



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE GEOGRAFÍA

LICENCIATURA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS HÍDRICOS

TESIS

**“PELIGROS GEOLÓGICOS DEL ÁREA CERRO
DE LA VERÓNICA, MUNICIPIO DE LERMA,
ESTADO DE MÉXICO”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS HÍDRICOS**

PRESENTA:
NOÉ PEDRAZA BECERRIL

ASESOR:
DR. EN C.T. EDGAR ÁNGELES MORENO

REVISORES:
DR. EN C.T. ALEXIS ORDAZ HERNÁNDEZ
DR. EN C.T. HÉCTOR VÍCTOR CABADAS BÁEZ

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO DE 2020

Índice de contenido.

Índice de contenido.....	i
Índice de figuras.....	iii
Índice de tablas.....	iv
Abreviaturas.....	v
1. Introducción.....	1
1.1 Planteamiento y justificación del problema.....	1
1.2 Hipótesis.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Área de estudio.....	3
2. Metodología.....	5
2.1 Investigación documental.....	5
2.2 Método científico.....	6
2.2.1 Pasos del método científico.....	6
2.3 Cartografía y fotointerpretación geológica.....	7
2.4 Geología de campo.....	8
2.5 Geología ambiental.....	9
2.5.1 Geotécnia.....	9
2.5.2 Movimientos de ladera.....	10
2.5.3 Subsistencia hídrica.....	10
3. Marco Teórico.....	13
3.1 Geología Ambiental.....	13
3.1.1 Peligro/Amenaza.....	14
3.1.2 Vulnerabilidad.....	15
3.1.3 Riesgo.....	15
3.1.4 Riesgo geológico.....	16
3.1.5 Fracturas y fallas.....	16
3.1.6 Subsistencia.....	19
3.1.7 Movimientos de ladera.....	21

3.2 Marco Geológico.....	23
3.3.1 Sierra de Las Cruces	23
3.3.2 Antecedentes del área Cerro de La Verónica.....	25
4. Resultados.....	25
4.1 Geología del área Cerro de La Verónica.....	25
4.1.1 Estratigrafía.....	26
4.2 Geología estructural.....	49
5. Peligros geológicos del área Cerro de La Verónica.....	55
5.1 Peligros por fracturamiento y fallamiento.....	56
5.2 Peligros por derrumbes.....	58
5.3 Peligros por inundación.....	60
5.4 Peligros por subsidencia del terreno.....	63
5.5 Susceptibilidad sísmica local.....	66
5.6 Pozos de agua subterránea.....	68
6. Conclusiones.....	71
Referencias.....	73
Anexos.....	77
Anexo 1. Análisis Petrográfico.....	77

Índice de figuras.

Figura 1.1 Localización de la zona de estudio	1
Figura 2.1 Esquema metodológico.....	12
Figura 3.1 Componentes de la geología ambiental.....	14
Figura 3.2 Fórmula para calcular el riesgo.....	16
Figura 3.3 Principales tipos de fracturas.....	17
Figura 3.4 Diagrama de falla normal, inversa y vertical.....	18
Figura 3.5 Tipos de subsidencia.....	20
Figura 3.6 Tipos de deslizamientos de ladera.....	22
Figura 3.7 Mapa altimétrico.....	24
Figura 4.1 Mapa geológico del área Cerro de La Verónica	26
Figura 4.2 Derrame de andesita.....	27
Figura 4.3 Afloramiento de flujos piroclásticos.....	28
Figura 4.4 Afloramiento de flujo de bloques.....	29
Figura 4.5 Zona de fracturamiento y bloques.....	30
Figura 4.6 Bloques de dacita.....	31
Figura 4.7 Fractura en derrame de lava andesítica-dacítica.....	31
Figuras 4.8 y 4.9 Afloramiento de flujos piroclásticos.....	32
Figuras 4.10, 4.11 y 4.12 Fallas con brecha de fallas.....	34
Figura 4.13 Afloramiento de depósitos aluviales y de caída.....	36
Figura 4.14 Pirometamorfismo y depósitos de caída.....	36
Figura 4.15 Derrame de andesitas.....	36
Figura 4.16 Lahar de material volcánico.....	38
Figura 4.17 Avalancha fría volcánica.....	38
Figura 4.18 Afloramiento de andesita.....	38
Figura 4.19 Fractura que corta cenizas volcánicas.....	40
Figura 4.20 Afloramiento de arcillas volcánicas.....	41
Figura 4.21 Afloramiento de depósitos sedimentarios.....	41
Figura 4.22 Afloramiento de lahar y depósitos de abanico aluvial.	42
Figura 4.23 Derrames lávicos andesíticos-dacíticos.....	43
Figura 4.24 Derrame de lava andesítica.....	45

Figura 4.25	Arenas gruesas y limos.....	47
Figura 4.26	Capas de suelo y paleosuelo.....	48
Figura 4.27	Falla con brecha de falla.....	50
Figura 4.28	Zona de fracturamiento y bloques de andesita.....	51
Figura 4.29	Lineamientos estructurales y fracturas.....	54
Figura 5.1	Mapa de Peligros geológicos.....	56
Figura 5.2 y 5.3	Bloques de andesita fracturada.....	57
Figura 5.4	Afloramiento de roca andesita fracturada.....	58
Figura 5.5	Afloramiento de arcillas volcánicas.....	59
Figura 5.6	Cañada con derrumbes por proceso de erosión remontante.....	60
Figura 5.7	Marcas de salitre.....	61
Figura 5.8	Río San Lorenzo.....	62
Figura 5.9	Zonas inundables.....	63
Figura 5.10	Diagrama de proceso de subsidencia.....	65
Figura 5.11	Localización de daños graves y colapsos durante el sismo del 19 de septiembre de 2017.....	67
Figura 5.12	Espesor de la cuenca sedimentaria de la Ciudad de México.....	67
Figura 5.13	Esquema de extracción de agua subterránea.....	68
Figura 5.14	Mapa de ubicación de pozos.....	69
Figura 5.15	Columna estratigráfica de un multipiezómetro.....	70

Índice de tablas.

Tabla 1.	Coordenadas del cuadrángulo del área de estudio.....	4
Tabla 4.1	Registro de fracturas y fallas.....	49

Abreviaturas.

(SGM) Servicio Geológico Mexicano.

(CENAPRED) Centro Nacional de Prevención de Desastres.

(UNDRO) United Nations Disaster Relief Organization.

(SEMARNAT) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

(INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

(GPS) Sistema de Posicionamiento Global.

(CONAGUA) Comisión Nacional del Agua.

(SSN) Servicio Sismológico Nacional.

(Pl) Plagioclasa.

(Px) Piroxeno.

(Hbl) Hornblenda.

(Bt) Biotita.

(Amp) Anfíbol.

(LLP) Luz Polarizada Plana.

(NX) Nícoles Cruzados.

Resumen.

El área de Cerro de La Verónica, ubicada en el Municipio de Lerma, Estado de México, es un área volcánica y sedimentaria en el borde poniente de la Sierra de Las Cruces. En esta región existen obras de infraestructura importante para la ciudad de Toluca y Ciudad de México como son, la autopista Toluca-Naucaupan, la presencia de pozos de extracción de agua subterránea y la presencia de tuberías del sistema Cutzamala. Estas obras están expuestas u originan posibles peligros y riesgos naturales en el área, y que pueden ser de diferente índole como: geotécnicos, geológicos, subsidencias hídricas y geomorfológicos. Es por ello que se buscó determinar y caracterizar en este trabajo la geología básica para después determinar los diferentes tipos de peligros y riesgos de índole geológico-ambiental. Las metodologías empleadas fueron la investigación documental, método científico, cartografía y fotointerpretación geológica, geología de campo, geología ambiental y análisis de resultados. La geología está formada de varias unidades que han tenido origen en estructuras volcánicas y otras de origen sedimentario con retrabajo de materiales volcánicos y paleosuelos. Las unidades geológicas definidas en este trabajo son, unidad Brazo del Monte (flujos piroclásticos andesíticos del Plioceno); flujo piroclástico Buenavista (tipo bloques y ceniza andesíticos); la unidad Zacamulpa (derrames lávicos de andesita y dacita); la unidad de flujos piroclásticos Zacamulpa; el grupo de unidades de Cerro de La Verónica que comprende: unidad Cerro de La Verónica, unidad San Nicolás Peralta, lahares Santa María y unidad Álvaro Obregón. De acuerdo con los datos obtenidos en campo, se infieren dos unidades geológicas que se formaron posterior a la actividad del Cerro de La Verónica, estas unidades son el volcán Concepción y derrame Cocuhapa del Pleistoceno. Otras unidades definidas en la zona son la unidad Laguna de San Nicolás y fluviales recientes. Los lineamientos estructurales y grupos de fallas y fracturas que se identificaron son: fracturas y fallas de Cerro de La Verónica, fracturas Zacamulpa, lineamientos Tlalmimilolpan y lineamientos Brazo del Monte. Estos rasgos estructurales siguen direcciones en rumbo predominantes que van hacia el Noroeste (NW) y Suroeste Sureste (SE) y otros lineamientos presentan

orientaciones Noreste (NE), Suroeste (SW) y otros Este-Oeste (E-W). Entre los peligros geológicos identificados son: peligros por fracturamiento y fallamiento, peligros por derrumbes, peligros por inundación, peligros por subsidencia del terreno y susceptibilidad sísmica local. En la porción Oeste del área de estudio que abarca las poblaciones Santa Catarina y San Nicolás existen ríos que presentan peligros por inundación en temporadas de lluvia intensa. En las Ciénegas de Lerma existen evidencias de que crece el nivel del agua afectando infraestructura de la zona. Otro problema a futuro puede ser la subsidencia hídrica de los materiales que componen la zona lacustre, ya que en el área existen varios pozos de agua subterránea. En función de cambios litológicos se definió una franja de zona de transición entre una zona firme y dura, la zona de transición (fluvial-lacustre y abanicos aluviales) y la zona lacustre (la zona blanda).

Abstract.

The Cerro de La Veronica area, located in the Municipality of Lerma, State of Mexico, is a volcanic and sedimentary area on the western edge of the Sierra de Las Cruces. In this region there are important infrastructure works for the city of Toluca and Mexico City, such as the Toluca-Naucalpan highway, the presence of groundwater extraction wells and the presence of pipes from the Cutzamala system. These works are exposed or create possible natural hazards and risks in the area, and which may be of different kinds, such as: geotechnical, geological, water subsidence and geomorphological. That is why we sought to determine and characterize in this work the basic geology to later determine the different types of hazards and risks of a geological-environmental nature. The methodologies used were documentary research, scientific method, geological mapping and photointerpretation, field geology, environmental geology and analysis of results. Geology is made up of several units that have originated in volcanic structures and others of sedimentary origin with rework of volcanic materials and paleosols. The geological units defined in this work are, Brazo del Monte unit (Andesitic pyroclastic flows from the Pliocene); Buenavista pyroclastic flow (andesitic ash and block type); the Zacamulpa unit (lava

flows of andesite and dacite); the Zacamulpa pyroclastic flow unit; the group of Cerro de La Verónica units comprising: Cerro de La Verónica unit, San Nicolas Peralta unit, Santa Maria lahares and Alvaro Obregon unit. According to the data obtained in the field, two geological units are inferred that were formed after the activity of Cerro de La Verónica, these units are the Concepción volcano and the Cocuhapa spill of the Pleistocene. Other units defined in the area are the Laguna de San Nicolás unit and recent fluviales. The structural guidelines and groups of faults and fractures that were identified are: Cerro de La Verónica fractures and faults, Zacamulpa fractures, Tlalmimilolpan guidelines and Brazo del Monte guidelines. These structural features follow predominant heading directions that go to the Northwest (NW) and Southwest Southeast (SE) and other guidelines present orientations Northeast (NE), Southwest (SW) and other East-West (E-W). Among the identified geological hazards are: fracture and faulting hazards, landslide hazards, flood hazards, terrain subsidence hazards, and hazards in transitional earthquake zones. In the western portion of the study area that encompasses the Santa Catarina and San Nicolas populations, there are rivers that present flood hazards in periods of intense rain. In the Cienegas de Lerma there is evidence that the water level is rising, affecting the area's infrastructure. Another problem in the future may be the water subsidence of the materials that make up the lake area, since there are several underground water wells in the area. Based on lithological changes, a transition zone strip was defined between a firm and hard zone, the transition zone (fluvial-lacustrine and fans alluvial) and the lacustrine zone (the soft zone).

1. Introducción.

1.1 Planteamiento y justificación del problema.

El área de Cerro de La Verónica, ubicado en el Municipio de Lerma, Estado de México (Figura 1), es un área volcánica y sedimentaria ubicada en el borde poniente de la Sierra de Las Cruces. En esta región confluyen obras de determinada infraestructura importante para la ciudad de Toluca y Ciudad de México como son la construcción de la nueva carretera Toluca-Naucalpan (Nota periodística de El Universal, 2017), la presencia de pozos de extracción de agua subterránea y la presencia de tuberías del sistema Cutzamala pasan por este lugar (SEMARNAT, 2010). Estas obras originan posibles peligros y riesgos naturales en el área de estudio, y que pueden ser de diferente índole como geotécnicos, geológicos, subsidencias hídricas y geomorfológicos. Es por ello por lo que se busca determinar y caracterizar estos tipos de peligros y riesgos desde el punto de vista geológico ambiental.

El área de Cerro de La Verónica es un espacio geográfico muy poco estudiado desde el punto de vista geológico y de geología ambiental, por ello se desconocen las unidades geológicas básicas y determinados procesos geológicos existentes en el área. Así también, los estudios geológicos que existen en la región de estudio y, por ende, no permiten resolver problemas de geología ambiental a escala de más detalle y que permitan ser una guía para el municipio, las poblaciones del área y protección civil, por ejemplo, pueden presentarse problemas de deslizamientos o de subsidencia hídrica. Estos estudios geológicos son importantes porque son punto de partida para estudios posteriores en geología ambiental en el Valle de Toluca y que adicionalmente permiten comprender la génesis y evolución de la Sierra de Las Cruces, así como otros problemas de índole geológico-ambiental.

El área de Cerro de La Verónica forma parte de la Sierra de las Cruces. Esta Sierra limita a dos grandes cuencas como es la del Valle de Toluca y la del Valle de México, y que a su vez la Sierra de Las Cruces, forma parte de la porción central del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM). En la Sierra de Las Cruces están ocurriendo continuos cambios debido al crecimiento de las ciudades en ambos lados (García-

Romero y Muñoz-Jiménez, 2000), y para el caso del Cerro de La Verónica aumentan los poblamientos en la zona periférica al Valle de Toluca como en Lerma, esto provoca cambios en los usos de suelo, una intensa deforestación y asentamientos humanos que usan agua subterránea, es por ello también que es necesario el conocimiento geológico-ambiental de las áreas adyacentes a las franjas urbanas de la Ciudad de Toluca y la Ciudad de México.

En la actualidad se han presentado casos con algunos incidentes de peligro relacionados con deslizamientos de laderas, caídas de roca de partes altas, entre otros fenómenos, poniendo así en peligro la seguridad física de la población y de las obras de infraestructura, sin que las autoridades del gobierno local o central adopten las medidas pertinentes que ayuden a corregir o mitigar sus efectos (Atlas de Riesgos Lerma, 2016).

La correcta identificación y evaluación de peligros geológico-ambientales será una información de utilidad para habitantes, municipio de Lerma y protección civil. Esta información beneficiará a los habitantes, ya que se podrá tomar acción en la seguridad de los poblados, que conllevará a la construcción de obras de prevención y mitigación en materia de peligros geológicos.

1.2 Hipótesis.

En el área de Cerro de La Verónica se presentan algunos peligros geológicos (deslizamientos, subsidencia hídrica y fracturas) que se encuentran influenciados por las condiciones geológicas y geomorfológicas debido a la presencia de zonas transicionales de rocas volcánicas y zonas de sedimentos fluviolacustres, y que afectan a obras de infraestructura civil (carreteras y construcciones) y al sistema hídrico Cutzamala.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Evaluar los tipos de peligros geológicos que se presentan en el área del Cerro de La Verónica y sus alrededores, mediante cartografía y análisis geológico-ambiental para determinar las zonas en donde se presentan estos peligros.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Elaborar la cartografía geológica y geológico-ambiental del área Cerro de La Verónica, Municipio de Lerma, Estado de México, mediante la aplicación de metodologías geológicas y de geología ambiental para definir unidades geológicas y geológico-ambientales.
- Identificar y describir los peligros geológicos existentes en el área de estudio mediante su evaluación en campo y análisis geológico-ambiental en gabinete.
- Elaborar un mapa de peligros geológicos del área de estudio mediante la integración de los resultados geológicos y geológico-ambientales.

1.4 Área de estudio.

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de las coordenadas que se muestran en la Tabla 1, perteneciente al municipio de Lerma, Estado de México, que, a su vez, fisiográficamente se encuentra dentro de un gran conjunto montañoso denominado Sierra de Las Cruces. De acuerdo a García-Palomo et al. (2008) en el área de estudio se encuentran determinadas unidades geomorfológicas, como pequeñas montañas, piedemontes, barrancos, entre otras.

Tabla 1. Coordenadas del cuadrángulo del área de estudio.

Coordenadas UTM Datum WGS84		Altitud (msnm)	Área de estudio (km ²)
Este (m)	Norte (m)		
446984	2145003.10	2580	49 km ²
454061.2	2144992.05	2951	
446983.9	2138013.96	2571	
454031.4	2138015.22	2814	

Fuente: Google Earth, 2018.

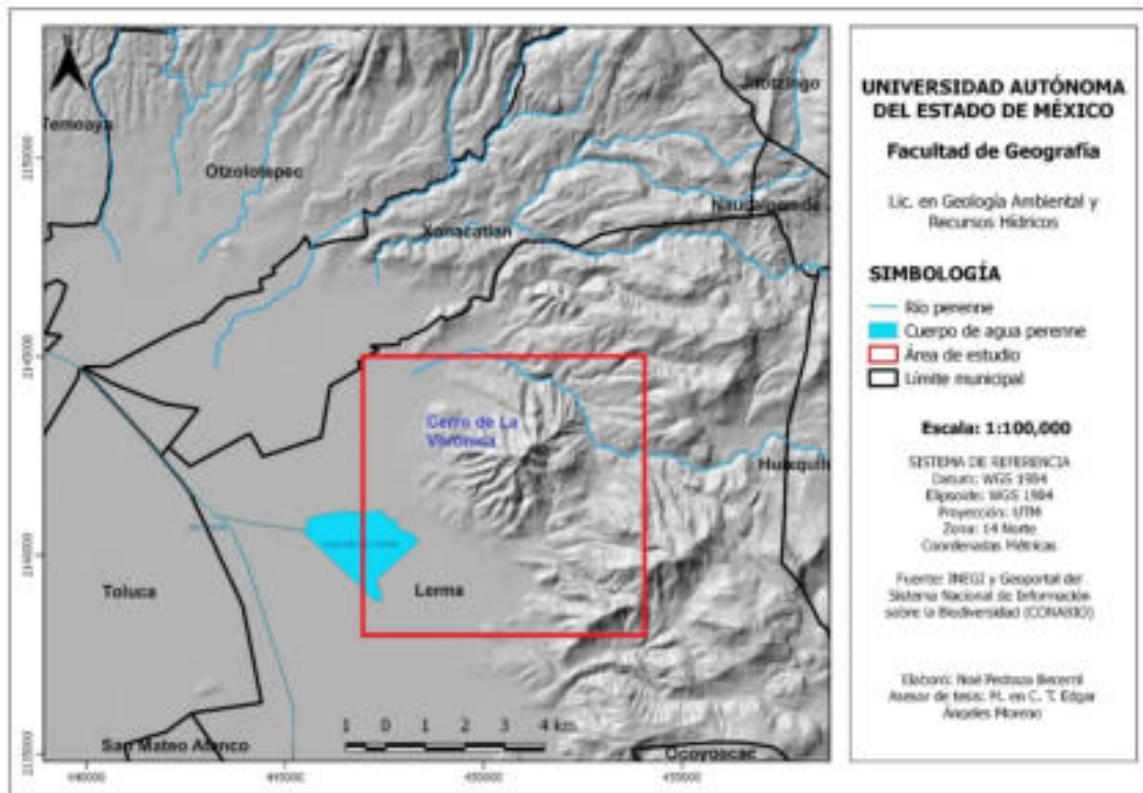


Figura 1.1 Localización de la zona de estudio, al borde poniente de la Sierra de Las Cruces y dentro del Municipio de Lerma.

2. Metodología.

La metodología que se ha empleado para lograr el alcance de los objetivos generales y los objetivos específicos de este trabajo encuentran acompañadas de varias actividades y uso de materiales.

- Investigación documental.
- Método científico.
- Cartografía y fotointerpretación geológica.
- Geología de campo.
- Geología ambiental.

2.1 Investigación documental.

La investigación documental es una investigación que aborda un problema con base en la documentación y que consulta varias fuentes (artículos, bibliográficas, notas periodísticas, iconográficas, etc.) (Martínez-González, 1979). Esta investigación documental se complementa con la investigación científica que está basada en mayor medida en el método científico. La investigación documental comprende varias técnicas como pueden ser las técnicas bibliográficas, esquemas, observación, cuestionarios, etc. (Cázares-Hernández et al., 2013). La investigación documental son técnicas que permiten detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales que parten de otros conocimientos y/o informaciones recogidas moderadamente de cualquier realidad, de manera selectiva, de modo que puedan ser útiles para los propósitos del estudio (Hernández-Sampieri, 2000). Para el caso de este trabajo de tesis se consultaron determinadas fuentes que parten desde libros de geología general, geología estructural, artículos científicos regionales y locales de la zona de estudio, así como mapas topográficos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), un mapa geológico del Servicio Geológico Mexicano (SGM) esto con miras para la preparación de bases de datos cartográfica del área Cerro de la Verónica, Municipio de Lerma, Estado de México.

2.2 Método científico.

El método científico es un instrumento de la investigación científica que combina dos pensamientos, el científico y el cotidiano, siendo el pensamiento científico racional y sistemático; mientras que el cotidiano es empírico y objetivo (López-Cano, 2001).

El método científico tiende a reunir una serie de características que permiten la obtención de nuevo conocimiento científico. Es el único procedimiento o instrumento que no pretende obtener resultados definitivos y que se extiende a todos los campos del saber (Asensi-Artiga, 2002), como en este trabajo de geología ambiental.

2.2.1 Pasos del método científico.

El método científico en su ejecución se desarrolla mediante pasos sistemáticos a seguir, en este caso, relacionados con las ciencias geológicas, los cuales han sido mencionados por Castaño-Fernández (1992) y se presentan a continuación:

- **Recogida de datos:** En esta fase inicial se intenta reunir la mayor cantidad posible de observaciones relacionadas con el tema: por una parte datos conocidos y por otra, mediante nuevas observaciones.
- **Ordenamiento o clasificación de los datos:** En algunos casos, llega el momento en el que la cantidad de datos recogidos son abundantes, por tal motivo, estas observaciones se agrupan y se clasifican por sus similitudes y relaciones, considerando tres principales factores;
 - **Tiempo:** Edad de los materiales y/o estructuras geológicas para determinar parámetros físicos.
 - **Espacio:** Ya que la geometría tridimensional es caracterizable dentro de cualquier elemento geológico y es alterable.
 - **Escala:** Determina propiedades de continuidad y discontinuidad de un elemento o fenómeno estudiado, pueden ser escalas de distintos tamaños (globales, o microscópicas).

- **Generación de Hipótesis:** En esta fase, se intentan extraer las generalizaciones de los hechos clasificados anteriormente, las cuales toman la forma de hipótesis en la cual, se da una explicación total o parcial de los hechos observados.
- **Comprobación:** Cada una de las hipótesis obtenidas anteriormente son sometidas a un proceso mental que deduce sus consecuencias razonables lo más complemente posible; a través de la observación de los hechos y la verificación de estos, con ello el investigador determina la posible validez de la hipótesis.
- **Revisión:** Mediante el conocimiento de nuevos datos y principios mas contruidos, se establece una revisión de dichas hipótesis, confirmando su verdad o falsedad. De esta revisión deberá surgir una hipótesis más reforzada que ofresca una explicación satisfactoria al problema origen de la investigación.

2.3 Cartografía y fotointerpretación geológica.

La cartografía geológica está basada en parte en la fotointerpretación en unas primeras etapas del trabajo geológico. La fotointerpretación geológica consiste en una interpretación fotográfica que se efectúa a partir de fotografías aéreas o imágenes de satélite con fines geológicos (Guerra-Peña, 2003). También de acuerdo con Guerra-Peña (2003) la técnica fotogeológica constituye es una rama particular de la interpretación de las fotografías aéreas que se basa en el punto de vista geológico, pero que también puede verse con otros puntos de vista como por ejemplo el ingenieril, el forestal, etc.

