Gaceta Municipal de Zapotlán

MEDIO OFICIAL DE DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN DEL GOBIERNO MUNICIPAL DE ZAPOTLÁN EL GRANDE

AÑO 16 NÚM. 507 03 DE OCTUBRE DE 2024

"Actualización del Atlas Municipal de Peligros y Riesgos Naturales de Zapotlán el Grande, Jalisco - 2024"

Lic. Magali Casillas Contreras, Presidenta Municipal de Zapotlán el Grande, Jalisco, en cumplimiento a lo dispuesto en los artículos 42 fracción IV y V, y 47 fracción V de la Ley del Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco, a todos los habitantes del Municipio de Zapotlán, **HAGO SABER**:

Que el Ayuntamiento de Zapotlán el Grande, Jalisco, en pleno ejercicio de sus atribuciones en la Sesión Ordinaria de Ayuntamiento número 57 cincuenta y siete, en el punto número 05 cinco del orden del día, de fecha 30 treinta de septiembre del año 2024 dos mil veinticuatro, tuvo a bien aprobar por mayoría absoluta (12 votos a favor) los siguientes:

R E S O L U T I V O S:

PRIMERO.- El Pleno del Ayuntamiento de Zapotlán el Grande, Jalisco, **APRUEBA EN LO GENERAL Y EN LO PARTICULAR LA ACTUALIZACIÓN DEL ATLAS MUNICIPAL DE PELIGROS Y RIESGOS NATURALES DE ZAPOTLAN EL GRANDE, JALISCO-2024**.

SEGUNDO.– Una vez aprobado el Reglamento anteriormente citado, se faculta al Presidente Municipal para los efectos de su obligatoria promulgación de conformidad con lo que señala en artículo 42 fracciones IV y V y artículo 47 fracción V, de la Ley de Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco, artículos 3 fracciones I y II, 18 y 20 y demás relativos y aplicables del Reglamento de la Gaceta Municipal de Zapotlán el Grande, Jalisco.

TERCERO.- Se derogan todas las disposiciones que se opongan a la **ACTUALIZACIÓN DEL ATLAS MUNICIPAL DE PELIGROS Y RIESGOS NATURALES DE ZAPOTLAN EL GRANDE, JALISCO-2024**.

CUARTO.- El presente documento entrará en vigor al día siguiente de su publicación en la Gaceta Municipal de Zapotlán el Grande, Jalisco, y divulgado en el portal web oficial de este municipio..

QUINTO.- Se faculta e instruye a la Secretario General de Gobierno, para que realice la publicación, certificación y divulgación correspondiente, así como para realizar todas las gestiones necesarias para implementar el presente Reglamento.

SEXTO.- Publicada la presente disposición, remítase mediante oficio un tanto de ella al Honorable Congreso del Estado de Jalisco, para los efectos ordenados en la fracción VII del artículo 42 de la Ley de Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco

SÉPTIMO.- Se faculta, ordena e instruye a la Secretaria General de Gobierno para que integre y remita copia certificada del ATLAS MUNICIPAL DE PELIGROS Y RIESGOS NATURALES DE ZAPOTLAN EL GRANDE, JALISCO-2024., al **Registro Público de la Propiedad y del Comercio con sede en Ciudad Guzmán Jalisco, para las anotaciones correspondientes**.

VERSIÓN PARA PUBLICACIÓN

ATLAS DE RIESGOS

ACTUALIZACIÓN DEL ATLAS MUNICIPAL DE PELIGROS Y RIESGOS NATURALES DE

ZAPOTLÁN EL GRANDE,

JALISCO - 2024

BIOPHILIA

PROTECCION CIVIL Y BOMBEROS ZAPOTLAN EL GRANDE

GEOSITER

ATLAS DE RIESGOS
ZAPOTLÁN EL GRANDE

GEOSITER (2024). *ACTUALIZACIÓN DEL ATLAS MUNICIPAL DE PELIGROS Y RIESGOS NATURALES DEL MUNICIPIO DE ZAPOTLÁN EL GRANDE, JALISCO; 2024*. Ayuntamiento Municipal del Zapotlán el Grande.

Para más información:

www.geositer.com

Proyecto desarrollado para la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos del H. Ayuntamiento Municipal de Zapotlán el Grande, Jalisco.

Agosto, 2024.

Arte de interior:
Sánchez Duarte, Miguel Ángel (2024). "Volcanes Atlas de Riesgo" [90x60]

Contenidos

Introducción y caracterización de medio físico y social 16
1.1 Introducción 16
Objetivos 17
Innovaciones 17
Actualizaciones 18
Vinculación y aplicación 19
Entregables del proyecto 22
1.2 Metodología general 22
Definición del Área de Estudio 22
Sistema de fuentes y procesos 23
Marco teórico 25
1.3 Antecedentes y actividades 26
Talleres de Cartografía Participativa 27
Trabajo de campo 28
Soporte digital durante la realización 28
1.4 Créditos 28
Agradecimientos 29
1.5 Caracterización del medio físico 30
Relieve 30
Fisiografía 43
Edafología 47
Geología 52
Tectónica 57
Clima 58
Temperatura 59

Precipitación 65
Hidrología superficial 67
Hidrología subterránea 84
Áreas naturales protegidas 93
1.6 Caracterización del medio social 94
Demografía 94
Uso de suelo 98
Uso de suelo urbano 98
Red Vial 102
Zonificación de peligro y susceptibilidad a fenómenos hidrometeorológicos 115
2.1 Introducción 115
2.2 Zonificación de peligros por tormentas eléctricas 120
2.3 Zonificación de peligros por sequías 123
2.4 Zonificación de peligros por heladas 128
2.5 Zonificación de peligros por nevada 128
2.6 Zonificación de peligros por temperaturas máximas extremas 133
2.7 Zonificación de peligros por vientos fuertes 135
2.8 Modelo ponderado de peligros meteorológicos 137
2.9 Zonificación de peligros por inundaciones 139
Marco conceptual 139
Fuente de insumos 142
Metodología para cuantificar el peligro por inundación 146
Evaluación de peligro por inundación 152
Susceptibilidad a inundación 152
Peligro por inundación 157
Zonificación del peligro por inundación 159
Zonificación de peligro y susceptibilidad a fenómenos geológico-geomorfológicos 183

3.1 Introducción 183
3.2 Inestabilidad de laderas (deslizamientos, flujos y caídos o derrumbes) 184
Deslizamientos 186
Flujos 191
Caídos o derrumbes 197
3.3 Licuación de suelos 200
3.4 Erupciones volcánicas 206
Peligro por erupción volcánica 211
3.5 Subsidencia y agrietamiento del terreno 217
Subsidencia 217
Agrietamiento del terreno 223
3.6 Sismos 233
Escalas de medición de los sismos 235
Regionalización Sísmica por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) 241
Registros sísmicos 246
Zonificación de peligro y susceptibilidad de fenómenos químico-tecnológicos 251
4.1 Introducción 251
Incidentes Significativos 252
Factores de Riesgo Adicionales 253
Alcances del módulo 255
Marco legal y normativo 256
Marco legal y normativo aplicado al Transporte de sustancias peligrosas por Ductos 259
Marco legal y normativo aplicado al Transporte de sustancias peligrosas por Vialidades 262
Marco legal y normativo aplicado al Transporte Ferroviario de sustancias peligrosas 263
Marco conceptual 265

Evaluación de riesgos 266
Actividades consideradas de alto riesgo 268
Accidentes de alto riesgo ambiental 269
Efectos en la salud y el ambiente por accidentes 270
Definición de sustancias tóxicas, inflamables y explosivas 270
Metodología 274
Identificación de instalaciones que manejan sustancias peligrosas 274
Identificación de la trayectoria, longitud y diámetro del "Sistema de Transporte por Ductos" 276
Identificación de la sustancia transportada 277
Identificación de sustancias y materiales peligrosas transportadas 279
Utilización de las nuevas tecnologías para la modelación de la liberación de materiales peligrosos: nube tóxica, inflamable y explosiva 279
Información meteorológica para el modelado de las sustancias peligrosas 283
4.2 Identificación de actividades o instalaciones de alto riesgo 284
4.3 Simulaciones de Escenarios de Peligro 290
Simulaciones de peligro tóxico 294
Simulaciones de peligro inflamable 298
Simulaciones de peligro explosivo 302
Instalaciones con peligro a incendio 306
Transporte de sustancias peligrosas por Ductos 310
Transporte de Sustancias Peligrosas por Ferrocarril: Carrotanques de Amoniaco y Ácido Sulfúrico 320
Transporte de sustancias peligrosas por vialidades 323
4.4 Infiltración de hidrocarburos al subsuelo 343
4.5 Zonificación de peligro químico 344
Recomendaciones 347
Zonificación de peligro y susceptibilidad a fenómenos sanitario-ecológicos 352

5.1 Introducción 352
5.2 Epidemias 354
Definición y Clasificación 354
La Globalización y la Propagación de Enfermedades 357
5.3 Plagas 360
Plagas urbanas 360
Factores Ambientales 361
Cambios en el uso del suelo 361
Factor humano 361
5.4 Contaminación 369
Contaminación del agua 370
Semáforo de contaminación hídrica 380
Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación GOD 390
Contaminación aire 399
Contaminación del suelo 407
Rellenos sanitarios y su manejo 408
La producción de residuos sólidos urbanos 411
Tiraderos clandestinos 414
Contaminación por agroquímicos 416
Pérdida del suelo por erosión hídrica 424
Incendios 436
Contaminación de alimentos 444
Zonificación de peligro y susceptibilidad a fenómenos socio-organizativos 446
6.1 Introducción 446
Marco conceptual 448
Panorama Internacional 449
Panorama Nacional 449

Antecedentes 451
Trabajo de campo y talleres de participación ciudadana 454
6.2 Accidentes de transporte 454
Accidentes de tránsito 455
Decesos por accidentes de tránsito en Zapotlán el Grande 462
6.3 Zonificación del peligro 463
Accidentes ferroviarios 469
6.4 Concentración masiva de población y demostraciones de inconformidad social 471
Concentración masiva de población 472
Tradiciones, religiosas, deportivas y culturales 478
De otra naturaleza 482
6.5 Ciudad de los 15 minutos 484
Centros de cuidados 487
Educación 487
Aprovisionamiento 490
Ocio y cultura 490
Transporte público y activo 493
Ciudad de los 15 minutos 493
6.6 Demostraciones de inconformidad social 496
6.7 Interrupción o afectación de los servicios básicos o de infraestructura estratégica 498
6.8 Vandalismo 501
6.9 Susceptibilidad a fenómenos Socio-Organizativos 502
Susceptibilidad a Accidentes de Tránsito 502
Susceptibilidad a Concentración Masiva de Población y Demostraciones de Inconformidad Social 505
6.10 Peligro Socio-Organizativo 508
Determinación de exposición y vulnerabilidad 511

7.1 Introducción 511
7.2 Zonificación de exposición 512
Sistemas expuestos 513
Determinación de nivel de exposición 514
7.3 Vulnerabilidad 517
Vulnerabilidad social 518
Vulnerabilidad espacial 521
Determinación y cuantificación del riesgo 525
8.1 Introducción 525
8.2 Riesgo por tipo de fenómeno 527
Riesgo meteorológico 527
Riesgo por inundaciones 528
Riesgo por deslizamientos 531
Riesgo por flujos por procesos gravitacionales 533
Riesgo por caídos y derrumbes 535
Riesgo por fallas y fracturas 537
Riesgo químico-tecnológico 539
Riesgo por incendios forestales 541
Riesgo por contaminación de agua subterránea 543
Riesgo por contaminación de suelo intrínseca 545
Riesgo socio-organizativo 547
8.3 Riesgo total 549
Riesgo en zonas de expansión urbana 550
Riesgo en Polígonos de Contención Urbana 553
Riesgo en infraestructura / servicios urbanos 558
8.4 Conclusiones 559
Medidas de Mitigación 561

9.1 Introducción 561
9.2 Medidas de mitigación generales 563
Gobierno digital 563
Reducción de la vulnerabilidad espacial 564
9.3 Medidas de fenómenos hidrometeorológicos 565
9.4 Medidas de fenómenos geológico-geomorfológicos 576
Deslizamiento de laderas 576
Sismos 576
Vulcanismo 577
Hundimientos subsidencia y agrietamiento 578
9.5 Medidas de fenómenos químico-tecnológicos 579
9.6 Medidas de fenómenos ecológico-sanitarios 582
Regeneración de Áreas Propensas a la Pérdida del Suelo 583
Plan integral de manejo de residuos sólidos urbanos 584
Transición hacia la agricultura regenerativa 587
Calidad del agua 594
Calidad del aire 596
Programas de la conversión de residuos derivados de las plantas de tratamiento y desazolves del sistema de alcantarillado municipal 602
9.7 Medidas de fenómenos socio-organizativos 605
Referencias bibliográficas 610

Mapa 1. Mapa base 24
Mapa 2. Energía del relieve 31
Mapa 3. Hipsometría 34
Mapa 4. Pendiente del terreno 39
Mapa 5. Orientación de la pendiente 42
Mapa 6. Fisiografía 44

Mapa 7. Geomorfología....45
Mapa 8. Edafología....48
Mapa 9. Geología....55
Mapa 10. Mapa de unidades climáticas....60
Mapa 11. Temperatura promedio media anual....62
Mapa 12. Temperatura promedio máxima anual....63
Mapa 13. Temperatura promedio mínima anual....64
Mapa 14. Precipitación promedio acumulada anual....66
Mapa 15. Área de estudio hidrológico de Zapotlán el Grande....68
Mapa 16. Ríos, escurrimientos y cuerpos de agua....71
Mapa 17. Microcuencas en el área de estudio hidrológico....76
Mapa 18. Zonas funcionales hidrológicas en el área de estudio hidrológico....77
Mapa 19. Hidrología subterránea....87
Mapa 20. Capacidad de infiltración....91
Mapa 21. Capacidad de recarga de agua subterránea....92
Mapa 22. Distribución de la población....96
Mapa 23. Nivel socioeconómico....97
Mapa 24. Uso de suelo....99
Mapa 25. Zonificación primaria en la cabecera municipal....101
Mapa 26. Clasificación de la red vial....104
Mapa 27. Jurisdicción vial....106
Mapa 28. Distribución de semáforos y acceso a transporte público en la cabecera municipal....108
Mapa 29. Rutas de transporte público....109
Mapa 30. Puntos de recarga oficial, tarjeta mi movilidad....111
Mapa 31. Zonas Peatonales y Ciclovías....113
Mapa 32. Zonas Grado de marginación....114
Mapa 33. Zonificación de peligro por tormentas eléctricas....122
Mapa 34. Índice de sequía....125
Mapa 35. Peligro por sequía de cultivos....126
Mapa 36. Zonificación de peligro por sequía....127
Mapa 37. Peligro por helada (gradiente térmico)....129
Mapa 38. Peligro por helada de cultivos....130
Mapa 39. Zonificación de peligro por helada....131
Mapa 40. Zonificación de peligro por nevada....132

Mapa 41. Zonificación de peligro por temperaturas máximas extremas 134
Mapa 42. Zonificación de peligro por vientos fuertes 136
Mapa 43. Zonificación de peligros meteorológicos 138
Mapa 44. Susceptibilidad a inundación 158
Mapa 45. Peligro por inundación 160
Mapa 46. Zonificación de peligro por inundación 162
Mapa 47. Susceptibilidad a deslizamiento de laderas 190
Mapa 48. Susceptibilidad a deslizamiento de laderas 195
Mapa 49. Susceptibilidad a caídos o derrumbes 199
Mapa 50. Susceptibilidad a Licuación de Suelos 205
Mapa 51. Subsidencia 221
Mapa 52. Zonificación de peligro por fallas y fracturas 230
Mapa 53. Epicentros de sismos, fallas y fracturas en el municipio 249
Mapa 54. Localización de Gasoducto Manzanillo-Guadalajara 278
Mapa 55. Localización de industrias, comercios y locales registrados 287
Mapa 56. Localización de iinstalaciones por tipo de peligro 290
Mapa 57. Zonas de peligro por nube tóxica para el Peor Caso 296
Mapa 58. Zonas de peligro por nube tóxica para caso Alternativo 297
Mapa 59. Zonas de peligro por nube de vapor inflamable para el Peor Caso 300
Mapa 60. Zonas de peligro por nube de vapor inflamable para caso Alternativo 301
Mapa 61. Zonas de peligro por Onda de Sobrepresión para el Peor Caso 304
Mapa 62. Zonas de peligro por Onda de Sobrepresión para caso Alternativo 305
Mapa 63. Geolocalización de instalaciones con peligro de Incendio 309
Mapa 64. Zonas de afectación por Radiación Térmica 314
Mapa 65. Zonas de afectación por Onda de Sobrepresión 315
Mapa 66. Zonas de afectación por Nube de Vapor Inflamable 316
Mapa 67. Zonas de afectación por Radiación Térmica 317
Mapa 68. Zonas de afectación por Onda de Sobrepresión 318
Mapa 69. Zonas de afectación por Nube de Vapor Inflamable 319
Mapa 70. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de amoniaco para el Peor Caso 324
Mapa 71. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de amoniaco para el caso Alternativo 325
Mapa 72. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de ácido sulfúrico para el Peor Caso 326

Mapa 73. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de ácido sulfúrico para el caso Alternativo 327
Mapa 74. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de gas l.p 331
Mapa 75. Zonas de afectación por vapores inflamables de gas l.p 332
Mapa 76. Zonas de afectación por Sobrepresión de gas l.p 333
Mapa 77. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de ácido sulfúrico 334
Mapa 78. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de amoniaco 335
Mapa 79. Zonas de afectación por Nube de Vapores Inflamables por derrame de gasolina 336
Mapa 80. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de gas l.p. 337
Mapa 81. Zonas de afectación por vapores inflamables de gas l.p. 338
Mapa 82. Zonas de afectación por Sobrepresión de gas l.p. 339
Mapa 83. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de ácido sulfúrico 340
Mapa 84. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de amoniaco 341
Mapa 85. Zonas de afectación por Nube de Vapores Inflamables por derrame de gasolina 342
Mapa 86. Peligro químico-tecnológico 351
Mapa 87 Concesiones de descargas superficiales en el AEH. 375
Mapa 88. Plantas de tratamiento de aguas residuales en AEH 379
Mapa 89. Puntos de muestreo de calidad de agua léntico en la Laguna de Zapotlán 382
Mapa 90. Puntos de muestreo propuestos por el CIESAS (2021) 387
Mapa 91. Material de las unidades hidrogeológicas 393
Mapa 92. Unidades litológicas superficiales 396
Mapa 93. Vulnerabilidad de agua subterránea 397
Mapa 94. Vulnerabilidad de agua subterránea DRASTIC-L 398
Mapa 95. Densidad de áreas verdes en la cabecera municipal 406
Mapa 96. Puntos de contaminación de suelos 409
Mapa 97. Expansión de cultivos de aguacate y berries 420
Mapa 98. Peligro por contaminación de suelo 423
Mapa 99. Factor R - Erosividad de la lluvia 426
Mapa 100. Factor K - Erodabilidad de suelo 428
Mapa 101. Factor LS – Topográfico 430
Mapa 102. Factor C - Vegetación y uso de suelo 432
Mapa 103. Factor A - Pérdida de suelo 434
Mapa 104. Incendios históricos en los años 2017-2023 438

Mapa 105. Peligro por incendios 443
Mapa 106. Antecedentes Socio-Organizativos 452
Mapa 107. Datos recabados en campo y talleres de participación ciudadana 453
Mapa 108. Mapa bivariado de Accidentes y Muertes de Tránsito en los municipios del estado de Jalisco 2022 457
Mapa 109. Concentración de incidentes de tráfico 459
Mapa 110. Clúster de accidentes de tránsito 465
Mapa 111. Influencia Normativa de Vías férreas 470
Mapa 112. Espacios públicos 475
Mapa 113. Establecimientos de Salud por nivel de atención 477
Mapa 114. Concentración masiva de población por tradiciones o festejos religiosos 479
Mapa 115. Instalaciones deportivas de concentración masiva de población 480
Mapa 116. Zonas turísticas de concentración masiva de población 481
Mapa 117. Zonas de concentración masiva de población 483
Mapa 118. Equipamiento de cuidado 488
Mapa 119. Equipamiento de educación 489
Mapa 120. Equipamiento de aprovisionamiento 491
Mapa 121. Equipamiento de esparcimiento, ocio y cultura 492
Mapa 122. Equipamiento de transporte público y activo 494
Mapa 123. Modelo de la Ciudad de los 15 minutos 495
Mapa 124. Áreas susceptibles a demostraciones de inconformidad social 497
Mapa 125. Tasa de servicios básicos 500
Mapa 126. Susceptibilidad a Accidentes de Tránsito 506
Mapa 127. Susceptibilidad a Concentración Masiva de Población y Demostraciones de Inconformidad Social 507
Mapa 128. Peligro Socio-Organizativo 510
Mapa 129. Exposición 516
Mapa 130. Vulnerabilidad social 520
Mapa 131. Vulnerabilidad espacial 524
Mapa 132. Zonificación de riesgo meteorológico 529
Mapa 133. Zonificación de riesgo por inundaciones 530
Mapa 134. Zonificación de riesgo por deslizamientos 532
Mapa 135. Zonificación de riesgo por flujos por procesos gravitacionales 534
Mapa 136. Zonificación de riesgo por caídos y derrumbes 536
Mapa 137. Zonificación de riesgo por fallas y fracturas 538

Mapa 138. Zonificación de riesgo químico-tecnológico 540
Mapa 139. Zonificación de riesgo por incendios forestales 542
Mapa 140. Zonificación de riesgo por contaminación de agua subterránea 544
Mapa 141. Zonificación de riesgo por contaminación de suelo intrínseca 546
Mapa 142. Zonificación de riesgo socio-organizativo 548
Mapa 143. Zonificación de riesgo total 555
Mapa 144. Zonas en expansión urbana por nivel de riesgo total 556
Mapa 145. Polígonos de contención urbana por nivel de riesgo total 557
Mapa 146. Represas de azolve para retención de sedimento 568
Mapa 147. Tipos de cultivo en el Área de Estudio Hidrológico 589
Mapa 148. Sitios prioritarios de restauración hidrológica en zonas que se encuentran dentro la frontera agrícola 593
Mapa 149. Sitios prioritarios de protección hidrológica 601
Mapa 150. Cobertura acústica del ferrocarril 609

Introducción y caracterización de medio físico y social

1.1 Introducción

Los mapas hacen visibles fenómenos evidentes.

