



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Riesgo geológico en el municipio
de Tultitlán de Mariano
Escobedo, Estado de México**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero geólogo

P R E S E N T A

Trejo González Rodrigo

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Martín Carlos Vidal García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS DE LA TIERRA
OFICIO FING/DICT/0975/2018

SR. RODRIGO TREJO GONZÁLEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento que la opción de titulación: **POR TESIS**, así como el tema y contenido propuestos por el Ing. **Martín Carlos Vidal García** en calidad de **Director de Tesis**, han sido aprobados por el comité de titulación de la carrera de **Ingeniería Geológica** y se muestran a continuación

RIESGO GEOLÓGICO EN EL MUNICIPIO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, ESTADO DE MÉXICO.

- I GENERALIDADES
 - II GEOLOGÍA REGIONAL Y DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - III CLASIFICACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS
 - IV DISCUSIÓN DEL REGLAMENTO DEL ESTADO DE MÉXICO Y DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Por otra parte, le comunico que le ha sido asignado el siguiente jurado que tendrá como función básica, avalar su trabajo escrito y autorizar la réplica oral requerida para la obtención del título profesional, de acuerdo al Reglamento de Opciones de Titulación vigente.

PRESIDENTE: ING. FRANCISCO ALEJANDRO ARROYO CARRASCO
VOCAL: ING. MARTÍN CARLOS VIDAL GARCÍA
SECRETARIO: ING. JOSÉ LUIS ARCOS HERNÁNDEZ
1ER. SUPLENTE: ING. GABRIEL SALINAS CALLEROS
2DO. SUPLENTE: DRA. DALIA DEL CARMEN JOSEFA ORTIZ ZAMORA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de Administración Escolar, en el sentido que se imprima en lugar visible de cada ejemplar del trabajo escrito, el título de este.

Asimismo, le recuerdo que para optar por el título profesional, es necesario haber acreditado el 100% de los créditos establecidos en el plan de estudios, haber realizado el Servicio Social de acuerdo con la Legislación Universitaria y haber aprobado el examen de comprensión de lectura de un idioma extranjero, en términos de lo dispuesto por el Consejo Técnico.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., 11 de septiembre 2018
El Presidente del Comité de Titulación de Ingeniería Geológica


DR. ENRIQUE ALEJANDRO GONZÁLEZ TORRES

ccp Coordinador de la Carrera
ccp Interesado

AGRADECIMIENTOS.

A ustedes, Norma Patricia y Miguel que con su apoyo y educación me han hecho crecer como ser humano. Que me han brindado tiempo, espacio, amor y felicidad desde el día en que empecé con este sueño. A ustedes les debo todo. Esto es de ustedes, por ustedes y para ustedes.

A usted ingeniero Martín Carlos Vidal que me apoyó desde el primer día que empezamos este proyecto, que consiguió tiempo de donde no tenía para guiarme. Por su conocimiento, paciencia, amabilidad, espacio, cada uno de sus consejos y por esas charlas en su cubículo sobre geología y la situación social – económica del país. Por enfocarme a una nueva rama de la Geología que sinceramente, me ha encantado.

A mis profesores que me compartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera. Me llevo un poco de cada uno al campo laboral y sé que con eso seré un ingeniero ético y productivo en todo lo que me proponga.

A mis amigos, Gabriel, Daniela, Mónica, Martha, Enrique, Román, porque me permitieron conocerlos y aprender de cada uno de ustedes. Por hacer de este viaje llamado Universidad el mejor. Pero en especial a María Fernanda y Margarita, quienes me enseñaron lo que es la amistad.

A ti Andrea, que llegaste en un momento tal vez extraño, pero te quedaste para apoyarme. Por tu cariño, tus consejos, tus palabras de aliento cuando ya no le veía fin a este trabajo, tus abrazos cuando más lo necesité. El tiempo es sabio y sabrá recompensarte. Quiero verte triunfar siempre.

A mi *alma máter* la Universidad Nacional Autónoma de México por albergarme durante 5 años en la Facultad de Ingeniería, en donde pasé los mejores momentos de mi vida hasta el momento. Por el apoyo educacional y económico que me brindó. Por hacerme participe de una generación de ingenieros geólogos que saldrá a competir laboralmente para dejar en alto el nombre de la Universidad.

Gracias.

RESUMEN.

A consecuencia de las pérdidas socio-económicas derivadas de fenómenos naturales, en el presente trabajo de tesis se realizó un análisis geológico e hidrometeorológico con base en estudios geológicos publicados y reconocimientos en el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo; con la finalidad de realizar un análisis y procesamiento de la información para elaborar mapas de riesgo con los cuales se pretende aportar resultados para que en lo futuro las autoridades los consideren para mitigar daños en el municipio.

La presente tesis tiene sustento ante la necesidad de conocer las causas geológicas e hidrometeorológicas que han causado pérdidas socio-económicas en el municipio. En la última década la población ha ascendido a medio millón de personas en la demarcación de Tultitlán de Mariano Escobedo, en donde transitan aproximadamente 800,000 personas diariamente hacia los diversos estados del país como Querétaro, Hidalgo, Puebla, Toluca de Lerdo y Tlaxcala; motivo por el cual es indispensable tener elementos suficientes para realizar obras de prevención, auxilio y recuperación en las zonas de riesgo potencial, esto con el fin de salvaguardar la integridad de la población, así como de su patrimonio.

Los mapas de riesgo y el análisis elaborado surgen ante la necesidad de una continua actualización del plan de Protección Civil; para ofrecer bases en la toma de decisiones y se incorporen a los programas de prevención y auxilio en caso de desastre natural.

ABSTRACT.

As a result of socio-economic losses because of natural phenomena, in the current thesis work were done geological and hydrometeorological analysis based on geological studies published and field trips in the *Tultitlan de Mariano Escobedo* township; it with the goal to do information analysis and information processing for making risk maps with those intend to provide results so that in the future the authorities consider it to mitigate damages in the municipality.

The current thesis has support before the necessity for knowing the geological and hydrometeorological causes that have caused socio-economic losses in the municipality. In the last decade the population has grown to half a million of people in the area of *Tultitlan de Mariano Escobedo*, where transit approximately 800,000 people daily to the various states of the country like *Querétaro, Hidalgo, Puebla, Toluca de Lerdo* and *Tlaxcala*; for this reason is indispensable have enough elements to do prevention, assistance and recuperation projects in the potential risk zones, this in order to safeguard the population's integrity, as well as their patrimony.

The risk maps and the analysis done came up to the necessity of a continuous update of the Civil Protection plan; in order to give bases in making decisions and those will incorporate to the prevention and help programs in case of a natural disaster.

ÍNDICE.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVO	2
1.3 LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO	3
1.4 VÍAS DE COMUNICACIÓN	5
1.5 POBLACIÓN	9
1.6 SERVICIOS	12
1.7 GEOMORFOLOGÍA.....	15
1.7.3 Hipsometría.....	17
1.7.2 Sierra de Guadalupe.....	18
1.8 HIDROLOGÍA.....	19
1.8.1 Infraestructura hidráulica	22
1.9 HIDROGEOLOGÍA.....	23
1.9.1 Parámetros hidráulicos	25
1.9.2 Abatimiento de pozos.....	25
CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA.....	29
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	29
2.2 FISIOGRAFÍA	32
2.3 GEOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO.....	33
2.3.1 Secciones Geológicas.....	35
2.4 ESTRATIGRAFÍA	38
2.5 INFORMACIÓN GEOTÉCNICA	41
2.5.1 Sondeos geotécnicos	43
2.5.2 Secciones geotécnicas	48
2.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	52
CAPÍTULO 3. RIESGOS	55
3.1 DEFINICIÓN DE RIESGO.....	55
3.2 CLASIFICACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS	56
3.3 RIESGO POR DESLIZAMIENTO DEL TERRENO	56
3.4 RIESGO POR INUNDACIÓN.....	59
3.6 RIESGO POR SUBSIDENCIA.....	65
3.7 RIESGO POR SISMICIDAD.....	68
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN	74
4.1 REGLAMENTO DEL LIBRO SEXTO DEL CÓDIGO ADMINISTRATIVO DEL ESTADO DE MÉXICO.....	74
4.2 RESULTADOS DEL RIESGO EN EL MUNICIPIO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, ESTADO DE MÉXICO	81
4.2.1 RIESGO POR DESLIZAMIENTO DEL TERRENO EN LADERAS.....	81
4.2.2 RIESGO POR INUNDACIÓN.....	85
4.2.3 RIESGO POR SUBSIDENCIA.....	91
4.2.4 RIESGO POR SISMICIDAD.....	95
MAPA INTEGRAL DE RIESGOS	99
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
5.1 CONCLUSIONES	100
5.2 RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
ANEXO.....	107

LISTADO DE FIGURAS.

FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LOS LAGOS EN LA CUENCA DE MÉXICO, MODIFICADO DE ESCOBAR-AUBERT. 2004.....	1
FIGURA 2. ESCUDO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, TOMADO DE MONOGRAFÍA MUNICIPAL, 2017.....	2
FIGURA 3. TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO EN EL ÁMBITO ADMINISTRATIVO. TOMADO DE GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO, 2011.	3
FIGURA 4. TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO Y SUS COLINDANCIAS.....	4
FIGURA 5. RECORRIDO DEL TREN SUBURBANO Y VÍAS DE TREN DE CARGA.....	6
FIGURA 6. PRINCIPALES VÍAS CARRETERAS QUE RECORREN POR TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO.....	8
FIGURA 7. A) USO DE SUELO URBANO (COLOR AMARILLO) EN 1985. B) ÁREA URBANA EN COLOR AMARILLO PARA EL AÑO 2016. IMÁGENES MODIFICADAS DE AYALA-LÓPEZ, 2017.....	10
FIGURA 8. RELACIÓN ENTRE HOMBRES Y MUJERES, PODEMOS OBSERVAR QUE LA MITAD DE LA POBLACIÓN TIENE 29 AÑOS O MENOS, TOMADA DE PANORAMA SOCIODEMOGRÁFICO DEL ESTADO DE MÉXICO, 2015.....	10
FIGURA 9. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS. EL 52.2% SON POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA. ESTO ES REFERIDO A UNA POBLACIÓN DE 12 AÑOS Y MÁS. TOMADA DE PANORAMA SOCIODEMOGRÁFICO DEL ESTADO DE MÉXICO, 2015.....	11
FIGURA 10. CARACTERÍSTICAS EDUCATIVAS. ESTUDIO REFERIDO A LA POBLACIÓN DE 15 AÑOS Y MÁS. NIVEL DE ESCOLARIDAD. TOMADA DE PANORAMA SOCIODEMOGRÁFICO DEL ESTADO DE MÉXICO, 2015.....	11
FIGURA 11. AFILIACIÓN A SERVICIOS DE SALUD. LA POBLACIÓN TOTAL DEL MUNICIPIO AFILIADA ES DE 76.6%. DENTRO DE LA QUE SE DERIVAN A DISTINTAS INSTITUCIONES. TOMADA DE PANORAMA SOCIODEMOGRÁFICO DEL ESTADO DE MÉXICO, 2015.....	11
FIGURA 12. TOPOGRAFÍA DEL MUNICIPIO CON PERFILES DE ELEVACIÓN (A – A’) Y (B – B’).	15
FIGURA 13. PERFIL DE ELEVACIÓN NOROESTE – SURESTE DEL MUNICIPIO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, ESTADO DE MÉXICO, TOMADO DE GOOGLE EARTH.	16
FIGURA 14. PERFIL DE ELEVACIÓN NORTE – SUR DEL MUNICIPIO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, ESTADO DE MÉXICO, TOMADO DE GOOGLE EARTH.	16
FIGURA 15. HIPSOMETRÍA DEL MUNICIPIO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO.....	18
FIGURA 16. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN RESALTANDO LAS ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS MÁS IMPORTANTES. EN COLOR AMARILLO EL MUNICIPIO EN ESTUDIO.	19
FIGURA 17. LOCALIZACIÓN LA REGIÓN HIDROGRÁFICA AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO DENTRO DE LA REGIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO PÁNUCO.	20
FIGURA 18. LOCALIZACIÓN DE TULTITLÁN DENTRO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO.....	20
FIGURA 19. SUB CUENCAS HIDROGRÁFICAS, CANALES Y CORRIENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO.	22
FIGURA 20. ACUÍFERO CUAUTITLÁN – PACHUCA Y DISTINTOS ACUÍFEROS ALREDEDOR.....	23
FIGURA 21. SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL MUNICIPIO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, MODIFICADA DE TIBURCIO-SÁNCHEZ Y PEREVOCHTCHIKOVA, 2009.....	24
FIGURA 22. SUB-RAMALES. MODIFICADO DE ARROYO-LORANCA, 2005. TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO SE RESALTA EN COLOR ROJO, ASÍ COMO UN CONO DE ABATIMIENTO A NIVEL REGIONAL EN COLOR VINO.....	26
FIGURA 23. SUB-RAMAL 4. MODIFICADO DE ARROYO-LORANCA, 2005. ISLA MUNICIPAL DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO EN COLOR ROJO. 27	27
FIGURA 24. RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LA ELEVACIÓN NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO AL TIEMPO DEL SUBRAMAL 4. TOMADO DE ARROYO-LORANCA, 2005. LA DISTANCIA ACUMULADA ES LA SUMA DE LA DISTANCIA ENTRE CADA UNO DE LOS POZOS DE MANERA LINEAL. ...	27
FIGURA 25. SUB-RAMAL 5. MODIFICADO DE ARROYO-LORANCA, 2005. ISLA MUNICIPAL DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO EN COLOR ROJO. 28	28
FIGURA 26. RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DE LA ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO CON RESPECTO AL TIEMPO DEL SUB-RAMAL 5. TOMADO DE ARROYO-LORANCA, 2005.....	28
FIGURA 27. FAJA VOLCÁNICA TRANS-MEXICANA Y SU EXTENSIÓN.....	30
FIGURA 28. DISTINTOS DEPÓSITOS VOLCÁNICOS A LO LARGO DE LA FVTM. TOMADO DE GÓMEZ.TUENA ET. AL. (2005). EL CUADRO ROJO ENMARCA LA ZONA DE ESTUDIO.....	31
FIGURA 29. LOCALIZACIÓN DE LA SUB-PROVINCIA FISOGRÁFICA DENTRO DE LA FVTM.....	32
FIGURA 30. GEOFORMAS PREDOMINANTES EN TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO DENTRO DE LA SUB-PROVINCIA LAGOS Y VOLCANES DE ANÁHUAC.	33
FIGURA 31. CUENCA DE MÉXICO, LA SIERRA DE GUADALUPE SE RESALTA EN EL RECUADRO AMARILLO. MODIFICADO DE GARCÍA-PALOMO, 2007... 34	34
FIGURA 32. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO Y ALREDEDORES.	35
FIGURA 33. SECCIÓN GEOLÓGICA A – A’.....	37

FIGURA 34. SECCIÓN GEOLÓGICA B – B’	37
FIGURA 35. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA PORCIÓN CENTRO – OESTE DE LA CUENCA DE MÉXICO.....	40
FIGURA 36. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL NORTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y LA ZONA METROPOLITANA, EN EL RECUADRO AMARILLO SE RESALTA EL ÁREA EN ESTUDIO. IMAGEN MODIFICADA DE VALENCIA, 2007.....	41
FIGURA 37. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SONDEOS GEOTÉCNICOS.....	42
FIGURA 38. SECCIÓN GEOTÉCNICA I – I’	49
FIGURA 39. SECCIÓN GEOTÉCNICA II – II’	50
FIGURA 40. SECCIÓN GEOTÉCNICA III – III’ . TRANSICIÓN ROCA VOLCÁNICA – SUELO.	51
FIGURA 41. MOVIMIENTO DE PLACA DE COCOS SIENDO SUBDUCIDA POR LA PLACA NORTEAMERICANA. MODIFICADO DE MOOSER, 1987.	52
FIGURA 42. ESFUERZOS ASCENDENTES. MODIFICADO DE MOOSER, 1987.	52
FIGURA 43. ARREGLOS ESTRUCTURALES NE-SW Y NW-SE DENTRO DE LA FVTM Y SU RELACIÓN CON ÁREAS VOLCÁNICAS. VOLCANES: CP-COFRE DE PEROTE, NT-NEVADO DE TOLUCA, C-COLIMA, MA-LA MALINCHE, TE-TELAPON, TL-TLÁLOC, I-IZTACCÍHUATL, J-JOCOTITLÁN, P-POPOCATÉPETL, SG-SIERRA DE GUADALUPE. CIUDADES: MC-CIUDAD DE MÉXICO, T-TOLUCA, PU-PUEBLA, Q-QUERÉTARO, O-OAXACA, CHI-CHILPANCINGO, MO-MORELIA, G-GUADALAJARA. SISTEMAS DE FALLAS: SFO-SISTEMA DE FALLAS DE OAXACA, SFT-SISTEMA DE FALLAS TENOCHTITLAN, SFCHO-SISTEMA DE FALLAS CHAPALA-OAXACA, SFCHT-SISTEMA DE FALLAS CHAPALA-TULA. OTRAS ESTRUCTURAS: GT-GRABEN DE TEPIC, GP-GRABEN DE PENJAMILLO. MODIFICADO DE GARCÍA-PALOMO <i>ET. AL.</i> , 2002.....	53
FIGURA 44. MAPA ESTRUCTURAL DE LA SIERRA DE GUADALUPE Y ALREDEDORES. EL SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE ES EL N45°E.	54
FIGURA 45. ESQUEMATIZACIÓN DE LOS TIPOS DE DESLIZAMIENTO. A) CAÍDOS O DERRUMBES, B) DESLIZAMIENTOS Y C) FLUJOS. MODIFICADO DE MENDOZA-LÓPEZ <i>ET. AL.</i> , 2002.	59
FIGURA 46. A) PÉRDIDA ECONÓMICA. DURANTE EL PERÍODO DE 1999 A 2016, EL 2010 FUE EL AÑO QUE MÁS TUVO PÉRDIDAS ECONÓMICAS DEBIDO A LAS INUNDACIONES. B) PÉRDIDAS HUMANAS. DISYUNTIVAMENTE 2010 NO FUE EL AÑO DE MÁS DECESOS HUMANOS, ÉSTE FUE EN 1999 EN LOS ESTADOS DE TABASCO Y CHIAPAS CON APROXIMADAMENTE 480 MUERTES. AMBAS FIGURAS MODIFICADAS DE COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, 2018.....	60
FIGURA 47. INUNDACIONES REGISTRADAS ENTRE 1950 Y 2000. MODIFICADA DE COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL, 2018.	61
FIGURA 48. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS SAN MARTÍN OBISPO Y TULTEPEC.	62
FIGURA 49. LLUVIA MÁXIMA Y EVAPORACIÓN MENSUAL EN MM. INFORMACIÓN TOMADA DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2019.	63
FIGURA 50. MECANISMO DE SUBSIDENCIA DEBIDO A LA EXTRACCIÓN DE AGUA DEL SUBSUELO. MODIFICADO DE MANILLA-ACEVES <i>ET. AL.</i> , 2001 ...	67
FIGURA 51. INTENSIDAD DE AGRIETAMIENTO POR CADA 1.25 KM ² . MODIFICADO DE ESCOBAR-AUBERT, 2004.....	68
FIGURA 52. ORIGEN DE UN SISMO Y SUS COMPONENTES. TOMADO DE TARBUCK Y LUTGENS, 2005.	69
FIGURA 53. MOVIMIENTOS RELATIVOS DE LAS PLACAS TECTÓNICAS. MODIFICADA DE ESPÍNDOLA-CASTRO Y PÉREZ-CAMPOS, 2018.	69
FIGURA 54. SISMOS ORIGINADOS EN LA ZONA DE SUBDUCCIÓN E INTRAPLACA. MODIFICADA DE ESPÍNDOLA-CASTRO Y PÉREZ-CAMPOS, 2018.....	70
FIGURA 55. GEOMETRÍA DE LA PLACA DE COCOS. EL CÍRCULO AMARILLO RESALTA EL LUGAR DONDE SE ORIGINÓ EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017. MODIFICADA DE MANEA <i>ET. AL.</i> , 2013.....	70
FIGURA 56. REGIONALIZACIÓN SÍSMICA CON BASE EN ACELERACIONES EN ROCA, ZONA DE ESTUDIO ENMARCADA EN COLOR AZUL. MODIFICADA DE PÉREZ-ROCHA <i>ET. AL.</i> , 2015.....	71
FIGURA 57. ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO. MAPA REALIZADO CON DATOS DE CENAPRED, 2019.....	72
FIGURA 58. MAPA DE PENDIENTES DE LA SIERRA DE GUADALUPE Y SUS ALREDEDORES.	82
FIGURA 59. REINCIDENCIA POR ZONA EN EL MUNICIPIO. INFORMACIÓN TOMADA DE LA COMISIÓN DEL AGUA DEL ESTADO DE MÉXICO (CAEM), 2016.	86
FIGURA 60. A) ÁREA DEL GEOSISTEMA SIERRA DE GUADALUPE EN 1985. B) ÁREA DEL GEOSISTEMA SIERRA DE GUADALUPE EN 2016. IMÁGENES MODIFICADAS DE AYALA-LÓPEZ, 2017.....	87
FIGURA 61. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN.....	88
FIGURA 62. VELOCIDADES DE SUBSIDENCIA PARA LA CIUDAD DE MÉXICO Y ZONA METROPOLITANA. LA REGIÓN EN ESTUDIO SE ENCUENTRA ENMARCADA EN COLOR ROJO. TOMADA DE SOLANO-ROJAS <i>ET. AL.</i> , 2015.	91
FIGURA 63. MAPA DE RIESGO POR SUBSIDENCIA EN EL MUNICIPIO Y ALREDEDORES.....	92
FIGURA 64. ACELERACIONES A PARTIR DE UN HIPOTÉTICO SISMO EN LA BRECHA DE GUERRERO DE MAGNITUD 8.2 EN ESCALA RICHTER. MAPA REALIZADO CON DATOS DE CENAPRED, 2019.	95
FIGURA 65. MAPA DE RIESGO POR SISMICIDAD EN EL MUNICIPIO Y ALREDEDORES.....	96
FIGURA 66. MAPA INTEGRAL DE RIESGOS.	99

LISTADO DE TABLAS.

TABLA 1. TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO A LO LARGO DE LA HISTORIA.....	9
TABLA 2. PIB ESTATAL Y MUNICIPAL. CIFRAS TOMADAS DE PRODUCTO INTERNO BRUTO MUNICIPAL, 2016.....	12
TABLA 3. DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE MUNICIPAL. MODIFICADO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, 2016.....	13
TABLA 4. SUPERFICIE MUNICIPAL DEDICADA AL SECTOR PRIMARIO. TOMADO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, 2016.	13
TABLA 5. EMPRESAS QUE LABORAN DENTRO DEL MUNICIPIO. TOMADO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, 2016.....	14
TABLA 6. COMERCIOS DEL SECTOR TERCIARIO DENTRO DEL MUNICIPIO. TOMADO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, 2016.....	14
TABLA 7. POBLACIÓN OCUPADA POR SECTOR. MODIFICADO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, 2016.....	15
TABLA 8. INFRAESTRUCTURA PLUVIAL DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, TOMADO DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO, 2016.....	22
TABLA 9. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DEL ACUÍFERO CUAUTITLÁN-PACHUCA. MODIFICADA DE CONAGUA, 2007.....	24
TABLA 10. PARÁMETROS HIDRÁULICOS PARA ACUÍFERO SUPERIOR. MODIFICADA DE CONAGUA, 2007.	25
TABLA 11. FISIOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO. DATOS TOMADOS DE INEGI, 2018.	32
TABLA 12. SONDEO GEOTÉCNICO EN EL FRACCIONAMIENTO EL ROSAL, MODIFICADO DE ESCOBAR-AUBERT, 2004.....	43
TABLA 13. SONDEO GEOTÉCNICO EN LA UNIDAD HABITACIONAL SAN RAFAEL, MODIFICADO DE MARQUEZ-VAZQUEZ, 2009.....	44
TABLA 14. SONDEO GEOTÉCNICO EN LA UNIDAD HABITACIONAL SAN RAFAEL, MODIFICADO DE MARQUEZ-VAZQUEZ, 2009.....	44
TABLA 15. SONDEO GEOTÉCNICO EN LA UNIDAD HABITACIONAL SAN RAFAEL, MODIFICADO DE MARQUEZ-VAZQUEZ, 2009.....	45
TABLA 16. SONDEO GEOTÉCNICO EN EL FRACCIONAMIENTO EL ROSAL, MODIFICADO DE ESCOBAR-AUBERT, 2004.....	45
TABLA 17. SONDEO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN ANUNCIO CARRETERO. MODIFICADO DE LÓPEZ-RINCÓN, 2017.....	46
TABLA 18. SONDEO GEOTÉCNICO PARA UN ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS. MODIFICADO DE SEGOVIA-MORALES, 1998.....	46
TABLA 19. SONDEO GEOTÉCNICO PARA UN ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS. MODIFICADO DE ÁLVAREZ-BAUTISTA, 1998.....	47
TABLA 20. COMPENDIO DE SONDEOS GEOTÉCNICOS (6-8, 12-17) EN PIE DE MONTE DE LA SIERRA DE GUADALUPE. TOMADOS DE SALINAS-MONTES, 1994.....	48
TABLA 21. VELOCIDAD DE LOS MOVIMIENTOS Y POSIBLES CONSECUENCIAS. MODIFICADO DE SUÁREZ-DÍAZ, 1998.....	58
TABLA 22. TIPOS DE DESLIZAMIENTOS Y SUS CARACTERÍSTICAS. MODIFICADO DE MENDOZA-LÓPEZ <i>ET. AL.</i> , 2002.....	59
TABLA 23. ACUMULACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE LLUVIA MENSUALES, CAPTADAS POR AMBAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN EL PERIODO DE 1951 A 2010. INFORMACIÓN TOMADA DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2019.....	62
TABLA 24. ACUMULACIÓN DE EVAPORACIÓN MÁXIMA POR MES, CAPTADAS POR AMBAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN EL PERIODO DE 1951 A 2010. INFORMACIÓN TOMADA DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2019.....	63
TABLA 25. PRECIPITACIONES MÁXIMAS HISTÓRICAS CERCA DE LA REGIÓN EN ESTUDIO. INFORMACIÓN TOMADA DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2019.....	64
TABLA 26. INTENSIDAD SÍSMICA EN CADA REGIÓN A CONSECUENCIA DE UN SISMO.....	71
TABLA 27. ALGUNAS NORMAS TÉCNICAS PARA DISEÑO POR SISMO. INFORMACIÓN TOMADA DEL GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, 2017.	98

LISTADO DE FOTOS.

FOTO 1. VÍA JOSÉ LÓPEZ PORTILLO ALREDEDOR DE LAS 16 HORAS, DÍA 30 DE OCTUBRE DE 2009. FOTO TOMADA DE MARIO ANTONIO NÚÑEZ LÓPEZ, LA JORNADA, 2009..... 65

FOTO 2. CALLE SANTA BÁRBARA, COLONIA SAN MARCOS. 83

FOTO 3. CALLE SAN PABLO, COLONIA SAN MARCOS. SE OBSERVA EL ENREJADO QUE EL GOBIERNO DEL MUNICIPIO HA PUESTO PARA CONTROLAR LA EXPANSIÓN URBANA HACIA LA SIERRA DE GUADALUPE..... 84

FOTO 4. CALLE PIRULES, COLONIA EL PARAJE. 84

FOTO 5. CALLE JUAN DE LA BARRERA, COLONIA STA. MARÍA CUAUTEPEC. EN EL CÍRCULO ROJO DEL LADO DERECHO, FRACTURA EN TALUD. CÍRCULO ROJO LADO IZQUIERDO, FLUJO DE SUELO COHESIVO 84

FOTO 6. IMAGEN SATELITAL TOMADA DE GOOGLE EARTH DE LA COLONIA STA. MARÍA CUAUTEPEC. CÍRCULO ROJO DEL LADO IZQUIERDO, FRACTURA DE GRAN TAMAÑO QUE PONE EN RIESGO LA INTEGRIDAD DE LA VÍA DE COMUNICACIÓN. CÍRCULO ROJO DEL LADO DERECHO UN FLUJO DE SUELO COMO EL MOSTRADO EN LA FIGURA 45C. 85

FOTO 7. INUNDACIÓN DE CASAS EN CALLE ROBLES, COLONIA BOSQUES DE TULTITLÁN DEL DÍA 25 DE JULIO DE 2019..... 89

FOTO 8. INUNDACIÓN DE LA VÍA JOSÉ LÓPEZ PORTILLO. 89

FOTO 9. INUNDACIÓN DE LA VÍA JOSÉ LÓPEZ PORTILLO A LA ALTURA DE LA ASTA BANDERA. 90

FOTO 10. TRÁNSITO VEHICULAR A CONSECUENCIA DE INUNDACIÓN SOBRE LA VÍA JOSÉ LÓPEZ PORTILLO..... 90

FOTO 11. INCLINACIÓN DE EDIFICIOS POR HUNDIMIENTO. COLONIA VERDE CLARO, TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO. 93

FOTO 12. FRACCIONAMIENTO SAN RAFAEL, RINCONADA SAN FELIPE, COACALCO DE BERRIOZÁBAL..... 93

FOTO 13. INCLINACIÓN DE CONJUNTO HABITACIONAL. COLONIA LAS LLANURAS, TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO. 94

FOTO 14. SUBSIDENCIA DEL TERRENO. COLONIA SANTA MARÍA MAGDALENA, COACALCO DE BERRIOZÁBAL. LOS CONJUNTOS HABITACIONALES DE LA ZONA PRESENTAN 5 PISOS..... 94

FOTO 15. DAÑOS EN LA FACHADA DEL JARDÍN DE NIÑOS LORENZO FILHO, UNIDAD HABITACIONAL MORELOS 3ERA. SECCIÓN, ISLA MUNICIPAL. 97

FOTO. 16. DAÑOS EN LA FACHADA DEL JARDÍN DE NIÑOS LORENZO FILHO. 97

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

Tultitlán de Mariano Escobedo por ser un pueblo de gran antigüedad ha conservado su nombre indígena original. La palabra Tultitlán o Toltitlán pertenece a la lengua o idioma náhuatl (Monografía municipal, 2017), su significado es el siguiente:

“... Tultitlán, “entre tules”, de *tollin* o *tullin*, tule, y *titlan*, entre...”

Desde tiempos prehispánicos y hasta hace aproximadamente 110 años el área del municipio ha conservado su carácter de lago (Xaltocan), en donde crecía gran cantidad de tule y otras plantas acuáticas, por lo que de esta circunstancia se derivó el nombre de la población. (Figura 1)

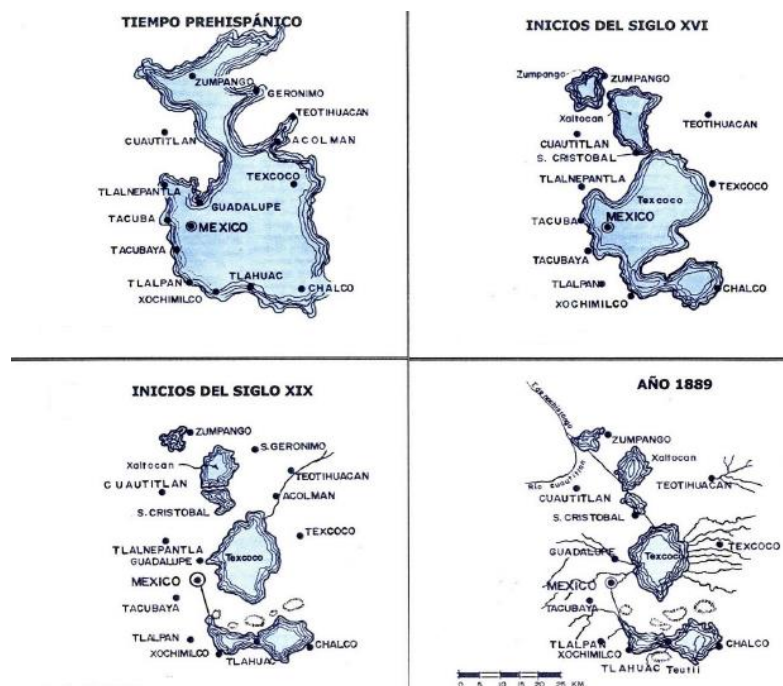


Figura 1. Evolución de los lagos en la Cuenca de México, modificado de Escobar-Aubert. 2004.

Así pues, la palabra Tultitlán como nombre del pueblo, cuenta con más de 600 años de antigüedad. El nombre actual del municipio es Tultitlán de Mariano Escobedo, esta designación se le dio el 7 de octubre de 1902 por decreto del Congreso del Estado para honrar la muerte

del General Mariano Escobedo, militar mexicano que luchó contra la intervención estadounidense en México, ocurrida el 22 de mayo de ese mismo año.

El escudo del municipio se describe de la siguiente forma: cuartelado, con escusón, bordura y timbre. En el primer cuartel (superior izquierdo) se encuentra un nopal (símbolo de México), el símbolo de la serpiente emplumada, una pirámide y un volcán. En el segundo cuartel (superior derecho) una laguna con plantas de tule (símbolo prehispánico de Tultitlán). En el tercer cuartel (inferior izquierdo) unos engranes y átomos (signos del progreso). En el cuarto cuartel (inferior derecho) un pico, una pala y como fondo unos cubos de concreto (símbolos del trabajo). El escusón (al centro) tiene un libro abierto (como signo de la educación y cultura). Por timbre (en la parte superior del escudo) está el escudo del Estado de México. La bordura lleva inscritas las palabras siguientes: TULTITLAN en la superior. En la diestra (lado derecho del escudo): CULTURA. En la siniestra (lado izquierdo del escudo): TRABAJO. En la parte inferior: LIBERTAD, TIERRA. (Figura 2)

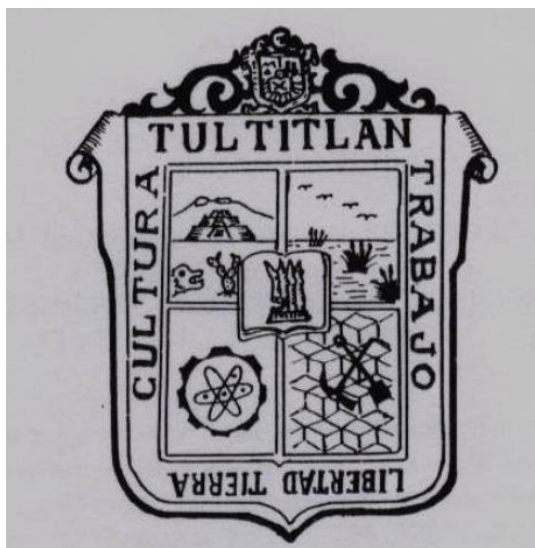


Figura 2. Escudo de Tultitlán de Mariano Escobedo, tomado de Monografía Municipal, 2017.

1.2 Objetivo

Determinar el riesgo geológico en el Municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, Estado de México.

1.3 Localización del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo

Conforme a la Ley de Planeación del Estado de México, administrativamente, el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo forma parte de la Región XIV, conformada además por los municipios de Cuautitlán, Coacalco de Berriozábal, Tultepec, Melchor Ocampo y Teoloyucan como se muestra en la Figura 3. Por su población, industria y comercio, Tultitlán de Mariano Escobedo es el más importante de la región. (Geografía municipal 2012-2015)

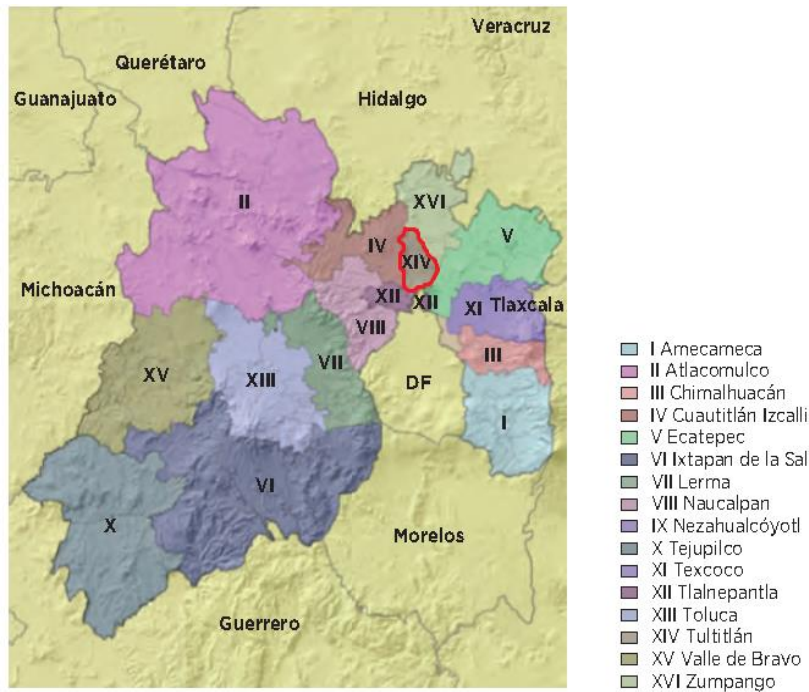


Figura 3. Tultitlán de Mariano Escobedo en el ámbito administrativo. Tomado de Gobierno del Estado de México, 2011.

El municipio se ubica geográficamente entre los paralelos 19° 33' y 19° 41' de latitud norte; y entre los meridianos 99° 04' y 99° 11' de longitud oeste específicamente en la parte norte-central del Estado de México. Limita al norte con los municipios de Cuautitlán y Tultepec; al oriente con Ecatepec de Morelos y Coacalco de Berriozábal; al sur con Tlalnepantla y la Ciudad de México, y al poniente con Cuautitlán Izcalli. (Figura 4)

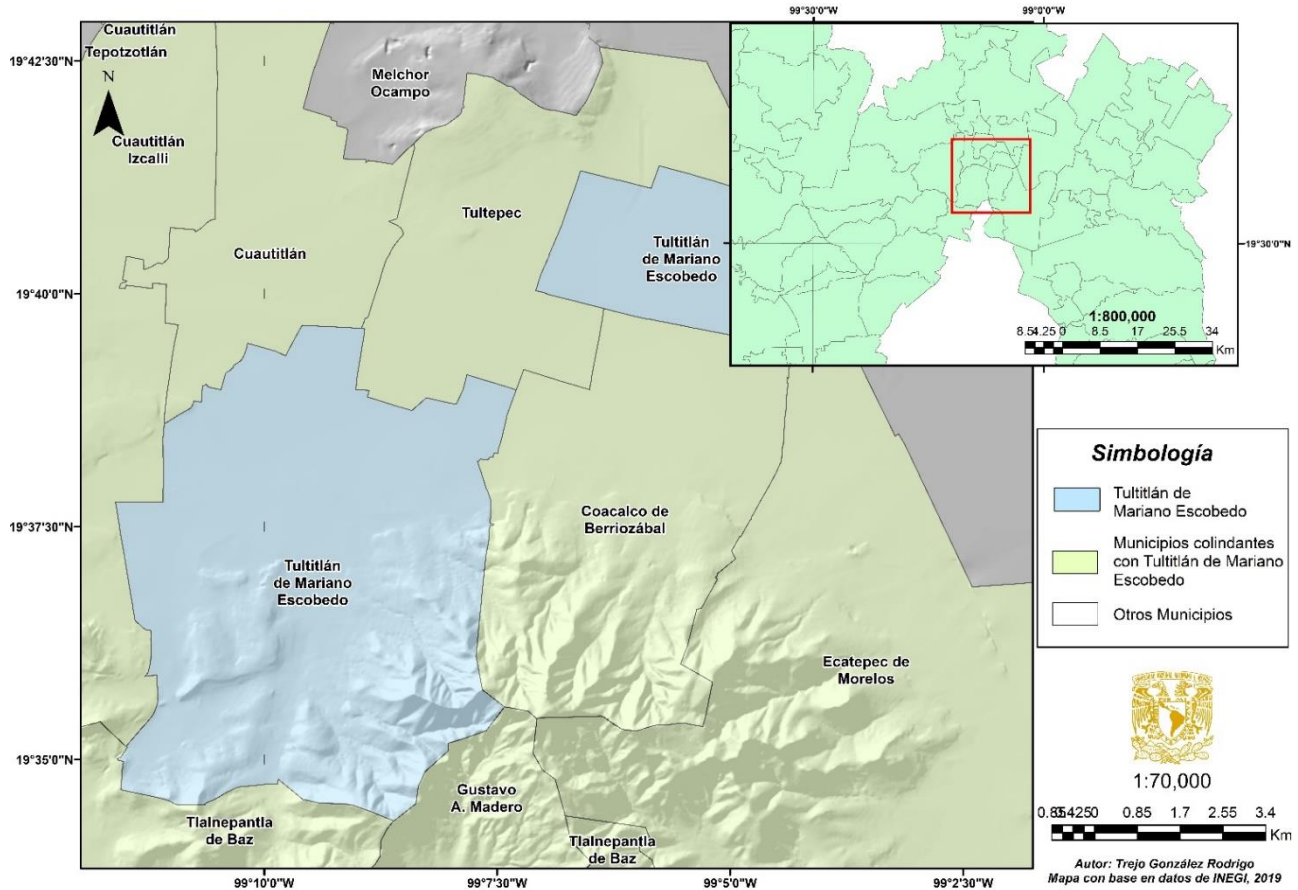


Figura 4. Tultitlán de Mariano Escobedo y sus colindancias.

