resultan útiles casi en cualquier sitio, lo que permitiría realizar evaluaciones continuas de los estados con mayor ocurrencia e impacto de PRM para el territorio nacional.

Los VANT representan un campo de oportunidad importante y en pleno desarrollo (en México), por lo cual, deben ser aprovechadas las ventajas que se ofrecen en cuanto a legislación y que, realmente no se ha terminado de explotar el potencial como metodología de análisis, prueba de ello, es que en el territorio nacional, los estudios con VANT son escasos y limitados en cuanto al nivel de información que se podría obtener.

## **Capítulo 4 Materiales y método: análisis de exposición a procesos de remoción en masa.**

El presente capítulo trata sobre la estrategia metodológica empleada para la utilización de un vehículo aéreo no tripulado (VANT o *drone*) en la Colonia La Gloria, y la realización del análisis de exposición a procesos de remoción en masa. Consta de los siguientes cinco apartados:

- i. Ubicación del lugar y planificación de la ruta de vuelo (imágenes de satélite) de la Colonia La Gloria (Gabinete).
- ii. Materiales (*drone*, *LIDAR*, *GPS* diferencial (2, uno base y otro móvil) y formato de campo para evaluación de viviendas de la Colonia La Gloria) (Gabinete).
- iii. Delimitación de la zona y definición del área de mapeo (toma de datos en campo).
- iv. Procesado y cálculo de datos mediante el programa *ContextCapture* (Modelo 3D), generación de mosaicos: digitalización y revisión de las características del relieve mediante tomas fotográficas.
- v. Elaboración de un mapa de indicadores de exposición a PRM.

### **4.1 Ubicación del lugar y planificación de la ruta de vuelo (imágenes de satélite)**

Durante el trabajo de gabinete, fue localizada la Colonia La Gloria, mediante imágenes de satélite obtenidas de *Google Earth*. La imagen disponible del área de estudio es difusa (Figura 4.1), lo cual impidió delimitar los predios de la colonia, conocer las características del relieve y localizar los procesos de remoción en masa activos e inactivos. Dicha imagen fue corregida a través del trabajo de realizado con el VANT; su consecuente resolución que permitió visualizar diferentes rasgos del terreno y de las viviendas.





Figura 4.1 Imagen satelital de la colonia La Gloria, tomada de *Google Earth*, 2018.

Asimismo, para llevar a cabo la planeación del vuelo (VANT), fue necesario consultar material cartográfico como base para la toma de decisiones respecto a la ubicación donde se realizaron las actividades de despegue, control y supervisión de los vuelos.

#### *Materiales cartográficos*

Se utilizó la base de datos *LIDAR INEGI* (2011), para obtener la información sobre los objetos de mayor altura y con base en ello establecer los parámetros de vuelo para el VANT. Se seleccionó el área de trabajo en el estacionamiento en La Gloria, ya que este permitió sobrevolar el *drone* sobre 50 metros de altura. Todo ello, con la finalidad de evitar percances en los alrededores, mantener la escala deseada, entre otros aspectos que serán mencionados posteriormente.

#### *Programa Map Pilot*

La aplicación *Apple (iOS)*, es el complemento de los drones que se utiliza para crear y planear la ruta de vuelo en los VANT, así como para generar mapas mediante el procesamiento de mapas *Maps Made Easy* (Drones Made Easy, 2019). A

través del software fue posible definir el área de vuelo (área y altura), el sentido del vuelo y el nivel de detalle para posteriormente comenzar la misión.

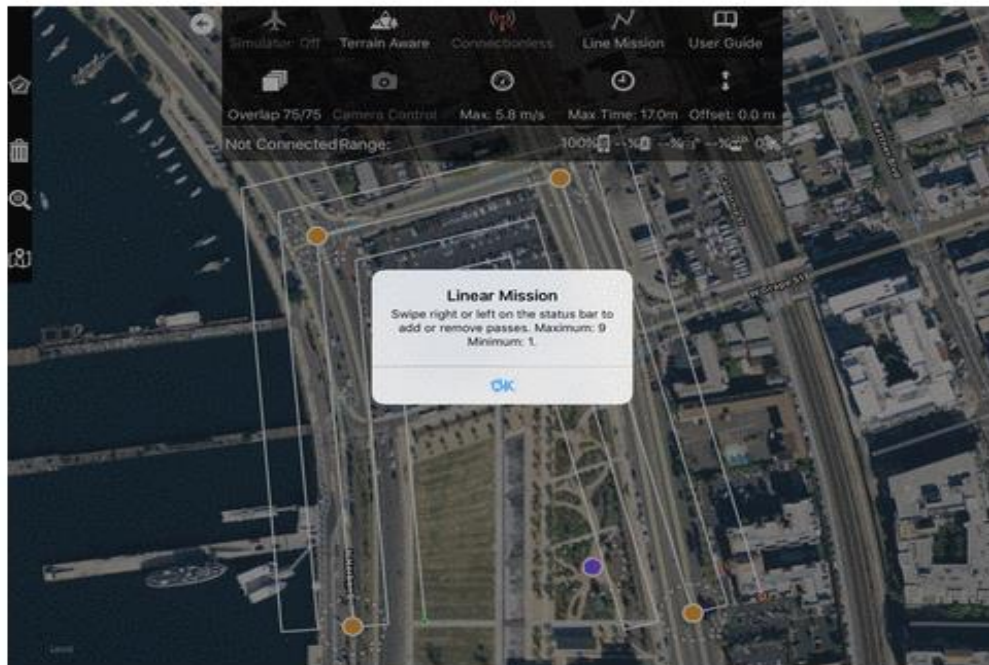


Figura 4.2 Programa Map pilot, ejemplo de programación de vuelo o misión. Tomado de Supportdrones, 2019

En la Figura 4.2, se muestran las características del programa *Map Pilot*, que permiten planificar el vuelo. Como se observa, la imagen base es obtenida de Google maps como referencia para realizar el trazado del área bajo análisis. Se pueden observar que datos como traslape, velocidad máxima, tiempo estimado de vuelo, etc. (Figura 4.2).

Una vez terminado el trazado, el programa reconoce las características de la misión de vuelo y puede ser modificado siempre y cuando el VANT no se encuentre en sobrevuelo.

#### **4.2 Materiales (formato de campo para evaluación de viviendas de la Colonia La Gloria, VANT, LIDAR y GPS)**

La metodología empleada para el desarrollo del presente estudio involucró la creación y aplicación de un formato base (Figura 4.3) como medio de evaluación estructural de los predios de la Colonia La Gloria.

Se elaboró un formato como medio exploratorio sobre la condición en que se encontraban las viviendas de la colonia La Gloria, para que de manera posterior, esa información fuera incluida en el análisis de exposición ante procesos de remoción en masa, en la zona de estudio.

LOCALIZACIÓN			
Colonia	Calle y número	Caso	Ubicación con respecto a ladera

COORDENADAS	
Latitud	Longitud

OBSERVACIONES Y REFERENCIA DE LOCALIZACIÓN

SERVICIOS		
Drenaje	Alumbrado Público	Toma de agua externa

ESTRUCTURA				
Uso Suelo	Niveles	Piso	Cimentación	Grado de deterioro

VEGETACIÓN		
Entorno natural	Entorno natural poca transf.	Entorno natural alta transf.

GRIETAS Y/O FRACTURAS	
En el terreno	En la calle

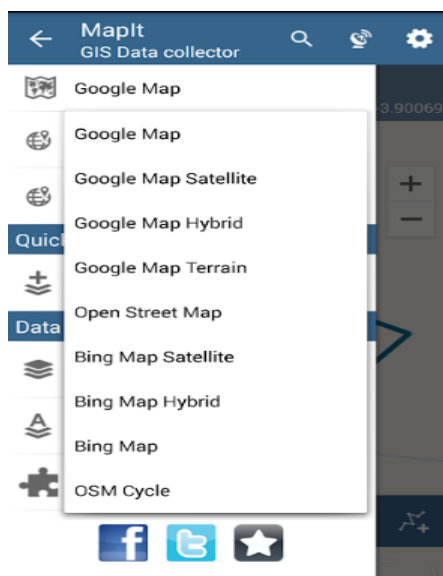
FOTOGRAFÍAS

Figura 4.3 Formato de campo para la evaluación estructural de las viviendas, elaboración propia.

El formato fue llenado en campo a través una aplicación (*Mapit GIS*) software disponible para plataformas *Android*, en la cual, por medio de la edición de capas de información es posible obtener los datos. Una de las ventajas que ofrece, es que los datos son almacenados en el dispositivo y se puede anexar una fotografía de lo observado en campo. Ello permitió la obtención de los datos en campo de manera sencilla y eficaz.

De manera adicional, entre las ventajas de la aplicación se encuentra la creación de capas de información que no limita el número de capturas (fotografías) de la vivienda, por

lo que se puede generar un compendio sobre diversos aspectos de interés. En la Figura 4.4 se muestran parte de las funciones de la aplicación utilizada en campo.



**Figura 4.4** Aplicación *Mapit Gis* para crear y cargar las capas de información creadas. Autoría propia, 2019.

El formato consiste en ubicar puntualmente las viviendas (colonia, calle y número), además de tomar en cuenta la ubicación respecto a la ladera (exposición). Aunado a ello, fueron anexadas las coordenadas espaciales (latitud y longitud) para poder realizar el agregado de la información al mapa correspondiente.

Respecto a los servicios, se tomó en cuenta a los tres principalmente catalogados como básicos, los cuales son toma de agua externa, alumbrado público y drenaje. La anotación para contemplar estos rubros básicamente consistió en respuestas biunívocas: sí y no. De la misma manera, fue importante conocer los rasgos estructurales a simple vista de las casas para realizar la zonificación (conjunto de viviendas) respecto a la exposición y riesgo a PRM.

Los valores asignados fueron, para uso de suelo 1 habitacional, 2 negocio y 3 mixto. Respecto a los niveles de construcción, el número correspondiente se anotó en campo. Para el piso de la vivienda se tomó en cuenta desde la perspectiva externa y principalmente el patio, los valores asignados fueron 1 concreto, 2 loseta y 3 otro.

La cimentación de la vivienda se tomó con respecto a 1 sin muros/flor de tierra, 2 con muros y mamposteo y 3 estructura de acero. El deterioro de la estructura o en su

defecto de la fachada, se midió con respecto a 3 valores, 1 poco, 2 moderado y 3 alto deterioro.

Los distintos niveles de construcción, aumentan el peso o carga en el suelo, el cual bajo condiciones extremas de precipitación influye ocurrencia de PRM. Entre los principales síntomas de inestabilidad, destacan la presencia de grietas y/o fracturamientos, en calles y viviendas. En dicho tenor, se consideraron con valores de 1 cuando hay grietas en la vivienda; 2 grieta en la calle; y 3 presencia de grietas en ambos sitios.


En cuanto a la vegetación, se consideró importante observar el nivel o grado de transformación en los predios o en función del grado de perturbación del medio A mayor nivel de transformación se crea inestabilidad del ecosistema y por ende del suelo, lo que puede provocar síntomas de inestabilidad en la ladera. Dicho de otra forma, la construcción de viviendas en laderas susceptibles, obstaculiza la infiltración natural y estimula la erosión del suelo. Este factor fue considerado a través de un indicador en el que se consideraron valores de, 1 sin intervención; 2 moderadamente intervenido y 3 totalmente intervenido.

Asimismo, se anexó una fotografía del predio para fines de control de casos así como para la realización de posteriores observaciones que no hayan sido contempladas en el formato de campo. Información detallada acerca de la construcción del formato, se puede consultar en Arellano *et al.*, (2004) y Maldonado y Chío (2012).

#### *Especificaciones del sistema DJI Phantom 4 Pro:*

Los VANT o *drone* son creados por distintas empresas a nivel mundial, sin embargo, la empresa de origen chino *DJI* ha destacado en la fabricación de productos estándar en la tecnología dron de consumo.

En la Tabla 4.1 se presentan las características del sistema utilizado en la realización de este estudio, (DJI, 2018).

Aeronave	Peso (batería, hélices incluidas ) 1 388 g Tamaño diagonal sin hélices 350 mm Tiempo de vuelo máximo: 30 minutos	Velocidad máxima 72 km/h (45 mph) (modo-S) 58 km/h (36 mph) (modo-A) 50 km/h (31 mph) (modo-P)	Altura máxima de servicio sobre el nivel del mar: 6 000 m (19 685 pies) Sistema de posicionamiento por satélite: GPS/GLONASS
Cámara	Sensor: 1" CMOS Píxeles efectivos: 20M	Tamaño de imagen: Proporción de imagen 3:2: 5472 x 3648 Proporción de imagen 4:3: 4864 x 3648 Proporción de imagen 16:9: 5472 x 3078	Modos de fotografía: Disparo único Disparo en ráfaga Exposición automática en Horquillado
Sistema de visión	Sistema de visión frontal Sistema de visión posterior Sistema de visión inferior	Campo de visión: Frontal: 60° (horizontal), 27° (vertical) Posterior: 60° (horizontal), 27° (vertical) Inferior: 70° (de frente y hacia atrás), 50° (a izquierda y derecha)	Entorno operativo: Superficie con un patrón definido y una iluminación adecuada (lux > 15)
Control	Frecuencia de funcionamiento: 2.400 - 2.483 GHz y 5.725 - 5.825 GHz	Distancia de transmisión máxima: Conformidad con FCC: 7 km (4,6 mi); conforme con CE: 3,5 km (2,2 mi) (sin obstáculos, libre de interferencias).	Soporte de dispositivos móviles: GL300E: tabletas y teléfonos inteligentes GL300F: Pantalla de 5,5 pulg., 1920×1080, 1000 cd/m2 Sistema Android, 4 GB RAM + 16 GB ROM
Batería de vuelo inteligente	Estabilizador: 3-ejes (cabeceo, alabeo, guiñada) Intervalo controlable Inclinación: -90° a +30° Velocidad angular máx. controlable Cabeceo: 90°/s	Aplicación transmisión/retransmisión de vuelo: Aplicación móvil DJI GO 4	

**Tabla 4.1** Características del *DJI Phantom 4 pro*, elaborado con base a DJI (2018).

### *GPS (Sistema de Posicionamiento Global)*

El *GPS* es usado comúnmente para poder encontrar las coordenadas geográficas de un lugar, persona, sitio, etc. Desde los primeros dispositivos (costosos e imprecisos) hasta la disponibilidad actual en teléfonos celulares, el *GPS* resulta útil para poder ubicar puntualmente coordenadas y objetos en el planeta.

El sistema *GPS* funciona al medir el tiempo que tarda una señal de radio en llegar hasta el receptor desde un satélite para después calcular la distancia a partir de la diferencia de tiempo (Figura 4.5). Se sincronizan los relojes de los satélites y de los receptores, posteriormente, la señal es recibida desde un satélite determinado que,

compara la señal generada en el receptor para calcular el desfase. La diferencia del desfase será igual al tiempo (ESA, 2019).