La fotogeología es considerada como una rama de la fotointerpretación, esta se encarga de estudiar los sucesos geológicos a través de las fotografías aéreas, su objetivo es el estudio de la superficie terrestre, de los diversos materiales que la integran y de las huellas dejadas sobre ellos por la serie de procesos a los que han estado sometidos a lo largo de los tiempos geológicos (Gutiérrez, 2005).

En este trabajo de tesis se realizó la fotointerpretación geológica a través del análisis fotogeológico empleando, un mapa base como la carta topográfica de Toluca de

Lerdo con clave E14-A38, obtenido de la plataforma digital de INEGI. Este mapa se empleará a escala 1:12500, así mismo se fotointerpretarán las imágenes satelitales de Google Earth Pro.

La fotointerpretación, empleando las curvas de nivel de la carta topográfica consideró determinados rasgos naturales como, lineamientos estructurales, la delimitación de posibles contactos litológicos de acuerdo con la separación y la pronunciación de las curvas de nivel. En las imágenes satelitales de Google Earth también se interpretaron distintas geoformas y lineamientos estructurales como escarpes de falla, zonas de falla, valles, crestas, zonas de fractura, entre otros.

Como producto de esta etapa, se obtuvo un mapa geológico preliminar de la zona de estudio, con la información interpretada mediante los insumos antes mencionados, el cual fue de gran utilidad para desarrollar las siguientes etapas de la metodología como es la geología de campo y a su vez, modificar el mapa geológico con base en las observaciones que se realicen en campo.

2.4 Geología de campo.

La geología de campo tiene como objetivo principal la observación y recopilación de datos de rocas y/o depósitos no consolidados, lo que nos ayudará a comprender mejor los procesos físicos, químicos y biológicos que se han producido a lo largo del tiempo geológico (Coe, 2010).

La geología de campo aplica los fundamentos geológicos básicos como son el reconocimiento de relaciones entre cuerpos de roca, las características texturales y tipos de rocas. Esta información permite clasificar tipos de roca en una región dada para luego definir unidades geológicas.

De acuerdo con Compton (1985) el estudio de campo consiste en varias etapas como son el seleccionar el área de estudio, el reconocimiento, la preparación para el campo, el trabajo en sí en el campo y el completar este trabajo de campo.

También de acuerdo con Compton (1985) el estudio geológico de campo consiste en varias metodologías y técnicas como son:

- Procedimientos básicos en el afloramiento (observación del afloramiento, toma de notas en libreta de campo, esquemas de afloramiento, fotografías, toma de muestras).
- Identificación de rocas en el campo.
- Cartografía de unidades de roca y sus estructuras.
- El plasmado de las observaciones sobre el mapa base que tiene la información de fotointerpretación geológica.
- Relaciones de los diferentes tipos de rocas.
- Columnas estratigráficas.

2.5 Geología ambiental.

La geología ambiental es la ciencia aplicada que estudia la relación entre la sociedad y el ambiente geológico en el cual la sociedad desarrolla sus actividades económicas (Keller, 2008); es vista también como una relación entre geología y medio ambiente. Tres áreas de estudio abarca en general que son los riesgos geológicos (inundaciones, deslizamientos, vulcanismo y terremotos), los recursos geológicos (metales, no metales, recursos pétreos, combustibles fósiles y agua), y aspectos ambientales como los rellenos sanitarios y contaminación de suelos y agua.

La metodología general que se emplea para estudios de Geología Ambiental en lo concerniente a evaluación de peligros geológicos incluye el análisis histórico, como la consulta de archivos y deducción geológica; una vez identificadas las amenazas, se requiere su predicción y su prevención (Valenzuela-Ortíz, 2003).

Para los determinados procesos geológicos-ambientales que se presentan en la zona, se describen a continuación las metodologías y técnicas:

2.5.1 Geotécnia.

Basado en los fundamentos geológicos González de Vallejo (2004) identifica y evalúa el comportamiento mecánico de los suelos a través de la siguiente metodología:

- Revisión de información y cartografías existentes (documentación)

- Observaciones en campo.
 - o Determinación de la estratigrafía del terreno.
 - o Toma de muestras inalteradas.
- Ensayos de laboratorio.
 - o Identificación, clasificación y determinación de las características mecánicas de las muestras de suelos.
- Cartografía y estratigrafía.

2.5.2 Movimientos de ladera.

González de Vallejo (2004), establece una metodología para la identificación y tipo de movimientos de ladera, al igual que para el conocimiento de los factores condicionantes, esta metodología y sus técnicas consisten en:

- Revisión de información y cartografías existentes.
- Interpretación de fotos aéreas.
- Observaciones de campo en el área de estudio.
 - o Reconocimiento de relieve, geoformas y topografía.
 - o Estructura del material rocoso.
 - o Cursos hidrológicos.
 - o Tipos de suelo y usos de suelo.
 - o Modificaciones por procesos naturales y antrópicos.
 - o Encuestas en zonas de antiguos movimientos.
- Cartografía de los procesos (movimientos de ladera).

2.5.3 Subsistencia hídrica.

De acuerdo con González de Vallejo (2004), la identificación e inclusive la evaluación a la posibilidad de un movimiento por subsidencia, consiste en la siguiente metodología:

- Identificar litologías susceptibles a sufrir hundimientos (por lo general corresponden a materiales finos y blandos, deformables, con baja resistencia como son las zonas de llanuras de inundación, rellenos de lagos, fangos, turberas, etc.) a partir de cartografía geológica a detalle.

- Observación en campo de la morfología del terreno ya que suelen ser indicadores del proceso.
- Evaluar la extracción de agua subterránea para conocer el cambio del nivel freático.
- Cartografía de la subsidencia hídrica.

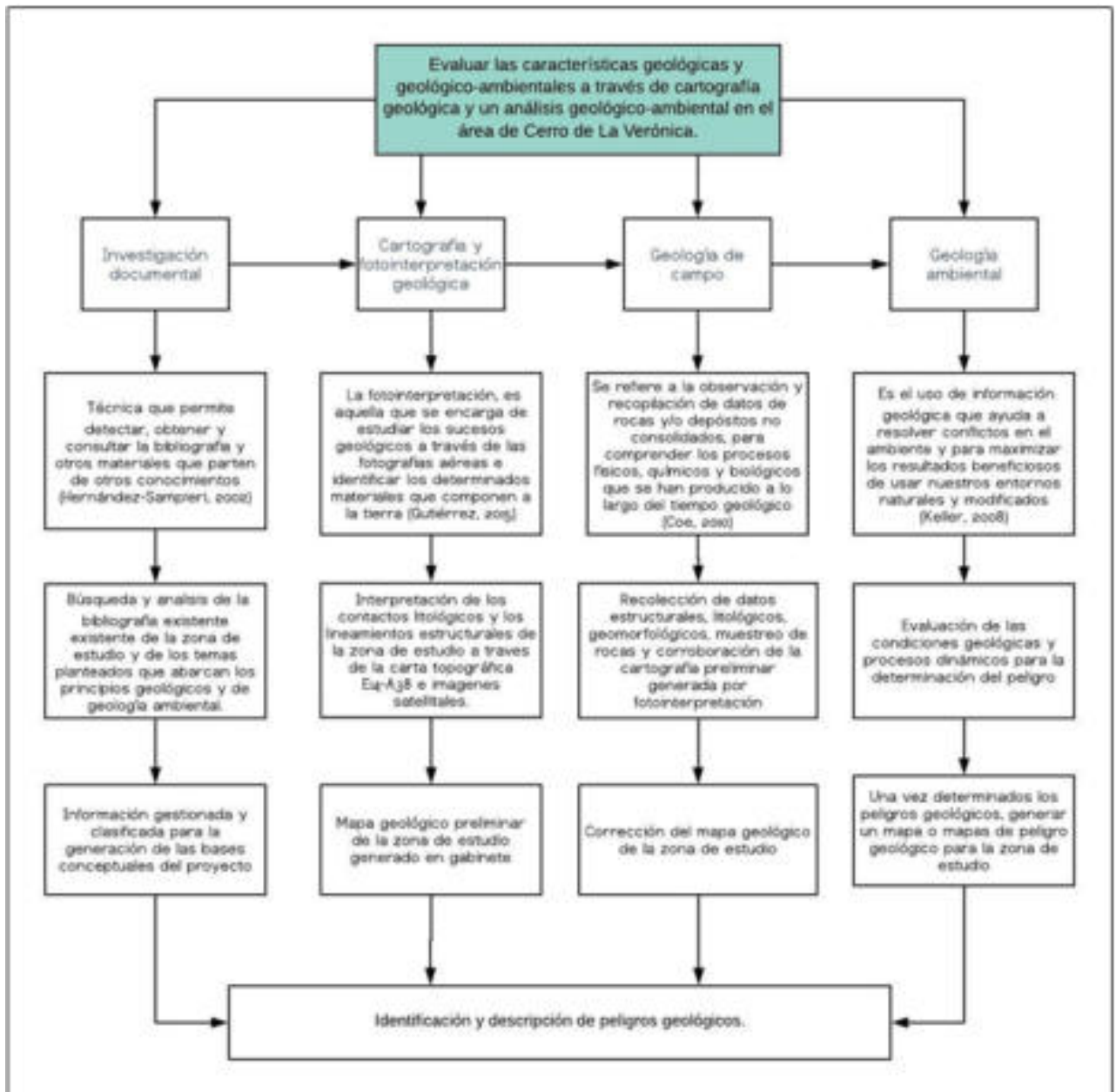


Figura 2.1 Esquema metodológico de este trabajo

3. Marco Teórico.

Para tener una mejor comprensión referente a la identificación, evaluación y análisis de los procesos geológicos y geológicos-ambientales que se abordaron dentro de este trabajo fue indispensable establecer la afirmación de algunos conceptos y temas referentes a los objetivos de este trabajo.

3.1 Geología Ambiental.

La geología ambiental específicamente es el uso de información geológica para ayudarnos a resolver conflictos en el uso de la tierra, y la degradación ambiental; así como apoya para maximizar los resultados beneficiosos de usar nuestros entornos naturales y modificados (Keller, 2008).

La aplicación de la geología a estos problemas incluye el estudio de lo siguiente (Figura 2) (Keller, 2008):

- 1) Materiales de la Tierra, como minerales, rocas y suelos, para determinar cómo se forman, su uso potencial como recursos o sitios de eliminación de desechos y sus efectos en la salud humana.
- 2) Peligros naturales, como inundaciones, deslizamientos de tierra, terremotos y actividad volcánica, para minimizar la pérdida de vidas y bienes.
- 3) Terreno para la selección del sitio, planificación del uso del suelo y análisis de impacto ambiental.
- 4) Procesos hidrológicos de aguas subterráneas y superficiales para evaluar los recursos hídricos y los problemas de contaminación del agua.
- 5) Procesos geológicos, como la deposición de sedimentos en el fondo del océano, la formación de montañas y el movimiento de agua en y debajo de la superficie de la Tierra, para evaluar el cambio local, regional y global.

A partir de estos principios en cuanto a la amplia aplicación de la geología dentro de la geología ambiental, Keller (2008) indica un concepto más concreto e introduce a la geología ambiental como una rama de la ciencia de la Tierra que estudia todo el espectro de las interacciones humanas con el entorno físico. En este contexto, la

geología ambiental es una rama de la ciencia ambiental, la ciencia de los vínculos entre los procesos físicos, biológicos y sociales en el estudio del medio ambiente.

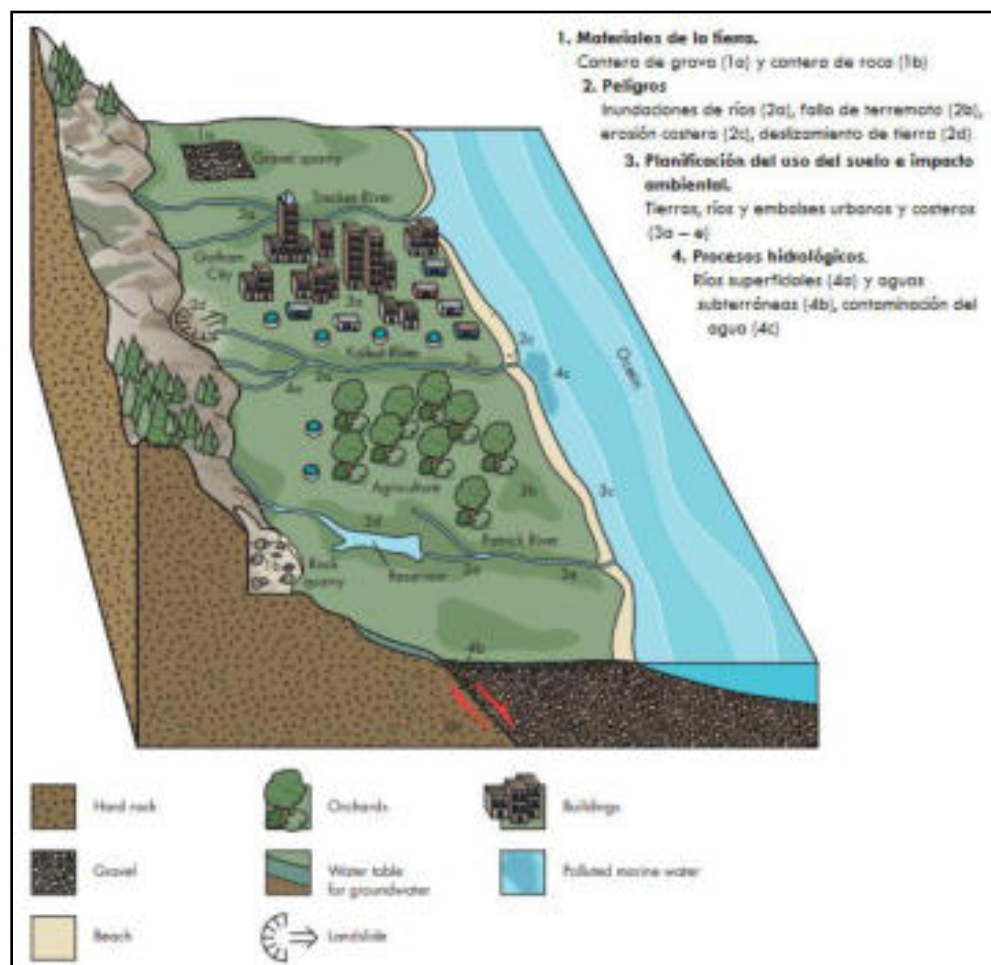


Figura 3.1 Componentes de la geología ambiental. Diagrama idealizado que ilustra cuatro áreas principales de estudio para la geología ambiental (Keller, 2008).

3.1.1 Peligro/Amenaza.

El peligro, es la probabilidad de ocurrencia de fenómenos potencialmente dañinos de cierta intensidad de acuerdo con las características naturales y a la ubicación del lugar. Dependiendo también de las condiciones químicas o físicas que tiene el potencial para causar daño a la gente, la propiedad o el medio ambiente (CENAPRED, 2006).

Los peligros geológicos son de índole natural, es decir, aquellos que no se producen en origen por la mano del hombre, aunque los pueda potenciar, de acuerdo con

Senticala-Sosa (2016) pueden originarse de dos tipos; los de tipo endógeno que tienen lugar en el interior de la Tierra y originan fenómenos naturales como los sismos, los tsunamis y los volcanes; y los de tipo exógeno que se presentan en la superficie terrestre como intemperismo, erosión y acumulación debido a las acciones de la gravedad, del agua, del aire, el sol y otros factores que, en conjunto, dan composición, forma y estructura a la superficie terrestre. Los peligros geológicos comprenden los temas de: fallas y fracturas, erosión, sismos, volcanes, tsunamis, hundimientos, deslizamientos, derrumbes y flujos de lodo.

3.1.2 Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad, es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada de cualquier índole, ya sea natural o antrópico (González de Vallejo, 2004).

Esta va a depender de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno que se presente.

3.1.3 Riesgo.

La *United Nations Disaster Relief Organization* (UNDRO) (1979) reconoce al riesgo como el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un fenómeno en particular y como una función del peligro y la vulnerabilidad.

Riesgo es la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una amenaza, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores que como tal son agentes destructivos de carácter geológico, hidrometeorológico, químico-tecnológico, sanitario, ecológico y socio-organizativo (CENAPRED, 2006).

En forma cuantitativa se ha adoptado una de las definiciones más aceptadas del riesgo, entendido como la función de tres factores: la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino, es decir el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos. Esta definición se expresa en la ecuación de la figura 3 (ecuación del riesgo).

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición}$$
$$R = P \times V \times E$$

Figura 3.2 Fórmula para calcular el riesgo (CENAPRED, 2006)

3.1.4 Riesgo geológico.

El riesgo geológico es el proceso, situación u ocurrencia en el medio geológico, natural, inducida o mixta, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya previsión, prevención o corrección se emplearan criterios geológicos (Ayala-Carcedo, 1987)

3.1.5 Fracturas y fallas.

3.1.5.1 Fracturas.

Una fractura es cualquier discontinuidad planar o subplanar que es muy estrecha en una dimensión en comparación con las otras dos y se forma como resultado de una tensión externa (por ejemplo, tectónica) o interna (térmica o residual). Las fracturas son discontinuidades en el desplazamiento y propiedades mecánicas donde se rompen rocas o minerales, y la reducción o pérdida de cohesión caracteriza a la mayoría de las fracturas. A menudo se describen como superficies, pero en alguna escala siempre hay un espesor involucrado. De acuerdo con Fossen (2010) las fracturas se pueden separar en fracturas cortantes (superficies de deslizamiento) y fracturas de apertura o extensión (diaclasas, fisuras y venas), como se ilustra en la figura 4.

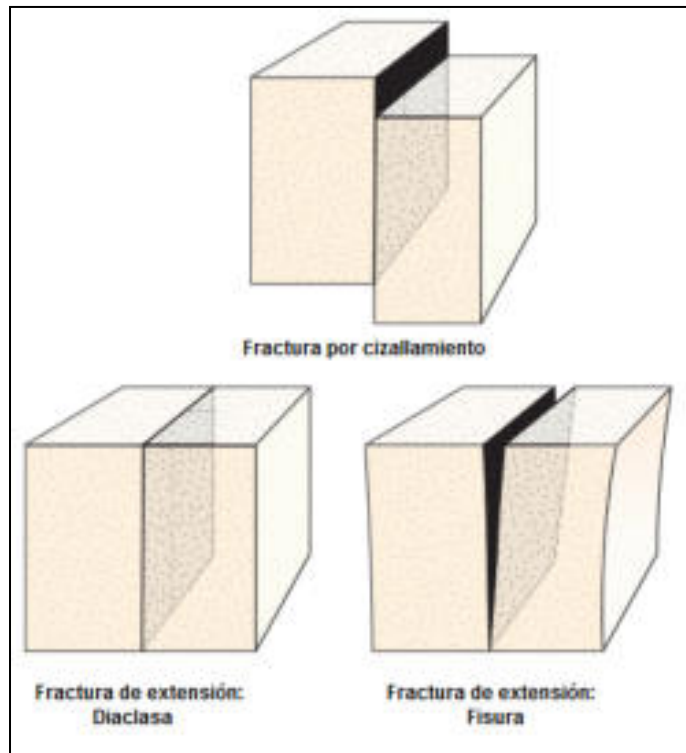


Figura 3.3 Principales tipos de fracturas (Fossen, 2010).

3.1.5.2 Fallas.

Una falla es una superficie de fractura con respecto a la cual las rocas han sido desplazadas unas en relación con otras (Fossen, 2010).

Es una estructura en la cual se ha realizado una fractura o ruptura y un desplazamiento relativo entre los dos bloques separados por la fractura. Sus dimensiones son muy diversas, desde desplazamientos de escasos centímetros, a muchos cientos de metros, y desde una longitud muy pequeña a fracturas de muchos cientos de kilómetros (Mantilla, 2005). El rumbo y el echado de una falla son medidas en las mismas formas que en la estratificación. El rumbo de una falla es la intersección del plano de falla con un plano horizontal, mientras que el echado de una falla es el ángulo entre la superficie horizontal y el plano de falla (perpendicular al rumbo). Ahora bien, para determinar el desplazamiento de una falla, es indispensable conocer el bloque sobre la falla que se llama bloque de techo, y el que se encuentra debajo de la falla, no importa la posición de esta, se llama bloque de piso (López-Ramos, 1993).

- **Tipos de fallas.**

De acuerdo con la dirección de las fallas y de su relación con la superficie, se pueden clasificar en:

Falla normal: Este tipo de falla, es la más común en la naturaleza, llamada también falla gravitacional o de tensión, es una falla en la cual el bloque de techo parece haberse desplazado hacia abajo en relación con el bloque de piso, la cual se produce por efecto de la gravedad o por efecto de esfuerzos tensionales.

Falla Inversa: Es aquella en la cual el bloque y techo se ha levantado con respecto al bloque de piso (Mantilla, 2005). Técnicamente es el resultado de la compresión.

Falla lateral: También llamada de rumbo, Mantilla (2005), indica que es aquella en la que el movimiento relativo se efectúa paralelamente al rumbo del plano de falla. Esta se divide en 2, dextral, cuando el bloque de la derecha se desplaza en dirección del observador, o simplemente en movimiento del sentido horario y sinestral, cuando el bloque de la izquierda se desplaza en dirección del observador, o el movimiento de los bloques es en sentido antihorario.

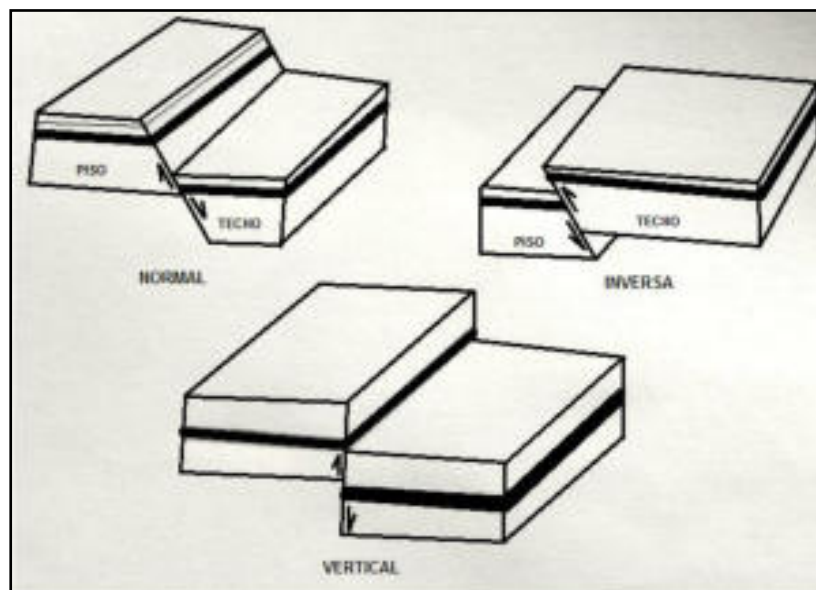


Figura 3.4 Bloque diagrama que representa la falla normal, inversa y vertical (Mantilla, 2005).

3.1.6 Subsistencia.

La subsidencia, es un término que tiene una extensa variedad de definiciones, mientras que, de manera general se puede definir como: subsidencia corresponde al hundimiento del terreno debido a cambios que ocurren en profundidad, principalmente a la extracción de fluidos de fuentes subterráneas (agua, gas, petróleo), disolución de rocas como calizas y dolomitas debido al flujo de acuíferos (karstificación), colapso de minas subterráneas, drenaje de suelos orgánicos, y debido al humedecimiento de suelos secos (Blanco-Sánchez, 2010).

Particularmente para fines de este trabajo, una definición más precisa de subsidencia será:

La subsidencia es un tipo de colapso del terreno caracterizado por una deformación casi vertical o el asentamiento de los materiales de la tierra (Figura 6) Este tipo de colapso del terreno puede ocurrir en pendientes o en terreno llano. Con frecuencia produce hoyos circulares en la superficie, pero puede producir un patrón lineal o irregular. La subsidencia está asociada normalmente a la disolución de rocas solubles, como caliza, por debajo de la superficie (Keller et al., 2004)

Gonzales de Vallejo (2004) indica que este es un proceso generalmente lento, pero con frecuencia se acelera por acciones antropicas, así mismo pueden afectar a todo tipo de terrenos, generalmente a suelos, y son debidos a cambios tensionales inducidos en el terreno, por las siguientes causas: Descenso del nivel freático, minería subterránea o túneles, extracción o expulsión de petróleo o gas, explotación intensiva de acuíferos, procesos lentos de disolución y lavado de materiales, procesos morfotectónicos y de sedimentación y procesos de consolidación de suelos blandos y orgánicos.