El municipio cuenta, según los datos oficiales, con una superficie de 70.2 km², conformado por dos secciones.

- En la sección mayor se encuentra la *Cabecera Municipal* (parte suroeste) cuenta con una extensión aproximadamente de 55 km²

Cabe mencionar que el Pueblo de Santiago Tepalcapa y la Presa Lago de Guadalupe pertenecían a la jurisdicción de Tultitlán de Mariano Escobedo, sin embargo, debido al decreto del congreso del 23 de junio de 1973, al crearse el municipio de Cuautitlán Izcalli, a Tultitlán de Mariano Escobedo le fueron segregados más de 20 km² (Tultitlán de Mariano Escobedo, 2009).

- La sección menor o también llamada *Isla Municipal* (porción noreste) cuenta con una superficie de 15.2 km²

Esta última conformada en su ámbito urbano por el pueblo de San Pablo de las Salinas, zonas urbanas conformadas por fraccionamientos, condominios habitacionales, zonas comerciales y un área agrícola importante. Actualmente esta porción de territorio se encuentra en litigio por límites territoriales con el municipio de Tultepec.

1.4 Vías de comunicación

El municipio cuenta con una infraestructura terrestre que le permite la comunicación con las regiones occidente, centro y norte del país. (Geografía municipal 2012-2015). Es de suma importancia las vías de comunicación que se describen a continuación ya que Tultitlán de Mariano Escobedo cuenta con una Central de Abastos además de ser un municipio que cuenta con vías terrestres donde transitan vehículos foráneos y locales, así como servicio ferroviario que, hasta 2016, el ferrocarril nacional que transitaba por la región era explotado por la Compañía de Ferrocarriles Chiapas-Mayab. A partir de 2016 se le entregó la concesión a Ferromex. En Tultitlán de Mariano Escobedo no existen zonas de carga/descarga de materias primas o productos.

Por otra parte, el tren Suburbano fue construido durante los sexenios de los presidentes Lic. Vicente Fox Quesada (2000-2006) y Lic. Felipe Calderón Hinojosa (2006-2012). La ruta número 1 del ferrocarril suburbano, la cual fue inaugurada en 2009, parte de la estación Buenavista en la Ciudad de México y termina en Cuautitlán Izcalli, recorriendo así 27 km; cabe destacar que Tultitlán de Mariano Escobedo cuenta con dos estaciones: Tultitlán y Lechería. Con la obra ferroviaria se beneficia a 4.8 Millones de habitantes (3 millones en el Estado de México y 1.8 millones en la Ciudad de México); asimismo, el convoy transporta diariamente a 320,000 pasajeros¹. Cabe destacar que la estación Fortuna está interconectada con la Línea 6 del Sistema de Transporte Colectivo Metro. Por su parte, la Terminal Buenavista cuenta con conexión a la Línea B del Metro y con el Metrobús de la Ruta 1. (Figura 5)

¹ Información tomada de *fsuburbanos.com*, 2018.

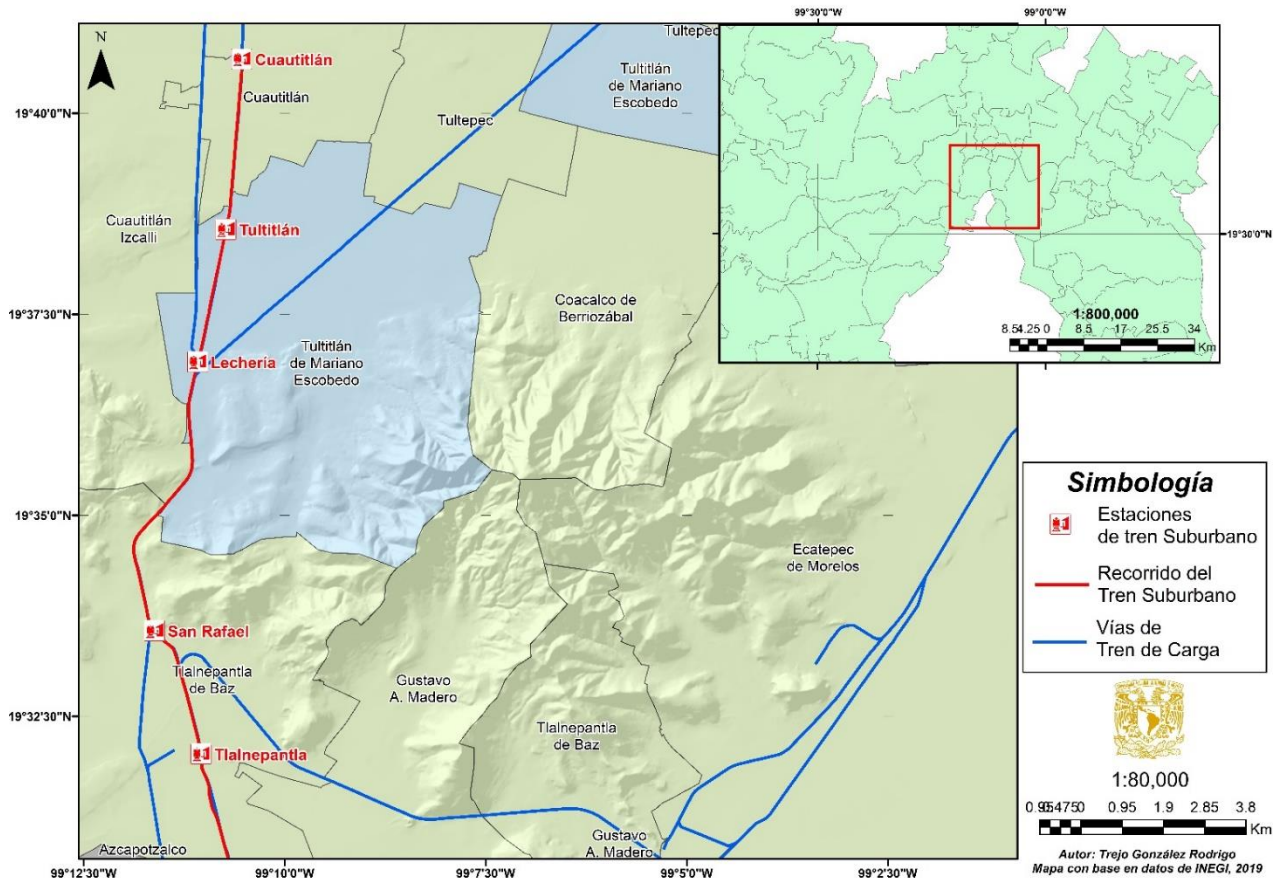


Figura 5. Recorrido del Tren Suburbano y vías de tren de carga.

El municipio está comunicado por medio de la autopista México-Querétaro (Carretera Federal número 57D); que en sus 175 km de longitud deriva desde el Boulevard Manuel Ávila Camacho (anillo periférico), recorre la parte Norte del Estado de México y arriba a la Ciudad de San Juan del Río, Querétaro, donde allí se convierte en la Carretera Federal número 45; asimismo tiene conexiones con el Arco Norte y el Circuito Exterior Mexiquense. Es de suma importancia esta carretera ya que, según datos de la Policía Federal Mexicana (<https://www.excelsior.com.mx/nacional/2018/02/04/1218165>), cada minuto ingresan 45 vehículos al Estado de México mientras que salen 32.

La carretera libre Tlalnepantla-Cuautitlán tiene conexión entre los municipios que llevan el nombre, esta corre por el oeste del municipio en cuestión y por todo el centro y suroeste del municipio de Cuautitlán, se extiende por 10 km; en la parte norte se intercomunica con la autopista México-Querétaro y en la porción sur con la Vía José López Portillo y el Circuito Exterior Mexiquense.

La Vía José López Portillo recorre 18 km entre los municipios de Ecatepec de Morelos, Coacalco de Berriozábal, Tultitlán de Mariano Escobedo y una porción pequeña de Cuautitlán Izcalli, hacia la porción oeste; se tiene una bifurcación para poder incorporarse a la autopista Lechería-Chamapa, la cual en el municipio de Naucalpan de Juárez se convierte en La Venta-Chamapa para finalmente llegar a ser la carretera federal México-Toluca, todo esto en la porción suroeste del Estado de México; en el otro camino de la bifurcación se tiene el seguimiento hacia la Avenida Gustavo Baz, la cual arriba al municipio de Naucalpan de Juárez en el pueblo de San Bartolo. Hacia la porción este la Vía José López Portillo tiene una conexión con la carretera México-Texcoco. Cabe resaltar que en esta Vía transita la ruta 2 del Mexibús, desde La Quebrada en Tlalnepantla de Baz hasta Las Américas en Ecatepec de Morelos, recorriendo 21.3 km en donde se beneficia a 2'000,000 de habitantes, teniendo un aforo de 211,000 pasajeros diariamente (Secretaría de Comunicaciones del Estado de México, 2011).

El Circuito Exterior Mexiquense cuenta con 155 km de longitud y circunvala la zona metropolitana de la Ciudad de México de norte a sur por la región este, y de este a oeste en su extremo norte. La autopista recorre 18 municipios del Estado de México; entre ellos al municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo en donde hay un acceso mediante caseta de peaje y la enlaza con las autopistas radiales de México-Querétaro, México-Pachuca, Peñón-Texcoco y México-Puebla (figura 6).

Finalmente, otro importante medio de comunicación son las numerosas rutas de autotransporte que comunican a Tultitlán de Mariano Escobedo con otros municipios y con la Ciudad de México. Algunas de esas rutas de transporte tienen terminal en las estaciones Cuatro Caminos, Rosario, Chapultepec, Tacuba, Indios Verdes y Politécnico del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México.

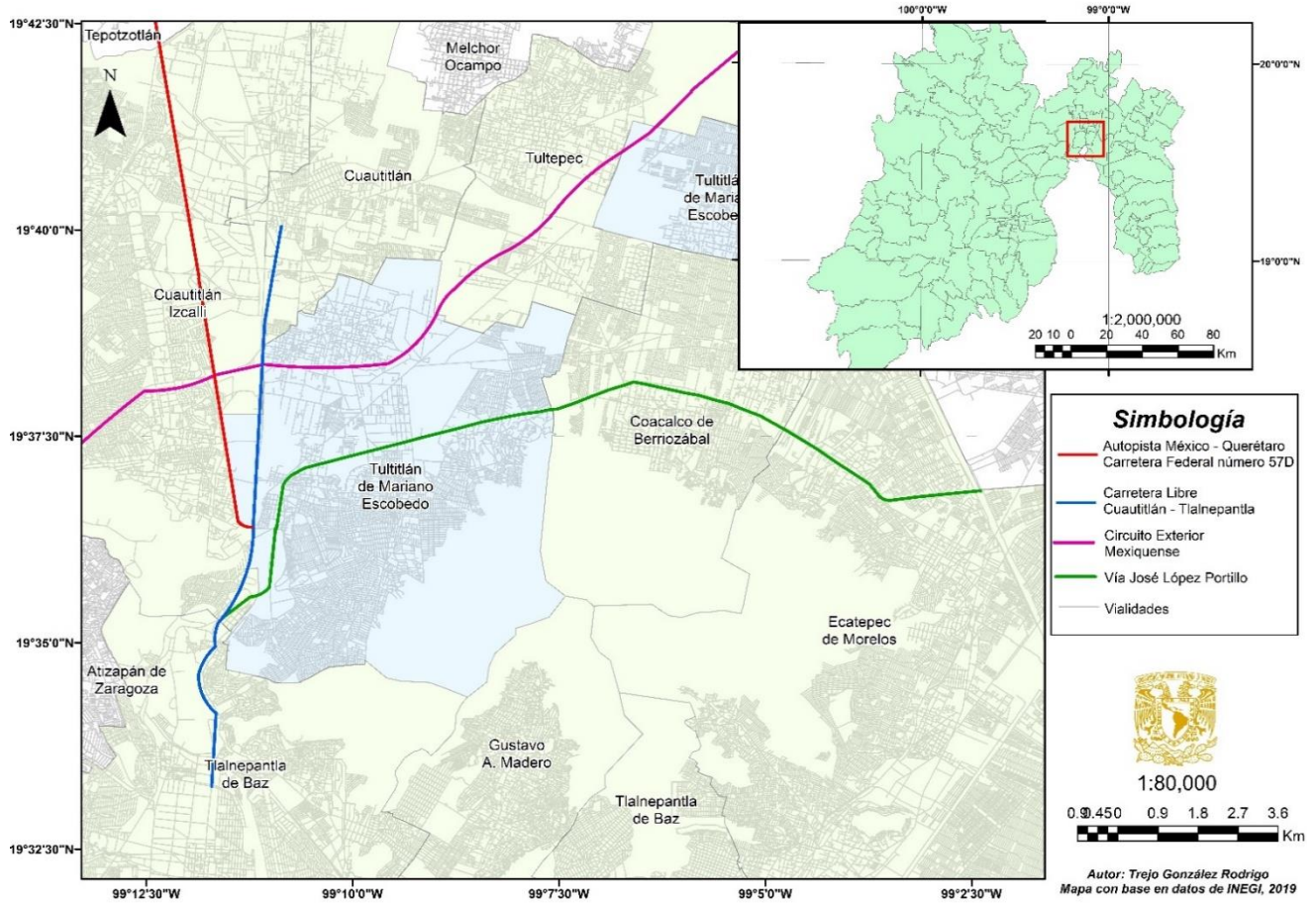


Figura 6. Principales vías carreteras que recorren por Tultitlán de Mariano Escobedo.

1.5 Población

En la tabla 1 se describe de manera histórica cómo han cambiado las actividades del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo:

<i>PERIODO</i>	<i>ACTIVIDAD</i>
2500 – 200 a.C.	<ul style="list-style-type: none"> • Cerámica y la agricultura. • Mayor organización política por formar parte de la cultura Olmeca.
200 – 750 d.C.	<ul style="list-style-type: none"> • Asentamientos humanos en el Barrio de San Juan y el Terromote, este último cercano a San Pablo de las Salinas.
Época colonial	<ul style="list-style-type: none"> • Reparto de tierras a soldados españoles • “Mercedes” de tierras para el cultivo de trigo o para tener ganado, esto se convirtió en haciendas y ranchos.
Sigo XIX	<ul style="list-style-type: none"> • Surgimiento como Municipio en 1820.
Siglo XX	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de vía de ferrocarril de Pachuca en 1902.
Años 30	<ul style="list-style-type: none"> • Energía eléctrica en Tultitlán.
Años 40	<ul style="list-style-type: none"> • Energía eléctrica en San Pablo de las Salinas. • Servicio de autobuses con destino a Azcapotzalco. • Formación de línea de autobuses “<i>Sociedad-Cooperativa 13 de junio</i>”. • Entra en servicio la termoeléctrica “<i>Ing. Jorge Luque</i>” en Lechería.
Años 60	<ul style="list-style-type: none"> • Industrialización y urbanización, sentaron bases para cambio rural a urbano.

Tabla 1. Tultitlán de Mariano Escobedo a lo largo de la Historia.

La población del municipio se ha incrementado aceleradamente a partir de la década de los ochentas, acarreando entre otros problemas la dotación efectiva de servicios, agua potable, drenaje, alumbrado y educación a nivel superior. En 1960 la población era de 15,479 personas, en 1990 aumento a 246,464 y para el año de 1995 se contaban con 361,350 personas (Monografía municipal, 2017). Para el año de 2017 el municipio contaba con 520,557 personas, las cuales el 48.6% son hombres y el 51.4% mujeres (Figura 8). En el municipio se tienen

registradas 108,763 viviendas de las cuales 70,321 son particulares (figura 7) (Monografía municipal, 2017).

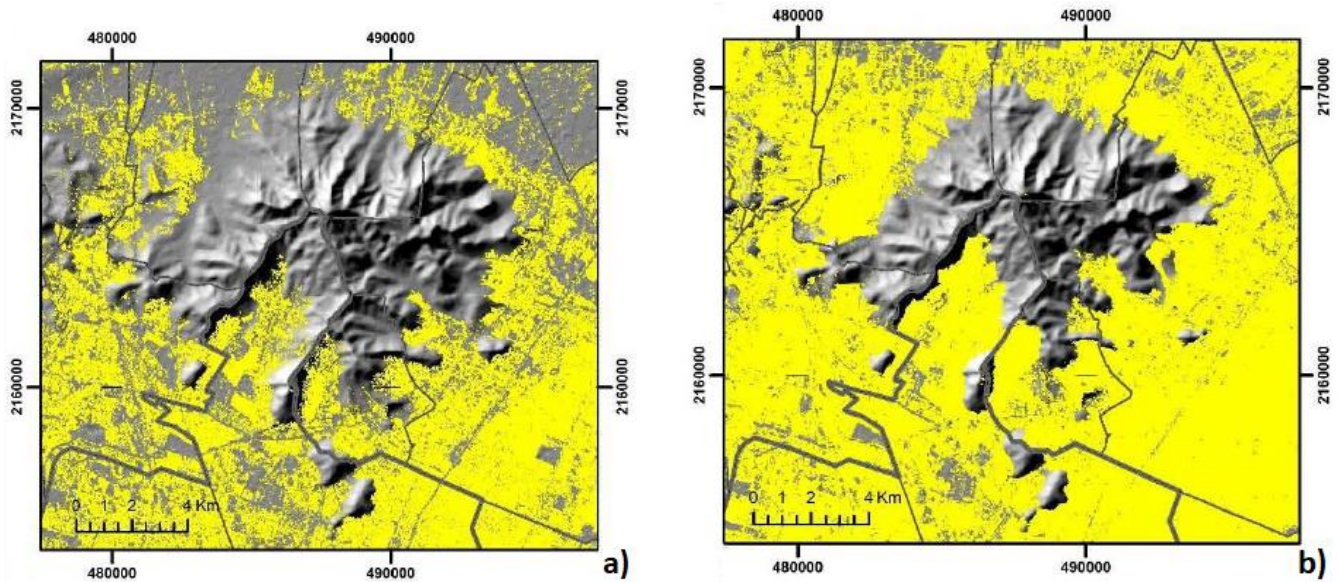


Figura 7. a) Uso de suelo urbano (color amarillo) en 1985. b) Área urbana en color amarillo para el año 2016. Imágenes modificadas de Ayala-López, 2017.

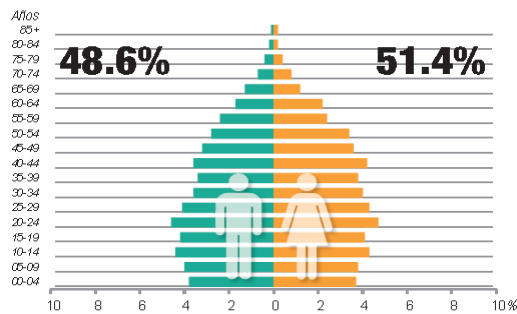


Figura 8. Relación entre hombres y mujeres, podemos observar que la mitad de la población tiene 29 años o menos, tomada de Panorama Sociodemográfico del Estado de México, 2015.

En las Figuras 9, 10 y 11 se muestra el panorama referente a la población económicamente activa, las características educativas de la población y el estado que guardan con respecto a los servicios de salud la población del municipio.

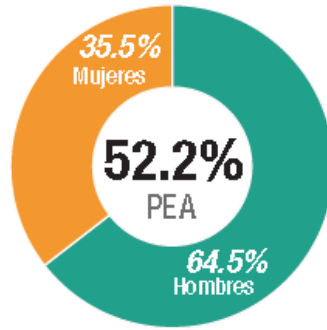


Figura 9. Características Económicas. El 52.2% son Población Económicamente Activa. Esto es referido a una población de 12 años y más. Tomada de Panorama Sociodemográfico del Estado de México, 2015.

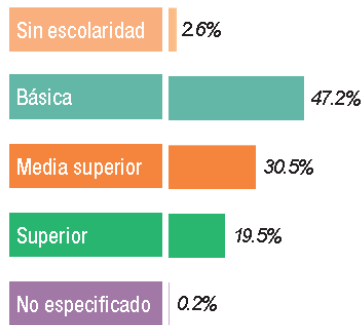


Figura 10. Características Educativas. Estudio referido a la población de 15 años y más. Nivel de Escolaridad. Tomada de Panorama Sociodemográfico del Estado de México, 2015.

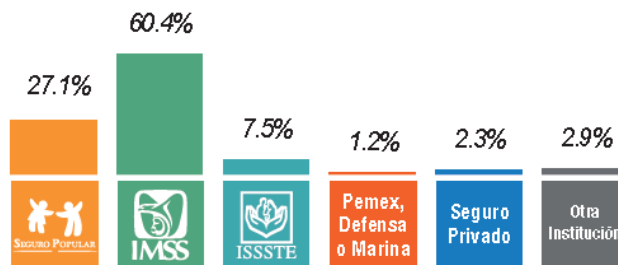


Figura 11. Afiliación a servicios de Salud. La población total del Municipio afiliada es de 76.6%. Dentro de la que se derivan a distintas instituciones. Tomada de Panorama Sociodemográfico del Estado de México, 2015.

Un concepto que nos engloba los diferentes aspectos antes mencionados es el Índice de Desarrollo Humano (IDH) el cual, en palabras del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se define como *“una alternativa a las mediciones convencionales del desarrollo nacional, como el nivel de ingresos y la tasa de crecimiento económico”*. Los índices considerados son:

- Salud
- Educación
- Ingreso (PIB)

Ya se han tocado los dos primeros índices con las estadísticas anteriores, ahora hablando en cifras del PIB, tenemos las siguientes comparaciones:

<i>ENTIDAD</i>	<i>PIB - CANTIDAD</i>
Estado de México	1 258 317.5 MM pesos
Naucalpan de Juárez	232 967.2 MM pesos
Tlalnepantla de Baz	151 149.0 MM pesos
Toluca de Lerdo	137 617.2 MM pesos
Cuautitlán Izcalli	67 283.2 MM pesos
Tultitlán de Mariano Escobedo	46 084.2 MM pesos

<i>ENTIDAD</i>	<i>PIB - % DE APORTE</i>
Estado de México	100 %
Naucalpan de Juárez	18.51 %
Tlalnepantla de Baz	12.01 %
Toluca de Lerdo	10.94 %
Cuautitlán Izcalli	5.35 %
Tultitlán de Mariano Escobedo	3.66 %

Tabla 2. PIB estatal y municipal. Cifras tomadas de Producto Interno Bruto Municipal, 2016.

En la tabla 2 podemos notar que el municipio forma parte de las primeras cinco entidades municipales que más aportan al PIB del Estado de México. El índice de Desarrollo Humano del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo es de 0.719 (Mientras haya más opciones para cubrir los requerimientos poblacionales el IDH tiende a 1, de lo contrario tenderá a 0).

1.6 Servicios

El uso de suelo se ha transformado; desde los años 60 ha pasado de agrícola a urbano, es decir, las parcelas agrícolas cambiaron para convertirse en casas habitación, industrias, comercios y vialidades, entre otros aprovechamientos (tabla 3). La zona urbana ocupa una superficie de 46.98 km² que representa el 66.92% del territorio del municipio (Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016).

TIPO DE USO	SUPERFICIE KM ²	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y PROBLEMAS QUE PRESENTA EL USO DE SUELO
Agrícola de riego	2.25	95% de esta extensión territorial ya no se siembra a consecuencia del crecimiento de la mancha urbana.
Agrícola de temporal	10.76	50% de este territorio ya no se usa para sembradíos debido al crecimiento de la mancha urbana.
Forestal	10.16	Parque Estatal Sierra de Guadalupe.
Pecuario	0.056	Falta de terrenos de cultivo.
Urbano	4.26	Proyectos de urbanización tienden a incrementar el área.
Uso comercial	1.32	De acuerdo con el Plan de Desarrollo, esto tenderá al crecimiento.
Uso industrial	11.07	De acuerdo con el Plan de Desarrollo, esto tenderá al crecimiento.
Uso habitacional	26.28	De acuerdo con el Plan de Desarrollo, esto tenderá al crecimiento.
Otro tipo de uso	4.05	Se incrementará debido a áreas de esparcimiento.

Tabla 3. Distribución de la superficie municipal. Modificado de Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016.

Sector Primario.

PRINCIPALES CULTIVOS	HECTÁREAS	TONELADAS (ANUALMENTE)
Avena forrajera	24	501
Maíz forrajero	70	4,513
Maíz grano	74	325
TOTAL	168	5,339

Tabla 4. Superficie municipal dedicada al sector Primario. Tomado de Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016.

Sector Secundario.

NÚMERO DE ZONA	NOMBRE	NÚMERO DE EMPRESAS
1	Macrocentro Tultitlán	3
2	Nort-T Parque Empresarial	6
3	Parque Industrial Cartagena	35
4	Parque Industrial San Miguel Tultitlán	41
5	Parque Industrial Tultitlán	13
6	Prologis Park JLP	3
7	Zona Industrial Corredor Lecharía-Cuautitlán-Tultitlán	31
8	Zona industrial López Portillo - Tultitlán	12
9	Zona industrial Independencia Tultitlán	50
10	Zona Industrial Recursos Hidráulicos Tultitlán	38
	TOTAL	233

Tabla 5. Empresas que laboran dentro del municipio. Tomado de Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016.

Sector Terciario o de Servicios.

COMERCIOS REGISTRADOS	CANTIDAD
Mercados	15
Farmacias	320
Tianguis	52
Rastros	6
Refaccionarias	114
Tiendas de abasto social	2
Tiendas de autoservicio	20
Tiendas departamentales	5
Hospedaje y alojamiento	4
TOTAL	511

Tabla 6. Comercios del sector Terciario dentro del municipio. Tomado de Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016.

POBLACIÓN OCUPADA POR SECTOR Y ACTIVIDAD ECONÓMICA			
SECTOR PRIMARIO (AGROPECUARIO)	SECTOR SECUNDARIO (INDUSTRIAL)	SECTOR TERCIARIO (SERVICIOS)	SUMA DE LOS SECTORES
659	62,925	163,756	227,340

Tabla 7. Población ocupada por sector. Modificado de Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016.

1.7 Geomorfología

Con la finalidad de determinar la geomorfología del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, se realizaron dos secciones topográficas (figura 12); en ellas se describen las características del relieve:

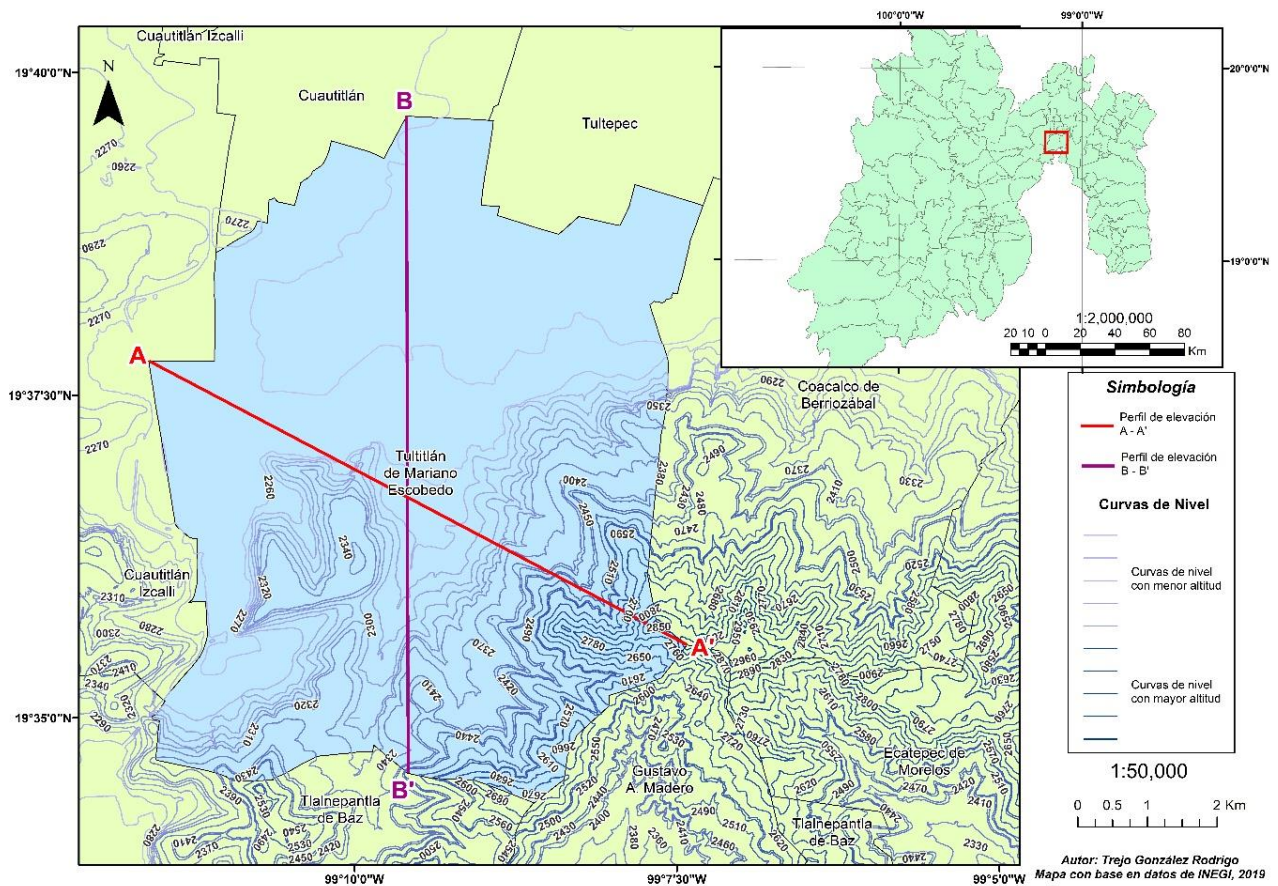


Figura 12. Topografía del municipio con perfiles de elevación (A – A') y (B – B').

Perfil de elevación A – A'

El perfil topográfico mostrado en la figura 13 presenta una dirección al sureste. Inicia en la porción noroeste, para ser precisos en la autopista México – Querétaro para así, continuar hasta donde se encuentra Cerro El Picacho (límite del municipio). En la porción noroeste podemos observar elevaciones que oscilan entre los 2240 y 2250 msnm y para la porción sureste la cota más alta es de 2860 msnm, lo que nos da un desnivel de un poco más de 600 m en 8 km de longitud.

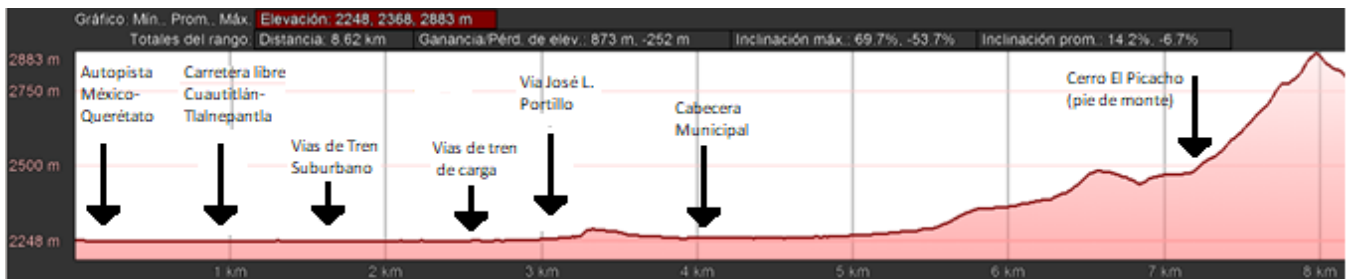


Figura 13. Perfil de elevación Noroeste – Sureste del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, Estado de México, tomado de Google Earth.

Perfil de elevación B – B'

En la figura 14, el perfil de elevación tiene una orientación de norte a sur, este recorre aproximadamente 9 km de longitud con un cambio de altura de aproximadamente 210 m. La parte norte y central del municipio es una planicie que oscila entre los 2240 y 2250 msnm, hacia la porción sur, en la cercanía de avenida las Torres, se presenta el cambio de nivel de elevación abrupto hasta una máxima de 2466 msnm, estando al pie de la Sierra de Guadalupe; en la porción del Cerro El Jaral.

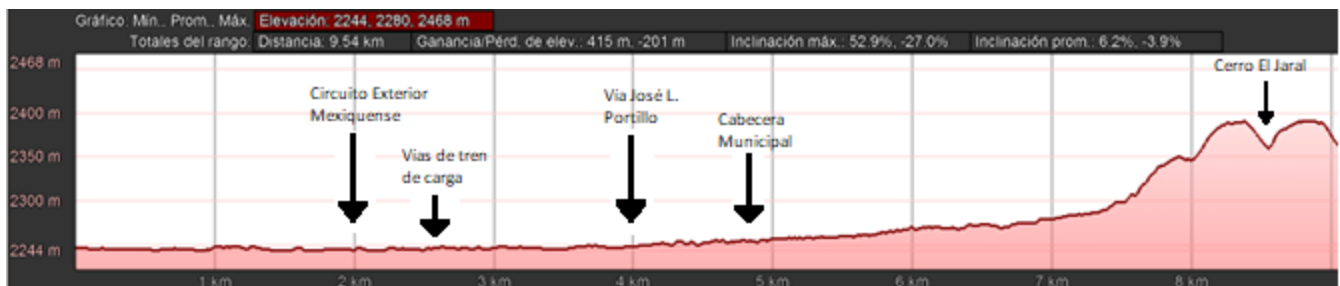


Figura 14. Perfil de elevación Norte – Sur del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, Estado de México, tomado de Google Earth.

En ambas figuras podemos observar dentro de la línea de elevación topográfica que en distintos tramos se tiene una elevación menor que la planicie de 2240 msnm, estas partes de la región son susceptibles a inundación pluvial. Es importante mencionar que se manifiesta un cambio abrupto de pendiente en la porción sureste el cual está relacionado con circos de erosión por procesos fluviales además de depresiones estrechas controladas por fracturas (Lugo-Hubp y Salinas-Montes, 1992).

1.7.3 Hipsometría

Como complemento al análisis geomorfológico, es importante resaltar las alturas respecto al nivel medio del mar que yacen en el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo. El modelo hipsométrico presentado a continuación tiene la finalidad de caracterizar las zonas con mayor y menor altitud dentro del municipio, esto para una posterior caracterización de zonas por potencial riesgo de inundación, así como regiones con posible deslizamiento de terreno.

En la figura 15 podemos ver que la zona más baja del municipio se encuentra en la parte de la Isla Municipal, con una altura que oscila entre los 2,210 m y los 2,248 m; mientras que, para la parte sureste de la Cabecera Municipal, la altitud varía desde los 2,283 m hasta los 3,009 m.

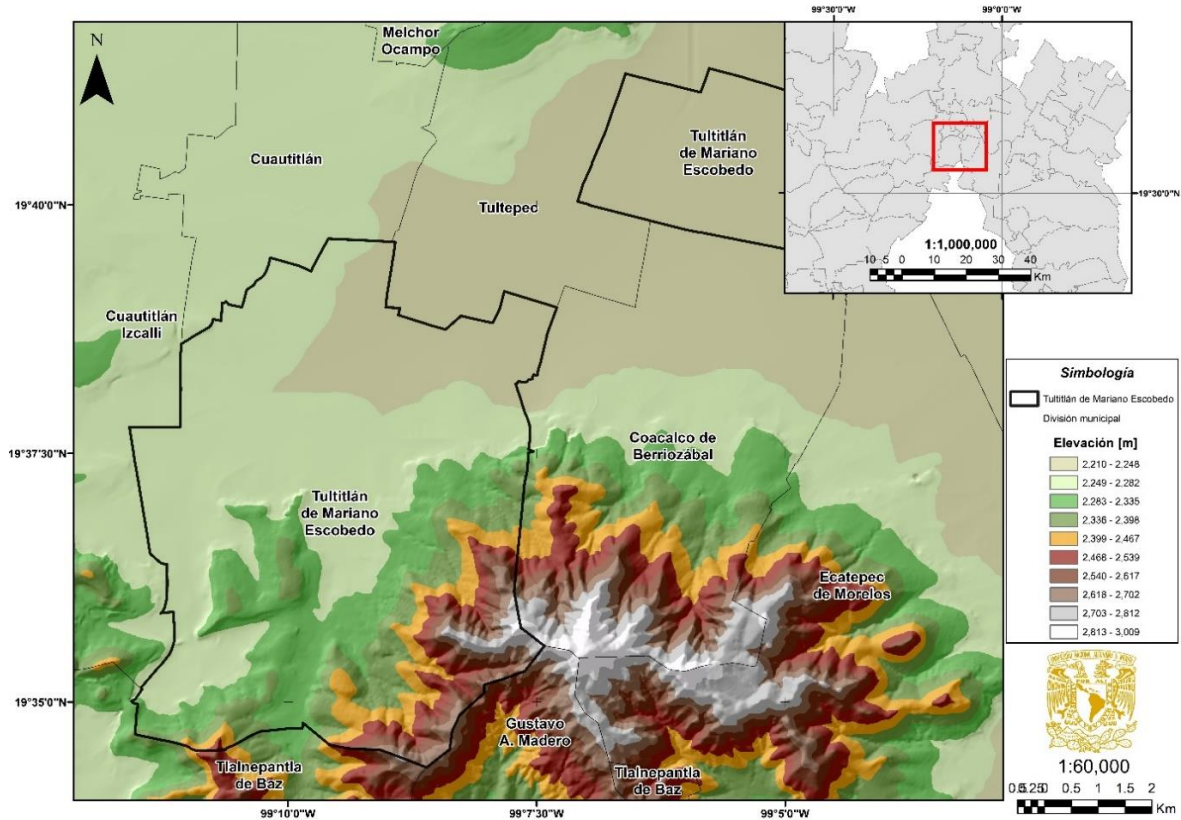


Figura 15. Hipsometría del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo.

1.7.2 Sierra de Guadalupe

La Sierra de Guadalupe (SG) convive con dos entidades federativas; al oriente, norte y poniente con el Estado de México y al sur con la Ciudad de México (figura 16). La porción que se encuentra en el Estado de México la comparten 4 municipios: al poniente, Tultitlán de Mariano Escobedo en su cabecera municipal; en la porción central, Coacalco de Berriozábal; por la parte oriental, Ecatepec de Morelos y en la fracción suroriental el municipio de Tlalnepanitla de Baz. La porción Sur de la SG se encuentra localizada en la Alcaldía Gustavo A. Madero, que, desde el punto de vista geológico es llamada Fosa de Cuatepec, graben limitado por las fallas Chiquihuite y Tenayuca (García-Palomo, *et. al.*, 2007).

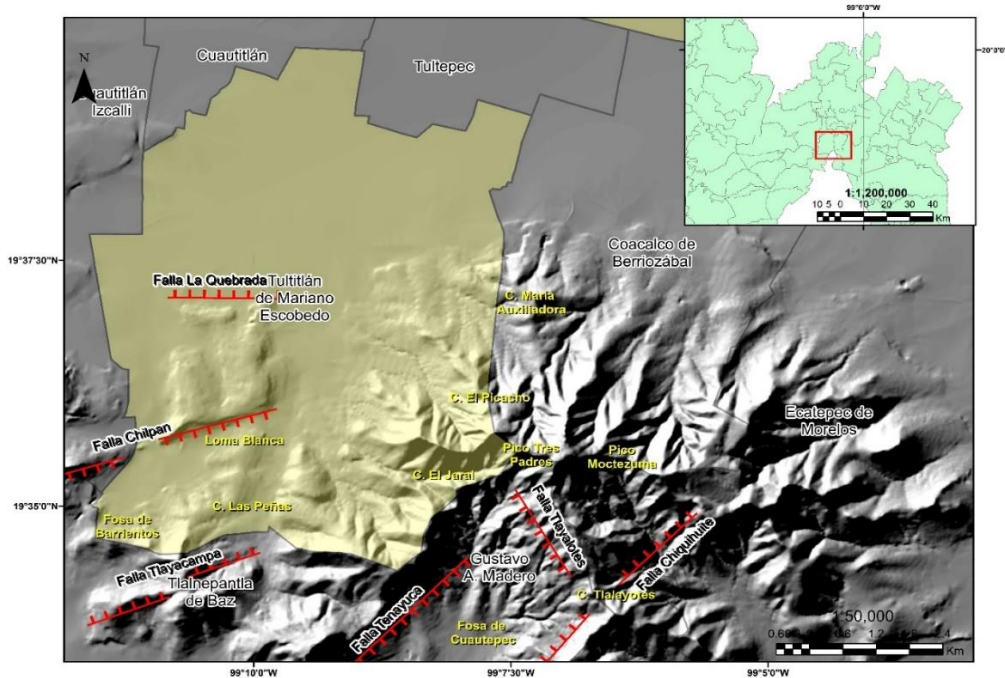


Figura 16. Modelo Digital de Elevación resaltando las estructuras geológicas y geomorfológicas más importantes. En color amarillo el municipio en estudio.