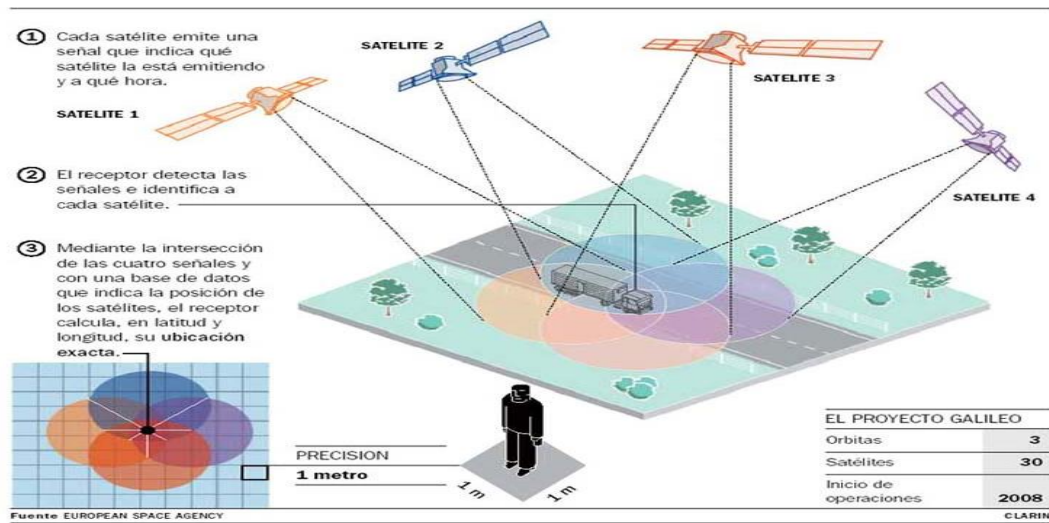


Figura 4.5 Esquema de un GPS y su funcionamiento. (Tomado de ESA, 2019).

Los elementos que componen un GPS son antena, componente que se encarga de recibir y amplificar la señal recibida por los satélites; receptor, recibe la señal recogida por la antena y la decodifica para convertirla en información legible; terminal GPS o Unidad de Control, ordenador de campo que muestra la información transmitida por los satélites y recoge todos los datos útiles para su posterior cálculo (ESA, 2019).

### GPS Diferencial

Es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de lograr mayor precisión en la posición calculada (GNSS, 2019). La Figura 4.6 muestra el conjunto de GPS, tanto la estación como el móvil. Las ventajas de utilizar el equipo es que no requieren un continuo contacto con los satélites entre estaciones; se puede apagar fácilmente y ser llevado al siguiente punto o mantenerse encendido y recabar datos sin interrumpir la precisión de los mismos ya que cada punto es medido de manera independiente (*ibíd*).



Figura 4.6 GPS diferencial (tomado de GNSS, 2018).

La estructura del *GPS* consiste en dos partes: un receptor móvil y una estación (o estaciones) como referencia que se sitúan en coordenadas conocidas con alta precisión. La estación de referencia recaba y comprueba todas las medidas de los satélites en un espacio local sólido, con lo que se obtiene en tiempo real las coordenadas del sitio en que se encuentra, cuyos valores ya se conocían con exactitud antes de obtenerlas. Posteriormente, compara los resultados, calcula los errores en tiempo real y transmite los mismos por algún canal de salida o sistema (satélite, radio, TCP/IP, etc.) al receptor móvil que, mediante complementos podrá captar dichas correcciones y recalcular su posición (ESA, 2019).

Entre las aplicaciones destacan los levantamientos de control, densificación, determinación de puntos de control o cualquier trabajo que requiera la obtención de puntos de manera rápida y con alta precisión. También se destaca el apoyo para trabajos fotogramétricos de manera convencional o para la fotogrametría digital, puesto que los datos obtenidos pueden ser trasladados a un equipo de cómputo para su posterior tratamiento de la información, por ejemplo en el SIG (GNSS, 2019).

Entre las ventajas de su uso destaca que no requiere un continuo contacto con los satélites entre estaciones; se puede apagar fácilmente y ser llevado al siguiente punto o estar encendido y ser puesto a recabar datos sin interrumpir la precisión de los mismos ya que cada punto es medido de manera independiente (*ibíd*).



## LIDAR

El *LIDAR* (acrónimo de *Light Detection and Ranging*) es la técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra al producir mediciones exactas de las coordenadas x, y, z (levantamiento 3D); es utilizado principalmente en sectores de arquitectura, ingeniería y construcción, seguridad pública, investigación forense, geociencias, etc, (Faro, 2019). Constituye una representación digital precisa de la superficie terrestre. Además, presenta ventajas frente a los objetos de topografía tradicionales, ya que es compacto, puede ser manejado por una sola persona sin necesitar equipo adicional, permite largo alcance, etc.

Para este estudio, se utilizó el Escáner laser *FARO FOCUS 3D X330* terrestre (Figura 4.7) para registrar las fachadas de las viviendas y con ello visualizar las condiciones estructurales así como de la vía o calle.



**Figura 4.7** *LIDAR* terrestre, escaneo de una vivienda, autoría propia, 2018.

### *Escáner laser FARO FOCUS 3D X330*

Es un dispositivo terrestre en 3D de alta velocidad el levantamiento y documentación a detalle. El escáner faro tiene un alcance de 330 metros, sin embargo, hasta 800 metros suele tener el límite para la digitalización de superficies rocosas. El equipo laser contiene una cámara a color de 70 megapíxeles, integra un láser clase 1, su peso es de 2.5 kgs. Las dimensiones son de 240 x 200 x 100 mm (Figura 4.8). El control es operado por medio de una pantalla táctil, su precisión es de hasta  $\pm 2$ mm, además de

tener una reducción del ruido hasta en 50%, permite realizar exploración prolongada, entre otras propiedades (Bello, 2015).



**Figura 4.8** ilustración del equipo *FARO FOCUS 3D*, foto autoría propia (2018).

Para la toma de datos en campo, la configuración se realizó con un rango de 25 metros (distancia) a 360° en un tiempo total de 8 minutos, la mitad ocupado para hacer el barrido laser y los 4 minutos restantes para las tomas fotográficas del sitio. Como se observa en la Figura 4.9, las calles no son amplias, por lo que la medición cada 25 m facilitó la captura de datos en campo. Además, se observa la colocación de esferas color blanco mate en lugares estratégicos puesto que, al momento de analizar la nube de puntos, debe ser la referencia de inicio y término (nodo) de cada cubrimiento con el *LIDAR*.



**Figura 4.9** Ejemplo de los puntos de control sobre el terreno, foto autoría propia, noviembre 2018.

### 4.3 Delimitación de la zona y definición del área de mapeo (trabajo de campo)

Como se mencionó anteriormente, la zona desde donde se voló y vigiló la misión de vuelo fue en el estacionamiento ubicado a la entrada de la colonia La Gloria (Figura 4.10).



**Figura 4.10** Estacionamiento público ubicado en la Colonia La Gloria. Tomado de datos en campo 2018.

En la Figura 4.11, se muestra el conjunto de viviendas de la colonia La Gloria, Fraccionamiento Siete Sabios, Los Portales y Privada de los Sauces. Dicha toma fue un primer acercamiento de la condición de exposición en la que habita la población residente de la zona. Los puntos de color rojo señalan los sitios seleccionados para realizar las misiones/rutas de vuelo acorde lo previamente revisado en gabinete.

En la Figura 4.11 se observa la perturbación de la vegetación a causa de los procesos de remoción en masa ocurridos en las cercanías del conjunto de viviendas de la Colonia La Gloria, el Fraccionamiento Siete Sabios y la Cerrada de los Portales.



Figura 4.11 Delimitación de las zonas de mapeo, puntos de control de vuelo del drone y perturbación de la vegetación por los PRM, trabajo de campo, noviembre 2018.

*Vuelos y características: software Airdata uav*

Los sitios marcados en la Figura 4.11 son los puntos de despegue del VANT, en éstos la señal era adecuada, así como la disponibilidad de baterías, ya que cada misión de vuelo, conforme la altura y distancia, requiere de un porcentaje específico de batería que le permite realizar la recopilación de datos. Por ello, el primer punto seleccionado fue el estacionamiento a la entrada de la colonia donde se realizó el vuelo E-O y N-S respectivamente. En la Tabla 4.1 se muestran las características de cada misión/ruta de vuelo. En la Tabla 4.1 se muestran las características de cada misión/ruta de vuelo.

Dirección	Superficie de vuelo	Distancia y altura	Imágenes y resolución	Sobreposición entre cada imagen	Baterías utilizadas y duración del vuelo
Este-Oeste	44.2 hectáreas	14.58 km A 150 m	375 fotos a 4.1 cm/p	80x80	2 de 8 25 minutos
Norte-Sur	52 hectáreas	16.09 km A 150 m	416 fotos a 4.1 cm/p	80x80	2 de 8 27 minutos
Total	96.2 hectáreas		791 fotografías		52 minutos y 4 baterías

Tabla 4.1 características de los tipos de vuelo programados en MapPilot, elaboración propia.

### Airdata uav

Es una aplicación especializada en insumos de VANT. En ella, mediante una plataforma de vuelo, se despliega la información sobre los vuelos realizados con el *drone*; lo cual es fundamental para contar con informes detallados sobre la labor de campo. Es una aplicación gratuita, que sí permite diagnosticar el estado del VANT, y previene posibles fallos antes de realizar las misiones (Airdata, 2019).

Además de las características que se muestran en la Tabla 4.1 en relación con el vuelo dirección Este-Oeste, en la Figura 4.12, se puntualizan detalles como la velocidad a la que se realizó el vuelo, altura y distancia máxima, entre otros aspectos.

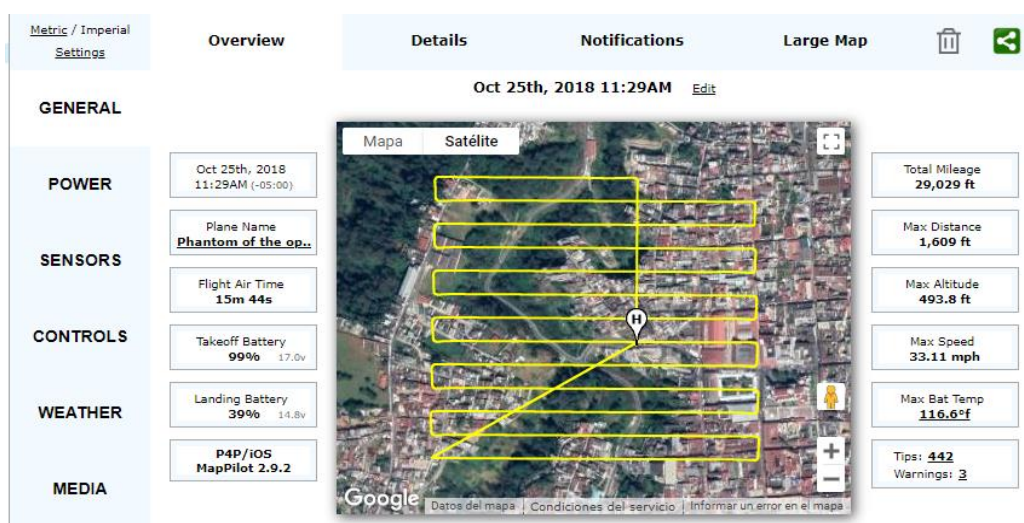


Figura 4.12 Detalles sobre el vuelo sentido Este-Oeste. Realizado con Airdata uav.

En la Figura 4.13 se muestran los detalles del vuelo en sentido N- S, en la cual además de los aspectos anteriormente mencionados para la Figura 4.12 se puede observar, el panorama de la superficie cubierta con el VANT.

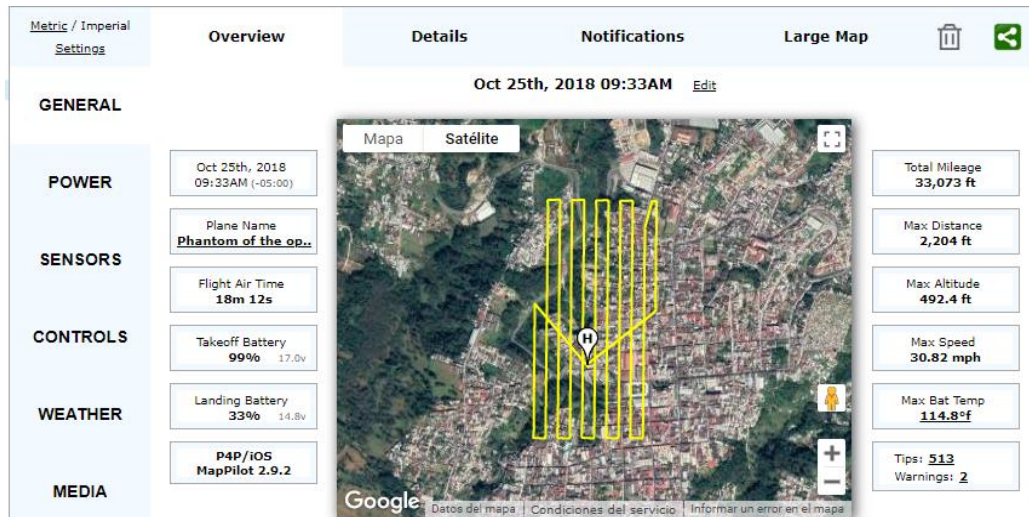


Figura 4.13 Detalles sobre el vuelo sentido Este-Oeste. Realizado con Airdata uav.

Para tener el óptimo cubrimiento de la zona bajo estudio, así como de las características del relieve y situación de los predios, fue necesario implementar, de manera adicional a las rutas E-O y N-S, proyectos para las tomas oblicuas de la superficie. El proyecto en sentido oblicuo se dividió en 3 sub-proyectos de 2 niveles cada uno.

Para la toma de fotografías oblicuas, se utilizó la aplicación *FVP Camera for DJI*, disponible para *iPhone e iPad (iOS)*. La finalidad del software es programar misiones basadas en *Google Maps* desde distintos ángulos sobre el terreno.

La generación de los puntos de referencia o misiones orbitales en conjunto con el enfoque automático, permite mantener los objetos de interés en el centro de la imagen; en este caso, se realizó con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información sobre las viviendas de la colonia La Gloria. En la Tabla 4.2 se muestran las características de los vuelos en ángulo oblicuo.

El total de fotografías fue de 480 en distintos ángulos para obtener la mayor cantidad de detalle posible de los predios y el terreno ante los síntomas de inestabilidad de laderas y PRM.

La Figura 4.14 muestra una fotografía tomada en campo desde un ángulo oblicuo, donde se puede observar el deslizamiento ocurrido en noviembre de 2018, como consecuencia de la constante precipitación en la zona. Además del nivel de detalle, se puede tener una visión alternativa sobre la exposición del conjunto de predios que, aunque sin afectaciones graves, presentó síntomas de inestabilidad de laderas; la cantidad de material que fue removido, grietas en las calles, afectación de la vegetación, etc.

Proyecto	Altura de vuelo y Radio	Número de fotos	Ángulo (respecto al punto de interés)
Gloria 1	A) 50 m (respecto del punto de despegue) y 219 m de radio	A) 80 imágenes con 4.5° de intervalo entre toma.	A) 21°
	B) 80 m (respecto al punto de despegue) y 130 m de radio	B) 80 imágenes con 4.5° de intervalo entre toma.	B) 32°
Gloria 2	A) 50 m (respecto del punto de despegue) y 120 m de radio	A) 80 imágenes con 4.5° de intervalo entre toma.	A) 23°
	B) 80 m (respecto al punto de despegue) y 119 m de radio	B) 80 imágenes con 4.5° de intervalo entre toma.	B) 34°
Gloria 3	A) 50 m (respecto al punto de despegue) y 109 m de radio	A) 80 imágenes con 4.5° de intervalo entre toma.	A) 25°
	B) 80 m (respecto al punto de despegue) y 109 m de radio	B) 80 imágenes con 4.5° de intervalo entre toma.	B) 36°

**Tabla 4.2** Características de vuelo en forma oblicua del programa *FVP Camera*, elaboración propia.

El total de fotografías tomadas por el *drone* fue de 480 en distintos ángulos para obtener la mayor cantidad de detalle posible de los predios y el terreno ante los síntomas de inestabilidad de laderas y PRM.

En la Figura 4.14, se muestra una vista aérea tomada en campo desde un ángulo oblicuo, donde se puede observar el deslizamiento ocurrido en noviembre de 2018, como consecuencia de la constante precipitación en la zona. Además del nivel de detalle, se puede tener una visión alternativa sobre la exposición del conjunto de predios que es posible visualizar, aunque sin afectaciones graves, presentó síntomas de inestabilidad de

laderas. La cantidad de material que fue removido, grietas en las calles, afectación de la vegetación, etc.