A continuación, se presenta la memoria técnica de la tercera actualización del Atlas de Riesgos Municipal de Zapotlán el Grande para fenómenos naturales y la primera en incluir antropológicos como los químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos y socio-organizativos; es decir, se presenta la primera zonificación de riesgos conforme a la cobertura de fenómenos descritos por CENAPRED (DOF, 21 diciembre 2016).

A través de la licitación pública GMZGDP-30/2023, el área requirente, la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos (UMPCYB) del municipio de Zapotlán el Grande, planteó la necesidad de actualizar el Atlas de Riesgos Municipal (AR). Documento que no había sido actualizado desde el elaborado en el 2015 y que, a su vez, solamente presenta la problemática

de fenómenos naturales. Aunque en la licitación referida el título sigue enunciando la misma temática, en los términos de referencia se especifica el abordaje de los siniestros antrópicos.

De este modo, se desarrolló un Atlas de Riesgos Municipal con referencia a todos los tipos de riesgos puntualizados en la Ley General de Protección Civil (LGPC); a lo que se suma el análisis integral de peligros, vulnerabilidad y exposición para la determinación de riesgos.

Los proyectos de esta naturaleza requieren el involucramiento de diversos actores públicos y privados para su construcción, además de contar con un equipo multidisciplinario con enfoque en la utilización de las tecnologías de la información y los sistemas de información geográfica para generar análisis y resultados adecuados para entender la realidad del territorio, como se observa en el desarrollo capitular de este documento.

Objetivos

- ✓ Recopilar y analizar los fenómenos perturbadores de tipo hidrometeorológicos, geológico-geomorfológicos, químico-tecnológicos, ecológico-sanitarios y socio-organizativos para el área de estudio.
- ✓ Zonificar la peligrosidad de los fenómenos, los sistemas expuestos, la vulnerabilidad y el riesgo en el área de estudio.
- ✓ Realizar propuestas de medidas de mitigación estructurales y no estructurales para los principales fenómenos perturbadores.

Innovaciones

- **Metodológicas**

El proyecto partió de las metodologías científicas señaladas en los manuales de CENAPRED, escritos en el 2006, para complementarlos con las metodologías más actuales de implementación de las Tecnologías de Sistemas Información Geográfica, así como bases de datos.

En otras palabras, dentro de la Memoria Técnica no se encontrarán simples recortes o reproducciones de ejercicios genéricos para cuantificar variables, sino que se exploran los métodos más confiables a partir de las variables capturadas por el equipo de analistas para llegar a los mejores resultados posibles.

- **Temáticas**

El Atlas del 2015 se limitaba a una determinación de peligro de fenómenos naturales, ahora se cuenta con la determinación de riesgo para fenómenos naturales y antropogénicos, los cuales CENAPRED clasifica en los siguientes grupos: Hidrometeorológicos, Geológico-geomorfológicos, Químico-tecnológicos, Sanitario-ecológicos y Socio-organizativos.

Es decir, Zapotlán el Grande cuenta con un Atlas de Riesgos completo conforme a lo señalado por la Ley General de Protección Civil y a las metodologías actuales para la Gestión Integral de Riesgo. Incluso, a otros dispositivos legales como la nueva Norma Oficial Mexicana NOM-006-SEDATU-2024, para la clasificación, caracterización y delimitación de zonas no susceptibles para asentamientos humanos.

- **Software**

El proyecto se ha desarrollado para ser consultado y manipulado en software especializado de código abierto: Qgis (versión 3.34). Las capas de información que se entregan como Anexo SIG, se complementan con su respectiva simbología y metadatos para que sea accesible a todo el personal de la UMPCyB, así como al público que disponga el Ayuntamiento.

Actualizaciones

- **Temporales**

Así como con los Programas Internos, no existe una norma rigurosa para la actualización del documento. El último Atlas vigente es el realizado en el 2015, y así como las zonas habitadas han cambiado, se han desarrollado nuevas actividades en el territorio y han sucedido acontecimientos importantes como los sismos del 2022. Por lo que estos cambios son capturados en el nuevo Atlas.

- **Espaciales**

El Atlas de Riesgos no solo se focaliza en Ciudad Guzmán, sino que incorpora las principales localidades rurales como Atequizayán, El Fresnito y Apastépetl, así como el territorio circundante desde aguas arriba, esto para generar análisis espaciales de alta calidad, también para zonificar el suelo agrícola, factor determinante para fenómenos como los hidrometeorológicos y los sanitario-ecológicos.

- **Temáticas**

Para todos los tipos de fenómenos se consultaron las bases de datos y estudios académicos más actuales; de los más destacados son la falla en Ciudad Guzmán y el comportamiento de la subsidencia presente en el área. Su representación pasó de ser una línea de estimación a una zonificación de intensidad.

Al mismo tiempo, se capturaron los cambios morfológicos en el territorio, cuestiones como la transformación del uso de suelo o de la actividad agrícola, fueron las bases para el cálculo de susceptibilidades, exposición y vulnerabilidad.

Vinculación y aplicación

Un Atlas de Riesgos no es solamente un proyecto de investigación científica ni se elabora para ser un instrumento rector que apruebe o prohíba tajantemente usos de suelo. Debe entenderse como una herramienta multidisciplinaria y multiescalar que permite proporcionar una visión clara de las amenazas potenciales dentro del municipio.

Una de sus principales funciones es zonificar el riesgo en un territorio; a partir de modelos ponderados que agrupan información de diversas fuentes, se identifican los sitios propensos a cierto tipo de fenómenos con la intención de orientar a las autoridades y a la ciudadanía a la prevención.

Para la UMPCyB, es una herramienta cartográfica para la administración de sus recursos, mejorar la planificación y establecer medidas de mitigación concretas de hechos particulares; además que provee de insumos de base científica para la evaluación de actividades o establecimientos y brinda un respaldo metodológico a estas decisiones. Por otro lado, en actividades relacionadas a la industria de la construcción, los Atlas de Riesgo son una fuente confiable y oficial de datos para considerar criterios estructurales y la propuesta de un diseño urbano responsable.

De igual forma sucede con las instituciones públicas y privadas que cuentan con la obligación de presentar un Programa Interno de Protección Civil. El Atlas funciona como una referencia para generar planes realistas con los escenarios más probables dado el tipo de peligro a presentarse en el lugar.

Para la ciudadanía en general, un buen Atlas de Riesgos ayuda a prevenir desastres y disminuir las pérdidas de personas, así como de su patrimonio. Decisiones como la compra

de inmuebles o el establecimiento de giros comerciales, pueden ser tomadas con la información referente de dónde se inunda o si existe más probabilidad de presentar hundimientos, por ejemplo.

Figura 1. Sinergia de la Gestión Integral del Riesgo
Fuente: Elaboración propia.

La importancia y las principales funciones de un Atlas de Riesgos son descritas en el Ley General de Protección Civil:

Desde el artículo 19, fracción XXII, donde se establece que CENAPRED debe realizar y mantener actualizado el atlas nacional, así como los correspondientes a las entidades federativas, municipios y demarcaciones. Además de señalar que un Atlas de Riesgos constituye un marco de referencia para la elaboración de políticas públicas y programas en todas las etapas de la Gestión Integral del Riesgo, la cual se puede entender como el conjunto de acciones encaminadas a la prevención de desastres y su mitigación.

Por otro lado, conforme el artículo 86 de la misma ley, se obliga a los gobiernos de todos los niveles, consultar estos documentos para la autorización de construcciones, obras de infraestructura o asentamientos humanos.

Los Programas Internos de Protección Civil de instituciones públicas o particulares, deben estar vinculados al Atlas de Riesgos, y según el artículo 84 de la LGPC, se considera como delito grave la construcción, edificación, realización de obras de infraestructura y los asentamientos humanos que se lleven a cabo en una zona sin elaborar un análisis de riesgos, esto implica que, por parte de las autoridades, se mantengan actualizados los instrumentos que permiten realizar la evaluación de riesgos a la escala adecuada.

Así mismo, conforme al artículo 16, se establece que tanto actores públicos y privados están obligados a participar de las actividades relacionadas a la Protección Civil. Por lo que la sinergia implica una colaboración permanente para la prevención y mitigación.

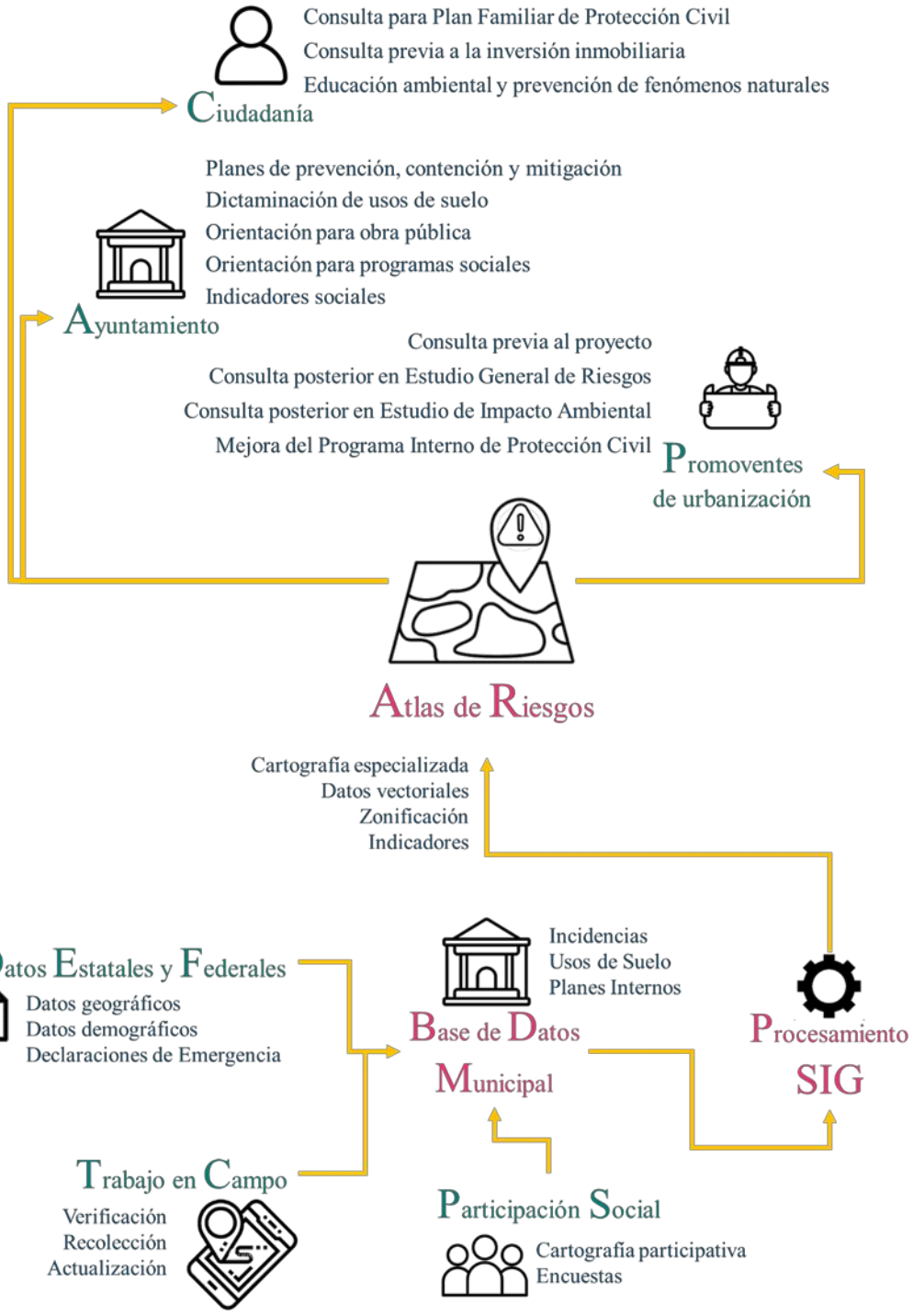


Figura 2. Vinculación de un Atlas de Riesgos Municipal
Fuente: Elaboración propia.

Entregables del proyecto

El proyecto del Atlas de Riesgos se compone de los siguientes elementos que se complementan entre sí mismos:

- **Memoria técnica (AR-1)**
  Documento técnico-científico que incluye los contenidos de los 9 apartados que integran el Atlas de Riesgos; se conforman por los antecedentes, registros, metodologías y resultados. Se detallan criterios metodológicos y fuentes bibliográficas y de datos con los que se construyeron los modelos.
- **Anexo cartográfico (AR-2)**
  En formato virtual, subdivididos en carpetas, se entregan los principales mapas que se muestran en la Memoria técnica, en tamaño de doble carta y con mayores elementos gráficos; en formatos jpg y pdf en una resolución de 300 ppp.
- **Anexo SIG (AR-3)**
  Archivos en formatos editables vectoriales y raster que conforman las capas del proyecto; además de las capas de estilo y el proyecto macro en el software libre Qgis versión 3.34 que integra todas las capas georreferenciadas en el sistema WGS94 UTM 13N. Se divide en carpetas en el orden capitular de la memoria técnica. Cada capa cuenta con su metadato que incluye un diccionario de su respectiva tabla de atributos.
- **Fichas de empresas que manejan sustancias reactivas (AR-4)**
  Datos organizados en forma de tablas, describen los componentes químicos, su peligrosidad y otros aspectos por cada empresa que maneja sustancias químicas peligrosas; en formato xls.
- **Resumen ejecutivo (AR-5)**
  Documento digital acompañado por su versión impresa, contiene la síntesis de la Memoria técnica.

1.2 Metodología general

Definición del Área de Estudio

Conforme los alcances del proyecto, este documento no pretende ni tiene la capacidad de oficializar límites municipales cobertura de servicios o de jurisdicción de ninguna autoridad municipal, estatal o federal, por lo que el área de estudio seleccionada obedece principalmente a los siguientes aspectos:

- El límite político reconocido por las autoridades locales
- La cobertura de servicios municipales
- Delimitaciones hidrológicas[1]
- Calidad de las fuentes de información

Por otro lado, al tratarse de un estudio que integra diversas disciplinas, es necesario que la unidad de análisis permita una aproximación homologada con alcances realistas para llegar a conclusiones concretas de escala local y científicamente desarrolladas.

De este modo, el área de estudio del Atlas de Riesgos se configura a partir de límites naturales y de infraestructura en la zona. Aunque mantiene semejanzas, no coincide en su totalidad con el área de aplicación del Ordenamiento Ecológico Territorial, como tampoco con el límite reconocido por el Congreso de la Unión en el 2012 ni con el límite de Catastro.

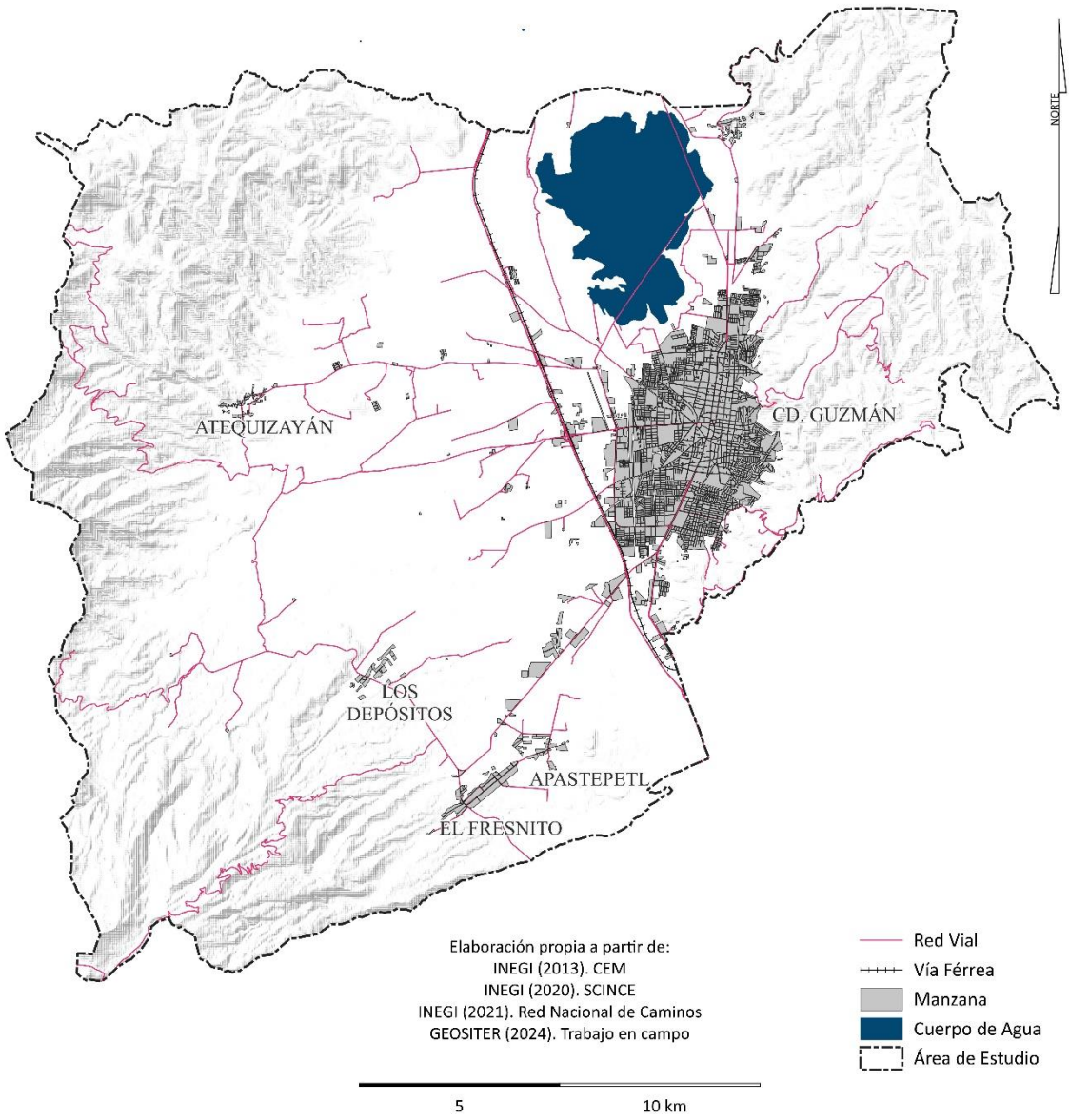
Sin embargo, el área seleccionada cubre las localidades en las que la UMPCYB brinda su servicio por lo que se asegura su funcionalidad desde esta esfera. Para el resto del territorio que en momento oficialice el Ayuntamiento Municipal o cualquier otra autoridad estatal; será necesaria una actualización espacial o, en su defecto, sea desarrollada como anexo. El presente trabajo no es determinante en áreas de jurisdicción ni delimitación política.

Sistema de fuentes y procesos

Como ya se mencionó, la conformación de todos los capítulos de un Atlas de Riesgos implica la conjunción de un equipo multidisciplinario articulado a través de la cartografía, la cual trabaja creando puentes entre los enfoques y proveedores de información.

Al ser un instrumento oficial debe tener una base cartográfica alimentada de bases de datos públicas, por lo que gran parte de la información inicial con la que se generan los primeros modelos proviene de las direcciones municipales, así como de instituciones estatales y federales. Como se observa en la figura 2, dicha información se complementa con datos de campo, de talleres de cartografía participativa y los resultados de procesos como la interpretación de fotografías satelitales.

[1] Ver Caracterización del Medio Físico



Mapa 1. Mapa base
Fuente: Elaboración propia.

Marco teórico

En el contexto de los Atlas, hablar de mapas no es solo una referencia a las imágenes estáticas que acompañan el desarrollo temático del documento; sino que también es una referencia a la generación de un conjunto de capas vectoriales georreferenciadas con las que se analizan los fenómenos perturbadores.

De este modo, los mapas que contiene un atlas de este tipo están orientados a servir de base de consulta para comprender el comportamiento de fenómenos perturbadores para poder realizar acciones de prevención y mitigación de sus efectos nocivos con una postura integral.

Figura 3. Tipos de fenómenos en un Atlas de Riesgos
Fuente: Elaboración propia.

Los conceptos de riesgo y peligro están íntimamente relacionados. El peligro implica la posibilidad de efectos adversos en una situación específica, mientras que el riesgo es la medida de esa probabilidad.

En términos de la definición de riesgo por el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPRO), se expresa como una función del peligro, la vulnerabilidad y la exposición, es decir, R = f (P, V, E).

Cualitativamente, el riesgo se interpreta como la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos no deseados en sistemas que involucran personas, comunidades o sus bienes, como resultado de eventos o fenómenos perturbadores.

La evaluación de riesgos busca prevenir accidentes y proteger la salud y el ambiente, analizando la magnitud y probabilidad de eventos dañinos, y considerando factores como ubicación, diseño, procedimientos seguros, mantenimiento, programas de seguridad, prevención y planes de emergencia. Se emplean diversas técnicas de análisis, como listas de comprobación y estudios de riesgo de operatividad, para identificar puntos críticos y reducir la peligrosidad de las instalaciones de manera costo-efectiva.

1.3 Antecedentes y actividades

En la gaceta municipal de Zapotlán (medio oficial de difusión y divulgación del gobierno municipal de Zapotlán el Grande, Jalisco), año 8, número 25 con fecha del 16 de febrero de 2016, se publica durante la administración del Lic. Alberto Esquer Gutiérrez, el “Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco”. Este documento es desarrollado por el Instituto de Información estadística y geográfica de Jalisco (IIEG), a través del Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).