La SG consiste en un racimo de al menos 14 estructuras volcánicas entre las que sobresalen domos volcánicos y estratovolcanes. En el lugar se encuentran lava y flujos piroclásticos, horizontes de ceniza y lahares asociados con estas estructuras volcánicas. Las rocas que podemos encontrar son mayormente de composición intermedia a ácida, Andesitas y Dacitas. El fechamiento isotópico (K-Ar) en las rocas dacíticas nos brinda edades entre los 14 y 16 Ma. (Mioceno medio). (García-Palomo, 2006, pp. 196-197).

1.8 Hidrología

La zona de estudio se encuentra en la Región Hidrográfica – Administrativa Aguas del Valle de México (figura 17) (Atlas del agua en México, 2016). Esta a su vez, se localiza dentro de la Cuenca Hidrológica del Río Pánuco que cuenta con una extensión territorial continental de 96,989 km².



Figura 17. Localización la Región Hidrográfica Aguas del Valle de México dentro de la Región Hidrológica del Río Pánuco.

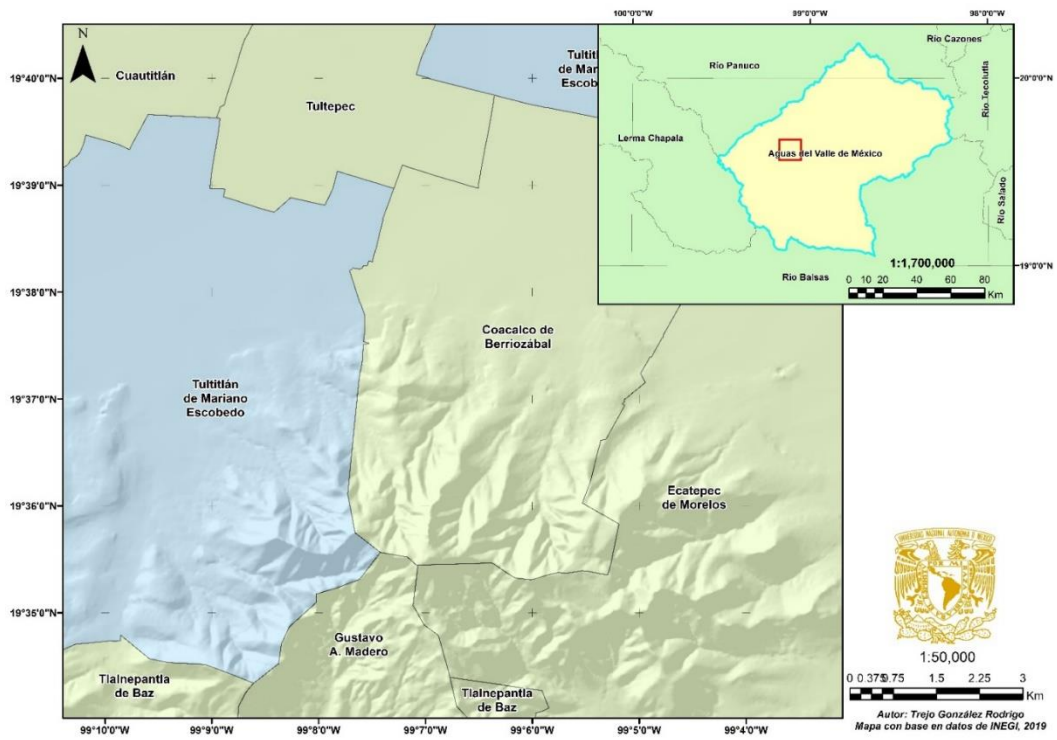


Figura 18. Localización de Tultitlán dentro de la Cuenca Hidrográfica Aguas del Valle de México.

Solamente una cuenca de esta región hidrológica pertenece casi en su totalidad al Estado de México, se trata de la cuenca Río Moctezuma (Síntesis de información geográfica del Estado de México, 2001). Dentro de la cuenca se registran precipitaciones que varían de 500 a 1,500 mm anuales. El drenaje es de tipo dendrítico, conformado por corrientes perennes. El Río San Juan en el Estado de México (río Tula al pasar por el estado de Hidalgo) da origen a la corriente más importante de esta cuenca: el río Moctezuma, que se considera la principal afluyente del río Pánuco (Síntesis de información geográfica del Estado de México, 2001). Las Sub-cuencas entre las que se encuentra la región de estudio son:

- Río Cuautitlán
- Lago de Texcoco y de Zumpango²

El municipio cuenta con una temperatura media anual que oscila entre los 2° y 18°C, la precipitación máxima anual oscila entre 500 a 600 mm y el clima que predomina es Templado subhúmedo con lluvias en verano (Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016). El municipio cuenta con escorrentías superficiales a causa de las lluvias temporales las cuales provienen de la Sierra de Guadalupe; los ríos y arroyos que estas causan han sido rectificadas para aprovechamiento en el sector agrícola. Dentro del municipio existen canales de aguas negras que son usados para la misma actividad, entre los más importantes destacan el canal Cartagena el cual cruza el municipio en su sector central y el canal de Castera que se encuentra en el sector de la Isla Municipal. El túnel Emisor Poniente, así como el Gran canal de Desagüe son construcciones que su objetivo es el del desalojar el agua pluvial de la zona (figura 19).

² Información tomada de http://sma.edomex.gob.mx/distribucion_de_cuencas, 2018.

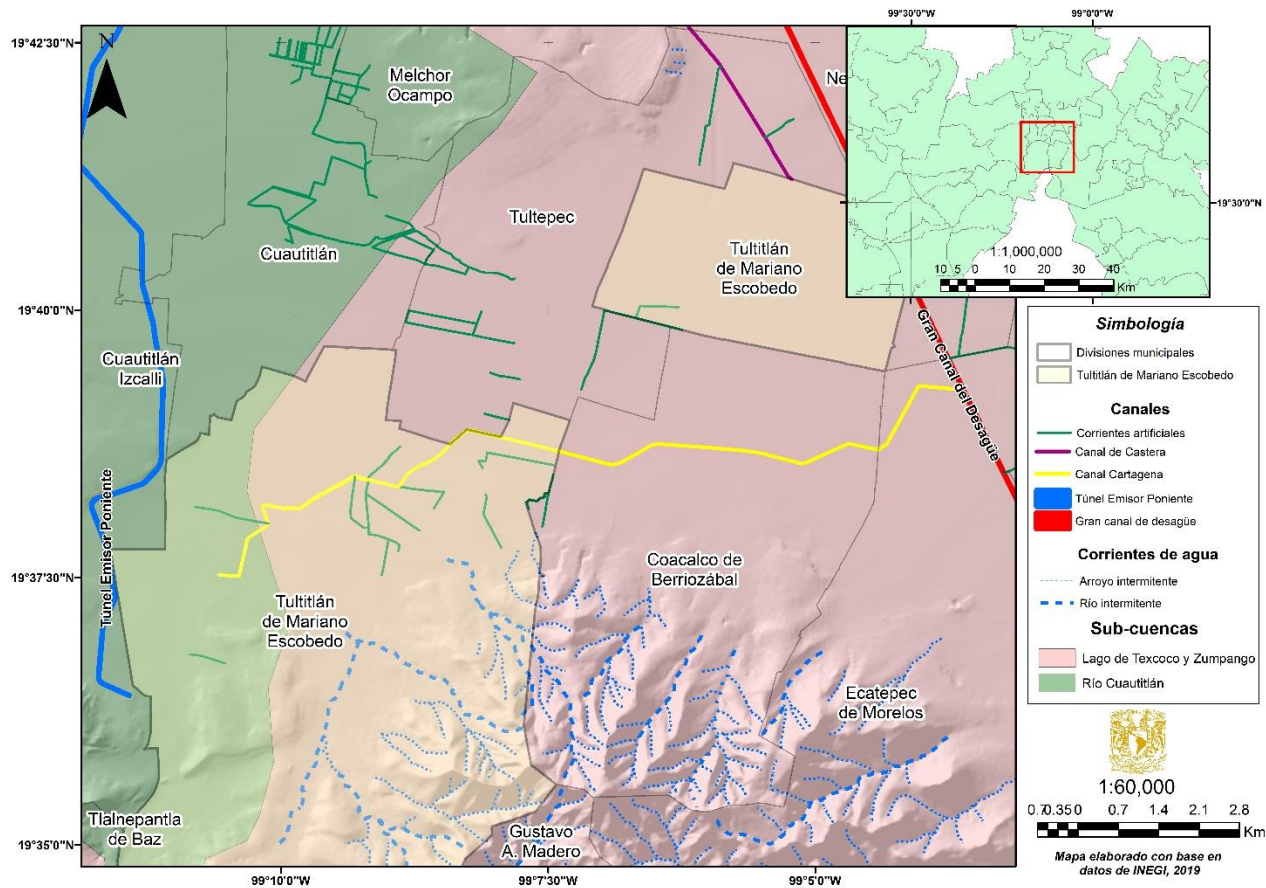


Figura 19. Sub cuencas hidrográficas, canales y corrientes de agua en el municipio.

1.8.1 Infraestructura hidráulica

INFRAESTRUCTURA	CANTIDAD	CAPACIDAD
Cárcamos de aguas negras y grises	24	14,960 m ³
Bombas de cárcamos	2 (Planta Portales y Planta Robles)	26.5 l/s

Tabla 8. Infraestructura pluvial de Tultitlán de Mariano Escobedo, tomado de Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016.

Asimismo, el Gobierno de Tultitlán de Mariano Escobedo (2016) ha reportado que se cuenta con una red de atarjeas de 854,250 m de longitud con diámetros que varían de 20 a 45 cm; así como 34 colectores, estos con una longitud de 32,680 m y diámetros que varían de 61 a 2.44 cm.

1.9 Hidrogeología

Tultitlán de Mariano Escobedo forma parte de una porción del acuífero Cuautitlán – Pachuca, este se localiza al norte de la Ciudad de México, abarcando aproximadamente 10% del territorio del Estado de México (figura 20). El acuífero cubre una superficie de 2850 km² dentro de los cuales se encuentran 38 municipios, en el Estado de México: Cuautitlán Izcalli, Tultitlán de Mariano Escobedo, Nicolás Romero, Coacalco de Berriozábal, Tecámac, Zumpango, Tultepec y Cuautitlán; en el Estado de Hidalgo aplicando el mismo concepto, los municipios son: Pachuca, Tizayuca, Tezontepec de Aldama, Mineral de Reforma y Zempoala.

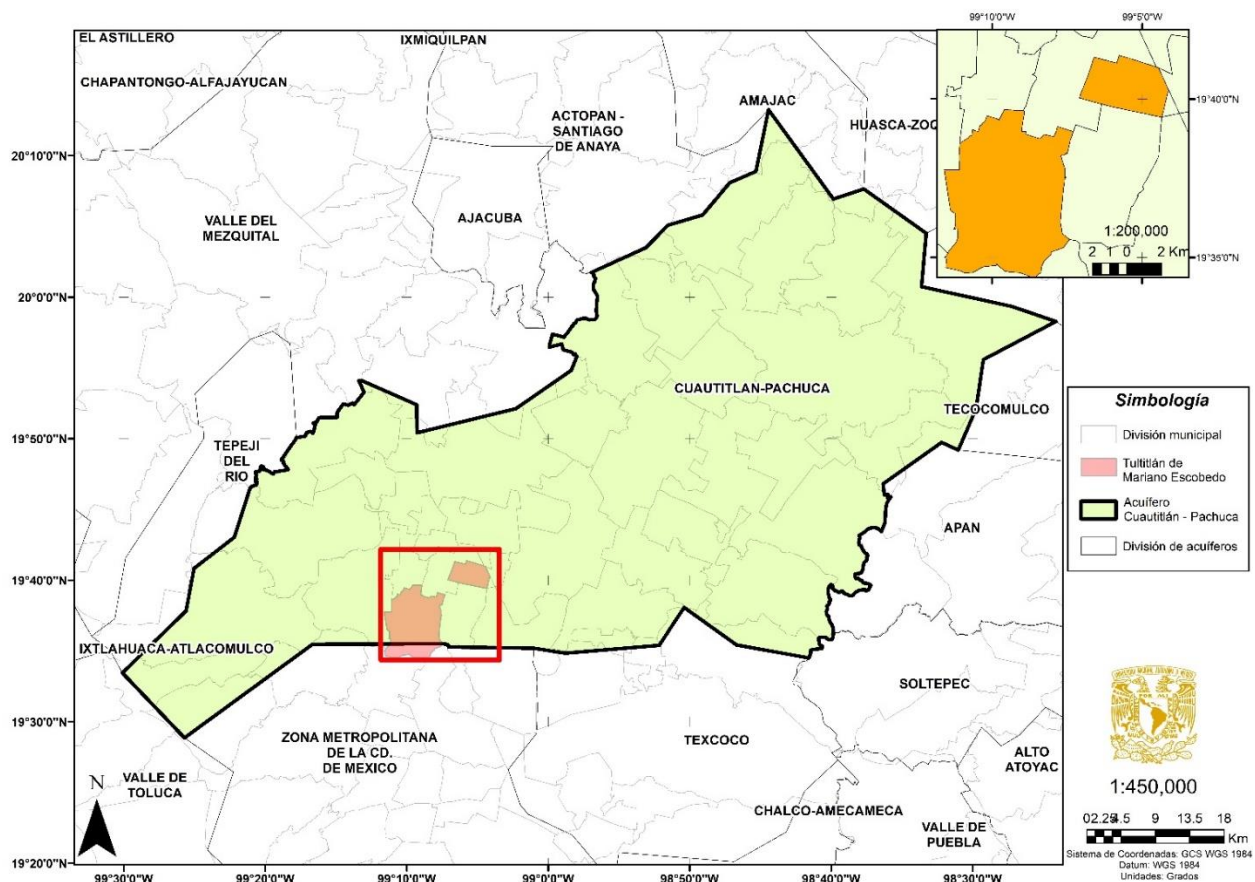


Figura 20. Acuífero Cuautitlán – Pachuca y distintos acuíferos alrededor.

El acuífero en el municipio está conformado por cuatro unidades hidrogeológicas (tabla 9) la más somera (U_1) con depósitos lacustres y por ende baja permeabilidad; U_2 siendo el acuífero superior; U_3 actuando como acuitardo con materiales volcánicos del Mioceno y por último el acuífero inferior (U_4) el cual se encuentra en rocas carbonatadas del Cretácico.

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	ESTRATIGRAFÍA Y CARACTERÍSTICAS
U ₁ – Acuitardo superior	Depósitos lacustres alrededor del lago Xaltocan, son de poco grosor y baja permeabilidad.
U ₂ – Acuífero superior	Materiales terrígenos del Neógeno – Cuaternario (aluvio – lacustres), así como rocas dacíticas fracturadas.
U ₃ – Acuitardo inferior	Pulso volcánico del Mioceno que incluye material andesítico y tobas, además de materiales del Grupo Balsas del Oligoceno.
U ₄ – Acuífero inferior	Rocas carbonatadas del Cretácico.

Tabla 9. Unidades hidrogeológicas del acuífero Cuautitlán-Pachuca. Modificada de CONAGUA, 2007.

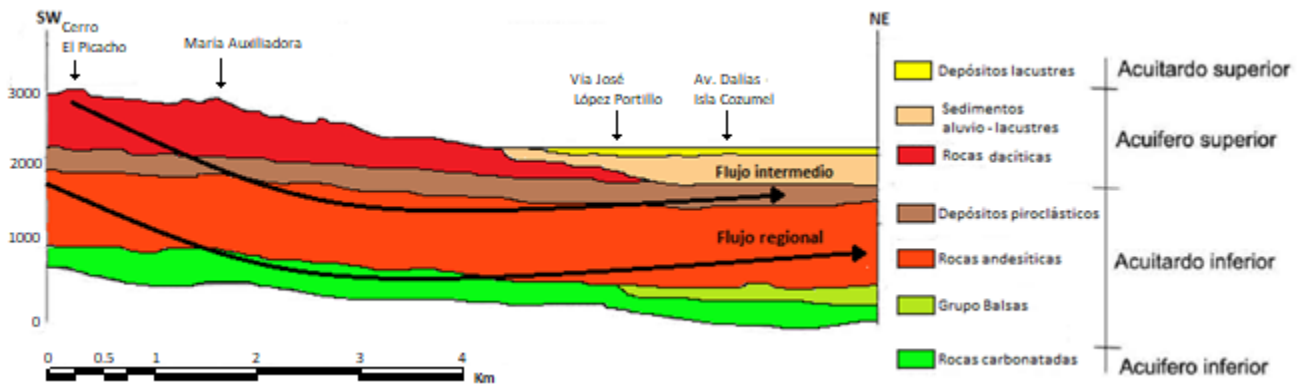


Figura 21. Sección hidrogeológica del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, modificada de Tiburcio-Sánchez y Perevochtchikova, 2009.

Tiburcio-Sánchez y Perevochtchikova (2009) nos brindan una sección hidrogeológica (figura 21) en donde podemos observar los distintos materiales geológicos, así como el movimiento del agua subterránea a través de las mismas; el flujo intermedio hace referencia al movimiento del agua subterránea horizontal del acuífero que se da a través de la Sierra de Guadalupe; por otro lado, el flujo regional es aquel movimiento de infiltración del agua de manera vertical que proviene desde la Sierra de las Cruces.

De acuerdo a los materiales que conforman el valle, se considera que el acuífero de Cuautitlán – Pachuca es de tipo semiconfinado (CONAGUA, 2015).

1.9.1 Parámetros hidráulicos

TRANSMISIVIDAD (producto de la Conductividad hidráulica y el espesor)	4864.32 m ² /día 7110.72 m ² /día (en rellenos lacustres)
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (PERMEABILIDAD) (facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido)	8.64x10 ⁻⁴ m/día

Tabla 10. Parámetros hidráulicos para acuífero superior. Modificada de CONAGUA, 2007.

1.9.2 Abatimiento de pozos

El manejo del agua subterránea que hasta la fecha se ha hecho en México, responde tanto a las diversas condiciones físicas del medio (clima, hidrología, geología, etc.) como a las presiones socioeconómicas producidas por los habitantes, estos dos factores han motivado que en algunas zonas el volumen extraído rebase su recarga natural y a consecuencia se presenten abatimientos progresivos en los niveles del agua subterránea que traen consigo efectos como asentamiento de terrenos, formación de grietas y degradación de la calidad del agua. A consecuencia de lo anterior, se ha llevado a cabo un análisis de abatimientos de distintos pozos de sub-ramales ubicados en la cercanía de Tultitlán de Mariano Escobedo para así, observar la relación de extracción de agua subterránea y el hundimiento regional.

Para fines de análisis se tomarán en consideración los sub-ramales 4 y 5, que son los más próximos al municipio en estudio, asimismo, en la figura 22 se presenta un cono de abatimiento regional que se estará analizando con los datos de los sub-ramales.

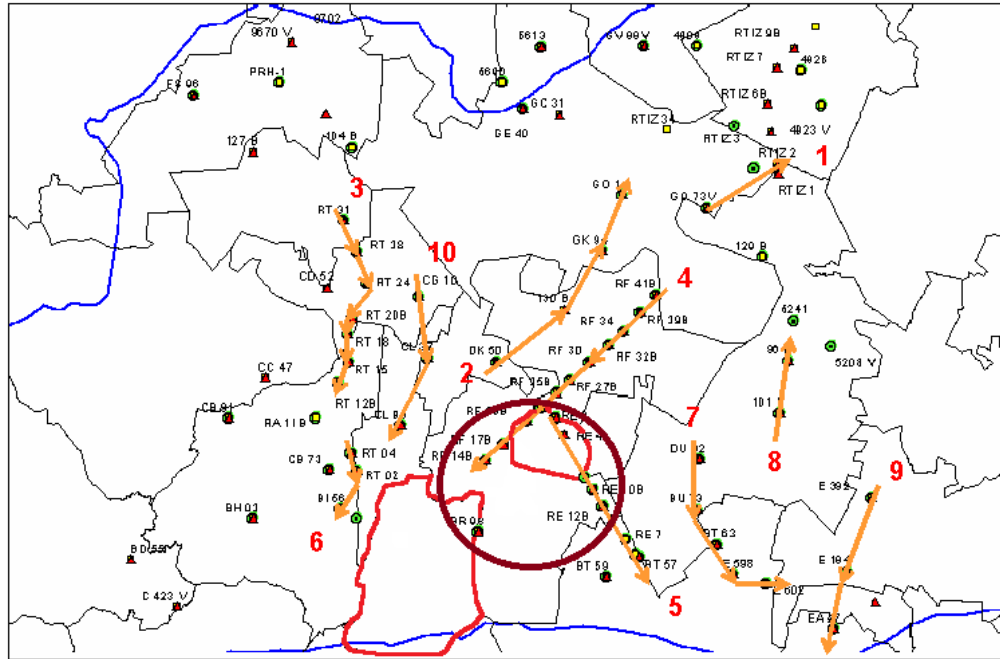


Figura 22. Sub-ramales. Modificado de Arroyo-Loranca, 2005. Tultitlán de Mariano Escobedo se resalta en color rojo, así como un cono de abatimiento a nivel regional en color vino.

SUB-RAMAL 4.

Sub-ramal perteneciente a los pozos del ramal Los Reyes FC, como podemos observar en el sentido de la dirección del flujo subterráneo, la profundidad del nivel estático aumenta conforme nos acercamos al municipio de Tultepec pasando por Tultitlán de Mariano Escobedo (figura 23), por lo que se puede deducir que, debido al intenso bombeo de pozos, en esta zona se encuentra un cono de abatimiento importante como lo muestra la gráfica de la elevación del nivel estático para un período de 24 años (figura 24).

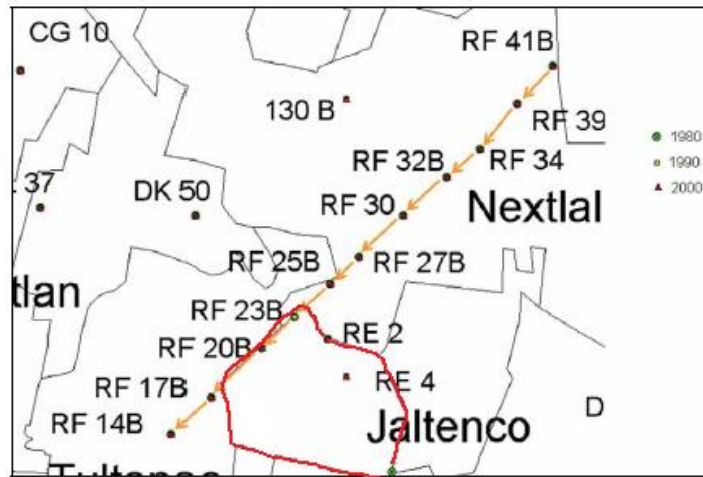


Figura 23. Sub-ramal 4. Modificado de Arroyo-Loranca, 2005. Isla Municipal de Tultitlán de Mariano Escobedo en color rojo.

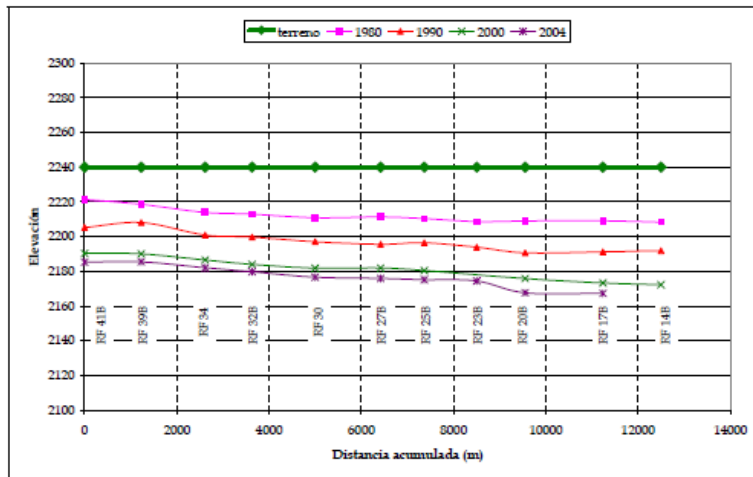


Figura 24. Resultados del comportamiento de la elevación nivel estático con respecto al tiempo del subramal 4. Tomado de Arroyo-Loranca, 2005. La distancia acumulada es la suma de la distancia entre cada uno de los pozos de manera lineal.

SUB-RAMAL 5.

Así como en el sub-ramal 4, aquí se nos muestra la dirección del flujo subterráneo, el cual es hacia la parte sureste, por ende, aumenta la profundidad del Nivel Estático hacia Tultitlán de Mariano Escobedo en la Isla Municipal; así como también, podemos observar que en la parte septentrional de Coacalco de Berriozábal es notable dicho fenómeno (figura 25). La gráfica para un periodo de 24 años nos muestra que el bombeo de pozos en esta zona se encuentra en recuperación de 1990 al 2000 como lo muestra la gráfica de la elevación del nivel estático en la figura 26.

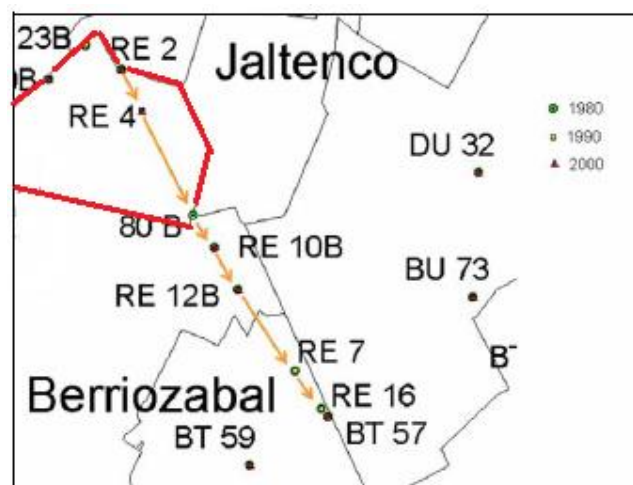


Figura 25. Sub-ramal 5. Modificado de Arroyo-Loranca, 2005. Isla Municipal de Tultitlán de Mariano Escobedo en color rojo.

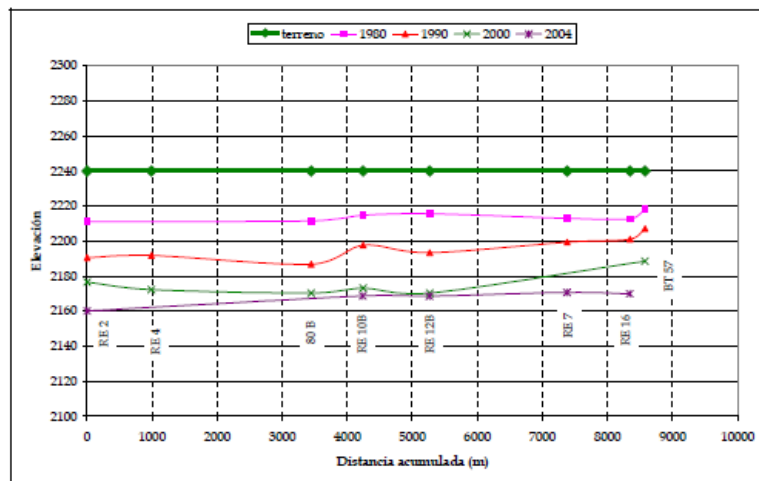


Figura 26. Resultados del comportamiento de la elevación del nivel estático con respecto al tiempo del sub-ramal 5. Tomado de Arroyo-Loranca, 2005.

Los resultados gráficos del comportamiento de la elevación del nivel estático confirman una extracción de agua mayor respecto a la recarga del acuífero (Arroyo-Loranca, 2005). Esto, junto a una baja resistencia del suelo; ha provocado que los terrenos tengan hundimientos diferenciales en la zona urbana y por consecuente, el agrietamiento en la superficie.

CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA

2.1 Geología regional

La zona de estudio se encuentra dentro de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM); arco volcánico continental que es consecuencia de la subducción de las placas oceánicas de Rivera y Cocos por debajo de la placa Norteamericana a través de la fosa Mesoamericana. La provincia tiene aproximadamente 1000 km de longitud y una amplitud irregular entre los 80 y 230 km, y se distribuye con una dirección preferencial este - oeste en su parte central y oriental, WNW-ESE en su parte occidental (figura 27). Gracias a la abundancia de fechamientos isotópicos obtenidos en las últimas dos décadas, parece ser claro que la individualización de la FVTM como una entidad geológica distintiva ocurrió durante el Mioceno Medio y Tardío (Ferrari, 2000). La FVTM está constituida por cerca de 8 000 estructuras volcánicas y algunos cuerpos intrusivos, que se extiende desde las costas del Pacífico, en San Blas, Nayarit hasta las costas del Golfo de México en Palma Sola, Veracruz. (Gómez-Tuena, et. al., 2005).

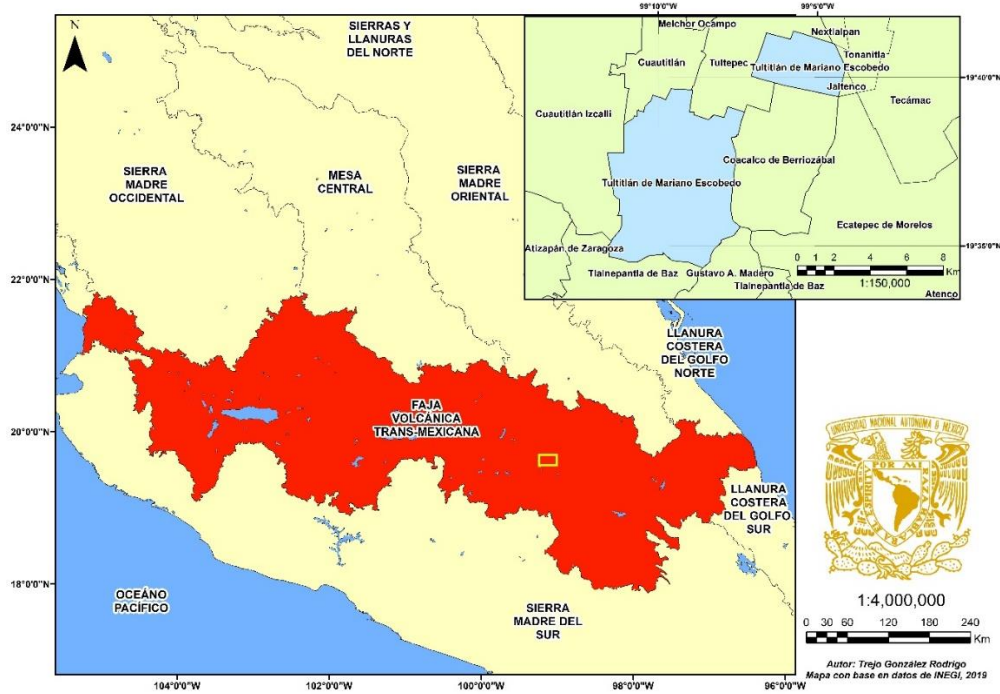


Figura 27. Faja Volcánica Trans-Mexicana y su extensión.

Para fines prácticos, la FVTM se ha dividido en 3 secciones con base en su geología y tectónica:

- Porción Occidental. Entre la costa del Golfo de California y la junta triple de los *rifts* de Zacoalco, Chapala y Colima. En esta porción predomina el vulcanismo máfico y máfico-intermedio del Mioceno Tardío.
- Porción Central. Entre la anterior estructura y el sistema de fallas Taxco-San Miguel de Allende. En esta parte influye la presencia de lavas máficas, máficas-intermedias del Plioceno Tardío.
- Porción Oriental. Entre la anterior enunciada y el Golfo de México. (Gómez-Tuena, *et al.*, 2005). Donde se encuentra nuestra región de estudio, prevalecen materiales andesíticos del Mioceno con máficos-intermedios del Plioceno Tardío. (figura 28)

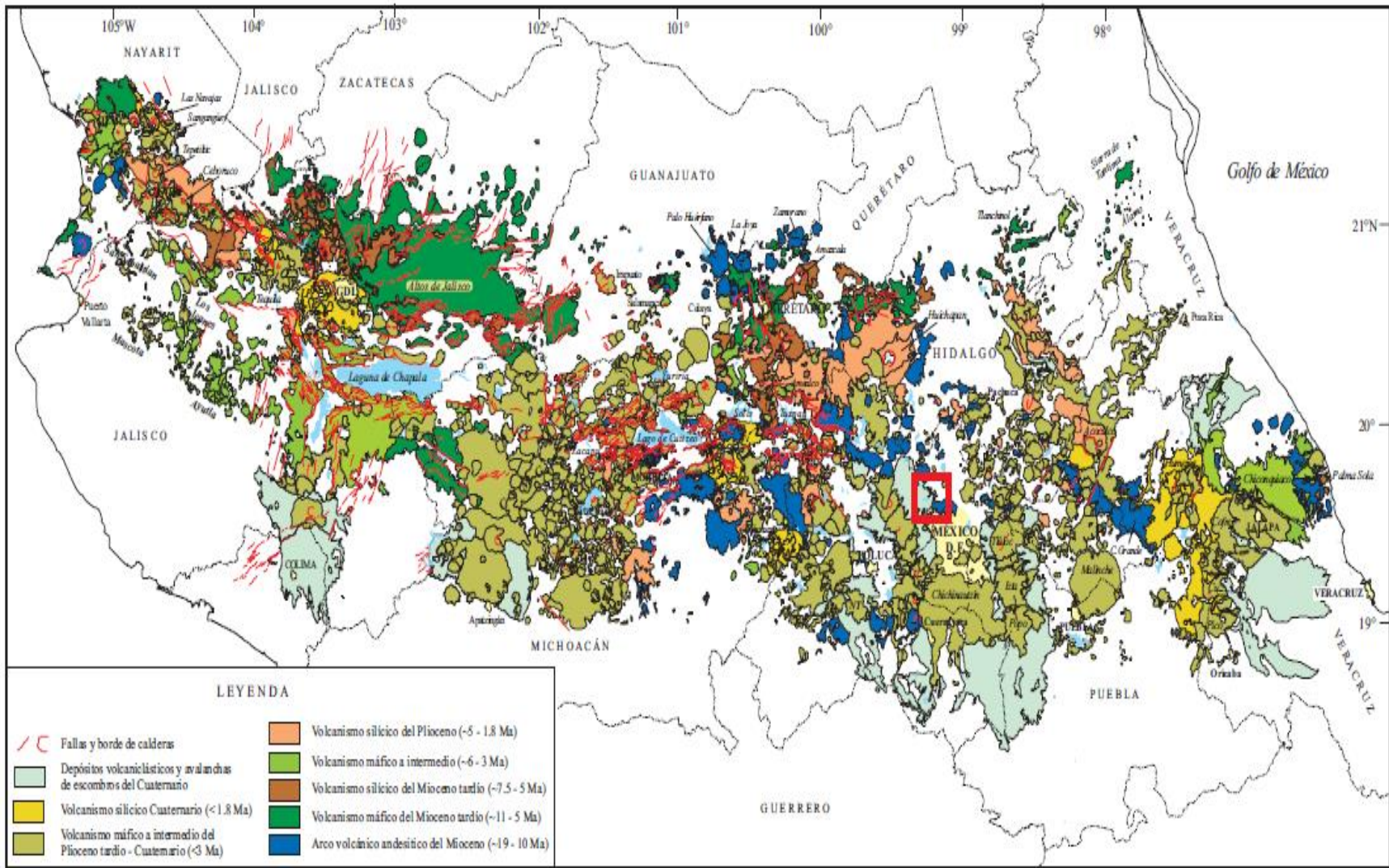


Figura 28. Distintos depósitos volcánicos a lo largo de la FVTM. Tomado de Gómez.Tuena *et. al.* (2005). El cuadro rojo enmarca la zona de estudio.

2.2 Fisiografía

El municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo se encuentra dentro de la provincia fisiográfica Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM), en la sub-provincia denominada Lagos y Volcanes de Anáhuac (INEGI – Fisiografía, 2018) (figura 29) y la superficie se encuentra distribuida sobre dos sistemas generales de geformas (tabla 11).

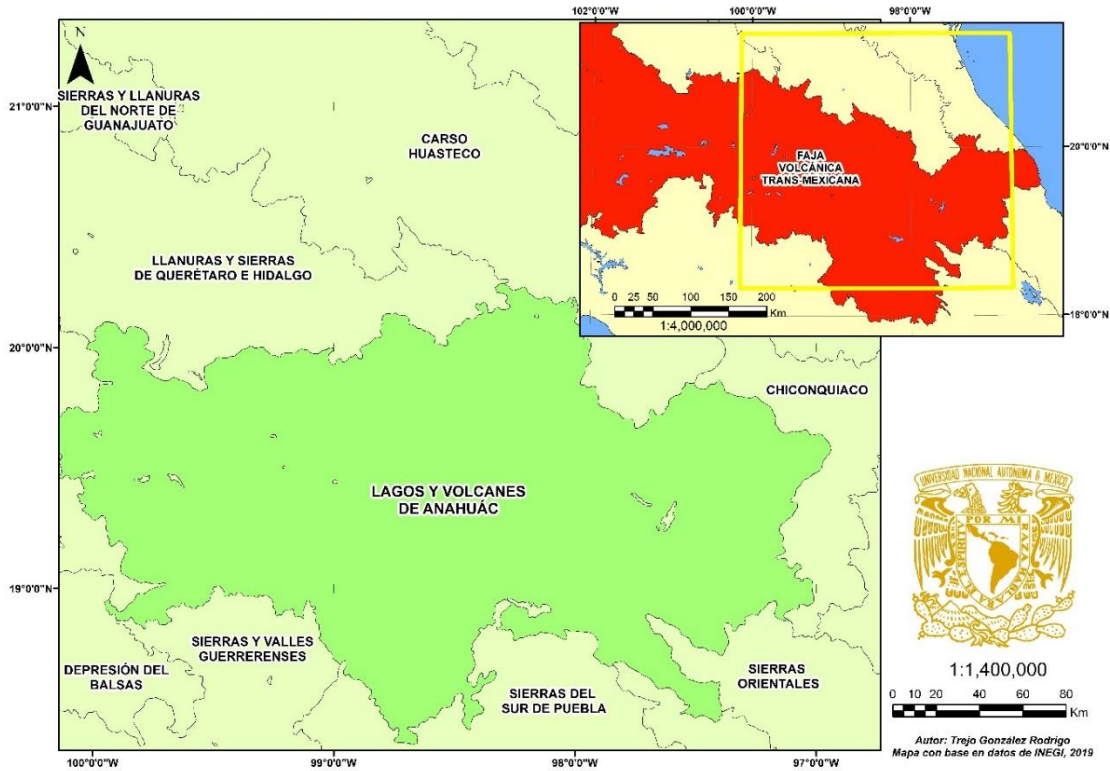


Figura 29. Localización de la sub-provincia fisiográfica dentro de la FVTM.

<i>Provincia</i>	<i>Sub-provincia</i>	<i>Sistema de Geoformas</i>		<i>% de la superficie municipal</i>
Faja Volcánica Trans-Mexicana	Lagos y Volcanes de Anáhuac	Llanura	Vaso lacustre con lomerío	60 %
			Vaso lacustre salino	20 %
		Sierra		20 %

Tabla 11. Fisiografía del área de estudio. Datos tomados de INEGI, 2018.