Figura 4.14 Fotografía del deslizamiento ocurrido en el fraccionamiento Siete Sabios, trabajo de campo noviembre, 2018.

#### **4.4 Procesado y cálculo de datos mediante el programa ContextCapture (Modelo 3D), generación de mosaicos: digitalización y revisión de las características del relieve mediante tomas fotográficas.**

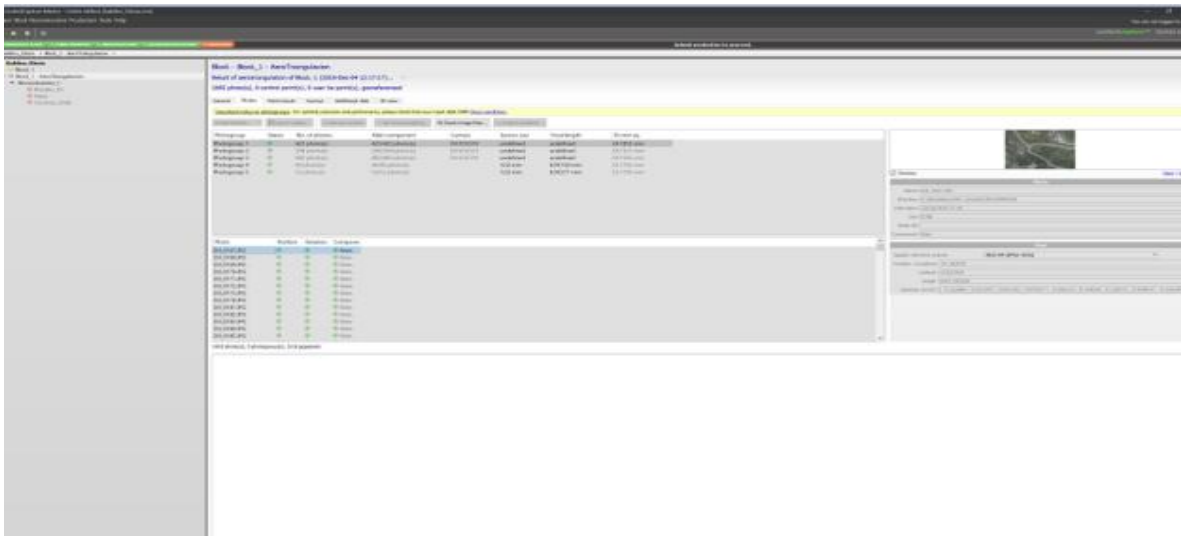
En este apartado se describen las actividades realizadas posteriormente de la toma de datos en campo y que refiere el tratamiento de la información en gabinete mediante distintos tipos de software. El objetivo de ello, fue la obtención de productos que permitieran el análisis, principalmente sobre la exposición, referente a las características del área bajo estudio.

##### *ContextCapture*

Es un software automático de fotogrametría digital en 3D que mediante el uso de fotografías digitales, crea modelos de la superficie terrestre sin necesidad de corregir o mapear la textura geométrica del espacio y no requiere equipo fotográfico especializado (Contextcapture, 2019). En la Figura 4.15 se muestra la pantalla del programa donde se



creó el proyecto para armar el modelo 3D, además se puede observar una pantalla predeterminada para mostrar la calidad y cantidad de imágenes seleccionadas.



**Figura 4.15** Creación de proyecto para modelo3D en el programa *ContextCapture*.

El armado del modelo 3D (proyecto) requiere de insumos (imágenes) tomadas desde el plano aéreo (VANT), las cuales deben tener una similitud de características como claridad, nitidez, color, contraste, etc., de lo contrario el modelo resultante puede presentar variaciones debido a que el software une los elementos contenidos en el proyecto.

En la Figura 4.16 se muestra una imagen de calidad aceptable que se consideró para incluir en el armado del modelo 3D. El número de fotografías en condición de aptas fue de 423.



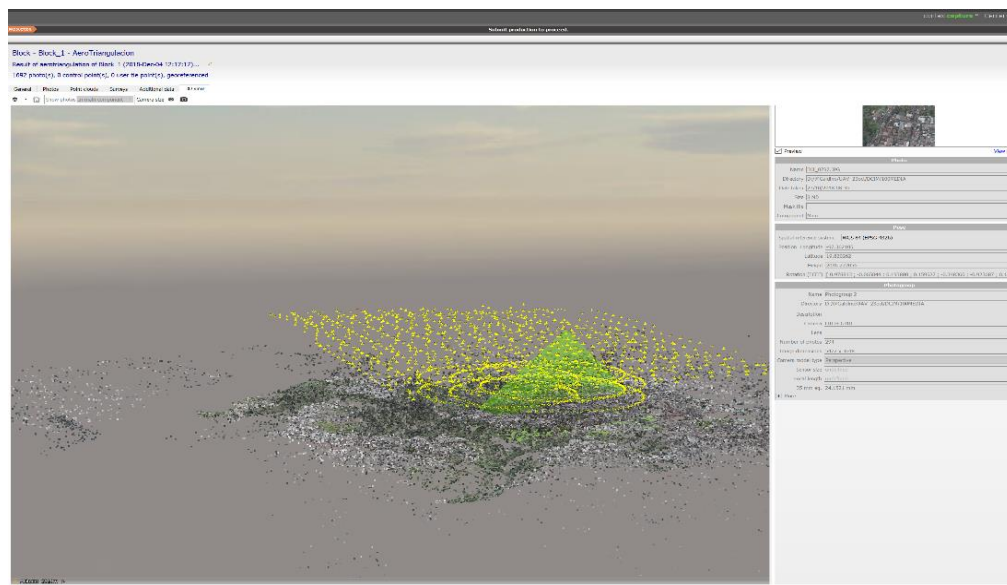
**Figura 4.16** Imagen considerada como apta para la creación del modelo 3D. Obtenida en campo, noviembre, 2018.

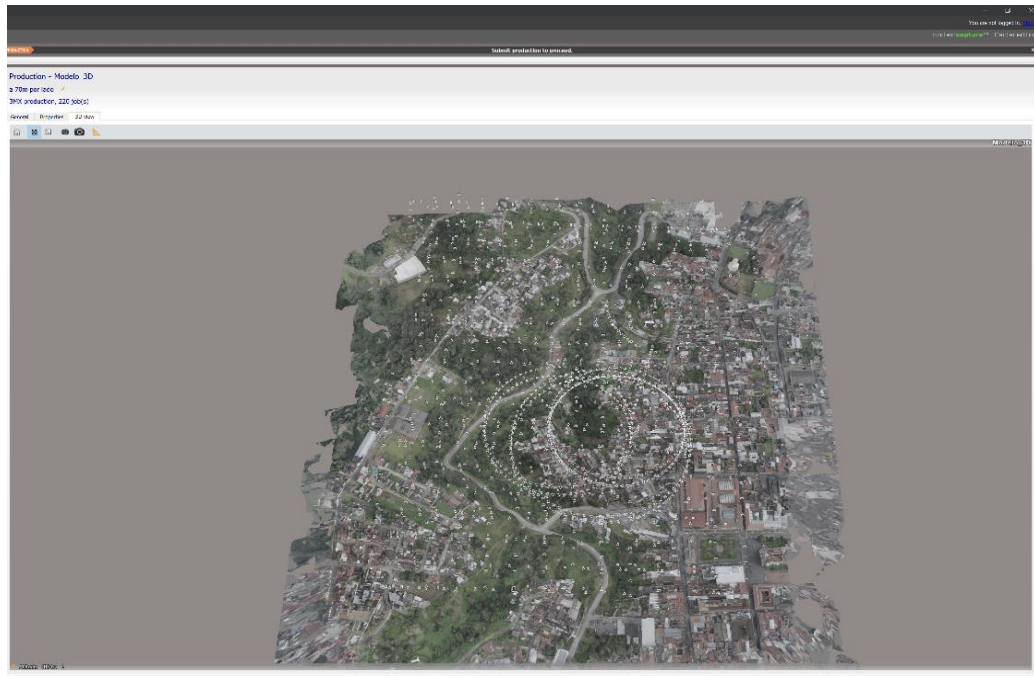
De manera contrastante, en la Figura 4.17, se muestra una imagen considerada como no apta para el armado del modelo 3D debido a la poca visibilidad de los elementos sobre la superficie. El número de fotografías en condición de no aptas fue de 122.



**Figura 4.17** Imagen considerada como no apta para la creación del modelo 3D. Obtenida en campo, noviembre, 2018.

Asimismo, después de haber hecho la selección de las imágenes aptas y no aptas, se procedió a crear un proyecto (Figura 4.15). La creación del proyecto requirió de la modificación de ajustes, entre los cuales, se seleccionó el tipo de cámara que se utilizó en campo (*Sony - Phantom DJI*). Del mismo modo, haber seleccionado el tipo de cámara permite corregir las coordenadas si es que resultaran inexactas. Para ello, otro proceso es realizado en el software; la Aero-triangulación (Figura 4.18). Esta consiste en calibrar las imágenes digitales respecto a su posición relativa y la orientación automática de cada fotografía; cuantas más fotografías digitales y desde distintos ángulos sean introducidas, mayor detalle tendrá la reconstrucción del modelo 3D.

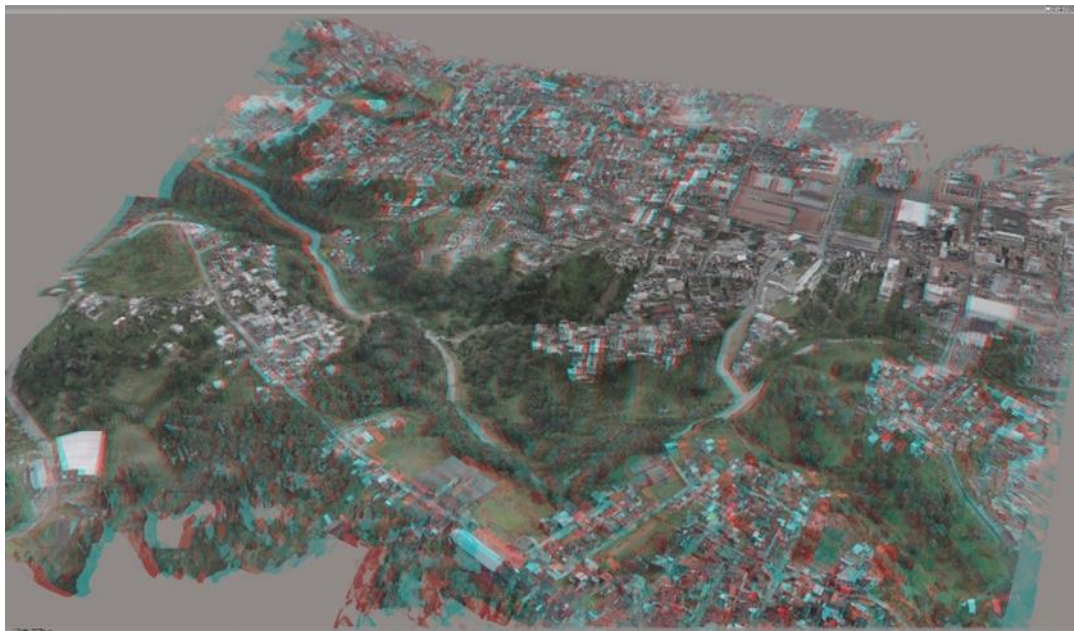




**Figura 4.18** Proceso de Aero triangulación para el modelo 3D, trabajo de gabinete, 2019.

### *Modelo 3D*

El modelo 3D del conjunto de colonias La Gloria, Fraccionamiento Siete Sabios, Cerrada de los Portales y Privada de Los Sauces, requirió de un tiempo estimado de 48 hrs para su armado. La resolución del modelo es de calidad alta como se observa en la Figura 4.19.

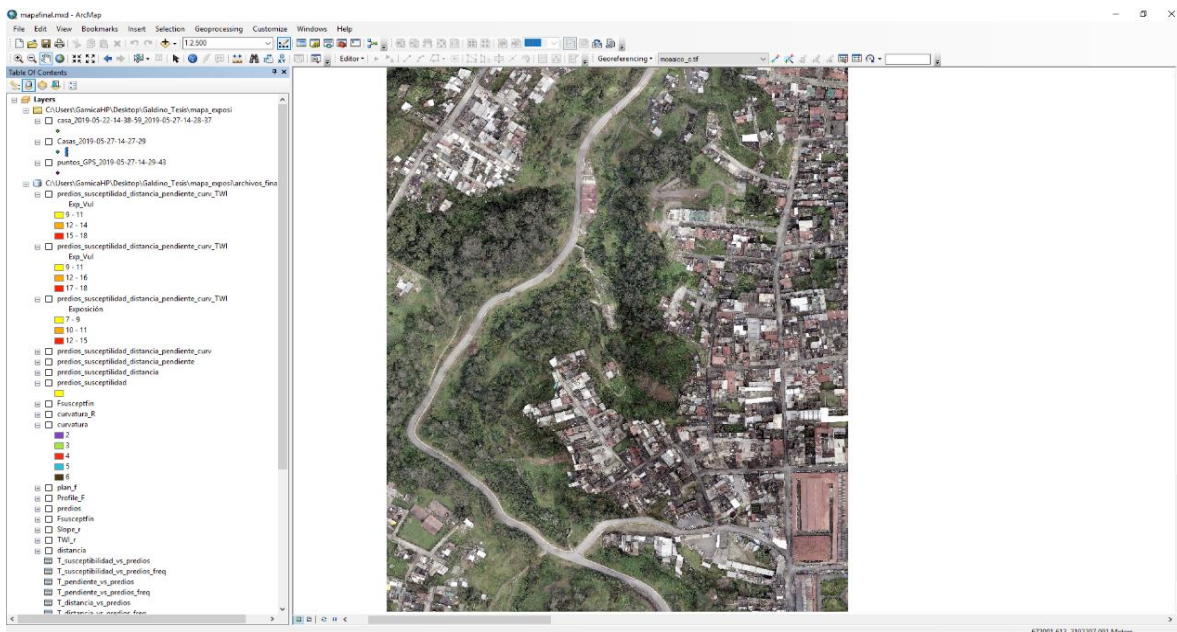




**Figura 4.19** Modelo 3D estéreo (arriba) y normal (abajo) del área de estudio (Colonia La Gloria y zonas aledañas). ContextCapture 2019.

### Generación de mosaicos y Digitalización

Después de haber obtenido el conjunto de fotos mediante el programa Contextcapture, la ortofotografía fue usada como insumo para el SIG ArcGis 10.2, donde fueron creados dos mosaicos; el de imágenes del VANT (Figura 4.20) y el correspondiente al DSM con imágenes raster (Figura 4.21).



**Figura 4.20** Mosaico Raster creado en ArcGis, 2018.

En la Figura 4.21 se muestra el *DSM* a partir del cual se trazó el río que pasa entre el Circuito Bicentenario y la ladera del conjunto de casas de las colonias periféricas al centro del municipio.

Asimismo, sobre el mosaico (formato *Tif*) se hizo una digitalización con el *Shapefile* que mostrara la información de los predios que componen principalmente la colonia La Gloria (Figura 4.22). Posteriormente, se adhirió información de otros sitios como el Fraccionamiento Siete Sabios, Los Portales y Los Sauces, debido a los síntomas de inestabilidad de laderas y la ocurrencia de PRM observados durante el trabajo de campo y que permitió elaborar el mapa de exposición junto con el análisis sobre la zona bajo estudio.