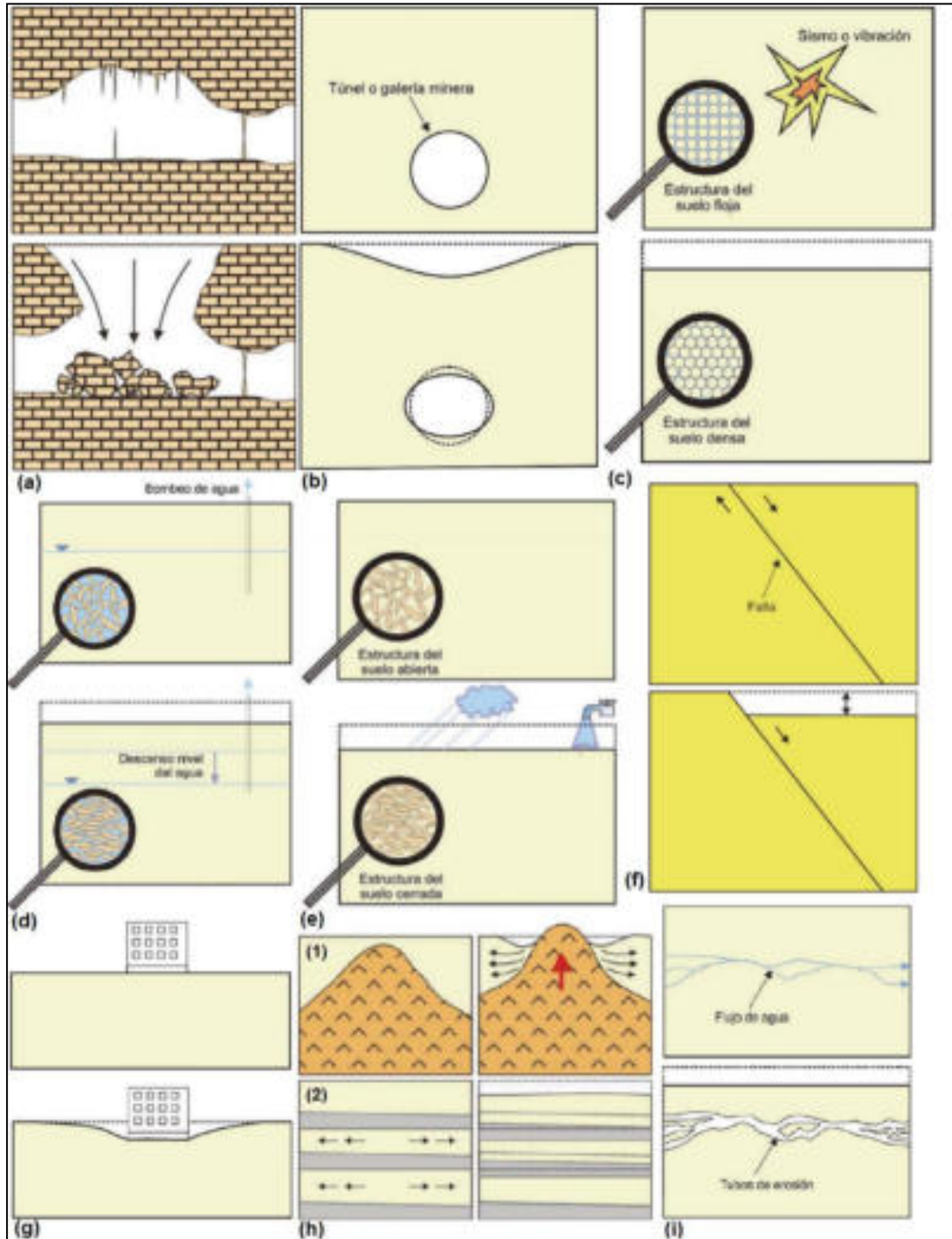


Figura 3.5 Tipos de subsidencia que se presentan en función de los mecanismos que la desencadenan. (a) Subsistencia por disolución de rocas carbonatadas; (b) Subsistencia minera; (c) Subsistencia por vibraciones; (d) Subsistencia por extracción de agua; (e) Subsistencia por hidrocompactación; (f) Subsistencia por fallamiento; (g) Subsistencia por carga; (h) Subsistencia por flujo lateral (1) en materiales salinos y (2) en arcillas plásticas intercaladas entre materiales más competentes; (i) Subsistencia por erosión (Tomás et al., 2009).

3.1.7 Movimientos de ladera.

Un movimiento de ladera es un rápido deslizamiento hacia debajo de rocas o suelo en forma de una masa más o menos coherente, estos están determinados por la interrelación de las siguientes variables; tipo de material geológico, topografía, clima, vegetación, agua y tiempo (Keller, 2004). Con frecuencia los movimientos de ladera son englobados bajo el término general de deslizamientos (González de Vallejo, 2004).

3.1.7.1 Tipos de movimientos de ladera.

De acuerdo con la clasificación de Keller (2004) indica que esta depende al tipo de movimiento, deformación del material geológico y que muchos movimientos de ladera son combinaciones complejas a partir de los que se mencionan a continuación;

- **Caída:** Se refiere a la caída libre de material de la tierra.
- **Desprendimiento:** Es el movimiento pendiente abajo de un bloque coherente de material de la tierra.
- **Deslizamiento:** Es el desprendimiento a lo largo de un plano de deslizamiento curvo que produce bloques de deslizamiento.
- **Flujo:** Es el movimiento ladero abajo de material sin consolidar en el cual las partículas se trasladan y mezclan en masa.

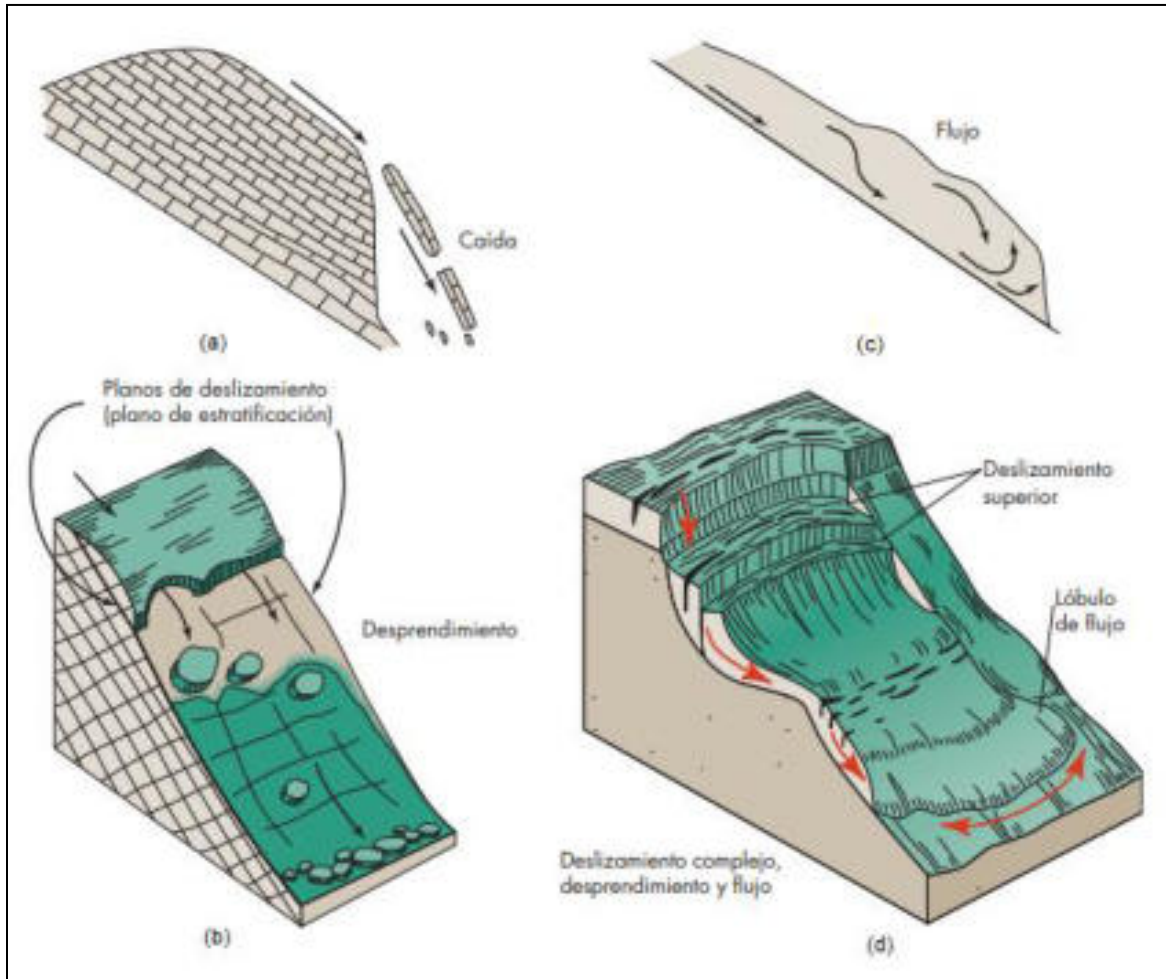


Figura 3.6 Tipos de deslizamientos de ladera. (a) Caída de roca. (b) Desprendimiento de roca en los cuales, la roca se desprende a través de un plano de estratificación. (c) Flujo de detritos en el cual lodo, arena, roca y otros materiales están mezclados con agua. (d) Deslizamiento complejo que consiste en deslizamiento superior y flujo inferior (Keller, 2004).

3.2 Marco Geológico.

3.3.1 Sierra de Las Cruces

La Sierra de las Cruces, tiene una orientación Noroeste-Sureste (NW-SE) en la parte norte, cambiando a una orientación N-S en la parte sur, y forma una barrera topográfica entre la Cuenca de México con una altitud de 2,240 m. y la Cuenca de Toluca con 2,400 m (Garcés, 2014). Esta cadena montañosa tiene una longitud de 110 km y un ancho de 47 km a 27 km en la parte norte y sur respectivamente, está caracterizada principalmente por la emisión de derrames de lava, extrusión de domos, emplazamiento de flujos piroclásticos, flujos de detritos y lodo, así como depósitos de avalanchas de escombros (García-Palomo et al., 2008), debido a su actividad volcánica, que de acuerdo con Osete et al. (2000) abarca desde el Plioceno tardío hasta el Pleistoceno temprano.

García-Palomo (2008), a través de la interpretación de las características geológico-volcánicas, estructurales y morfodinámicas, indica la existencia de 3 grandes bloques importantes (norte, centro y sur). El área Cerro de La Verónica, se encuentra ubicada dentro del bloque centro, caracterizado por la existencia de rocas piroclásticas y lahares, así como la presencia de un drenaje dendrítico asimétrico con anomalías estructurales, que se encuentran controlados por fallas o fracturas debido a que tienen longitudes que van de los 5 a 20 km (García-Palomo, 2008).

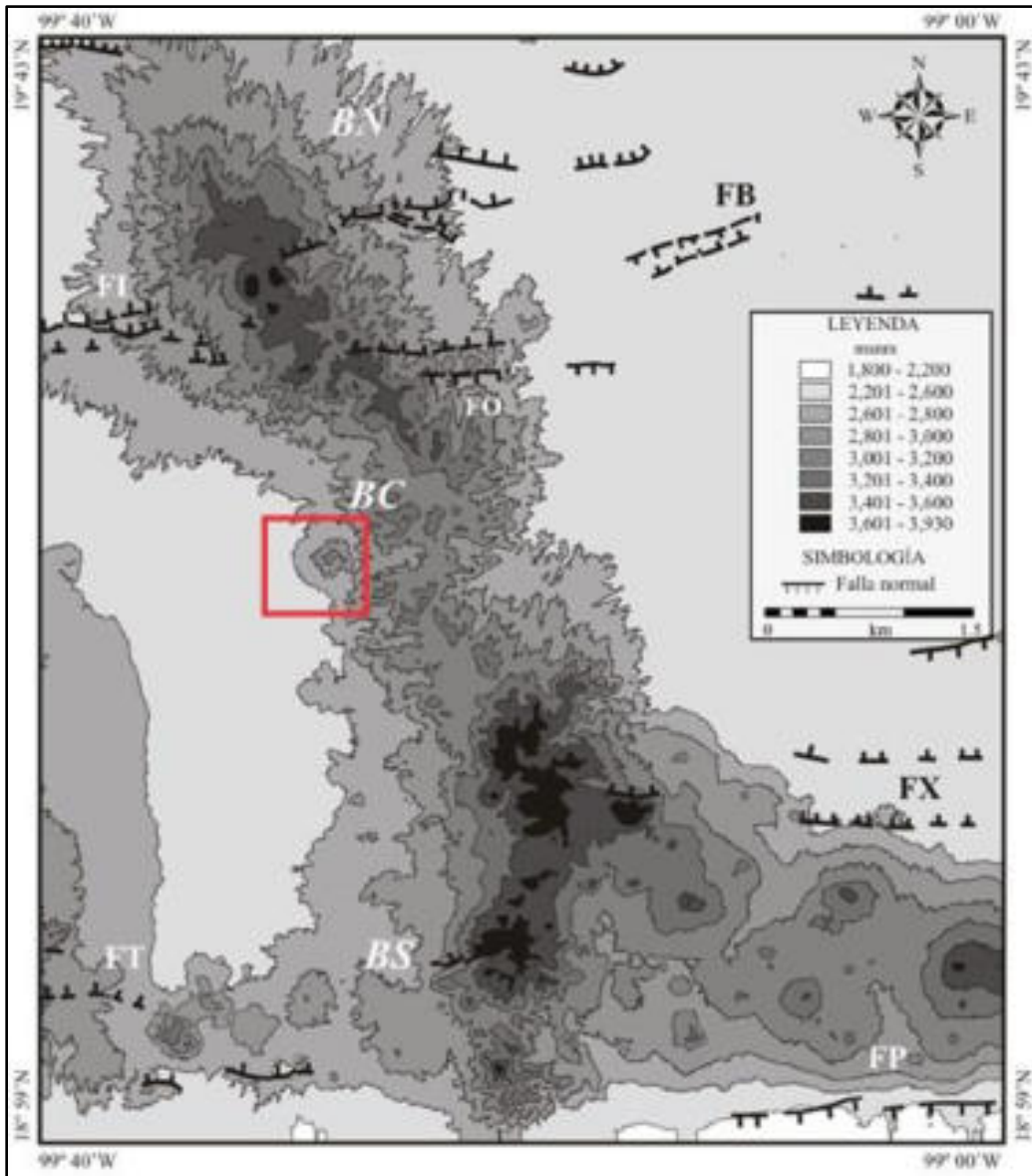


Figura 3.7 Mapa altimétrico. Se observan los diferentes niveles altimétricos que permiten la separación en bloques, sus límites estructurales y la variación del rumbo de la sierra (en el recuadro se muestran los diferentes pisos altitudinales). BN: bloque norte; BC: bloque centro; BS: bloque sur. En el recuadro rojo, se encuentra la ubicación del área Cerro de La Verónica (Modificado de García-Palomo et al., 2008).

3.3.2 Antecedentes del área Cerro de La Verónica.

En el área Cerro de La Verónica existen escasas investigaciones de acuerdo con aspectos geológicos y más bien son de índole geográfica, posiblemente los estudios geológicos existan de manera privada en empresas del sector carretero o de aguas, así como en CONAGUA. Esto por el acceso restringiendo, sin embargo, estos pocos antecedentes son importantes como información de partida para la determinación de peligros geológicos dentro del área. Algunos de estos trabajos se mencionan a continuación:

- Pineda-Tovar, 2014, realizó un trabajo de procesos gravitacionales en el Municipio de Lerma, Estado de México, donde da a conocer las determinadas zonas con sus diferentes grados de vulnerabilidad ante la ocurrencia de este fenómeno de tipo geológico, así como la clasificación de los procesos que se presentan dentro del municipio, en el cual, se encuentra la zona estudiada.

4. Resultados.

4.1 Geología del área Cerro de La Verónica.

La geología del área de estudio está formada de varias unidades geológicas que han tenido origen en estructuras volcánicas y otras son de origen sedimentario por retrabajo de materiales volcánicos, así como la presencia de paleosuelos (Figura 4.1). En este apartado se muestran los resultados estratigráficos en donde las unidades geológicas definidas en este trabajo son descritas desde la más antigua a la más reciente en función de su edad relativa que se basan en geología de campo.

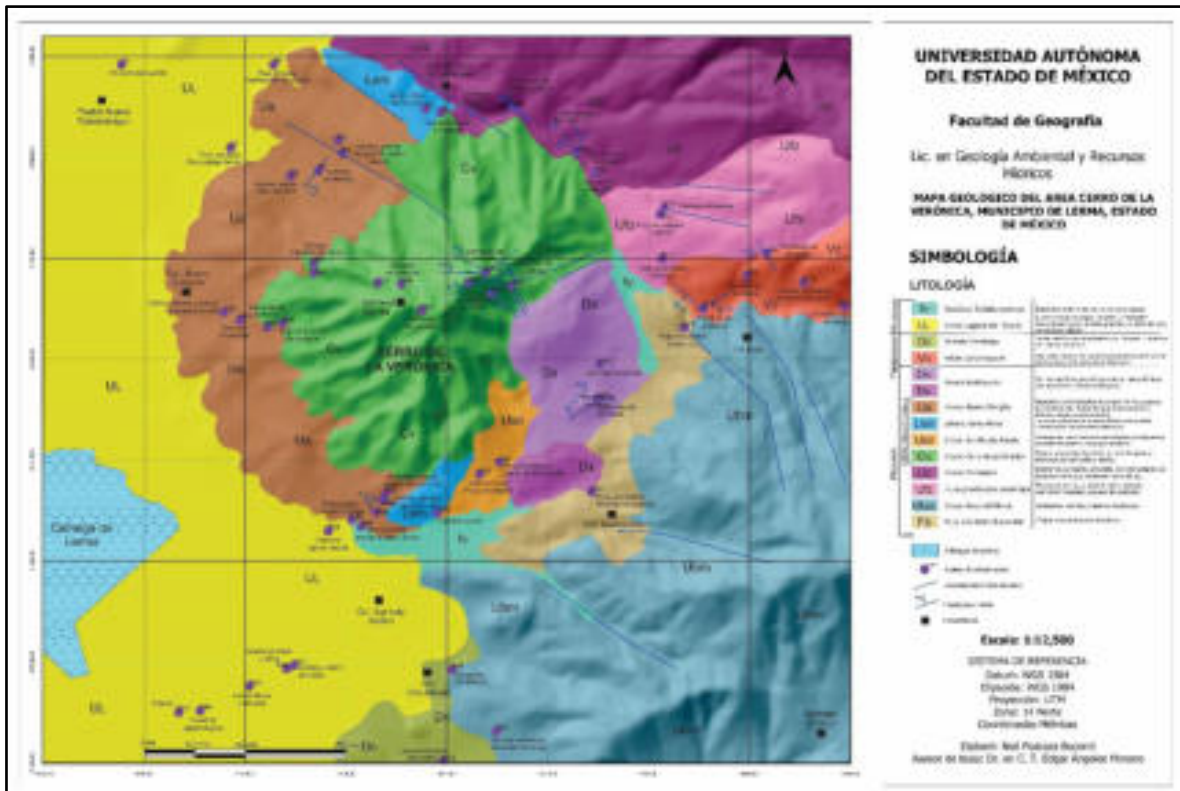


Figura 4.1 Mapa geológico del área Cerro de La Verónica con edad es aproximadas de las unidades estratigráficas

4.1.1 Estratigrafía.

Según estudios de la estratigrafía volcánica, evolución y distribución de los materiales de la Sierra de las Cruces (Mora-Álvarez, et al., 1991) el área de estudio tiene origen hace $3.7 \pm$ Ma debido a que en esa fecha se presenta la actividad volcánica mas reciente de la Sierra de las Cruces que parte desde el Plioceno tardío. La geología en la zona de estudio esta conformada por derrames de lava, flujos piroclásticos, extrusión de domos y depositos de ceniza, los cuales se diferenciaron en unidades estratigraficas que van de la mas antigua a la mas joven, las cuales se describen a continuacion.

Unidades estratigráficas

Unidad Brazo del Monte (Ubm):

La unidad Brazo del Monte se localiza entre las poblaciones San Francisco Xochicuautila y Santiago Analco, parte Sureste del Cerro La Verónica. La unidad toma el nombre del Cerro Brazo del Monte debido a que corresponde principalmente a determinados depósitos volcánicos como son depósitos de caída como son flujos piroclásticos y cenizas, cuya (Figura 4.2) cenizas se desarrollaron a arcillas expandibles color marron, derrames de lava y derrames de lava en bloques de roca tipo andesíta-dacita de color rosado pardo. Derivados de estructuras volcánicas de tipo domos.

La edad que se asigna es del Plioceno con base en su posición relativa y con respecto a las otras unidades. Es la unidad más antigua descrita en este trabajo.

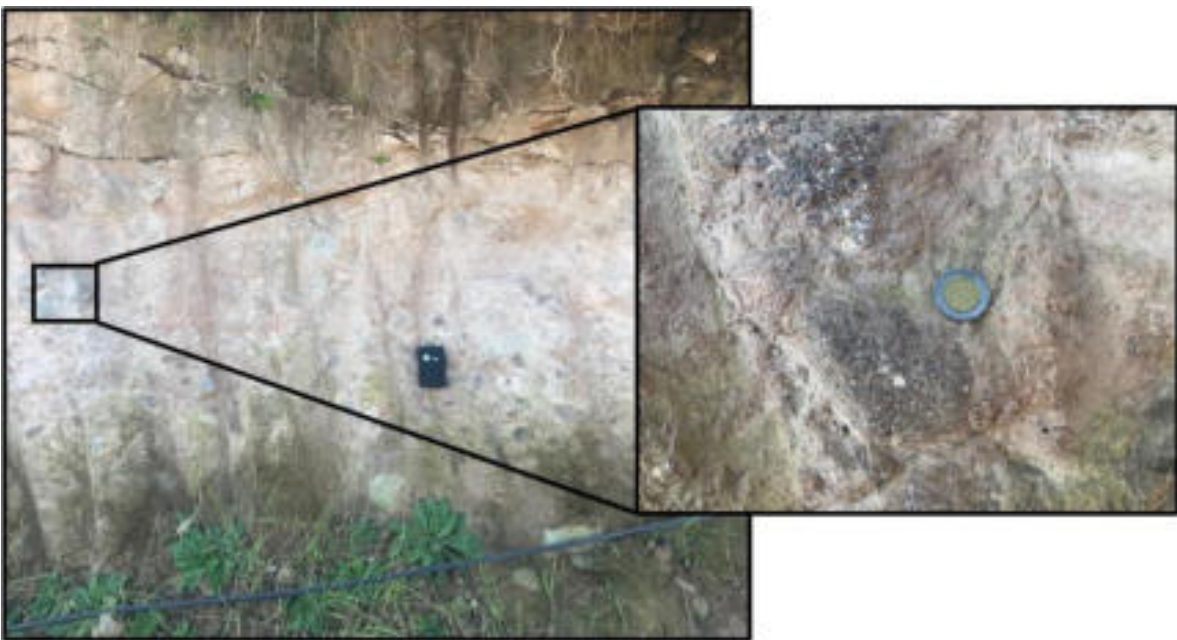


Figura 4.2 Derrame de andesíta color rosado pardo con minerales de plagioclasa, muy poca biotita y piroxenos.

Flujo piroclástico Buenavista (Fb).

Los afloramientos de los flujos piroclásticos Buenavista se encuentran ubicados en la comunidad de Buenavista, San Francisco Xochicuautla, Municipio de Lerma en la porción NE del área de estudio.

Esta unidad de flujo piroclástico comprende depósitos de tipo bloques y ceniza de composición andesítica. En el afloramiento presentan un color café claro. Las rocas que están como bloques tienen tamaños variados, y el flujo presenta una estructura masiva (Figura 4.3). La unidad se ubica en una depresión entre el Cerro de La Verónica y el Cerro Brazo del Monte y no se observó subyacente a otras unidades pero se infiere que puede ser un flujo piroclástico cercano en edad relativa a la estructura volcánica de Cerro del Brazo del Monte que de acuerdo a publicaciones de la Sierra de las Cruces puede ser del Plioceno.