La justificación de dicho documento, explica que, en México debido a sus características geográficas, está altamente expuesto a fenómenos naturales, lo que pone en riesgo (en el momento de elaboración) a más de 90 millones de habitantes. El 70% de esta población reside en zonas urbanas, el 9.5% en zonas semiurbanas y el 20.5% en áreas rurales. La falta de integración entre la planeación territorial y las políticas de prevención del riesgo ha permitido la expansión de asentamientos humanos en zonas no aptas, incrementando la vulnerabilidad frente a desastres naturales. Este problema se ve agravado por factores como el cambio climático, la mala gestión de cuencas hidrológicas, el deterioro ambiental, y la insuficiente cultura de prevención.

Se dice también que: la información sobre riesgos, peligros y vulnerabilidad era escasa y heterogénea, careciendo de criterios unificados que la hagan consistente y compatible. Por ello, resultaba prioritario generar y actualizar un atlas de riesgos con un contexto estandarizado, permitiendo homologar criterios de calificación y cuantificación de los peligros, la vulnerabilidad y el riesgo, así como la recolección de datos de campo sobre fenómenos perturbadores.

También en dicho documento se menciona que en el Anexo IV de las Reglas de Operación del Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos para el ejercicio fiscal 2014, se clasifica a Zapotlán el Grande, Jalisco con un índice de riesgo global muy alto.

Sin embargo, este documento no fue el primer Atlas de Riesgos que se realizó en el municipio; para el año 2006, se cuenta con un mapa de "Peligros Naturales Generalizado", el cuál muestra de forma general zonas de inundación, puntos de peligro hidrometeorológico y geológicos, así como la traza de la falla urbana que atraviesa la zona urbana. Según la fuente de este mapa, se indica que fue realizado por Temblores, similares y conexos S.A. de C.V. y en este mismo mapa, se observan los logotipos de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Hábitat, y los de la administración municipal (2004-2006), así como el de Protección Civil y Bomberos.

Es importante mencionar que el área prevista para estos peligros, solamente fue de la zona urbana y no de la totalidad del municipio.

Talleres de Cartografía Participativa

Gracias a la organización de la dirección de Participación Ciudadana y de la Unidad Municipal de Protección y Bomberos, se lograron concretar un total de cuatro talleres en distintos puntos del territorio en las siguientes fechas:

- Viernes 15 de marzo en la Col. San José, a las 18 hrs.
- Sábado 16 de marzo en El Frenito, a las 17 hrs.
- Viernes 22 de marzo en la Col. Constituyentes, a las 18 hrs.
- Sábado 23 de marzo en Atequizayán, a las 17 hrs.

En dichos eventos se contó con la presencia de elementos de la UMPCYB, representantes de colonia y delegados de Participación Ciudadana, así como habitantes de cada localidad. Donde se llenaron 9 mapas con fenómenos de interés.

Como resultado, se identificaron un total de 181 incidencias de diversos fenómenos perturbadores en todo el municipio, donde destacan los hidrometeorológicos, los ecológico-sanitarios y los geológico-geomorfológicos relacionados con las fallas que atraviesan Ciudad Guzmán.

Trabajo de campo

Con el apoyo de la UMPCYB, se realizaron 10 salidas formales y 25 vuelos de reconocimiento con dron, con el objetivo de levantar información que aporte a la caracterización territorial, a la identificación de fenómenos perturbadores y a la descripción de elementos de vulnerabilidad en todo el territorio del Área de Estudio.

En suma, se levantaron 160 puntos de interés georreferenciados a los que se les añade material audiovisual. Esta información está en estado de procesamiento para ser integrada a su respectivo módulo, donde alimentará las baterías de información de análisis espacial.

Soporte digital durante la realización

Como apoyo para la elaboración de este documento, durante su elaboración se hizo uso de material digital montado en el sitio web https://www.atlasderiesgoszeg.com [2], con el fin de hace públicas las actividades, así como evidencias y resultados de cada etapa durante su construcción. Se consideró importante, realizar concientización del proyecto y sus alcances por medios digitales como en redes sociales, con el público en general para garantizar la seguridad del personal en campo e incentivar la participación ciudadana en la encuesta de percepción de riesgos y en los talleres de cartografía participativa.

1.4 Créditos

- Coordinador general y responsable del proyecto: geog. Samuel Alatorre Ramos
- Coordinador de actividades y cartografía: geog. José Angel Sánchez Duarte
- Fenómenos geológico-geomorfológicos: geog. Sara Bernabe Aguayo
- Fenómenos hidrometeorológicos: ing. amb. Saúl Iñiguez Jiménez
- Fenómenos químico-tecnológicos: ing. quim. Hiram Rabelero Solís
- Fenómenos sanitario-ecológicos: ing. amb. Jaffet Jiménez Rodríguez
- Fenómenos socio-organizativos: geog. Andrés García Rosales
- Auxiliar: geog. Laura Fernando Reyes

[2] El dominio fue comprado por GEOSITER por un 1 año, por lo que después de este tiempo, este puede no funcionar. Sin embargo, el sitio web se mantendrá en línea posterior a este periodo.

- Empresa responsable del estudio y sus anexos: GEOSITER S.A. de C.V.
- Socios estratégicos: Biophilia.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al involucramiento y apoyo de las autoridades locales y agentes sociales, quienes brindaron su especial atención y colaboración para la realización de diversas actividades.

En primer lugar, queremos destacar la participación del personal de la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos, así como del Colegio de Arquitectos del Sur del Estado de Jalisco. También agradecemos a los miembros del ayuntamiento, incluyendo a los representantes de colonias y al personal de SAPAZA.

Por otro lado, extendemos nuestro agradecimiento particular a las siguientes personas:

- Lic. Carlos Rubén Chalico Munguía, Dir. de la UMPCyB
- Lic. Josué García, elemento de la UMPCyB.
- Dra. Fátima Ezzahra Housni, Profesora Investigadora de la Universidad de Guadalajara.
- Ing. Iaritza Noriega Valdéz, por su tesis sobre la caracterización de la falla geológica en Ciudad Guzmán, Jalisco
- Arq. Josué Germán de la Cruz Navarro, presidente del CASEJAC.
- Dr. Juan Manuel Sandoval Hernández, jefe del Laboratorio de Geofísica y miembro del Centro de Estudios de la Tierra, CUSur.
- Jorge Carrillo Ramos, Técnico cartográfico en SAPAZA.
- Sergey Samsonov- Investigador Senior en el Ministerio de Energía y Recursos Naturales de Canadá y representante institucional del NRCAN ante el Consorcio InSAR de América del Norte Occidental.

A todos ellos, nuestro más sincero agradecimiento por su interés y valiosa colaboración en este proyecto.

1.5 Caracterización del medio físico

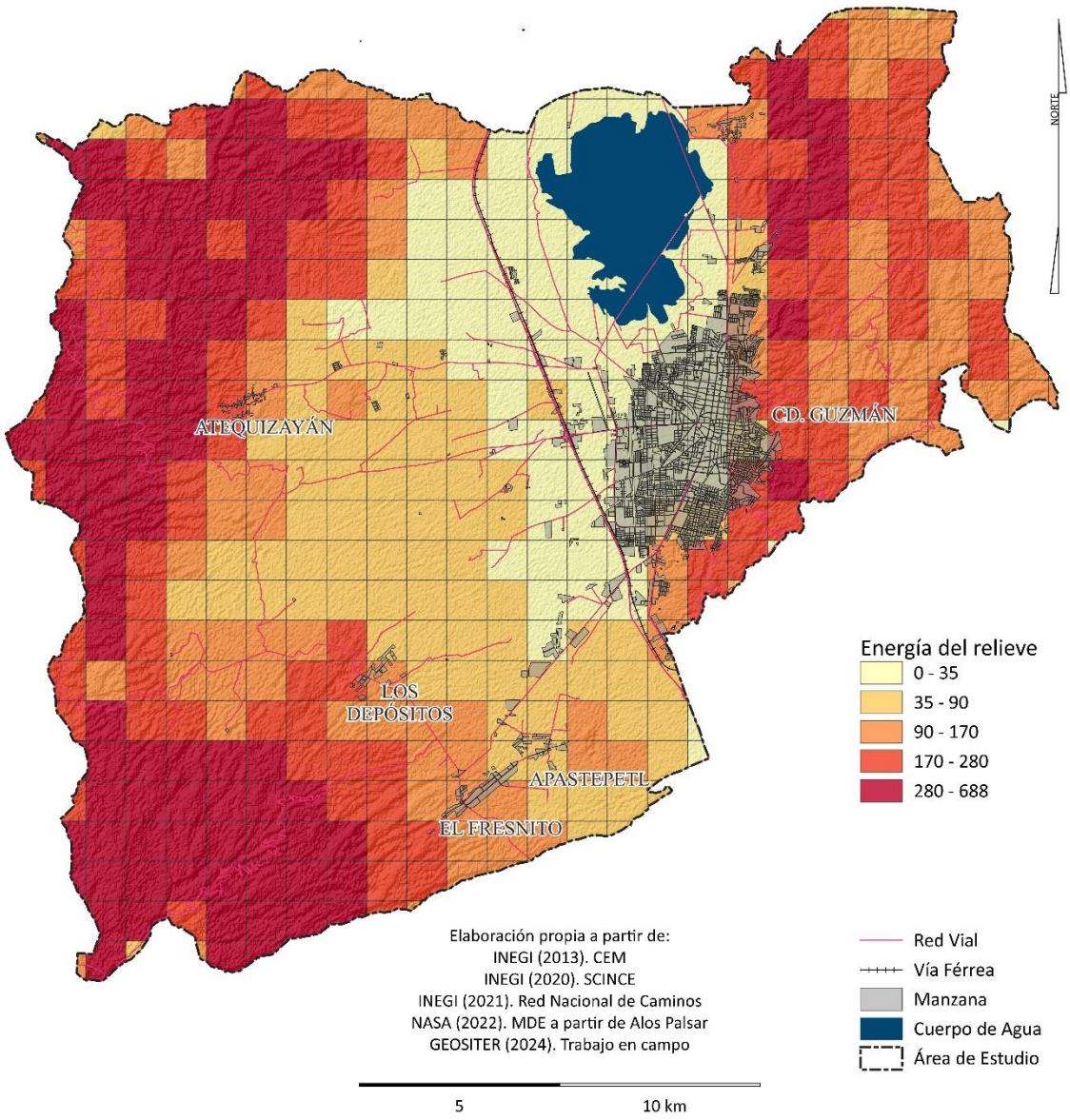
Relieve

El concepto de relieve hace referencia a la diversidad de formas que se observan en la superficie de la Tierra, incluyendo montañas, valles, llanuras y otras características topográficas. Elementos como la altitud, que indica la altura sobre el nivel del mar; la pendiente, que describe la inclinación del terreno; y la rugosidad, que refleja la variabilidad y complejidad de estas formas, son fundamentales para caracterizar y distinguir las distintas unidades del relieve. Estas propiedades permiten una clasificación detallada del paisaje y son clave para entender la dinámica y la estructura de la superficie terrestre (Sagredo, 1972).

El Cinturón Volcánico Mexicano es una destacada formación geográfica que se extiende desde Colima y Nayarit hasta Veracruz, atravesando el país de un océano a otro. Esta región está compuesta por planicies en diferentes niveles de altitud, que van desde los 500 hasta los 2600 metros, originadas por la acumulación de materiales volcánicos y la actividad tectónica a lo largo del cuaternario. La zona se caracteriza por su diversidad de formaciones volcánicas, incluyendo serranías, conos pequeños, extensos campos volcánicos y grandes volcanes, incluso las zonas de mayor altitud del país (García & Lugo, 2003).

Hasta este momento, se conoce que este fenómeno geológico se debe a la subducción de la Placa de Cocos bajo el sur de México, lo cual ha moldeado su paisaje actual. A diferencia de otras regiones, el Cinturón Volcánico muestra poca erosión debido a su juventud y la predominancia de procesos volcánicos sobre los erosivos, lo que incluso ha llevado a la formación de cuencas endorreicas en algunas áreas. Ejemplo de lo anterior es la cuenca cerrada de nuestra zona de estudio, en dónde la zona del valle se encuentra vinculada al graben o fosa de Colima, y las serranías circundantes tuvieron su origen gracias a la tectónica y el vulcanismo.

En el centro de nuestra zona de estudio encontramos el valle de Zapotlán en dónde se asienta la zona urbana, al oeste se encuentra el macizo montañoso del Volcán Nevado de Colima, al este se enmarca con la montaña oriente, inicios de la sierra del tigre, y al norte nos encontramos con el punto en dónde termina el sistema de drenaje de la cuenca, la Laguna de Zapotlán.



Mapa 2. Energía del relieve
Fuente: Elaboración propia.

En el mapa anterior, los valores muestran la diferencia en metros entre la altura mínima y máxima para cada cuadrante (Valdivia & Castillo, 2001). Este cálculo refleja la evolución del relieve terrestre en una región determinada, cuantificando las diferencias entre curvas de nivel, mientras menos diferencia exista, el terreno es menos abrupto.

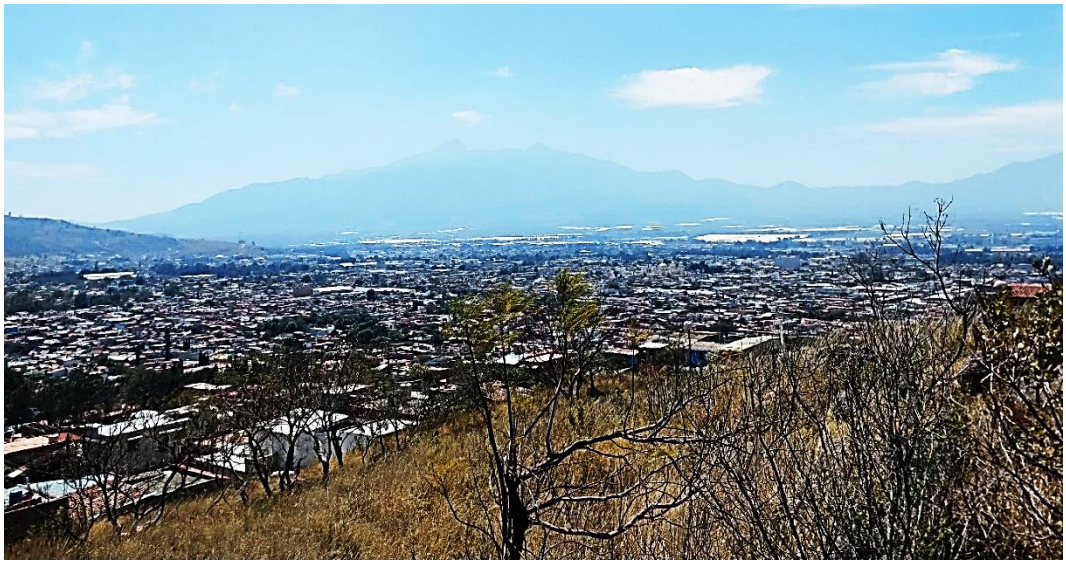


Figura 4. Valle de Zapotlán el Grande, al fondo, el macizo montañoso del Volcán Nevado de Colima
Fuente: Captura propia.

Figura 5. Valle de Zapotlán el Grande, vista desde Atequizayán, al fondo la montaña Oriente
Fuente: Captura propia.

Hipsometría

Los valores de altitud del terreno, al definir el relieve, no solo es primordial para entender los patrones climáticos y de biodiversidad, sino que también informa sobre la idoneidad del suelo para diversas actividades. La altitud influye en los recursos hídricos disponibles y es clave en la planificación de infraestructuras.

También nos da a conocer las zonas altas del área de estudio, donde comienzan los escurrimientos que alimentan a los ríos principales del municipio con arrastre de sedimento y flujos pluviales. El análisis de esta información nos permite conocer el ciclo en su totalidad de los procesos físicos que se llevan a cabo en el área de estudio.

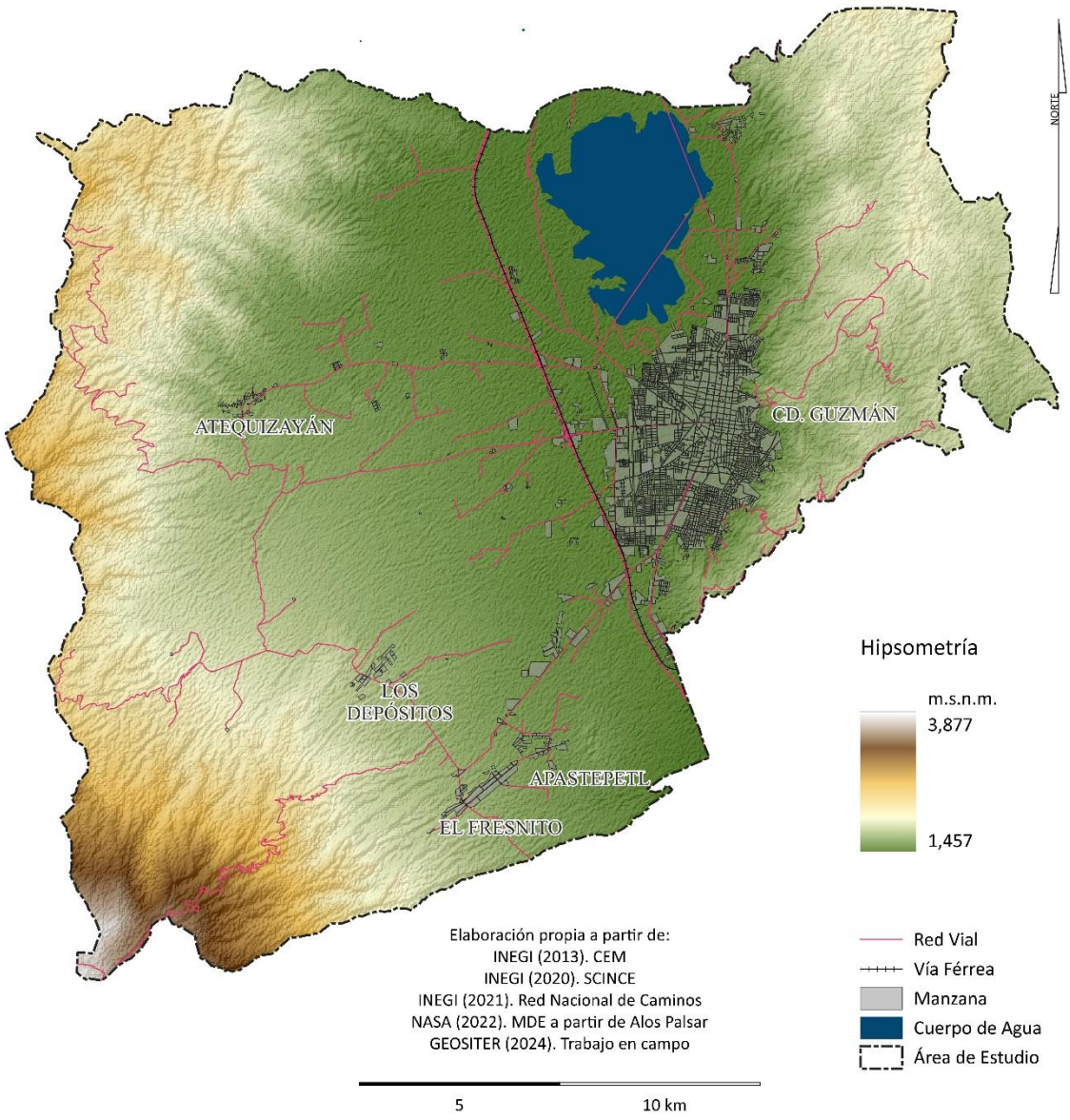
Para el caso específico de nuestra área de estudio, y por las variables descritas en apartados anteriores, la diferencia altitudinal es amplia, ya que por un lado tenemos parte de una de las montañas más altas de México, el Volcán Nevado de Colima, con una altitud sobre el nivel del mar de 4,260 m y por otra parte con los valores más bajos, la Laguna de Zapotlán.

Tabla 1. Hipsometría del área de estudio

Altitud (m.s.n.m.)	Área en km²	%
1,457 - 1,600	128.2	32.5
1,600.1 - 1,750	67.6	17.1
1,750.1 - 1,900	58.8	14.9
1,900.1 - 2,100	60.9	15.4
2,100.1 - 2,250	24.0	6.1
2,250.1 - 2,450	25.4	6.4
2,450.1 - 2,750	13.3	3.4
2,750.1 - 3,100	8.1	2.1
3,100.1 - 3,450	5.7	1.4
3,450.1 - 3,883	2.2	0.6

Fuente: Elaboración propia con base al modelo digital de elevaciones con datos del Alos Palsar NASA (2022).

Cómo se observa en la tabla, los valores predominantes son los valores de altitud baja dentro del área de estudio, mientras más aumenta la altitud, el área que corresponde a esta disminuye.



Mapa 3. Hipsometría
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Zona de menores valores altimétricos, Laguna de Zapotlán
Fuente: Captura propia.

Figura 7. Puntos de mayor altitud de la zona de estudio, Volcán de Colima, imagen tomada desde El Fresnito
Fuente: Captura propia.