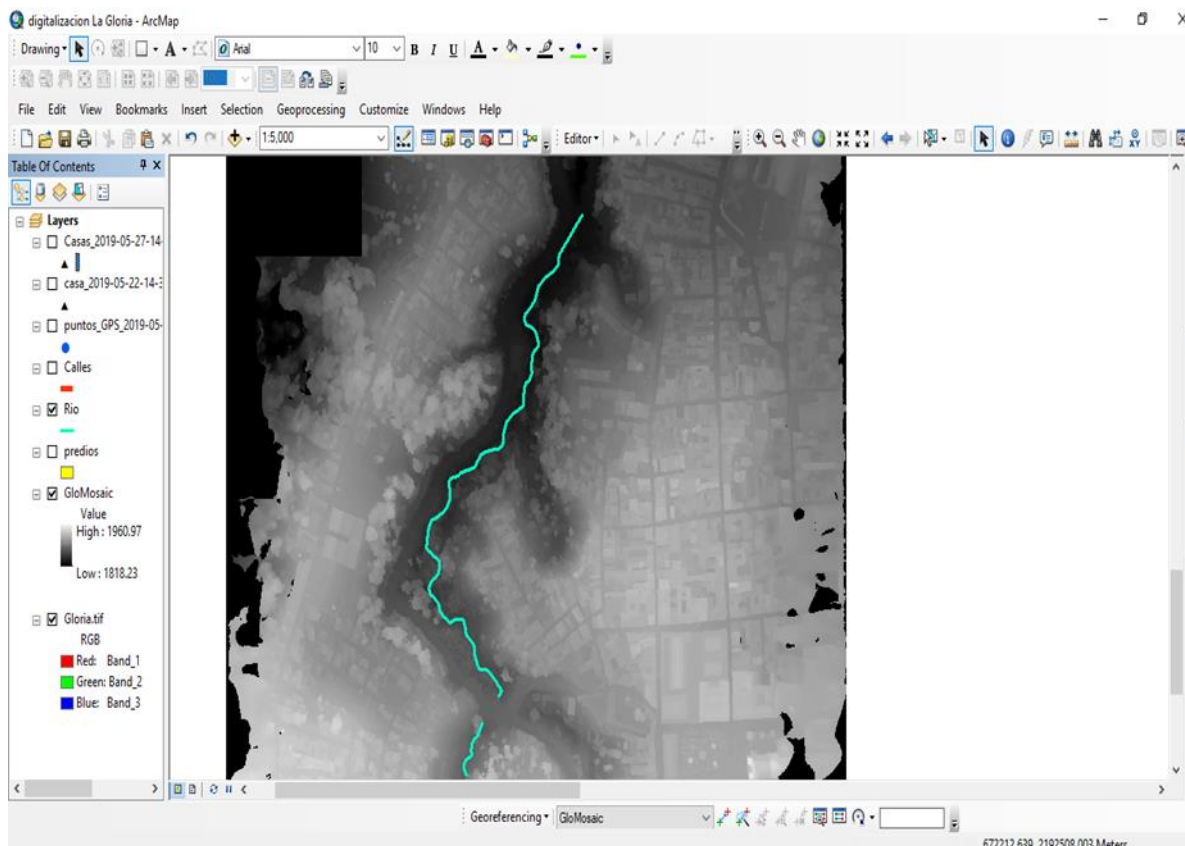
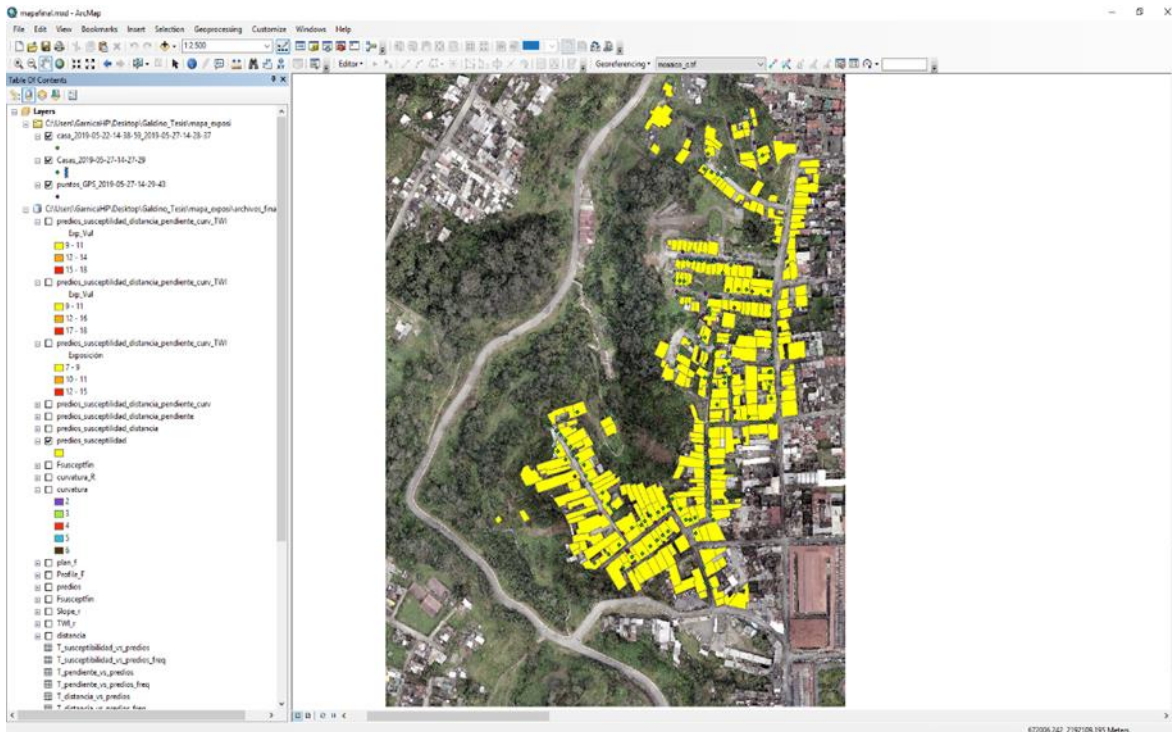


Figura 4.21 Mosaico del *DSM* creado en ArcGis, 2018.



**Figura 4.22** Digitalización de predios de la Colonia La Gloria, fraccionamiento Siete Sabios, Los Portales y Los Sauces, ArcGIS 2018.

#### 4.5 Elaboración de un mapa de indicadores de exposición a PRM

De acuerdo con la información disponible se tomó la decisión de elaborar el mapa de indicadores de exposición y para ello se tomaron en cuenta en seis criterios: grado de susceptibilidad, índice topográfico de humedad (ITH o *ITW* por sus siglas en inglés), unidad de ladera (forma), distancia de los predios respecto a los PRM, niveles de las viviendas, así como su condición o nivel de deterioro de la fachada. Los rangos establecidos incluyeron tres clases: (1) baja, (2) media y (3) alta. Lo anterior con la finalidad de tener valores homogéneos, para los valores de clase de la simbología.

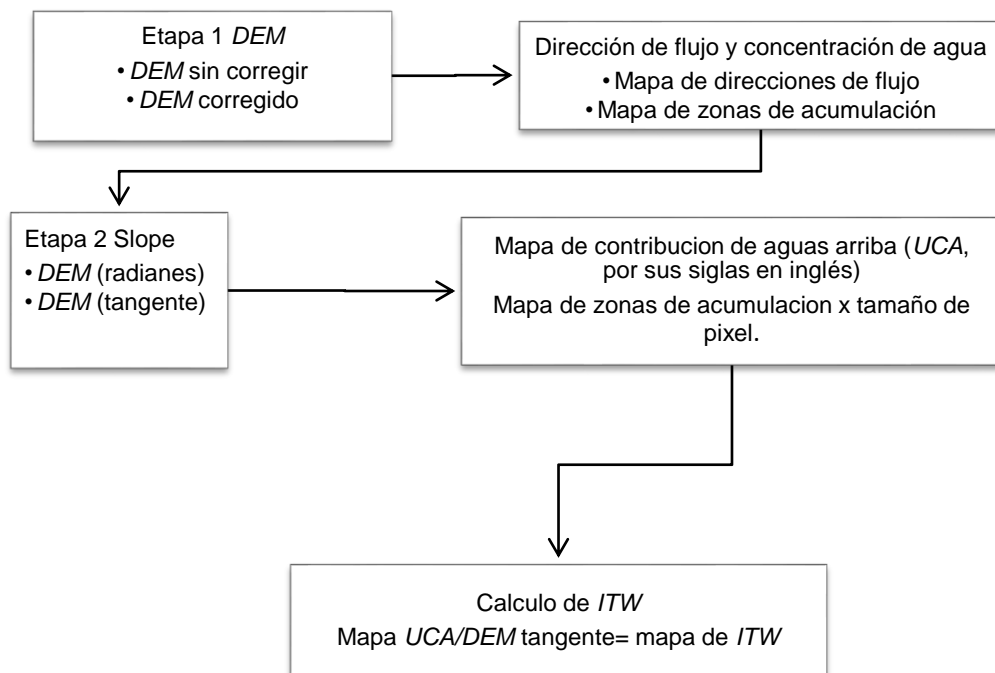
El primer paso considera la inclusión de una capa de datos correspondiente a la inestabilidad de laderas elaborado por Murillo-García *et al.* (2017) de la zona bajo estudio. Del mismo modo, se utilizó la capa del inventario de PRM del municipio de Teziutlán generada por Murillo-García y Alcántara-Ayala (2017), misma que fue actualizada mediante la digitalización de los PRM ocurridos el mes de noviembre del año 2018 en la colonia La Gloria. De manera adicional a estos insumos, se efectuaron una serie de cálculos del MDT; éstos se describen en las secciones siguientes.

## Índice topográfico de humedad

Se procedió a calcular el índice topográfico de humedad en el software *ArcGis* 10.2. De acuerdo con Roa y Kump (2012) el ITW se encuentra relacionado con la cantidad de humedad edáfica y refleja la tendencia del suelo a generar escorrentías, por lo que se relaciona directamente con la acumulación de humedad y por ende, con la potencial inestabilidad de laderas.

Para Alcántara-Ayala (2000), la saturación y concentración hídrica del terreno están en función de la pendiente y el área drenada del mismo y, mientras mayor sea el valor ITW, la zona concentra mayor escurrimiento; se asocia con la posible ocurrencia de PRM en vertientes susceptibles de deslizamientos.

La Figura 4.23 muestra de manera sintetizada el proceso que se realizó para obtener el mapa con el ITW de la zona bajo estudio. Para calcular el ITW fue necesario realizar el procedimiento en dos etapas. El primero fue contar con un modelo digital de elevación corregido (sin huecos de información) en los valores de asignación. Después de haber corregido el DEM se necesitó saber en qué dirección fluía el agua y las zonas donde se concentra mayormente. Para ello, se construyó el mapa de direcciones de flujo y el de acumulación.

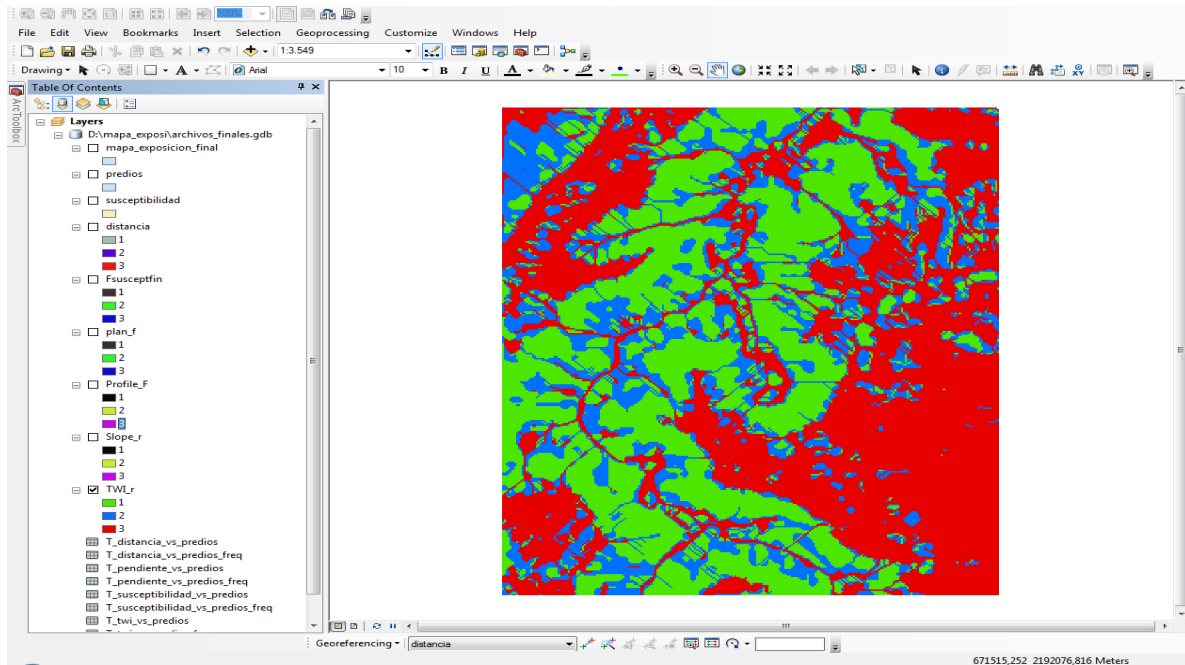


**Figura 4.23** Proceso para obtener el mapa de índice de humedad topográfica. Elaboración propia.

Posteriormente se llevó a cabo la transformación de la pendiente del MDE, de grados a radianes (*Slope*) mediante la herramienta *raster calculator* (*ArcGis*). Después de haber obtenido el mapa de pendientes en radianes, fue posible trabajar las capas de manera particular.

Una vez construido el mapa de pendiente en radianes. Se elaboró un mapa de contribución de aguas arriba (CAA o *UCA* por sus siglas en inglés). Para ello se utilizó el mapa de acumulación en un *DEM* con una resolución de dos metros.

Una vez que se dispuso de todos los insumos antes mencionados, se procedió a aplicar el método para el cálculo del ITH (Figura 4.24).

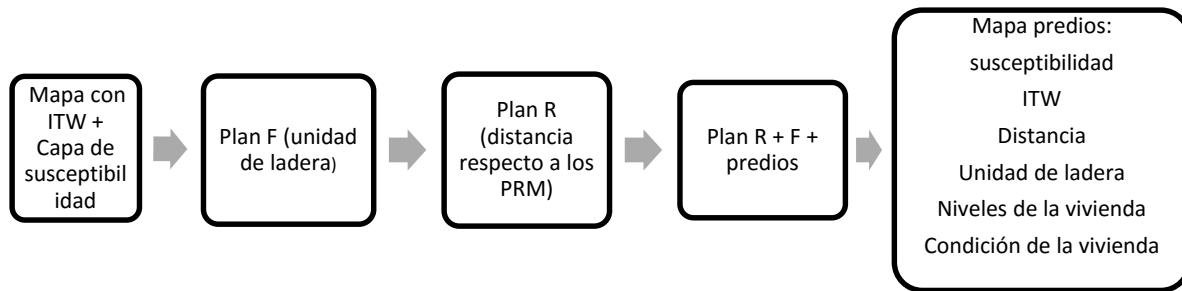


**Figura 4.24** Mapa con el ITW completo. Se observan 3 gamas de colores, el rojo indica las zonas de mayor acumulación, las de azul de concentración media y el verde las zonas de baja humedad. Elaboración propia.

A partir de que se obtuvo el mapa con el índice de humedad topográfica, se procedió a realizar un proyecto en el SIG donde se unieron la capa de susceptibilidad, las unidades de ladera (forma convexa, cóncava, linear, etc.) y la distancia de los predios hacia los PRM. Los *shapes* resultantes se nombraron de la siguiente manera; “Plan F” para la forma de laderas y “Plan R” para la distancia de los predios respecto a los PRM. El Plan F mostró todos los tipos de formas de laderas que hay en la zona bajo estudio, pero fue conveniente dejar solo tres clases o categorías (por lo que se mencionó líneas arriba



respecto al producto final). El Plan R mostró la distancia de las viviendas a partir de los PRM ocurridos en la zona bajo estudio.