De la misma manera en ciertos puntos de la misma unidad se encuentran determinados afloramientos de flujos de bloques de andesita de diferentes tamaños con textura masiva de gris claro y los cuales están debajo de una capa de suelos y cenizas intercaladas color café pardo claro en el afloramiento (Figura 4.4).

Este flujo piroclástico es posiblemente producto de la actividad de alguna estructura volcánica cerca o dentro del área de estudio, ya sea del Cerro La Verónica que se encuentra hacia el NW o del Cerro Brazo del Monte que se encuentra hacia el SE del depósito de caída.



Figura 4.3 Afloramiento de flujos piroclásticos de composición andesítica con determinados bloques de andesita color rosado pardo y café claro.

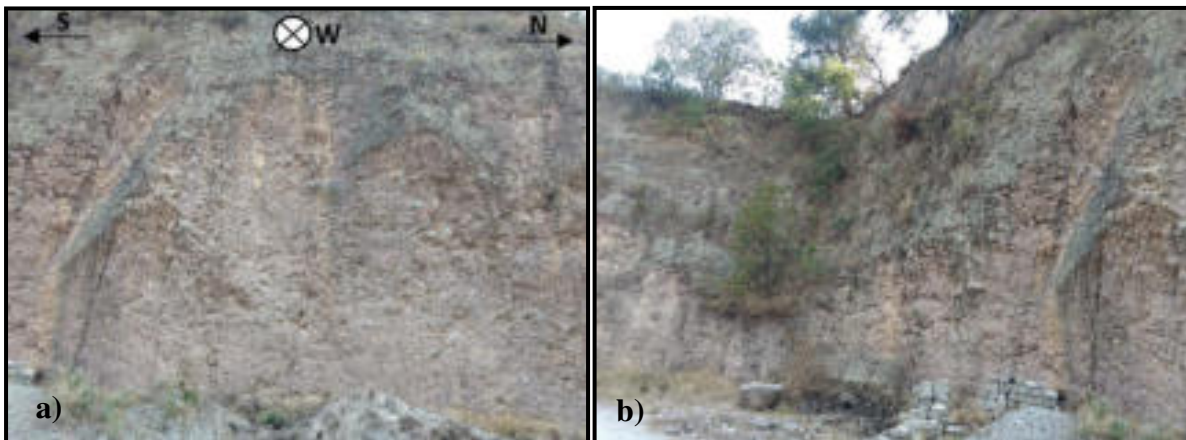


Figura 4.4 Afloramiento de flujo de bloques de determinados tamaños de andesita masiva, color café pardo claro, b) en la parte superior se tiene una ligera capa de suelo que sostiene vegetación.

Unidad Zacamulpa (Uz).

La Unidad Zacamulpa se ubica en la porción Norte y Noreste (NE) en la comunidad de La Capilla y Zacamulpa Tlatlmimilolpan en el Municipio de Lerma. La unidad comprende derrames lávicos de andesita y dacita. Las lavas presentan estructuras de flujo en forma de foliación de flujo. Estas andesitas y dacitas presentan texturas afaníticas y porfídicas.

Las andesitas y dacitas que se observan de la unidad Zacamulpa se encuentran en forma de derrame de lava muy fracturada con una dirección predominante hacia el Suroeste (SE) (Figura 4.5), lo que ha generado la existencia de bloques que van desde tantos centímetros hasta metros de tamaño, estos son de color gris claro y contienen cristales como biotita, anfíbol, plagioclasa y cuarzo (ver en Anexos, análisis petrográfico). Los derrames dacíticos y andesíticos de esta unidad se concideran de edad del Plioceno y pudieron ser derivados del complejo dómico Garambullos ubicado en la zona de las Rajas (Cruz-Alberto, 2019).



Figura 4.5 Zona de fracturamiento y bloques de andesita y dacita con una dirección predominante hacia el SE.



Figura 4.6 Bloques de dacita



Figura 4.7 Fractura en derrame de lava andesítica-dacítica

Flujos piroclásticos Zacamulpa (Ufz):

La unidad de flujos piroclásticos Zacamulpa se encuentra en la porción Noreste (NE) del área de estudio, en la comunidad de La Concepción Xochicuautla, también conocida como “La Concha” por las comunidades que se ubican dentro del municipio de Lerma.

Los flujos piroclásticos de Zacamulpa, son flujos de pómez y ceniza. Compuesto por secuencias de ceniza volcánica color pardo-rojizo que se erosionan con facilidad de acuerdo a lo observado en campo, a una determinada distancia existen afloramientos de flujos de bloques y ceniza color blanca, compuestos estos bloques por pomez blanca andesítica, rica en plagioclasa con una textura masiva.

El cual indica que la gruesa capa de ceniza volcánica color pardo-rojizo cubierta por cobertura vegetal, se encuentra por encima del flujo piroclástico de pómez y ceniza (Figuras 4.8 y 4.9). Tienen posiblemente relación de los productos de la actividad generada dentro de la unidad Zacamulpa (Uz).



Figuras 4.8 y 4.9 Afloramiento de flujos piroclásticos con ceniza y pómez andesítica blanca.

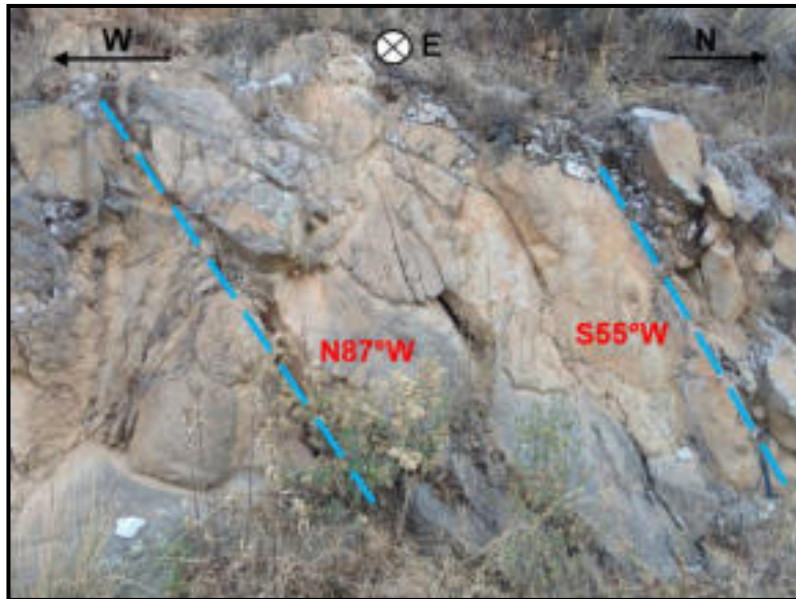
Grupo de unidades de Cerro de La Verónica.

El grupo de unidades de Cerro de La Verónica se compone de varias unidades como son: unidad Cerro de La Verónica, unidad San Nicolás Peralta, Lahares Santa María y unidad Álvaro Obregón. Estas unidades se agruparon con base en su posición espacial al complejo dómico de Cerro de La Verónica (unidad Cerro de La Verónica) descrito más adelante y que los depósitos volcánicos de las unidades agrupadas presentan composiciones mineralógicas y litológicas similares a las rocas del complejo dómico.

Unidad Cerro de La Verónica (Cv).

La Unidad Cerro de La Verónica, se ubica en los límites de la Sierra de Las Cruces y la cuenca del Valle de Toluca, se considera parte de la Sierra de Las Cruces. Toma el nombre del Cerro de La Verónica, se encuentra en la parte central del área de estudio, y en donde este cerro sobresale como una entidad aislada, desde el punto de vista topográfico, de expresión fisiográfica de la sierra principal. Esta unidad es definida por derrame lávicos de tipo lava-dome andesíticos con algunas variaciones a composiciones dacíticas y bloques de andesita de color gris claro y oscuro. La textura de la roca es porfídica. SE observan en algunas partes abundantes fracturas y fallas geológicas, lo que da la apariencia a los afloramientos como bloques. Los bloques varían entre tamaños que van desde el medio metro, hasta los varios metros. Los derrames se encuentran en su gran mayoría fracturados con direcciones de estas fracturas predominantes hacia el Suroeste-Noroeste (SW-NW) y de menor cantidad hacia el Noreste (NE) (Figuras 4.10, 4.11 y 4.12).

Así mismo, en esta unidad, se encuentran determinados derrumbes a causa de la inestabilidad de los caminos construidos en el cerro para llegar al Santuario del Cerrito de La Verónica debido a que el material se encuentra “suelto” por la existencia de varias fracturas.



Figuras 4.10, 4.11 y 4.12 Fallas con brecha de fallas sobre derrame de lava andesítico.



La Unidad Cerro de La Verónica se compone de varias estructuras de conos volcánicos y que presentan composiciones variables de andesítica a dacítica, en ocasiones es difícil diferenciar a los domos independientemente y parecen ser varios domos debido a que se notaron cambios texturales en la roca y por la morfología que presenta el Cerro de La Verónica. Por ello se ha pensado en que la unidad es un complejo dómico y además en campo se observaron foliaciones

magmáticas que son paralelos con diaclasas y fracturas que sugiere un control estructural en el emplazamiento de algunos domos. Estos domos generaron derrames tipo lava.dome. La unidad en edad relativa parece ser más joven que las estructuras volcánicas de la Sierra de las Cruces y se sugiere que sea del Plioceno-Pleistoceno.

Unidad San Nicolás Peralta (Usn).

Los afloramientos de esta unidad se encuentran en la porción centro del área de estudio, a lo largo, hacia el Norte y el Sur de la autopista Toluca-Naucaupan. La unidad San Nicolás Peralta, se encuentra constituida por secuencias sedimentarias mezcladas en depósitos aluviales-fluviales, sedimentarias de abanico aluvial, paleosuelos y flujos piroclásticos. En los afloramientos observados en campo en la parte superior se presentan los depósitos sedimentarios aluviales-fluviales, mientras que la parte inferior se tienen los materiales de abanico aluvial. Estos depósitos sedimentarios anteriores sobreyacen a paleosuelos intercalados con flujos piroclásticos con bloques andesíticos, ceniza como matriz y en algunas porciones, diaclasas de enfriamiento en los bloques de roca andesítica (Figura 4.13).

Las secuencias de material aluvial-fluvial así como el abanico aluvial, se encuentra compuesto por arenas, limos y arcillas con fragmentos de andesitas de diferentes colores, rosado pardo, gris claro y gris oscuro (Figura 4.13). Los depósitos aluviales presentan cantos de roca andesítica y dacítica con formas subredondeadas a redondeadas y algunos con formas subangulosas, la matriz es de arena y gravas. Los flujos piroclásticos se presentan en unidades de flujo, la unidad superior esta compuesta de bloques y ceniza, los bloques de composición andesítica (Figura 4.13c); la unidad inferior es un flujo piroclástico con pómez, ceniza y bloques volcánicos, estos bloques son de andesita (Figura 4.13d). Los contactos con las secuencias sedimentarias (epiclásticas) son discordancias erosivas con geometrías onduladas. Entre las unidades de flujos piroclásticos en ocasiones se observan

contactos de pirometamorfismo (Figura 4.14) que sugieren contactos entre flujos piroclásticos calientes y fríos.

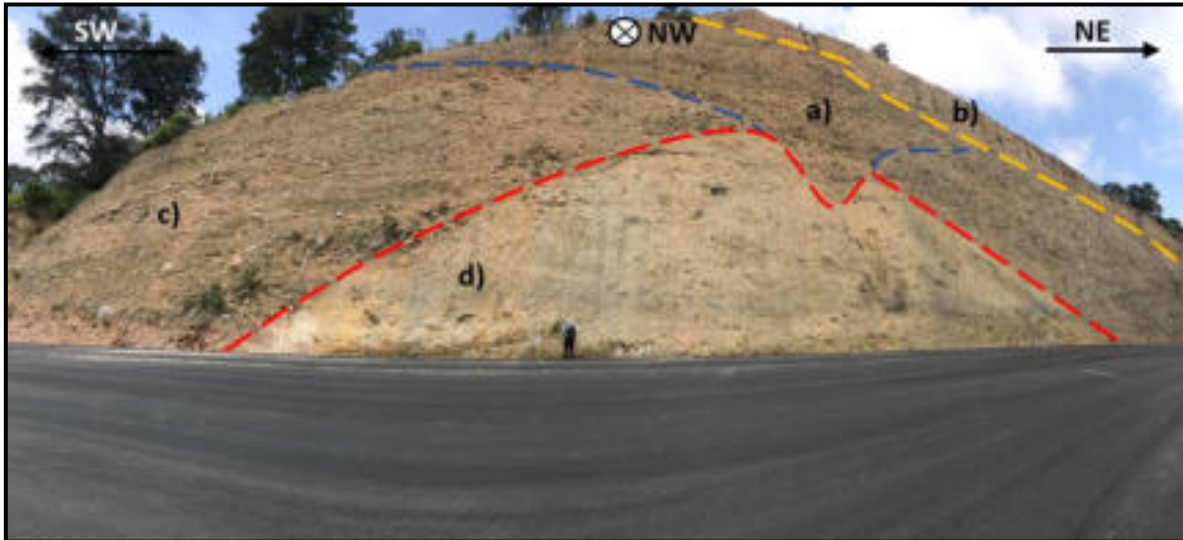


Figura 4.13 a) afloramiento de material aluvial-fluvial, b) abanico aluvial con paleosuelos color café marrón, c) flujos piroclásticos con bloques de andesita de determinados tamaños color gris y rosado pardo, d) flujos piroclásticos con ceniza como matriz color café pardo, claro con pirometamorfismo en la parte inferior del afloramiento (Figura 4.14).

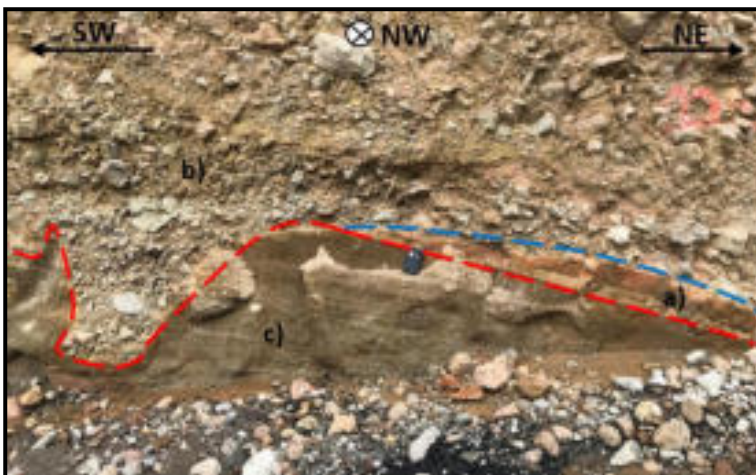


Figura 4.14 Pirometamorfismo (a) en depósitos de caída (c) como evidencia se observa un color rojizo como superficie quemada los cuales son óxidos de hierro (a), en la parte superior hay derrumbes de flujos piroclásticos (b).



Figura 4.15 Derrame de andesitas con textura de diaclasas de enfriamiento, grises oscuros ricas en piroxenos verdes encendidos incluidos en flujos piroclásticos.

Lahares Santa María (Lsm).

La unidad denominada como Lahares de Santa María se encuentra en la zona limitrofe de la comunidad de Santa María Tlalmimilolpan, Municipio de Lerma, en la porción Norte del área de estudio y en las laderas Norte del Cerro de La Verónica.

Esta unidad está constituida por clastos volcánicos de antiguos depósitos volcanoclásticos, presenta la unidad una mala clasificación en donde encontramos material de diferentes tamaños que van desde lapilli hasta bloques (angulosos a sub-angulosos) de andesita de color rosado y gris claro. Los clastos definen una granulometría variada de mal clasificado, y estos clastos tienen una textura porfídica. Tales características indican que el afloramiento corresponde a un lahar en combinación con un flujo de detritos volcánicos (Figura 4.16). En los afloramientos en Santa María Tlalmimilolpan se observaron adyacentemente a los afloramientos de lahares, afloramientos que corresponde con facies volcánicas de avalancha fría volcánica de bloques andesíticos (Figura 4.17).

Se interpreta que los lahares de la unidad Santa María fueron producto de la actividad volcánica que se presentó durante el crecimiento del Cerro de La Verónica, esto en parte por las composiciones similares de los fragmentos líticos a los derrames lava-dome de la unidad Cerro de La Verónica, la morfología y la posición espacial.

El grupo de unidades de Cerro de La Verónica se interpreta se formaron cercanamente en tiempo o durante los procesos volcánicos cercanos al emplazamiento de los domos volcánicos de la unidad Cerro de La Verónica. Se interpreta una edad de Plioceno para la formación del grupo de unidades Cerro de La Verónica.



Figura 4.16 Lahar de material volcánico con bloques de andesita rosa clara y gris, donde se puede observar la mala clasificación del material donde hay bloques y gravas de manera aleatoria en el afloramiento.



Figura 4.17 Avalancha fría volcánica con grandes bloques de andesita y ceniza, a la izquierda del lahar.



Figura 4.18 Andesita rosa con gris claro, con biotita, anfíboles y piroxenos.

Unidad Álvaro Obregon (Ua).

Esta unidad se encuentra al Oeste (W) y Noroeste (NW) de la unidad Cerro de La Verónica, se ubica en las laderas de pie de monte del Cerro de La Verónica y esta constituida en general por depósitos sedimentarios de arenas, limos y gravas que representan facies de abanicos aluviales, algunas capas de paleosuelos y depósitos piroclásticos andesíticos de caída (Figuras 4.19, 4.20 y 4.21).

En algunos afloramientos se observaron los depósitos sedimentarios de abanicos aluviales sobreyacidos por ceniza volcánica color amarillo pardo, café, claro y oscuro, con evidencias de procesos de pedogénesis (Figuras 4.19, 4.20 y 4.21). En algunos afloramientos aparecen suelos o paleosuelos, con bloques de andesita de textura porfídica de tamaños que van desde los 5 cm hasta los 40 cm, (Figura 4.21), en algunos afloramientos de la unidad se presentan derrumbes, procesos de erosión remontante en los bordes de barrancos aproximándose a los niveles donde existen casas y hardines y arcillas expandibles, las cuales generan muchos agrietamientos debido a que se exoanden con la humedad y se contraen cuando se secan (Figura 4.20). Se considera esta unidad Álvaro Obregón del mismo grupo de depósitos volcánicos y sedimentarios del Cerro de La Verónica ya que las rocas y depósitos presentan composiciones mineralógicas y litológicas similares a los domos volcánicos principales. La edad que se maneja para esta unidad es Plioceno-Pleistoceno.



Figura 4.19 Fractura que corta cenizas volcánicas color pardo-amarillo. Las cenizas se convirtieron en arcillas color pardo, con lentes de arcilla laminada color café oscuro, con textura chiclosa, característica de arcillas expandibles.

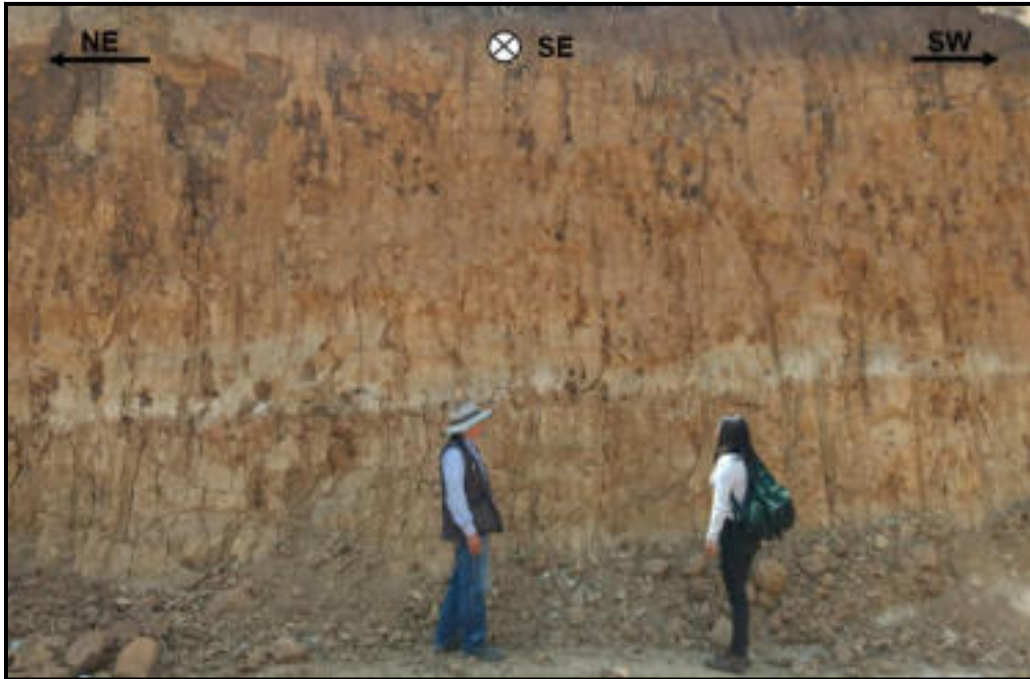


Figura 4.20 Afloramiento de arcillas volcánicas (producto de cenizas volcánicas de caída) con materia vegetal y estructuras de procesos de pedogénesis, estas arcillas tienen una característica peculiar, ya que con la humedad se expanden y cuando se secan se contraen, generando agrietamiento y caída.

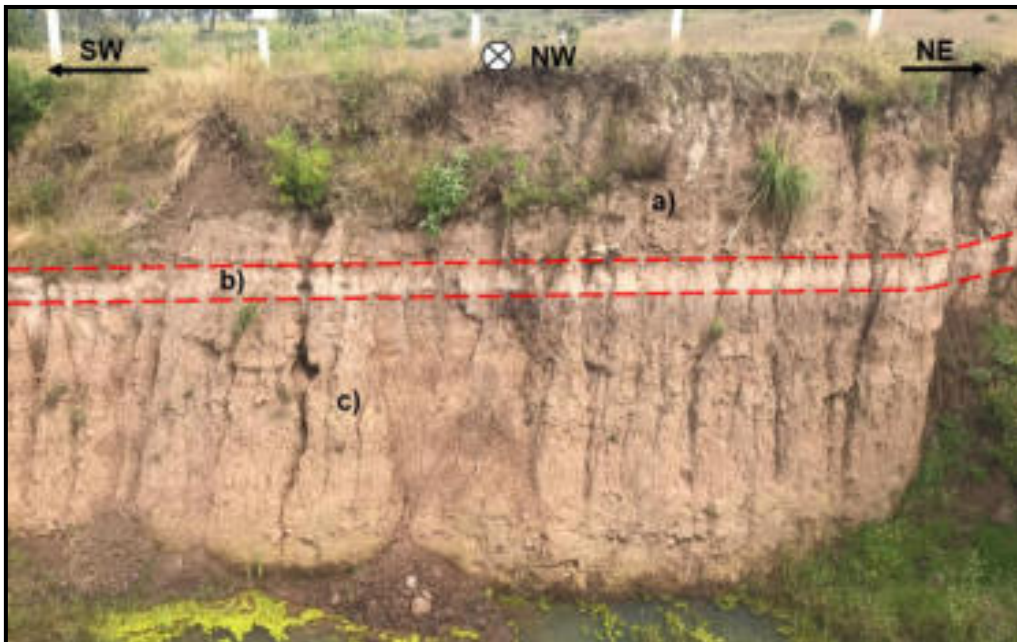


Figura 4.21 Afloramiento de depósitos sedimentarios de limos, arenas y gravas de abanico aluvial. a) en la parte superior del afloramiento se encuentran arcillas y limos con suelos, b) se diferencia una capa blanca muy ligera de limos, c) en la parte inferior del afloramiento se observa un deposito mal clasificado de gravas y arenas.