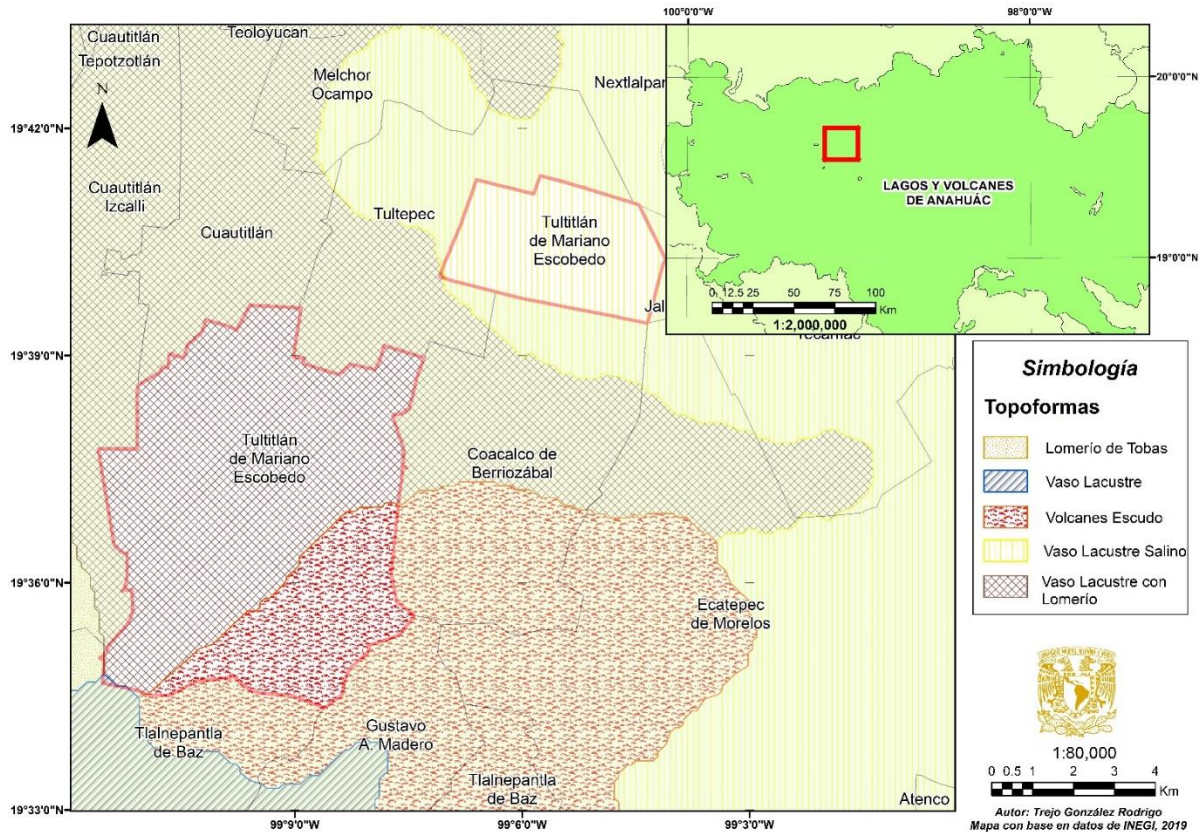


Figura 30. Geformas predominantes en Tultitlán de Mariano Escobedo dentro de la sub-provincia Lagos y Volcanes de Anáhuac.

La parte más alta se encuentra al sur de la región, la cual está conformada por dos estructuras volcánicas; estratovolcán El Jaral (2466 msnm) y el cono volcánico El Picacho (2860 msnm); la mínima se localiza a los 2245 metros sobre el nivel del mar y ésta corresponde a la planicie que impera en la zona.

2.3 Geología del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo

La Sierra de Guadalupe, donde se localiza la zona de estudio, se encuentra en la porción central – oeste de la Cuenca de México y está formada por una serie de estructuras volcánicas a lo largo de toda su superficie. La Cuenca de México ocupa un área de aproximadamente 9,600 km² y está delimitada por los sistemas volcánicos que comprenden: La Sierra de Pachuca al norte, La Sierra Nevada al este, Sierra de Chichinautzin al sur y la Sierra de las Cruces al oeste (figura 31) (Martínez-García, 2009).

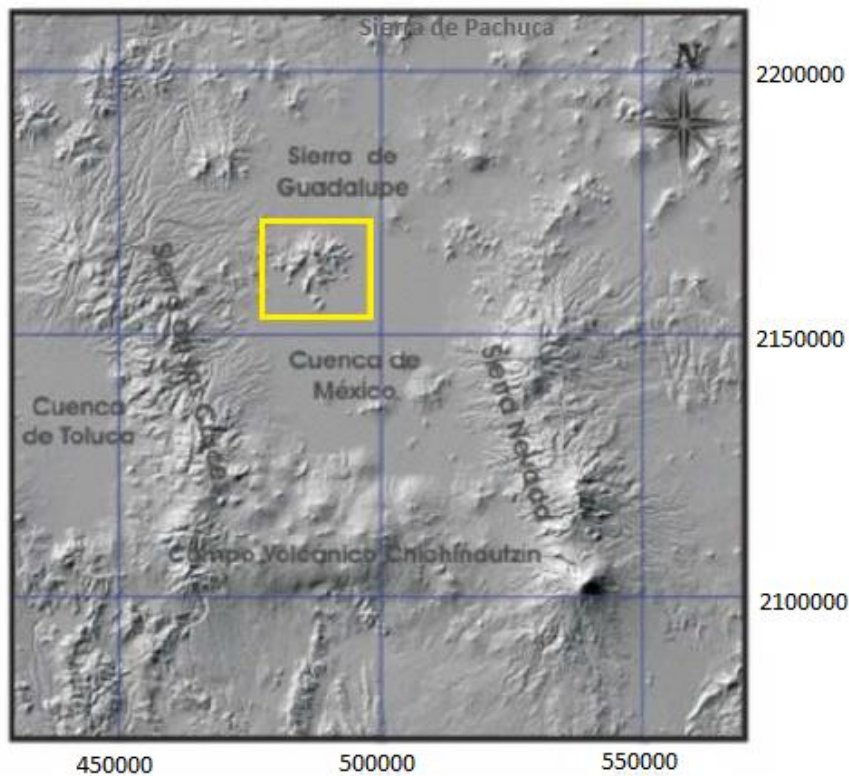


Figura 31. Cuenca de México, la Sierra de Guadalupe se resalta en el recuadro amarillo. Modificado de García-Palomo, 2007.

La Sierra de Guadalupe se formó por dos tipos de actividad volcánica; la primera de estas por desarrollo de procesos explosivos en el Plioceno temprano, la segunda por una serie de procesos efusivos en el Plioceno Medio.

Los depósitos volcánicos del Plioceno Temprano originaron algunos estratovolcanes, como los cerros Moctezuma, El Jaral, María Auxiliadora y La Cruz, constituidos por derrames de lava andesítica. Los domos volcánicos como la Presa, Las Peñas y pico Tres Padres se formaron a consecuencia de un derrame lávico de tipo efusivo de composición dacítica, éstos están alineados sobre el arreglo estructural NE-SW (Hubp y Montes, 1996).

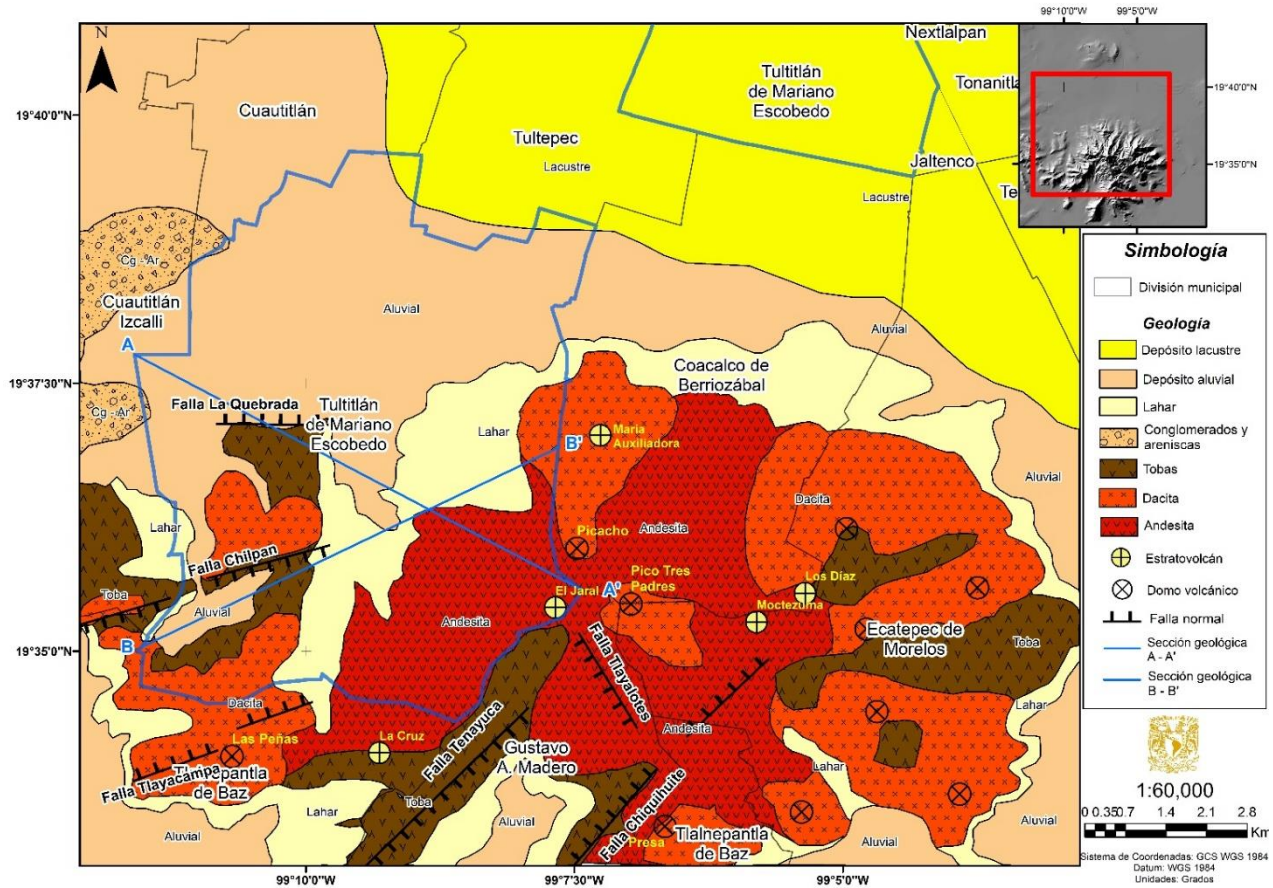


Figura 32. Mapa Geológico de la zona de estudio y alrededores.

2.3.1 Secciones Geológicas

Con la finalidad de conocer la distribución y geometría de las diversas unidades de roca y depósitos lacustres en el subsuelo; se realizaron dos secciones geológicas en el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo en las cuales se muestra la geología de la parte noroeste de la Sierra de Guadalupe (figura 32).

Sección Geológica A – A'

Sección con orientación NW – SE, cuenta con 8.5 km de longitud los cuales atraviesan infraestructura importante del municipio, vías de comunicación, así como importantes estructuras volcánicas y productos de estas. Al sureste de la sección podemos observar la geometría de las andesitas del Mioceno producto del cerro El Jaral, el espesor varía de 800 m en la porción sureste hasta aproximadamente 100 m en la porción más alejada del conducto volcánico. Las tobas de esta actividad volcánica tienen presencia en la parte central de la

sección, con un espesor que ronda los 100 a 200 m. Asimismo, en la porción noroeste, encontramos parte de la Fm. Tarango con aproximadamente 200 m de espesor. Rellenando el valle, se tienen productos aluviales que varían desde 100 a 80 m (figura 33).

Sección Geológica B – B'

Posee una orientación SW – NE con 6.7 km de longitud, la escala vertical se exagera para poder notar los cambios de pendiente que se tienen. Se muestran horizontes de las Dacitas Chiquihuite; producto del cerro María Auxiliadora con 100 m de espesor y del cerro Las Peñas, con 50 m. Por debajo de esta unidad, tienen presencia las andesitas del Mioceno con 200 m, producto del estratovolcán La Cruz. Rellenando el valle productos aluviales con 60 – 70 m de espesor promedio y tobas producto de la actividad miocénica con aproximadamente 50 m de espesor (figura 34).

Sección Geológica A – A'

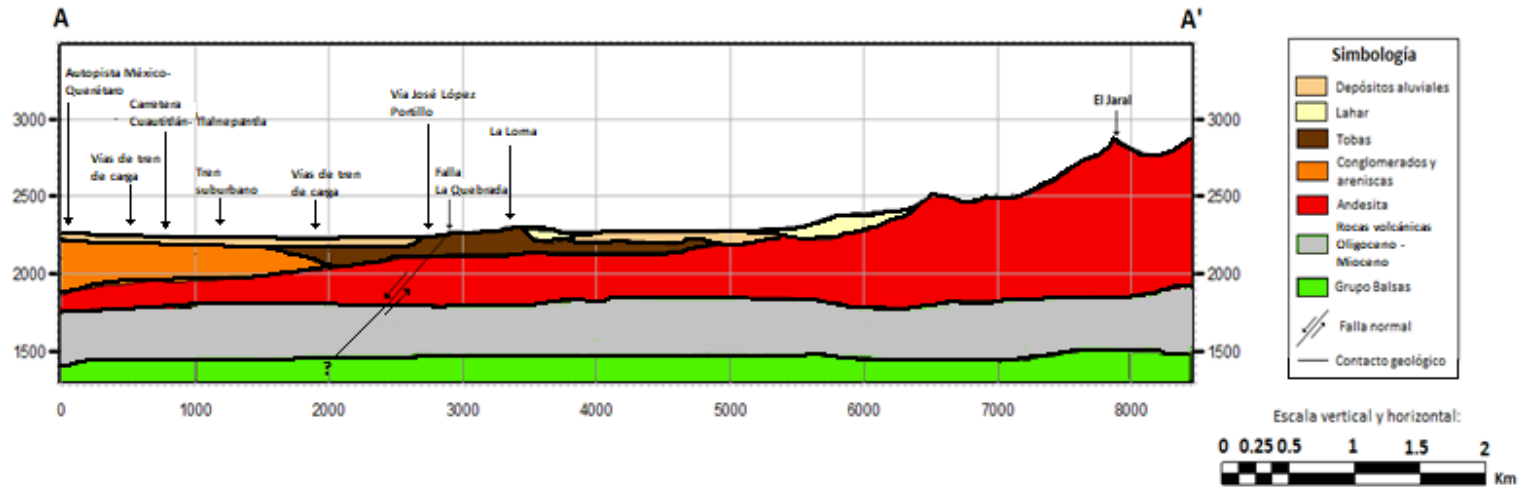


Figura 33. Sección Geológica A – A'.

Sección Geológica B – B'

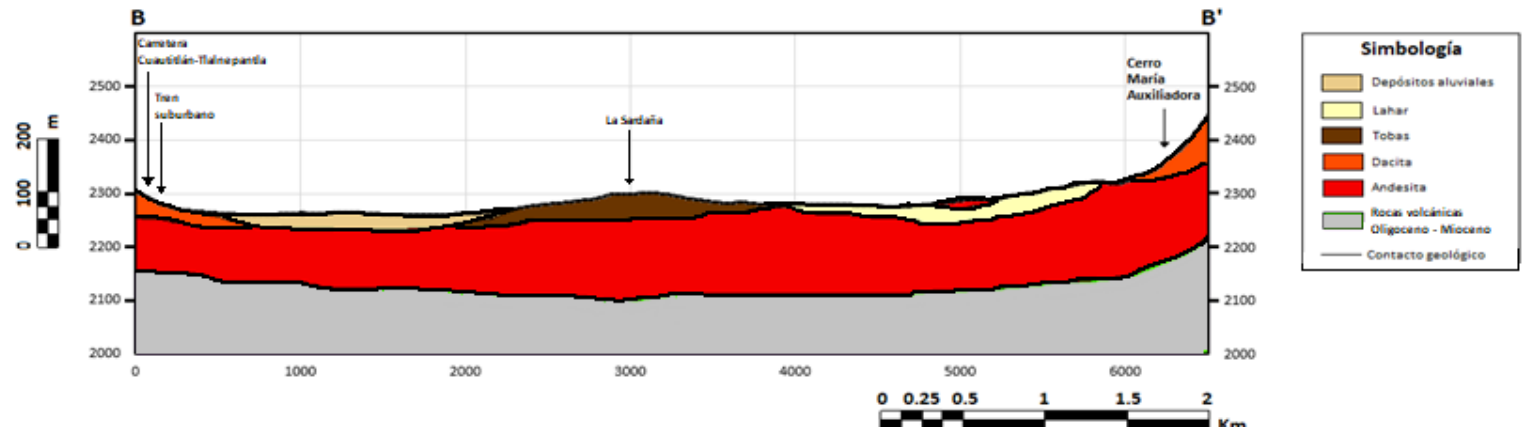


Figura 34. Sección Geológica B – B'.

2.4 Estratigrafía

La secuencia estratigráfica de la Cuenca de México en su porción centro - oeste consiste en rocas volcánicas, depósitos aluviales y lacustres, así como terrígenos del Cenozoico que sobreyacen a las rocas calcáreas y calcareoarcillosas del Cretácico (Castañeda-Leonides, 2011). Los estudios de la estratigrafía de la Cuenca de México han sido innumerables ya que la distribución de unidades volcánicas y sedimentarias es errática tanto vertical como horizontalmente. Sin embargo, para fines de estudio local se elaboró una columna estratigráfica con base en los trabajos realizados de Castañeda-Leonides (2011) y Martínez-García (2009).

PALEÓGENO – NEÓGENO.

Grupo Balsas. Consta de un conglomerado oligomítico calcáreo con matriz limo-arcillosa, de estratificación masiva. El espesor de la unidad es de 800 m. Las capas conglomeráticas se interdigitan por capas deleznable de arcilla, limo y arena, además de derrames lávicos basálticos (Fries, 1960). La distribución espacial y temporal representa un depósito continental fluvial y de talud con baja pendiente (De Cserna, 1988). Unidad post-laramídica, se acumuló simultáneamente en un proceso de deformación que originó fallamiento normal, a consecuencia de lo anterior, se habla de vulcanismo basáltico probablemente fisural. Se presume una relación temporal del Eoceno Tardío – Oligoceno Temprano.

Rocas Volcánicas del Oligoceno Tardío – Mioceno Temprano. Secuencia de tobas líticas, cristalinas y vítreas, así como de brechas tobáceas. Estas secuencias volcánicas contienen capas de clásticos aluviales de 6 m de espesor, lo que indica el tiempo del reposo de la actividad volcánica. Tiene un espesor promedio de 700 m cuya composición varía de andesítica a dacítica.

Rocas Extrusivas del Mioceno Medio y Tardío. Base de la Sierra de Guadalupe. Derrames lávicos principalmente de andesita. Andesitas de lamprobolita o augita, andesitas de hiperstena. Se tiene documentado mediante los pozos Texcoco-1, Roma-1 y Copilco-1 un espesor de 400 m (González-Torres *et. al.*, 2015), y que la unidad se encuentra a 900 m de profundidad en promedio. Además de tobas asociadas con dicha actividad volcánica relleno de valles.

Dacitas Chiquihuite. La Sierra de Guadalupe al ya haber tenido su período de actividad explosiva, pasó a una actividad efusiva lo cual nos dio como consecuencia flujos lávicos

dacíticos, así como domos volcánicos de la zona. El espesor promedio de la unidad es de 300 m. Se propone una duración de actividad de todo el Plioceno temprano. Los depósitos superiores de esta unidad probablemente fueron producto de erosión y posteriormente ser depósito de lahares (Fries, 1960).

Formación Tarango. Depósitos fluviales con clastos de origen volcánico. En el sector estudiado los clastos son producto de la actividad volcánica de la Sierra de las Cruces (depósitos piroclásticos). Se estima un espesor de 400 m. El límite inferior de la Formación está bien definido en el Neógeno – Plioceno Tardío y la parte superior Cuaternario – Pleistoceno Temprano con base a su fauna fósil (Palma-Maya, 2012).

CUATERNARIO.

Depósitos aluviales. Terrígenos que afloran formando llanuras. La región de estudio al estar próxima a la porción Este de la Sierra de las Cruces el espesor es menor, 210 m (Fries, 1960). Se propone para este depósito una edad de Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno.

Depósitos lacustres. Se agrupan en esta unidad los sedimentos clásticos y producto de la erosión de las rocas piroclásticas relacionadas con la actividad volcánica del Popocatepetl y de la Sierra Chichinautzin, los cuales se depositaron en ambiente lacustre. Estos depósitos forman una gran altiplanicie lacustre, extendida con una altitud promedio de 2200 m, desde Zumpango hasta Chalco. El espesor varía de 30 a 80 m (Consultores en Ingeniería Geofísica, 2011). Su origen está íntimamente relacionado con la obstrucción definitiva de la Cuenca de México, por la actividad volcánica de la Sierra Chichinautzin que inició hace 38,590 años con el volcán Coaxusco y su evento más reciente fue hace 2,000 años, el cual fue la erupción de lavas del Xitle (Delgado *et. al.*, 1998).

La Sierra de Guadalupe juega un papel importante geológicamente hablando; por un lado, es una zona de parteaguas, distribuyendo el recurso hacia la zona norte de la Ciudad de México, así como a los municipios del Estado de México que conviven con la misma; también actúa como una zona de recarga vertical del acuífero (Tiburcio-Sánchez y Perevochtchikova, 2009); sin embargo, los escurrimientos superficiales han provocado que zonas bajas (2240 – 2250 msnm) se vean afectadas debido al flujo y estancamiento de agua pluvial.

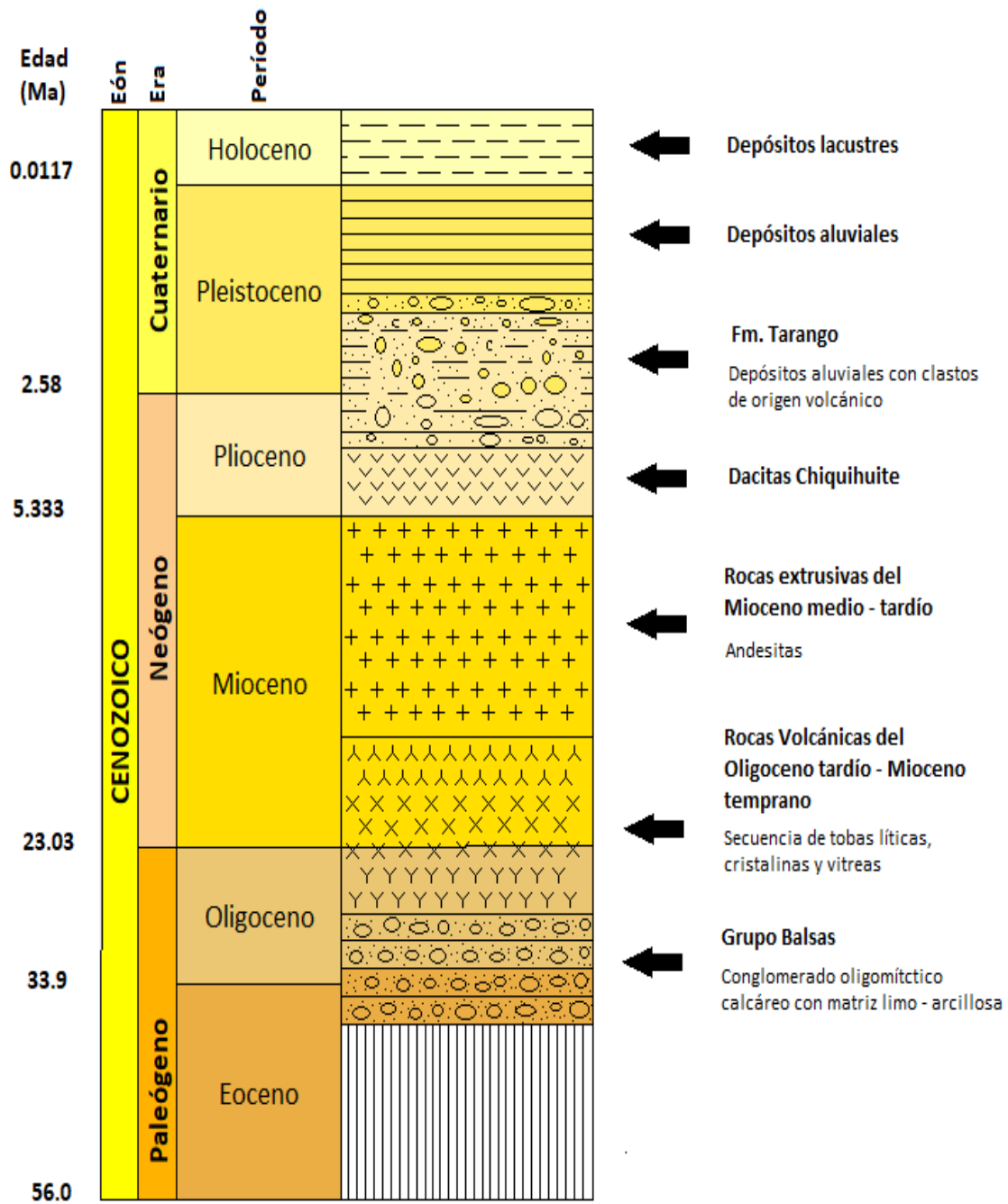


Figura 35. Columna estratigráfica de la porción Centro – Oeste de la Cuenca de México.

2.5 Información Geotécnica

El Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería (Valencia, 2007) a consecuencia del sismo del 19 de septiembre del 2017 propuso una zonificación geotécnica para la Ciudad de México y la zona metropolitana norte para la prevención de riesgos geotécnicos relacionados con actividad antropogénica (construcciones, bombeo de agua) así como de tipo geológico (hundimiento de terreno debido a compactación de arcillas).

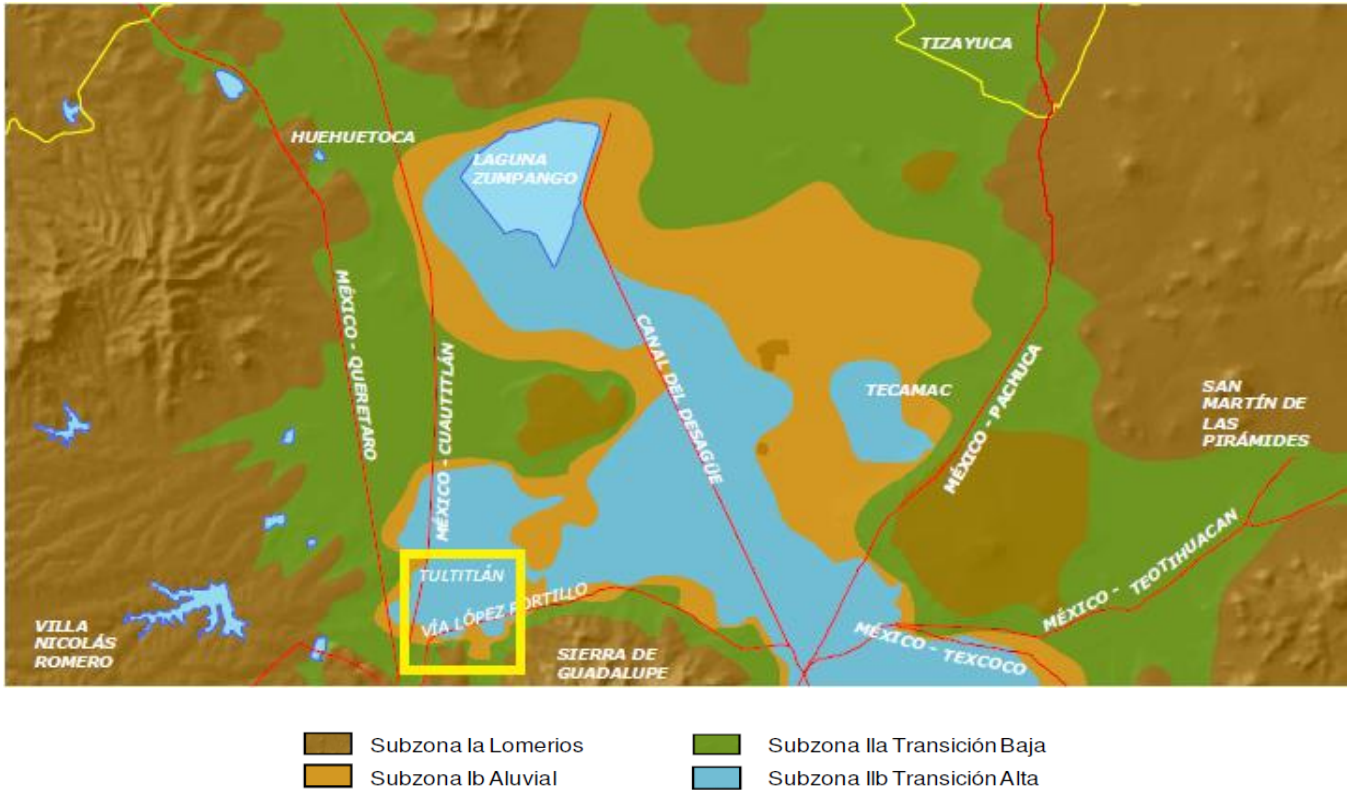


Figura 36. Zonificación geotécnica para el norte de la Ciudad de México y la zona metropolitana, en el recuadro amarillo se resalta el área en estudio. Imagen modificada de Valencia, 2007.

Zona I. Lomas.

- Subzona I a. Lomeríos. Formada por rocas o suelos firmes depositados fuera del ambiente lacustre.
- Subzona II b. Aluvial. Integrada por estratos arenosos y limo-arenosos intercalados con capas de arcilla altamente resistentes.

Zona II. Transición.

- Subzona II a. Transición alta. Está formada por estratos de arcilla lacustre con espesores menores a 2.5 m.

- Subzona II b. Transición baja. Está formada por estratos de arcilla lacustre con espesores mayores a 2.5 m. (Valencia, 2007)

Como podemos observar en la figura 36, dentro del municipio se tienen caracterizadas las cuatro zonas geotécnicas que se tomaron en cuenta para la zona metropolitana de la Ciudad de México, por lo tanto, se procedió a hacer una recopilación de estudios geotécnicos que hay en la literatura y así tener información basta para un próximo análisis de riesgo geológico. Cabe destacar que la mayoría de los sondeos fueron llevados a cabo en espacios urbanos y algunos como los de Salinas-Montes (1994) a pie de monte de la Sierra de Guadalupe (figura 37).

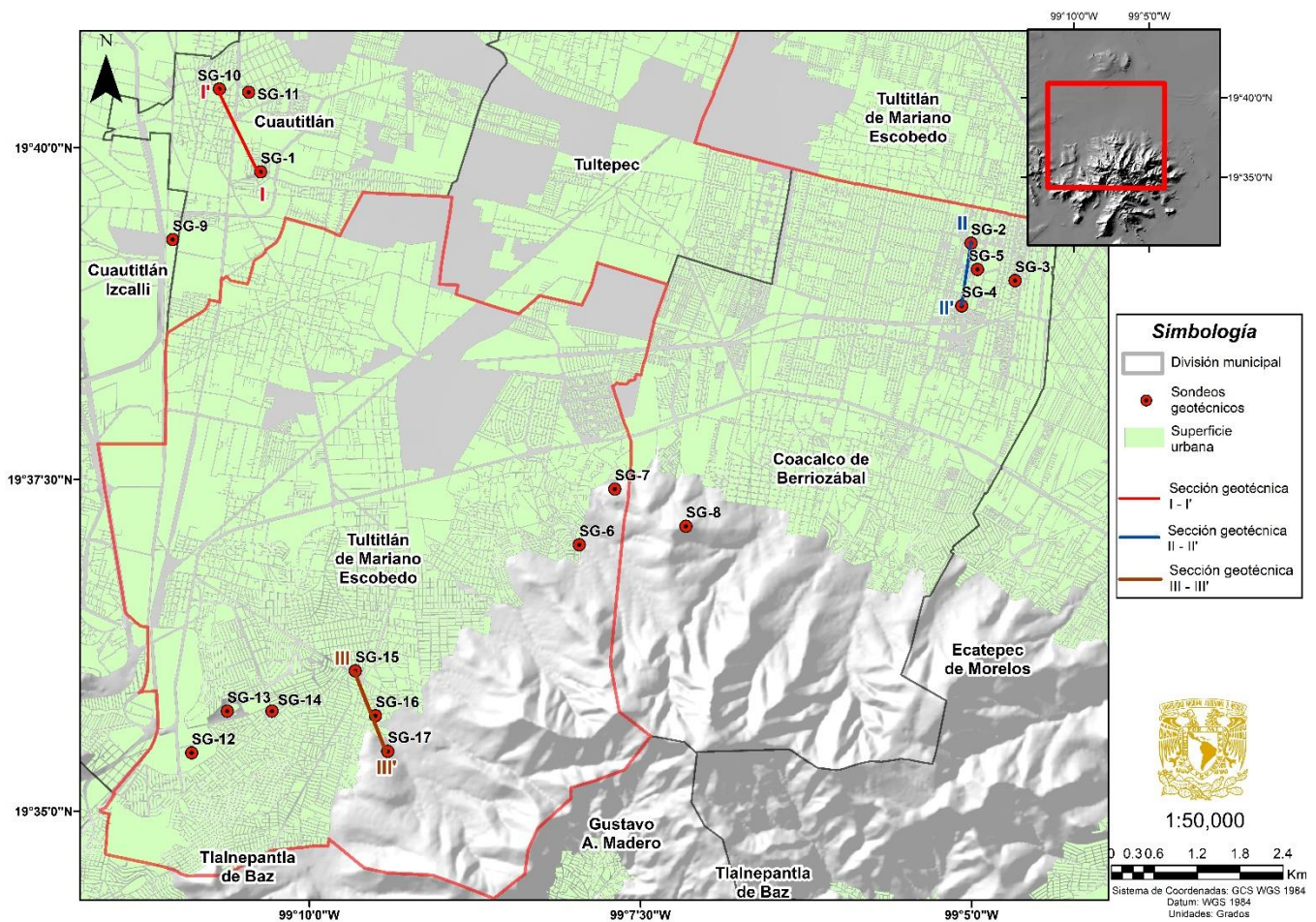


Figura 37. Localización geográfica de los sondeos geotécnicos.

2.5.1 Sondeos geotécnicos

SONDEO GEOTÉCNICO SG-1		
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
0 – 4.80	Suelo limo-arcilloso de color gris oscuro a gris verdoso de alta plasticidad y compresibilidad.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%)
4.80 – 5.40	Arena arcillosa de color gris verdoso, compacta, plasticidad media.	SC – Arenas (material de 0.08 mm > 12%)
5.40 – 7.20	Arena arcillosa color gris verdoso, compacta, plasticidad media, varía a arcilla arenosa dura.	SC – Arenas (material de 0.08 mm > 12%) CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
7.20 – 7.80	Arcilla arenosa color gris verdoso, consistencia dura, plasticidad media.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
7.80 – 9.00	Arcilla arenosa color gris verdoso, consistencia dura, media a alta plasticidad.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
9.00 – 11.40	Limo arcilloso color gris verdoso, consistencia firme a dura, media a alta plasticidad, varía a arcilla arenosa.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%) CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
11.40 – 12.60	Arcilla arenosa color gris verdoso, consistencia dura y media plasticidad.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
12.60 – 16.00	Secuencia de capas de arena arcillosa, arcilla arenosa y limo arcillosas, compactos, de media a alta plasticidad.	SC – Arenas (material de 0.08 mm > 12%) CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%) MH – Limos inorgánicos (LL > 50%)

Tabla 12. Sondeo geotécnico en el fraccionamiento El Rosal, modificado de Escobar-Aubert, 2004.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-2 – Nivel freático a los 12 m		
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
0.19 – 1.59	Relleno superficial constituido por tepetate medianamente compactado.	
1.59 – 2.28	Material de relleno constituido por arcilla arenosa color marrón.	
2.28 – 2.35	Materiales de relleno, arcilla gris verdosa y gris oscura.	
2.35 – 2.64	Arcilla poco limosa, gris verdosa a gris oscura, consistencia blanda, oquedades de raíces fósiles.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
2.64 – 2.72	Capas interestratificadas de arena fina color marrón, compacta con arcilla.	SC – Arenas (material de 0.08 mm > 12%)

2.72 – 3.13	Arcilla limosa, marrón con horizontes verde claro, consistencia blanda, deleznable.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
3.13 – 4.01	Arcilla gris oscura con horizontes verdes, consistencia firme.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)

Tabla 13. Sondeo geotécnico en la Unidad habitacional San Rafael, modificado de Marquez-Vazquez, 2009.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-3 – Nivel freático a los 11.60 m		
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
0.18 – 1.50	Relleno superficial constituido por tepetate medianamente compactado.	
1.50 – 2.25	Material de relleno constituido por arcilla arenosa color marrón de consistencia firme.	
2.25 – 2.31	Materiales de relleno, arcilla gris verdosa y gris oscura, medianamente compacta.	
2.31 – 2.62	Arcilla gris verdosa con intercalaciones de arena, se presentan concreciones de arcilla gris oscura. En los horizontes de arcilla se presentan oquedades de raíces fósiles.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%)
2.62 – 2.71	Capas interestratificadas de arena fina color marrón, compacta con arcilla.	
2.71 – 3.10	Limo arcilloso marrón con horizontes verdes, consistencia blanda, con incrustaciones de arena fina.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%) OH – Limos orgánicos (LL > 50%)
3.10 – 4.05	Limo arcilloso gris oscuro en algunas partes verde oscuro, consistencia media a firme, agrietado verticalmente con aberturas de hasta 1 cm.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)

Tabla 14. Sondeo geotécnico en la Unidad habitacional San Rafael, modificado de Marquez-Vazquez, 2009.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-4 – Nivel freático a los 11.75 m		
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
0.08 – 1.40	Relleno superficial constituido por tepetate medianamente compactado.	
1.40 – 2.28	Material de relleno constituido por arcilla arenosa color marrón de consistencia firme y compactado.	
2.28 – 2.35	Materiales de relleno, arcilla gris oscura con raíces.	
2.35 – 2.65	Arcilla gris verdosa con raíces, consistencia media y poco agrietada.	CH – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
2.65 – 2.75	Capas interestratificadas de arena fina color marrón con arcilla.	SC – Arenas (material de 0.08 mm > 12%)

2.75 – 3.10	Arcilla gris verdosa oscura, consistencia blanda, agrietada y con oquedades por raíces fósiles.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
3.10 – 4.05	Limo arcilloso gris oscuro en algunas partes con materia verde oscuro, consistencia media a firme, agrietado verticalmente con aberturas de hasta 1 cm.	OH – Limos orgánicos (LL > 50%)

Tabla 15. Sondeo geotécnico en la Unidad habitacional San Rafael, modificado de Marquez-Vazquez, 2009.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-5		
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
0 – 5.10	Arcillas limosas, color gris oscuro a gris verdoso. Se aprecian grietas con aberturas de hasta 1.5 cm. Consistencia de blanda a firme.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
5.10 – 6.90	Limo arcilloso color gris verdoso de consistencia blanda, alta plasticidad y compresibilidad.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%)
6.90 – 7.50	Limos arcillosos de color gris verdoso, consistencia dura.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%)
7.50 – 8.70	Limo arcilloso, color gris verdoso de consistencia firme.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%)
8.70 – 10.50	Secuencia de capas limo arcillosas y arcillas arenosas, consistencia dura y mediana plasticidad.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%) CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
10.50 – 11.70	Limo arcilloso gris verdoso, consistencia firme.	MH – Limos inorgánicos (LL > 50%)
11.70 – 12.30	Arcillas limosas con poca arena fina, color gris con horizontes verdes, consistencia dura.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
12.30 – 14.50	Arcilla arenosa de color gris verdoso.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
14.50 – 16.00	Secuencia de arenas limosas de color gris verdoso, muy compactas.	SM – Arenas (material de 0.08 mm < 5%)

Tabla 16. Sondeo geotécnico en el fraccionamiento El Rosal, modificado de Escobar-Aubert, 2004.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-9	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 0.10	Relleno antropogénico
0.10 – 1.45	Arcilla limosa marrón oscuro, con variedad de raíces, se forman concreciones de arcilla, plasticidad media, consistencia semi-rígida, quebradiza
1.35 – 2.10	Arena limo arcillosa color marrón, con raíces aisladas, compacta

Tabla 17. Sondeo geotécnico para la construcción de un anuncio carretero. Modificado de López-Rincón, 2017.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-10		
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
0 – 1.20	Arcilla limosa color marrón oscuro, intercalada con arena fina y raíces, consistencia firme.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
1.20 – 3.20	Arcilla poco limosa color grisáceo, material con concreciones y quebradizo.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
3.20 – 4.40	Arcilla limo-arenosa color marrón claro, consistencia dura.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
4.40 – 6.50	Arena fina a gruesa con intercalaciones de limo, color marrón claro	SM – Arenas (material de 0.08 mm < 5%)
6.50 – 7.90	Arcilla arenosa color marrón con tintes verdes, consistencia dura	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
7.90 – 15.40	Limo arcilloso color gris verdoso con intercalaciones de arcilla arenosa, consistencia dura.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%) SC – Arenas (material de 0.08 mm > 12%)

Tabla 18. Sondeo geotécnico para un estudio de mecánica de suelos. Modificado de Segovia-Morales, 1998.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-11		
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)
0 – 1.60	Arcilla limosa, marrón oscuro, horizontes de arena con raíces (material de relleno), consistencia medianamente firme.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
1.60 – 3.00	Arcilla con pocos limos, gris oscura, material con concreciones y quebradizo, consistencia firme a muy firme.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
3.00 – 3.60	Arcilla limosa color grisácea con intercalaciones de arena fina	
3.60 – 4.80	Arcilla limosa color gris verdoso, con arena fina y media.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)
4.80 – 10.00	Arcilla con horizontes de limo, color gris verdosa, poca arena fina contenida, consistencia dura.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%) ML – Limos inorgánicos (LL < 50%)
10.00 – 12.40	Arcilla con limos color marrón oscuro.	CH – Arcillas inorgánicas (LL > 50%)
12.40 – 15.10	Arcilla limosa color gris verdoso y horizontes marrones, con arena fina, consistencia dura.	CL – Arcillas inorgánicas (LL < 50%)

Tabla 19. Sondeo geotécnico para un estudio de mecánica de suelos. Modificado de Álvarez-Bautista, 1998.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-12	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 15.00	Capa de piroclastos areno-arcillosos de color amarillo, con pequeños fragmentos de pómez de 0.5 a 2 cm

SONDEO GEOTÉCNICO SG-13	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 0.30	Pómez color amarillo
0.30 – 0.60	Brecha volcánica color rosa
0.60 – 2.10	Lavas andesíticas de color rojizo afectada por falla

SONDEO GEOTÉCNICO SG-14	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 0.20	Suelo limo-arcilloso presumiblemente un litosol
0.20 – 0.90	Conglomerado oligomítico con matriz arcillosa
0.90 – 1.90	Material piroclástico removido (subredondeado), areno arcilloso de color oscuro
1.90 – 3.00	Material arcilloso producto de la meteorización de las rocas volcánicas

SONDEO GEOTÉCNICO SG-15	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 0.50	Suelo limo-arcilloso
0.50 – 1.50	Materiales finos de pómez y ceniza volcánica
1.50 – 5.50	Toba masiva color amarillo, deleznable con horizontes de arenas

SONDEO GEOTÉCNICO SG-16	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 0.15	Suelo limo-arcilloso
0.15 – 1.00	Lavas andesíticas
1.00 – 4.25	Depósitos de flujos piroclástico
4.25 – 6.50	Depósito de lahar, con detritos angulosos de 10 a 15 cm en una matriz areno-arcillosa
6.50 – 7.25	Material fino de pómez y ceniza volcánica

SONDEO GEOTÉCNICO SG-17	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 2.00	Lavas andesíticas muy compactas con cristales de cuarzo y feldespatos
2.00 – 4.00	Depósito de flujo piroclástico, con pequeños fragmentos de pómez y líticos de andesita.