**Figura 4.25** Proceso de elaboración del mapa de indicadores de exposición.

En la Figura 4.25 se muestra el proceso después de haber obtenido el mapa *ITW* para posteriormente elaborar el mapa final de indicadores de exposición. Después de haber obtenido el mapa del índice topográfico de humedad, se elaboró un mapa donde se incluyó la capa de susceptibilidad de la zona. Al mapa con el *ITW* y la susceptibilidad se le agregó la información del mapa con las unidades de ladera así como el de la distancia de los predios respecto a los PRM digitalizados de la zona. Las unidades de ladera fueron reclasificadas en 3 categorías. La distancia de las viviendas respecto a los PRM se calculó mediante la distancia euclidiana de la capa de predios hacia los PRM de la colonia La Gloria y del conjunto de viviendas de los cuales se tuvo registro en campo.

Al mapa con la susceptibilidad, la forma de las laderas y la distancia de las viviendas respecto a los PRM, se adhirió al *shape* con la información de los predios de la zona bajo estudio. Es preciso señalar que, para este paso se contempló la condición de *Majority* (mayoría), para que se mostrara el promedio de casas que se encontraran entre alguna de las categorías (uno dos y tres) con respecto a las seis variables seleccionadas. Para que con ello, se hiciera visible la tendencia de los predios hacía un nivel bajo, medio o alto, por ejemplo, de la susceptibilidad.

Después de haber obtenido el mapa con la información de las seis variables, fue necesario agregar y ordenar los datos estadísticos que se levantaron en campo (principalmente lo concerniente a los niveles de las viviendas y su condición/grado de deterioro). Para ello se construyeron tablas con la información de 298 predios en la zona de estudio, donde, es preciso señalar que no todos pertenecen propiamente a la colonia La Gloria (Tabla 4.3). Un total de noventa predios fueron agregados para calcular la fluctuación sobre qué rango y a qué distancia un predio puede pasar de una categoría a

otra y, si influye más un aspecto (de las 6 variables mencionadas en la Figura 4.25) por sobre otro o los demás.

#### Resultados del formato de evaluación

Como se observa en la Tabla 4.3, la colonia La Gloria es la que cuenta con el mayor número de viviendas y por ende concentra mayor población.

Colonia, Fraccionamiento o Privada	Número de casas
La Gloria	85
Siete Sabios	48
Privada de Los Portales	45
Privada de Los Sauces	30
**Otros	90

**Tabla 4.3** Desglose del total de casas registradas en el formato de evaluación. Elaboración propia, 2019. \*\*Los predios considerados como otros fue debido a dificultades con los pobladores para obtener la información, otros que estaban en condición de abandono y los que sirvieron como parte contrastante entre las variables usadas en la construcción del mapa de indicadores.

En la Figura 4.3 se muestra la información recabada en campo a manera de síntesis en relación con los servicios básicos existentes en el conjunto de viviendas (Tabla 4.4), la estructura de la vivienda (Tabla 4.5) y su condición asociada con vegetación y algunos síntomas de inestabilidad de laderas (Tabla 4.6).

Colonia, Fraccionamiento y Privada	Ubicación respecto de la ladera % (cima y parte media-baja)		Drenaje %	Alumbrado %	Toma de agua %
La Gloria	95	5	98.75	97.5	98.75
Siete Sabios	90	10	100	100	100
Portales	100	0	100	100	97.5
Los Sauces	100	0	100	100	100

**Tabla 4.4** Porcentaje de ubicación de los predios respecto de la ladera y servicios básicos en el conjunto de viviendas del área de estudio. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 4.4, respecto a la ubicación de las colonias se puede mencionar que el mayor porcentaje de las colonias y fraccionamientos se encuentran en la parte alta o cima de las laderas. La ubicación de las viviendas en estas laderas

aumenta el grado de exposición para los habitantes, mismo que junto con la vulnerabilidad de la población, determina las condiciones de riesgo de desastre.

En cuanto al tema de los servicios es posible observar que el porcentaje de viviendas que no cuentan con los servicios considerados como “básicos” es bajo, pues en los cuatro casos el porcentaje es mayor al 90%. En la colonia La Gloria, los porcentajes no llegaron al 100% debido a que hay predios inhabitados.

Colonia, Fraccionamiento y Privada	Uso de suelo %			Niveles de construcción (%)	Tipo de piso % (concreto)	Cimentación de la vivienda: muros con mampostería (%)
	Hab	Com	Mix			
La Gloria	97.5	0	2.5	75	99	100
Siete Sabios	96.5	1.75	1.75	75	100	100
Portales	90	7.5	2.5	50	100	100
Los Sauces	100	0	0	50	100	100

**Tabla 4.5** Porcentaje y promedio de estructura general del conjunto de viviendas del área de estudio. Elaboración propia. Para los datos de uso de suelo se dividió en tres categorías: habitacional (Hab), Comercial (Com) y Mixto (Mix). Para el caso de los niveles, en los rangos de 0-25% tienen entre 1 y dos pisos, de 25-50% de dos a tres y de 75-100% más de tres niveles.

Con base en la Tabla 4.5 se puede observar que el uso de suelo predominante, en cuatro colonias o fraccionamientos, es del tipo habitacional seguido por el mixto, es decir, vivienda con comercio.

Es importante destacar que, respecto al tipo de piso y la cimentación de las viviendas, el 100% de los casos son construcciones con cimientos de mampostería, lo cual, en las laderas susceptibles puede representar un exceso de carga para las mismas laderas. Aunado a ello, los niveles de las viviendas fungen como un factor a considerar, que está, intrínsecamente ligado al peso que soporta la ladera.

En la Tabla 4.6 se muestran los datos referentes a la condición de las viviendas y del entorno o medio referente a la vegetación y su transformación. Los datos en promedio indican que más del 90% de los casos presenta una alta perturbación en el territorio. Dichas alteraciones son un factor importante ya que afectan la dinámica natural del sistema, tales desequilibrios, se expresan a través de la generación de deslizamientos, influenciados por la deforestación, y erosión de la cobertura vegetal o daño en la estructura de la vivienda.

Colonia, Fraccionamiento y Privada	Vegetación % (perturbación)	Deterioro %	Grietas (%)			
			calle y vivienda	vivienda	calle	s/g
La Gloria	96.6	25	50.7	28.54	1.13	19.63
Siete Sabios	100	50	48.81	30	0	21.19
Portales	100	25	25	10	0	65
Los Sauces	85	50	82	5	10	3

**Tabla 4.6** Porcentaje de la condición estructural respecto a la vegetación y síntomas de inestabilidad de laderas del conjunto de viviendas del área de estudio. Elaboración propia.

La presencia de grietas y deterioro de las viviendas también son expresión de inestabilidad en las laderas. En La Gloria, el 50% de los casos, se presentaron grietas tanto en la calle como en la vivienda, lo cual evidencia una inestabilidad estructural de la zona. Para el caso de Siete Sabios, las cifras son similares con un porcentaje de 48%. Cabe destacar que ambos conjuntos habitacionales son los más antiguos de los cuatro casos presentados.

Para el caso de Los Portales, el 65% de los predios no presentaron grietas (en casa y calle) debido a que es una zona de reciente construcción. El restante 35% de los casos presentó grietas, de menor tamaño, en calles y viviendas que en La Gloria y Siete Sabios. Otro ejemplo de reciente construcción, es la cerrada de Los Sauces, donde se registró un menor número de viviendas. En esta zona se identificaron grietas en el 82% de las viviendas y en las calles. Cabe mencionar que aunque la pavimentación es de concreto hidráulico, se han desarrollado grietas y, también hay predios abandonados.

Para la construcción del mapa de indicadores de exposición, fue necesario agregar la información del formato de evaluación del conjunto de viviendas: para ello se consideraron los niveles y la condición de las viviendas. Los niveles de vivienda se reclasificaron en 3 rangos; un solo piso con valor de 1; los de dos y tres con valor 2; y los de más de cuatro pisos con valor de 3.

Una vez analizada la información del formato con los rubros a contemplar en la construcción del mapa final, se procedió a realizar una unión y suma de las tablas de cada aspecto correspondiente, es decir, susceptibilidad, distancia, unidad de ladera, cálculo de ITW, niveles de la vivienda y condición de la misma.

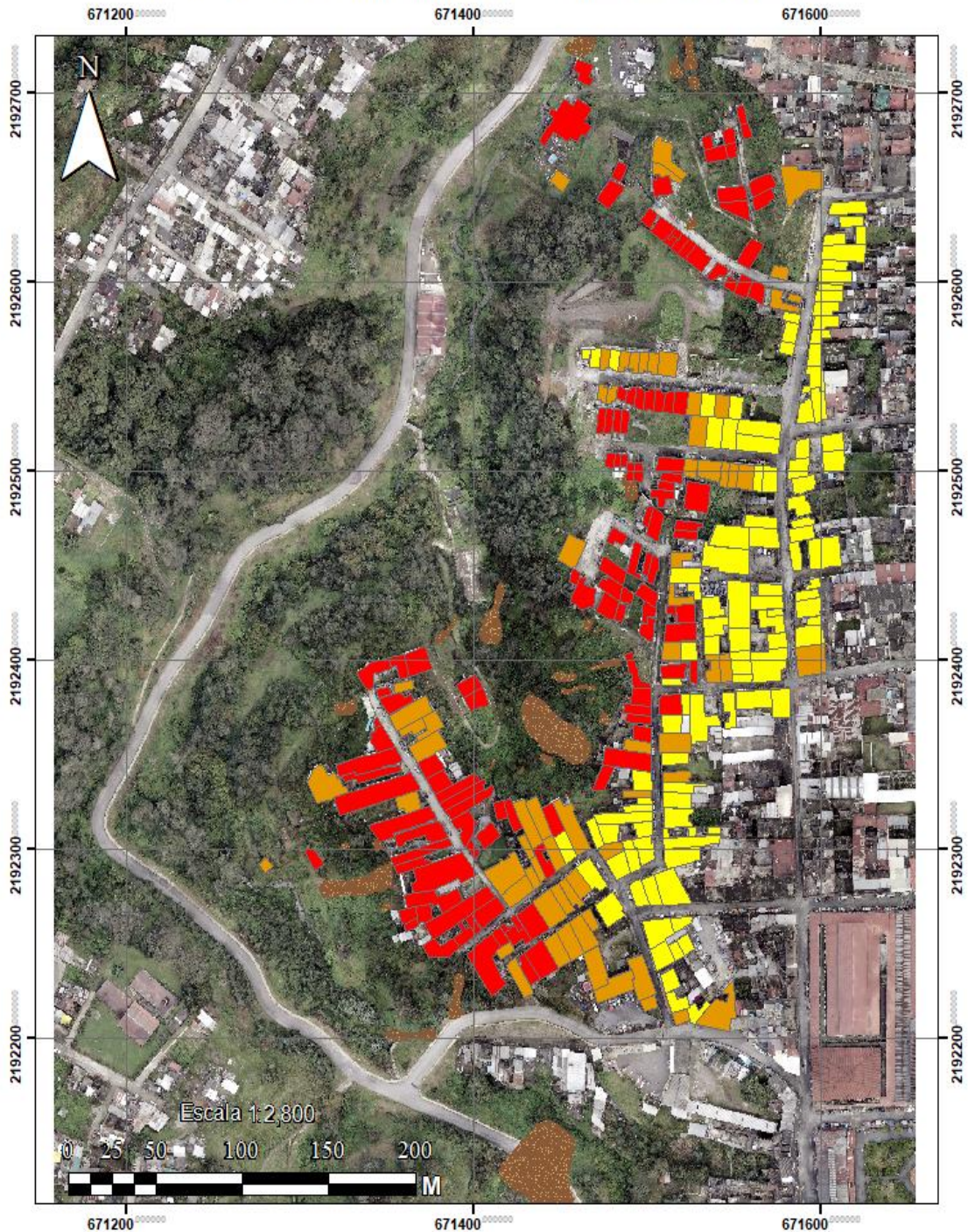
Susceptibilidad	ITW	Distancia	Unidad de ladera	Niveles	Condición	Total
0.25	0.10	0.35	0.10	0.15	0.05	1

**Tabla 4.7** Valores de ponderación respecto a cada indicador de exposición. Elaboración propia.

Por último, se hizo una ponderación (Tabla 4.7) para dar mayor peso, entre los indicadores, a aquellos que relacionados con nivel de exposición de las viviendas podrían ser potencialmente una zona de desastre.

El resultado final se muestra en la Figura 4.26 y es analizado en el capítulo siguiente por medio de gráficas que contienen la información sobre los indicadores que fueron considerados para analizar el nivel de exposición del conjunto de viviendas.

### Niveles de exposición a PRM en la colonia La Gloria, Teziutlán



**Nivel de exposición**

- Baja
- Media
- Alta
- PRM inventario

Universidad Nacional Autónoma de México  
 Facultad de Filosofía y Letras  
 Colegio de Geografía  
 Elaboró: Galdino García  
 Tesis de Licenciatura  
 Munillo-García *et al.*, 2017, Trabajo de campo (2018-2019). ESRI 2019 D.R.  
 Proyección UTM zona 14 N



Figura 4.26 Mapa de niveles de exposición de la colonia La Gloria. Elaboración propia, 2019.

## **Capítulo 5 Análisis de exposición ante PRM en la Colonia La Gloria y zonas aledañas**

En este apartado se muestra el análisis respecto a la exposición de la colonia La Gloria, ante la potencial ocurrencia de PRM.

En la Figura 4.26, se puede observar que el conjunto de predios que conforman La Gloria, se encuentran en un nivel de exposición media y alta. Sin embargo, resulta pertinente desglosar los aspectos ligados al resultado del mapa de indicadores.

Las viviendas de la colonia La Gloria se encuentran mayormente ubicadas en la parte alta o la cima de las laderas. Dicha colonia esta provista de los servicios considerados como “básicos” en más de un 97% de los predios. No obstante, en el contexto del riesgo por inestabilidad de laderas en suelos potencialmente inestables, es importante mencionar que, el hecho de construir las estructuras de los servicios básicos puede ser tomado desde una forma ambivalente (positiva y negativa). El aspecto positivo involucra que la existencia de drenaje, favorece que las personas no improvisen desagües sobre la ladera y con ello se sobrecargue la capacidad de absorción del suelo y que el material sea removido. Un impacto negativo se genera en el momento de realizar las maniobras, la maquinaria para construcción afecta la estabilidad del suelo debido a la profundidad a la que deben ser entubados, por ejemplo, los desagües o los postes de luz.

El caso particular de la colonia La Gloria, localizada en la periferia del centro de Teziutlán, propició que la densidad de población se incrementara por condiciones de ubicación, provisión de servicios, además de que la compra/venta y renta de suelo es de menor costo que en el centro. Comúnmente la población no contempla el factor exposición ante diversas amenazas, debido a que busca tener y apropiarse del acceso (oportunidades) que ofrecen las colonias en desarrollo y que tienen la posibilidad de establecerse, ya sea de manera individual o colectiva (familias completas/generaciones). En este rubro es importante mencionar que no existen documentos catastrales que indiquen una delimitación de cada casa, lo que evidencia la falta de un ordenamiento territorial por parte de las autoridades gubernamentales.