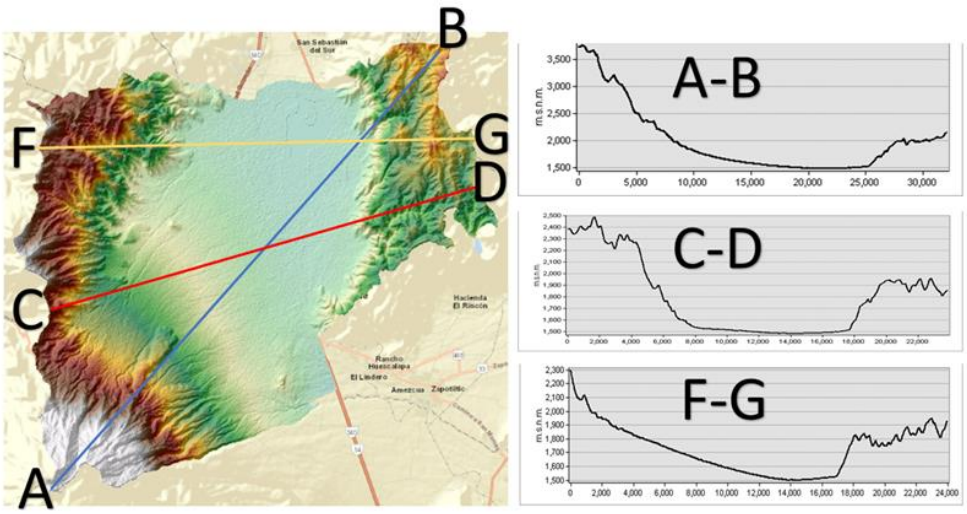


Figura 8. Perfiles topográficos
Fuente: Elaboración propia con datos del Alos Palsar NASA (2022).

Pendiente del terreno

Se puede definir la pendiente del terreno en un punto dado como el ángulo que forma el plano horizontal con el plano tangente a la superficie del terreno en ese punto. Es la inclinación o desnivel del suelo.

El grado de inclinación del relieve superficial, permite conocer, junto con otros factores como el tipo y cobertura de suelo, el comportamiento y respuesta del sistema hidrológico, así como su susceptibilidad a fenómenos geomorfológicos como aludes y deslizamientos, y determina de manera directa la cobertura vegetal; debido a todo ello, el grado de pendiente es un factor muy importante para imponer restricciones de urbanización o de aptitudes de uso de suelo.

Tabla 2. Pendiente del terreno en el área de estudio

Pendiente en grados	Área en km²	Porcentaje
0 - 2	46.8	11.9
2.1 - 5	111.9	28.4
5.1 - 15	107.8	27.3
15.1 - 25	81.1	20.5
25.1 - 35	35.8	9.1
35.1 - 55	10.5	2.7
55.1 - 74	0.2	0.1

Fuente: Elaboración propia con datos del Alos Palsar NASA (2022).

Tabla 3. Correlación entre grados de pendiente, morfología y procesos

Pendiente en grados	Morfología común	Procesos básicos	Observaciones
0° a 2° Plano- casi plano	Llanura aluvial, superficies de erosión, terrazas, planicies onduladas y relieves tubulares.	Ausencia de lavado o lavado incipiente.	Adecuado para cultivos, urbanización e infraestructura varia.
2° a 5° Débilmente inclinado	Relieve ondulado y fondos de valle.	Movimiento en masa, inicio de erosión y lavado.	Riesgo de erosión del suelo en zonas de cultivo. Posible cultivo mecanizado, aceptable para asentamientos urbanos.
5° a 15° Muy inclinado	Valles en montañas medias y relieves estructurales, monoclinales tipo cuesta.	Movimiento en masa, erosión e inicio de deslizamientos.	Transporte difícil de vehículo, poco apto para infraestructura, difícil el cultivo mecanizado e imposible con pendientes de +7°.
15 a 25° Débilmente escarpado	Laderas en montañas medias, escarpes de falla, terrazas. Relieves estructurales monoclinales tipo cuesta.	Erosión lineal muy incisiva, peligro de destrucción del suelo, deslizamientos y caídas.	Terreno adecuado para bosques de pastoreo. No apto para infraestructura.
25° a 35° Escarpado	Relieves estructurales en línea, crestas y acantilados costeros en areniscas, calizas o similares	Erosión lineal muy incisiva, riesgo extremo de erosión del suelo, deslizamientos, caídas, avalanchas.	Límite de vehículos especiales, no utilizable en agricultura o construcción, adecuado para bosques.
35 a 55° Precipicio	Escarpes en gargantas, crestas y acantilados en areniscas, calizas o similares.	Caídas en masa, deslizamientos y colapsos.	Terreno límite para bosques y paso caminando
Mayor a 55° Vertical	Cornisas y acantilados en calizas, areniscas o similares.	Caídas, colapsos, deslizamientos y desagregación granular	De difícil utilización, terreno muy escarpado.

Fuente: (Pedraza, 1996).

De acuerdo a los dos cuadros anteriores y a la morfología propia del área de estudio, los rangos de pendiente de 0° a 2°, que representan terrenos planos o casi planos, cubren 46.8 km², lo que equivale al 11.9% del área total. Estos terrenos son ideales para cultivos, urbanización y diversas infraestructuras, debido a la ausencia o el lavado incipiente de suelos.

Las pendientes de 2.1° a 5° se asocian con terrenos débilmente inclinados como relieves ondulados y fondos de valle. Cubren 111.9 km² y constituyen el 28.4% del área, siendo la categoría más extensa. El riesgo de este rango de pendiente es de erosión en zonas de cultivo, pero todavía se considera posible el cultivo mecanizado y son aceptables para asentamientos urbanos.

El rango de 5.1° a 15° abarca valles en montañas medias y relieves estructurales. Estos terrenos muy inclinados cubren 107.8 km² y representan el 27.3% del área. Aquí comienzan los movimientos en masa y la erosión más severa, lo que dificulta el transporte de vehículos y limita el uso para infraestructura y cultivo mecanizado.

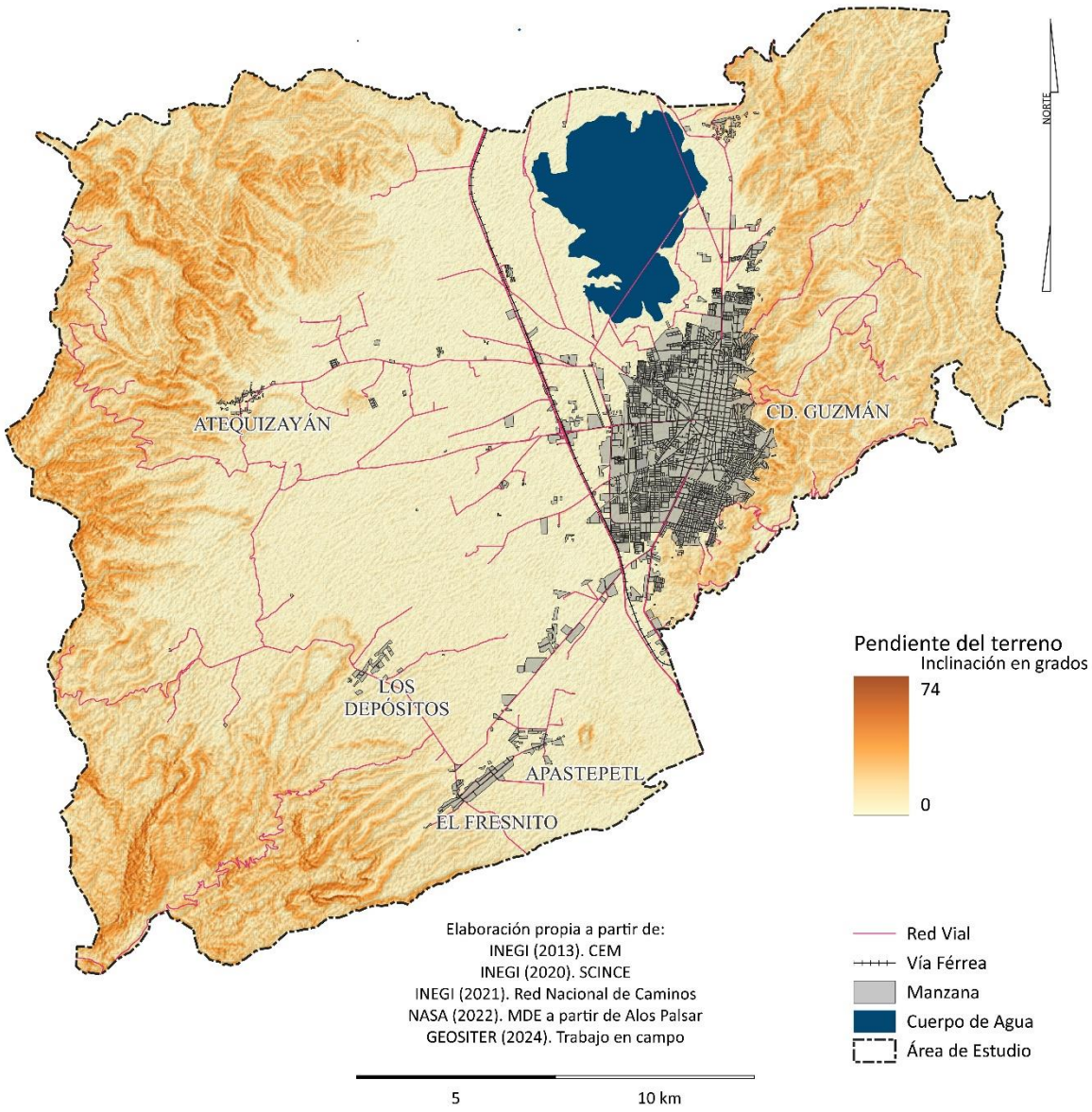
Las pendientes de 15.1° a 25° corresponden a terrenos débilmente escarpados, principalmente laderas y escarpes de falla. Con una extensión de 81.1 km² y un 20.5% del área total, este tipo de pendiente es propenso a una erosión lineal muy intensa y peligrosa para la estabilidad del suelo, lo que lo hace adecuado principalmente para bosques de pastoreo más no para infraestructura.

Las áreas con pendientes de 25.1° a 35° son escarpadas y representan 35.8 km² o el 9.1% del área total. Los procesos erosivos son extremadamente incisivos aquí, lo que los hace inadecuados para la agricultura y la construcción, pero pueden ser adecuados para bosques.

En terrenos de 35.1° a 55°, que son precipicios y constituyen 10.5 km² o 2.7% del área total, se presentan caídas en masa y deslizamientos. Estos terrenos son el límite para bosques y el paso a pie, y no son aptos ni recomendables para otro tipo de uso.

Finalmente, las pendientes superiores a 55.1°, que son verticales y cubren un área mínima de 0.2 km² (0.1% del total), están asociadas con cornisas y acantilados donde predominan las caídas y los deslizamientos. Estos terrenos son de muy difícil utilización y representan un desafío para cualquier tipo de desarrollo.

En resumen, podemos ver que a medida que aumenta el grado de la pendiente, disminuye la viabilidad para actividades como la agricultura y la construcción debido al aumento de los procesos erosivos y de movimiento de masa. Además, la superficie disponible para el uso disminuye significativamente con pendientes más pronunciadas.



Mapa 4. Pendiente del terreno
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Una de las zonas con mayor pendiente del terreno, zona del Parque Ecológico Las Peñas
Fuente: Captura propia.

Orientación de la pendiente

La orientación de la pendiente, también conocida como “aspecto” o “exposición de la pendiente”, es un término utilizado en geografía y geología para referirse a la dirección cardinal (norte, sur, este, oeste) hacia la cual una pendiente está inclinada. La orientación de una pendiente puede afectar significativamente el microclima de esa área debido a la exposición al sol, al viento y a las precipitaciones, así como la dirección en la que se desplazan los materiales.

Una forma de entender este término, es la idea es que, si una gota de agua cae en un punto específico del terreno, fluirá hacia la dirección de máxima pendiente, que es la ruta más directa hacia abajo por la fuerza de la gravedad. Esta ruta que la gota de agua seguiría nos indicaría la dirección de la pendiente.

En términos más técnicos, la orientación de la pendiente se define en grados, de 0 a 360, medidos en el sentido de las agujas del reloj desde el norte. Por ejemplo, una orientación de 0 grados significa que la pendiente está orientada hacia el norte, 90 grados hacia el este, 180 grados hacia el sur, y 270 grados hacia el oeste.

Específicamente para nuestra área de estudio, la orientación de la pendiente se distribuye de la siguiente manera:

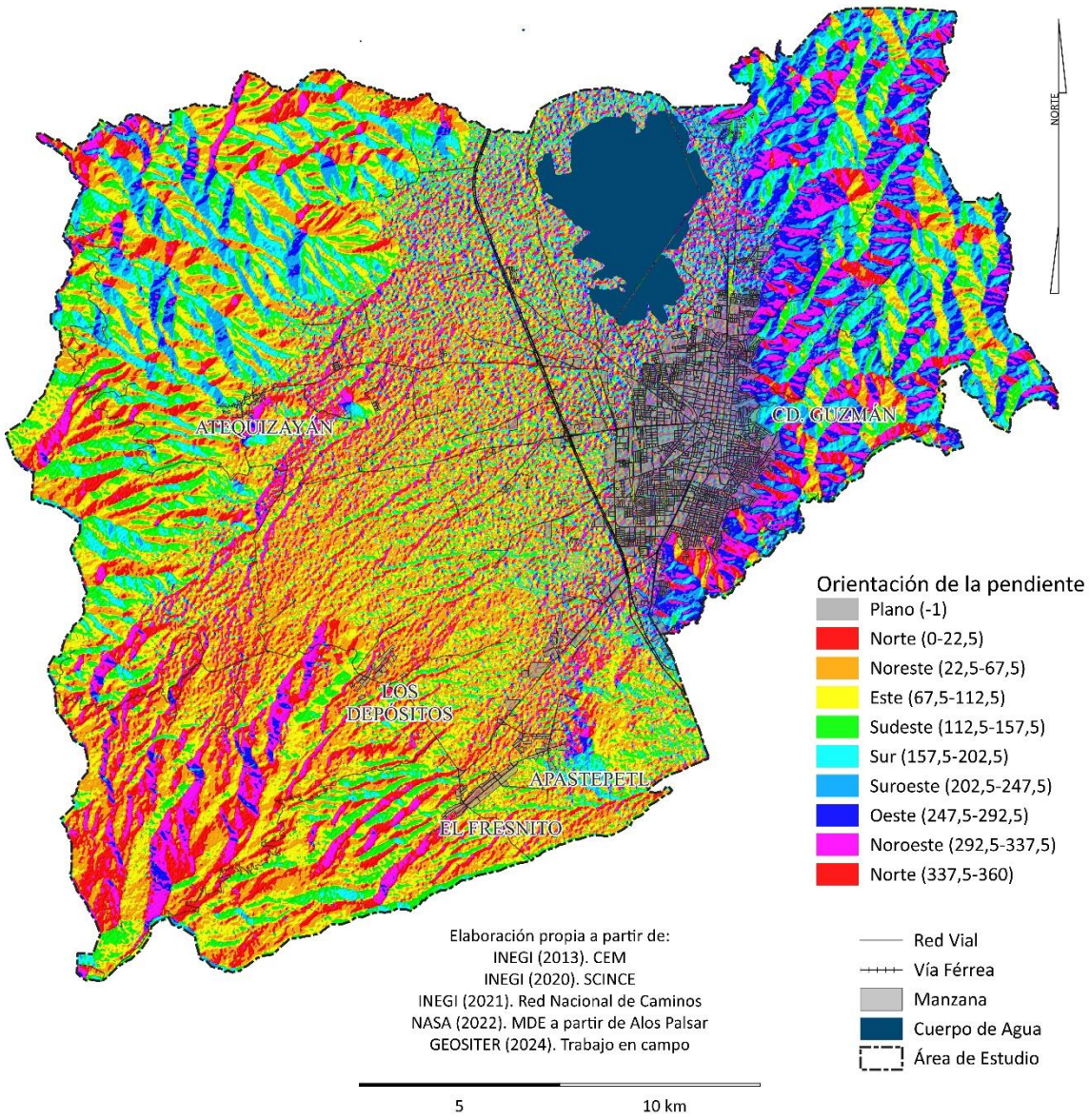
Tabla 4. Orientación de la pendiente del terreno en el área de estudio

Orientación	Área en km²	%
Plano	21.7	5.5
Norte	35.3	9
Noreste	76.2	19.3
Este	68.2	17.3
Sureste	52.1	13.2
Sur	30.3	7.7
Suroeste	26.9	6.8
Oeste	28.4	7.2
Noroeste	37.7	9.6
Norte	17.3	4.4

Fuente: Elaboración propia con datos del Alos Palsar NASA (2022).

Figura 10. Pendientes del terreno y su orientación, zona de Atequizayán
Fuente. Captura propia.

En conclusión, podemos observar que las orientaciones predominantes se encuentran dentro del noreste y este, es puede ser explicado debido al sistema de drenaje de la cuenta endorreica en la que se encuentra el municipio y en la que los escurrimientos se dirigen al cuerpo de agua ubicado al norte del mismo.



Mapa 5. Orientación de la pendiente
Fuente: Elaboración propia.

Fisiografía

Otra característica importante a considerar dentro del relieve es la fisiografía, la cual, según el INEGI (2001) se define como: la visión general de las formas del relieve, identificadas y definidas a partir del análisis integral de la información topográfica, geológica, hidrológica y edafológica, para formar unidades relativamente homogéneas, representado las diferentes provincias y subprovincias en las que se ha dividido al país, de acuerdo con su geología y topografía.

La fisiografía definida disponible en insumos nacionales se encuentra descrita en tres niveles:

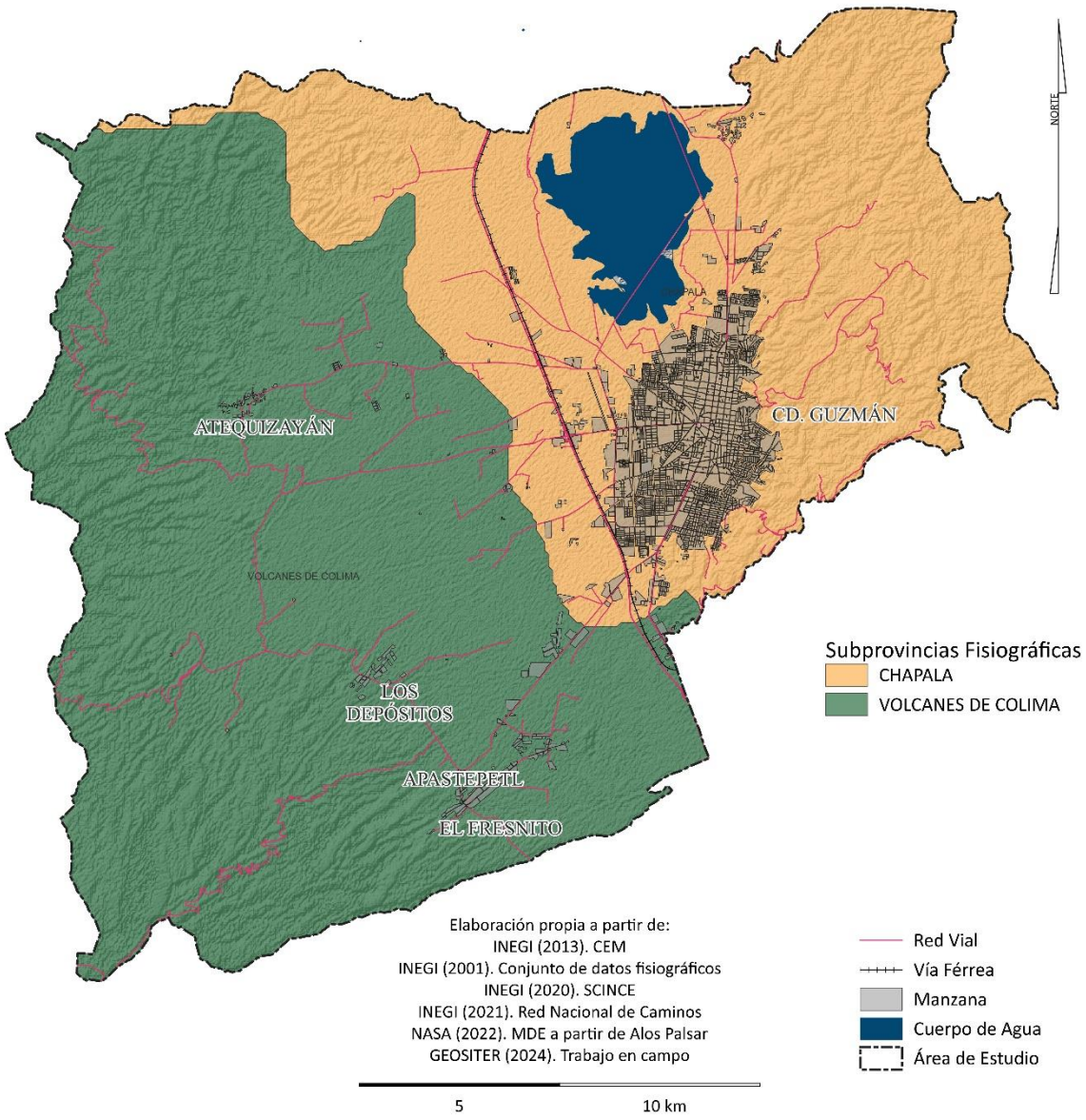
- Provincia Fisiográfica. Conjunto estructural de origen geológico unitario, con morfología propia y distintiva.
- Subprovincia Fisiográfica. Subregiones de una provincia fisiográfica con características distintivas.
- Sistema de Topoformas. Conjunto de formas del terreno asociadas según algún patrón o patrones estructurales y/o degradativos.