SONDEO GEOTÉCNICO SG-6	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 2.00	Lavas andesíticas muy compactas
2.00 – 4.50	Roca pómez de coloración rojiza y en partes marrón
4.50 – 10.50	Tobas cristalinas y tobas líticas interestratificadas
10.50 – 12.00	Lavas andesíticas

SONDEO GEOTÉCNICO SG-7	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 1.5	Lavas andesíticas muy compactas
1.50 – 3.00	Roca pómez de coloración rojiza
3.00 – 4.00	Suelo negro tipo turba
4.00 – 6.00	Tobas líticas

SONDEO GEOTÉCNICO SG-8	
INTERVALO DE SONDEO (m)	DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA
0 – 1.00	Toba de grano grueso bien soldada con horizontes de pómez
1.00 – 2.00	Toba arenosa
2.00 – 3.50	Pómez con granos de 2.5 mm color amarillo
3.50 – 5.50	Toba masiva de textura arenosa color grisáceo
5.50 – 6.00	Toba soldada color gris-rosa, clastos redondeados de hasta 3 mm
6.00 – 10.00	Toba masiva de color amarillo, deleznable
10.00 – 11.50	Toba limo arenosa de color rosa, compacta

Tabla 20. Compendio de sondeos geotécnicos (6-8, 12-17) en pie de monte de la Sierra de Guadalupe. Tomados de Salinas-Montes, 1994.

2.5.2 Secciones geotécnicas

En el apartado 2.5.1 Sondeos geotécnicos se mostró la estratigrafía y características de 17 sondeos distribuidos en la región de estudio; en donde el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo cuenta con 8, Cuautitlán Izcalli con 4 y finalmente Coacalco de Berriozábal con 5; a su vez, se eligieron 7 sondeos representativos del subsuelo de la región, mediante los cuales se realizaron 3 secciones geotécnicas en los primeros 15 m de profundidad, con el objetivo de conocer la distribución y geometría de los horizontes de los depósitos lacustres en el subsuelo. Es importante mencionar que en las secciones predominan los depósitos de arcillas lacustres, aluviales, así como algunos horizontes de pómez y tobas en la zona de transición.

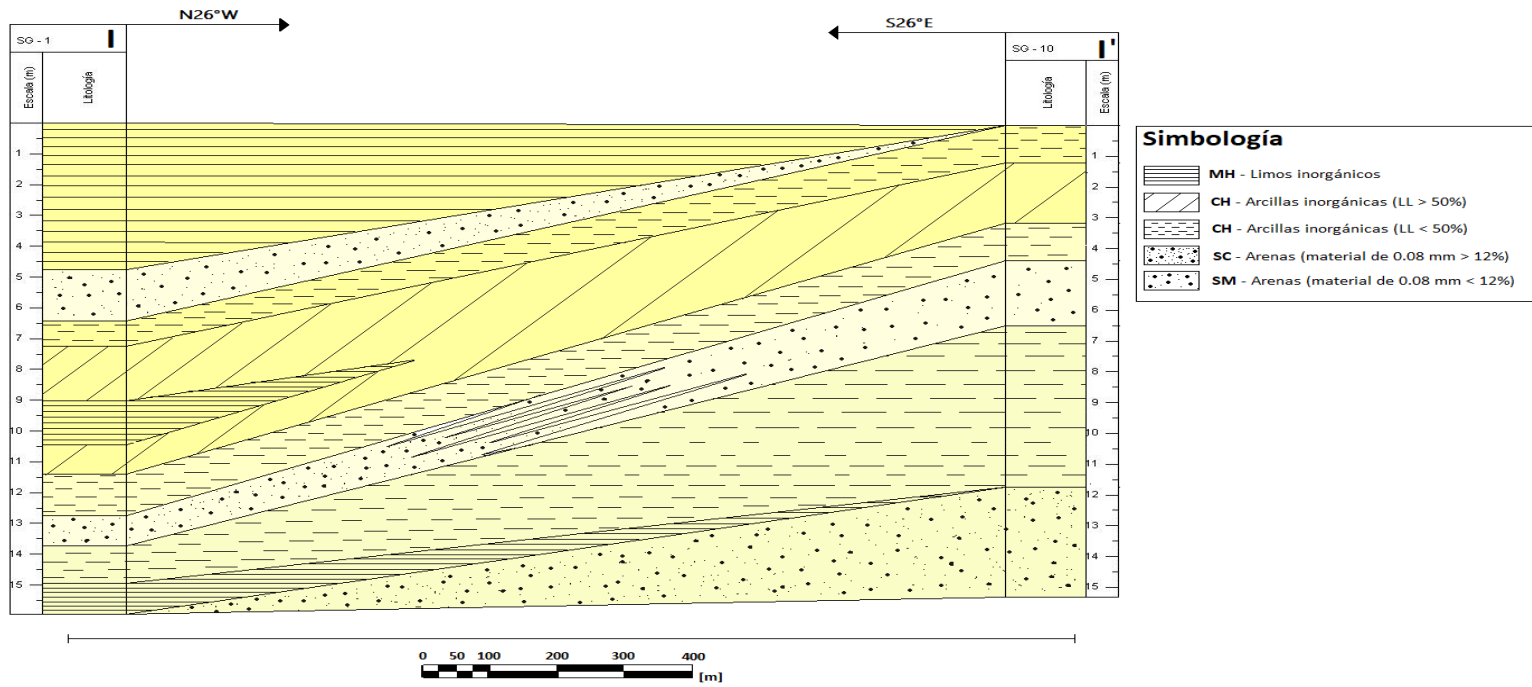
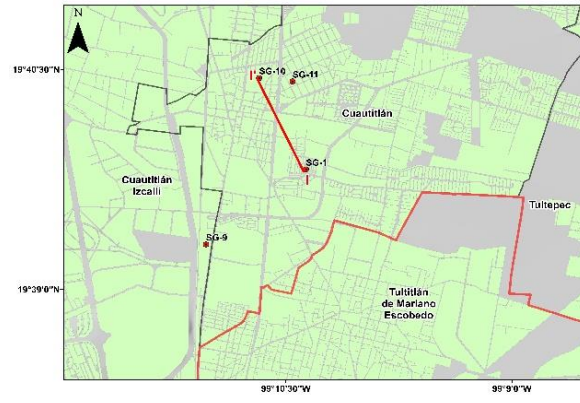


Figura 38. Sección geotécnica I – I’.

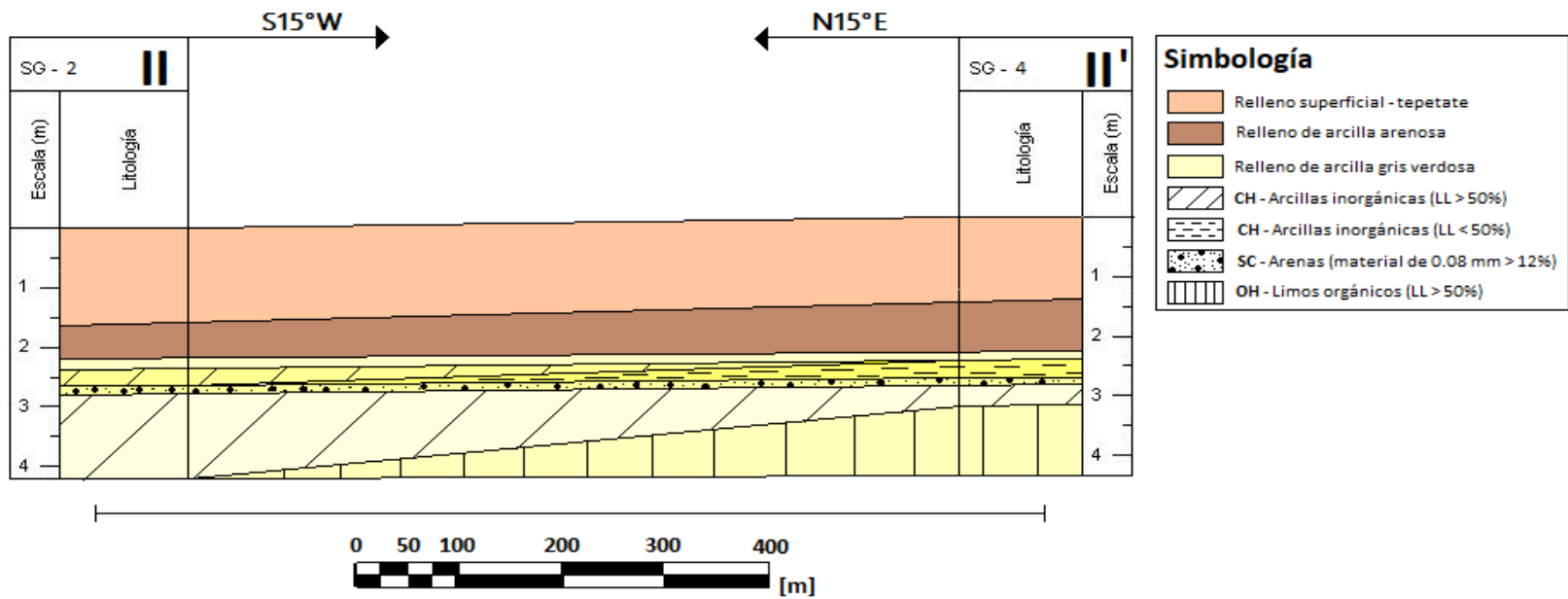
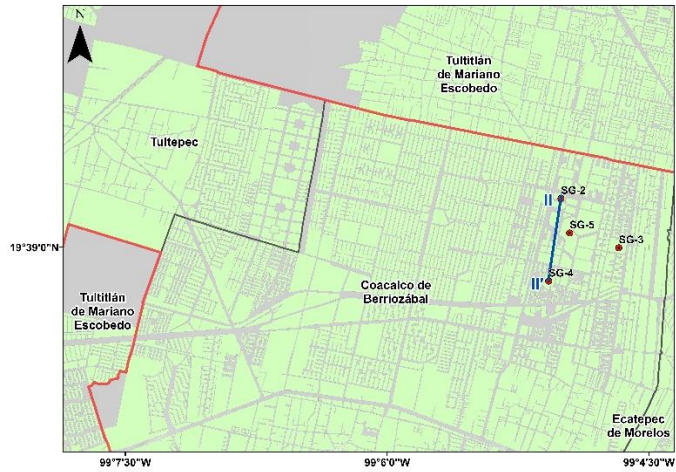


Figura 39. Sección geotécnica II – II’.

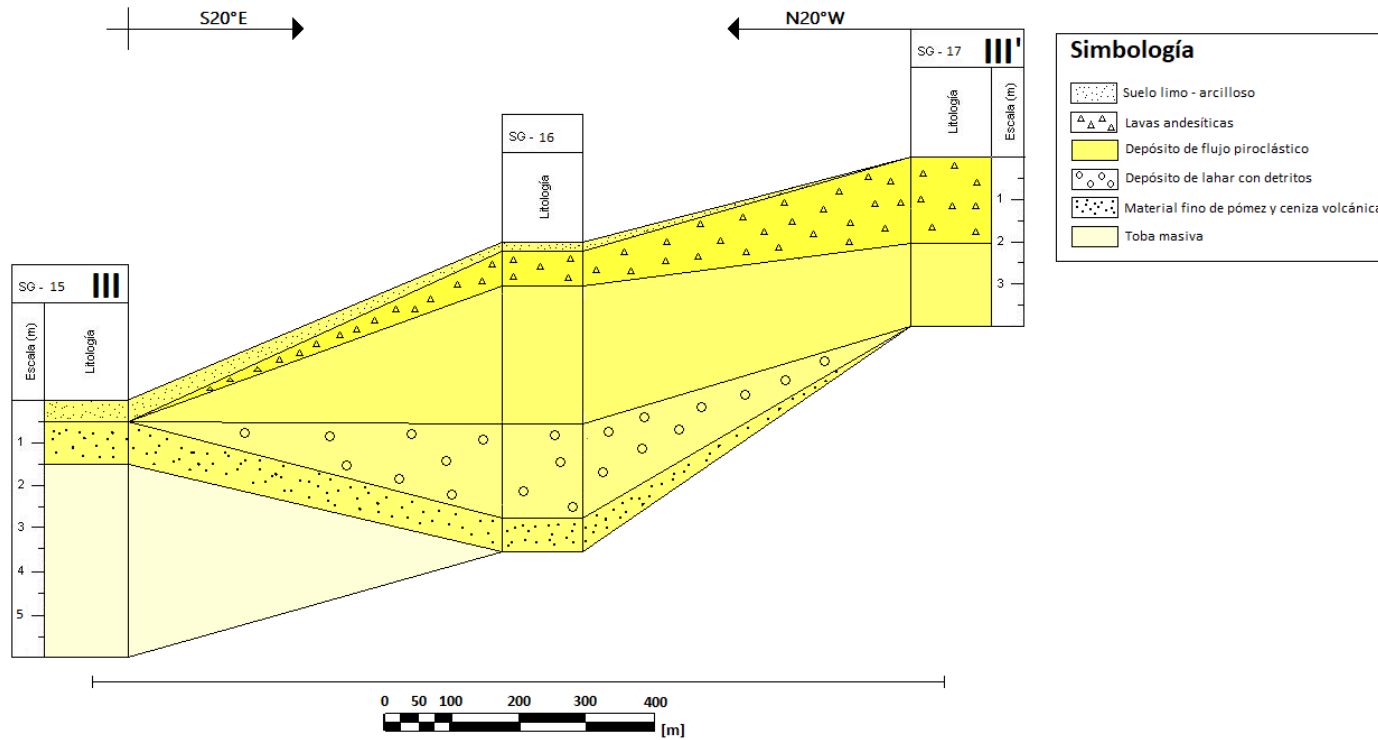
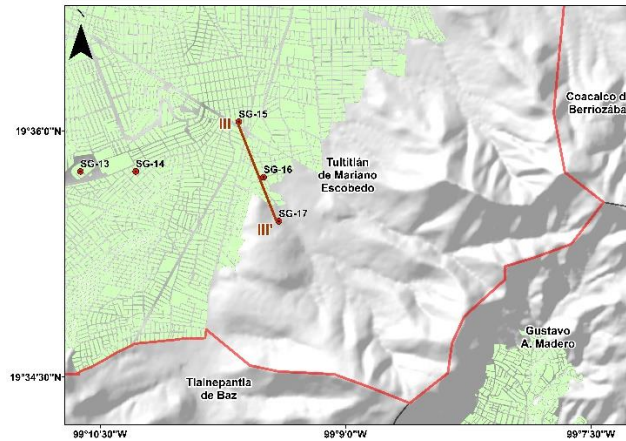


Figura 40. Sección geotécnica III – III'. Transición roca volcánica – suelo.

2.6 Geología estructural

En la FVTM se han identificado diversos tipos de arreglos estructurales relacionados con esfuerzos tectónicos horizontales y verticales ejercidos desde la trinchera de Acapulco; los primeros son producto de fuerzas de compresión y cizalleo (Mooser, 1987) los cuales son de suma importancia para nuestra región en estudio ya que esta tectónica nos da como consecuencia un arreglo estructural NE-SW, como lo podemos ver en la figura 41. Los esfuerzos verticales son originados por tectónica ascendente que, a su vez en superficie, nos genera un movimiento tensional (figura 42).



Figura 41. Movimiento de Placa de Cocos siendo subducida por la Placa Norteamericana. Modificado de Mooser, 1987.

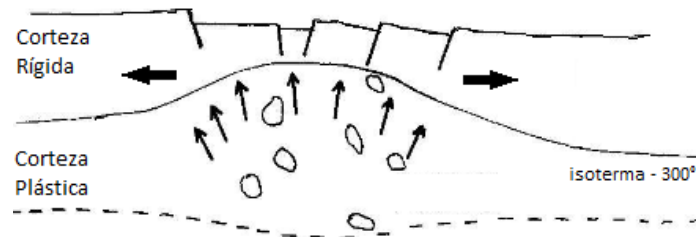


Figura 42. Esfuerzos ascendentes. Modificado de Mooser, 1987.

El arreglo estructural NE-SW se extiende desde Petatlán, Guerrero hasta los estados de Hidalgo y Tlaxcala y es conocido como el Cizallamiento Tenochtitlan (de Cserna *et. al.*, 1988) Se trata del movimiento diferencial de dos bloques regionales con velocidad promedio de 7.7 cm/año.

Durante el Mioceno tardío en la región de Apán, estado de Hidalgo actuó como un sistema de fallas laterales izquierdas y posteriormente en el Pleistoceno como fallas normales (García-Palomo, 2008). Existen diversas evidencias de este arreglo estructural sin embargo las más importantes son las que presenta García-Palomo, (2000) en la región de Apán con las fallas Tizayuca, Texcoco y Tolcayuca con dirección NE; asimismo con trabajos en la Sierra de Guadalupe (2006-2007) y Sierra de las Cruces donde nos brinda los mismos resultados (2008).

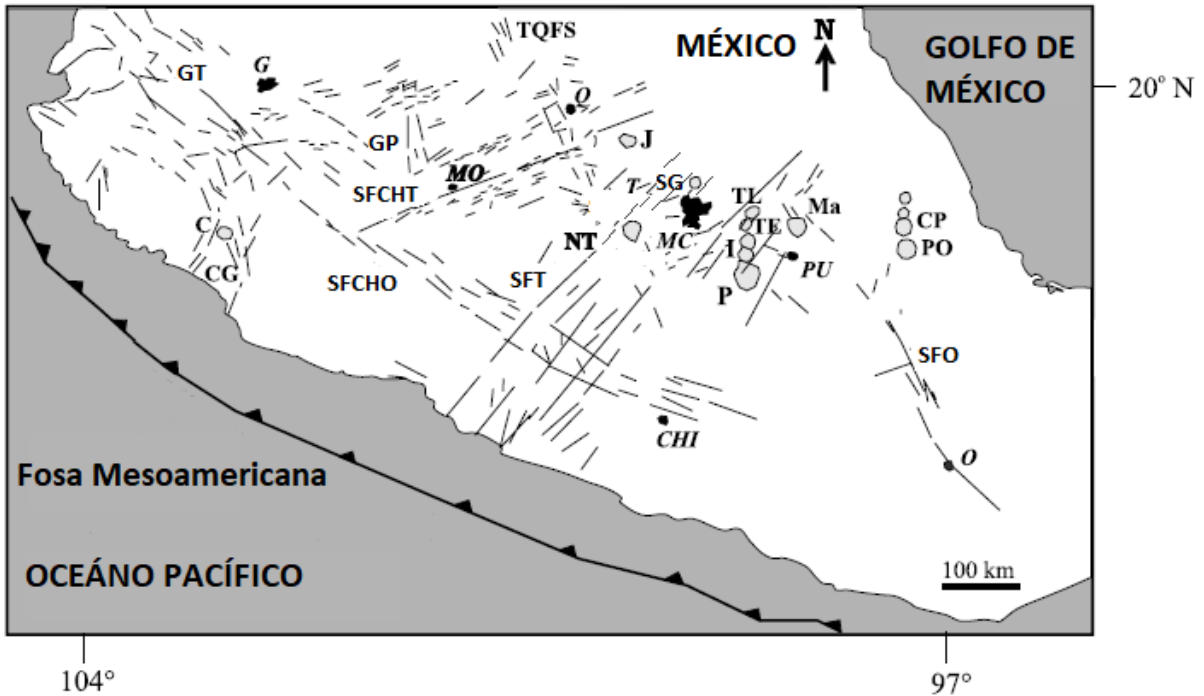


Figura 43. Arreglos estructurales NE-SW y NW-SE dentro de la FVTM y su relación con áreas volcánicas. Volcanes: CP-Cofre de Perote, NT-Nevado de Toluca, C-Colima, Ma-La Malinche, TE-Telapón, TL-Tláloc, I-Iztaccihuatl, J-Jocotitlán, P-Popocatepetl, SG-Sierra de Guadalupe. Ciudades: MC-Ciudad de México, T-Toluca, PU-Puebla, Q-Querétaro, O-Oaxaca, CHI-Chilpancingo, MO-Morelia, G-Guadalajara. Sistemas de fallas: SFO-Sistema de fallas de Oaxaca, SFT-Sistema de fallas Tenochtitlan, SFCHO-Sistema de fallas Chapala-Oaxaca, SFCHT-Sistema de fallas Chapala-Tula. Otras estructuras: GT-Graben de Tepic, GP-Graben de Penjamillo. Modificado de García-Palomo *et. al.*, 2002.

Para el análisis estructural de la zona se realizó un Modelo Digital de Elevación (MDE) que posteriormente fue base para elaborar un mapa de sombras con el cual se trabajó para marcar diversas fracturas y fallas (estas últimas digitalizadas de García-Palomo *et. al.*, 2007), dentro y alrededor del municipio en estudio; asimismo se produjo una roseta de fracturamiento para observar la dirección preferencial de los rasgos estructurales en la región. (figura 44)

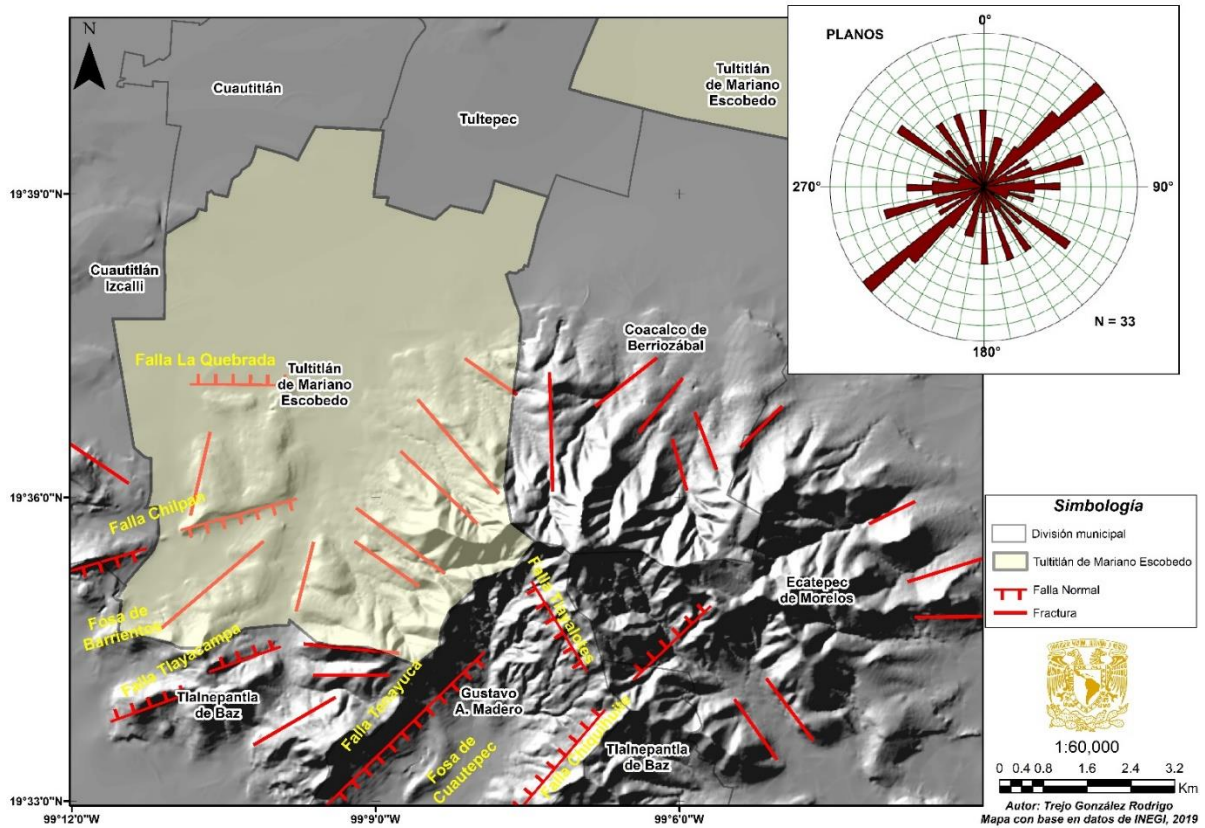


Figura 44. Mapa estructural de la Sierra de Guadalupe y alrededores. El sistema estructural predominante es el N45°E.

El sistema estructural predominante es N45°E el cual concuerda con el cizallamiento Tenochtitlan. Dentro del municipio se tienen tres fallamientos normales, dos que nos forman la Fosa de Barrientos; la Falla de Tlayacampa y Falla de Chilpan, así mismo, hacia la zona centro encontramos Falla La Quebrada.

CAPÍTULO 3. RIESGOS

3.1 Definición de riesgo

Un riesgo se refiere a las condiciones, procesos, fenómenos o eventos que debido a su localización y frecuencia pueden causar heridas, enfermedades o la muerte de seres humanos y provocar daños al medio ambiente³, los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad. Asimismo, CENAPRED (2006) lo considera *la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas integrados por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos que pueden ser perturbadores.*

$$\mathbf{RIESGO} = \mathbf{Amenaza} \times \mathbf{Vulnerabilidad}$$

Amenaza es un fenómeno, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, pérdida de sustento alimenticio y de servicios, trastornos económicos o daños ambientales. La amenaza se determina en función de la intensidad y la frecuencia.

$$f(\text{intensidad, frecuencia}) = \text{Amenaza}$$

Intensidad según *oxforddictionaries.com*, 2019 se refiere al grado de fuerza o energía con que se realiza una acción. *Frecuencia* es el número de veces que se repite un fenómeno en un período de tiempo determinado.

Vulnerabilidad son las características de una comunidad que la hacen susceptible a los efectos dañinos de una amenaza. Está conformada por la exposición, susceptibilidad y resiliencia⁴.

$$\text{Vulnerabilidad} = \frac{\text{Exposición} \times \text{Susceptibilidad}}{\text{Resiliencia}}$$

³ Tomado de www.sgm.gob.mx, 2019.

⁴ Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009, Naciones Unidas.

Exposición es la condición de desventaja debido a la localización de una comunidad expuesta al riesgo. *Susceptibilidad* es el grado de fragilidad interna de una comunidad para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso. *Resiliencia* es la capacidad de una comunidad para resistir, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño, 2017).

Riesgo geológico es aquel riesgo provocado por fenómenos naturales o por la actividad antropogénica y tiene la peculiaridad de ser los que causan mayores catástrofes naturales (Servicio Geológico Mexicano, 2017), con el fin de poder actuar de forma preventiva y minimizar el impacto de estos peligros sobre las personas, así como de los bienes materiales, es necesario conocer su comportamiento y su distribución en el territorio de estudio.

3.2 Clasificación de Riesgos Geológicos

Los Riesgos Geológicos se clasifican en tres grupos (Servicio Geológico Mexicano, 2017):

1. Los originados directamente por la geodinámica interna de la Tierra (volcanes, terremotos, tsunamis).
2. Los que son originados procesos exógenos (inundaciones, movimientos gravitacionales).
3. Los riesgos geológicos inducidos por la intervención y modificación directa del ser humano sobre el medio geológico o la dinámica de diversos procesos naturales (sobre-explotación de acuíferos, tala de árboles, construcción de taludes).

Cada uno de los riesgos se estudia con el propósito de determinar sus causas, alcance y evaluar su riesgo; y así poder establecer medidas preventivas para evitar y/o minimizar el riesgo que existe en la zona. Es por eso que a continuación se enlistan los puntos de mayor riesgo geológico para el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, así como un posterior análisis para analizar causas, consecuencias y posibles medidas de mitigación en un futuro inmediato.

3.3 Riesgo por deslizamiento del terreno

CENAPRED (2016) define ladera como *aquel o aquello perteneciente o relativo a un lado, asimismo, este término suele utilizarse para nombrar el declive de una montaña, de un monte*

o de una altura en general cuando su formación siempre y cuando haya sido consecuencia de la naturaleza, si es antropogénica se le denominará talud. La inestabilidad de laderas, también conocida como proceso de remoción de masa, se puede definir como la pérdida de la capacidad de cohesión del terreno natural para autosustentarse, lo que deriva en reacomos y colapsos (deslizamientos). Se denomina *deslizamiento* a la rotura y desplazamiento del suelo situado debajo de un talud, que origina un movimiento hacia abajo y hacia afuera de toda la masa que participa en el mismo (De Matteis, 2003); dado que la gravedad actúa permanentemente sobre una pendiente, los deslizamientos solo ocurren cuando la fuerza de gravedad es mayor que la resistencia del material. Generalmente este fenómeno se presenta en zonas montañosas donde la superficie del terreno adquiere diversos grados de inclinación⁵. El grado de estabilidad depende de factores condicionantes como la geología, geomorfología, grado de deforestación y la actividad antropogénica. A su vez, existen dos tipos de factores que favorecen el deslizamiento; uno de ellos es el natural como lluvias, sismos, actividad volcánica; por otro lado, los componentes antropogénicos, como lo pueden ser las filtraciones de agua, excavaciones, colocación de sobrecargas (viviendas, edificios, etc.). Según datos del CENAPRED (2006): se estima que en promedio se pierden alrededor de 30 vidas, 187 viviendas y 113 millones de pesos cada año a consecuencia de este fenómeno geológico, sin embargo, Suárez-Días (1998) nos comenta que: el 90% de las pérdidas que se dan tanto económicas como sociales son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Como ya hemos visto, el peligro de los deslizamientos del terreno está dado por diversas causas: los materiales geológicos de la zona; los cuales en su mayoría son depósitos de lahar, así como materiales volcánicos de la parte central de la Sierra de Guadalupe; por la geomorfología del sitio; y por los diversos factores naturales, así como antropogénicos como lo es la tala de árboles. Asimismo, para la elaboración de un mapa de riesgos por este fenómeno en el municipio, se tomó en cuenta otro factor, la velocidad del movimiento. El desplazamiento del terreno, si bien está condicionado por el tipo de material que se está removiendo; la velocidad juega un elemento importante para la evaluación del riesgo en el sitio ya que como

⁵ Tomado de <http://www.atlasnacionalderiesgos.qob.mx>

sabemos, entre la pendiente sea mayor, la velocidad incrementará y los daños a la población podrían ser mayores (tabla 21).

DESCRIPCIÓN	DESPLAZAMIENTO	PODER DESTRUCTIVO
Extremadamente rápido	5 m/seg	Edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable.
Muy rápido	3 m/min	Algunas pérdidas de vidas, velocidad que no permite escapar a las personas.
Rápido	1.8 m/hr	Escape posible, infraestructura de edificaciones con algunos daños.
Moderado	13 m/mes	Estructuras pueden mantenerse, sin embargo construcciones están alabeadas.
Lento	1.6 m/año	Se pueden realizar construcciones para remediar el fenómeno. Edificaciones sin problemas para funcionamiento.

Tabla 21. Velocidad de los movimientos y posibles consecuencias. Modificado de Suárez-Díaz, 1998.

A consecuencia de lo anterior, se ha procedido a hacer una clasificación de los principales tipos de deslizamiento de terreno que podrían tener presencia en el municipio (tabla 22 y figura 45), así como algunas de sus características las cuales pueden ser aplicables a la región del estudio.

TIPO DE DESLIZAMIENTO	DINÁMICA DEL TIPO DE DESLIZAMIENTO	CARACTERÍSTICAS
Caídos o derrumbes	Desprendimientos	Caída de suelos producto de la erosión atendiendo a discontinuidades estructurales.
	Vuelcos o volteos	Caída de bloques rocosos con giro hacia adelante y afuera, propiciado por las discontinuidades estructurales, tienden al desplazamiento vertical.
Deslizamientos	Rotacionales	Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava hacia arriba, definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima de su centro de gravedad. A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas muy intemperizadas.
	Translacionales	Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplaza hacia afuera y hacia abajo a lo largo de una superficie de falla más o menos

		plana. Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares.
Flujos	Lahar	Flujo de suelos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos.
	Flujos de tierra o suelo	Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.
	Flujos de lodo	Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.

Tabla 22. Tipos de deslizamientos y sus características. Modificado de Mendoza-López *et. al.*, 2002.

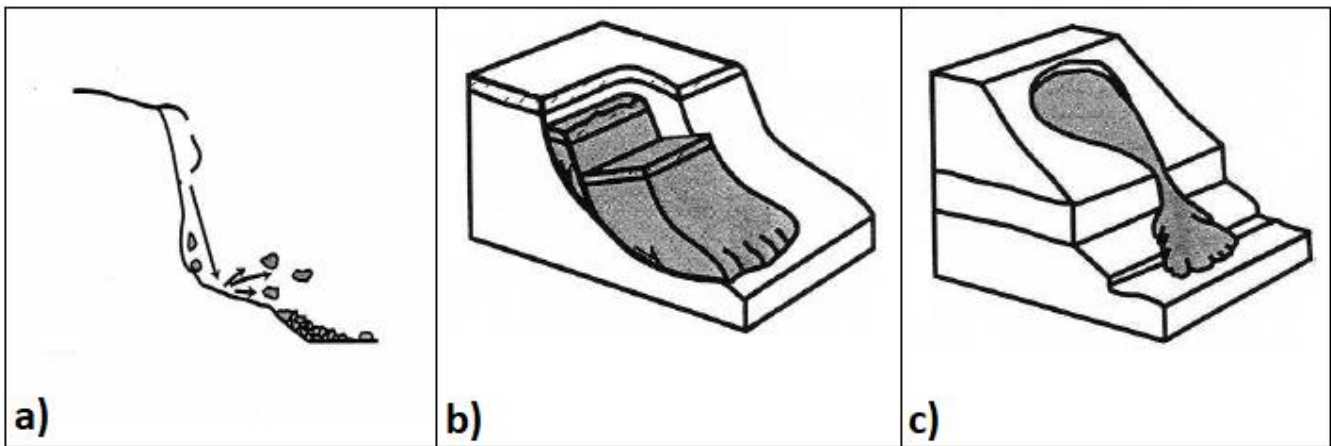


Figura 45. Esquemización de los tipos de deslizamiento. a) caídos o derrumbes, b) deslizamientos y c) flujos. Modificado de Mendoza-López *et. al.*, 2002.

3.4 Riesgo por inundación

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) define inundación como “el evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o a la falla de laguna obra de infraestructura hidráulica provoca un incremento en la superficie libre del agua en los ríos, lagos, lagunas o en el mar mismo, generando invasión o penetración del agua en sitios donde usualmente no la hay” (Coordinación Nacional de Protección Civil, 2018).

En el mundo, las inundaciones son consideradas como el desastre natural más dañino, peligroso y que tiene más pérdidas económicas (Hernández-Uribe, 2017). Según datos de la *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (2002): de los desastres que

se presentan en el orbe relacionados con el agua, 50% corresponde a inundaciones, por encima de hambrunas, sequías y epidemias. Tan solo en México el panorama no es diferente, ya que según datos de la Coordinación Nacional de Protección Civil (2018): desde el año 1990 hasta el 2016 se tuvieron los siguientes panoramas en cuanto a pérdidas económicas y de población (figura 46).

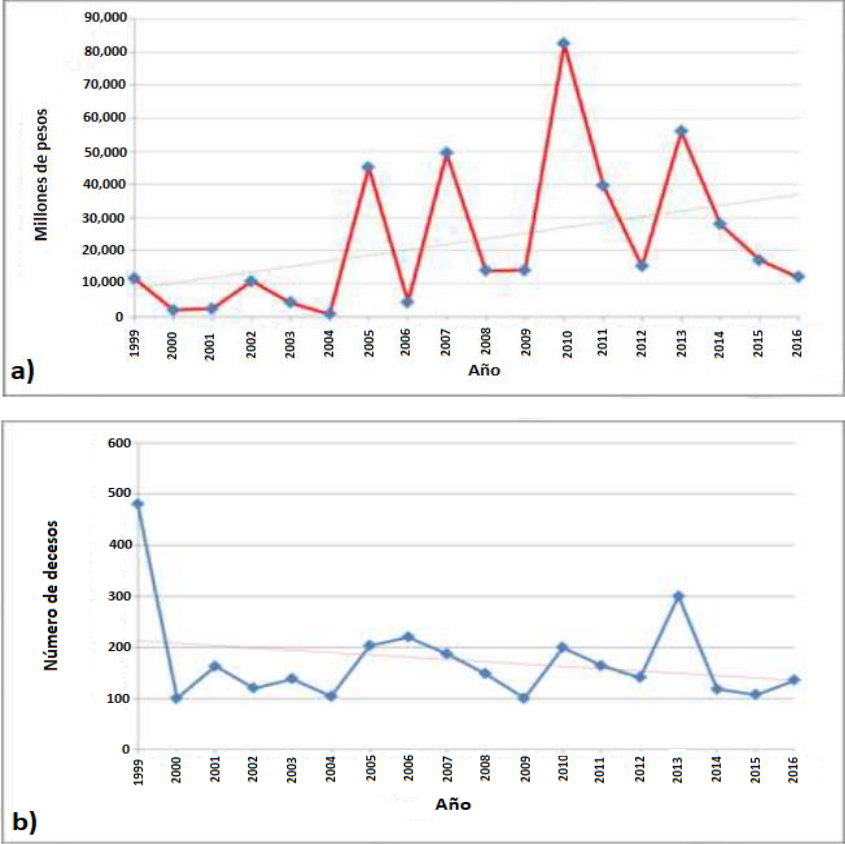


Figura 46. a) Pérdida económica. Durante el período de 1999 a 2016, el 2010 fue el año que más tuvo pérdidas económicas debido a las inundaciones. b) Pérdidas humanas. Disyuntivamente 2010 no fue el año de más decesos humanos, éste fue en 1999 en los estados de Tabasco y Chiapas con aproximadamente 480 muertes. Ambas figuras modificadas de Coordinación Nacional de Protección Civil, 2018.

El número de eventos ha crecido a una velocidad vertiginosa, particularmente en áreas urbanas, impactando de manera negativa el funcionamiento normal de los sectores social, de servicio, económico y financiero, entre otros, dejando en mayor vulnerabilidad a la población con menos recursos. Las consecuencias por mencionar algunas son: afectaciones a la salud (principalmente enfermedades gastrointestinales por el contacto con aguas residuales), daños económicos (pérdida de cultivos, ganado, así como de la vivienda), interrupción de las comunicaciones terrestres, entre otras.