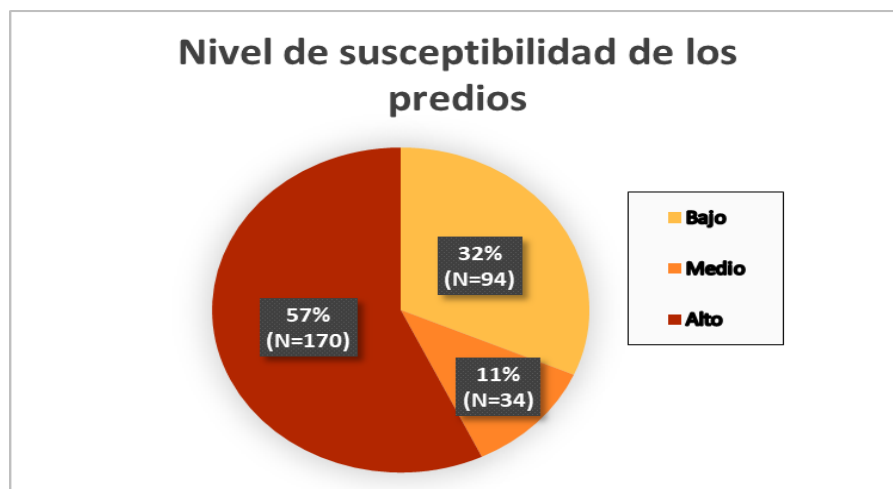
Precisamente, en cuanto a las viviendas, cabe señalar que, por ejemplo, en la colonia La Gloria y el Fraccionamiento Siete Sabios, las viviendas tienen en promedio tres niveles de construcción, aunque también hay predios con más niveles construidos, estos pueden llegar a tener cinco. Para que una estructura pueda soportar la carga, los

cimientos deben ser sólidos, es por ello que la cimentación, en los cuatro casos, fue en 100% realizado con mampostería y muros. Asimismo, en algunos casos los predios, de los cinco niveles que llegan a tener, uno o más son completamente de mampostería, como se observa en la Figura 5.1 correspondiente a la Colonia La Gloria. Lo anterior representa una sobrecarga de peso para el suelo y otro factor condicionante de la inestabilidad de una ladera.



**Figura 5.1** Ejemplo de viviendas donde se observa que de los niveles construidos, dos niveles son de cimientos (mampostería). Foto autoría propia noviembre, 2018.

De acuerdo con el mapa de indicadores de exposición a PRM, en cuanto al nivel de susceptibilidad de los predios de la zona de estudio (Figura 5.2), la mayoría de las viviendas se sitúan en la categoría de nivel alto; especialmente los predios de la colonia La Gloria, ya que se sitúan en zonas de relieve abrupto.

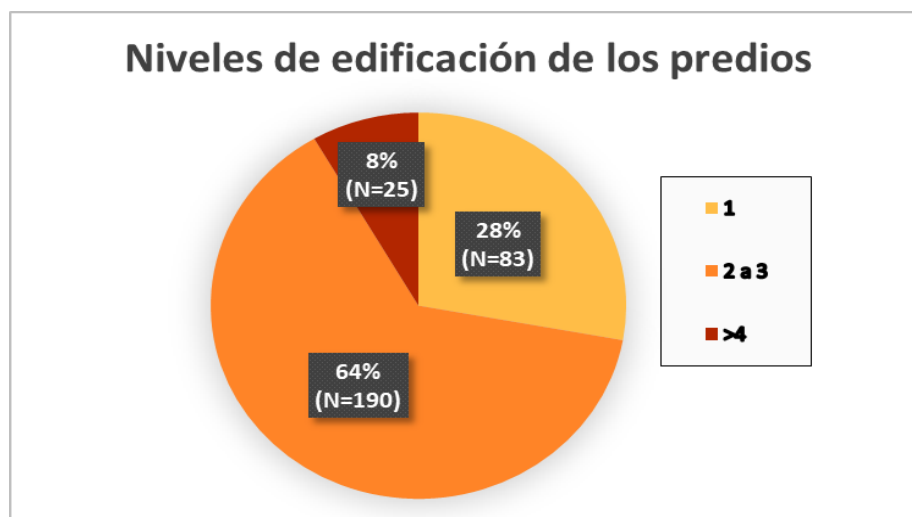


**Figura 5.2** Nivel de susceptibilidad de los predios de la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).



Cabe mencionar que el nivel bajo fue identificado en el área de viviendas localizadas en la cercanía de la zona centro del municipio de Teziutlán. Sin embargo, en el mapa de indicadores de exposición se puede observar que hay predios situados en la zona centro con un nivel de susceptibilidad medio y ello se debe a las condiciones y niveles de la vivienda. En otras palabras, que un predio se localice en una zona de baja pendiente no exime que la población residente aminore su exposición ante alguna amenaza natural o PRM.

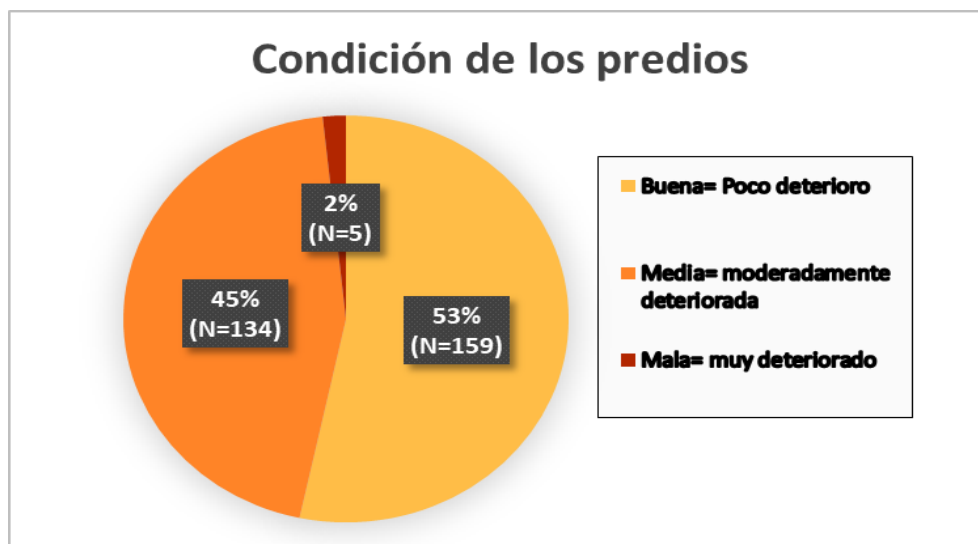
En relación con los niveles de los predios, se puede decir que 64% de los hogares cuentan con entre dos y tres niveles de construcción (Figura 5.3). En el caso de La Gloria, de los ochenta y ocho predios contabilizados, en promedio las casas tienen 3 pisos. Si se considera el nivel de susceptibilidad en que se encuentra la colonia La Gloria, así como las condiciones de la vivienda. No sorprende que el nivel en el indicador de exposición es alto.



**Figura 5.3** Niveles de edificación de los predios de la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).

El 96% del territorio de La Gloria ha experimentado un nivel de transformación alto en la cubierta de vegetación. Como se mencionó en el capítulo uno, la importancia de ésta radica en que constituye un elemento puente para conservar el suelo mediante las raíces (Cuanalao *et al.*, 2011). Cuando es alterado éste factor, los PRM pueden ocurrir y, especialmente si en la zona las precipitaciones son constantes.

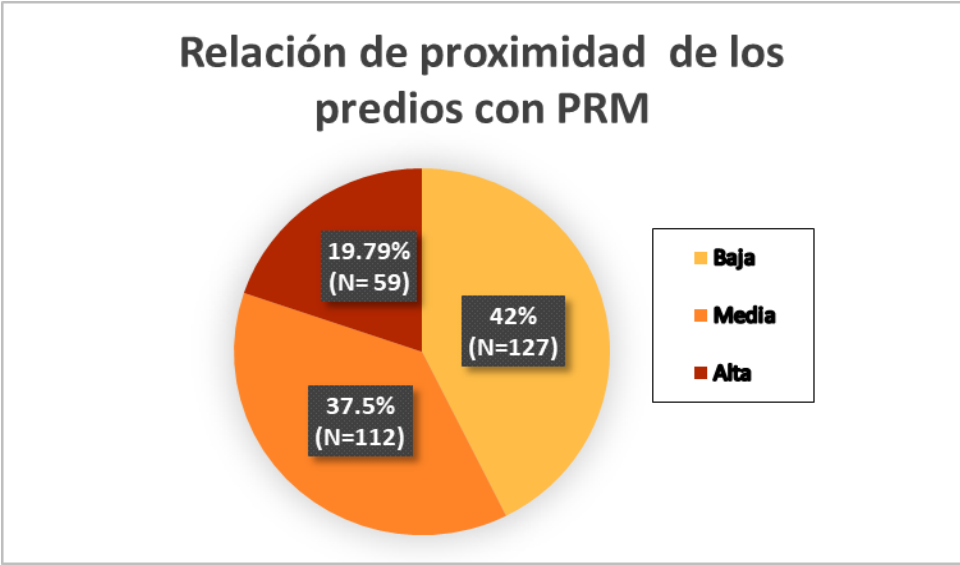
En la Figura 5.4 se muestra la condición de los predios del conjunto de viviendas de la zona de estudio. El 53% de los predios, se consideró con una buena condición estructural. De los ochenta y ocho predios de la colonia La Gloria, en promedio presentaron un nivel de deterioro uno, lo cual quiere decir que la condición de las viviendas es buena y solamente tres predios entraron en el rango de condición mala. Para la misma colonia, un 50% de los casos presentó problemas de grietas en las calles y viviendas.



**Figura 5.4** Condición de los predios de la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019). \*\*Los datos de la gráfica deben ser leídos conforme a Buena condición/poco deterioro, Media=moderadamente deteriorada/daños visibles pero que no afectan de sobremanera la estructura y Mala condición=muy deteriorado.

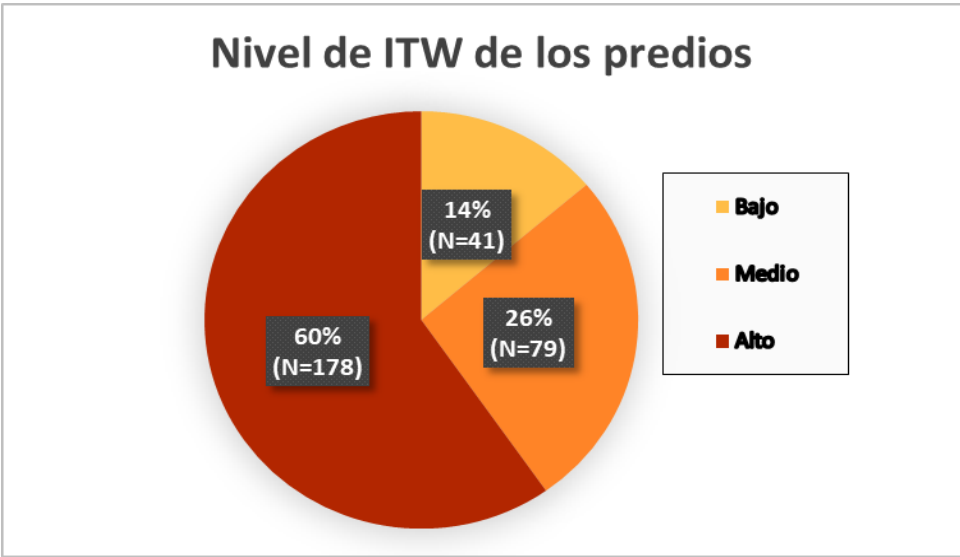
Otra variable a considerar fue la distancia de los predios respecto a los PRM ocurridos en la zona. Con base en la Figura 5.5, se puede mencionar que 43% de las viviendas se encuentran alejadas de algún PRM ocurrido. Sin embargo, los predios de la Colonia La Gloria se ubican principalmente en el 20%, considerado como una distancia corta o cercana a algún proceso de remoción en masa ocurrido con anterioridad.

El restante 37% fue para los predios que se localizaron a una distancia media de los PRM y con ello, cinco viviendas ubicadas en la zona centro adquirieron un nivel de exposición medio debido a los niveles, condiciones estructurales de la vivienda y a que la variable de la distancia respecto los procesos de remoción se ponderó con un valor más alto a consecuencia de la cantidad e importancia de éstos para ser considerado como indicador de la exposición.



**Figura 5.5** Relación de proximidad de los predios respecto con PRM ocurridos en la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).

En la Figura 5.6 se observan los valores correspondientes al Índice Topográfico de Humedad (ITW) del conjunto de viviendas de la zona bajo estudio.



**Figura 5.6** Nivel de Índice Topográfico de Humedad de los predios de la zona de estudio (con base en el mapa elaborado por García Galdino, 2019).

Cabe destacar que 60% de las viviendas de la zona se ubican en lugares con alto índice de humedad topográfico. Un 95% de las viviendas de la colonia La Gloria se

encuentran en esta situación. El porcentaje restante hace alusión a las casas que se encuentran en un nivel medio y bajo. No obstante se puede decir que la condición de humedad no refleja los daños en la condición estructural de las viviendas de manera directa, sin embargo, resalta aquellos sitios donde se acumula/concentra el agua y que propicia áreas potenciales de iniciación de PRM.

Los predios ubicados en el límite periférico del centro del municipio, presentaron coincidencias respecto a la ubicación en la ladera, servicios básicos, uso de suelo, niveles de construcción y condición de la vivienda. Por ello resulta necesaria la participación de las autoridades correspondientes mediante la continua evaluación sobre la condición de los predios de las zonas mayormente expuestas a diversas amenazas naturales y siconaturales, principalmente en el caso de la colonia La Gloria y fraccionamiento Siete Sabios.

En el aspecto económico se puede mencionar que, 55.20% de los habitantes del municipio de Teziutlán se encuentra en condición de pobreza, 48.20% en condición de pobreza moderada y 7% en pobreza extrema, lo que genera una población en condición de rezago social. La desigualdad social es notoria entre los grupos de personas que menos recursos tienen y buscan reducir gastos en aspectos como ropa, calzado, alimento y sobre todo en compra/venta y renta de vivienda con el afán de mejorar su calidad de vida. En algunos casos, las personas tienden a vivir en zonas de riesgo por la accesibilidad que estos representan.

El desarrollo habitacional de Los Portales, está enfocado en concentrar población con características económicas homogéneas y han optado por lo que podría ser considerado como una “cuasi urbanización cerrada” ya que, además de que el proceso de urbanización no está consolidado, las viviendas se establecen en zonas donde la exposición es alta. Evidentemente se habla de procesos inconclusos porque en una forma sólida de urbanización cerrada, está previsto que exista una planeación urbana que contempla diversos factores para mantener la seguridad de los habitantes. No obstante, en el imaginario colectivo de los habitantes del lugar, esa “cuasi urbanización”, les crea una especie de esfera de seguridad ante la ocurrencia de un desastre.

En los cuatro casos analizados es visible la inversión en construcción a partir de la inclusión de materiales adecuados, lo cual genera una percepción de seguridad o “estabilidad” a sus hogares. Sin embargo, realizar dichas acciones “preventivas” no

garantiza que los factores de riesgo ante un desastre sean aminorados. Para ejemplificar lo anteriormente mencionado, destaca la ocurrencia de los deslizamientos del mes de noviembre de 2018, los cuales no afectaron de manera considerable los predios, pero podrían ser reactivados en una posterior época de lluvias.

El 85% de las viviendas de la colonia La Gloria se encuentran, en un nivel alto de exposición a PRM, por lo cual la situación referente al tema riesgo debe ser considerado por parte de las autoridades municipales para evitar que los desastres ocurran en el municipio.