Según los puntos anteriores, nuestra zona de estudio se encuentra regionalizada de la siguiente manera:

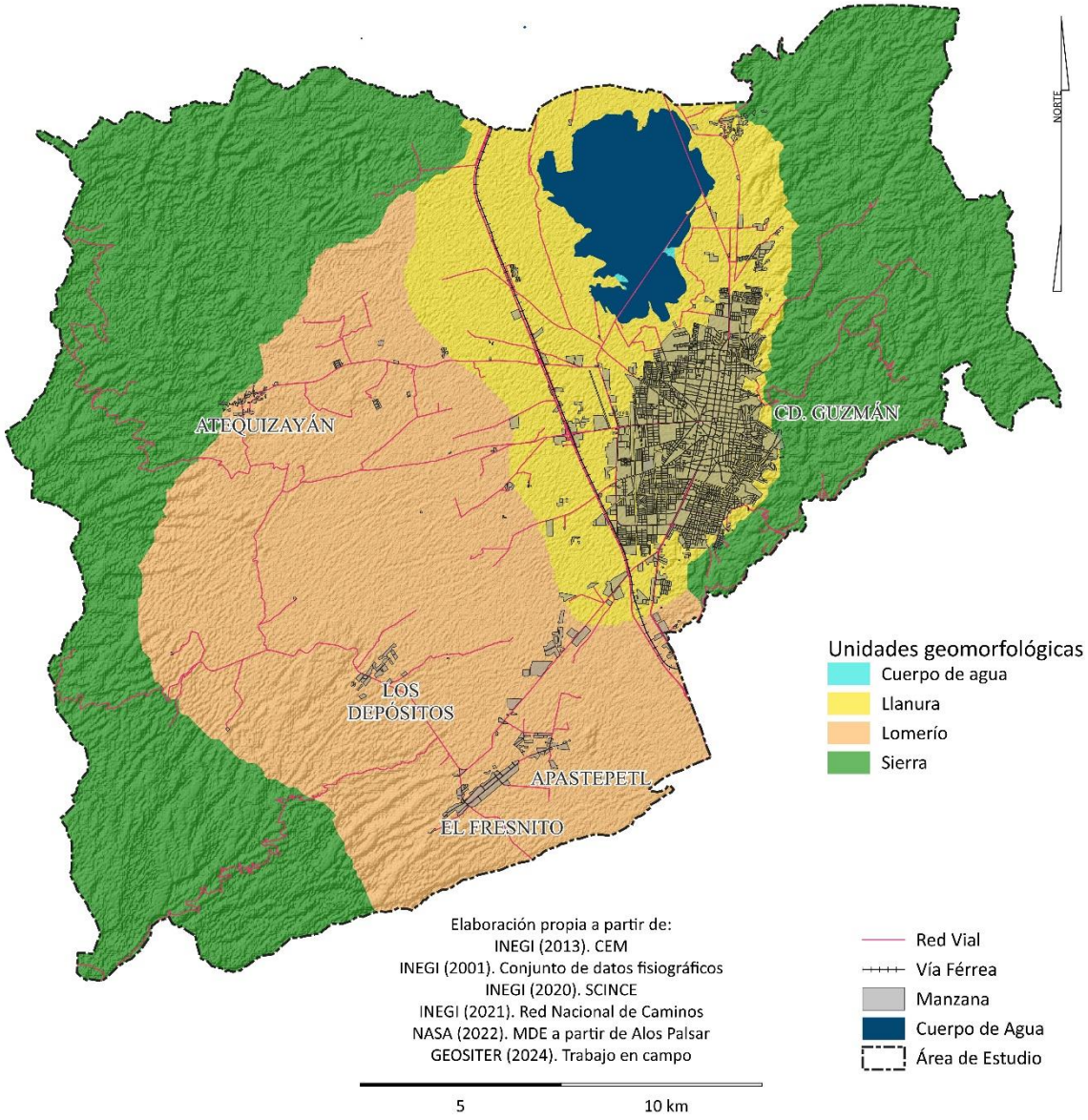
Tabla 5. Fisiografía de la zona de estudio

Fisiografía	Unidades de la zona de estudio
Provincia	Eje Neovolcánico
Subprovincia	Chapala y volcanes de Colima
Sistema de Topoformas	Sierra con laderas de escarpa de falla, Sierra volcánica de laderas escarpadas con cañadas, llanura aluvial, Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados, lomerío de tobas y cuerpo de agua perenne.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos vectoriales de fisiografía INEGI, 2001.



Mapa 6. Fisiografía
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 7. Geomorfología
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Vista al Nevado de Colima desde la montaña Oriente
Fuente: Captura propia.

Figura 12. Lomeríos, pie de monte y serranía en la zona de Atequizayán
Fuente: Captura propia.

Edafología

La comprensión de los tipos de suelos y los procesos que se desarrollan en ellos es crucial para evaluar y gestionar los riesgos naturales. Desde un enfoque geográfico este conocimiento permite identificar áreas susceptibles a desastres como deslizamientos de Tierra, inundaciones entre otros. Además, facilita la implementación de estrategias de mitigación y adaptación, contribuyendo a la seguridad de las comunidades y la planificación territorial.

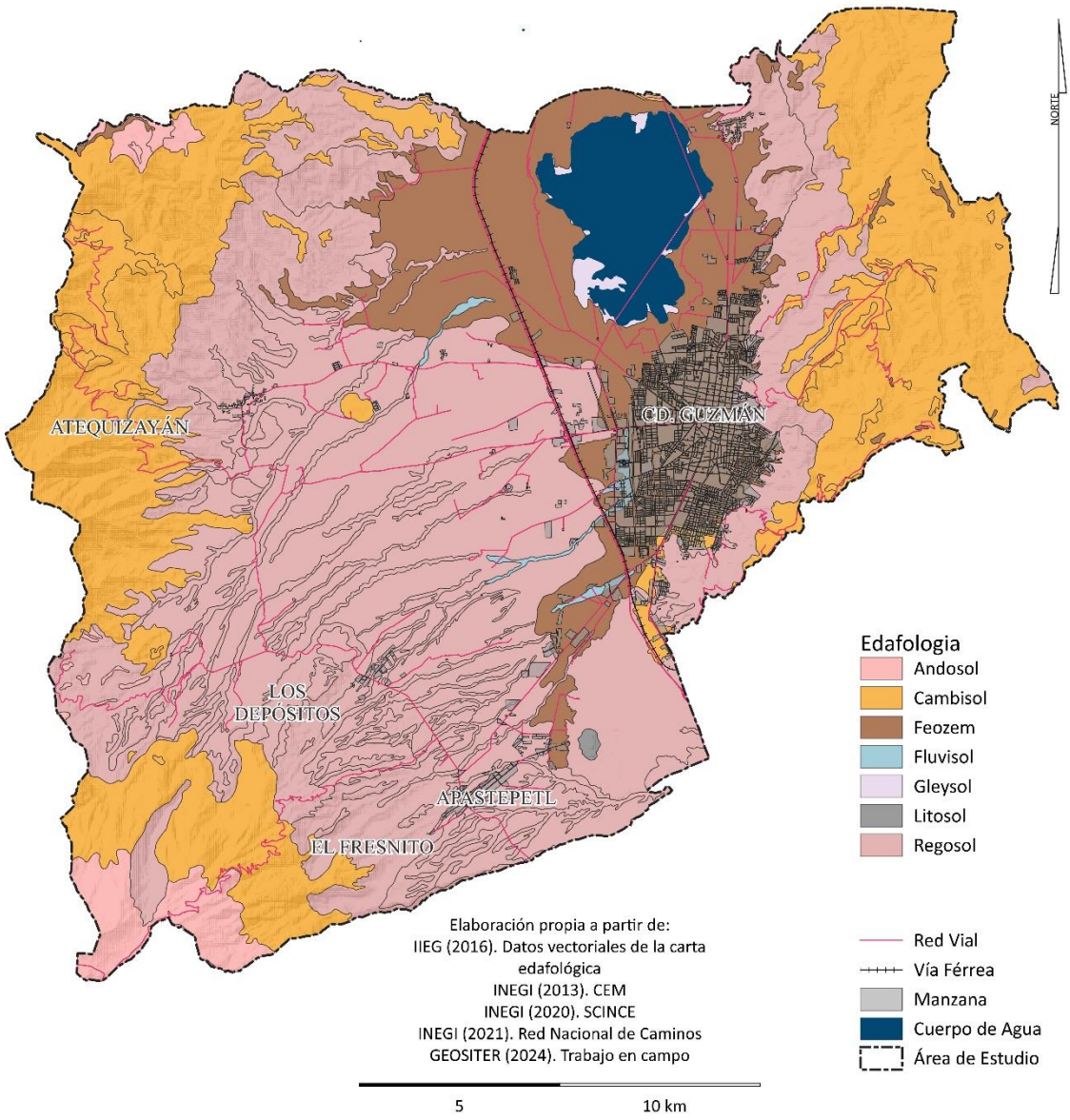
El polígono de la zona de estudio se encuentra asentado sobre varios tipos de suelo.

Tabla 6. Superficie por unidad edafológica

Unidad	Área en Km²	%
Regosol	196.98	50
Cambisol	108.2	27.5
Feozem	62.99	16
Gleysol	14.18	3.6
Andosol	9.96	2.4
Fluvisol	1.55	0.4
Litosol	0.3	0.1
Total	394.16	100

Fuente: Datos vectoriales IIEG, 2016.

Figura 13. Corte realizado sobre regosol para urbanización en la zona del Parque Ecológico Las Peñas
Fuente: Captura propia.



Mapa 8. Edafología
Fuente: Elaboración propia.

Regosol eútrico. En la zona de estudio se encuentra en la zona de pie de monte y valle, son suelos procedentes de materiales no consolidados, con una susceptibilidad a la erosión de moderada alta; posee un único horizonte claro, con muy poco carbono orgánico, demasiado delgado y duro, macizo a la vez cuando se seca y no tiene propiedades sálicas.

Cuando la precipitación excede los 750 mm/año, el perfil logra su capacidad de retención de humedad a principios de la temporada de lluvias; la mejora de prácticas con barbecho labrado puede ser una mejor solución que las costosas instalaciones de sistemas de riego.

Los regosoles en regiones montañosas son frágiles y es mejor conservarlos bajo bosque.

Cambisol crómico. Suelo con muy poco carbono orgánico, muy delgado, y duro cuando se seca; tiene un color pardo fuerte a rojo.

Este suelo carece de propiedades gléicas (alta saturación con agua) en los 100 cm superficiales, con un grado de saturación menor del 50%; carece, asimismo, de propiedades sálicas.

Estos suelos son jóvenes poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima, excepto zonas áridas. Se caracterizan por presentar una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. También pertenecen a esta unidad, algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate. Son muy abundantes, se destinan a muchos usos, son moderada a alta susceptibilidad a la erosión (INEGI, 2004).

Feozem. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país, se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes.

Su material parental es el eólico y otros no consolidados, la erosión eólica e hídrica son peligros graves para este tipo de suelo.

Cuando son profundos, se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para agricultura de riego y temporal de granos, legumbres y hortalizas en rendimientos altos.

Este tipo de suelo lo encontramos casi en toda la zona del valle de Zapotlán y es donde se encuentran las tierras de cultivo y la zona urbana.

Gleysol. Este tipo de suelo es pantanoso, se encuentran en zonas donde se acumula y estanca el agua la mayor parte del año, en este caso lo encontramos en la Laguna de Zapotlán, son

muy variables en su textura, pero en México son más bien arcillosos, su material parental es una amplia gama de materiales no consolidados, principalmente sedimentos fluviales, marinos y lacustres.

Dichas áreas son de gran valor ecológico y pueden, con precaución, ser utilizadas para la pesca, caza, salinas o tala de árboles para producir carbón o leña.

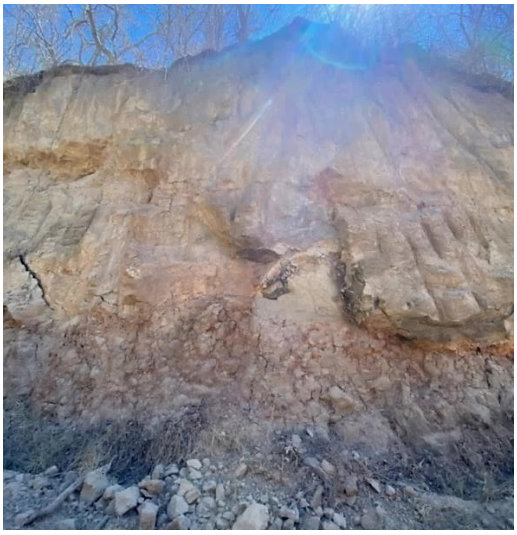


Figura 14. Perfil en dónde se aprecian tonos oscuros, rojos y amarillos. Imagen capturada en la denominada montaña oriente, una zona de transición entre regosol y cambisol
Fuente: Captura propia.

Figura 15. Ambiente propicio para la presencia de gleysol en la Laguna de Zapotlán
Fuente: Captura propia.

Andosol. Son suelos de origen volcánico constituidos principalmente de ceniza. Son generalmente oscuros y tienen alta retención de la humedad. En condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva. Son muy susceptibles a la erosión eólica.

Su material parental son las eyecciones volcánicas ricas en vidrio (principalmente cenizas, pero también toba, piedra pómez, escoria) (FAO, 2016).

En la zona de estudio, este tipo de suelo lo encontramos en el macizo montañoso del Nevado de Colima.

En muy poca proporción, también encontramos presencia de fluvisol y litosol, el primero se distingue por contener suelos genéticamente jóvenes en depósitos fluviales, lacustres o marinos y se ubican en llanuras de ríos y abanicos fluviales, valles, depresiones lacustres y marismas en todos los continentes y en todas las zonas climáticas; el litosol, su nombre proviene del griego lithos: piedra, lo cual hace referencia al suelo de piedra, se caracterizan por su profundidad menor a 10 centímetros, limitada por la presencia de roca y tepetate (INEGI, 2004). El volcán ya extinto Apastépelt es la formación a la que da lugar este tipo de suelo en la zona de estudio.

Figura 16. Volcán Apastépetl, al suroeste de Ciudad Guzmán
Fuente: Captura propia.

Geología

Como se ha revisado en apartados anteriores, el área de estudio, se encuentra dentro de la provincia de la faja transmexicana, esta provincia se integra básicamente por rocas volcánicas del Plioceno y Cuaternario, específicamente, el área de estudio se localiza en una zona de fosas tectónicas y vulcanismo reciente (Valdivia & Castillo, 2001).

La actividad andesítica-dacítica formó a las mayores alturas del Estado de Jalisco, una de ellas el Volcán Nevado de Colima. La actividad antes descrita junto con la morfología del área, determinó la conformación de la litología y de las estructuras lineales de la zona.

Tabla 7. Superficie por unidad litológica

Unidad litológica	Área en km²	%
Toba	99	25.1
Arenisca - Conglomerado	86.1	21.8
Aluvial (Suelo)	83.1	21.1
Extrusiva intermedia	54.2	13.7
Extrusiva ácida	39.1	9.9
Lacustre (suelo)	13.1	3.3
Basalto	10.8	2.7
Andesita	7.7	2
Brecha volcánica	0.9	0.2
Residual (suelo)	0.2	0.1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos vectoriales IIEG, 2016.

La unidad litológica con mayor predominancia es la toba, con un 25% de cobertura, este tipo de roca es de origen explosivo, formada por material suelto o consolidado. Comprende fragmentos de diferente composición mineralógica y tamaños menores de 4 mm.

Enseguida se encuentra la arenisca-conglomerado con casi el 22% de cobertura, la cual se considera una roca sedimentaria, de origen epiclástica lo que significa que su formación es a partir del interperismo y erosión de rocas preexistentes. La arenisca se encuentra conformada principalmente por minerales, fragmentos del tamaño de la arena 1/15mm a 2mm. El conglomerado define como roca de grano grueso mayores a los 2mm a más de 250 mm de formas esféricas y redondeadas.

Figura 17. Conglomerado presente en la zona del Parque Ecológico Las Peñas al oriente de Ciudad Guzmán Fuente: Captura propia.

En tercer lugar de cobertura del área de estudio se encuentra el suelo aluvial, la guía de interpretación de la carta geológica del INEGI, explica que metodológicamente, este suelo se incluye en la geología, debido a que a diferencia de la carta edafológica, que trata a las unidades de suelo considerando sus propiedades físicas químicas y morfológicas, la geología los trata atendiendo a los lugares en que se depositan (llanuras de inundación, pie de monte, zonas lacustres zonas de pantanos y litorales), y los agentes de transporte que los depositan (viento, agua, entre otros).

Entonces, desde el punto de vista geológico, el suelo aluvial es aquél formado por el depósito de materiales sueltos (gravas y arenas) provenientes de rocas preexistentes, que han sido trasportados por corrientes superficiales de agua. Esten nombre incluye a los depósitos que ocurren en las llanuras de inundación y los valles de los ríos.

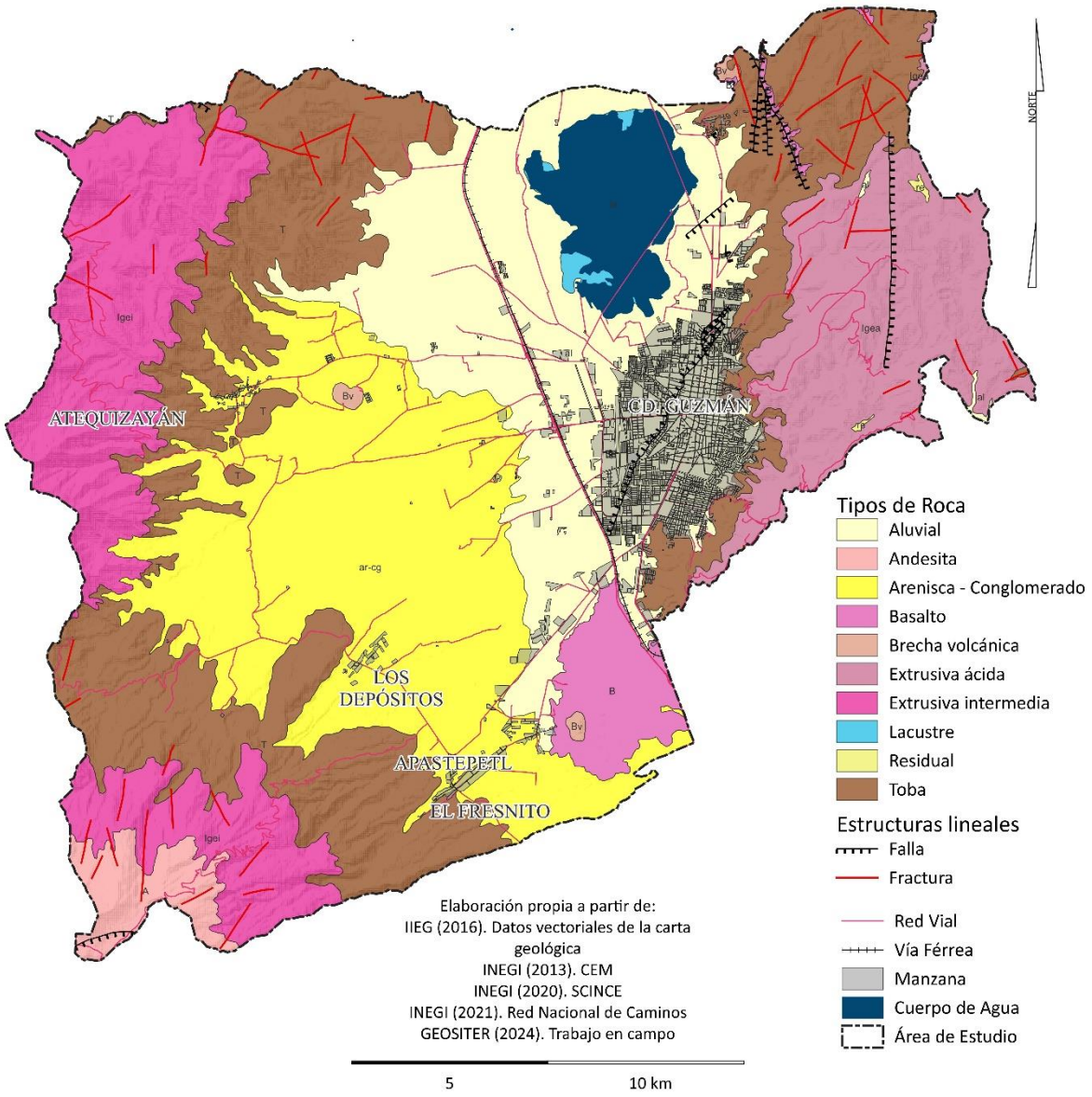
En esta misma categoría, pero con menos representatividad, se encuentran los suelos residuales y lacustres. Los primeros se caracterizan por que se conforman por una capa de material intemperizado, de rocas preexistentes, que no ha tenido transporte alguno, mientras que los segundos, son suelos que se integran por depósitos recientes que ocurre en lagos, Generalmente está formado por arcillas y sales.

Otras dos unidades relevantes son las extrusivas ácidas e intermedias. Este tipo de roca se forma cuando el magma llega a la superficie terrestre y es derramado a través de fisuras o conductos (volcán), al enfriarse y solidificarse forma este tipo de rocas, Se distinguen de las intrusivas, por presentar cristales que sólo pueden ser observados por medio de una lupa. (INEGI, 2005).

Figura 18. Perfil de roca volcánica en la montaña oriente de la zona de estudio
Fuente: Captura propia.

Se identifican también algunas estructuras lineales como fallas normales y fracturas, la mayoría con orientación S-N, principalmente en las laderas del Volcán Nevado de Colima y en la montaña oriente.

Un rasgo importante a mencionar en este apartado es la presencia de la denominada “falla” que atraviesa a la ciudad en sentido NO-SE. Durante el desarrollo de este documento se precisarán más detalles sobre este fenómeno debido a las afectaciones que ya han existido por la presencia de la misma.



Mapa 9. Geología
Fuente: Elaboración propia.

Si bien la totalidad el complejo del Volcán Nevado de Colima, no se encuentra dentro del área de estudio, es importante conocer los aspectos generales de este, para así entender los procesos que se desarrollan primordialmente en la zona de Atequizayán y El Fresnito.