Las inundaciones en México son un tema de fondo, pues en la actualidad son el fenómeno que causa más daños económicos en el país. Cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) muestran que cerca de 41% del territorio nacional y 31 millones de personas están expuestas a fenómenos hidrometeorológicos (Hernández-Uribe, 2017).

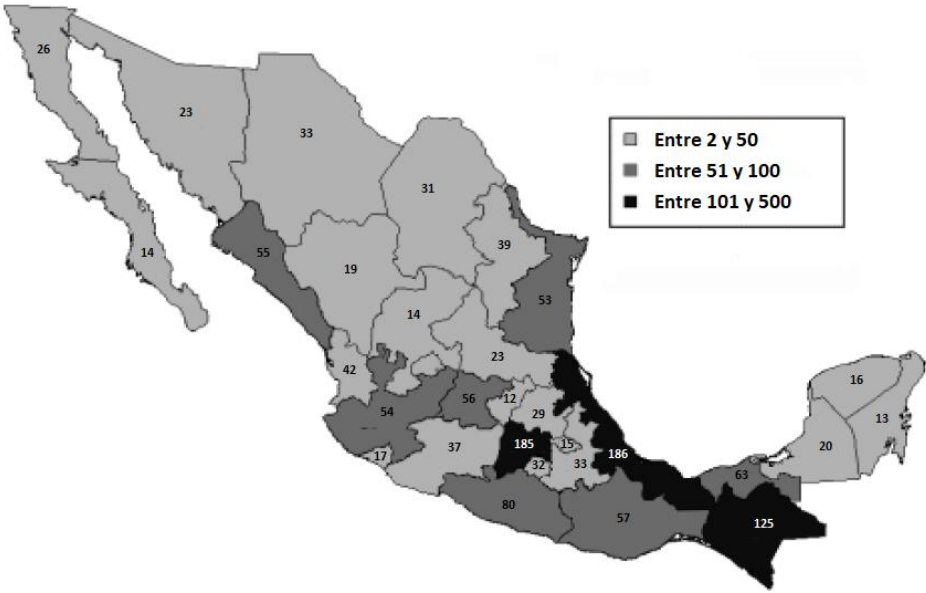


Figura 47. Inundaciones registradas entre 1950 y 2000. Modificada de Coordinación Nacional de Protección Civil, 2018.

Existen diversos tipos de inundaciones; fluvial, lacustre, por fallas de obras hidráulicas, lentas, súbitas, sin embargo, el ejemplo que se muestra en el municipio en estudio es la inundación pluvial; esta se define como *“aquella inundación que se genera cuando el agua de una lluvia local intensa al precipitarse sobre una superficie plana o cóncava es incapaz de desplazarse por si misma, por tanto, permanece estancada por horas o días hasta que por infiltración y/o evaporación desaparece el cuerpo de agua”* (Coordinación Nacional de Protección Civil, 2018). El municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo no cuenta con estaciones climatológicas, por lo que el Servicio Meteorológico Nacional (2019) a través de sus estaciones climatológicas 15098 – San Martín Obispo y 15129 – Tultepec (figura 48) nos brinda información con un periodo registrado de 1951 a 2010 sobre la precipitación pluvial y la evaporación que existe en esta región (tabla 23 y tabla 24); así pues, para la aplicación del análisis del fenómeno en la región de estudio, se promediaron las acumulaciones mensuales para así asignar una extrapolación

si bien no precisa, sí con buena aproximación para contar con datos para el periodo de tiempo referido.

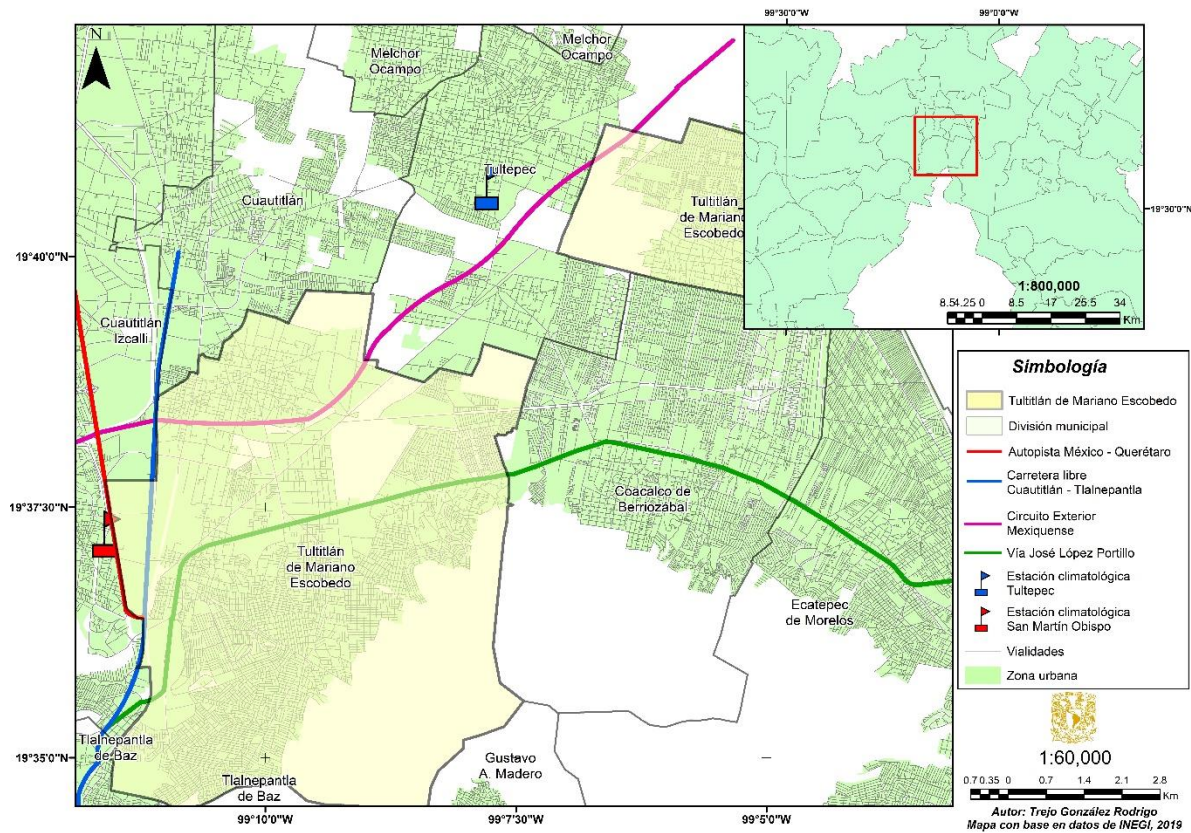


Figura 48. Ubicación de las estaciones climatológicas San Martín Obispo y Tultepec.

MES	ESTACIÓN SAN MARTÍN OBISPO - 15098	ESTACIÓN TULTEPEC - 15129	PROMEDIO DE LLUVIA (mm)
Enero	48.5	48.8	48.65
Febrero	69.1	70.9	70
Marzo	55.3	58.8	57.05
Abril	312.5	101.2	206.85
Mayo	114	120.7	117.35
Junio	268.5	308	288.25
Julio	231.1	289.7	260.4
Agosto	294.2	318.2	306.2
Septiembre	299.8	321	310.4
Octubre	150.3	174.1	162.2
Noviembre	50.3	49.1	49.7
Diciembre	29.3	31.6	30.45

Tabla 23. Acumulación de precipitaciones máximas de lluvia mensuales, captadas por ambas estaciones climatológicas en el periodo de 1951 a 2010. Información tomada del Servicio Meteorológico Nacional, 2019.

MES	ESTACIÓN SAN MARTÍN OBISPO - 15098	ESTACIÓN TULTEPEC - 15129	PROMEDIO DE EVAPORACIÓN
Enero	125.9	133.4	129.65
Febrero	152.9	147.8	150.35
Marzo	211.9	201.3	206.6
Abril	217.3	214.8	216.05
Mayo	220.6	206.7	213.65
Junio	180.7	183.5	182.1
Julio	161.3	168.1	164.7
Agosto	152.9	167.6	160.25
Septiembre	135	144.2	139.6
Octubre	136.2	151	143.6
Noviembre	124.2	131.9	128.05
Diciembre	110	122.4	116.2

Tabla 24. Acumulación de evaporación máxima por mes, captadas por ambas estaciones climatológicas en el periodo de 1951 a 2010. Información tomada del Servicio Meteorológico Nacional, 2019.

Como podemos observar en la figura 49; los meses con mayor precipitación pluvial son: junio, julio, agosto y septiembre; tan solo en esos 4 meses tenemos el 61% de las lluvias de todo el año en la región, asimismo, la poca evaporación que hay en esos meses da paso al estancamiento de agua.

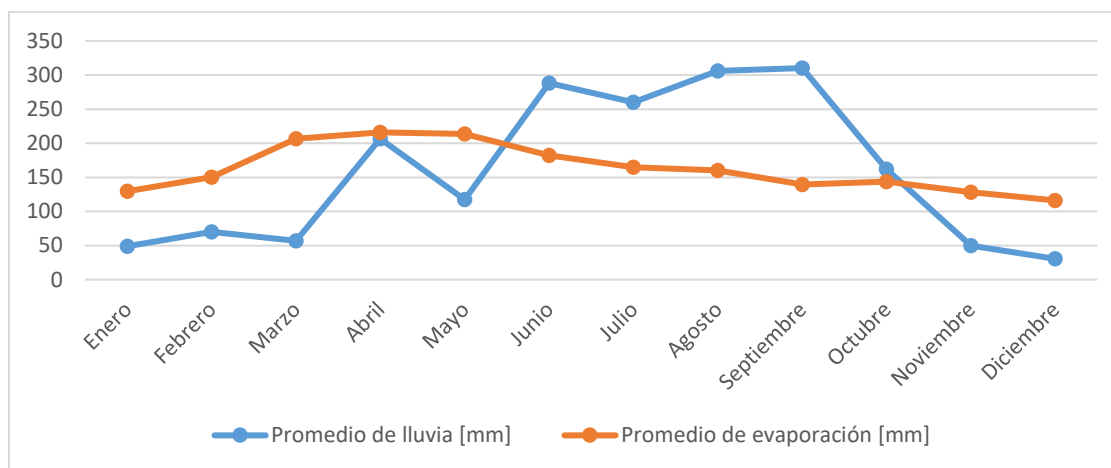


Figura 49. Lluvia máxima y evaporación mensual en mm. Información tomada del Servicio Meteorológico Nacional, 2019.

Se procedió a realizar un análisis detallado para conocer los días, pertenecientes a los meses antes mencionados, en que se presenta una mayor precipitación pluvial (tabla 25) y así tratar de entender el comportamiento del fenómeno hidrometeorológico en el periodo de tiempo, para

la toma de acciones preventivas en días que, históricamente, puedan causar daño por inundación en el municipio. El análisis se realizó con información proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (2019), en el período comprendido de 2000 al 2012, es importante resaltar que a partir del año 2013 los datos son escasos.

Año	Mes	Tultepec - 15129		San Martín Obispo - 15098	
		Precipitación máxima en mm	Día del mes	Precipitación máxima en mm	Día del mes
2000	Junio	25	17	19.9	16
	Julio	14.5	6	9.8	29
	Agosto	58.5	13	55.9	12
	Septiembre	11.4	23	61.2	23
2002	Junio	48.5	1	33.8	27
	Julio	30	31	23.1	9
	Agosto			14.1	31
	Septiembre			40.3	18
2003	Junio	35	3	31.2	3
	Julio	32.3	1	41.9	27
	Agosto	45.5	9	25.7	21
	Septiembre	31	27	21.5	6
2004	Junio	33.4	25	43.3	23
	Julio	38.9	30	16.4	31
	Agosto	30.2	21	43.2	2
	Septiembre	18.2	26	15.8	27
2006	Junio	11.9	4	11.8	3
	Julio	18.6	2	25.6	22
	Agosto	27.6	25	27.8	24
	Septiembre	13.7	22	37.9	22
2007	Junio	17.9	20	12.9	20
	Julio	26.8	1	41.3	19
	Agosto	51	22	41.2	22
	Septiembre	15.5	12	25.9	19
2008	Junio	36.9	16	26.2	11
	Julio	29.2	26	22.6	7
	Agosto	34.7	7	34.2	17
	Septiembre	23	15		
2009	Junio	21.8	29	28.7	30
	Julio	13.5	1	29.6	28
	Agosto	14.4	24	39.2	9
	Septiembre	30	13	32.1	13
	*Octubre	92.4	30		
2010	Junio	18	13	17.8	16
	Julio	53.4	5	53.5	23
	Agosto	15.1	12	19	12
	Septiembre			21	23
2011	Junio	58	30	60	30
	Julio	48	24	47.2	21
	Agosto	15	30	56.8	30
	Septiembre	26.5	1	16.4	3
2012	Junio	34	22	31	22
	Julio	40.6	11	73.4	17
	Agosto	32.5	10		
	Septiembre	25.5	15		

Tabla 25. Precipitaciones máximas históricas cerca de la región en estudio. Información tomada del Servicio Meteorológico Nacional, 2019.

Para el mes de junio podemos observar que las lluvias son constantes en cuanto a tiempo, el registro histórico nos advierte que; en la primera semana del mes, así como en la última, habría que poner atención a presencia de lluvias y los efectos que puedan provocar. Ahora, tomando en cuenta escenarios extremos; el mes de agosto es el más variable en cuanto a fechas las cuales precipita, lo que quiere decir que la precipitación promedio es de 45 mm y puede ocurrir

cualquier día del mes. Sin embargo, el 30 de octubre de 2009 tuvo presencia la precipitación pluvial más intensa en el municipio y sus alrededores con 92.4 mm en 3 horas la cual fue considerada por el Servicio Meteorológico Nacional (2019) como “*Lluvia intensa a extraordinaria*”, el huracán culpable de dicha precipitación fue “*Rick*” categoría V en la escala Saffir-Simpson con vientos máximos sostenidos de 260 km/h (CONAGUA, 2009), dicha tormenta causó inundaciones en carreteras como la vía José López Portillo, daño a infraestructura de hogares e industrias y desbordamientos en el canal de aguas negras Cartagena (foto 1).



Foto 1. Vía José López Portillo alrededor de las 16 horas, día 30 de octubre de 2009. Foto tomada de Mario Antonio Núñez López, La Jornada, 2009.

3.6 Riesgo por subsidencia

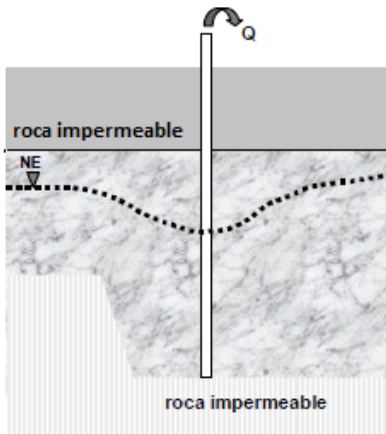
La subsidencia gradual del terreno es una manifestación en superficie de una serie de mecanismos en el subsuelo. Desde el punto de vista genético se tienen 2 tipos de subsidencia: endógena y exógena. El primero de los términos hace referencia a aquellas manifestaciones asociadas a procesos geológico-estructurales que se llevan a cabo en el subsuelo, como lo pueden ser fallas, plegamiento, fracturas, etc. El segundo de éstos se refiere a los procesos de compactación natural del terreno debido a actividades antropogénicas (extracción de agua,

petróleo, minería). El proceso de subsidencia como resultado de la extracción de agua subterránea nos la muestra Manilla-Aceves *et. al.* (2001) en la figura 50:



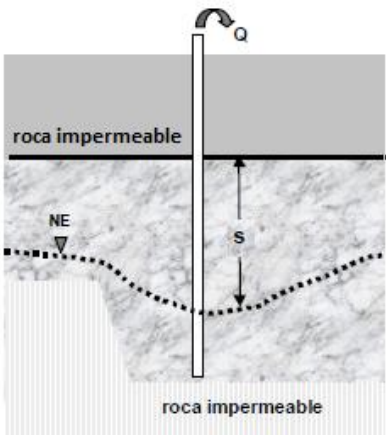
t_0

Formación acuífera sin explotar, el nivel de agua subterránea coincide con el límite superior del estrato.



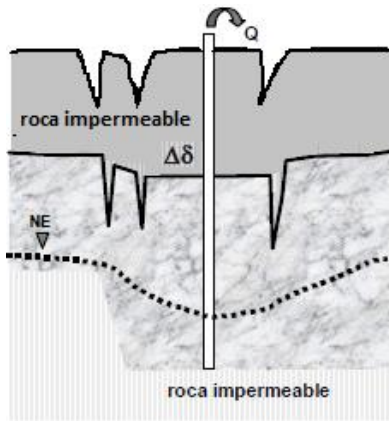
t_1

Perforación de pozo y extracción de caudal Q , esto provoca la declinación del nivel de agua subterránea.



t_2

El caudal de extracción Q es mucho mayor al de recarga, ocasionando un almacenamiento negativo y drenado del acuífero (s); hay disminución de presión de poro.



t_3

El abatimiento de la superficie de agua subterránea y la disminución de la presión de poro contribuyen a la deformación " $\Delta\delta$ " que ocasiona:

Hundimiento, generación de grietas y por último crecimiento de éstas últimas.

Figura 50. Mecanismo de subsidencia debido a la extracción de agua del subsuelo. Modificado de Manilla-Aceves *et. al.*, 2001.

La formación de conos de abatimiento debido al sobre bombeo de acuíferos (véase 1.9.2 Abatimiento de pozos), la sobrepoblación, así como la ineficiente planeación urbana son indicadores que nos pueden dar como resultado la subsidencia en alguna región. A consecuencia del fenómeno dinámico de hundimiento; la aparición de grietas en el terreno es una amenaza al patrimonio de la población en la zona. El fenómeno del agrietamiento se puede manifestar a consecuencia de cualquier condición que genera esfuerzos de tensión importantes en el suelo; la contracción de las arcillas lacustres por drenado lo que ocasiona la reducción de la presión de poro, llevando al material a un incremento de su propio peso; la existencia de esfuerzos de tensión asociados al peso de las construcciones, el fracturamiento hidráulico en zonas de encharcamientos por acción del agua de lluvia; por mencionar algunos.

En la figura 51 se observa el comportamiento geográfico de las grietas en superficie dentro del municipio en estudio y sus alrededores. La región en la que se presentan coincide con lo que se presentó en la figura 22 (cono de abatimiento regional), así que podemos presumir que estos fenómenos están íntimamente relacionados.

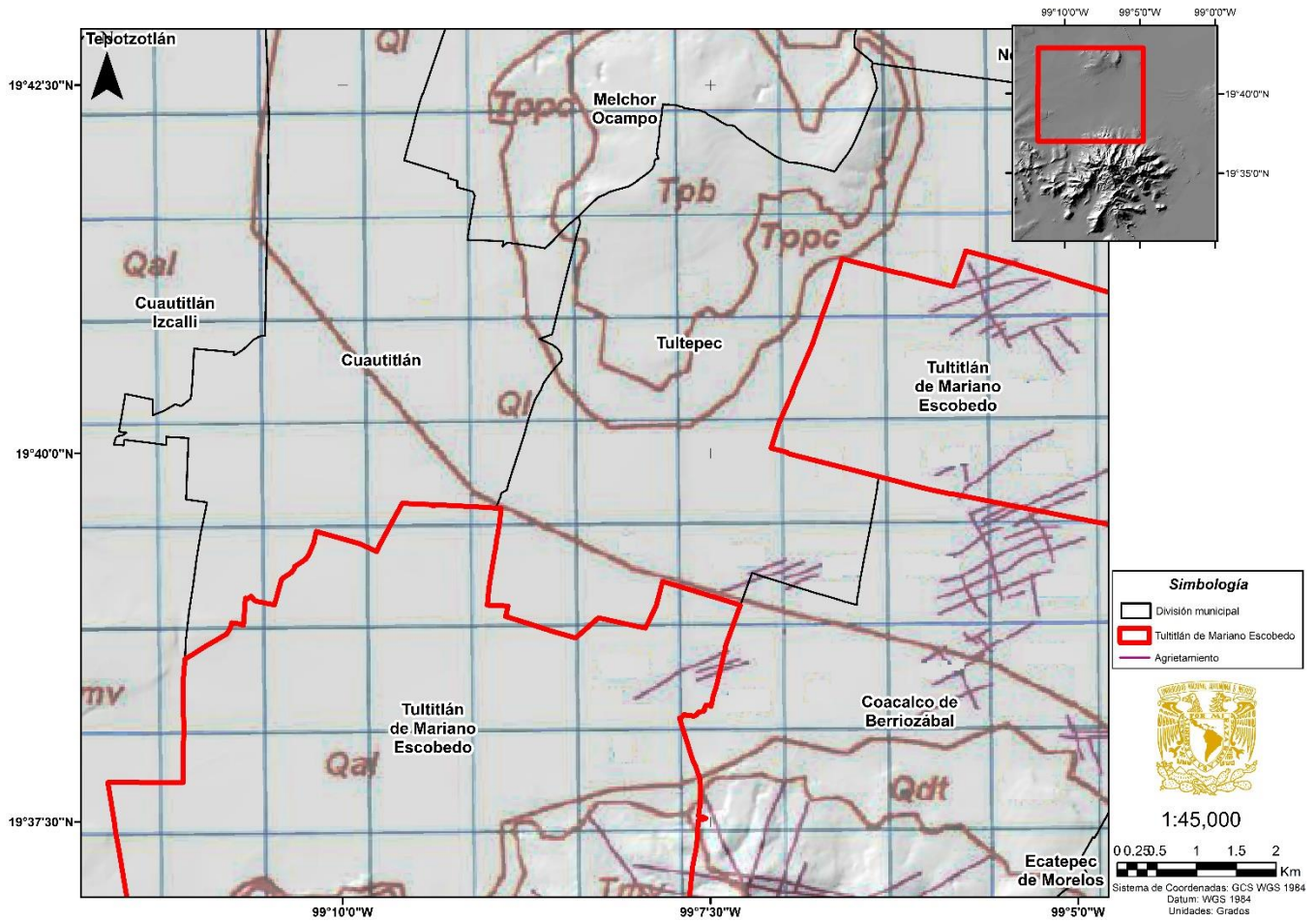


Figura 51. Intensidad de agrietamiento por cada 1.25 km². Modificado de Escobar-Aubert, 2004.

3.7 Riesgo por sismicidad

Un sismo es un fenómeno de rápida liberación de energía que se produce por un rompimiento repentino en la capa rígida del planeta. La energía que es liberada irradia en todas direcciones desde su origen en forma de ondas, cada una con distinto comportamiento, así como diferente tiempo de arribo hacia la superficie.

Los sismos se producen a lo largo de fallas preexistentes a lo largo de zonas de fragilidad de la corteza terrestre (figura 52) (Tarbuck y Lutgens, 2005). La alta sismicidad de México es consecuencia principalmente a la interacción entre las placas tectónicas de Norteamérica, Rivera, del Pacífico, Cocos y del Caribe.



Figura 52. Origen de un sismo y sus componentes. Tomado de Tarbuck y Lutgens, 2005.

Cuando se tiene un encuentro de placas tectónicas con igual dirección, pero diferente sentido; una por su mayor densidad se subduce debajo de aquella de menor densidad; es lo que pasa con la placa de Rivera y Cocos al oeste del territorio mexicano; ambas se encuentran debajo de la placa Norteamericana. Los márgenes compresivos nos generan una mayor presencia de sismos ya que todo el tiempo el esfuerzo en las rocas es inminente, así pues, en los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas se tendrá existencia de actividad sísmica importante. Al tener un borde de desplazamiento lateral de una placa tectónica respecto a la otra se le conoce como falla transformante, esta afecta principalmente a los estados alrededor del Mar de Cortés, a consecuencia de la falla de San Andrés. Y al tener divergencia de placas, o sea movimiento relativo contrario de placas tectónicas, se estará creando piso oceánico en los *rifts* (figura 53).



Figura 53. Movimientos relativos de las placas tectónicas. Modificada de Espíndola-Castro y Pérez-Campos, 2018.

Los sismos que afectan al municipio son originados en la parte occidental y suroccidental del país; son producto de la subducción cortical de la Placa de Cocos y Rivera, así como de su actividad intraplaca (figura 54), estos últimos están íntimamente relacionados con las contorsiones de la placa de Rivera y Cocos. El sismo intraplaca del 19 de septiembre de 2017

se efectuó a 120 km de distancia de la Ciudad de México; en la parte donde la placa de Cocos cambia de su configuración horizontal a tener cierto ángulo, como lo podemos ver en la figura 55 (Pérez-Campos, 2017).

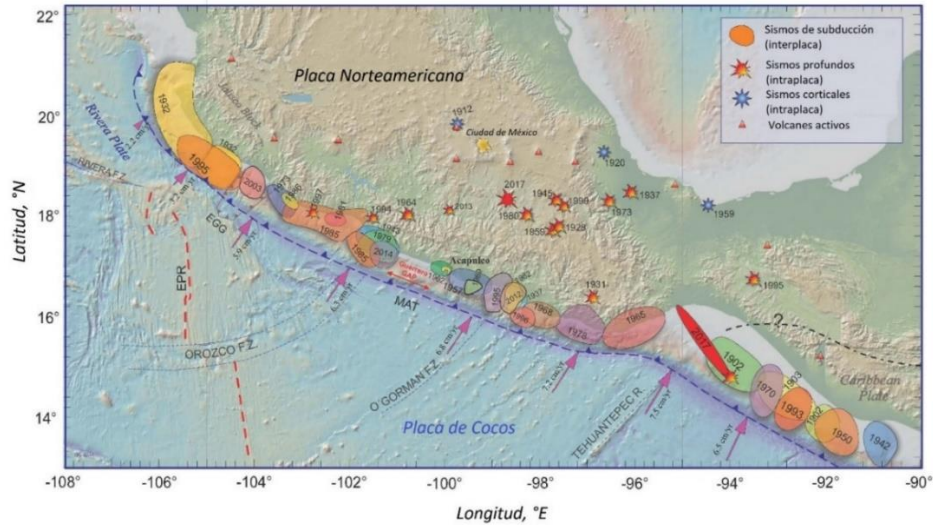


Figura 54. Sismos originados en la zona de subducción e intraplaca. Modificada de Espíndola-Castro y Pérez-Campos, 2018.

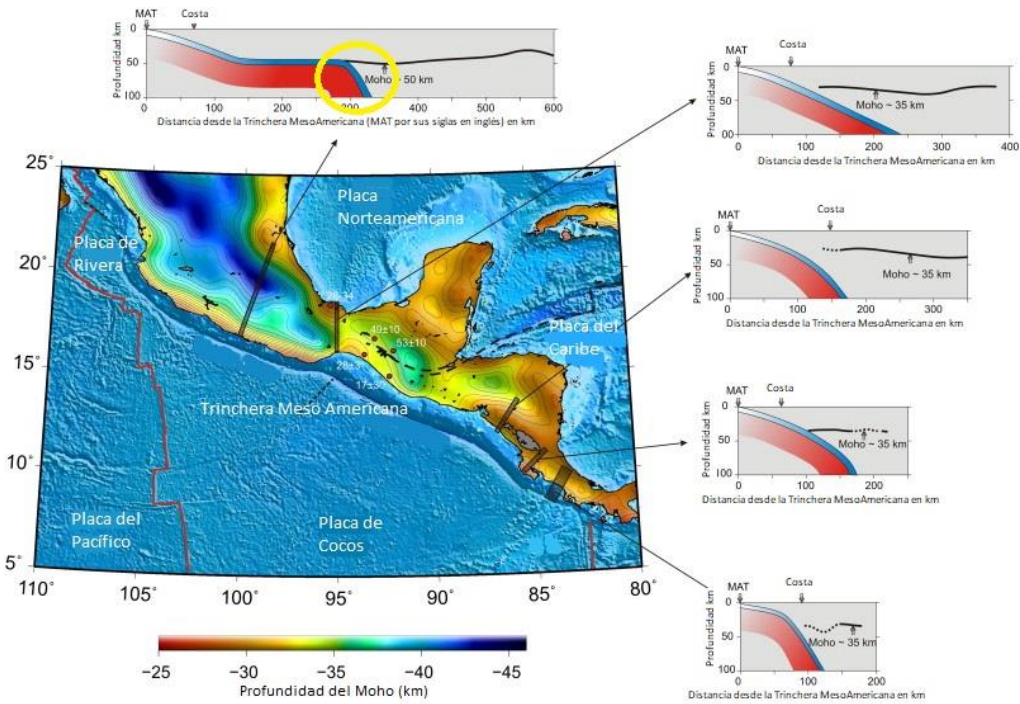


Figura 55. Geometría de la placa de Cocos. El círculo amarillo resalta el lugar donde se originó el sismo del 19 de septiembre de 2017. Modificada de Manea *et. al.*, 2013.

A consecuencia del sismo del 19 de septiembre de 2017, el Gobierno de la Ciudad de México a través de la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, el 15 de diciembre de ese mismo año, dio a conocer Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones en el área y la zona metropolitana del Valle de México. Estas Normas para diseño por sismo se desarrollaron con base en las aceleraciones máximas del terreno durante un sismo (tabla 26), así como en el comportamiento de los materiales geológicos dentro de la cuenca de México, para así modelar posibles escenarios y descartar posibles fallas estructurales de edificaciones futuras.



Figura 56. Regionalización sísmica con base en aceleraciones en roca, zona de estudio enmarcada en color azul. Modificada de Pérez-Rocha *et. al.*, 2015.

ACELERACIÓN MÁXIMA EN ROCA cm/s^2	ZONA	INTENSIDAD SÍSMICA
$a < 50$	A	Baja
$50 \leq a < 100$	B	Moderada
$100 \leq a < 200$	C	Alta
$a \geq 200$	D	Muy alta

Tabla 26. Intensidad sísmica en cada región a consecuencia de un sismo.

El municipio en estudio se encuentra entre dos regiones sísmicas (figura 56) lo cual no es suficiente para considerar poder aplicar las Normas efectivamente, así que el Gobierno de la Ciudad de México actualizó el mapa de zonificación sísmica a partir del sismo del 19 de septiembre de 2017 para así dar a conocer las zonas de mayor riesgo en el área:

- Zona I. Firme o de Lomas. Está formada por suelos de alta resistencia y poco compresibles. La amplificación de las ondas sísmicas es reducida y los movimientos son de corta duración.
- Zona II. Transición. Características intermedias entre la zona I y III.
- Zona III. Lago (a,b,c,d). Localizada en las regiones donde antiguamente se encontraban los lagos (lago de Texcoco, lago de Xochimilco). Depósitos lacustres muy blandos y compresibles con altos contenidos de agua, favorece la amplificación de las ondas sísmicas.

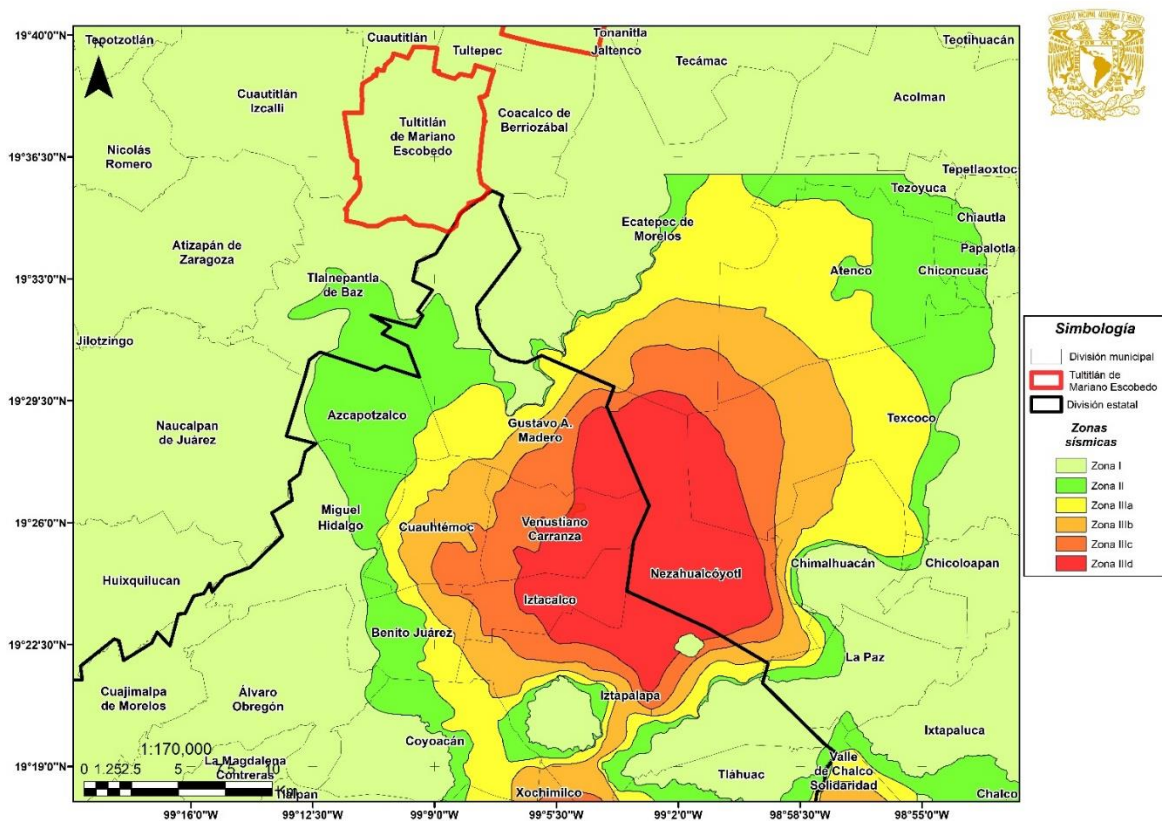


Figura 57. Zonificación sísmica de la Ciudad de México. Mapa realizado con datos de CENAPRED, 2019.

Como podemos observar en la figura 57, la información recabada para la realización del mapa de zonificación sísmica no fue la suficiente para abarcar la región de Tultitlán de Mariano Escobedo, sin embargo, podemos inferir el comportamiento del terreno ya que el testimonio alcanza la región de Ecatepec de Morelos, donde se tienen materiales geológicos similares al municipio en cuestión. La región en estudio no se encuentra en una zona susceptible a sufrir

grandes daños a causa de los sismos. Así pues, para seguir complementado la información y así poder generar un mapa de riesgo sísmico para una posterior aplicación de las Normas técnicas para diseño y construcción al municipio; se procedió a hacer un análisis histórico sísmico del sitio, así como de un escenario hipotético en la Brecha de Guerrero.

El sismo del 19 de septiembre de 1985 tuvo una intensidad en el municipio de IV a V en la escala de Mercalli; por su lado, el 19 de septiembre de 2017 fue de VIII en escala Mercalli (Red sísmica del CICESE, 2017).

IV – Objetos suspendidos oscilan libremente, la vibración es semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado, los vehículos estacionados se bambolean, cristalería y vidrios suenan, puertas y paredes de madera crujen.

V – Personas dormidas se despiertan, liquido en recipientes es perturbado y se puede derramar, objetos inestables son desplazados, las puertas giran y se abren o cierran.

VII – La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción, considerables en débiles o mal planeados. Estimado por personas conduciendo vehículos.

VIII – Se tiene dificultad para mantenerse en pie, muebles se rompen, casas de adobe colapsan, caída de algunas partes de concreto en casas, grietas en terrenos húmedos y taludes inclinados. (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales)

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN

4.1 Reglamento del Libro Sexto del Código Administrativo del Estado de México

El Gobierno del Estado de México a través del Periódico Oficial, con fecha del 8 de enero de 2016, dio a conocer el Reglamento del libro Sexto del código administrativo del Estado de México; con la finalidad de incluir Normas jurídicas y políticas innovadoras que ayudaran a la consolidación de un marco normativo eficaz en materia de Protección Civil, así como reglas de operación del Fondo de Atención de Desastres y Siniestros Ambientales o Antropogénicos, esto con el objetivo de que lo estipulado en el documento sea congruente para una mejor comprensión y posterior aplicación de la materia (Gobierno del Estado de México, 2016).

Para fines del estudio en cuestión se llevó a cabo un análisis del Reglamento para conocer las Normas, infraestructura y responsabilidades con las que cuenta el sistema Estatal de Protección Civil, así como las acciones preventivas y de reacción que este debe tener cuando se presente un fenómeno que pueda afectar a la población, ya sea natural o antropogénico. A continuación, se presentan fracciones del Reglamento vigente para el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo que tienen relación con lo anterior:

**TÍTULO SEGUNDO
DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CIVIL
CAPÍTULO PRIMERO
DEL SISTEMA ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL**

Artículo 5. El Sistema Estatal es un conjunto orgánico y articulado de estructuras, relaciones funcionales, métodos y procedimientos que establecen las dependencias y entidades del sector público entre sí, con las organizaciones de los diferentes grupos voluntarios, sociales, privados y con las autoridades federales y municipales, a fin de efectuar acciones coordinadas de prevención, auxilio y recuperación destinadas a la protección y salvaguarda de las personas, sus bienes, infraestructura básica, equipamiento urbano y medio ambiente, contra los peligros y riesgos que se presentan ante la eventualidad de un desastre.

Artículo 6. El Sistema Estatal tiene como objeto proteger a la persona y la sociedad ante la eventualidad de un desastre, provocado por agentes naturales o humanos, a través de acciones que reduzcan la pérdida de vidas, la afectación a la planta productiva, la destrucción de bienes materiales y el daño a la naturaleza, así como la interrupción de las funciones esenciales de la sociedad.

Artículo 7. La integración del Sistema Estatal será la establecida por el Capítulo Segundo del Título Segundo del Libro.

El Sistema Estatal promoverá la cultura de la autoprotección que convoque y sume el interés de la población en general, así como su participación individual y colectiva, que permita crear comunidades resilientes; impulsar la cultura de la autoprotección, para lo cual las dependencias del sector público, con la participación del sector social, privado y académico promoverán:

- a) El desarrollo y ejecución de acciones en el ámbito estatal y municipal, que permita se brinden los conocimientos básicos de la cultura de la autoprotección.
- b) La ejecución de simulacros en lugares de concentración masiva de personas.
- c) La formulación y promoción de campañas masivas de difusión, que contengan temas en materia de protección civil.
- d) Actividades de concertación con los diversos medios de difusión masiva, para la realización de campañas de divulgación sobre temas de protección civil y cultura de la autoprotección.
- e) La integración de acervos de información técnica y científica sobre fenómenos perturbadores, que afecten o puedan afectar a la población, con base en la gestión integral de riesgos, que permita a su vez la instrumentación de acciones a seguir durante la inminente presencia de un agente perturbador producido por la actividad humana o por la naturaleza.
- f) El fortalecimiento y desarrollo de programas educativos y de difusión en materia de protección civil, dirigidos a la población en general, que permita conocer las acciones a seguir durante el eminente embate o presencia de un agente perturbador en las fases sustantivas de protección civil: prevención, auxilio y recuperación.

**TÍTULO TERCERO
DE LOS SIMULACROS Y SEÑALIZACIÓN
CAPÍTULO PRIMERO
DE LOS SIMULACROS**

Artículo 34. Para los efectos del presente Capítulo se establece la siguiente clasificación:

- I. El ejercicio de gabinete.
- II. El simulacro de campo.

Artículo 35. Se entiende por ejercicio de gabinete, aquellas acciones encaminadas al diseño de posibles escenarios que se podrán presentar de acuerdo al agente destructivo esperado, determinado por las condiciones particulares de los bienes muebles o inmuebles a estudio y dentro del marco del programa interno o específico de protección civil.

Artículo 36. Se entiende por simulacro de campo, aquella representación de las acciones encaminadas a minimizar o, en su caso, evitar el impacto de los fenómenos perturbadores de acuerdo a los probables escenarios, y dentro del marco del programa interno o específico de protección civil.

Artículo 37. Los propietarios, poseedores, titulares de derechos, administradores o responsables de los edificios públicos, escuelas, fábricas, industrias, comercios, oficinas, unidades habitacionales, centros de espectáculos o diversiones en todos los establecimientos abiertos al público y en vehículos de transporte escolar y de personal, a que se refiere el artículo 6.23 del Código Administrativo deberán coordinarse con la Coordinación General, para realizar simulacros por lo menos dos veces al año, tratándose de generadores de alto y mediano riesgo, y en los casos de bajo riesgo, con la autoridad municipal en la materia.

**TÍTULO SEXTO
DEL PROGRAMA ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CAPÍTULO PRIMERO
DE LAS DISPOSICIONES GENERALES**

Artículo 80. El Programa Estatal se integrará por los subprogramas siguientes:

- I. De Prevención.
- II. De Auxilio.
- III. De Recuperación.