### **Conclusiones y discusión**

El enfoque dominante en el entendimiento de los desastres, continua imperante como el de mayor relevancia en los distintos medios de comunicación, para las autoridades municipales, instituciones académicas, etc. Por ello, en el imaginario colectivo de los habitantes de la zona estudiada, principalmente de la Colonia La Gloria, se mantiene una postura dividida entre la ocurrencia de desastres y el papel/participación que como población tienen respecto al tema riesgo. Por una parte, un grupo de personas consideran que el lugar que habitan es seguro, pese a que en el evento de 1999 hubo afectaciones considerables, aunque no decesos humanos en la colonia y por ello consideran innecesaria la reubicación de sus predios. De manera contrastante, un sector de la comunidad expresó su preocupación ante el riesgo asociado a eventos como los ocurridos el mes de noviembre de 2018, ya que, en cada época de lluvias ocurren diversas afectaciones por deslizamientos, ya sea en vialidades o en sus viviendas. La población está en riesgo de desastre asociado a la ocurrencia de PRM.

En el análisis realizado en el capítulo 2 referente al perfil sociodemográfico de la población que habita el municipio de Teziutlán, se pone en evidencia que, en la relación factor económico-vulnerabilidad, la población de la colonia La Gloria puede sufrir las consecuencias de un evento de desastre porque en la comunidad las condiciones económicas propician que las personas vivan en zonas de exposición ante amenazas naturales y PRM.

Dicho de otra manera, si existe población vulnerable, que habita laderas inestables y no existe una política de gestión del riesgo, la ocurrencia de desastres va a continuar.

Del mismo modo, la gestión de las autoridades municipales con respecto al ordenamiento y planeación territorial en zonas de riesgo como La Gloria, Siete Sabios, Los Portales y Los Sauces, debe estar enfocado en cubrir las necesidades de la población por medio de planes de acción a mediano y largo plazo. Los desarrollos habitacionales y las reubicaciones (por crecimiento, por desarrollo o por algún evento de desastre) deben suceder como consecuencia de la toma de acciones premeditadas y no de manera reactiva.

Es necesario que el gobierno municipal de Teziutlán, implemente una regulación en cuanto al uso del suelo, especialmente en los predios con mayor exposición, mediante la zonificación de lugares que sean aptos y no aptos para la construcción; esto es, los requerimientos mínimos acorde el tipo de uso de suelo que se tenga en el lugar. Además de ello, es necesario que a las empresas inmobiliarias se les exija respaldar sus zonas de construcción mediante estudios que demuestren la viabilidad de los mismos y que no pongan en riesgo a los habitantes.

En el mismo orden de ideas y de manera contrastante, la ausencia y escases de estudios desde la escala local se puede relacionar directamente con factores tales como la falta de información (socioeconómica, catastral, de vulnerabilidad, exposición, etc.), lo que complica tener bases de datos, inventarios y cualquier otra herramienta de análisis socio-espacial. En este caso, uno de los objetivos particulares del estudio, fue elaborar cartografía de indicadores dirigido hacia las comunidades que se encuentran en riesgo y exposición ante PRM. Sin embargo la tarea se tornó complicada debido a la inexistencia de información a nivel local.

La realización de los estudios desde la escala local, a diferencia de lo regional o subregional, puede ser benéfica en cuanto a la obtención de información inmediata, eficaz y confiable de la zona en estudio. La escala local ofrece una perspectiva con mayor cercanía hacia los agentes que viven, transforman y son transformados por el espacio que habitan.

Dado lo anterior, la visión de los pobladores debería ser tomada en cuenta desde una forma transversal para abordar las distintas problemáticas derivadas del tema riesgo. El principal reto para México como territorio que históricamente ha sufrido desastres por PRM, se encuentra en conciliar la parte política, social y académica, ya que las tres instancias no persiguen los mismos objetivos.

El uso de los VANT en México, así como diversos aspectos legislativos requieren de mayor desarrollo, ya que, como se mencionó al final de capítulo 3, pueden ser ampliamente benéficos, tanto para la ciencia como para la sociedad, en términos de innovación y utilidad con respecto a estudios de análisis de diversos tipos de amenazas, incluso de los PRM.

De acuerdo con Guardado *et al.*, (2017), México, en contraste con países como E.U.A., Alemania, Finlandia, Suecia, etc., hasta el año 2016, presenta un marco legislativo de contenido ambiguo respecto al uso del *drone* y los campos de aplicación, así como de los parámetros y escenarios bajo los que puede ser usada la tecnología de los VANT. Por ello, cabe enfatizar la necesidad de creación de un marco de uso y aplicaciones desde y para el contexto nacional, que indique de manera amplia y explícita lo pertinente al tema de vehículos aéreos no tripulados.

De igual manera, una mayor incursión en los VANT, por parte del gobierno, de la comunidad académica y la sociedad civil, propiciaría que se fortalecieran y maximizaran las capacidades de la tecnología no tripulada en México. Si el marco legislativo lo permitiera, podría ser posible incluso hablar de una red interconectada de drones para el análisis en tiempo real de las amenazas naturales, identificar características y síntomas de inestabilidad en lugares remotos, estudios preventivos, así como llevar a cabo análisis multitemporales de las zonas con mayor susceptibilidad y donde haya presencia de población vulnerable y expuesta a amenazas naturales, socionaturales y PRM en el territorio nacional.

La hipótesis respecto a los VANT y su viabilidad en estudios de inestabilidad de laderas y riesgo fue comprobada mediante el desarrollo del presente trabajo de tesis. Con ello, se puede afirmar que los VANT o *drone* son una herramienta alternativa, accesible, eficaz y de bajo costo que permite realizar análisis del nivel de

exposición de la población ante el impacto potencial de una amenaza, en este caso de los PRM.

Se pudo llevar a cabo el cumplimiento de cada objetivo específico; la obtención de insumos cartográficos (las imágenes y videos con el *drone*); la creación de un modelo 3D que complementa el formato de evaluación de los predios respecto a la ubicación de estos en la ladera; y, la obtención de un mapa donde se propusieron indicadores para el análisis sobre la exposición del conjunto de predios de la colonia La Gloria y de los sitios aledaños con problemas de inestabilidad.

La presente tesis tuvo el objetivo de hacer visible la necesidad de abordar el tema de la exposición por inestabilidad de laderas ante PRM bajo la perspectiva geográfica, ciencia social que, mediante la noción, conocimiento y manejo de escalas permite abordar una multiplicidad de temas, problemas sociales, así como proponer la solución de los mismos mediante el uso y aplicación de la tecnología.

El principio metodológico de la geografía que incluye la localización, observación, análisis, representación, distribución, interpretación y conexidad de la información contenida en el espacio geográfico como objeto de estudio, se lleva a cabo a través del uso de las distintas categorías de análisis como el lugar, medio, paisaje, región y territorio. Lo anterior permitió llevar a cabo un análisis desde lo general hacia lo puntual en lo correspondiente al tema de riesgos en el contexto mundial, nacional y local.

Por último, el conocimiento geográfico, ha sido el resultado del constante trabajo por parte de los estudiosos del espacio, del estudio multitemporal a través de las distintas sociedades que abarca desde la antigua Grecia hasta la actualidad, donde aún resulta importante además de necesario conocer y estudiar nuestro entorno. Finalmente debe existir un cambio en el constructo social que permita entender a los desastres como producto de la construcción social porque es la sociedad quien funge como el agente de cambio, en tanto los impactos positivos y negativos hacia el medio que habita.



## Bibliografía

- Alcántara-Ayala, I. (2000). Índice de susceptibilidad a movimientos del terreno y su aplicación en una región semiárida. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 17 (1): 66-75. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.
- Alcántara–Ayala, I., Echavarría Luna, A., Gutiérrez Martínez, C., Domínguez Morales, L., y Noriega Rioja, I. (2001). Inestabilidad de Laderas. Serie Fascículos, CENAPRED-SEGOB, 2ª. Edición, pp. 36.
- Alcántara–Ayala, (2002). *Geomorfology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in development countries*. *Geomorfology*, 47(2), 107-24.
- Alcántara-Ayala, I. (2004). *Hazard assessment of rainfall-induced landsliding in Mexico*. *Geomorphology*.
- Alcántara-Ayala, I. y Hernández-Moreno, G. (2016). Landslide risk perception and communication for disaster risk management in mountain areas of developing countries: a Mexican forestate. *J Mt Sci*. 13 (12):2079-2093.
- Alcántara-Ayala (2017) citado en Alcántara-Ayala *et al.*, (2018).
- Alcántara-Ayala, I., Garnica, J., Coll-Hurtado, A., Gutiérrez de M, M. (coords). (2017a). Inestabilidad de Laderas en Teziutlán, Puebla. Factores inductores del riesgo de desastres, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 223pp., ISBN 978-607-02-9136-4. *Investigaciones geográficas*, (93).
- Alcántara-Ayala, I., Garnica-Peña, R., Murillo-García, F., Salazar-Oropeza, M., Méndez-Marínez, A. y Coll-Hurtado, A. (2018). Landslide disaster risk awareness in México: community acces to mapping at local scale. *Landslides*. DOI 10-1007/s10346-018-1010-4.
- Andrade, P. (2016). Análisis del deslizamiento en la carretera Tijuana-Ensenada (km 93 +50) a partir modelos de relieve de alta resolución espacial. (Tesis de Maestría en Ciencias). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 64 pp.
- Antuñano, S., Marrett, R., y García, M. (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*.
- Arellano, E., Juárez, H., Y Gómez, A., (2004). Vulnerabilidad Sísmica de la Colonia Roma, Ciudad de México. XIV Congreso Nacional de Ingeniería estructural. Sociedad mexicana de ingeniería estructural. Acapulco, Gro.

- Bello, V. (2015). El uso del penetrómetro ligero (Panda) en la identificación de laderas potencialmente inestables en el municipio de Teziutlán Puebla. (Tesis de Licenciatura en Geografía) UNAM.
- Bennassar, B. (1996). *Les catastrophes naturelles dans l'Europe medievale et moderne*. Toulouse: Presses Universitaires du Mirail.
- Bitrán, D. (2001). Características del impacto socioeconómico de los principales Desastres ocurridos en México en el período 1980-99. CENAPRED.
- Buitrago, N. y Duran, J. (2018). Prototipo de sistema de información apoyado en imagines tomadas con drones, para la evaluación y el análisis del impacto producido en desastres naturales. (Tesis para optar por el grado de Especialista en Ingeniería). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. y Wisner, B., (1996). Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. Soluciones Prácticas. Bogotá, LA RED/ITDG.
- Blanco, J. y Palacio, J. (1995). Cuantificación del crecimiento de las aéreas erosionadas en cabeceras de cárcavas procesando imágenes de video. Boletín de investigaciones geográficas No.3, UNAM, México. Págs. 78-85.
- Brunsden, D. (1979). *Mass Movements*. In: Embleton, C.E y J.B Thones (eds.) *Progress in Geomorflogy*, Arnold. pp. 130-186.
- Cardona, O. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión, presentado en *Internacional Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice, junio, Disaster Studies of Wageningen University y Research Centre, Wageningen*.
- Carlos-Valerio, C., García-Palomo, A., López-Miguel, C., y Galván-García A. (2007). Geología y procesos de remoción en masa asociados a un domo volcánico tipo couleé: cerro El Tenayo, Tlalnepantla, Estado de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59, no. 2, pp.194.
- Cayhono, A. y Zayd, R. (2018). *Rapid mapping of landslide disaster using UAV-photogrammetry*. *IOP Conf. series: Journal of Physics: Conf.* DOI: 10.1088/1742-6596/974/1/012046 series 974. 1-6.
- CENAPRED, (2001). Cartilla de diagnóstico preliminar de inestabilidad de laderas, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, México.

- CENAPRED, (2014). Bases para la estandarización en la elaboración del Atlas de Riesgos y catálogo de datos geográficos para representar el riesgo. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, México.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2014), “América Latina y el Caribe: indicadores macroeconómicos del turismo”, *Cuadernos Estadísticos de la CEPAL*, N° 39 (LC/G.2485-P), Santiago de Chile. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.11.II.G.1.
- CONAGUA, (2009), Resumen de la temporada de ciclones tropicales 1999, Servicio Meteorológico Nacional.
- Chango, E. y Álvarez, M. (2011). Diseño e implementación de un sistema fotogramétrico digital de corto alcance. Escuela Politécnica del ejército. Ecuador. Pag. 52.
- Christlieb, F. y Urquijo, S. (2012). Capítulo 1: “Corografía y escala local, una introducción” en Corografía y escala local. Enfoques desde la geografía cultural. Campus Morelia, México. UNAM CIGA. Págs. 13-15.
- CONABIO (2018). Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Cook, K. (2016). *An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection*. *Geomorphology* 278, pp. 195-208.
- Cuny, F. (1983). *Desastres y Desarrollo*. Neww York: Osford University.
- FAO-UNESCO, I.S.R.I.C. (1990). Mapa Mundial de suelos, *Leyenda Revisada. Informe sobre recursos mundiales de suelos*, 60.
- Ferras, R. (1992). *Niveaux Geographiques, Echelles Spatiales*. In: Bailly, A., Ferras, R. et Pumain, D. (Eds.) *Encyclopedie De Geographie*. Paris: Económica.
- Ferriz, H. (1985). Zonamiento composicional y mineralógico en los productos eruptivos del centro volcánico de Los Humeros. Puebla. México. En: Vema. S.P. (ed.) *Special Volume on Mexican Volcanic Belt*. Part. L. Vol. 24. Geofis. Int., pp. 97-157.
- Flores, P. (2002). Inestabilidad de laderas y riesgos asociados en Teziutlán, Puebla. (Tesis de Licenciatura en Geografía). Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Flores, L. y Alcántara-Ayala, I., (2002). Cartografía morfogenética e identificación de procesos de ladera en Teziutlán, Puebla, *Investigaciones Geográficas*, UNAM, México.

- Fryer, J., Mitchell, H., Chandler, J., (2007). *Applications of 3D Measurement from Images*. Whittles Publishing, Caithness, Scotland.
- García, E. (1998). *Climas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- García, V. (1994). *Estudios históricos sobre desastres naturales en México*. CIESAS. México.
- Garnica, J. y Alcántara, I. (2017). *Multi-temporal Landslide Evaluation by Using UAV: Some Insights On Disaster Risk in Teziutlán, Puebla Mexico*. *Culture of living with landslides* DOI: 10.1007/978-3-319-53498-5\_24. 209-218.
- Guardado, R., Téllez, M. y Herrera, A. (2017). *El uso de drones en ciencias de la tierra*. Reaxxion, ISSN: 2007-7750.
- Henry, J.-B., Malet, J.-P., Maquaire, O., Grussenmeyer, P., (2002). *The use of small-format and low-altitude aerial photos for the realization of high-resolution DEMs in mountainous areas: application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-De-Haute-Provence, France)*. *Earth Surf. Process. Landf.* 27, 1339–1350.
- Hernández-Moreno, G., y Alcántara-Ayala, I. (2017). *Landslide risk perception in México: a research gate into public awareness and knowledge*. *Landslides*. Vol. 17 pp. 351-371.
- Hewitt, K. (ed.) (1983), *Interpretations of Calamity*, Londres, Allen and Unwin.
- INEGI, (2010). *Manual de Cartografía geo estadística para indicadores del censo*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México 2010.
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellán, A., Derron, M.-H., Loye, A., Metzger, R., Pedrazzini, A., (2012). *Use of LIDAR in landslide investigations: a review*. *Nat. Hazards* 61: 5–28. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-010-9634-2>.
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellán, A., Derron, M.-H., Loye, A., Metzger, R., Pedrazzini, A., (2010). *Use of LiDAR in landslide investigations: a review*. *Nat. Hazards*, pp. 1–24.
- Juárez, F. (2012). *Percepción del riesgo y vulnerabilidad Urbana en Teziutlán Puebla*. (Tesis de licenciatura en Geografía). Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Jurado, J. (2009). *Desastres Naturales, rogativas públicas y santos protectores en la Nueva Granada (Siglos XVIII y XIX)*. *Boletín cultural y Bibliográfico* No. 65, Bogotá: Banco de la República.
- Khun (1962) en Lavell (1993)

- Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: Geometry from images and laser scans* (2nd ed.). Berlin, Germany: de Gruyter.
- Lavell (1993) en Maskrey (1993).
- Lavell, A. (1994). *Viviendo en riesgo, Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina*. Bogotá: FLACSO/ LA RED / CEPREDENAC.
- Lavell, A. (2005). Desastres y desarrollo: hacia un entendimiento de las formas de construcción social del desastre; el caso del huracán Mitch en Centroamérica. *Armando Fernández (comp.). Comarcas vulnerables: riesgos y desastres en Centroamérica y el Caribe, Coordinadora Regional de Investigaciones Económicas y Sociales, Buenos Aires*, 11-44.
- López, J. y Palacio, J. (1994). Cuantificación del crecimiento de las aéreas erosionadas en cabeceras de cárcavas procesando imágenes de video. *Boletín de investigaciones geográficas No.3, UNAM, México*. Págs. 78-85.
- Maldonado, E. y Chío, G. (2012). Índice de vulnerabilidad estructural ante los efectos de remoción en masa en edificaciones de mampostería basado en conjuntos difusos. *Ingeniería de construcción No 27, Universidad Industrial Santander, Colombia*. 23-39.
- Mansilla, E. y R, I. (2010), Diagnóstico nacional de los asentamientos humanos ante el riesgo de desastres, Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), México.
- Martínez, M. (2000). Un paradigma para la ciencia geográfica. *Revista Utopía*, 11: 1-9.
- Martínez, M. (2002). La dinámica de los sistemas morfológicos como amenaza natural y social. *Revista de investigación geográfica*, 3 (3): 133-153. Pasto: Universidad de Nariño.
- Martínez, M. (2009). Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales. *Perspectiva Geográfica*, Vol. 14. 2009. Universidad de Cauca.
- Maskrey, A. (1989). *El Manejo Popular de los Desastres Naturales. Estudios de Vulnerabilidad y Mitigación*, ITDG, Lima, 1989.
- Maskrey, A., Cardona, O., García, V., Lavell, A., Macías, J., Romero, G., y Chaux, G. (1993). Los desastres no son naturales. *Red de estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina*.
- Maskrey, A. (1998). Navegando entre brumas. La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al análisis de riesgos en América Latina. Lima, Perú: ITDG / LA RED. Tercer Mundo.