El complejo volcánico de Colima, una de las formaciones volcánicas más notables del graben de Colima (véase apartado de tectónica), está compuesto por tres volcanes alineados de norte a sur: El Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Fuego, siendo este último el más activo y considerado el más peligroso de México. El Cántaro, el más antiguo de los tres, comenzó a formarse entre 1.5 y 1.0 millones de años atrás, y está formado principalmente por andesitas silíceas y dacitas. Aunque ahora está muy erosionado, aún se puede observar un domo de andesita-dacita bien preservado en su flanco norte.

El Nevado de Colima y el Volcán de Fuego, por otro lado, están compuestos de andesitas más básicas. El Nevado ha sido moldeado adicionalmente por la erosión glaciar, mientras que el Volcán de Fuego ha mostrado una actividad más intensa y regular, con ciclos eruptivos aproximadamente cada 100 años, según estudios realizados por Luhr y Carmichael en 1980. Estos ciclos suelen comenzar con la formación de un domo volcánico y continúan con erupciones intermitentes, finalizando con una erupción mayor, similar a la ocurrida en 1913, cuyas cenizas se dispersaron hasta 720 km de distancia.

El complejo, que alcanza los 4,000 metros sobre el nivel del mar, se beneficia de altos niveles de humedad la mayor parte del año, lo que favorece la formación de suelos fértiles en las áreas no dominadas por depósitos de avalancha. Sin embargo, el cono superior del Volcán de Fuego ha visto poco desarrollo de suelos y vegetación debido a la constante actividad volcánica.

La red fluvial en esta región está muy influenciada por la actividad volcánica, siendo los ríos Armería y Tuxpan particularmente propensos a lahares y corrientes de lodo, especialmente hacia el oeste y sureste. En 1950, una inundación significativa afectó al pueblo de Atenquique, evidenciando los riesgos de esta zona. Estas características geológicas y la disposición de las corrientes afectan directamente a las poblaciones locales, haciendo que lugares como Quesería, El Fresnal, Tonila, San Marcos, La Becerrera y San Antonio sean particularmente vulnerables a eventos volcánicos (Lugo Hubp et al., 1993).

Tectónica

La tectónica del municipio se encuentra determinada por la interacción de tres placas: la placa norteamericana, placa de Rivera placa de Cocos, aunado al Bloque Jalisco (microplaca), el cuál es la estructura bajo la que subduce la placa de Rivera, está delimitado por la Trinchera Mesoamericana hacia occidente, la zona del graben de Colima en la parte meridional y la zona del graben de Tepic-Zacoalco en la parte oriental, mientras que el borde septentrional no ha sido delimitado con precisión (Cornú, 1970).

En este sistema existe una zona llamada de "triple unión" que se interceptan a 50 km al suroeste de la ciudad de Guadalajara. Estas estructuras extensionales delimitan el Bloque de Jalisco y son:

- El graben de Colima,
- El graben de Chapala, que forma un brazo con orientación este
- El graben de Tepic-Zacoalco, límite noreste

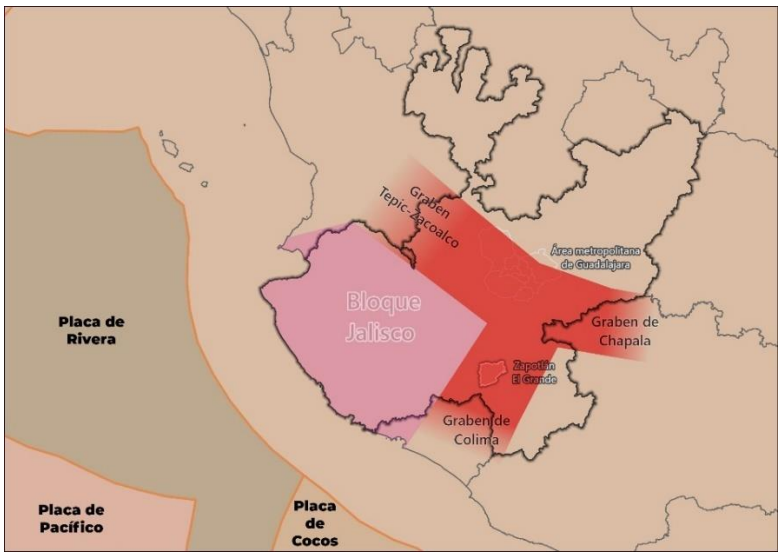


Figura 19. Geología estructural de la zona centro de occidente de México
Fuente: Modificación propia a partir de Lazcano, 2001.

El municipio de Zapotlán el Grande, se encuentra en la porción centro del Graben de Colima.

La conexión entre el graben de Colima y las fronteras de placa adyacentes es un tema de debate. Se sugiere que el Graben de Colima es una división del límite del cinturón volcánico mexicano, posiblemente debido a distintas formas de subducción a lo largo de su borde. Uno

de los supuestos indica que las velocidades de subducción bajas de las placas Rivera y Cocos cerca del Graben de Colima conducen a una falla de desgarre entre estas placas, provocando una extensión de la corteza que resulta en la creación del Graben de Colima (Rosas, 2016).

La presencia de fallas de desgarre, como la que resulta en la creación del graben de Colima, está asociada a esfuerzos que hacen que los bloques de rocas se desplacen lateralmente a lo largo de un plano de falla, Este movimiento puede generar sismos, particularmente en zonas con alta actividad tectónica, como los bordes de placas tectónicas.

Dentro de este sistema, la actividad sísmica y la formación de fallas pueden alterar significativamente el paisaje. Los grabens pueden desarrollarse y evolucionar, cambiando la topografía y por ende afectando los cursos de agua, la vegetación, así como la distribución de los asentamientos humanos.

La tectónica del municipio, influenciada por la interacción de las placas norteamericana, de Rivera y de Cocos, así como por la presencia del Bloque Jalisco, es la génesis definitiva de la configuración del relieve de la región. Este complejo sistema tectónico, caracterizado por la actividad en la "triple unión" cerca de Guadalajara y las distintas formas de subducción a lo largo de los bordes del Graben de Colima, incluyendo su volcán activo, contribuye a la dinámica geológica que define tanto la topografía como el paisaje natural del municipio de Zapotlán el Grande.

Así, la tectónica no solo es un motor de cambio en la superficie de la tierra, sino que también es un factor determinante en la formación del relieve, delineando valles y elevaciones que caracterizan el paisaje y las funciones que se determinan en torno a este. Este entrelazamiento entre la tectónica y el relieve es crucial para entender los fenómenos físicos que se han presentado en la zona de estudio.

Clima

Dentro del área de estudio se identifican 5 tipos de clima, esto de acuerdo con los principios establecidos en la clasificación de Köppen, modificada por García (1988) y la información recabada por los datos meteorológicos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Sin embargo, estos 5 tipos se pueden catalogar dentro de los climas templados subhúmedos y los climas transicionales entre los tropicales los templados.

En la clasificación de Köppen modificada por García, el clima (A)C(w0)(w) representa una transición entre tropical y templado, con temperaturas cálidas todo el año y una estación seca

moderada en invierno. El (A)C(w1)(w) es similar, pero con una sequía invernal más pronunciada. El clima C(E)(w2) combina características templadas con una aridez propia de la estepa, teniendo inviernos muy secos y veranos cálidos. Por otro lado, el clima C(w1)(w) es templado con una sequía moderada en invierno y mayor precipitación en verano, mientras que el C(w2) es templado con una estación seca invernal muy marcada.

Los climas templados se encuentran sobre las laderas del volcán y el nevado de colima, en la parte oeste del municipio, mientras que entre más nos acercamos a la zona central del municipio, donde se encuentra la laguna y la cabecera municipal, el clima se vuelve más cálido, alcanzando un clima subtropical.

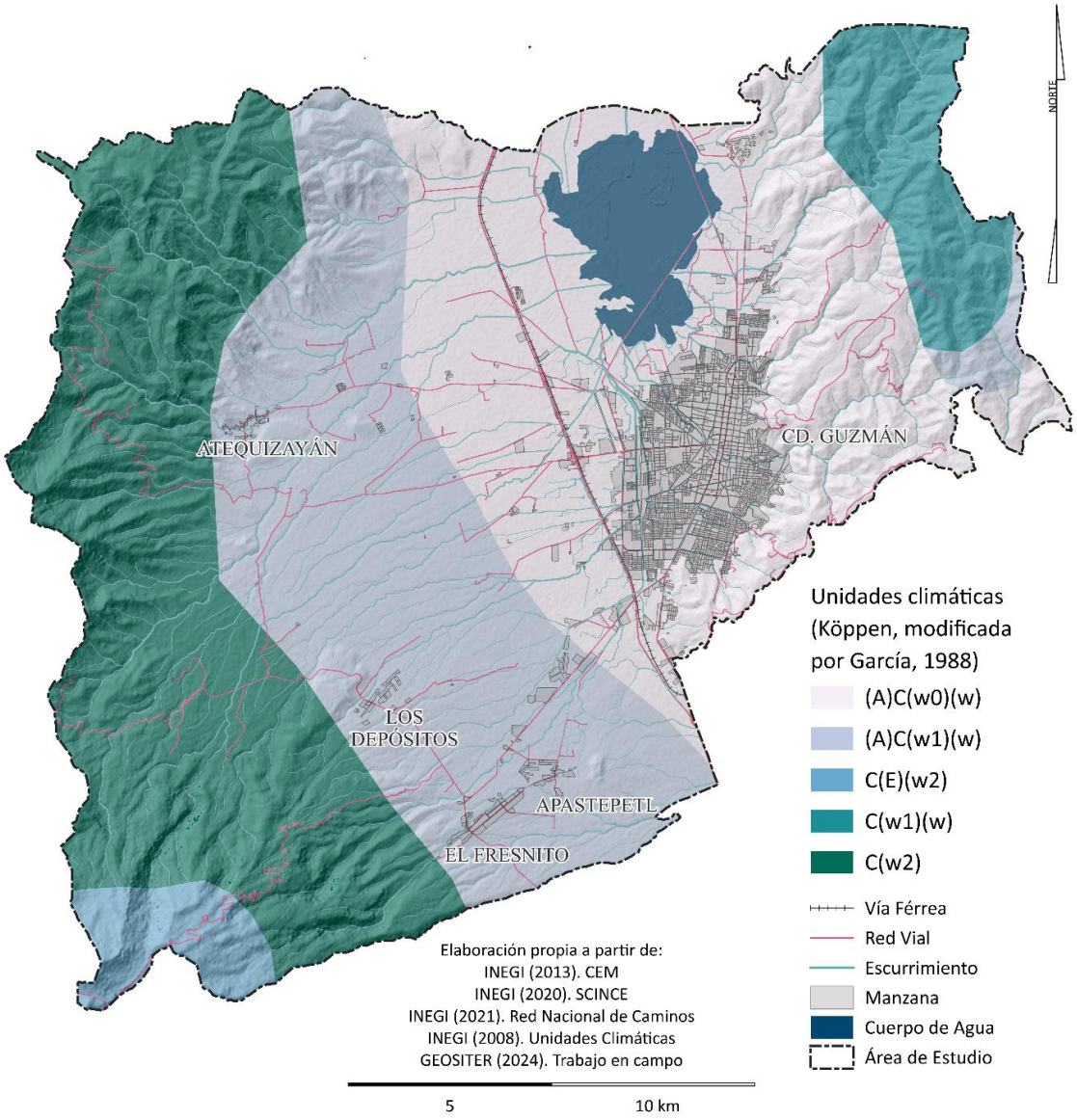
Estos climas destacan por su diversidad, combinando influencias tropicales y templadas con variaciones en la intensidad de la estación seca invernal. Esta clasificación permite una mejor comprensión de las condiciones locales, reflejando la complejidad y variedad climática que se encuentra en regiones de transición, y proporciona información útil para la agricultura y el manejo de recursos naturales en estas áreas.

Temperatura

Para la elaboración de la cartografía se emplearon capas ráster derivadas del mapa nacional de “Climas 1902-2011”, publicado y procesado por INEGI (2020), el cual a su vez se obtuvo a partir del procesamiento de datos de temperatura máxima, mínima y precipitación promedio mensual consultados y respaldados del Atlas Climático Digital de México del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Mientras que la confección del Atlas Climático Digital de México se deriva del procesado de los datos climatológicos de la base diaria del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1902-2011, sumadas a las respectivas superficies climáticas de Worldclim, documentadas en Hijmans et al (2005).

Sin embargo, el producto Climas 1902-2011 cuenta con resolución de 8" x 8" (250 x 250 m aproximadamente), lo cual es una escala adecuada para el continuo nacional, pero no el detalle deseado para la representación municipal, por lo que bajo el criterio del Gradiente Térmico Altitudinal, se realizó un proceso geoestadístico correlacionando los datos climáticos con el Modelo Digital del Terreno de una mejor resolución, de 12.5 x 12.5 m. por medio de un modelo de “Regresión ponderada geográficamente” (por sus siglas en inglés, GWR).



Mapa 10. Mapa de unidades climáticas
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Estadísticas zonales de la temperatura

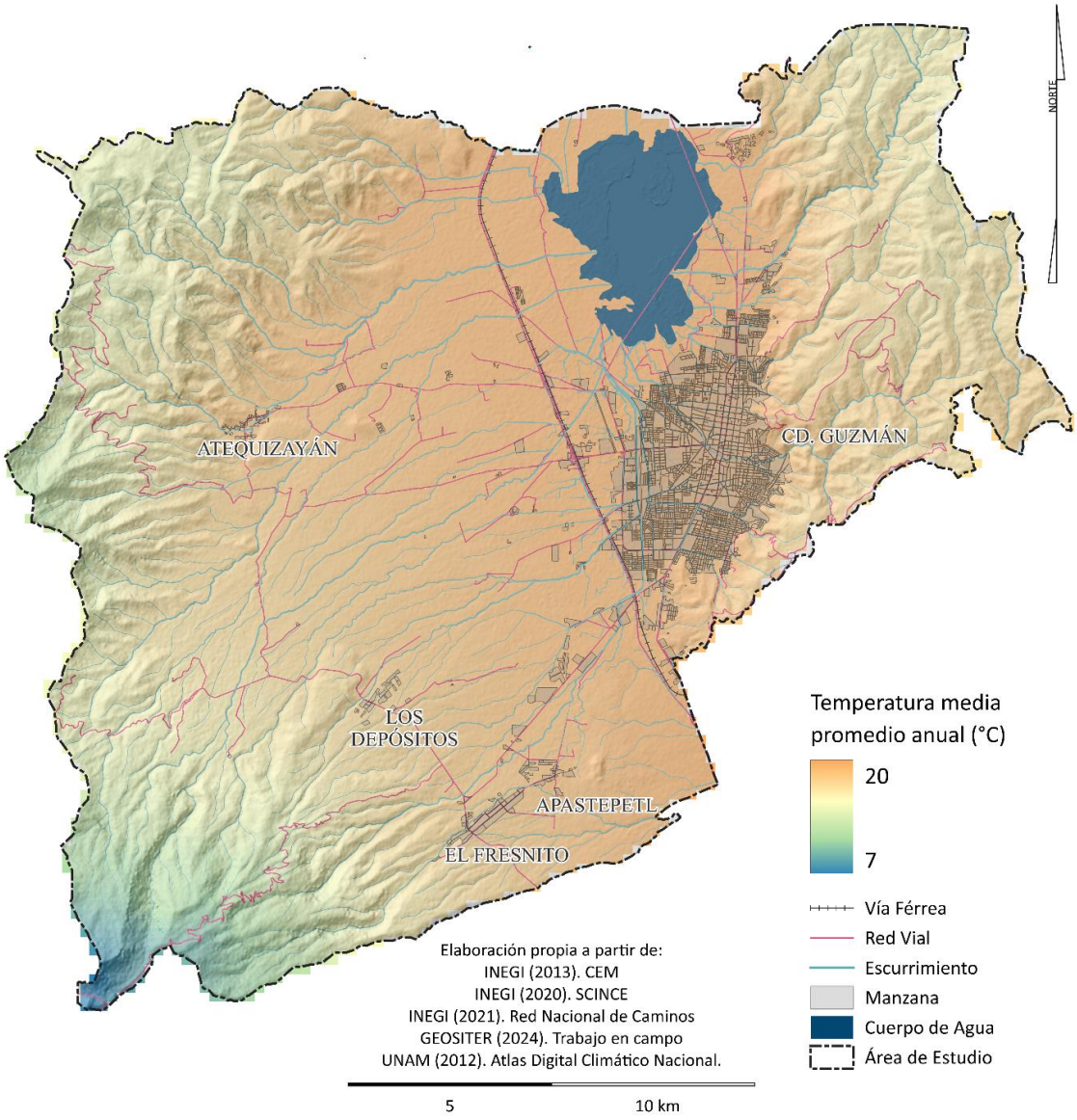
Variable	Media (°C)	Mínima (°C)	Máxima (°C)
Tmed anual	17.5	7.1	20
Tmin anual	14.4	4.8	16.8
Tmax anual	19.9	9.1	22.6
Oscilación térmica	5.5	4.3	5.8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA.

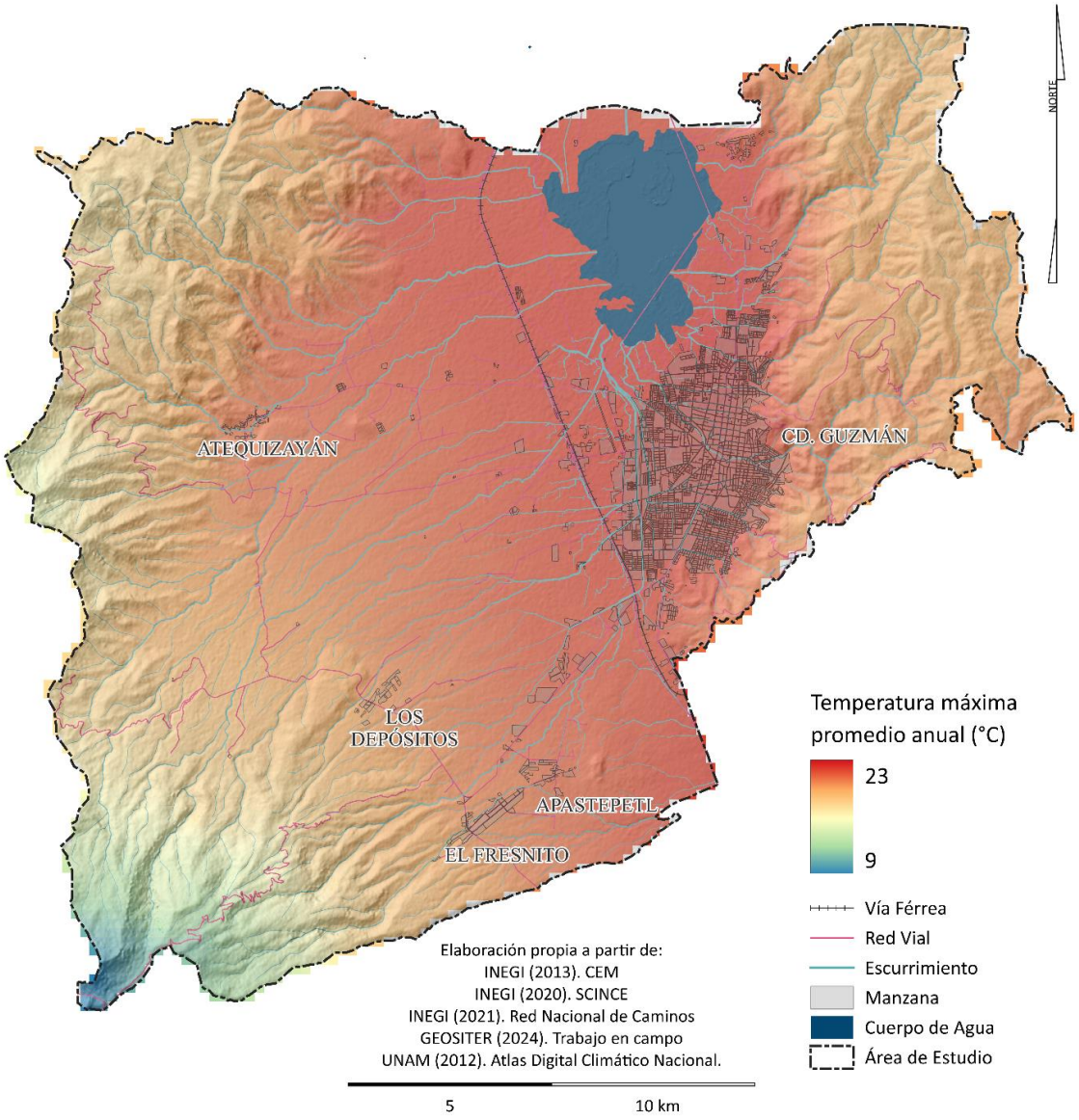
De acuerdo con la tabla anterior, las temperaturas medias para el municipio de Zapotlán el Grande van desde los 14.4°C y hasta los 19.9°C, con una media de 17.5°C, con una oscilación de 5.5°C. Mientras que la mínima registrada es de 4.8°C y la máxima de 22.6°C, derivando una oscilación de 17.8°C.

Debido a la alta correlación entre la temperatura y la altitud, la distribución espacial de los rangos de termales se distribuye de acuerdo con el relieve presente en el municipio, distinguiendo 3 principales grupos: en las partes planas y bajas de la cuenca se identifican temperaturas medias de entre los 18 °C y 20 °C, cabe destacar que este rango acumula mayor parte de la superficie municipal.