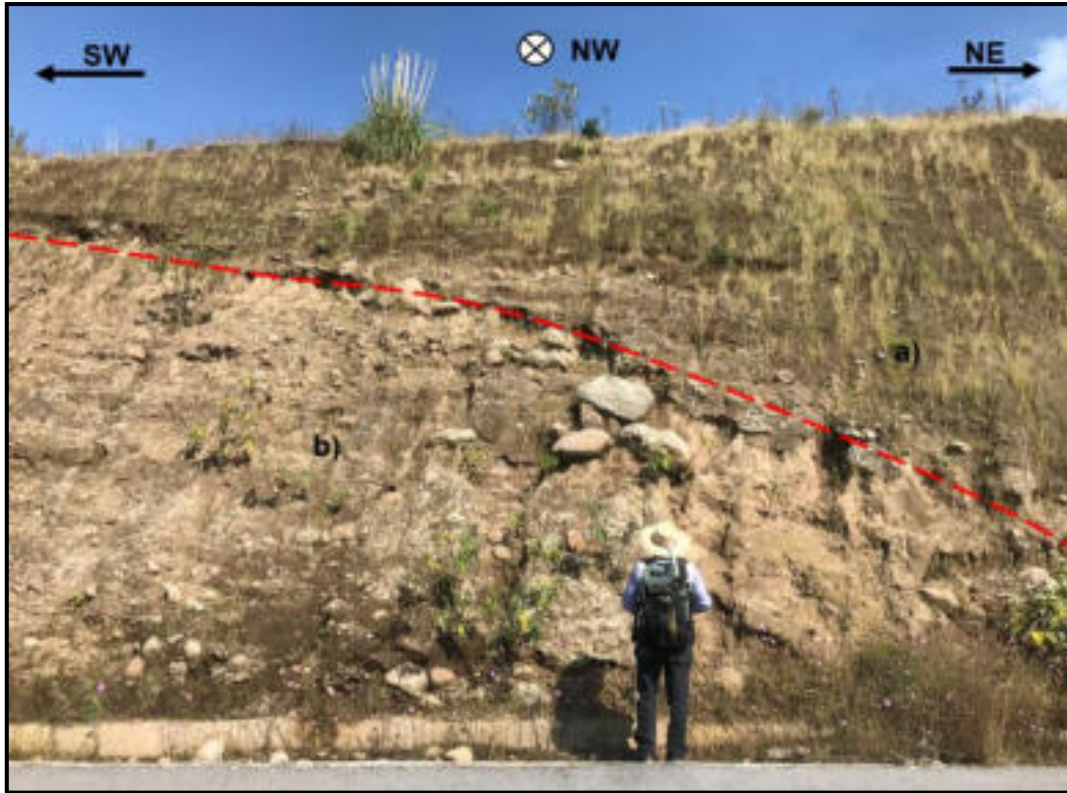


Figura 4.22 Afloramiento de lahar y depósitos de abanico aluvial. a) acumulaciones de grava con arena gruesa de facies de abanico aluvial, subyacente en ceniza volcánica convertida en suelo. b) depósito de Lahar: gravas con arenas gruesas en estructura masiva, acumulación de rocas y bloques de varios tipos de andesita.

Domos Xochicuautila (Dx).

La unidad Domos Xochicuautila, se denomina así, por la existencia de dos domos dacíticos-andesíticos. Estos domos se ubican en el Sureste del Cerro de La Verónica y en la porción Central y al Este del área de estudio. Los domos presentan estructuras volcánicas dómicas con derrames de lava tipo lava-dome y flujos de bloques de andesita y dacitas color gris claro, a veces intercalados entre cenizas volcánicas color café amarillento en proceso de transformación de suelos (pedogénesis).

Los derrames de andesita-dacita se encuentran en su mayoría fracturados, erosionándose dando origen a los bloques que tienen determinados tamaños que

van desde centímetros hasta metros (Figura 4.23), inclusive por esta razón, existen derrumbes y caídas de bloques en la unidad. Los domos crecieron entre el complejo de domos Cerro de La Verónica y la estructura volcánica Brazo del Monte. La edad que se considera es Plioceno-Pleistoceno con base en que son más jóvenes que los domos Cerro de La Verónica y la estructura volcánica Brazo del Monte.

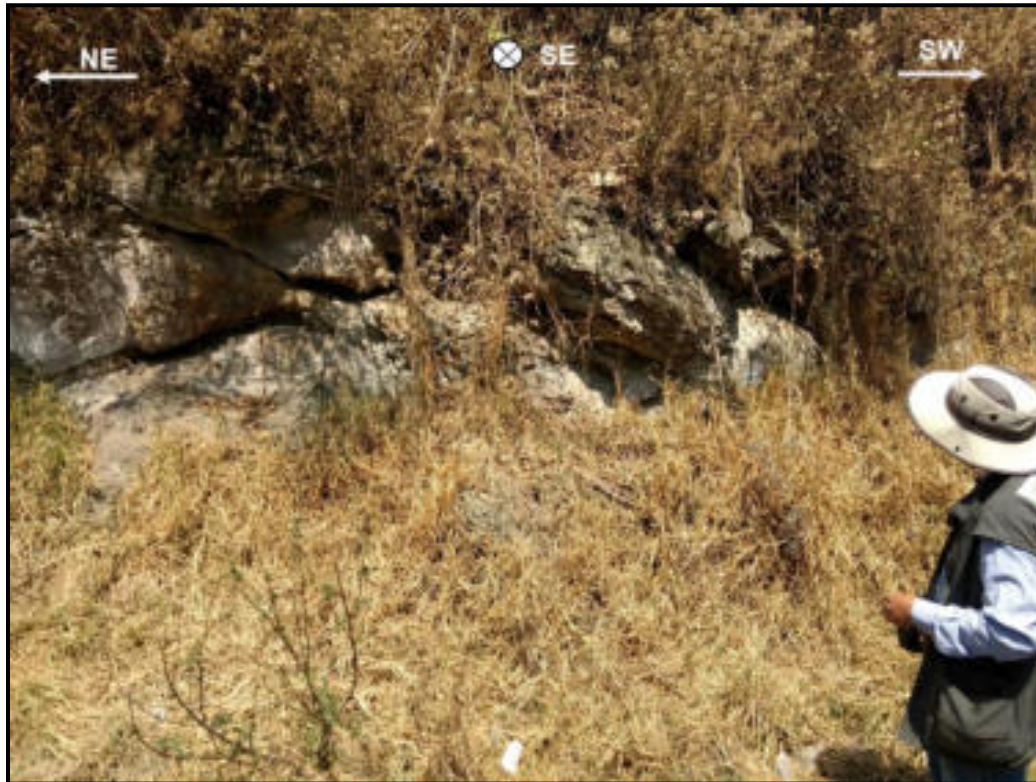


Figura 4.23 Derrames lávicos andesíticos-dacíticos con estructura de bloques con cenizas volcánicas intercaladas. Los derrames originados en domos andesítico-dacítico.

De acuerdo con los datos obtenidos en campo, se infieren dos unidades geológicas que se formaron posterior a la actividad del Cerro de La Verónica, estas unidades son el volcán Concepción y derrame Cocuhapa. La edad que se estima para estas dos unidades es en el Pleistoceno.

Ahora bien, según a los estudios realizados por Mora-Álvarez, et al., (1991), la actividad volcánica en la Sierra de las Cruces abarca del Plioceno (ya definidas las unidades estratigráficas de esta edad) hasta el Pleistoceno las cuales se definen sus unidades estratigráficas a continuación.

Volcán La Concepción (Vc).

La unidad Volcán Concepción se encuentra en la porción Este del área de estudio, y en específico en la localidad de La Concepción Xochicuautla en el Municipio de Lerma. Esta unidad está constituida por derrames lávicos de basalto-andesita, lava con estructura de bloques y en distintos puntos del volcán existen diaclasas de enfriamiento en roca andesita rosada y gris; esta andesita basáltica tiene una textura porfídica y depósitos piroclásticos de caída.

Algunos afloramientos se observaron con derrames lávicos (Figura 4.24) que se encuentran con fracturas con direcciones al Sureste (SE). La ceniza volcánica que se encuentra por encima de estos derrames con un proceso avanzado de pedogénesis con color marrón-café. La edad que se infiere es del Pleistoceno ya que cubre rocas volcánicas de la Sierra de Las Cruces y presenta derrames lávicos de andesita basáltica y una morfología poco erosionada que es típico de conos volcánicos del Cuaternario que aparecen en la Sierra de Las Cruces.

De la misma manera, estos derrames se encuentran con diferentes fracturas que predominan al SE. La ceniza volcánica que se encuentra por encima de estos derrames con un proceso avanzado de pedogénesis con color marrón-café.



Figura 4.24 Derrame de lava andesítica muy fracturada generando bloques con ceniza.

Derrame Cocuhapa (Dc).

La unidad Derrame Cocuhapa se encuentra en la porción Sur del área de estudio. La unidad aflora en la Loma Cocuhapa. Tiene una morfología de lomas suavizadas. La unidad comprende derrames lávicos de andesita y lava en bloques; estos derrames presentan un color gris y rosado en el afloramiento. En algunas partes se presentan cubiertos por ceniza volcánica. La roca andesítica de los derrames presenta minerales como: biotita, anfíbol y plagioclasas. Se interpreta que estos derrames pudieron haber sido generados de un evento eruptivo del Cerro Brazo del Monte o del Cerro el Simulacro, ambos ubicados en la porción Sur y Sureste (SE) del área de estudio. La edad que se interpreta es del Pleistoceno para estos derrames lávicos con base en las relaciones geológicas de campo.

En la parte de Sur de la Loma Cocuhapa y en lo que es Cerro Simulacro y Loma el Tío Lico existe una secuencia de flujos piroclásticos y parecieran en parte estar encajonados algunos de ellos a lo largo del arroyo El Jilguero que está a un lado de la población de San Mateo Atarasquillo. Estos flujos piroclásticos quedan fuera del área de estudio.

Unidad Laguna San Nicolas (U_L).

Esta unidad se encuentra a lo largo de toda la porción Oeste del área de estudio, comprende a las lagunas de San Nicolás que a su vez pertenecen a las Ciénegas de Lerma.

La unidad está definida por materiales limos-arcillas de origen lacustre y materiales fluvio-lacustres, como son arenas gruesas y limos con clastos de roca volcánica erráticos, cantos rodados de composición andesítica, gravas, arcillas y paleosuelos (Figura 4.25).

Los depósitos lacustres de granulometría más fina (lacustres) son rodeados por los depósitos sedimentarios fluvio-lacustres con granulometría más gruesa como gravas, arenas y limos. Los depósitos fluviales se encuentran compuestos por detritos mal clasificados cuya geometría varía desde cantos rodados hasta arenas finas.



Figura 4.25 Arenas gruesas y limos color pardo-café con clastos de roca volcánica erráticos de tipo andesítica, espesor aproximado; 3 metros. En la parte derecha de la figura, se observa un tubo del sistema Cutzamala.

Depósitos fluviales recientes (fv).

Esta unidad se encuentra ubicada en la porción Sur del área de estudio. Los depósitos fluviales recientes comprenden los depósitos sedimentarios de gravas y arenas que se ubican en las barrancas y arroyos definidos entre los espacios erosivos de las unidades geológicas anteriormente definidas. La unidad se encuentra entre depósitos aluviales y derrames de lava, debiendo su origen al retrabajo de depósitos volcánicos antiguos de las otras unidades por el arrastre y transporte de ríos, la composición litológica de la unidad corresponde a una mezcla

poco homogénea de arcillas-limos, arenas y gravas (Figuras 4.26). Se interpreta una edad del Holoceno con base en sus relaciones estratigráficas.



Figura 4.26 Capas de suelo y paleosuelo en la parte superior del afloramiento y a la base, cenizas volcánicas con bloques de diferentes tamaños de andesita.

4.2 Geología estructural.

En el presente capítulo, se presenta la descripción, orientación y distribución espacial de varios conjuntos de fracturas y fallas en el área Cerro de la Verónica, las cuales fueron identificadas a través del análisis de fotointerpretación geológico-estructural con base en el análisis de posibles lineamientos en el mapa topográfico e imágenes satelitales y que después algunos de ellos fueron corroborados en campo.

En la zona de estudios los antecedentes de presencia de fracturas fueron mostrados en el Atlas de Riesgos del Municipio de Lerma (2016). En este documento aparecen identificados de manera poco precisa en su localización algunas fallas y fracturas alrededor del Cerro de La Verónica.

Los lineamientos identificados por Protección Civil del Municipio de Lerma son los mostrados en la Tabla 4.1.

Lineamiento	Localidad involucrada	Localización general
Falla	San Pedro Huitzilapan y Santa María Tlalmimilolpan	Al Noreste de las localidades y al Sur del cerro Gexad
Fractura	San Lorenzo Huitzilapan y San Francisco Xochicuautla	Al Este de San Lorenzo con dirección al Sureste, hasta llegar a San Francisco Xochicuautla

Tabla 4.1 Registro de fracturas y fallas dentro del Área Cerro de La Verónica, Municipio de Lerma (Fuente: Atlas de Riesgos del Municipio de Lerma, 2016).

Los lineamientos estructurales y grupos de fallas y fracturas que se identificaron fueron denominados fracturas y fallas de Cerro de La Verónica, fracturas Zacamulpa, lineamientos Tlalmimilolpan y lineamientos Brazo del Monte. En general los lineamientos estructurales interpretados siguen direcciones en rumbo Noroeste (NW) y Sureste (SE) y otros lineamientos presentan orientaciones Noreste (NE)-Suroeste (SW) y otros Este-Oeste (E-W).

Los lineamientos estructurales interpretados se distribuyen alrededor de la unidad Cerro de La Verónica (Uv). En las rocas del Cerro de La Verónica se observaron afloramientos de roca fracturados, a veces con un grado intenso, en determinadas porciones, estas fracturas y fallas mantienen una longitud no mayor a 5 metros y no menor a 2 metros.



Figura 4.27 Falla con brecha de falla, sobre derrame de lava andesítico, se observa la roca fragmentada en diferentes direcciones.

Las fracturas que se pudieron reconocer en campo afectan a las andesitas color gris y rosado pardo de la unidad Domos Xoxhicaautla (Dx), la Unidad Álvaro Obregón (Ua), la Unidad San Nicolas Peralta (Usn) y la Unidad Cerro de La Verónica (Cv) (Figura 4.28).



Figura 4.28 Zona de fracturamiento y bloques de andesita y dacita con una dirección predominante hacia el NW.

Fracturas y fallas de Cerro de La Verónica.

Las fracturas y fallas se encuentran ubicadas en el Cerro de La Verónica en la porción central del área de estudio, tienen varias direcciones como son NW-SE, NE-SW y E-W, los echados varían de 67° a 90° con direcciones al NE, SW y NW. Las fracturas NW-SE y NE-SW tienen longitudes grandes mientras que las E-W parecen tener longitudes menores y entre las fracturas se interceptan unas con otras (Figura 4.1). Las fracturas y fallas afectan a los afloramientos de derrames de lava dacítico-andesíticos de la unidad Cerro de La Verónica (Cv) provocando fracturamiento intenso en algunas partes. Las fallas y fracturas Cerro de La Verónica, alcanzan una longitud que puede variar de escala métrica a kilométrica, pero en afloramientos se observaron fracturas que varían de longitudes de 1m. a 5m. (Figura 1), que son fracturas menores.

La edad de las fracturas y fallas que se presentan en el Cerro de La Verónica se interpreta pueda ser del Plioceno ya que cortan rocas volcánicas de esa posible edad.

Fracturas Zacamulpa

Se le denomino fracturas Zacamulpa a las fracturas que se localizan en el Noreste del Cerro de La Verónica y en las cercanías de la población de Zacamulpa Tlalmimilolpan. Los rumbos de estas fracturas son NW-SE y NW-SW y en las cercanías en la parte Norte a estas fracturas se interpretaron lineamientos estructurales con direcciones E-W (Figura 4.1). Algunas de estas fracturas definen en campo zonas de fracturamiento que están a escala de afloramiento.

Estas fracturas presentan longitudes en su traza mínima que varía de 200m. a 500m. pero bien algunas podrían ser de longitud mayores a 1 km. En afloramiento presentan longitudes superiores a los 2 metros e interceptan en bloques de andesita de aproximadamente 1-3 metros de tamaño. En esta zona, las fracturas afectan y dividen en bloques por fracturas a derrames de lava de andesita-dacita, generando bloques de gran tamaño.

Lineamientos estructurales Tlalmimilolpan.

Los lineamientos estructurales Tlalmimilolpan se ubican en las cercanías de la población de Santa María Tlalmimilolpan. Estos lineamientos presentan orientaciones de NW-SE y N-S (Figura 4.1). Afectan a la unidad Álvaro Obregón, pero es posible que también esta unidad cubra estas estructuras ya que es una secuencia de paleosuelos, abanicos aluviales y cenizas volcánicas. Estos lineamientos NW-SE coinciden en orientación con algunas orientaciones de las fracturas NW-SE que se presentan en las partes altas del Cerro de La Verónica.

Lineamientos Brazo del Monte.

Estos lineamientos estructurales se ubican en la parte Centro-Este del área de estudio y al oriente del Cerro de La Verónica. Los lineamientos tienen orientaciones N-S a NW-SE (Figura 4.1) y presentan longitudes mínimas de 1 km a 2 km. Estos

lineamientos están presentes en la unidad geológica informal Brazo del Monte. Otros lineamientos estructurales interpretados aparecen hacia el centro de la unidad Brazo del monte y presentan orientaciones NW-SE.

Las orientaciones de las fracturas y fallas que se definieron en campo coinciden con las orientaciones de lineamientos estructurales interpretados a partir de fotointerpretación de imágenes de Google Earth y con el análisis de la topografía. Las orientaciones que se encontraron son Noroeste-Sureste (NW-SE), Noreste-Suroeste (NE-SW) como direcciones principales en el área de estudio. Existen otras direcciones en las fracturas subordinadas que son E-W y N-S. Estas fracturas al compararlas con una escala mayor y a escala de la Sierra de Las Cruces y con los fracturamientos definidos por García-Palomo et al (2008) se observa que hay una correlación por orientación de las fracturas en las direcciones NE-SW y las NW-SE, y que las direcciones NW-SE se correlacionan con las fallas de Ayotuzco que definió García-Palomo et al (2008) (Figura 4.29).

En los lineamientos estructurales interpretados en el trabajo de García-Palomo et al (2008) son posiblemente producto de movimiento de bloques ya que así lo expreso en modelos esquemáticos García-Palomo. Los lineamientos estructurales se expresan en las corrientes fluviales y tiene relación con el orden de corriente de la red de drenaje del bloque Centro de La Sierra de Las Cruces (donde se ubica el área de estudio).

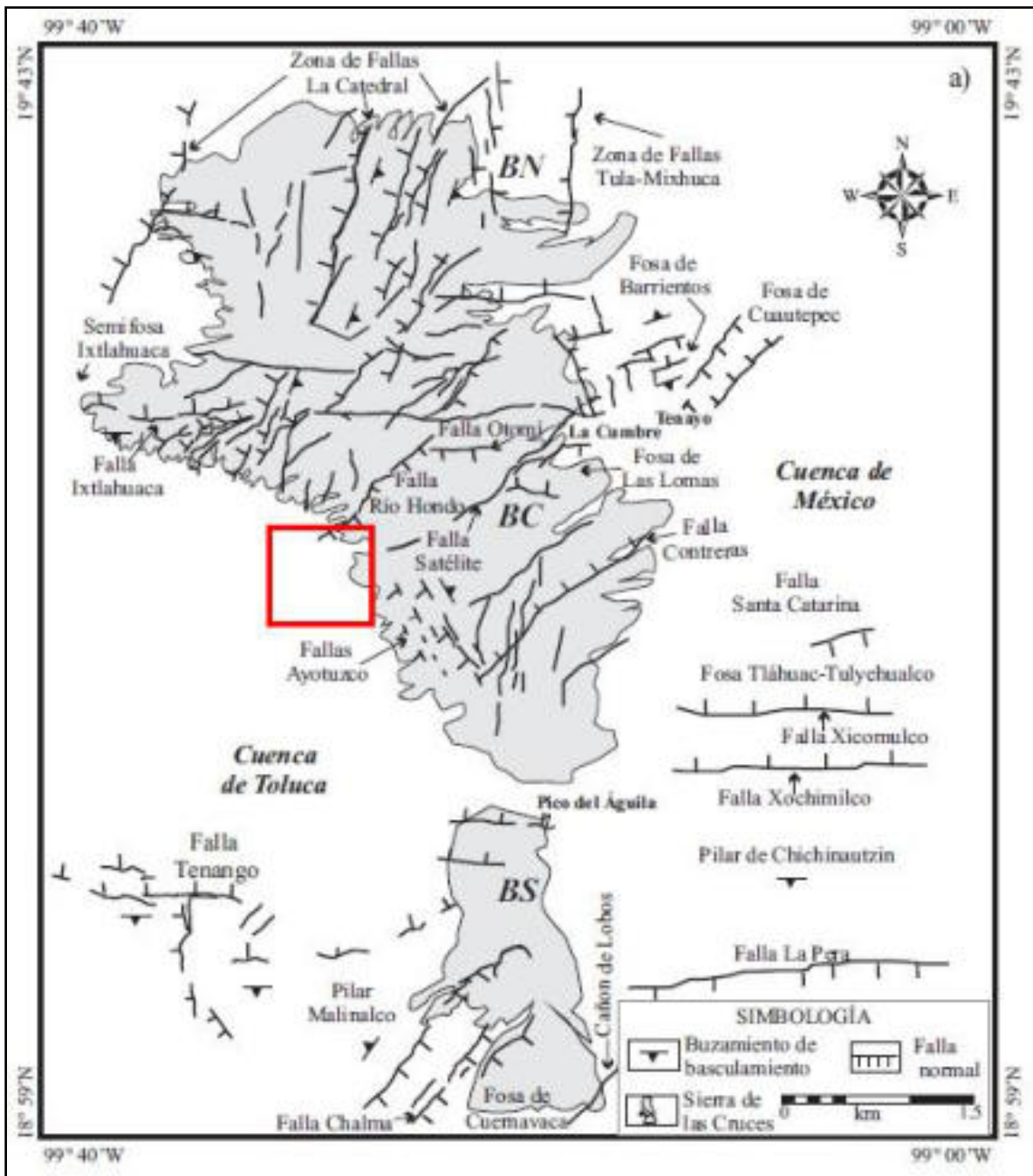


Figura 4.29 Lineamientos estructurales y fracturas interpretados por García-Palomo et al (2008). Se muestra en un recuadro la posición del área de estudio de esta tesis (modificado de García-Palomo et al, 2008)

5. Peligros geológicos del área Cerro de La Verónica.

En la definición de peligros geológicos del área de estudio se basaron en los datos de geología de campo, análisis de las cartas topográficas y un mapa de pendientes (Anexo 5). Los datos obtenidos en campo fueron de gran valor para la definición de zonas de peligro geológico dentro del área de estudio que se describen y analizan en el presente capítulo. Entre los peligros geológicos identificados en el área de estudio tenemos: peligros por fracturamiento y fallamiento, peligros por derrumbes, peligros por inundación, peligros por subsidencia del terreno y susceptibilidad sísmica local (Figura 5.1).

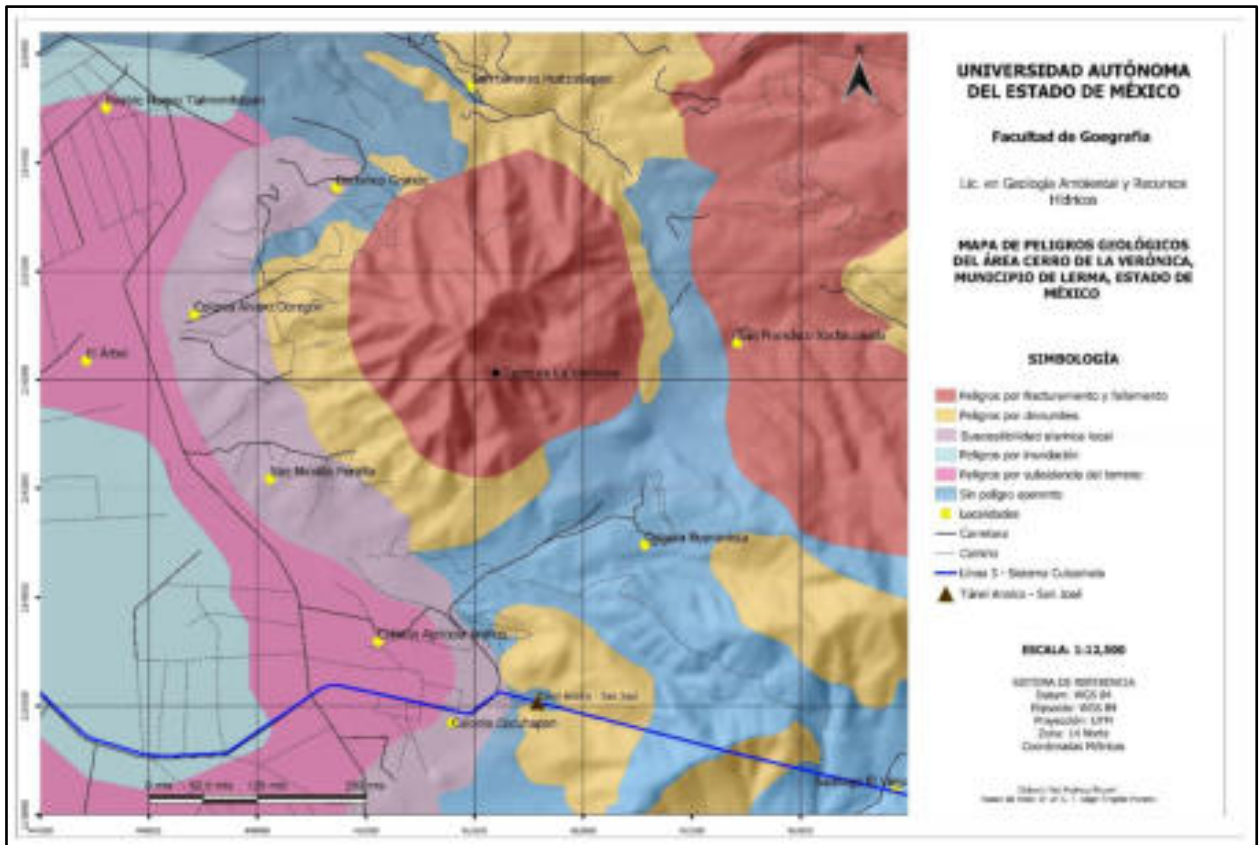


Figura 5.1 Mapa de Peligros geológicos del área Cerro de La Verónica

5.1 Peligros por fracturamiento y fallamiento.

Los peligros por fracturamiento y fallamiento están definidos por las rocas que fueron afectadas por deformación y formación de grandes bloques que en algunos casos pueden afectar a la infraestructura civil, aunque, en el área de estudio aparentemente no hay indicios de afectación a gran escala.