- Mendoza–López, M.J., Domínguez–Morales, L., Noriega–Rioja, I., Guevara–Ortiz, E., 2002, Monitoreo de laderas con fines de evaluación y alertamiento: Cd. de México, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 77 p.
- Murillo-García, F. y Alcántara-Ayala, I. (2017). *Landslide inventory, Teziutlán municipality, Puebla, México (1942–2015)*, *Journal of Maps*, 13:2, 767-776, DOI: 10.1080/17445647.2017.1381194
- Noriega, I. (2005). Deslizamiento de laderas ocasionados por lluvias intensas. Tesis de maestría- UNAM.
- Olivert-Smith A., Alcántara Ayala I., Burton, I., Lavell, A. (2016). Investigación Forense de Desastres (*FORIM*): un marco conceptual y guía de investigación, *Integrated Research on Disaster Risk/ Instituto de Geografía, UNAM*, pp. 104-110.
- Pacheco, C. y Pozzobon, E. (2011). Manual de ejercicios de laboratorio, Fotogrametría y fotointerpretación. Universidad de los Andes. Chile. Vicerrectorado académico. Pág. 10
- Palacio, J. y López, J. (1996). Videografía como herramienta alternativa de teledetección para la evaluación y monitoreo de recursos naturales: Un Ejemplo de erosión de suelos. Boletín de investigaciones geográficas No. 11. IGg UNAM. Págs. 73-76.
- Paz, J., González, R., Gómez, M., Velasco, J. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones geográficas, IGg UNAM*, 92, <http://dx.doi.org/10.14350/rig.52822>.
- Pogge, R. (2008). *Real-World Relativity: The GPS Navigation System*.
- Rizos, C.. (1999). *University of New South Wales, GPS Satellite Signals*.
- Roa, J. y Kamp, U. (2012). Uso del índice topográfico de humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana* ISSN: 1012-1617. Universidad de los Andes, Venezuela. pp. 114-116.
- Romero-Gaeta, P. (2017). Comunicación del riesgo de desastre por inestabilidad de laderas en Teziutlán, Puebla. (Tesis de licenciatura en Geografía). Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Said (1978) en Lavell (1993).
- Santos, M. (2004). *A natureza do espaço*, Ariel. Barcelona.

- Stumpf, A., Malet, J-P., Allemand, P., Pierrot. M., Skupinski, G., (2014). *Ground based multi-view photogrammetry for the monitoring of landslide deformation and erosion*. *Geomorphology* 231, pp. 130-145.
- Suárez (2006) en Romero-Gaeta (2017).
- Sutton, M.A., Orteu, J.-J., Schreier, H.W., (2009). *Image correlation for shape, motion and deformation measurements: basic concepts, theory and applications*. Springer. pp.10
- Unwin, T. (1995). *El lugar de la geografía*. Madrid: Cátedra.
- Verstappen, H. Th. (1992). *Geomorphological Remote Sensing of Environment* Assoc. Ital. Telerilevamiento. Estratti dagli Atti del V Convegno Nazionale, Italia.
- Vidal, R. (2005). *Las regiones climáticas de México*. UNAM.
- Vinniegra-Osorio, F. (1965). *Geología del Macizo de Teziutlán y la cuenca Cenozoica de Veracruz*. Bol. Asoc. Méx. Geólogos Petroleros. V. 17. pp. 100-135.
- Vleck, J. y E- Cheung. (1983). *Video Image Analysis, 8th Canadian symposium on Remote Sensing and 4<sup>th</sup> Conference of L'Association Quebecoise de Teledeteccion*, mayo 3-6, Quebec, pp. 63-69.
- Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M., 2012. *'Structure from-motion' photogrammetry a low-cost, effective tool for geoscience applications*. *Geomorphology* 179, pp. 300–314.
- Wijkman, A y L. Timberlake (1984). *Natural Disasters. Acts of God or Acts of Man?*, Londres, International Institute for Environmental and Development.
- Wilches-Chaux, G. (1989). *Desastres, ecologismo y formación profesional*. Popayán: SENA.

## Cibergrafía

- ABC, La erupción del volcán Vesubio. Historias y relatos de viajeros. Recuperado de: [http://www.abc.com/abc#\\_Volcan\\_vesubio.pdf](http://www.abc.com/abc#_Volcan_vesubio.pdf)  
Consultado: Febrero 2019.
- Alcántara-Ayala, I. (2000). Landslides: Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas*, (41), 7-25.  
Recuperado de:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=scri\\_arttext&pid=S018843112000000100002&ing=es&tIng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=scri_arttext&pid=S018843112000000100002&ing=es&tIng=es).

Consultado: Diciembre 2018.

- AFP, (2018). Servicio geológico japonés reporta deslizamientos de tierra provocados por sismo. Recuperado de: <https://www.france24.com/es/20180906-un-fuerte-sismo-provoca-corrimientos-de-tierra-en-la-isla-japonesa-de-hokkaido>

Consultado: Enero 2019.

- Astre, H., (2010). SFMToolkit3. Recuperado de: <http://www.visual-experiments.com/demos/sfmtreekit>.

Consultado: Septiembre 2018.

- ArcGis for desktop, ESRI (2018). ¿Qué son los LIDAR? Recuperado de: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>.

Consultado: Septiembre 2018.

- ArcGis for desktop, ESRI (2018). Tipos de LIDAR Recuperado de; <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/types-of-lidar.htm>.

Consultado: Septiembre 2018.

- Bitrán, D. (2001). Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-99. Serie: impacto socioeconómico de los desastres en México, vol. 1, Secretaria de Gobernación (SEGIB)-Centro Nacional de Prevención de Desastres (CEAPRED), México. Recuperado

de: <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/2892006Impacto.pdf>

Consultado: Noviembre 2018.

- Canon, (2017). Recuperado de: <http://plazakamera.com/>.

Consultado: Septiembre 2018.

- CEIGEP (2015). Fichas municipales. Información básica del municipio: Teziutlán. Recuperado de: <http://www.coteigep.puebla.gob.mx/est231.php?muni=21174>

Consultado: Diciembre 2018.

- CENAPRED (2001). Inestabilidad de laderas, serie fascículo, 2da edición. Recuperado

de: <http://wwwcenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieFasciculos/fasciculosladeras2.pdf>



Consultado: Diciembre 2018.

- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (2006), Regiones Indígenas de México. Recuperado de: [http://www.cdi.gob.mx/regiones/regiones\\_indigenas\\_cdi.pdf](http://www.cdi.gob.mx/regiones/regiones_indigenas_cdi.pdf).

Consultado: Diciembre 2018.

- CONABIO (2011). La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado, México. Recuperado de: <http://biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/BiodiversidadenPuebla.pdf>

Consultado: Enero 2019.

- CONAGUA (2009). Climatología estadística, datos contenidos en la base de datos climatológica. Recuperado de: <http://smn.cna.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/21091.txt>

Consultado: Enero 2019.

- CONEVAL, (2010). Informe Anual Sobre La Situación de Pobreza y Rezago Social, Teziutlán Puebla. Recuperado de: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39366/Puebla\\_174.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39366/Puebla_174.pdf).

Consultado: Diciembre 2018.

- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres CONRED (2018), Recuperado de: [https://conred.gob.gt/www/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6916:boletin-informativo-no-1752018-nuevo-descenso-de-lahares-en-barranca-las-lajas&catid=37:informativos&Itemid=1010](https://conred.gob.gt/www/index.php?option=com_content&view=article&id=6916:boletin-informativo-no-1752018-nuevo-descenso-de-lahares-en-barranca-las-lajas&catid=37:informativos&Itemid=1010)

Consultado: Enero 2019.

- Corporación Autónoma de Chivor, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (2012). Elaboración de estudio de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) y diseño de obras de estabilización en la Vereda Serranía, municipio de Macanal, jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional De Chivor. Colombia. Unidad Nacional Para la gestión del riesgo de desastres. Recuperado de: <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19740?mode=full&locale=a>.

Consultado: Septiembre 2018.

- Cuanalo. O., Quezada, P., Aguilar, A., Olivan, A., y Barona, E., (2006). Sismos y lluvias, factores detonantes de deslizamientos de laderas en las regiones

montañosas de Puebla, México. *e-Gnosis*, (4). Recuperado de:  
<http://www.redalyc.org/pdf/730/73000413.pdf>

Consultado: Enero 2019.

- ESA, (2015). *European Space Agency. The use of GPS and GPSDF*. Recuperado de: <http://www.esa.com/>  
Consultado: Febrero 2019.
- FAO (2014). World reference base for soil resources 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf>  
Consultado: Enero 2019.
- Historia de la fotografía aérea, (2014). BY AIR DRONE VIEW ETIQUETADO: AIR DRONE VIEW, DRONES, DRONES BADAJOZ, HISTORIA, HISTORIA FOTOGRAFIA AEREA, ORIGEN, ORIGINES FOTOGRAFIA AEREA, recuperado de: <http://www.airdroneview.com>  
Consultado: Septiembre 2018.
- Lavell, A. (2007). Apuntes para una reflexión institucional en países de la Subregión Andina sobre el enfoque de la Gestión del Riesgo. PREDECAN. Lima. Recuperado de: <http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/r1/docAllan2.pdf>.  
Consultado: Marzo 2019.
- Martha Gómez, (2013). Periódico La Patria, Sobre la gestión en Manizales. Recuperado de: <http://www.lapatria.com/manizales/preocupa-todo-el-municipio-jefe-la-unidad-de-gestion-del-riesgo-en-manizales-50176>.  
Consultado: Enero, 2019.
- IDM, Jair Gómez, (2013). Infraestructura y Desarrollo en México. Recuperado de; <http://www.revistainfraestructura.com.mx/17-de-octubre-entregaran-la-autopista-durango-mazatlan/> IDM infraestructura y desarrollo en México.  
Consultado. Enero 2019.
- INAFED (2011). Enciclopedia de los Municipios de México (E-Local), Estado de Puebla, Municipio de Teziutlán. Secretaría de Gobernación, México. Recuperado de:  
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21174a.htm>  
Consultado: Noviembre 2018.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1998). Teziutlán, estado de Puebla: Cuaderno estadístico municipal. Recuperado de:

[http://internet.contenidos.inegi.org.mx.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1334/702825928872/702825928872\\_1.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1334/702825928872/702825928872_1.pdf)  
Consultado: Diciembre 2018.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2008). Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México. Recuperado de: [http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-geografiademexico/manual/carac\\_eda\\_fis\\_vs\\_enero\\_29\\_2008.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1-geografiademexico/manual/carac_eda_fis_vs_enero_29_2008.pdf)  
Consultado: Noviembre 2018.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. México. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/>.  
Consultado: Octubre-Noviembre 2018.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). Compendio de Información Geográfica Municipal, Teziutlán, Puebla. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contendios/topografia/compendio.aspx>.  
Consultado: Diciembre 2018.
- Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) (2016). Grupo de Trabajo a cargo del desarrollo de la acción estratégica 4.2.1 del Plan Estratégico Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Chile. Recuperado de [http://www.onemi.com/chile/prev\\_desast/plan/gestio/metodologia/.pdf](http://www.onemi.com/chile/prev_desast/plan/gestio/metodologia/.pdf)  
Consultado: Diciembre 2018.
- Sitio web Airdata uav, soporte del software utilizado para la revisión de las misiones de vuelo en campo. Recuperado de: [http://www.airdata.com/uav\\_](http://www.airdata.com/uav_)  
Consultado: Junio 2019.
- Sitio web Drones Made Easy, soporte del software utilizado para la elaboración de mapas digitales. Recuperado de: <http://www.dronesmadeeasy.com/supportdrones/>  
Consultado: Junio 2019.
- Sitio web El país, Argentina. Las inundaciones golpean el centro de Argentina. Recuperado de: [https://www.elpais.com\\_internacional/inundaciones](https://www.elpais.com_internacional/inundaciones)  
Consultado: Febrero 2019.
- Sitio web La Nación. Inundaciones por Tifón en Taiwán. Recuperado de: [https://lanacion.com/inundaciones\\_mundia\\_taiwn](https://lanacion.com/inundaciones_mundia_taiwn)  
Consultado: Febrero 2019
- SEDESOL (2015). Unidad de microrregiones. Cédulas de información municipal: Teziutlán. Recuperado de:

<http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=21&mun=174>.

Consultado: Diciembre 2018.

- TripAdvisor, (2016). Paisajes de La coruña. Recuperado de: [https://www.tripadvisor.in/LocationPhotoDirectLink-g1064070-d2618970-i218500144-Los\\_Acantilados\\_Marinos\\_Mas\\_Altos\\_de\\_La\\_UE-Cedeira\\_Province\\_of\\_A\\_Coruna.html](https://www.tripadvisor.in/LocationPhotoDirectLink-g1064070-d2618970-i218500144-Los_Acantilados_Marinos_Mas_Altos_de_La_UE-Cedeira_Province_of_A_Coruna.html)

Consultado: Enero 2019.

- UNDRO, (1979). "*Natural disasters and vulnerability Analysis*". *Report of Experts Group Meeting*, Geneva. Recuperado de: <https://archive.org/stream/naturaldisasters00offi#page/8/mode/2up>

Consultado: Enero 2019.

- UNISDR (2017). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas*, Ginebra, Suiza. Recuperado de: [http://www.unidsr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unidsr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf).

Consultado: Enero 2019.

- U.S. International Trade Commission. *Certain GPS Chips, Associated Software and Systems, and Products Containing Same*, Inv. 337-TA-596. DIANE Publishing. pp. 6-. ISBN 978-1-4578-1632-1.

Consultado: Febrero 2019.