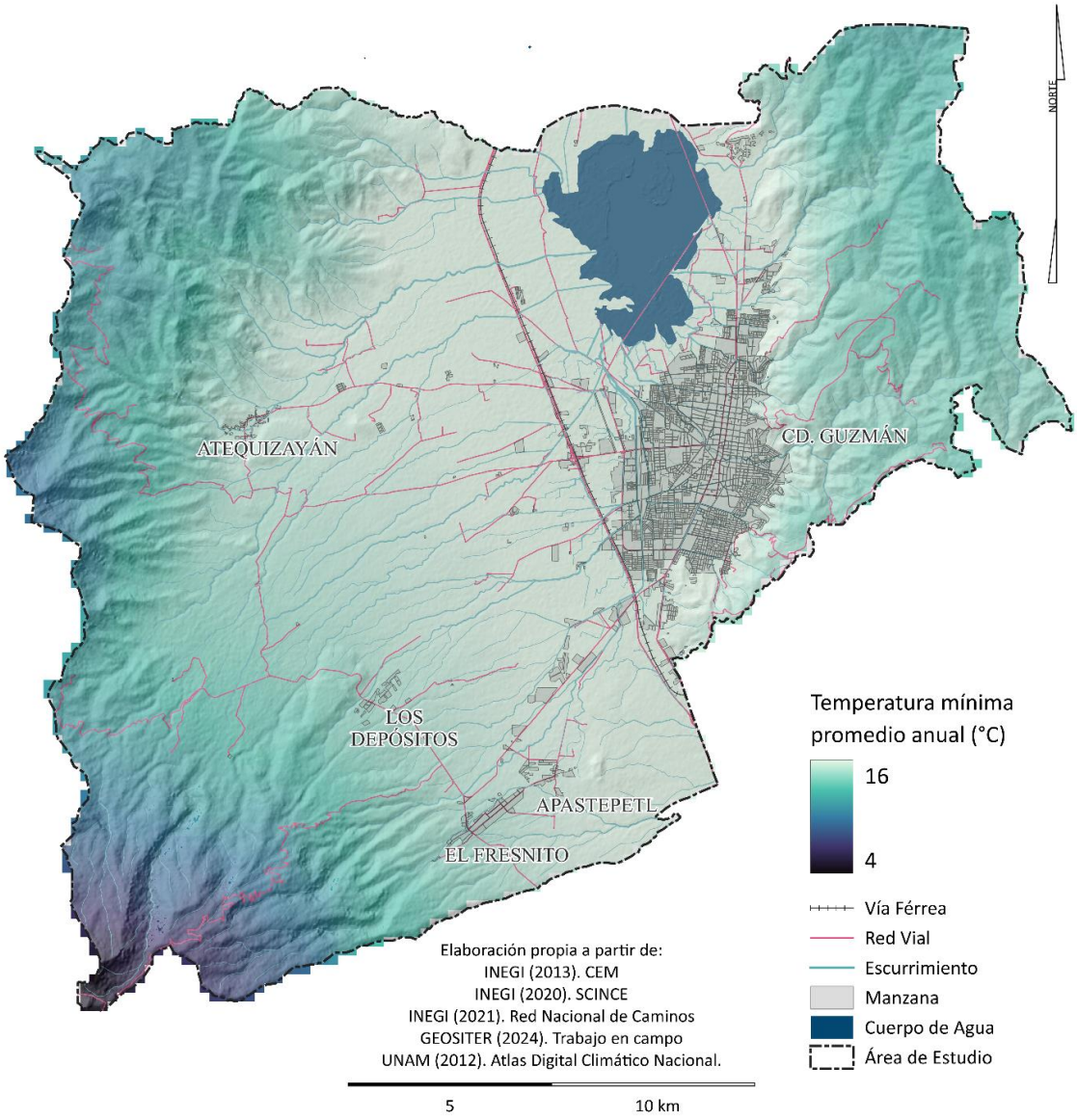
El siguiente grupo altitudinal pertenece a las laderas que circundan el municipio, donde las temperaturas oscilan los 10°C hasta los 16°C. La temperatura comienza a disminuir proporcionalmente conforme va subiendo el nivel altitudinal. Por último, se encuentra el tercer grupo, en el borde suroeste del municipio, las laderas de los volcanes son las zonas donde el municipio sufre de las temperaturas más bajas.



Mapa 11. Temperatura promedio media anual
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 12. Temperatura promedio máxima anual
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 13. Temperatura promedio mínima anual
Fuente: Elaboración propia.

Precipitación

El régimen de precipitación en Zapotlán el Grande se encuentra bien delimitado, abarcando 5 meses, correspondientes a la estación de verano más el mes de octubre, alcanzando el pico más alto en el mes de julio acumulando hasta 194 mm, esto utilizando un promedio obtenido a partir de un modelo de interpolación elaborado con los datos de 12 estaciones climatológicas de CONAGUA que recaudan un periodo de años con datos que van desde el año 1983 hasta el año 2019. Por otro lado, el periodo de sequía abarca los meses de noviembre hasta mayo, reportando una acumulación mínima de 3.95 mm, en el mes de abril.

Aunque la precipitación no guarda una correlación con la altitud, como es el caso de la temperatura, en el caso particular de Zapotlán el Grande, como se muestra cartográficamente, la zona que registra la menor acumulación es la zona centro del municipio, a la altura de la cabecera municipal, siendo las zonas de pendientes pronunciadas y de mayor altitud, las regiones más húmedas, esto respecto a la planicie del municipio. Por ello, para la confección del mapa se empleó un proceso geoestadístico para correlacionar la altitud con la precipitación.

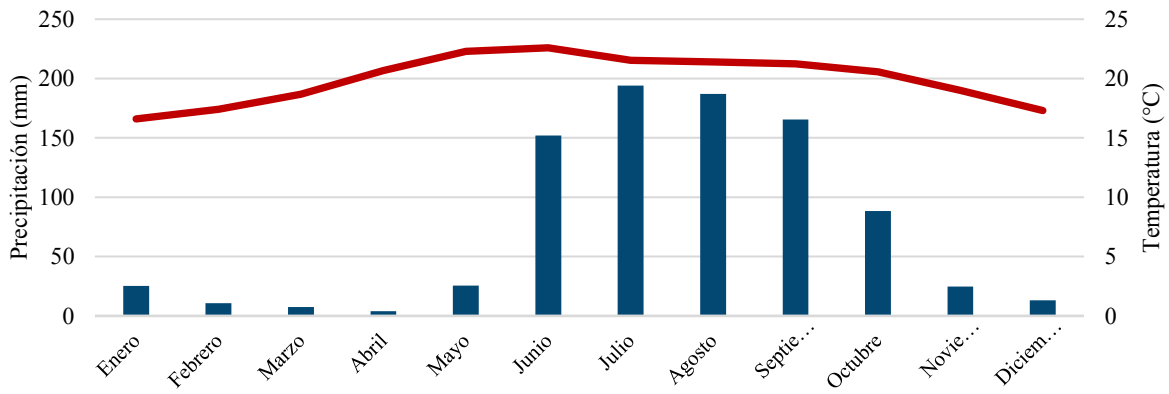
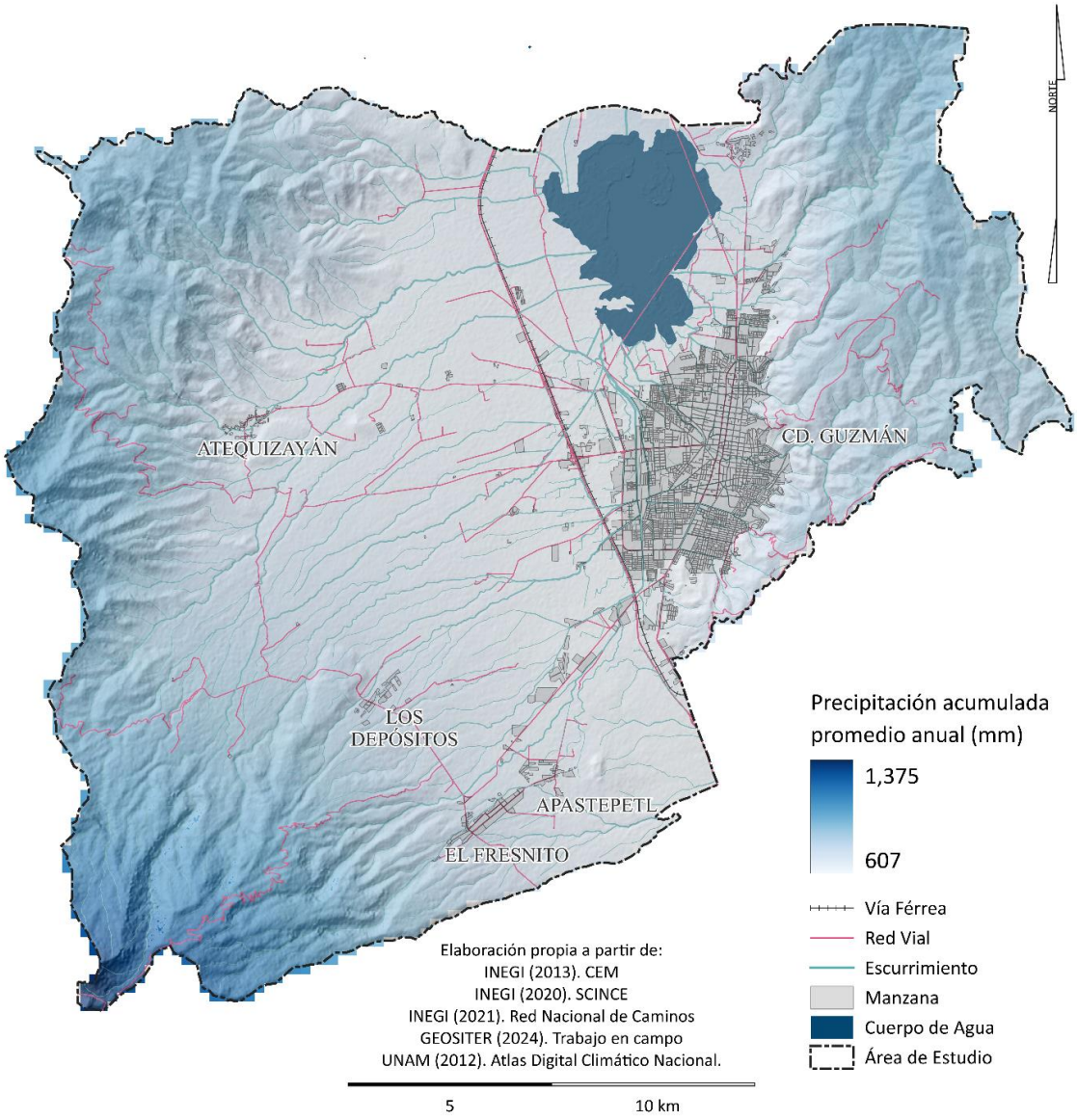


Figura 20. Climograma del municipio
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA.

Tabla 9. Estadísticas zonales de la precipitación anual

Variable	Media (mm/año)	Mínima (mm/año)	Máxima (mm/año)
Precipitación promedio acumulado anual	765	607	1375

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CONAGUA.



Mapa 14. Precipitación promedio acumulada anual
Fuente: Elaboración propia.

Hidrología superficial

En este apartado se presenta el Área de Estudio Hidrológico (AEH) delimitada para el municipio con base a la información del sistema de drenajes superficiales, también llamados escurrimientos, los cuales pueden ser arroyos temporales, canales o ríos importantes. Tomando en cuenta esta delimitación hidrológica, se presenta la caracterización de los recursos hidrológicos de esta área, tomando en cuenta con mayor medida las características que implican o contribuyen a la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos.

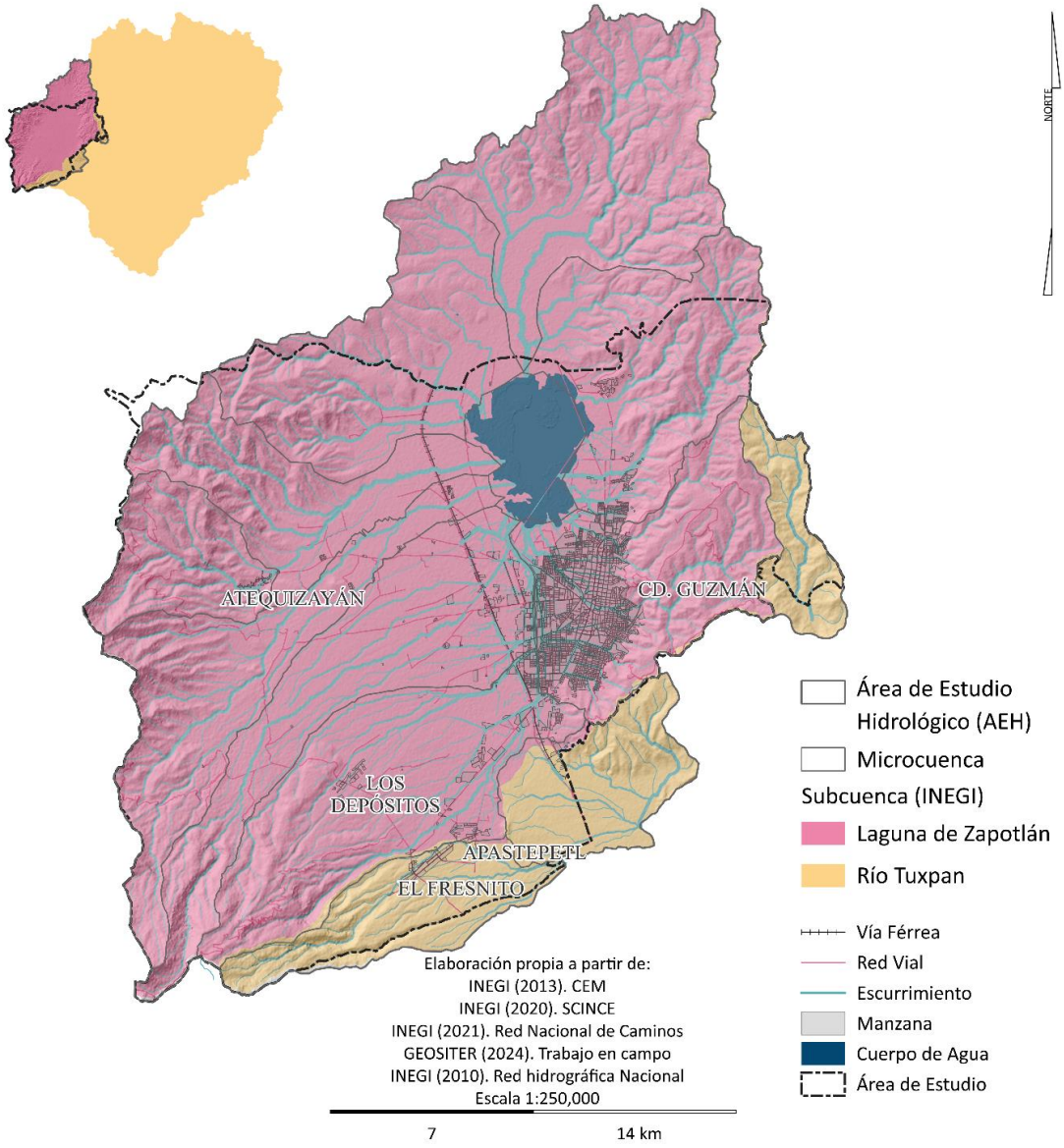
Delimitación del área de estudio hidrológico

La mayor parte del municipio pertenece a la subcuenca de la Laguna de Zapotlán, siendo esta de gran interés al ser una cuenca endorreica, es decir, todo el escurrimiento superficial generado en la superficie de esta subcuenca acaba drenando hacia la Laguna de Zapotlán. Por otra parte, una pequeña porción del municipio pertenece a la subcuenca del Río Tuxpan, específicamente la superficie del municipio donde se encuentran las localidades de El Fresnito y Apastepetl.

Con el fin de determinar las dinámicas del recurso hídrico en el municipio a una menor escala que fuera útil a la hora de entender el territorio y evaluar los fenómenos hidrometeorológicos, se utilizó la delimitación de INEGI de las 12 microcuencas a partir de las que se compone el sistema hidrológico en el que incide el municipio. Tomando en cuenta las dos subcuencas mencionadas anteriormente, 10 forman parte de la subcuenca de la Laguna de Zapotlán y 2 de la subcuenca del Río Tuxpan. Éstas 12 microcuencas conforman el Área de Estudio Hidrológico (AEH) para el que se realizó la caracterización de hidrología superficial del municipio.

Contexto hidrológico

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) divide el territorio nacional en 37 Regiones hidrográficas (RH) compuestas por un total de 158 cuencas y a la vez, divididas en 975 subcuencas (INEGI, 2018). Conforme a lo explicado lo anteriormente, el municipio pertenece a la región RH12 Lerma – Santiago, y gran parte de su superficie está dentro de la cuenca del Lago de Chapala (RH12D)1, específicamente en la subcuenca de la Laguna de Zapotlán.



Mapa 15. Área de estudio hidrológico de Zapotlán el Grande
Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca forma además parte de la Región Hidrológico Administrativa (RHA) VIII Lerma Santiago Pacífico gestionada por CONAGUA2 (CONAGUA, 2023). CONAGUA divide estas RHA en cuencas y subcuencas, para las cuales determina periódicamente su disponibilidad: el territorio del municipio tiene incidencia en la cuenca de la Laguna de Zapotlán delimitada por CONAGUA, perteneciente a la RHA VIII Lerma Santiago Pacífico, con disponibilidad hídrica superficial de 10.63 hm³/año.

Los límites de estas divisiones de cuencas y subcuencas no siempre coinciden con las establecidas por INEGI, aunque en el caso del contexto hídrico de Zapotlán el Grande, la diferencia de límites entre la subcuenca de CONAGUA y la cuenca de INEGI es apenas perceptible. Como se observa en la cartografía temática de hidrología, el comportamiento del agua no depende de las fronteras políticas en ninguna escala. Por el contrario, dibuja unidades independientes a partir de las principales formas del relieve. Esto implica que debe existir un esfuerzo por parte de las autoridades a asimilar esta realidad, así como es un recordatorio de la relación sinérgica que existe en el territorio a través de los sistemas naturales. Por lo tanto, para estudiar formalmente la hidrografía dentro del límite municipal, se consideraron las microcuencas que lo solapan, en su conjunto, conforman el Área de Estudio Hidrológico (AEH).

Figura 21. Contexto hidrográfico del municipio
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2024.

Subcuenca INEGI	% de superficie de subcuenca en el municipio	% de superficie de municipio en subcuenca	Cuenca CONAGUA	% de superficie de cuenca en municipio	% de superficie de municipio en cuenca	Volumen disponible anual (hm3) (CONAGUA, 2023)	Microcuencas
Laguna de Zapotlán	76%	88%	Laguna de Zapotlán	75%	91%	10.63	9
Río Tuxpan	2%	11%	Quito	1%	8%	239.6	3

Fuente. Elaboración propia con datos de INEGI y CONAGUA.

Red hidrográfica y cuerpos de agua

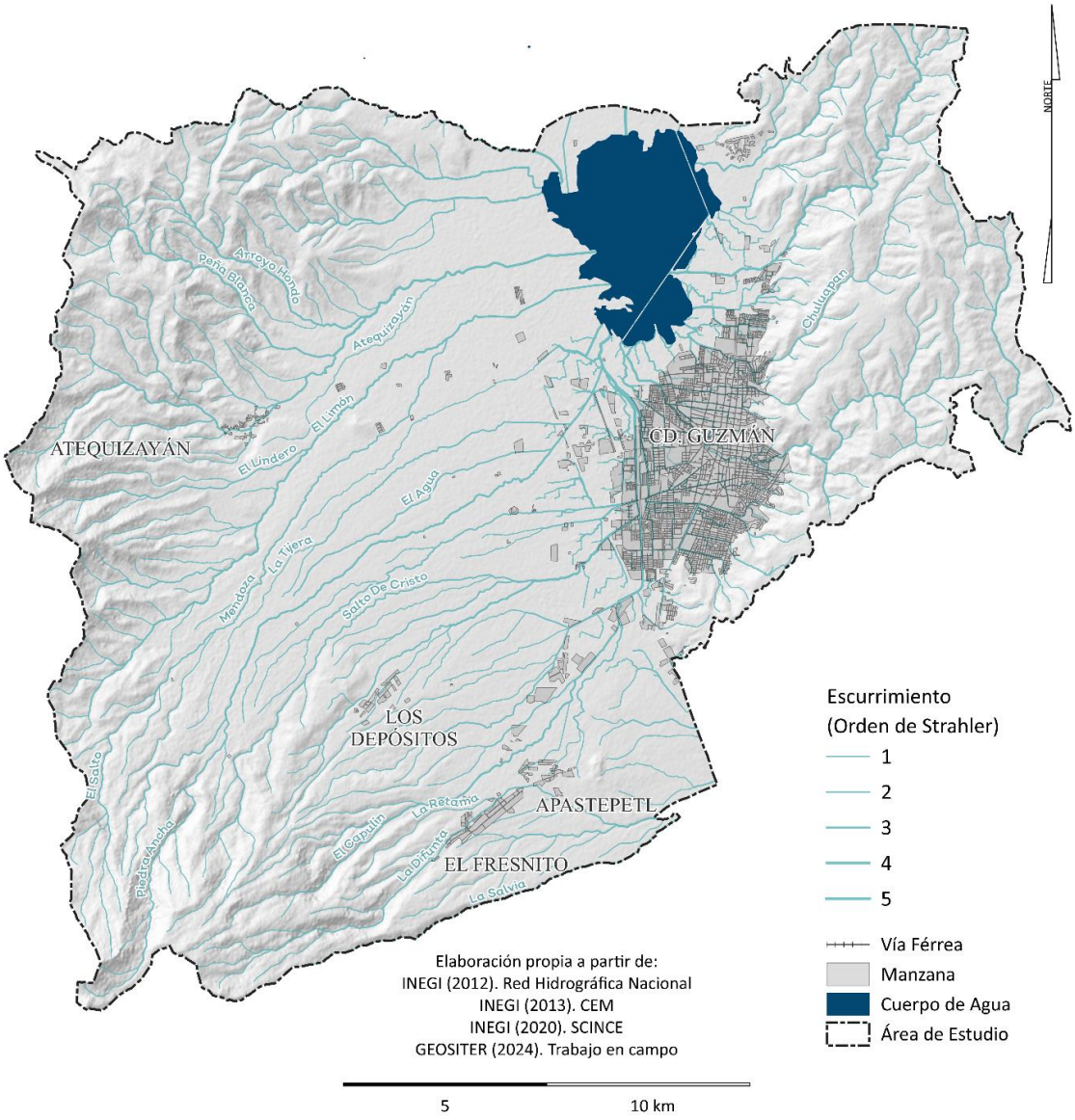
Según CONAGUA (2020), los arroyos que alimentan la Laguna de Zapotlán llegan a esta formando un modelo de drenaje de tipo radial centrípeto los cuales son de carácter intermitente y de tipo torrencial, conduciendo el agua solo durante el periodo de lluvias.