Sin embargo, de acuerdo con el crecimiento poblacional que se encuentra invadiendo al complejo dómico Cerro de La Verónica y a las elevaciones de la porción Este del área de estudio las obras planeadas para un futuro pueden ser afectadas por algunos derrumbes de rocas al pie de las fallas, En algunas partes del fracturamiento es mayor e intenso, lo que puede considerarse en una futura planeación de desarrollo habitacional. En las partes altas del Cerro de La Verónica las fallas y fracturas definen paredes verticales a subverticales de por lo menos 15m.

de alto que son zonas de peligro y riesgo para personas que asisten a reuniones religiosas, en esta parte se recomendaría construir zonas de protección para evitar caídas mortales para personas en peregrinaciones y turismo.

Dichas fracturas y fallas traen consigo determinados peligros como son la caída de bloques, derrumbes, anomalías en el terreno y desprendimiento de rocas. Ya que, dentro del área de estudio se observó que algunos de los bloques fracturados tienen tamaños grandes de aproximadamente 5 a 7 metros de largo y ancho (Figuras 5.2 y 5.3). Algunos de los derrames de lava andesíticos y dacíticos, fueron fracturados de gran manera, generando estos grandes bloques, de acuerdo con lo visto en campo. Mientras que en otros derrames se observaron varias fracturas que se intersectan y definen bloques, esto posibilita que sucedan derrumbes y desprendimientos de estos (Figura 5.4).

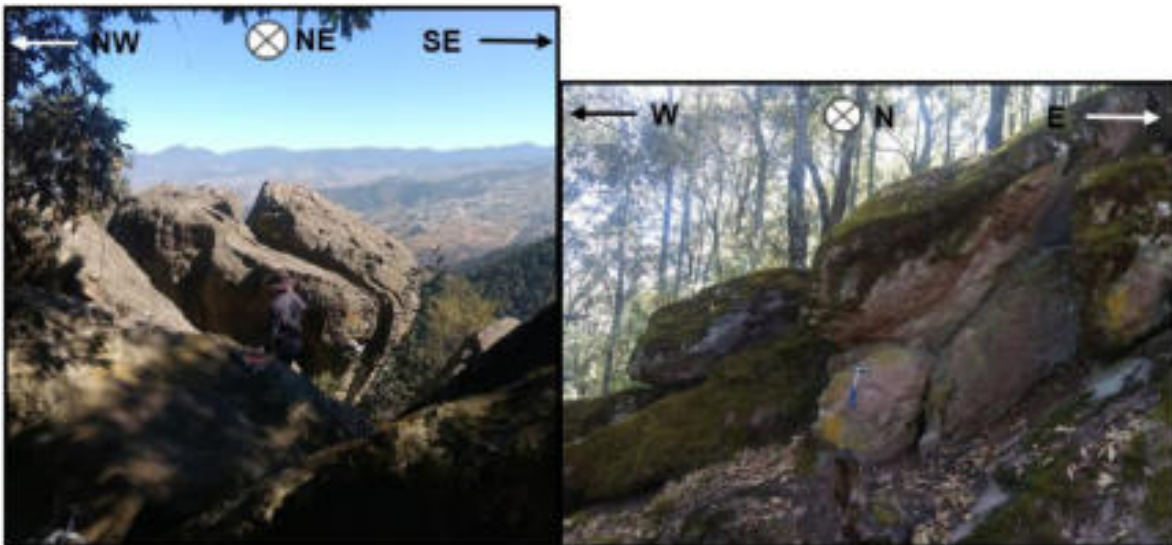


Figura 5.2 y 5.3 Bloques de andesita fracturada con tamaños de 5 a 7 metros.

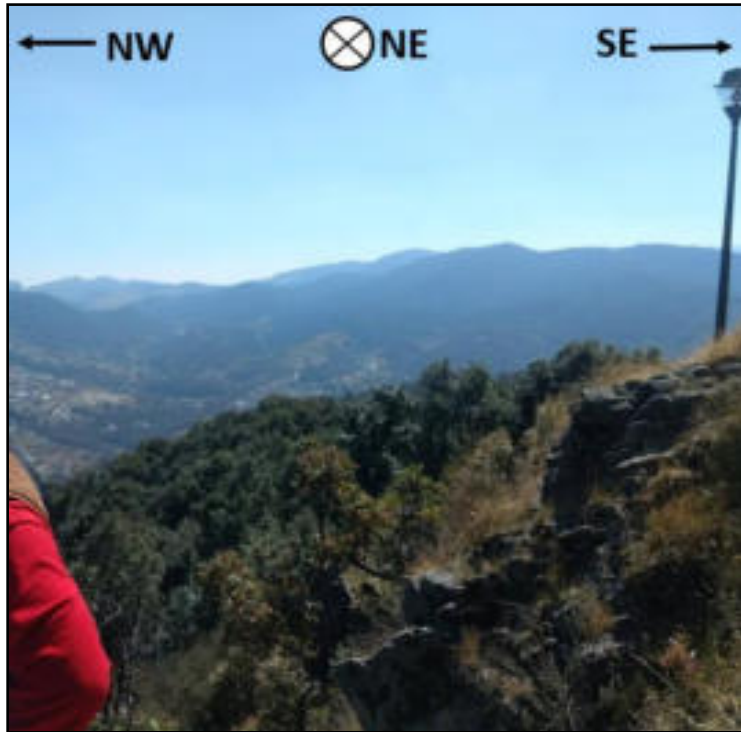


Figura 5.4 Afloramiento de roca andesita fracturada formando bloques, peligro de derrumbe o desprendimiento de roca.

5.2 Peligros por derrumbes.

Dentro del área de estudio se localizaron puntos donde hubo rasgos de derrumbes históricos, así como derrumbes actuales a pequeña escala pero que van aprovechando territorio. Principalmente estos derrumbes surgen a las orillas de vialidades y carreteras y en cortes para construcciones, barrancos y cañadas. En los primeros 3 (cortes de construcción civil) son procesos catalizados por la obra del hombre, pues desestabilizan los materiales generando una nueva zona de peligro. De acuerdo con los datos obtenidos en campo se determinaron zonas de material suelto o no lo suficientemente compactado, como son arcillas expandibles, flujos piroclásticos, materiales fluviales y aluviales.

Un claro ejemplo, es en la porción NW del área de estudio, donde a lo largo de una cañada ubicada en la población de la Colonia Reforma existen depósitos fluviales y de abanico aluvial con determinados paleosuelos, sufriendo un proceso constante

de erosión remontantes en los bordes, expandiendo la cañada, generando así derrumbes de porciones considerables de terreno, en las laderas de esta cañada, y estas laderas están ubicadas en las cercanías con casas habitación (Figura 5.6). Otro caso, es la inestabilidad de ladera a causa de cortes sobre depósitos de caída, cenizas volcánicas en proceso de pedogénesis hacia arcillas expandibles (Figura 5.5), las cuales se contraen por falta de humedad y se expanden cuando se humedecen provocando así posteriormente de la erosión el colapso de las paredes alimentada por la acción de la gravedad.



Figura 5.5 Afloramiento de arcillas volcánicas (producto de cenizas volcánicas de caída), estas arcillas tienen una característica peculiar, ya que con la humedad se expanden y cuando se secan se contraen, generando agrietamiento y caída.



Figura 5.6 Cañada con derrumbes por proceso de erosión remontante, abriéndose paso hacia patios y jardines de casa-habitación.

En las partes altas de las laderas inclinadas del Cerro de la Verónica y que coinciden con paredes verticales y subverticales hay evidencias de caída de bloques al pie de las paredes, estas paredes a veces coinciden con la traza de barrancas en las partes altas.

5.3 Peligros por inundación.

Una inundación es "aquel evento que, debido a la precipitación, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura" (CENAPRED, 2006).

La porción Oeste del área de estudio que abarca las poblaciones de Santa Catarina y San Nicolás y a lo largo de los ríos que se encuentran en un nivel topográfico bajo, presentan peligro por inundación en temporadas de lluvia intensa, un claro ejemplo de acuerdo con informes históricos de los pobladores, es el río principal del área de estudio llamado San Lorenzo que supera sus niveles de capacidad de caudal y su flujo termina desbordándose inundando gran extensión de terreno (Figura 5.8) así como los escurrimientos del lado poniente del Cerro de La Verónica que van hacia la planicie (en dirección al W), en la Ciénega de Chiconahuapan, perteneciente a las Ciénegas de Lerma. En esta misma Ciénega existen evidencias de que crece el nivel del agua afectando infraestructura de la zona, algunas de estas evidencias por ejemplo son marcas de salitre en infraestructura (Figura 5.7)



Figura 5.7 Marcas de salitre (rasgos de humedad constante) en la parte inferior de las construcciones.



Figura 5.8 Río San Lorenzo, en temporada de lluvias supera su nivel máximo y se desvorda, provocando inundaciones fluviales, al fondo de la imagen se observa el Cerro de La Verónica.

Algunas zonas como los poblados cercanos a la Ciénega se inundan ya que esta incrementa el nivel de sus aguas en temporada de lluvias, afectando áreas de cultivo, ganado y casa habitación (Figura 5.9), claro está que es debido a la mala planificación del territorio porque las construcciones y actividades económicas invaden la zona de Ciénega que se considera un sitio RAMSAR (Ceballos, G., 2003). Existen casos extremos en México en los que zonas similares fluviales lacustres que fueron invadidas y urbanizadas ahora son zonas de constantes pérdidas económicas por inundaciones y focos de contaminaciones (por ejemplo: Valle Chalco en el Valle de México) (Gallegos, A., 2016). Está documentada en la zona que han existido perdidas de especies y evidencias de contaminación de la Ciénega por desfogue de productos contaminantes de actividad industrial (Velasco, J., 2008).

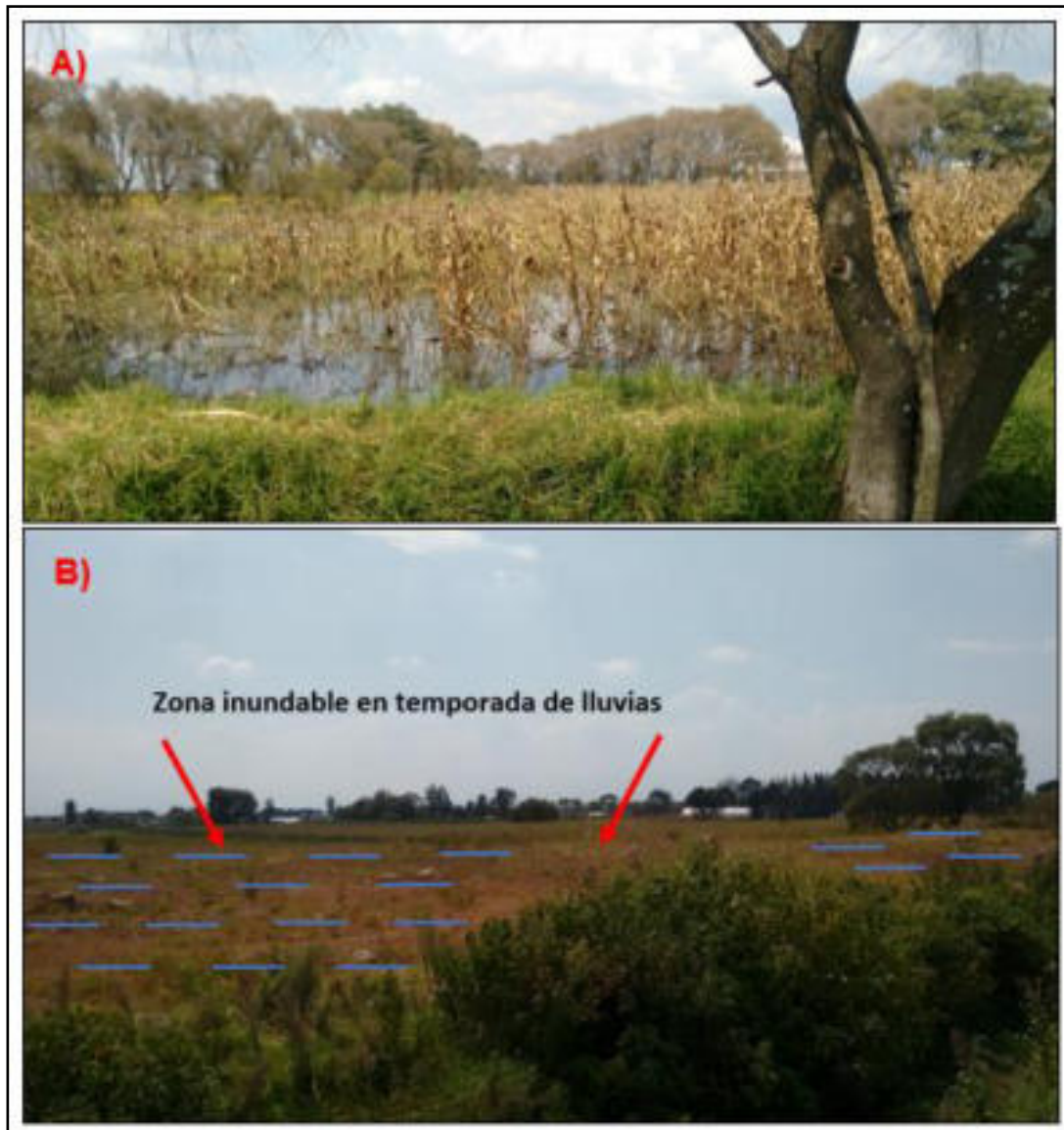


Figura 5.9 Zonas inundables en terrenos agrícolas y de casa habitación, año con año las condiciones del suelo acumulan agua de lluvia afectando la infraestructura de la zona, razón por la que los pobladores levantan sus cimientos de medio a un metro de altura.

5.4 Peligros por subsidencia del terreno.

En el área de estudio, de acuerdo con lo recopilado en campo no se encontraron registros o aspectos importantes como fallas y fracturas geológicas asociadas a hundimientos que determinen subsidencia, sin embargo, la zona es propensa a la ocurrencia de este fenómeno a causa de la extracción de agua subterránea y

compactación de los materiales que componen la zona lacustre, ya que en el área existen varios pozos de agua subterránea de CONAGUA y particulares que extraen cada pozo un promedio de 119,468 volumen (m³) al año de cantidad de agua. Los fenómenos de subsidencia hídrica es posible que ocurran, ya que este fenómeno está ocurriendo a una distancia cerca de 6 km. al Sur del área de estudio de este trabajo, dentro del municipio de Lerma (CONAGUA, 2012). Otro ilustrativo es en la Ciudad de México, espacialmente en la Delegación Iztapalapa, donde se ha presentado el fenómeno de subsidencia hídrica (por extracción de agua subterránea) de manera rápida por esta actividad. En 2008 se realizó un mapa de hundimiento regional en la Delegación Iztapalapa donde se estimó un hundimiento histórico de 0 a 12 m. entre los años 1862-2005 (Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México – Iztapalapa, 2014).

Este hundimiento progresivo de la superficie denominado como subsidencia en la Delegación Iztapalapa se encuentra de manera irregular alrededor de su extensión, asociado con fracturamiento en el suelo e infraestructura urbana, que sucede a partir del vacío generado por la extracción de agua subterránea y como tal, el desplazamiento de la masa de suelo (Nájera, M., 2013), esta problemática genera determinadas afectaciones a edificios, vialidades, infraestructura de bienes y servicios que no fue prevista para el futuro.

El antecedente anterior indica la susceptibilidad a la existencia del peligro por subsidencia en el área de estudio, ya que en la zona lacustre se encuentran ubicados alrededor de 17 pozos de extracción de agua para abastecimiento de la población ver subcapítulo 5.6 “Pozos de agua subterránea” (Figura 5.14).

Existen determinados aspectos para la existencia del fenómeno de subsidencia, sin embargo, al tratarse de subsidencia hídrica corresponde a la interacción del hombre por extracción de fluidos, en este caso, el agua. Sucede debido a que la presión del fluido es elevada en el sedimento o roca, lo cual ayuda a sostener el terreno suprayacente (Figura 5.10), posteriormente cuando el fluido es bombeado (el agua para su aprovechamiento), se reduce o se elimina el soporte y comienza la subsidencia de la superficie (Keller, 2004).

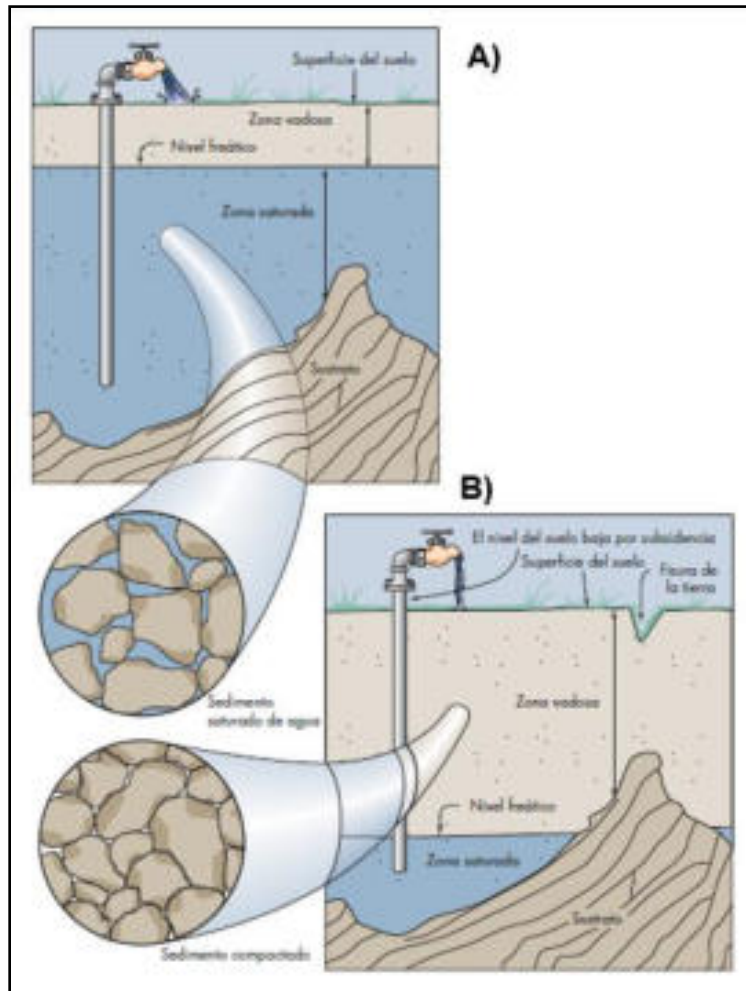


Figura 5.10 Diagrama de proceso de subsidencia, se muestra cómo se origina la subsidencia de la superficie por el bombeo de agua. A) el nivel freático se encuentra en buenas condiciones (el fluido rellena los poros manteniendo firme el terreno). B) la zona saturada se encuentra debajo del nivel freático. Cuando el agua subterránea se bombea, los poros se colapsan y el material se compacta. Dicha compactación puede causar la subsidencia de la superficie del terreno (De Kenny, R. 1992, citado por Keller, 2004)

Basándonos en el mapa geológico con la ubicación de los pozos, se pudieron determinar las zonas propensas a la ocurrencia de subsidencia por extracción de agua subterránea, este proceso es susceptible a suceder en la zona de estudio debido a que los pozos se encuentran en la zona de transición entre material ígneo de alguna manera estable y el material lacustre, correspondiente a materiales inestables, por consiguiente a partir de la extracción constante de agua subterránea sucederá lo que se observa en la figura 5.10.

5.5 Susceptibilidad sísmica local.

Teniendo en cuenta los datos que fueron recolectados en campo, y el mapa geológico, se determinaron 3 tipos de condiciones geológicas que predominan en el área Cerro de La Verónica; la zona de material ígneo (zona firme y dura con algunas fracturas), la zona de transición (donde existe una combinación de los materiales de las otras dos zonas, fluvial-lacustre y de abánicos aluviales) y la zona lacustre y de lagos (la zona blanda) (ver mapa de peligros en la figura 5.1). De acuerdo con estos datos, el área de estudio está conformada por material ígneo y depósitos sedimentarios distinguidos por una zona de transición (Figura 4.1).

Esta condición geológica, es similar a la cuenca sedimentaria de la Ciudad de México, la cual se encuentra rodeada de material ígneo (zona firme o dura que rodea la cuenca), la zona de transición (que se encuentra en la zona de cambio) y la zona lacustre y de lagos (zona blanda) (Figura 5.12) por el cual es considerado como un territorio con determinados escenarios de peligros catastróficos (Atienza V. et al, 2017), un claro ejemplo es lo sucedido el 19 de septiembre de 2017, donde la Ciudad de México fue sacudida por un terremoto de magnitud 7.1 donde su origen fue localizado entre los límites de Puebla y Morelos a unos 120 km. de la Ciudad de México (Servicio Sismológico Nacional (SSN), 2017), donde la velocidad de las ondas fue mayor en la zona de transición y por consiguiente el mayor índice de daños fue a lo largo de la misma, tal y como se muestra en la figura 5.10, trayendo consigo lamentablemente daños materiales, morales y humanos.

Con base en este antecedente, se definió una zona de susceptible a sismos locales, específicamente en las zonas transicionales del área de estudio, debido a que el incremento poblacional se está llevando a cabo en esta zona, no exceptuando algunas otras zonas, esto dependerá de los materiales litológicos que componen el subsuelo y las modificaciones que se generen en la superficie.