**CAPÍTULO SEGUNDO
DEL SUBPROGRAMA DE PREVENCIÓN**

Artículo 84. La prevención se conformará con acciones y medidas orientadas a evitar y reducir riesgos.

Artículo 85. Los riesgos materia de prevención serán los agentes que se deriven de los fenómenos perturbadores.

Artículo 86. El Subprograma de Prevención deberá contener, por lo menos lo siguiente:

- I. Los lineamientos generales para prevenir y enfrentar riesgos.
- II. El catálogo de los riesgos potenciales que se puedan prevenir.
- III. Las estrategias para el funcionamiento y prestación de los servicios públicos que deben ofrecerse a la población en caso de riesgo y las acciones que las autoridades deberán ejecutar para proteger a las personas, sus bienes y el medio ambiente.
- IV. Los criterios para organizar y coordinar la participación del sector público en la instrumentación y aplicación de medidas, recomendaciones y acciones que mitiguen o reduzcan la ocurrencia de un fenómeno perturbador.
- V. El señalamiento al derecho de la población para conocer y ser informada de los riesgos a que se encuentra expuesta, así como su obligación de acatar las medidas, recomendaciones y acciones que mitiguen o reduzcan la ocurrencia de un fenómeno perturbador.
- VI. Los lineamientos para la elaboración de programas y manuales de capacitación.
- VII. La difusión de políticas y estrategias.
- VIII. Las acciones de protección civil.

**CAPÍTULO TERCERO
DEL SUBPROGRAMA DE AUXILIO**

Artículo 87. El Subprograma de Auxilio se integrará con las políticas, estrategias y acciones orientadas a salvaguardar la vida e integridad física de las personas, sus bienes, la infraestructura básica, el equipamiento urbano y el medio ambiente.

Artículo 88. El Subprograma de Auxilio deberá contener por lo menos lo siguiente:

- I. Las acciones de alerta, evaluación de daños, seguridad, búsqueda, salvamento y asistencia, servicios estratégicos, equipamiento y bienes, salud, aprovisionamiento, comunicación de emergencias, reconstrucción inicial y vuelta a la normalidad.
- II. Los procedimientos de coordinación y de concertación con los sectores público, social y privado.
- III. Las acciones y apoyos con los que participarán los sectores público, social y privado.
- IV. Las políticas de comunicación de emergencias y sistemas de telecomunicaciones.
- V. Los casos en los cuales se solicitará el auxilio y apoyo de los sectores público, social y privado para salvaguardar la seguridad de las personas y sus bienes.

**CAPITULO CUARTO
DEL SUBPROGRAMA DE RECUPERACIÓN**

Artículo 89. El Subprograma de Recuperación se integra con las estrategias y acciones necesarias para volver a la normalidad en los casos de siniestro o desastre.

Artículo 90. El Subprograma de Recuperación contendrá por lo menos lo siguiente:

- I. Los requerimientos humanos, técnicos, materiales y financieros necesarios para procurar el restablecimiento a la normalidad.
- II. Las estrategias para el funcionamiento de los servicios básicos.
- III. Los procedimientos de coordinación y concertación con los sectores público, social y privado.
- IV. Las acciones y apoyos con los que participarán los sectores público, social y privado.
- V. Las políticas de comunicación.
- VI. Los mecanismos y acuerdos necesarios para solicitar, administrar y distribuir apoyos.
- VII. Los casos en los cuales se solicitará el apoyo de los sectores público, social y privado, para procurar el restablecimiento a la normalidad.

**TÍTULO SÉPTIMO
DE LAS DECLARATORIAS DE EMERGENCIA Y DESASTRE**

**CAPÍTULO ÚNICO
DE LA COORDINACIÓN DE ACCIONES EN LA
ATENCIÓN DE DESASTRES**

Artículo 91. Ante la inminencia o alta probabilidad de que ocurra un desastre que ponga en riesgo a la población, el Gobernador del Estado solicitará al Gobierno Federal la emisión de una declaratoria de emergencia, así como el apoyo de recursos económicos para atenuar los efectos del posible desastre y para responder en forma inmediata a las necesidades urgentes generadas por un desastre en términos de las disposiciones aplicables.

Artículo 92. Cuando la capacidad operativa y financiera del Municipio, así como del Estado haya sido rebasada para la atención de desastre, el Ejecutivo del Estado solicitará al Gobierno Federal la emisión de una declaratoria de desastre, además del apoyo con recursos económicos para atender los efectos generados por el impacto del agente perturbador.

**TÍTULO OCTAVO
DEL SISTEMA ESTATAL DE INFORMACIÓN
DE PROTECCIÓN CIVIL**

**CAPÍTULO ÚNICO
DEL SISTEMA ESTATAL DE INFORMACIÓN**

Artículo 93. La Secretaría a través de la Coordinación General organizará y desarrollará el Sistema Estatal con el objeto de obtener, generar y procesar la información necesaria para la planeación y evaluación de las actividades en la materia.

Artículo 94. El Sistema Estatal es el elemento ordenador que integra y procesa información cartográfica y estadística de los subsistemas perturbador, afectable y regulador, el cual ofrece resultados para la planeación del desarrollo.

Artículo 95. El sector público y los grupos voluntarios proporcionarán a la Secretaría a través de la Coordinación General, la información que les requiera en materia de protección civil, para ser incorporada al Sistema Estatal.

Artículo 96. La Secretaría a través de la Coordinación General para obtener información sobre riesgos en la Entidad, realizará las acciones siguientes:

- I. Monitoreo.
- II. Identificación.
- III. Análisis de vulnerabilidad y riesgo.
- IV. Sistematización de información.

Artículo 97. El Sistema Estatal ofrecerá información general, confiable y actualizada de los riesgos identificados en el territorio estatal, y permite prevenir a la población con el aprendizaje de conductas racionales ante su vida y sus bienes para evitar o mitigar los posibles daños a causa del impacto de un agente perturbador.

Artículo 98. La Secretaría a través de la Coordinación General, actualizará permanentemente el Sistema Estatal con información del sector público, así como la que se obtenga mediante los convenios que se suscriban en materia de protección civil.

Artículo 99. Con base en la información procesada en el Sistema Estatal se generará el Atlas de Riesgos del Estado de México y los programas de protección civil, así como los atlas de riesgos de los municipios.

Estudio de riesgos geológicos:

Estudios que permiten identificar los riesgos por deslizamiento de suelos, hundimientos locales y regionales del terreno, sismos, vulcanismo, flujos de lodo, y todos los movimientos asociados con el movimiento de los suelos provocados por la naturaleza o la acción del hombre. La mitigación del riesgo estará sujeta a la presencia de estos fenómenos.

V. REGLAS DE OPERACIÓN DEL FONDO PARA LA ATENCIÓN DE DESASTRES Y SINIESTROS AMBIENTALES O ANTROPOGÉNICOS

**CAPÍTULO I
DE LAS DISPOSICIONES GENERALES**

PRIMERA. El Fondo para la Atención de Desastres y Siniestros Ambientales o Antropogénicos es un instrumento del Gobierno del Estado de México, que tiene por objeto suministrar recursos que permitan desarrollar acciones de equipamiento y prevención, así como proporcionar suministros de auxilio y asistencia para responder de manera inmediata y oportuna ante las necesidades urgentes, principalmente para la protección de la vida y la salud de la población afectada, así como, ejecutar acciones, autorizar y aplicar recursos para mitigar las consecuencias producidas por la ocurrencia de una emergencia o desastre provocados por un fenómeno perturbador de origen natural o antropogénico, en los términos de estas Reglas de Operación y demás disposiciones aplicables.

SEGUNDA. Los principios que regirán la aplicación de los recursos, acciones y medidas para atender a las personas que resulten afectadas de las emergencias o desastres provocados por fenómenos perturbadores de origen natural o antropogénico, serán de inmediatez, complementariedad, inclusión y transparencia.

TERCERA. Son fines del Fondo:

- I. La Adquisición de equipo especializado, destinado para acciones de prevención y atención de emergencias y desastres naturales.
- II. Apoyar la restitución parcial o total de los daños ocasionados por un fenómeno perturbador de origen natural o antropogénico.
- III. Adquirir y/u otorgar los elementos suficientes para atender a las personas afectadas, al momento de las emergencias o desastres provocados por un fenómeno perturbador de origen natural o antropogénico.
- IV. Otorgar recursos a las personas afectadas por un fenómeno perturbador de origen natural o antropogénico, para adquirir suministros de auxilio y asistencia, que permitan cubrir necesidades urgentes para la protección de la vida y de la salud de la población afectada.

CUARTA. Este Fondo no releva la obligación de las dependencias del Estado y a los municipios para aplicar sus programas y recursos a la atención y auxilio a las personas que resulten afectadas por una emergencia o desastre provocado por un fenómeno perturbador de origen natural o antropogénico, así como de la responsabilidad objetiva de las personas físicas o jurídicas colectivas, que hayan dado origen al fenómeno perturbador.

QUINTA. El Fondo deberá ser empleado exclusivamente para el objeto para el cual fue creado, por lo que las dependencias y los municipios señalados en la regla Cuarta, no podrán solicitar el reembolso de los recursos que hayan utilizado para hacer frente a la ocurrencia de un fenómeno perturbador de origen natural o antropogénico.

SEXTA. La aplicación de los recursos del Fondo se ocupará de manera inmediata, diligente y directa para acciones de prevención, así como para la atención a las personas afectadas que hayan sufrido daños o el embate como consecuencia de un fenómeno perturbador de origen natural o antropogénico.

**CAPÍTULO II
DE LOS FENÓMENOS PERTURBADORES
DE ORIGEN NATURAL O ANTROPOGÉNICO**

SÉPTIMA. Los fenómenos perturbadores de origen natural y antropogénico se clasifican en:

- I. Geológicos.
- II. Hidrometeorológicos.
- III. Químico-Tecnológico.
- IV. Sanitario-Ecológico.
- V. Socio-Organizativo.
- VI. Todo fenómeno perturbador de origen natural y antropogénico que represente un peligro y perturbe la vida cotidiana de las personas.

**CAPÍTULO VIII
DE LAS SUBCUENTAS PARA EL MANEJO
DE LOS PROGRAMAS**

VIGÉSIMA SEGUNDA. Los recursos asignados para la operación del Fondo para la Atención de Desastres y Siniestros Ambientales o Antropogénicos, serán divididos para la constitución de dos subcuentas de la siguiente manera:

- I. \$120'000,000 (ciento veinte millones de pesos 00/100 M.N.) a la subcuenta para Acciones de Equipamiento y Prevención.
- II. \$80'000,000 (ochenta millones de pesos 00/100 M.N.) a la subcuenta para la Atención de Desastres y Siniestros Ambientales o Antropogénicos.

El municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo a consecuencia de lo concertado en el Reglamento del libro Sexto del código administrativo del Estado de México, en su actual régimen gubernamental (2019 – 2021) pone a disposición de la población su Reglamento de Protección Civil y Bomberos del municipio, el cual nos ofrece información sobre el sistema de protección civil municipal, así como las acciones que se deberán llevar a cabo por todos y cada uno de las personas responsables en cada ámbito del dicho sistema, este puede ser consultado en el siguiente recurso electrónico: <http://www.tultitlan.gob.mx/?mod=reglamentos>.

En el Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2018; el Gobierno de Tultitlán de Mariano Escobedo (2016): reportó que la Dirección de Protección Civil y Bomberos del municipio cuenta con infraestructura para combate a fenómenos geológicos y/o antropogénicos que se presenten, con una base central de bomberos ubicada en la parte central de la Cabecera Municipal y dos subestaciones; una en la parte sur del municipio, llamada Subestación Fénix, localizada en la vía López Portillo, Col. El Paraje; otra en la parte de la Isla Municipal que lleva por nombre Subestación Dragones, ubicada en avenida Prados, Fraccionamiento El Rocío, estas han permitido la reducción de tiempos de respuesta en atención de emergencias (Tultitlán de Mariano Escobedo, 2016).

Después del análisis al Reglamento del libro Sexto del código administrativo del Estado de México surgen varios puntos a considerar; uno de ellos es que el Gobierno hace bien en promover una cultura de autoprotección, sin embargo, este punto es contradictorio cuando por parte del Gobierno municipal no se tienen campañas constantes para difundir el cómo autoprotegernos ante algún riesgo. La actualización del atlas de riesgo que marca tanto el libro Sexto del código administrativo del Estado de México, así como el Reglamento de Protección Civil y Bomberos del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo para la administración 2019 – 2021, tiene sustento en el presente trabajo de tesis, donde es primordial el análisis de

información y mapeo de zonas de riesgo. A su vez, cabe destacar que en la literatura no existe un Programa Municipal de Protección Civil, así como sub-programas de prevención, auxilio y recuperación al momento; esto, con base en la búsqueda de información a través de los sitios de transparencia que ofrece el Gobierno de Tultitlán de Mariano Escobedo. El Gobierno de Tultitlán de Mariano Escobedo (2016) ha reportado a través de su plan de desarrollo 2016 - 2018 que: se cuenta con 29 vehículos motorizados para la prevención, auxilio y recuperación ante desastres naturales, de los cuales, 10 son de tipo *Vector*, 6 se encuentran inservibles y 8 en servicio. Ahora bien, los recursos para la operación del Fondo de Atención de Desastres y Siniestros Ambientales o Antropogénicos para el equipamiento y prevención ascienden a \$120'000,000, esto en cada administración que toma el cargo; aún es muy pronto para exigir las cuentas de ese dinero al presente Gobierno del municipio, sin embargo, hay que tener en cuenta que se tiene que invertir en equipamiento para el personal de protección civil y bomberos; por lo anterior, exhorto que se realicen campañas de autoprotección ante desastres de esta índole, además de la reparación y compra de vehículos motorizados para que la población se sienta más segura.

El Reglamento del libro Sexto del código administrativo del Estado de México está bien estructurado en cuanto al ámbito administrativo, sin embargo, no solo basta con el decreto del Reglamento de Protección Civil y Bomberos del municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo llevado a cabo por la Presidenta Municipal Elena García Martínez; esperemos que en días próximos se haga formal la elaboración, aprobación, evaluación y la divulgación del Programa Municipal de Protección Civil así como de los sub-programas enlistados anteriormente.

4.2 Resultados del riesgo en el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, Estado de México

El atlas de riesgo de una entidad pretende cubrir la necesidad de contar con un material automatizado que permita integrar y procesar información geográfica y/o estadística, organizada y constantemente actualizada para ofrecer resultados que se traducen en insumos a los programas de prevención y auxilio en caso de desastres (Gobierno del Estado de México, 2015), es a consecuencia de lo anterior que se ha procedido a realizar un análisis de las causas, así como los alcances de los riesgos geológicos que podrían afectar al municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo. Los atlas de riesgo realizados para Tultitlán de Mariano Escobedo en 2013 y posteriormente actualizado por Ávila-García (2015) no cubren las causas de los fenómenos enlistados en dichos trabajos; por otro lado, el presente documento no solo cubre las necesidades de tener información geográfica actualizada, sino que también expone las causas geológicas, hidrometeorológicas y antropogénicas que están causando los riesgos geológicos, dicho escrito tiene como fin brindar al público en general la información administrativa del Gobierno del Estado de México para la prevención, auxilio y recuperación ante desastres de esta índole expuestos en el Reglamento del libro Sexto del código administrativo del Estado de México.

4.2.1 Riesgo por deslizamiento del terreno en laderas

Las fuertes lluvias que suelen registrarse en verano (figura 49) contribuyen a la intensificación del grado de peligro por deslizamientos, por ejemplo, saturando de agua los materiales superficiales o aumentando la capacidad erosiva de los cauces dendríticos que se tienen en la Sierra de Guadalupe. Entre las principales causas de la inestabilidad de laderas en la Sierra de Guadalupe se encuentran las siguientes:

1. Las fallas de la región generan fuertes pendientes ($> 30^\circ$) las cuales superan el ángulo de fricción de los bloques de rocas y promueven deslizamientos.
2. Los deslizamientos de tierra también se ven facilitadas por la presencia de materiales con poca cohesión tales como brechas de falla que favorecen el desprendimiento de rocas propensas a la caída.

3. Si las rocas falladas son suficientemente permeables, el agua infiltrada produce alta presión interna (García-Palomo *et. al.*, 2006).
4. Los movimientos de terreno en su mayoría son inducidos por lluvias cortas y de alta intensidad, si esta última es de aproximadamente 70 mm/hora, podría ocurrir un deslizamiento (Mendoza-López *et. al.*, 2002). Por otra parte, una lluvia de menos de 100 mm en 24 horas, es improbable que cause un deslizamiento de terreno.
5. La tala de árboles a causa de la actividad antropogénica hace que el suelo pierda una estabilidad y por ende sea más fácil su remoción.

La inestabilidad de laderas en el municipio tiene lugar en las zonas con pendientes elevadas situadas en el centro, sur y sureste del municipio, propiamente establecidas en las elevaciones topográficas de la Sierra de Guadalupe, así como las distintas coladas de material volcánico que esta ha tenido (figura 58).

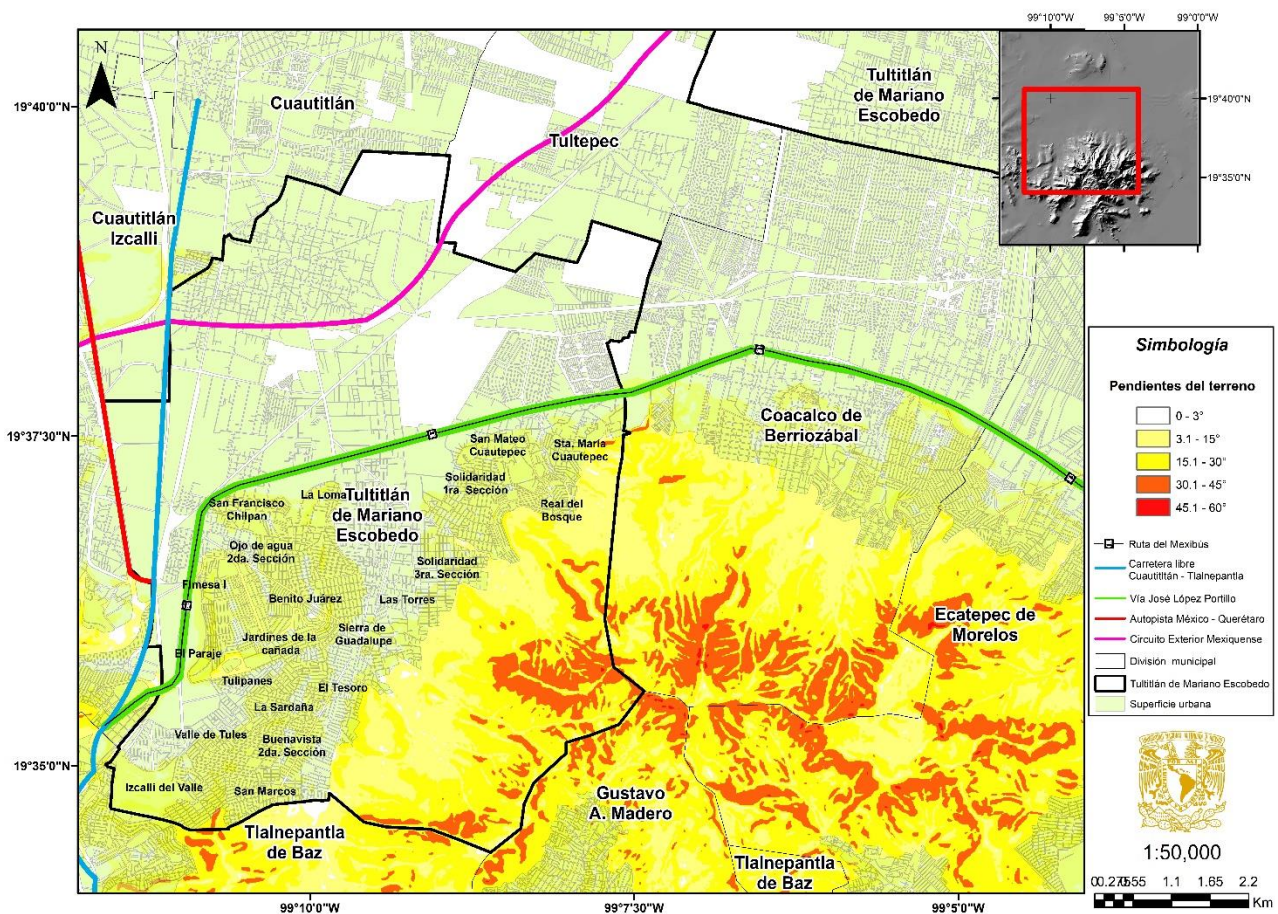


Figura 58. Mapa de pendientes de la Sierra de Guadalupe y sus alrededores.

Dentro del municipio se determinaron 21 colonias expuestas a sufrir deslizamiento de laderas; el análisis se llevó a campo mediante un Modelo de Elevación Digital con distinción en las pendientes de los taludes y laderas de la zona; las colonias analizadas fueron: Ojo de Agua 2da. Sección, Fimesa I, San Francisco Chilpan, La Loma, Benito Juárez, Jardines de la Cañada, Sierra de Guadalupe, Tulipanes, La Sardaña, Buenavista 2da. Sección, Valle de Tules, Las Torres, Solidaridad 3ra. Sección, Solidaridad 1ra. Sección y San Mateo Cuauhtepc son colonias que, si bien la pendiente no es algo de qué preocuparse (3.1° - 15°), se debe de tener a consideración el ser una zona de riesgo, ya que las lluvias extremas pueden provocar arrastre de escombros; asimismo, El Paraje, Izcalli del Valle, San Marcos, El Tesoro, Santa María Cuauhtepc y Real del Bosque son las colonias con mayor amenaza geológica; ya que en este lugar el arreglo geomorfológico – estructural nos arroja pendientes que tienden a estar entre los 15.1° y 45° , incluso en Izcalli del Valle y Santa María Cuauhtepc las laderas presentan una inclinación de la pendiente del terreno entre los 45.1° - 60° .



Foto 2. Calle Santa Bárbara, Colonia San Marcos.

Foto 3. Calle San Pablo, Colonia San Marcos. Se observa el enrejado que el Gobierno del municipio ha puesto para controlar la expansión urbana hacia la Sierra de Guadalupe.



Foto 4. Calle Pirules, Colonia El Paraje.



Foto 5. Calle Juan de la Barrera, Colonia Sta. María Cuauhteppec. En el círculo rojo del lado derecho, fractura en talud. Círculo rojo lado izquierdo, flujo de suelo cohesivo.



Foto 6. Imagen Satelital tomada de Google Earth de la Colonia Sta. María Cuauhtepéc. Círculo rojo del lado izquierdo, fractura de gran tamaño que pone en riesgo la integridad de la vía de comunicación. Círculo rojo del lado derecho un flujo de suelo como el mostrado en la figura 45c.

4.2.2 Riesgo por inundación

El Gobierno del Estado de México a través de la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM), 2016; nos brinda información sobre la reincidencia de inundaciones por municipio en la época de lluvias en un periodo de 14 años que abarca desde el 2002 hasta 2016; esto determina que el municipio Tultitlán de Mariano Escobedo presenta el mayor riesgo de sufrir inundación en los meses analizados.

En la figura 59 se observa que, si no se actúa de forma óptima y oportuna, la reincidencia en las áreas marcadas seguirá siendo una constante y en consecuencia tendremos afectación a la vía de comunicación José López Portillo y a los múltiples vehículos motorizados que circulan por la misma.

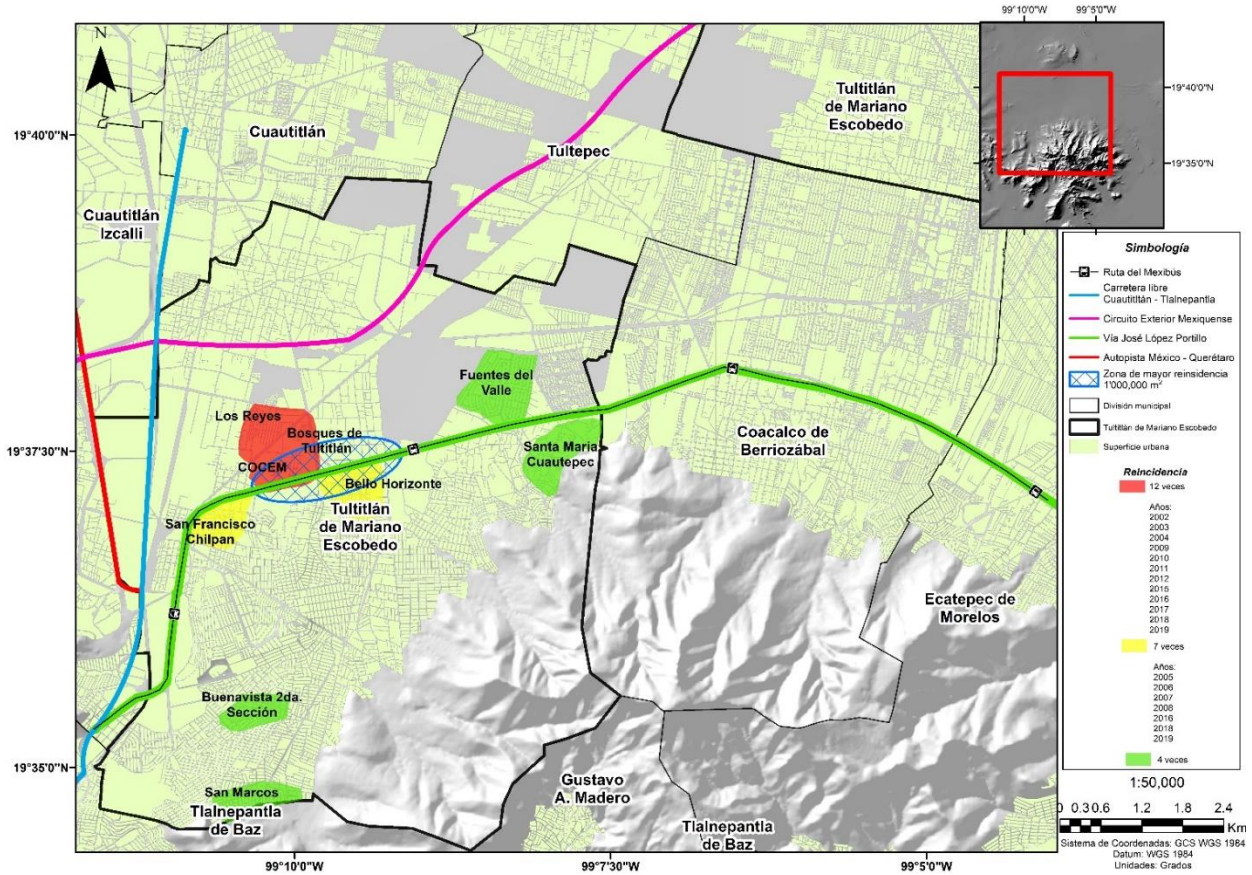


Figura 59. Reincidencia por zona en el municipio. Información tomada de la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM), 2016.

Las inundaciones que se presentan en el municipio son producto de diversos factores; geológicos, hidrometeorológicos y de asentamientos urbanos, los cuales se describen a continuación.

1. La existencia de la Sierra de Guadalupe, y sus derrames volcánicos al sur y sureste del municipio, propician que el agua lluvia escurra de manera superficial; provocando que en la parte baja topográfica (2240 msnm) diversas zonas del municipio se aneguen cuando existen lluvias extraordinarias. Los volúmenes de agua superficial se incrementan cuando ocurren precipitaciones intensas denominadas lluvias extraordinarias (tabla 25), así pues, una vez alcanzado el nivel de saturación del suelo, el agua excedente se desplaza sobre la superficie en función de los gradientes de pendiente del terreno hasta arribar a una superficie cóncava donde se estanca y el único remedio natural es que se evapore, ya que el concreto no permite

la infiltración y actualmente la capacidad para desalojar las aguas grises del drenaje está rebasada.

2. El nulo grado de inclinación y la subsidencia del terreno; propician que el agua en la superficie no tenga una escorrentía natural y por ende el agua quede estancada en bajos topográficos.

3. Las alteraciones al entorno, principalmente la deforestación y urbanización. El crecimiento de la población que trae consigo deforestación, incendios forestales, así como una posterior pavimentación del terreno. De 1985 a 2016 la Sierra de Guadalupe ha perdido aproximadamente 50% de su cubierta forestal (figura 60), lo cual ha sido sustituida por asentamientos urbanos.

4. La acumulación de basura en el alcantarillado del municipio que no permite el libre paso del agua pluvial; por ende, la circulación del agua precipitada hacía el gran canal de desagüe y al túnel emisor poniente es tortuosa y casi nula, asimismo, los desechos inorgánicos propician el desbordamiento de canales de aguas negras como el Cartagena debido al peso que estos generan.

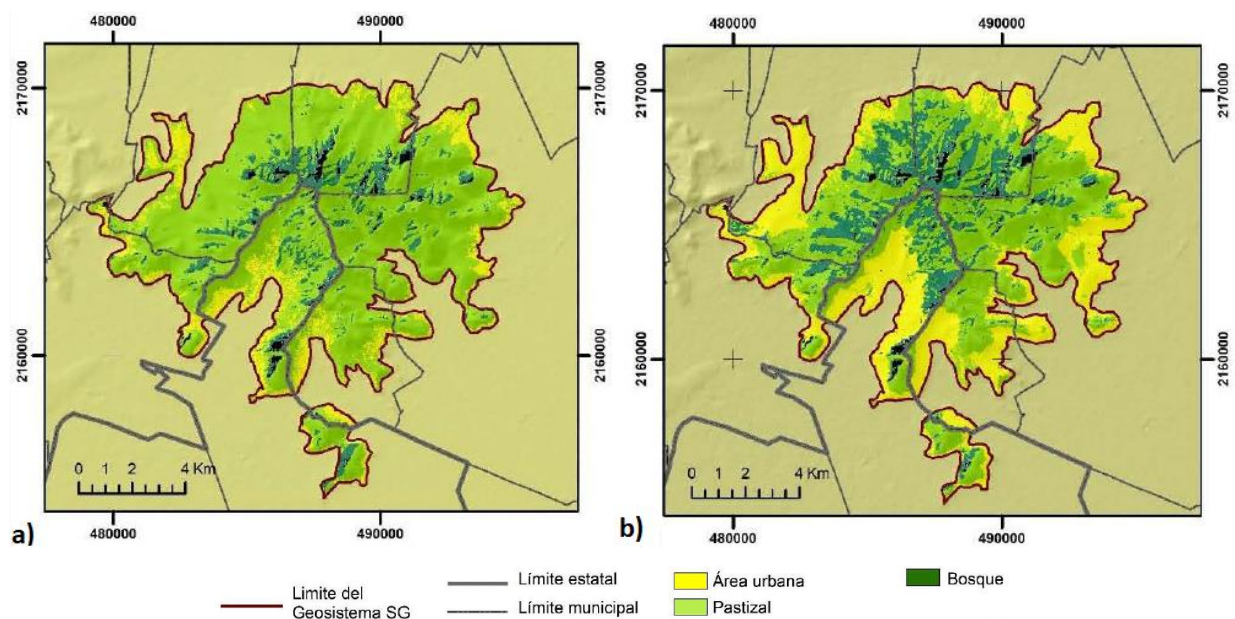


Figura 60. a) Área del geosistema Sierra de Guadalupe en 1985. b) Área del geosistema Sierra de Guadalupe en 2016. Imágenes modificadas de Ayala-López, 2017.

Al ser Tultitlán de Mariano Escobedo su mayoría territorial una planicie de 2240 msnm en promedio y que en su parte nororiental se conservó como zona lacustre y su porción sur como

relleno aluvial (figura 32), se debe tener en consideración la zonificación de riesgo por inundación debido a los factores ya enlistados anteriormente, así que se procedió a la realización de un mapa el cual puede en un futuro apoyarnos para la mitigación del riesgo hidrometeorológico.

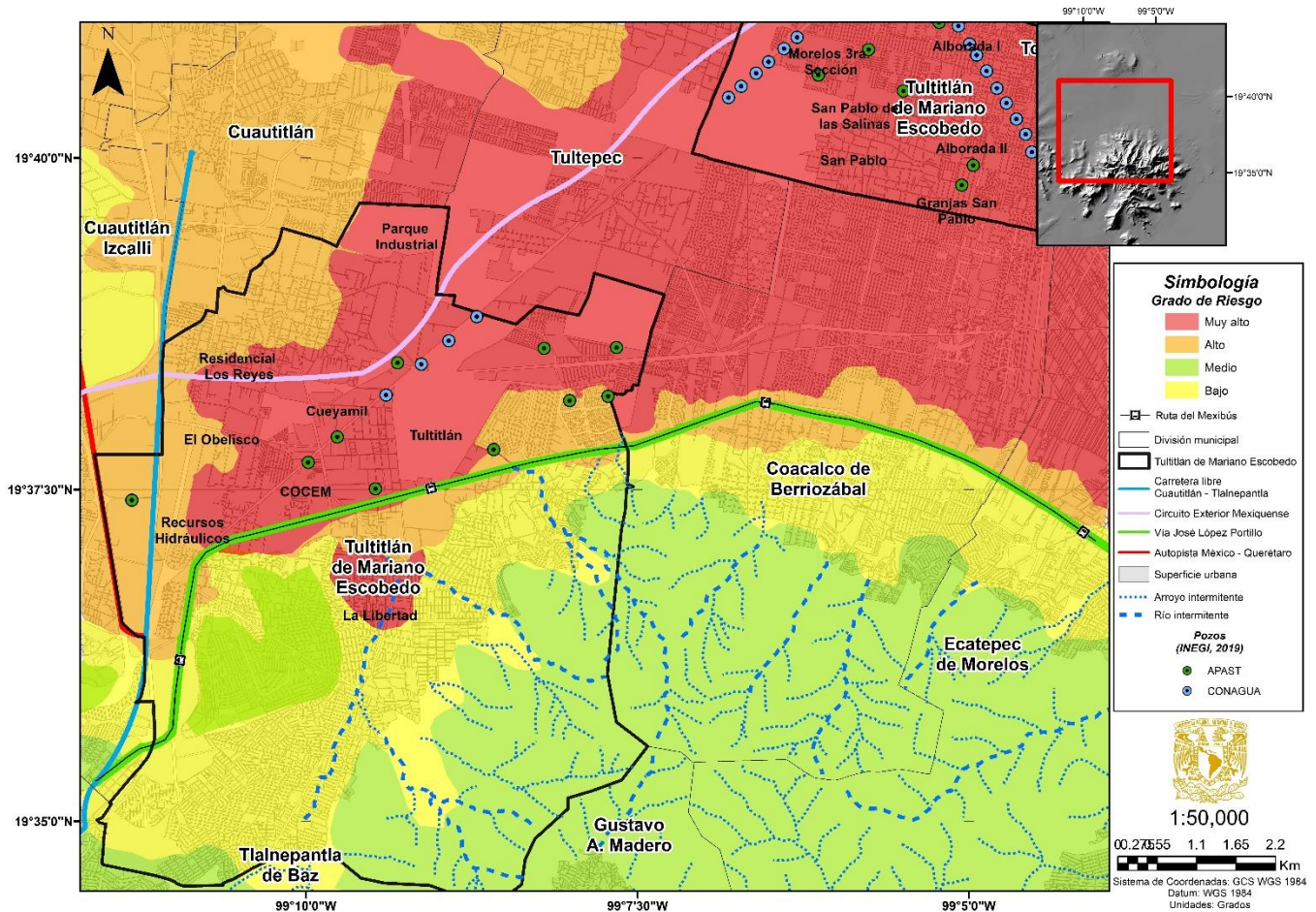


Figura 61. Mapa de zonificación de riesgo por inundación.

Como podemos observar en la figura 61, las colonias más propensas a una inundación dentro del municipio son aquellas que se encuentran cerca o dentro de lo que fue el lago Xaltocan; siendo las colonias potencialmente afectadas: San Pablo, Morelos 3ra. Sección, Alborada I, San Pablo de las Salinas, Alborada II y Granjas San Pablo por parte de la Isla Municipal; Villa Esmeralda, Parque Industrial, El Obelisco, Residencial Los Reyes, Cueyamil, Tultitlán, COCEM y Recursos Hidráulicos en la cabecera Municipal; además se resaltan tres colonias más; dos, si bien alejadas de la zona de planicie, su posición geomorfológica dentro de una depresión como resultado de los materiales volcánicos hacen que el escurrimiento y posible

estancamiento de agua sea posible; Valle Verde y Valle de tules. La colonia La Libertad es también un punto a tener en consideración ya que por allí se tiene corrimiento de aguas provenientes de la Sierra de Guadalupe, la inundación si bien no se podría dar en un medio geomorfológico por la rectificación del arroyo, las casas circundantes a esa bajada de agua son propensas a sufrir el fenómeno ya que, como ha sucedido, el desbordamiento de los canales de aguas pluviales es inminente cuando se tienen lluvias extraordinarias (tabla 25).



Foto 7. Inundación de casas en calle Robles, Colonia Bosques de Tultitlán del día 25 de julio de 2019.



Foto 8. Inundación de la vía José López Portillo.



Foto 9. Inundación de la vía José López Portillo a la altura de la asta bandera.



Foto 10. Tránsito vehicular a consecuencia de inundación sobre la vía José López Portillo.

4.2.3 Riesgo por subsidencia

El municipio cuenta con 112 condominios urbanos asentados en la zona lacustre, donde solo en la parte de la Isla municipal se cuenta con 92 unidades habitacionales (Tultitlán de Mariano Escobedo, 2019) donde viven acerca de 100,000 personas (Gobierno del Estado de México, 2011) en edificios multifamiliares que varían de 2 hasta 5 pisos, donde el peso de las edificaciones ayuda a que la velocidad del fenómeno de subsidencia aumente. Los casos de estudio se presentan en la zona antes mencionada y en la parte septentrional de Coacalco de Berriozábal.

De acuerdo con estudios realizados por Solano-Rojas *et. al.* (2015), se ha propuesto una velocidad determinada para la subsidencia de la Ciudad de México, así como parte de la Zona Metropolitana del Valle de México (figura 62).

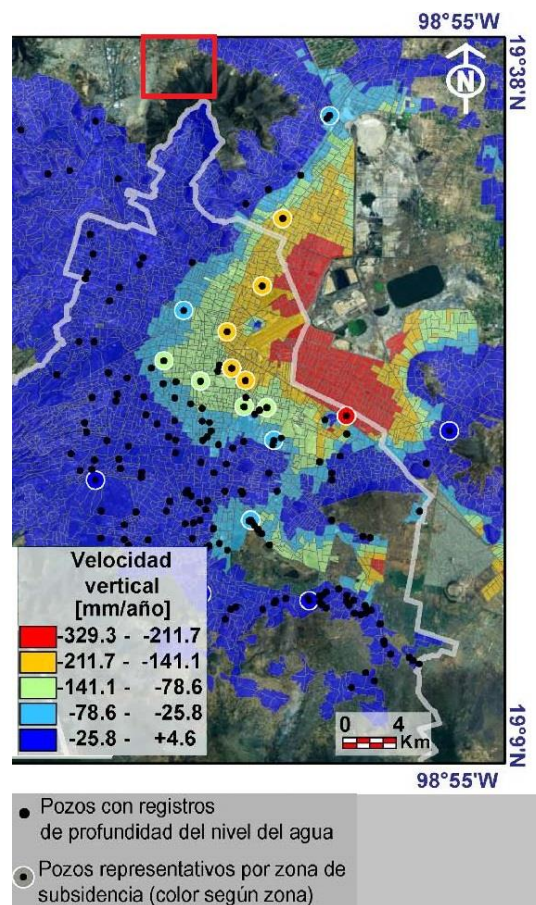


Figura 62. Velocidades de subsidencia para la Ciudad de México y Zona Metropolitana. La región en estudio se encuentra enmarcada en color rojo. Tomada de Solano-Rojas *et. al.*, 2015.

El mapa de velocidades de subsidencia propuesto por Solano-Rojas (2015) no ofrece suficiente información de la dinámica de hundimiento en el municipio, sin embargo, la tendencia de la velocidad alrededor de la Sierra de Guadalupe, así como de los depósitos lacustres y aluviales que yacen en esta región, nos permiten una extrapolación de la información hacia Tultitlán de Mariano Escobedo (figura 63).