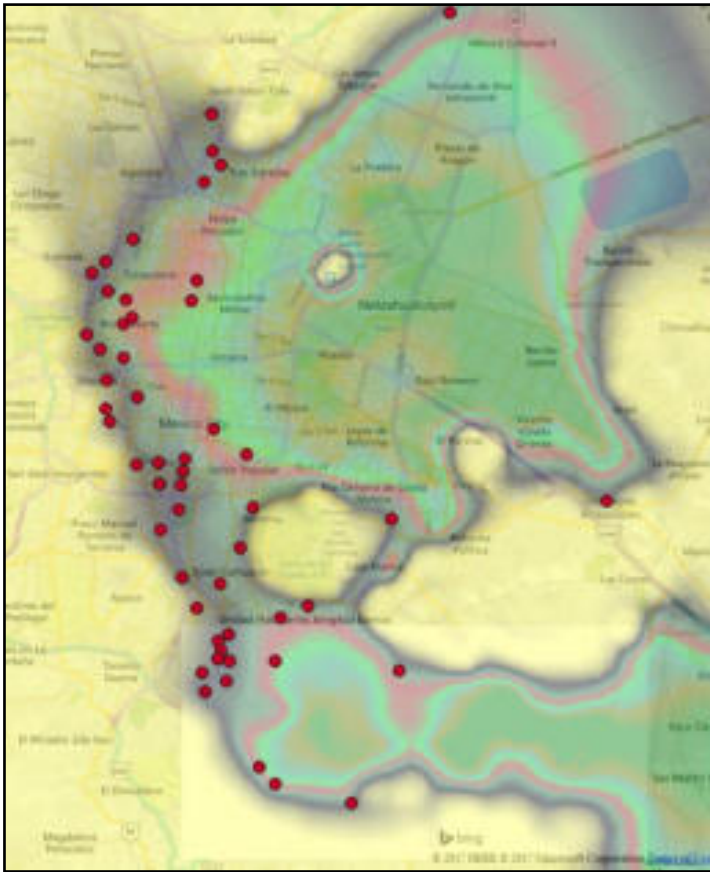


Figura 5.11 Localización de daños graves y colapsos durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 (puntos rojos). El mapa contiene tonalidades grises que representan periodos de 0.5 a 1.0 segundos, también conocida como zona de transición (de ERN Ingenieros Consultores, 2017, citado por Atienza, V. et al, 2017)

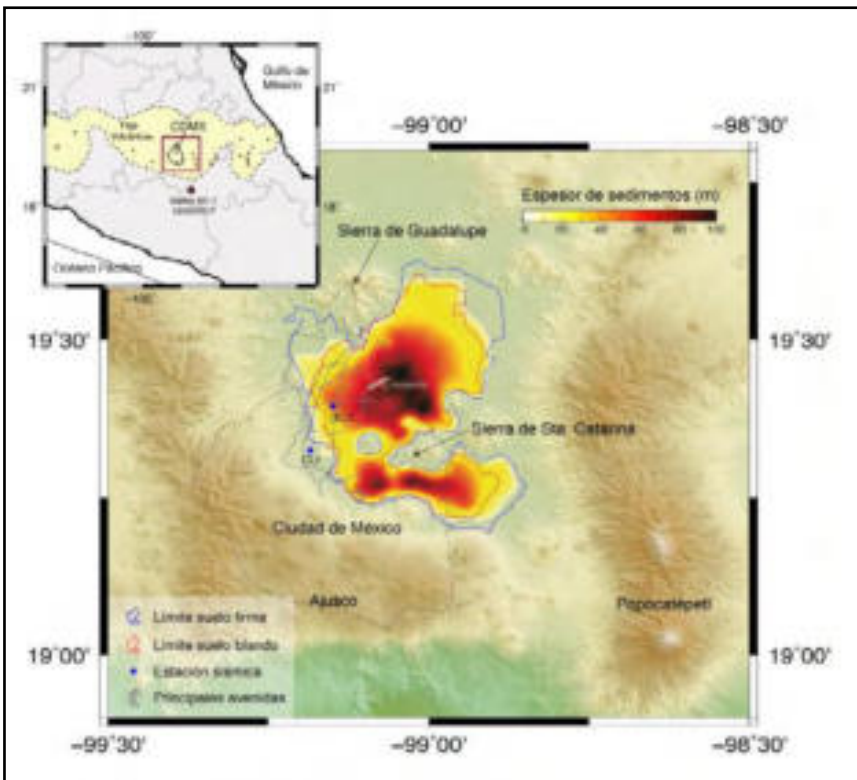


Figura 5.12 Espesor de la cuenca sedimentaria donde se encuentra gran parte de la Ciudad de México. La región entre los contornos azul y rojo representa la zona de transición entre el suelo firme y el suelo blando (Atienza V. et al, 2017)

5.6 Pozos de agua subterránea.

Cuando sucede el fenómeno hidrometeorológico llamado ciclo del agua donde su principal distribución del agua parte de la lluvia, una gran porción del agua escurre en la superficie, una parte, fluye por los ríos hasta desembocar en lagos y mares, otra parte se evapora y otra muy grande se infiltra en el terreno, formando abastecimientos de agua subterránea, una de las principales e importantes fuentes de agua para la vida del ser humano.

Para que este recurso subterráneo pueda ser extraído, se utilizan “pozos” agujeros taladrados en la zona de saturación, en estos pozos el agua puede migrar de manera que sea bombeada hasta la superficie, sin embargo, al exagerar en la extracción del fluido el nivel freático puede fluctuar de manera importante generando así un descenso de nivel freático (Figura 5.13) formando una depresión del cono de extracción (Tarbuck, E., 2005)

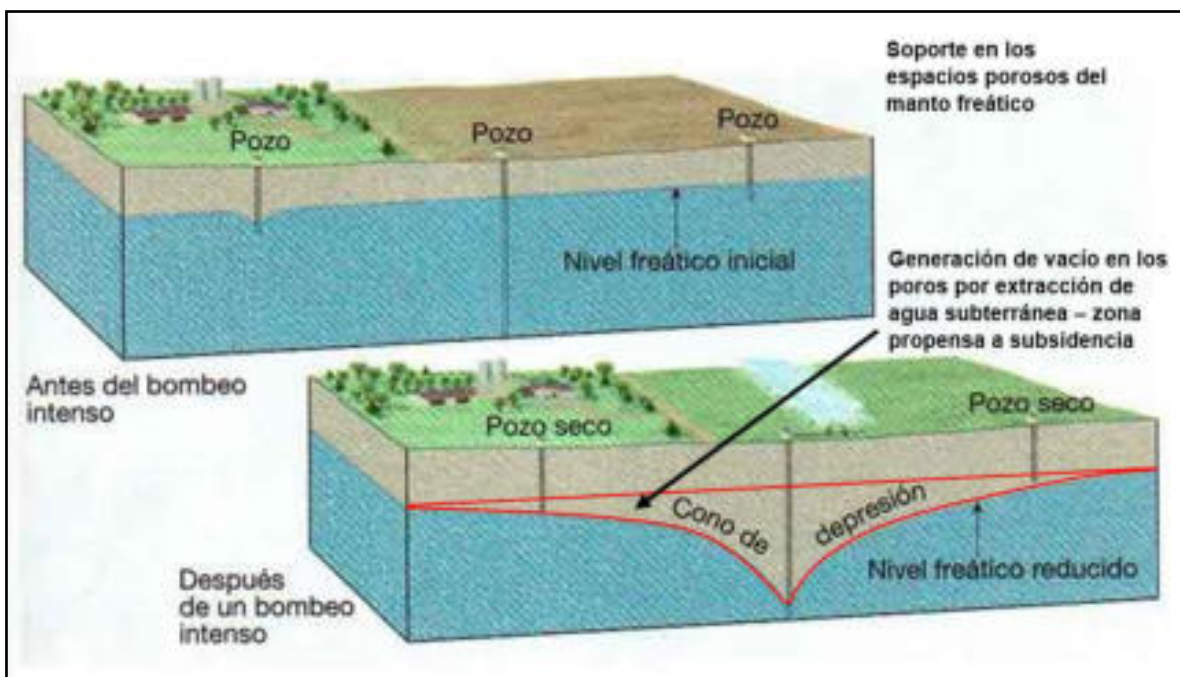


Figura 5.13 Esquema que ejemplifica la extracción de agua subterránea formando un cono de depresión y vacío en los poros del nivel freático (modificado de Tarbuck, E., 2005)

El área Cerro de La Verónica, cuenta con un aproximado de 17 pozos en funcionamiento para el abastecimiento de las localidades al Noroeste (NW) del municipio de Lerma y por la misma área circula la línea 3 del Sistema Cutzamala (Figura 5.14) (SEMARTNAT, 2010). Como se mencionó anteriormente en el subcapítulo 5.4, existen zonas propensas para la ocurrencia de subsidencia, esto correspondiente al vacío que se está generando por el descenso del manto freático a consecuencia de la extracción de agua subterránea en la zona lacustre y zona de transición.

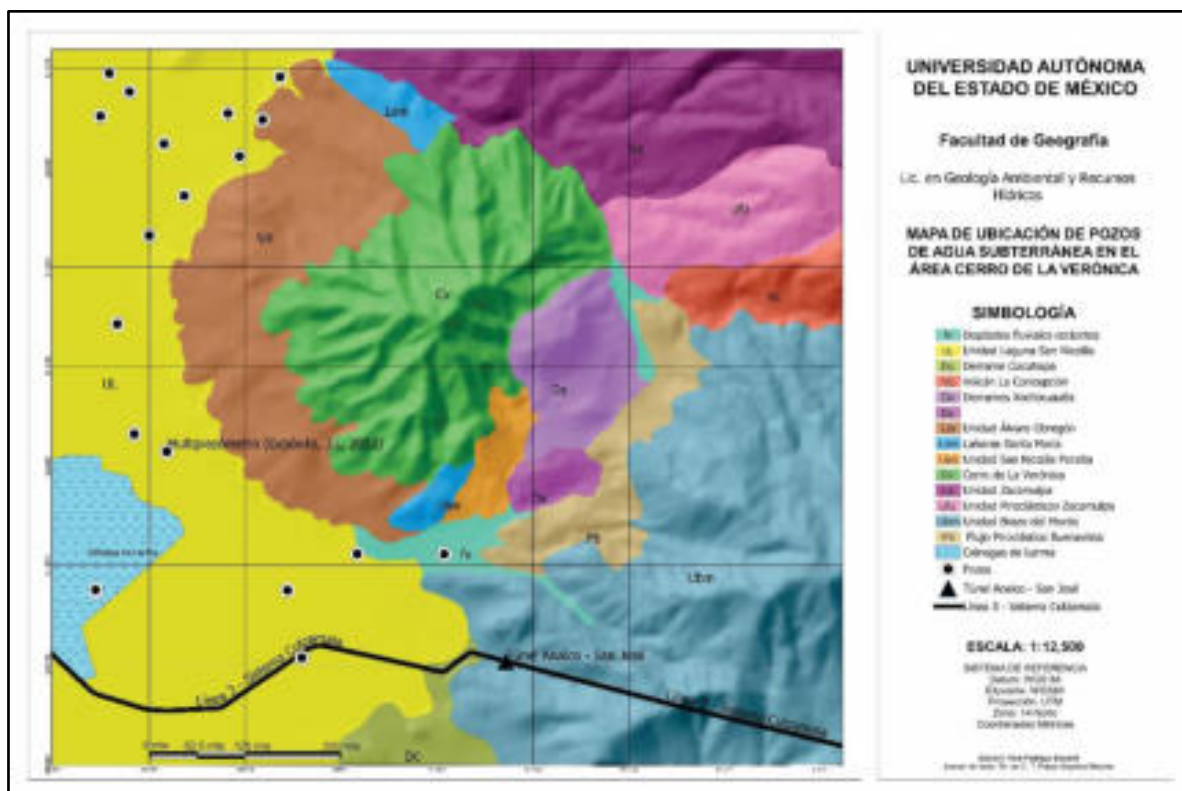


Figura 5.14 Mapa de ubicación de pozos en el área de estudio

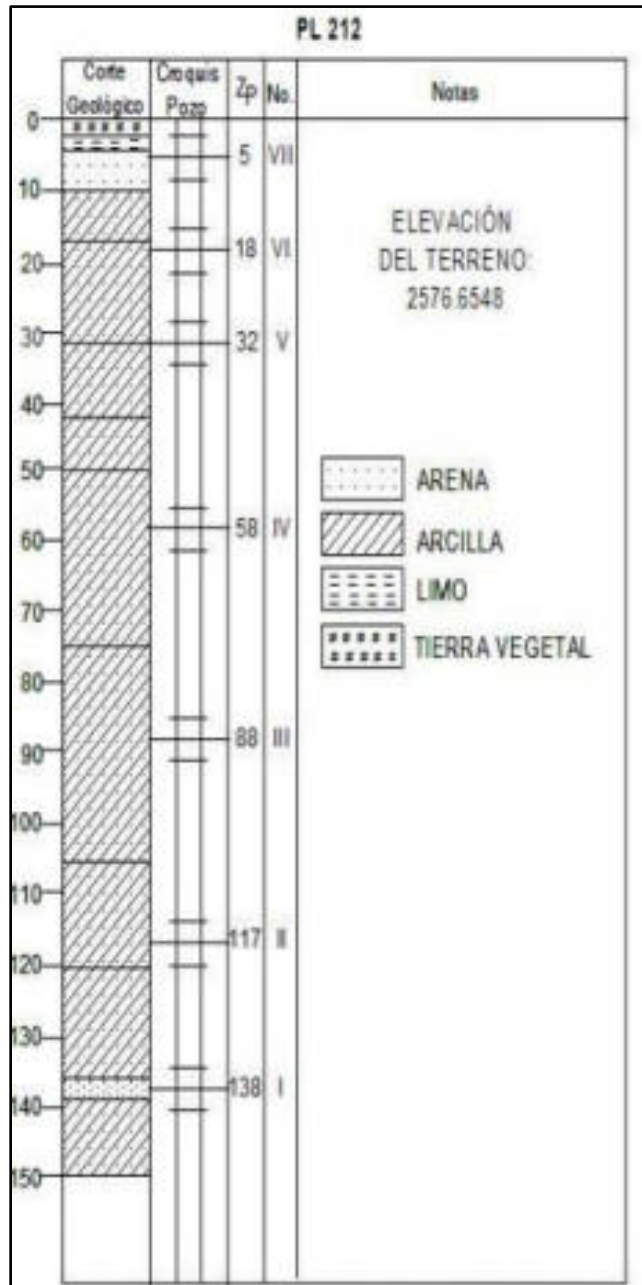


Figura 5.15 Columna estratigráfica de un multipiezómetro localizado en el área de estudio (ver mapa de ubicación de pozos para ubicar el multipiezómetro) (Expósito, J.L., 2012)

6. Conclusiones.

El área de estudio: Cerro de La Verónica se encuentra conformado por distintas unidades estratigráficas que fueron establecidas con base en la geología de campo y el análisis estratigráfico, estas unidades han tenido origen en diferentes estructuras volcánicas y otras que son de origen sedimentario por retrabajo de materiales volcánicos.

Las unidades estratigráficas definidas en el área fueron: Flujo piroclástico Buenavista, Unidad Brazo del Monte, Unidad Zacamulpa, Unidad Cerro de La Verónica, Unidad San Nicolás Peralta, Lahares Santa María, Unidad Álvaro Obregón, Domos Xochicuautla, Volcán La Concepción, Derrame Cocuhapa, Unidad Laguna San Nicolás y Depósitos fluviales recientes. Las unidades definidas, se formaron en edades que van desde el Plioceno hasta el Holoceno con base en lo ya documentado en trabajos anteriores y relaciones geológicas de este trabajo.

Dentro de este trabajo se realizaron análisis y evaluaciones geológicas y geológico - ambientales para la identificación y clasificación de las zonas de peligros geológicos, los cuales son de suma importancia como primer paso para otros estudios de carácter territorial. Estos peligros se encuentran relacionados con condiciones geológicas y geomorfológicas que se presentan en esta región. Los peligros geológicos están relacionados a fracturas y fallas, zonas de inundación, subsidencia hídrica y el crecimiento de la población invadiendo zonas transicionales litológicas.

La definición de la zona de transición es importante en relación con terremotos ya que es un cambio de material volcánico (ígneo) y de sedimentos fluviolacustres (sedimentario) que de cierta manera en un futuro existe la posibilidad de que puedan afectar a obras de infraestructura civil (carreteras y grandes construcciones) si ocurriera un terremoto.

Las fallas y fracturas se relacionan de gran manera con los derrumbes, ya que estas actúan como un catalizador para que consecuentemente sucedan los deslizamientos y formación de bloques fracturados, por otro lado, tomando en cuenta los depósitos de caída al ser alterado el afloramiento para usarse como base en las construcciones civiles, provoca derrumbes, ya que es un material no estable,

y si consideramos el aumento de deforestación para abarcar más territorio ocupacional, incrementa la existencia de zonas de peligros por derrumbes, por lo cual como medida de control y mitigación podría ser la reforestación para detener la erosión y exposición del suelo hacia agentes exógenos, la implementación de muros con pilotes en los barrancos para evitar la erosión remontante así como en las paredes fracturadas.

La subsidencia hídrica, es un problema que no muestra indicios físicos a la vista, no significando que no esté sucediendo, sin embargo, se considera la posibilidad de que esté ocurriendo esto debido a la extracción intensa de agua subterránea y al gran número de pozos existentes en el área que en algunos puntos no existe mucha distancia entre ellos, para ello se recomienda realizar un análisis más profundo con metodologías especializadas.

Se identificaron zonas de inundación adyacentes al Cerro de La Verónica hacia su parte Noroeste y Poniente. Estas zonas de inundación están relacionadas con el desborde de cauces de ríos que descienden de la Sierra de Las Cruces y de las barranas del Cerro de La Verónica. Otras zonas de inundación están ubicadas en donde se encuentran las unidades lacustres y con terrenos planos.

El Cerro de La Verónica, es una estructura geológica de domos andesíticos-dacíticos compuestos, que desarrolló flujos piroclásticos hacia sus alrededores.

La caracterización geológica y de geología ambiente en el área Cerro de La Verónica es básicamente antes de que el crecimiento poblacional lo ocupe. Ya que permite el conocimiento de poder predecir a futuro determinados procesos que desarrollan un escenario de peligro en lugares donde se proyecta un desarrollo urbano próximo, debido al crecimiento poblacional y a la prestación de servicios (vías de comunicación que conecta a grandes ciudades) que se ofrecen, por consiguiente, es importante realizar estudios especializados en cada peligro geológico catalogado para un mejor futuro en el desarrollo del ordenamiento territorial y otras aplicaciones.

Referencias.

- Asensi-Artiga, V., Parra-Pujante, A., 2002, El método científico y la nueva filosofía de la ciencia. *Anales de Documentación*, num. 5, pp. 9-19.
- Atienza, V., Singh, K., Schroeder, M., 2017, ¿Que ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México? *Revista Digital Universitaria (RDU)*, vol. 18, núm. 7.
- Ayala-Carcedo, F. J., 1987, *Introducción a los riesgos geológicos*. Madrid: I.G.M.E.
- Blanco-Sánchez, P., Arciniegas, G. B., Ortiz-Abaunza, D., 2010, La interferometría diferencial DIn-SAR - Una técnica para el monitoreo de la subsidencia en Bogotá D. C. *Boletín Colombiano de Geotecnia*.
- Cannon, T., 1979, *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, London: University Greenwich.
- Castaño-Fernández, S., Blanco, C., 1992, Sobre el método y la técnica de las Ciencias Geológicas. *Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, num. 7, pp. 233-246.
- Castro, A., 2015, *Petrografía de rocas ígneas y metamórficas*. Madrid-España, Ediciones Paraninfo.
- Cázares-Hernández, L., Christen, M., Jaramillo-Levi, E., Villaseñor-Roca, Zamudio-Rodríguez, L., 2013, *Técnicas actuales de investigación documental*. México: Trillas: UAM.
- Ceballos, G., 2003, *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*. Instituto de Ecología, UNAM.
- CENAPRED, 2006, *Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica*. México.
- Ciudad de México, Secretaría de Protección Civil, 2014, *Atlas de peligros y riesgos de la Ciudad de México - Iztapalapa*.
- Coe, L. A., 2010, *Geological field techniques*. Malaysia: Wiley-Blackwell.
- Compton, R., 1985, *Geology in the field*. South Africa: Stanford University.
- Cruz-Alberto A., 2019, *Registro de algunas manifestaciones geotérmicas en el Estado de México sus características geológico-ambientales*. Tesis de Licenciatura, Geología Ambiental y Recursos Hídricos, Universidad Autónoma del Estado de México. pp. 113.

- Expósito, J.L., 2012, Características Hidrodinámicas e Hidroquímicas del Acuífero multicapa del Valle de Toluca y sus implicaciones en la optimización de estrategias para la protección de la calidad del agua subterránea. Tesis de Doctorado en Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Fossen, H., 2010, Structural geology. Primera ed. United States of America: Cambridge.
- Gallegos, A., 2016, Gestión Ambiental en el Territorio del Lago de Chalco, Valle de Chalco Solidaridad. Tesis de Licenciatura en Geografía Humana, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Garcés, J., 2014, Geología del Complejo Volcánico San Miguel, Sierra de las Cruces, Suroeste de la Cuenca de México (Tesis de grado), Ciudad Universitaria, México.
- García-Palomo, A., Zamorano, J.J., López-Miguel, C., Galván-García, A., Carlos-Valerio, V., Ortega, R., Macías, J. J. ,2008, El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 25(1), pp. 158-178.
- García-Romero, A., Muñoz-Jiménez, 2000, Transformaciones ambientales y paisajísticas en el borde occidental del área metropolitana de Ciudad de México. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 20, pp. 265-282.
- Gobierno del Estado de México, Dirección General de Protección Civil del Estado de México, Protección Civil Lerma, 2016, Atlas de riesgos Lerma. Lerma, Estado de México.
- González de Vallejo, L. I., 2004, Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson.
- Guerra-Peña, F., 2003, Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, num. 50, pp. 42-66.
- Gutiérrez, A. J., 2005, Guía teórica de fotogeología, Mérida: Universidad de los Andes.
<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/materias/Fotogeologia/Fotogeologia%EDaGu%EDa.pdf>
- Hernández-Sampieri, R. Fernández, C., Baptista, P., 2000, Metodología de la investigación. México, DF: McGRAW-HILL.
- Jiménez, R., 2017, Pobladores paran obra de autopista Toluca-Naucaupan. México. El Universal.

<http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2017/06/13/pobladores-paran-obra-de-autopista-toluca-naucalpan>

- Keller, A., 2004, Riesgos naturales, procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Madrid-España: Pearson.
- Keller, A., 2008, Introduction to environmental geology. Cuarta ed. Nueva Jersey: Pearson.
- López-Cano, J., 2001, Métodos e hipótesis científicos. Tercera ed. México: Trillas.
- López-Ramos, E., 1993, Geología general y de México. México: Trillas.
- Mantilla, H. R., 2005, Geología general. Segunda ed. Lima-Perú.
- Martínez-González, H., 1979, Las Técnicas de la investigación documental. Primer ed. México, DF: Universidad Autónoma Metropolitana.
- MacKenzie, A., Donaldson, H., Guilford, C., 1996, Atlas de rocas ígneas y sus texturas. Barcelona, Masson.
- Montgomery, M., 2011, Environmental geology. Novena ed. New York: McGrawHill.
- Mora-Álvarez, G., Caballero, C., Urrutia-Fucugauchi, J., Uchiumi, S. 1991. Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, basin of Mexico? A preliminary K-Ar dating and paleomagnetic study: Geofísica Internacional 30 (2), pp. 61-70.
- Nájera, M., 2013, Peligros por fallas, fracturas y hundimientos del suelo en la Delegación Iztapalapa. Propuesta para una Gestión Integral de Riesgo de Desastre. EAPDF.
- Osete, M.L., Ruiz-Martínez, V.C., Caballero, C., Galindo, C., Urrutia-Fucugauchi., 2000, Southward migration of continental volcanic activity in the Sierra de Las Cruces, Mexico: palaeomagnetic and radiometric evidence. Tectonophysics, 318(1-4), pp. 201-215.
- Pineda-Tovar, J., 2014, Procesos gravitacionales en el Municipio de Lerma, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Geografía y Ordenamiento del Territorio Universidad Autónoma del Estado de México.
- SEMARNAT, 2010, Autopista Toluca-Naucalpan. Tramo del km. 11+128 al km. 37+083, en el Estado de México, Toluca: Oficio No. DFMARNAT/1681/2010.
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mex/resolutivos/2010/15EM2010VD006.pdf>

- Senticala-Sosa, N., 2016, Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos de masa - poblados de Pampamarca y Acobamba, Región Huánuco: Puno - Perú. Universidad Autónoma del Altiplano, Facultad de Ingeniería y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Volumen tesis de licenciatura, pp. 43.
- Servicio Sismológico Nacional (SSN), 2017, Reporte Especial, Sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Tarbuck, E., Lutgens, F., 2005, Ciencias de la Tierra. Madrid: Pearson.
- Tomás, R., Herrera G., Delgado, J., Peña, F., 2009, Subsistencia del terreno. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 1(17.3), pp. 296-298.
- Valenzuela-Ortíz, G., 2003, La geología ambiental en la zonificación de amenazas naturales, Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Velasco, J., 2008, La Ciénaga de Chiconahuapan, Estado de México: un humedal en deterioro constante. Contribuciones desde Coatepec. Núm. 15.

Anexos.

Anexo 1. Análisis Petrográfico.

La petrografía es una disciplina geológica dedicada a la descripción y clasificación de las rocas, esta tarea precisa del uso de una herramienta básica, el microscopio petrográfico de polarización (Castro, A. et al, 2015)

Para el desarrollo del estudio petrográfico mediante descripción microscópica, se llevó a cabo la realización de láminas delgadas en el taller de laminación del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) de 3 muestras de roca en diferentes puntos del área de estudio recolectadas en campo, para determinar el tipo de roca y su composición mineralógica.