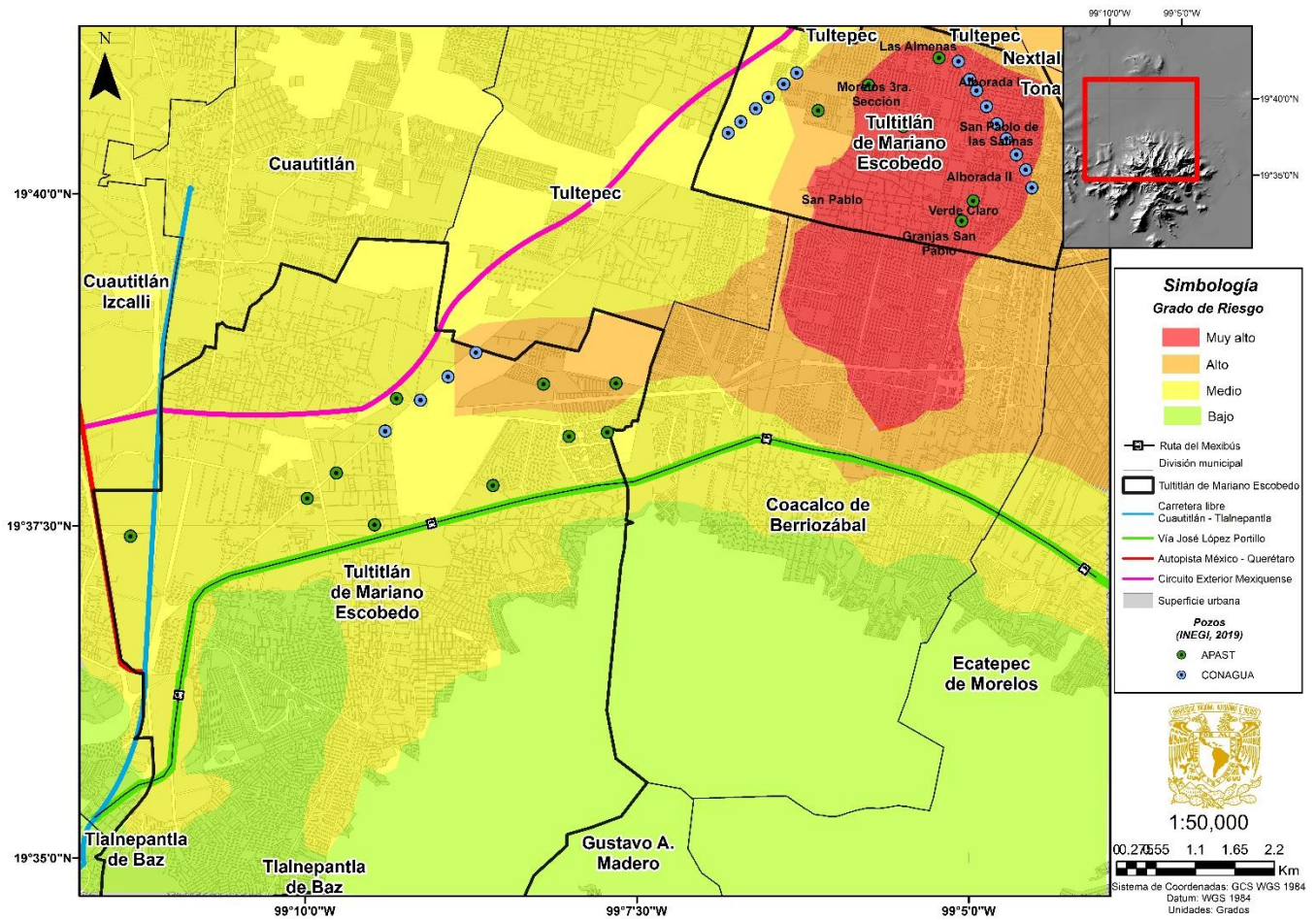


Figura 63. Mapa de riesgo por subsidencia en el municipio y alrededores.

Las colonias que se ven más afectadas por el fenómeno de subsidencia debido a la extracción de agua subterránea, así como al peso de las edificaciones y que además han presentado agrietamiento tanto en los hogares como en el asfalto, se encuentran en la parte de la Isla Municipal de Tultitlán de Mariano Escobedo; Las Almenas, Alborada I, Morelos 3ra. Sección, San Pablo de las Salinas, Alborada II, Verde Claro, San Pablo y Granjas San Pablo, así como en la parte septentrional de Coacalco de Berriozábal. El fenómeno se seguirá presentando y

podría afectar a los conjuntos habitacionales de la región por lo que están expuestas alrededor de 100,000 personas que viven en la zona (Gobierno del Estado de México, 2011), así pues, la extracción de agua subterránea debe de ser moderada, sin embargo, la CONAGUA extrae agua en bloque para llevarla a la Ciudad de México.



Foto 11. Inclinación de edificios por hundimiento. Colonia Verde Claro, Tultitlán de Mariano Escobedo.

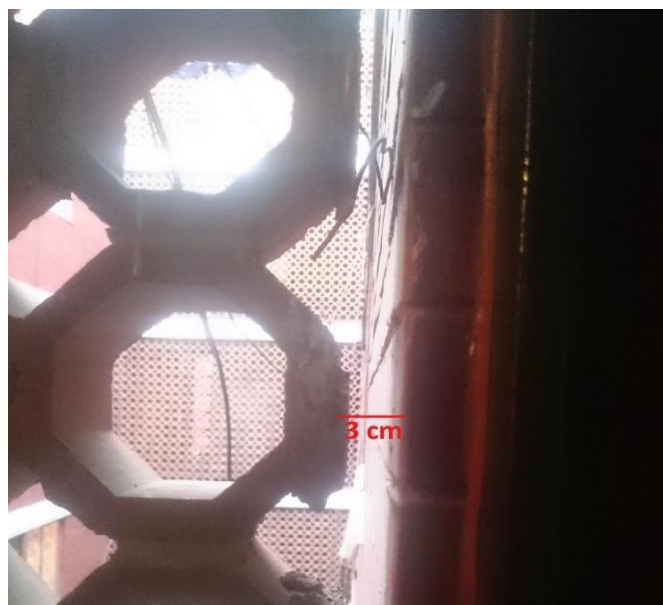


Foto 12. Fraccionamiento San Rafael, Rinconada San Felipe, Coacalco de Berriozábal.



Foto 13. Inclinación de conjunto habitacional. Colonia Las Llanuras, Tultitlán de Mariano Escobedo.



Foto 14. Subsistencia del terreno. Colonia Santa María Magdalena, Coacalco de Berriozábal. Los conjuntos habitacionales de la zona presentan 5 pisos.

4.2.4 Riesgo por sismicidad

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en su página oficial, nos proporciona posibles escenarios de sismo con origen en la Brecha de Guerrero, la cual no ha tenido actividad sísmica importante desde 1911 (Saavedra, 2018) (figura 54). Para fines de estudio se tomó el escenario de magnitud 8.2 en escala Richter brindado por CENAPRED, los resultados son las aceleraciones que tendría el terreno con dicho movimiento telúrico, posteriormente, estas últimas se comparan con la escala Mercalli y así podemos de alguna forma predecir la intensidad con la que se vivirían dichos fenómenos (figura 64).

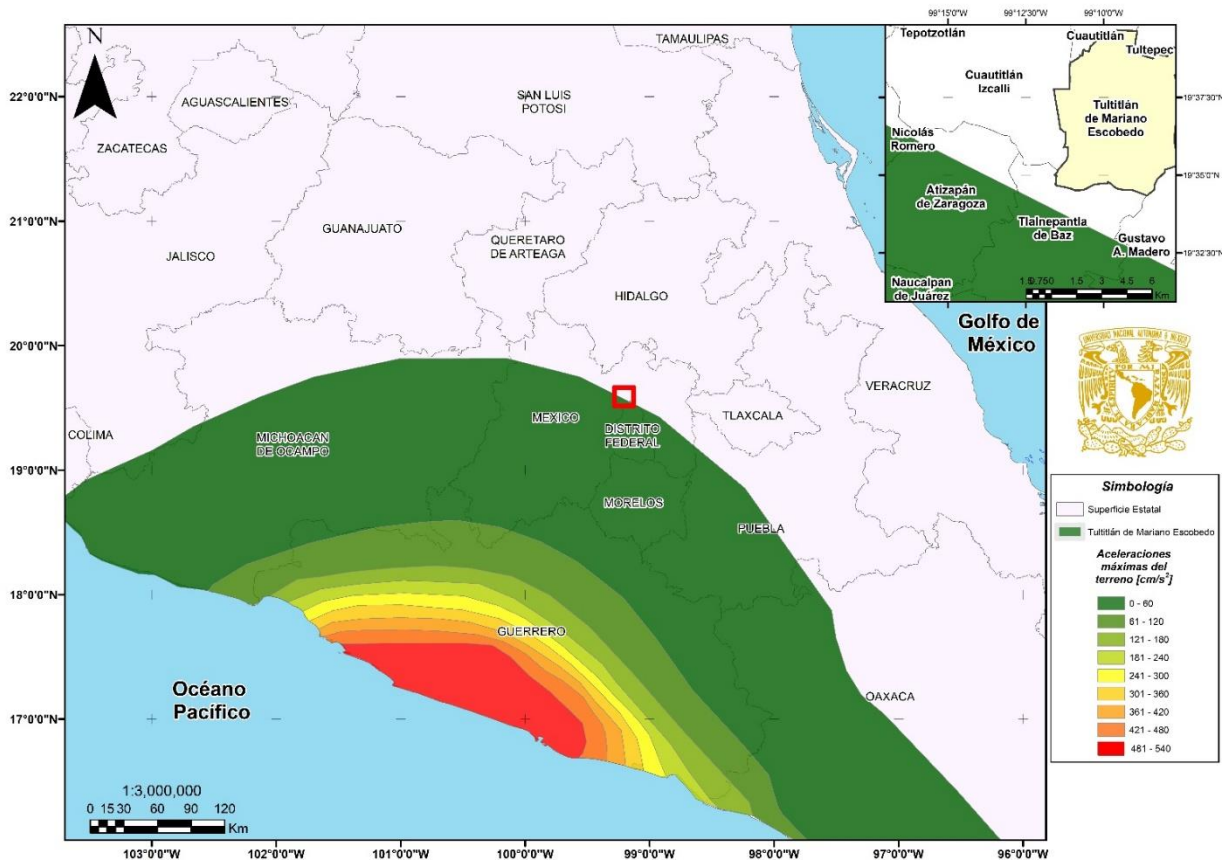


Figura 64. Aceleraciones a partir de un hipotético sismo en la Brecha de Guerrero de magnitud 8.2 en escala Richter. Mapa realizado con datos de CENAPRED, 2019.

La región de origen del posible sismo nos arroja las aceleraciones máximas del terreno, las cuales pueden llegar hasta 540 cm/s². Se puede extrapolar la información hacia el municipio ya que éste solo se encuentra a 1 km de la variable más cercana, así pues, se tendrían

aceleraciones de 0 a 60 cm/s², lo que, tomando el escenario catastrófico, nos arrojaría un dato VII - VIII en escala de Mercalli (véase página 73).

A consecuencia del análisis histórico e hipotético de sismos en el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, se realizó un mapa de riesgo por sismicidad (figura 65); en donde las zonas susceptibles son aquellas las cuales ya han tenido afectaciones por sismos históricamente, así como unidades habitacionales que ya cuentan con daños menores en su construcción.

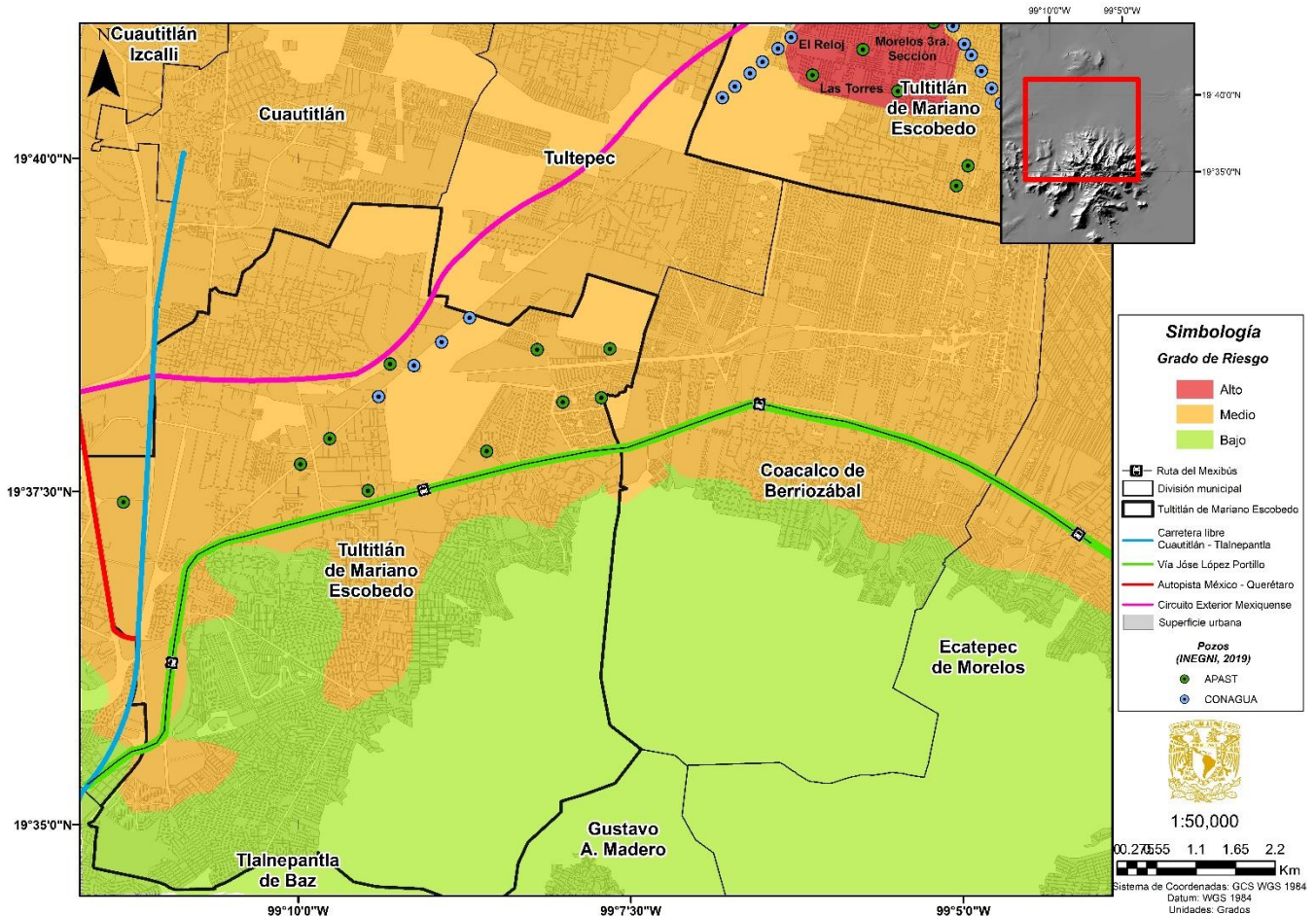


Figura 65. Mapa de riesgo por sismicidad en el municipio y alrededores.

Las colonias las cuales podrían tener afectaciones a consecuencia de un sismo son: Morelos 3ra. Sección, El Reloj y Las Torres; estas ubicadas en la parte de la Isla Municipal.



Foto 15. Daños en la fachada del Jardín de niños Lorenzo Filho, unidad habitacional Morelos 3era. Sección, Isla Municipal.



Foto. 16. Daños en la fachada del Jardín de niños Lorenzo Filho.

El principal objetivo de las Normas para diseño y construcción por sismo de la Ciudad de México y área metropolitana es que, “bajo los sismos que pueden presentarse varias veces durante la vida de una estructura, no ocurran fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque pueden presentarse daños y/o deformaciones” (Gobierno de la Ciudad de México, 2017, p.49). A continuación, se presentan algunas Normas de investigación, diseño y construcción por sismo para futuros inmuebles, esto, considerando todos y cada uno de los factores en los que se realizó el mapa de zonificación de riesgo por sismo, así como para salvaguardar la vida de las personas que en estos habiten:

EXPLORACIONES	Construcciones ligeras, de poca extensión y excavaciones someras. (Profundidad de construcción ≤ 2.5 m)	Zona I. <i>“Pozos a cielo abierto para determinar estratigrafía y propiedades de los materiales.”</i>
		Zona II. <i>“Inspección superficial detallada después de limpieza y despalme del predio para detección de rellenos sueltos y grietas.”</i>
		Zona III. Además de lo anterior, <i>“exploraciones profundas.”</i>
	Construcciones pesadas, extensas y excavaciones profundas. (Profundidad de construcción > 2.5 m)	Zona I. <i>“Profundidad de exploración debe abarcar todos los estratos sueltos o compresibles que puedan afectar el comportamiento de la cimentación del edificio.”</i>
		Zona II. <i>“Investigación de la tendencia de los movimientos del subsuelo debidos a consolidación regional. Determinación de presión del agua, incluyendo detección de mantos acuíferos colgados.”</i>
		Zona III. Además de lo anterior, <i>“la obtención de muestras inalteradas de los estratos que puedan afectar el comportamiento de la cimentación.”</i>
SEPARACIÓN DE EDIFICIOS COLINDANTES	<i>“Toda edificación deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos una distancia no menor de 50 mm.”</i>	
ESTRUCTURA REGULAR	<i>“Una estructura regular es aquella donde la relación de su altura a la dimensión menor de su base no es mayor que cuatro.”</i>	
EDIFICIOS CON DISIPADORES SÍSMICOS	<i>“El sistema consistirá en un sistema que sea capaz de resistir fuerzas laterales como gravitacionales.”</i>	

Tabla 27. Algunas Normas técnicas para diseño por sismo. Información tomada del Gobierno de la Ciudad de México, 2017.

MAPA INTEGRAL DE RIESGOS

A continuación, en la figura 66 se presenta el mapa generalizado de riesgo geológico en el municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo, en donde las colonias más propensas a sufrir daños debido a fenómenos naturales son: Morelos 3ra. Sección en la Isla Municipal y COCEM, esta última en la parte de la Cabecera Municipal.

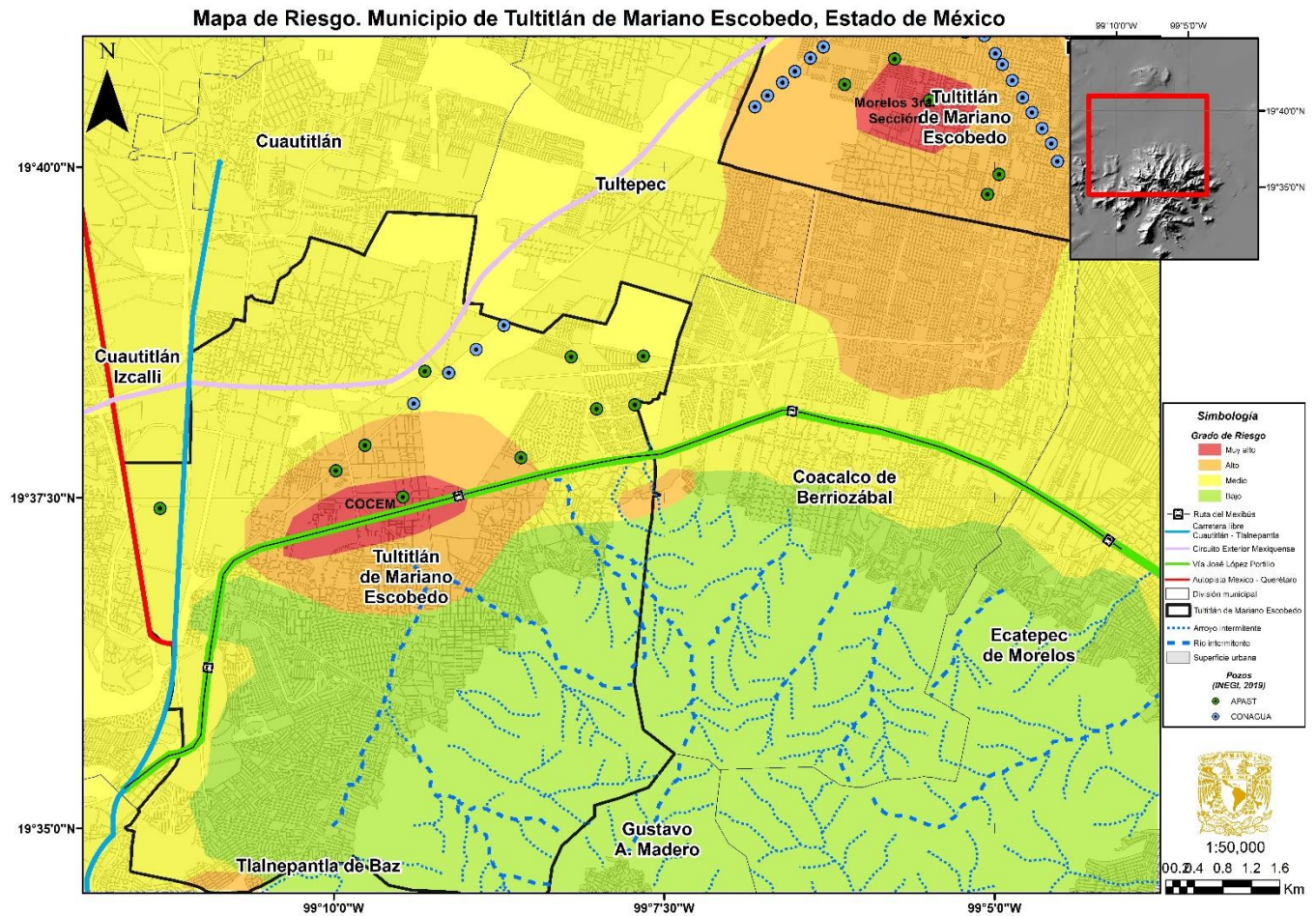


Figura 66. Mapa integral de riesgos.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. El municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo debido a la topografía, infraestructura hidráulica instalada, geología del subsuelo y taponamiento del drenaje por basura; fenómenos hidrometeorológicos han provocado áreas de reincidencia de inundación en los últimos años.
2. El Reglamento del libro Sexto del código administrativo del Estado de México cumple en materia de información sobre las normas a seguir por cada uno de los municipios; es responsabilidad de la presente administración del municipio la oportuna creación de un plan de Protección Civil, así como de la actualización del atlas de riesgo.
3. El municipio cuenta con una infraestructura hidráulica deficiente; ya que precipitación pluvial del orden de 20 mm en una hora y aunado al escurrimiento de la Sierra de Guadalupe hacia el centro del municipio, provoca que las colonias COCEM, los Reyes y Bosques de Tultitlán sean inundadas irremediablemente. Además, la vía José López Portillo se vería afectada en un tramo de 1.8 km desde la calle Ahuehuetes hasta Presa de Olivo (de este a oeste), distancia la cual incluye las estaciones de Mexibús: COCEM, Buenavista, Bandera Tultitlán, y Bello Horizonte, afectando así a 200,000 personas que utilizan dicho medio de comunicación; además de vehículos del transporte público, vehículos oficiales, particulares y camiones de carga.
4. El municipio de Tultitlán de Mariano Escobedo con una población de medio millón de habitantes ha favorecido la pavimentación de áreas agrícolas y tala de árboles para la creación de zonas urbanas, esto aunado a la poca permeabilidad que permite el suelo (véase 2.5.1 Sondeos geotécnicos) son otras causas que nos dan como resultado zonas de inundación en diferentes colonias del municipio.
5. El agua en bloque llevada hacia la Ciudad de México, así como la demanda por el agua subterránea de 520,557 personas que viven en el municipio, ha propiciado que la profundidad al nivel estático tenga un decremento de 60 m en 24 años, esto aunado al peso de las edificaciones de 6 pisos en promedio en zonas urbanas, tiene como consecuencia la subsidencia promedio de 25 – 30 mm por año en el municipio, la cual está poniendo en riesgo a aproximadamente 100,000 personas que viven en los conjuntos habitacionales de la Isla Municipal.

6. En materia de Riesgo Sísmico, se debe tener en cuenta que estos fenómenos ocurren todo el tiempo, unos con mayor intensidad que otros, sin embargo, con epicentro en las costas de Guerrero, el periodo de retorno de un sismo que genere una intensidad de VII en escala Mercalli en el municipio es de 10 años (CENAPRED, 2006).

5.2 Recomendaciones

Riesgo por inundación:

1. En temporada de lluvias invitar a los conductores a tomar rutas alternas:
 - De este a oeste. Circulación por la avenida Mexiquense por alguna de las siguientes calles: avenida Eje 8, boulevard Coacalco, calle Zarzaparrillas, carretera Tultepec – Coacalco, boulevard Bosque Central y calle Niños Héroes; para una posterior conectividad con el Circuito Exterior Mexiquense.
 - De oeste a este. Circular por avenida de las Torres en la mayoría de su longitud, continuar por calle Atlautla, Chinconcuac y Chalco hasta llegar a avenida Mariscal y salir a la vía José López Portillo a la altura de Santa María Cuautepec.
2. Poner en acción a los 10 camiones tipo *Vector* con los que cuenta el Gobierno de Tultitlán de Mariano Escobedo en la vía José López Portillo a la altura de la Bandera; los cuales en total tienen la capacidad de desazolver 100,000 litros de agua en 3.6 minutos = 1'000,000 litros de agua en 36 minutos (Información técnica de camiones *Vector*).
3. Construcción de plantas de bombeo de aguas pluviales para su aprovechamiento en el sector agrícola.
4. Continuo desazolve del canal Cartagena.
5. Conector de aguas pluviales “La Bandera” de mayor diámetro (<http://www.apast.gob.mx/realiza-apast-conector-de-aguas-pluviales-la-bandera-en-la-via-jose-lopez-portillo>), así como la ampliación de infraestructura hidráulica y su continuo desazolve.
6. Control de escorrentías de la Sierra de Guadalupe con presas de gavión, así como un continuo desazolve.
7. Crear espacios verdes donde el agua pueda infiltrarse.

Por subsidencia:

1. Reducir el bombeo de los pozos para una recuperación del acuífero.
2. No entregar más concesiones para extracción de agua subterránea.

Por sismo:

1. Una continua información y evaluación de inmuebles ubicados en la Isla Municipal.
2. Realización de simulacros.
3. Cultura de autoprotección.
4. Aplicación de las Normas técnicas para diseño por sismo.

Por deslizamiento del terreno:

1. Información antes, durante y después de la época de lluvias.
2. Autoprotección.
3. No deforestar la Sierra de Guadalupe.
4. No ubicar casas en zonas de escorrentía de la Sierra de Guadalupe.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayala-López, A. (2017). *Dinámica ambiental de la Sierra de Guadalupe de 1985 – 2016* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Arroyo-Loranca, P. M. (2005). *Diagnóstico de la explotación de agua en la zona de Ecatepec, Edo. Mex.* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Ávila-García, J. L. (2015). *Experiencia laboral como coordinador de atlas de riesgos en el municipio de Tultitlán Edo. Mex.* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de planeación territorial. Toluca de Lerdo, Estado de México.
- Castañeda-Leonides, F. (2011). *Análisis de peligros por procesos de remoción en masa en estructuras volcánicas. Peñón de los Baños y Peñón del Marques, Distrito Federal.* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán, Distrito Federal, México.
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (2017). *Aproximación para el Cálculo de Riesgo.* Recuperado de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&Itemid=111&lang=es
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas estatales y Municipales de Peligros y Riesgos.* D.F., México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.

- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2016). Curso: Causas que propician deslizamientos y medidas de prevención. Recuperado de www.cenapred.gob.mx/documentosWeb/Enaproc/IdentiDeslizamientos.pdf
- Comisión del Agua del Estado de México (CAEM). (2016). *Reincidencia de inundaciones en las Temporadas de Lluvias 2002-2016: Cuenca del Valle de México*. Recuperado de <http://caem.edomex.gob.mx/sites/caem.edomex.gob.mx/files/files/AtlasInundaciones/Atlas2017/ReincidenciasVM.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuautitlán – Pachuca (1508), Estado de México*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103139/DR_1508.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2007). *Apoyo técnico para la actualización de la disponibilidad del acuífero Cuautitlán – Pachuca (1508)*. Contrato No. OAVM-GT-MEX-07-462-RF-LP.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2016). *Atlas del Agua en México 2016*. Recuperado de www.gob.mx/conagua
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). *Resumen de la temporada de ciclones tropicales 2009*. Recuperado de <https://smn.cna.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Resumenes/2009.pdf>
- Consultores en Ingeniería Geofísica. (2011). *Estudio de exploración geofísica, modelo tridimensional de la geología del subsuelo, integración de los censos de aprovechamientos de las aguas subterráneas, históricos y su actualización, reconstrucción de los registros piezométricos e hidrométricos históricos y recorridos piezométrico e hidrométrico, asociados a la recarga artificial con agua residual tratada al acuífero Cuautitlán-Pachuca, en la zona de El Caracol, Estado de México*. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Coordinación Nacional de Protección Civil. (2018). *Inundaciones en México*. Recuperado de <https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/3-FASCCULOINUNDACIONES.PDF>
- Córdoba-Barradas, L. (2016). *Tultitlán en el tiempo. Enciclopedia Histórica Municipal*. Estado de México: Gráfica del Centro S.A. de C.V.
- Dirección General de Protección Civil del Estado de México. *Atlas de Riesgos, Estado de México*. Recuperado de www.gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/62/2015/feb/Atlas-20150224.pdf
- De Cserna, Z., et. al. (1988). Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx:8080/iql/index.php/difusion-y-divulgacion/publicaciones/boletin-del-instituto-de-geologia/578-boletin-104>
- De Matteis, Á. (2003). Estabilidad de taludes. Recuperado de <http://www.fceia.unr.ar/geologiaygeotecnia>
- Delgado, H., et. al. (1998). Geology of Xitle volcano in southern Mexico City, a 2000 years old monogenetic volcano in an urban area. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15, 115 – 131.

- Escobar-Aubert, X. A. (2004). *Agrietamiento en sedimentos lacustres ubicados en zonas cercanas a la Sierra de Guadalupe* (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Espíndola-Castro, V.H. y Pérez-Campos, X. (2018). ¿Qué son los sismos, dónde ocurren y cómo se miden? *Revista Ciencia*, 69(3), 8 – 15.
- Ferrari, L., et. al. (2011). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*. doi: 10.1016/j.tecto.2011.09.018
- Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica TransMexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53, 84-92.
- Ferrari, L. (2014) Tectónica y volcanismo en el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano. Centro de Geociencias e Instituto de Geología UNAM. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/260383955>
- Ferrari, L., Garduño, V. H., Pasquarè, G., y Tibaldi, A. (1993). Volcanic and Tectonic evolution of Central Mexico: Oligocene to present. *Geofísica Internacional*, 33(1), 91- 105.
- Fries, C. (1960). Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central Meridional de México. *Boletín del Instituto de Geología*, 60.
- García-Palomo, A., López, C., y García, A. (2007). Geología y procesos de remoción en masa asociados a un domo volcánico tipo *couleé*: cerro El Tenayo, Tlalnepantla, Estado de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 59(2), 183 – 201.
- García-Palomo, A., et. al. (2008). El arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(1).
- García-Palomo, A., Carlos-Valerio, V., et. al. (2006). Landslide inventory map of Guadalupe Range, north of the Mexico Basin. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 58(2), 195 – 204.
- García-Palomo, A., et. al. (2002). Geology of Nevado de Toluca Volcano and surrounding areas, central Mexico. *Geological Society of America*.
- García-Palomo, A., et. al. (2002). Volcanic stratigraphy and geological evolution of the Apan region, east-central sector of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Geofísica Internacional*, 41(2), 133 – 150.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2017). *Normas técnicas complementarias* (220 Bis). Recuperado de <https://www.isc.cdmx.gob.mx/servicios/servicio/normas-tecnicas-complementarias-y-sasid>
- Gobierno de Tlaxiácala de Mariano Escobedo. (2013). *Actualización del Atlas de Riesgo del Municipio de Tlaxiácala, Estado de México*. Tlaxiácala de Mariano Escobedo, México: Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.
- Gobierno del Estado de México. (2016). *Reglamento del libro sexto del código administrativo del Estado de México* (Registro DGC Número 0011021).
- Gobierno del Estado de México. (2015). *Información para el plan de desarrollo Tlaxiácala*. Recuperado de www.seduv.edomexico.gob.mx

- Gobierno del Estado de México. (2011). *Plan de Desarrollo 2012 – 2017 Región XIV Tultitlán. Programa Regional*. Recuperado de www.transparenciafiscal.edomex.gob.mx
- Gobierno del Estado de México. (2016). *Producto Interno Bruto Municipal 2016*. México: Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México.
- Gobierno del Estado de México. (2015). *Atlas de Riesgos: Estado de México*. Estado de México, México: Dirección General de Protección Civil.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, Ma., y Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(2), 227 – 283.
- González-Torres, E.A., et. al. (2015). Revisión de los últimos eventos magmáticos del Cenozoico del sector norte-central de la Sierra Madre del Sur y su posible conexión con el subsuelo profundo de la Cuenca de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2), 285 – 297.
- Hernández-Uribe, R. E., et. al. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. doi: 10.24850/j-tyca-2017-03-01
- Hubp, J., y Montes, A. (1996). Geomorfología de la Sierra de Guadalupe (al norte de la Ciudad de México) y su relación con peligros naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13(2), 240 – 251.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Panorama sociodemográfico de Estado de México 2015*. Recuperado de www.inegi.org.mx
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2001). *Síntesis de Información Geográfica del Estado de México*. Recuperado de www.inegi.org.mx
- Manea, V.C. et. al. (2013). A geodynamical perspective on the subduction of Cocos and Rivera plates beneath Mexico and Central America. *Tectonophysics*, 609, 56 – 81. doi: 10.1016/j.tecto.2012.12.039
- Manilla-Aceves, A. A., et. al. (2001). *Metodología para determinar la influencia de la extracción de agua subterránea en la infraestructura del transporte*. Secretaría de Comunicaciones y Transporte.
- Márquez-Vázquez, U. I. (2009). *Propuesta para la corrección de desplomes en los edificios multifamiliares de la unidad habitacional San Rafael en el municipio de Coacalco, Estado de México*. (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Acatlán, México.
- Martínez-García, C. A. (2009). *Estudio Geológico en la zona volcánica de Atizapán de Zaragoza, Cuenca de México*. (tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán, Ciencias de la Tierra, Distrito Federal, México.
- Mendoza-López, M. J., et. al. (2002). *Monitoreo de laderas con fines de evaluación y alertamiento*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F.: Secretaría de Gobernación.

- Mendoza-Segura, D. (2017). *Cimentación de un anuncio elevado en la autopista México – Querétaro, en el Municipio de Cuautitlán Izcalli, Edo. De México*. (tesina para especialización en Geotecnia). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, México.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Escala de intensidad de Mercalli Modificada (MM)*. El Salvador. Recuperado de <http://www.marn.gob.sv/escala-de-intensidad-mercalli-modificada-mm/>
- Mooser, F. (1987). Faja Volcánica Transmexicana: Morfoestructura tectónica y vulcanotectónica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. doi: 10.18268/BSGM1987v48n2a6
- Mori, L. (2007). *Origen del magmatismo miocénico en el sector central de la FVTM y sus implicaciones en la evolución del sistema de subducción mexicano* (tesis de doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Ochoa, F. et. al. (2011). *Elaboración de los estudios de demanda, anteproyectos operacional y físico, anteproyecto constructivo, impacto ambiental y costo-beneficio social del proyecto: “Corredores Metropolitanos Cd. Ateca-Coacalco-Lechería y Cuautitlán Izcalli-Tultitlán”*. Recuperado de: www.fonadin.gob.mx/wp-content/uploads/2016/08/ACB_Lecheria.pdf
- Palma-Maya, D. T. (2012). *Análisis estructural de las zonas topográficamente altas del Distrito Federal para evaluar áreas susceptibles de contaminación*. (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, México.
- Pérez-Campos, X. (Productor). (2017). *Observando las contorsiones en la Placa de Cocos* [YouTube]. De <https://www.youtube.com/watch?v=8xGdvOTeYvk>
- Pérez-Rocha, E., et. al. (noviembre de 2015). Espectros de diseño sísmico para la nueva versión del manual de diseño de obras civiles de CFE. *Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Simposio llevado a cabo en el XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Acapulco, Guerrero, México.
- Red sísmica del CICESE. (2017). Reporte del sismo del 19 de septiembre de 2017 a las 18:14:40 UTC Magnitud 7.1. Recuperado de: www.resnom.cicese.mx/sitio/ui/img/boletines/sismo-19-sept-2017
- Saavedra, D. (2018). Brecha de Guerrero: causas que han evitado un gran terremoto. *Gaceta UNAM*. Recuperado de: <http://www.gaceta.unam.mx/brecha-de-querrero-causas-que-han-evitado-un-gran-terremoto/>
- Salinas-Montes, A. (1994). *Geomorfología de la Sierra de Guadalupe y riesgos naturales* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Segovia-Morales, C. (1998). *Estudio de mecánica de suelos para una nave industrial y patio de maniobras ubicado en Cuautitlán Izcalli, Edo. De México*. (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Aragón, México.
- Servicio Geológico Mexicano (2017). *Riesgos Geológicos – Introducción*. Recuperado de www.sgm.gob.mx
- Solano-Rojas, D., et. al. (2015). La relación de subsidencia del terreno InSAR-GPS y el abatimiento del nivel estático en pozos de la zona Metropolitana en la Ciudad de México. 67(2), 273 – 283.

- Suárez-Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad en taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre erosión y deslizamientos.
- Tarback, E.J. y Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física*. Madrid, España: Pearson.
- Tiburcio-Sánchez, A. y Perevochtchikova, M. (2009). Análisis del sistema de abastecimiento de agua potable a nivel local: el caso del municipio de Ecatepec, México. *1(2)*, 141 – 152
- Tultitlán de Mariano Escobedo. (2013). *Plan de Desarrollo Municipal Tultitlán de Mariano Escobedo (2013 – 2015)*. Recuperado de www.tultitlan.gob.mx
- Tultitlán de Mariano Escobedo. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal Tultitlán de Mariano Escobedo (2016 – 2018)*. Recuperado de www.tultitlan.gob.mx
- Tultitlán de Mariano Escobedo. (2009). *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Recuperado de www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15109.pdf
- Tultitlán de Mariano Escobedo. (2019). *Bando Municipal 2019-2001*. Recuperado de: <http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files//filespdf/bdo/bdo2019112.pdf>
- Valencia, G. J. (2007). *Contribución a la zonificación Geotécnica de la zona Norte del Valle de México. (tesis de maestría)* Instituto Politécnico Nacional, ESIA Zacatenco, México.

ANEXO

Tultitlán registra severa inundación luego de tormenta

El lodo y basura arrastrados por el agua de lluvia provocó que las coladeras se taparan y comenzara a generarse la inundación

28/07/2016 19:59 REDACCIÓN

Inundaciones, deslaves y otras afectaciones deja lluvia en Edomex

Elementos de la Policía Municipal auxiliaron a los ciudadanos que se quedaron varados en distintos puntos

05/07/2017 05:48 MARÍA DE LOS ÁNGELES VELASCO



(Foto: Twitter @tultitlanEdoMex)

Lluvia provoca inundaciones en Tultitlán y Coacalco

28/06/2017 | 21:29 | Juan Manuel Barrera [Tultitlán, Méx.]

La vía López Portillo registró anegaciones de hasta 50 centímetros de altura

Ciudad de Toluca, 13 de agosto de 2019

LOCAL / VIERNES 15 DE JUNIO DE 2018

Inundaciones sobre la López Portillo en Tultitlán no tienen fin

Las obras para mitigar las afectaciones no han servido, mientras que decenas de mexiquenses quedan atrapados por horas cada vez que llueve



Ciudad de Toluca, 13 de agosto de 2019

LOCAL / SÁBADO 25 DE AGOSTO DE 2018

El 50% de las inundaciones en Tultitlán son provocadas por la basura

Con ello se busca concientizar a la ciudadanía para que no tire basura en las calles



Foto cortesía

Tormenta en el Edomex deja 3 muertos y miles de casas dañadas

Las inundaciones de hasta 2 metros en Ecatepec, Tultitlán y Coacalco paralizaron las actividades



Aspectos de la vía José López Portillo alrededor de las cuatro de la tarde, zona que se oscureció en ese momento por la intensa lluvia » Foto Mario Antonio Núñez López

JAVIER SALINAS CESÁREO Y SILVIA CHÁVEZ GONZÁLEZ

Corresponsales

Periódico La Jornada

Sábado 31 de octubre de 2009, p. 27

En Coacalco las placas de concreto del río Cartagena fueron desprendidas por la corriente y las aguas desbordadas inundaron múltiples viviendas de siete comunidades. La

REALIZA APAST CONECTOR DE AGUAS PLUVIALES “LA BANDERA” EN LA VÍA JOSÉ LÓPEZ PORTILLO