Muestra P-27.

La muestra P-27, fue recolectada en el punto 27 del área de estudio entre la porción Central en la parte SW del Cerro de La Verónica en localidad de La Colonia Álvaro Obregón, tras la observación microscópica se determinó una textura porfídica, con una matriz vítrea y una estructura donde se pueden observar de manera clara sus componentes.

Los componentes minerales que fueron identificados en la muestra son, anfíboles, y plagioclasas, de la misma manera, con una proporción aproximada de 35% y 65%. Los anfíboles, en particular la hornblenda es un mineral que, en este caso, presenta macla del mismo mineral, donde se puede observar una simetría de los dos minerales de hornblenda acomodados de una cierta manera simétrica (Figura 1), de igual manera, presenta un grado mayor de oxidación que las plagioclasas.

Las plagioclasas se encuentran de manera predominante en la muestra, de un color claro y revuelta en pequeños fragmentos en medio de la matriz vítrea de la muestra.

A partir de los resultados de la observación microscópica, la muestra de roca se definió como una Andesita.

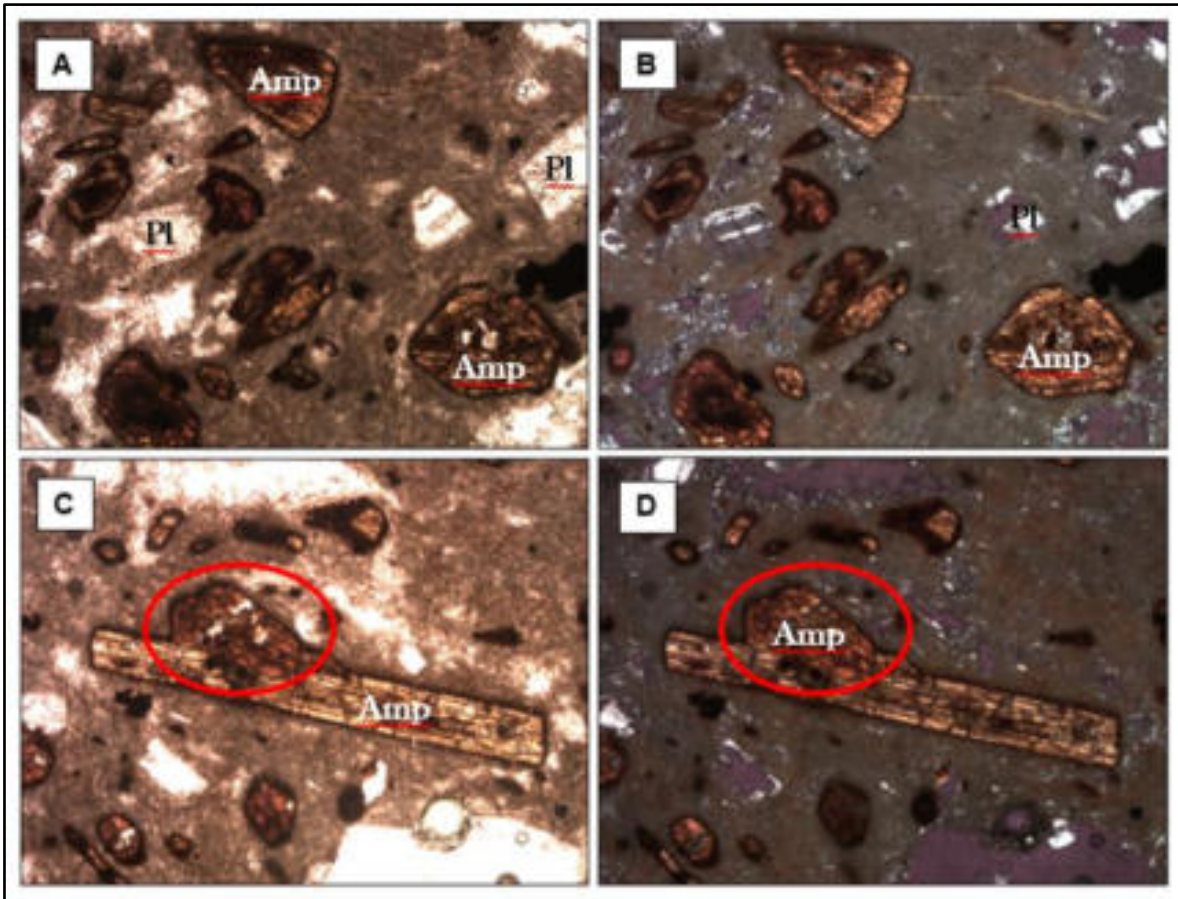


Figura 1. Microfotografía de secciones delgadas de la muestra P-27. A, vista general donde se observan anfíboles (Amp) en pequeñas dimensiones color dorado pardo distribuidos en una matriz vítrea, se pueden observar pequeños fragmentos de plagioclasas (Pl) en la porción derecha de la microfotografía, observada con Luz Polarizada Plana (LPP). B, muestra "A" observada en Nícoles Cruzados (NX). C, anfíbol con macla de manera poco simétrica con un grado más alto de oxidación encerrada en un círculo rojo, observada con Luz Polarizada Plana (LPP). D, muestra "C" observada con Nícoles Cruzados (NX).

Muestra P-31.

La muestra P-31 se recolectó en el punto 31 de nuestra área de estudio en la porción Sur, se realizó la observación microscópica y se aprecia una alteración probablemente hidrotermal de nivel intermedio, así como una textura porfídica mejor conservada que la muestra P-41.

Los componentes minerales que fueron identificados en la muestra son, hornblenda, biotita (mica), plagioclasa y probablemente cuarzo incrustado en las plagioclasas. La hornblenda presenta alteración por probable hidrotermalismo en la zona, convirtiéndose en biotita (mica), se puede apreciar en la figura 2 donde existe la modificación de hornblenda (parte externa con color café intenso) a biotita (parte interna, con color pardo claro).

Las plagioclasas de esta muestra presentan formas angulares y subangulares, de acuerdo con la línea de Becke la cual cuenta con un relieve negativo, se determina que probablemente esta plagioclasa sea sódica y de la misma manera, alterada por

hidrotermalismo. Cabe mencionar que determinados cristales de plagioclasa presentan pequeños fragmentos de cuarzo incrustado en ellos, esto cambia la descripción de las propiedades de la roca y se determinó como andesita-dacita.

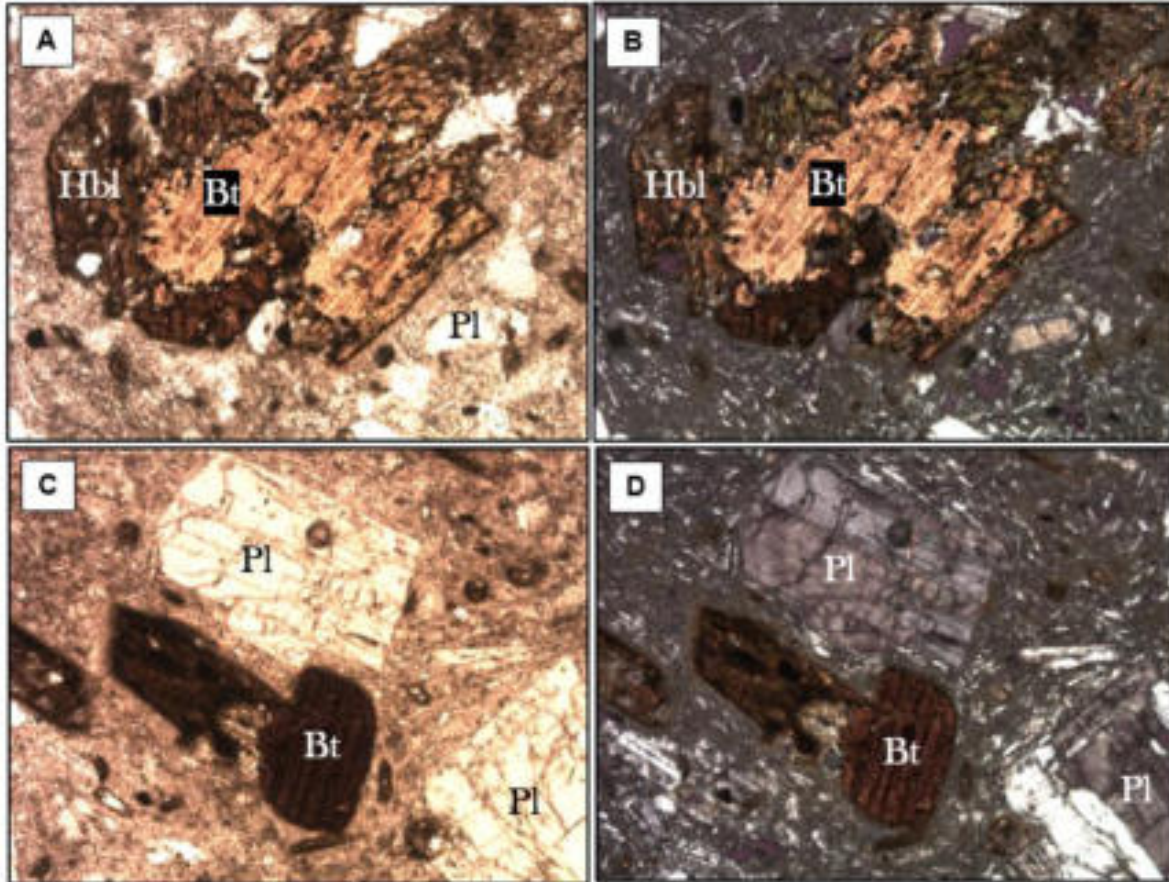


Figura 2. Microfotografía de secciones delgadas. A, hornblenda (Hbl) alterada a biotita (Bt), la parte externa del cristal color café oscuro, es hornblenda, la parte central del cristal color dorado pardo es la biotita, observada con Luz Polarizada Plana (LLP). B, muestra A observada en Nícoles Cruzados (NX). C, Vista general de la muestra donde se observan cristales de diferentes tamaños de biotita y plagioclasas (Pl) observada con LLP. D, misma muestra C, pero observada con NX, en la plagioclasa de la esquina inferior se observa un cristal de cuarzo (Qtz) incrustado en el cristal de plagioclasa.

Muestra P-41.

La muestra P-41 se recolectó en el punto 41 de nuestra área de estudio en la porción Sur del área de estudio, se realizó la observación microscópica y se aprecia una textura glomeroporfiídica (textura porfídica donde los fenocristales se agrupan en agregados o en nódulos (Mackenzie, W., 1996)) en algunos puntos de la muestra, cerca del 30%.

Los componentes que fueron reconocidos en la muestra son particulares como, piroxenos y fenocristales de plagioclasa probablemente ambas en una proporción de 50% y 50%.

Los fenocristales de plagioclasa presentan una forma de prisma y una estructura de zonación oscilatoria en diversos sectores de la plagioclasa, estos fenocristales presentan fracturamiento interno y externo, así como un relieve bajo.

Los piroxenos presentan formas alargadas anedrales y subedrales con color claro amarillento observados con Luz Polarizada Plana (LLP), estos presentan determinados tamaños, grandes y pequeños, de la misma manera se encuentran fracturados y tienen una textura glomeroporfídica en donde se observan fenocristales cristalizados en grupos (Figura 3).

Con estas observaciones petrográficas, se determinó que la muestra P27, corresponde a una composición basáltica}-andesítica.

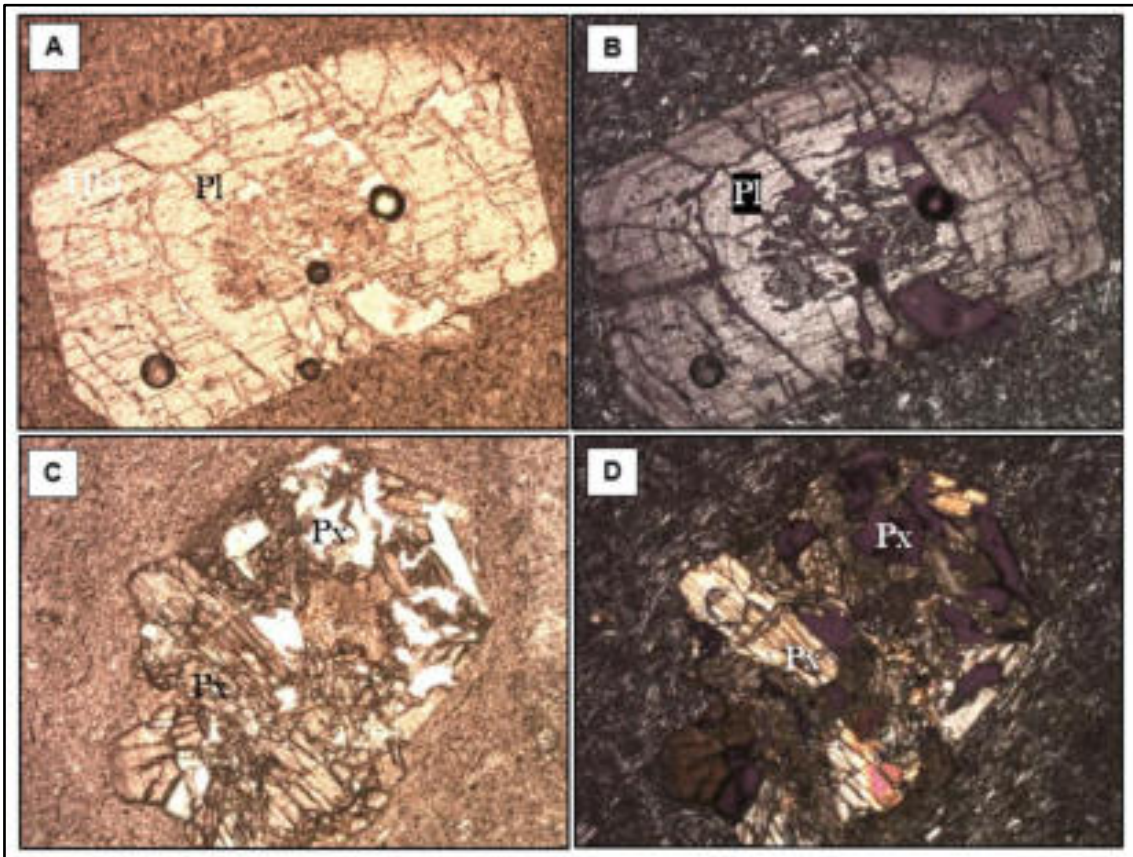


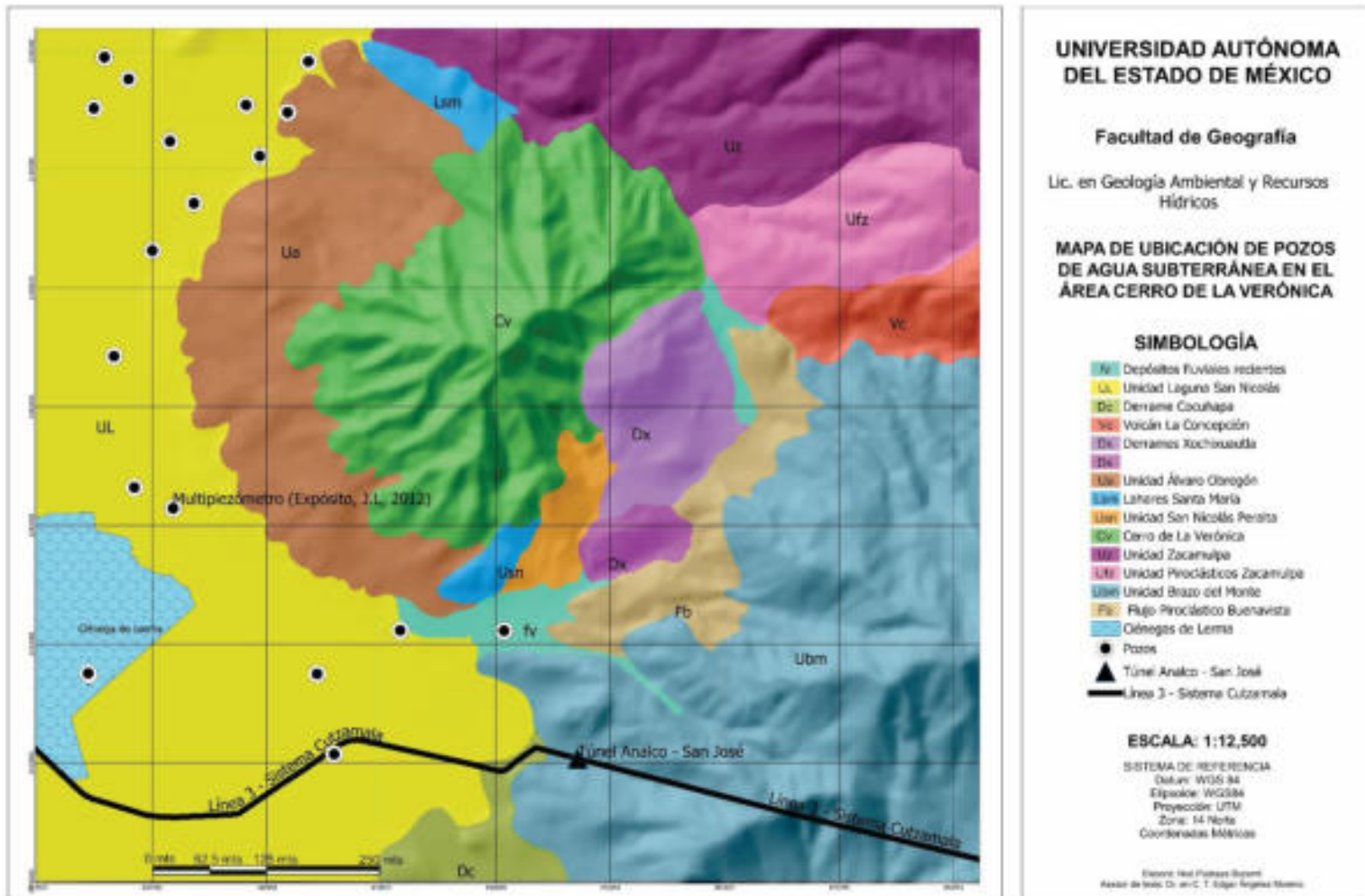
Figura 3. Microfotografía de secciones delgadas. A, fenocristal de plagioclasas (Pl) alargada con fracturas en diversas direcciones capturada con Luz Polarizada Plana (LLP). B, fenocristal de plagioclasa capturada con Nícoles Cruzados (NX), con zonación oscilatoria. C, piroxenos (Px) con textura glomeroporfídica, capturada con LLP. D, piroxenos observados con NX.

LITOLOGÍA

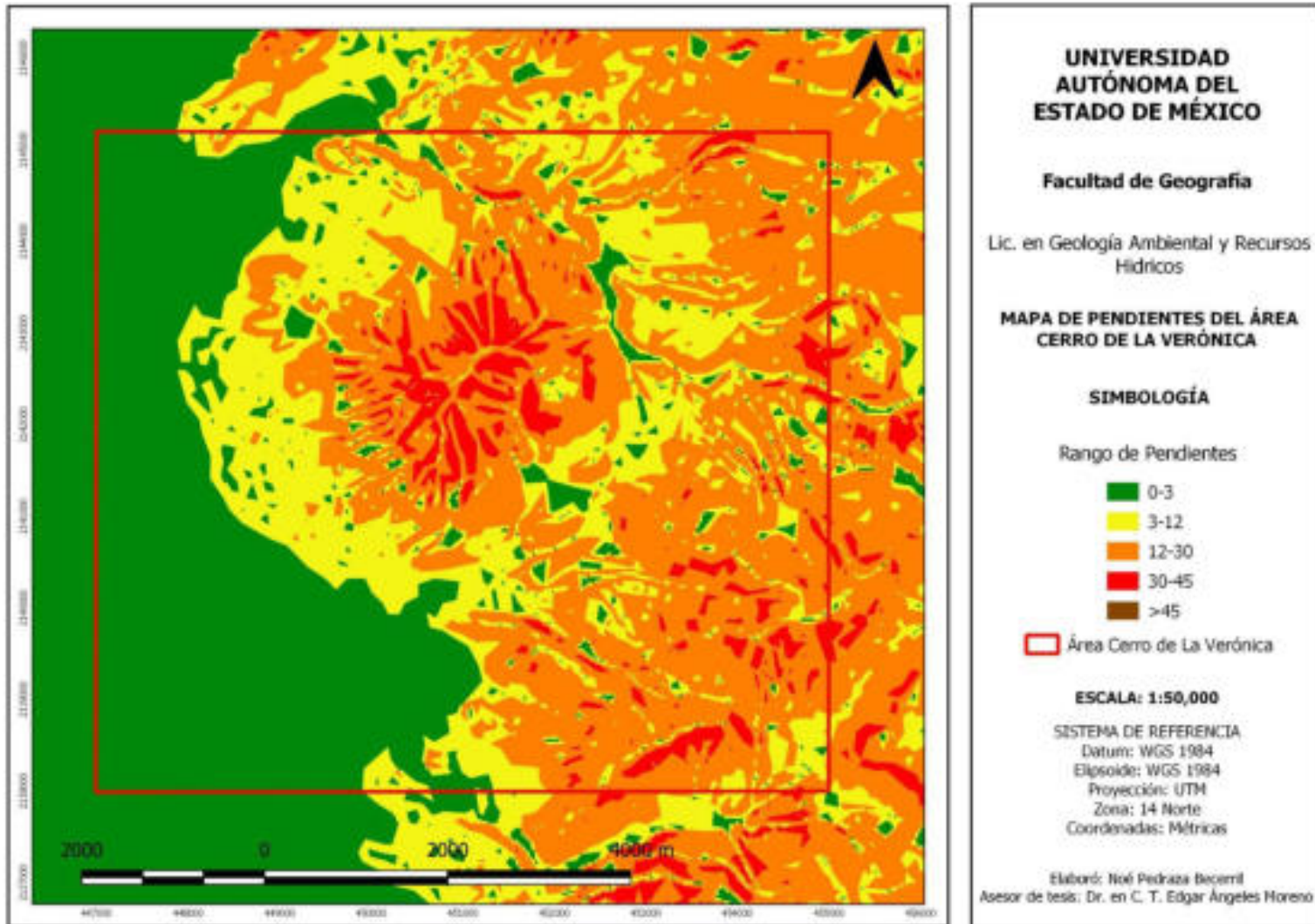
Holoceno	fv	Depósitos fluviales recientes	Depósitos sedimentarios de arenas y gravas.
	UL	Unidad Laguna San Nicolás	Limos-arcillas de origen lacustre y materiales fluvio-lacustres con arenas gruesas y clastos de roca volcánica erráticos.
Pleistoceno	Dc	Derrame Cocuhapa	Derrames lávicos de andesita y en bloques, cubiertos por ceniza volcánica.
	Vc	Volcán La Concepción	Derrames lávicos de basalto-andesita con estructura de bloques y diaclasas de enfriamiento.
Plioceno	Dx	Domos Xochicauhtla	Domos dacíticos-andesíticos con derrames de lava tipo lava-dome y flujos de bloques.
	Dx		
	Ua	Unidad Álvaro Obregón	Depósitos sedimentarios de arenas, limos y gravas que representan facies de abanicos aluviales y algunas capas de paleosuelos.
	Lsm	Lahares Santa María	Lahares y depósitos volcanoclasticos con mala clasificación de diferentes tamaños.
	Usn	Unidad San Nicolás Peralta	Secuencias sedimentarias mezcladas con depósitos aluviales-fluviales y flujos piroclásticos.
	Cv	Unidad Cerro de La Verónica	Derrames de tipo lava-dome, con bloques y fracturas de andesita y dacita.
	Uz	Unidad Zacamulpa	Derrames de dacita-andesita, con estructuras de foliación de flujo y fracturas hacia el SE.
	Ufz	Flujos piroclásticos Zacamulpa	Flujos de pómez y ceniza (color blanca), con determinados bloques de andesita.
	Ubm	Unidad Brazo del Monte	Andesitas, dacitas y domos volcánicos.
	Fb	Flujo piroclástico Buenavista	Flujos piroclásticos andesíticos.

Anexo 3. Columna estratigráfica con edades aproximadas.

Anexo 4. Mapa de ubicación de pozos de extracción de agua subterránea en el área Cerro de La Verónica.



Anexo 5. Mapa de pendientes del área Cerro de La Verónica



Anexo 6. Mapa de peligros geológicos en el área Cerro de La Verónica.