En esta zona no se cuenta con ríos de tipo perenne, básicamente esta drenada por arroyos intermitentes y de manera secundaria por algunos otros de menor importancia. Los principales cursos de agua que alimentan la laguna de Zapotlán son: el Arroyo La Chala, el cual nace en la sierra de los Manzanillos y que tienen una dirección hacia el S-SO1 hasta llegar a la Laguna de Zapotlán por la parte occidental; el Arroyo Cuevitas es un tributario del Arroyo la Chala, proveniente de la sierra de los Manzanillos.

Los Arroyos las Minas, la Catarina, Chuluapan y los Guayabos, los cuales provienen de la Sierra el Tigre y llegan a la Laguna con una dirección hacia el suroeste (destacándose que estos arroyos conservan cierto paralelismo entre ellos, durante su trayecto, un diseño característico de terrenos de elevada pendiente, energía del paisaje y friabilidad o erodabilidad de las rocas aflorantes); los Arroyos la Cuevitas y Agua Nueva, provenientes de la vertiente meridional de la Sierra de Usmajac (que también presentan cierto diseño de drenaje con paralelismo) y su dirección casi oeste-este.

Los arroyos la Llave, Delgado y las Carboneras drenan desde la Sierra de la Media Luna, presentan una estructura su dendrítica en la parte de la sierra, hacia la cuenca el drenaje es un poco paralelo, su dirección es hacia el noreste hasta llegar a la Laguna de Zapotlán; y finalmente los Arroyos la Tijera, el Agua, Piedra Ancha, Salto de Cristo y el Chapulín, nacen en la falda septentrional del Nevado de Colima, y al igual que los anteriores, también muestran cierto paralelismo en sus drenajes, con dirección hacia el noreste. Además de los arroyos antes mencionados se encuentran otros de menor orden e importancia. La mayor cantidad de los escurrimientos hacia la laguna son originados en las Sierras de la Medialuna y de Manzanillos, mientras que el menor número de escurrimientos proviene de la Sierra de Usmajac (CONAGUA 2020).

Por su parte, la Laguna de Zapotlán es una pieza clave del sistema hidrológico, siendo un humedal reconocido a nivel internacional. Se encuentra en la parte más baja de la subcuenca y está limitada al este por las pendientes de la Sierra del Tigre y la carretera estatal Ciudad Guzmán – Gómez Farias; al sur por Ciudad Guzmán; al oeste por la línea del Ferrocarril Guadalajara-Manzanillo y al Norte, por el área agrícola denominada los Cerrillos y la carretera Gómez Farias – la Cofradía (Michel Parra et. al. 2014).



Mapa 16. Ríos, escurrimientos y cuerpos de agua
Fuente: Elaboración propia.

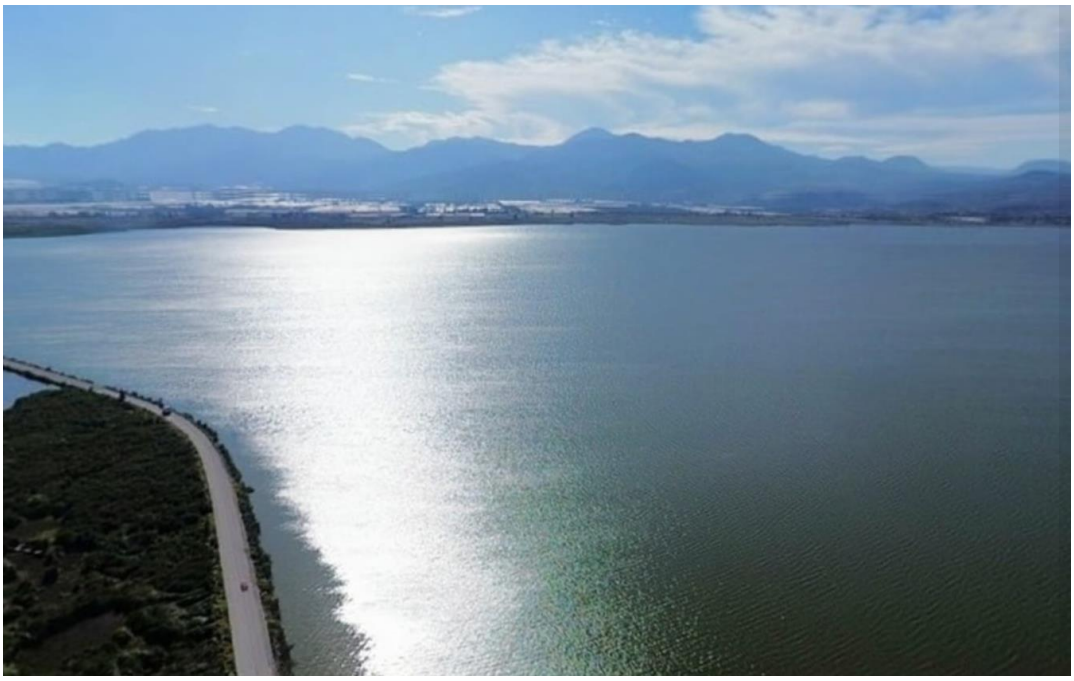


Figura 22. Vista aérea de la Laguna de Zapotlán
Fuente: Captura propia.

Cuenta con una superficie de agua aproximada del espejo de agua de 1,376 ha (aunque ha oscilado en los últimos 25 años entre 1,340 y 1,600 ha), una profundidad promedio de 4 m y una capacidad de captación máxima conocida de 27 hm3.

Por sus características y clasificaciones políticas la laguna de Zapotlán es propiedad federal, y es considerada como un sitio RAMSAR, es decir, sustenta especies de aves acuáticas, brindándoles refugio en las etapas críticas de su desarrollo, reproducción y transito migratorio (Michel et. al. RAMSAR 2005).

Se tiene un inventario de 47 especies de aves acuáticas y 5 terrestres. Se presentan asimismo 40 especies de mamíferos, 6 de anfibios, 7 de peces y 13 de reptiles. El sitio representa una importante área productiva tanto pesquera como artesanal, agrícola y recreativa. Es importante destacar que es en la única parte del occidente del país donde se tiene un lago, un volcán de fuego y una montaña con nieve en determinadas épocas del año, lo que propicia condiciones de biodiversidad faunística y florística, así como atractivo paisajístico. (SEMARNAT, 2021).

Figura 23. Vista del actual malecón en la Laguna de Zapotlán
Fuente: Captura propia.

El humedal desempeña funciones vitales como almacenamiento de agua dulce para proveer necesidades prioritarias, protección contra inundaciones, recarga y descarga de acuíferos, purificación del agua mediante la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes, la estabilización de las condiciones climáticas locales; el abastecimiento de agua dulce y productos pesqueros, transporte, posibilidades recreativas y de turismo.

Figura 24. Vista aérea del humedal contiguo al cuerpo de agua de la Laguna de Zapotlán
Fuente: Captura propia.

Unidades hidrológicas

Una cuenca es una superficie de terreno cuya escorrentía fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos, hacia un determinado punto de un curso de agua, generalmente un lago o una confluencia de ríos (SEMADET, 2021). Así mismo, las unidades hidrológicas, comúnmente delimitadas por un parteaguas, se dividen en subcuencas, microcuencas y nanocuencas con el objetivo de desarrollar el análisis hidrológico.

Estos son criterios fundamentales del enfoque de cuenca, donde se delimitan superficies de terreno con los procesos particulares del ciclo del agua en la zona de estudio, al mismo tiempo que se realiza una lectura a sus variables determinantes como las climatológicas y geomorfológicas.

Las cuencas se clasifican fundamentalmente en dos tipos: las endorreicas, en donde la escorrentía no tiene salida al mar y las exorreicas, en donde la escorrentía sí cuenta con alguna salida al mar.

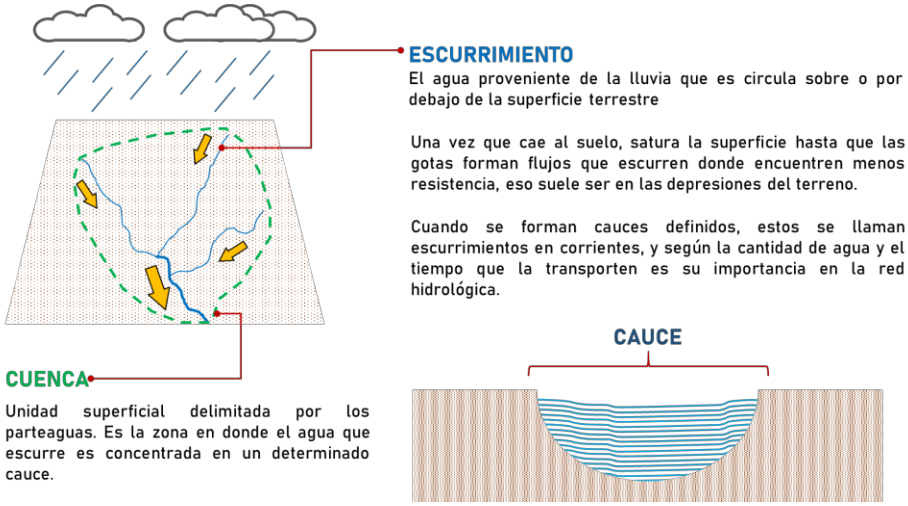


Figura 25. Conceptos clave de hidrología superficial
Fuente: Elaboración propia a partir de Aparicio, 1992.

Para el municipio, se utilizó la delimitación de las microcuencas establecida por el INEGI, presentado en su plataforma del SIATL. El territorio municipal incide en un total de 12 microcuencas, 6 de ellas entran totalmente dentro de los límites del municipio mientras que las otras 6 comparten solo una porción de su superficie con las del municipio. Como se mencionó anteriormente, 9 de estas microcuencas drenan hacia la Laguna de Zapotlán,

mientras que 3 de ellas drenan hacia el Río Tuxpan. Estas 3 microcuencas se recortaron al drenaje más cercano al límite municipal para efectos cartográficos del presente estudio. A continuación, se presenta el nombre de cada una junto con su superficie total.

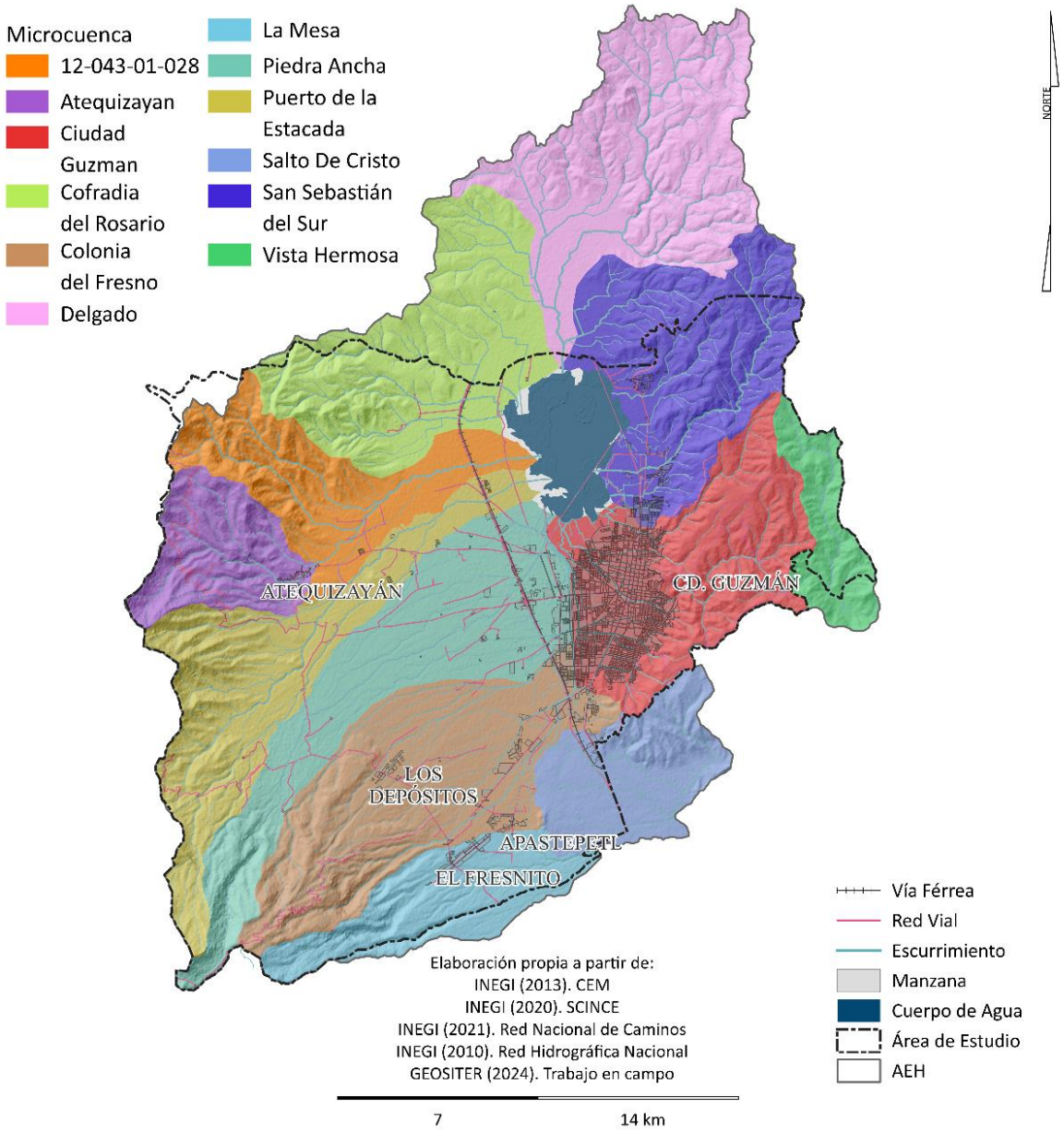
Subcuenca INEGI	Microcuenca	Superficie microcuenca (km2)
Laguna de Zapotlán	12-043-01-028	34.7
	Ciudad Guzmán	51.2
	Delgado	63.6
	Cofradía del Rosario	54.4
	San Sebastián del Sur	52.4
	Atequizayan	22
	Puerto de la estacada	48.9
	Piedra ancha	56.1
	Colonia del fresno	61.1
Río Tuxpan	La mesa	26.2
	Salto de cristo	26.9
	Vista hermosa	14.3

Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2024.

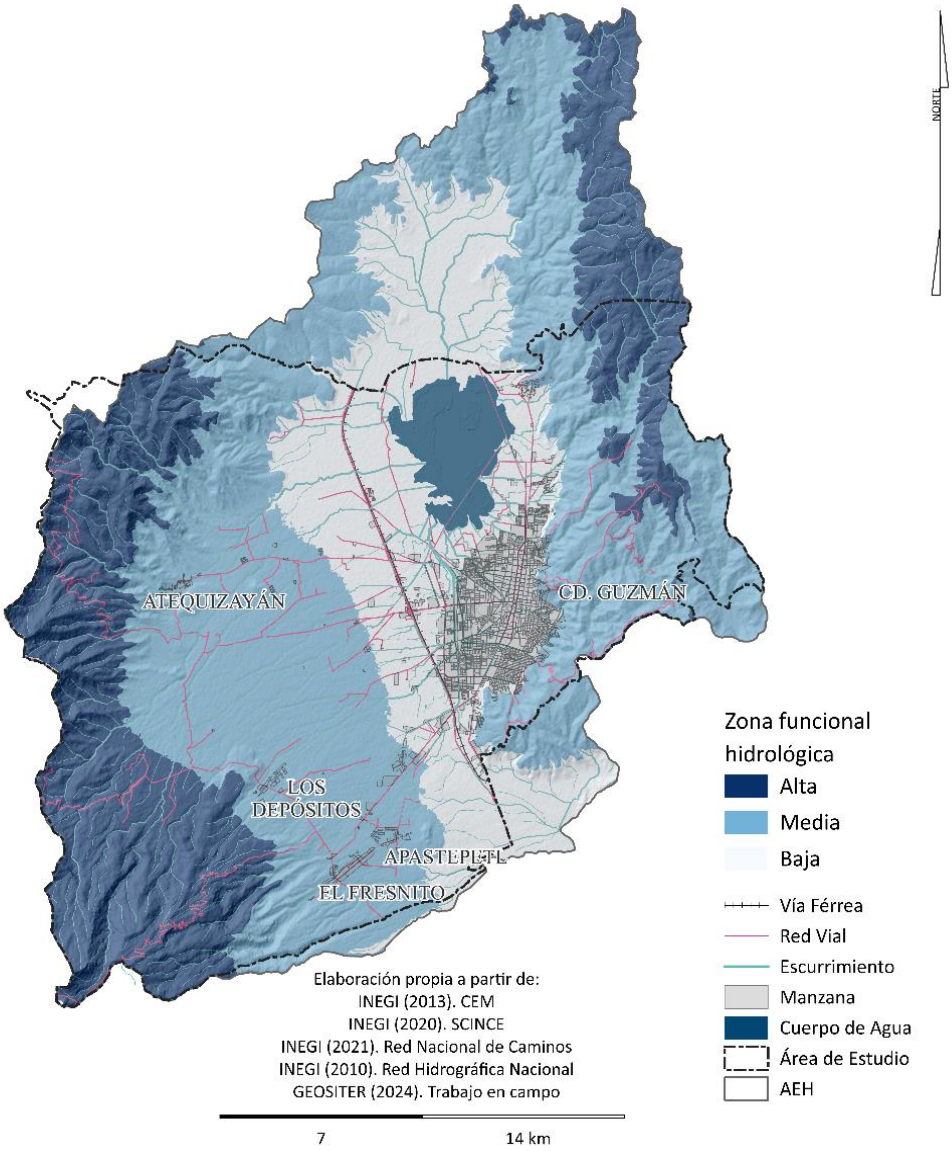
Zonas Funcionales

La dinámica hidrológica no es la misma en toda la extensión de sus cauces. La superficie de la cuenca se puede dividir en tres zonas funcionales, como lo propone Garrido et. Al (2010). Las partes altas de la cuenca representan la zona alta donde se recibe y se capta la mayor cantidad de precipitación. A continuación, el agua se acumula y se transporta a través de las partes intermedias de la cuenca, llamada zona meda, actuando como una zona de transición entre la parte alta y parte baja de la cuenca. Por último, en las partes bajas es donde se presentan las planicies y áreas de inundación; la superficie es mayormente plana y esto hace que en la zona baja se concentren la mayor parte de los escurrimientos superficiales de la cuenca, además de ser donde se depositan los materiales transportados, entre otros procesos geomorfológicos.

Explicado lo anterior, se presenta el mapa de las zonas funcionales de la subcuenca de la laguna de Zapotlán. En este caso, la zona alta representa las laderas de la Sierra del Tigre, la Sierra de Usmajac y el Nevado de Colima. Le sigue la parte media donde se ubican las cañadas de los escurrimientos intermitentes y que ha sido vastamente afectada por el cambio de uso de suelo a agricultura de riego y cultivos no convencionales como lo son el aguacate y las berries. Por último, la zona funcional baja es donde se encuentra la laguna de Zapotlán y la cabecera municipal de Ciudad Guzmán.



Mapa 17. Microcuencas en el área de estudio hidrológico
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 18. Zonas funcionales hidrológicas en el área de estudio hidrológico
Fuente: Elaboración propia.

La siguiente clasificación se obtiene a partir del análisis para la subcuenca completa:

Tabla 10. Zonas funcionales hidrológicas

Zona Funcional	Rango altitudinal (msnm)	Área (km2)	% de Área total
Baja	1,482 – 1,591	147.1	32%
Media	1,591 – 1,897	157.6	34%
Alta	1,897 – 3,863	155.5	34%

Fuente: Elaboración propia.

Toda aquella actividad antropogénica que sea intrusiva para el ciclo hidrológico, originada en las zonas altas y medias de las microcuencas generan perturbaciones en la zona funcional baja, específicamente a la altura de la cabecera municipal de Ciudad Guzmán y en las cercanías de la laguna.

Análisis morfométrico

La morfometría de cuencas es una herramienta fundamental para evaluar el comportamiento hidrodinámico de las unidades hidrológicas, parte de la topografía y su influencia en los procesos fluviales. De este modo, el análisis morfométrico contribuye a la planificación ambiental y la adecuada gestión del recurso hídrico superficial (Bó et al., 2018). Este estudio abarca un análisis de parámetros que se pueden agrupar en cuatro categorías: de relieve, topológicas de la red de drenaje y longitud de los cauces, de forma y tamaño de la cuenca y de intensidad fluvial (Gil et al., 2014).

En este caso, se analizaron los principales parámetros que aportan la información más completa y clara en torno a la respuesta hidrológica del sistema fluvial que se tiene en el municipio, con el propósito de zonificar el peligro por inundación en los puntos que reflejan la mayor cantidad de incidencias, lo que se aborda con más detalle en el Módulo de Fenómenos Hidrometeorológicos.

Los parámetros de relieve son los que tienen mayor peso ya que las pendientes del terreno definen el tipo de escorrentía, su velocidad, el potencial erosivo que trae consigo y la infiltración o saturación. La pendiente media del cauce principal es un gran indicador del grado de respuesta de un cauce tras un evento de precipitación extremo; las pendientes escarpadas determinan una escorrentía veloz, por lo que se disminuye la infiltración y la respuesta a la precipitación es más rápida, se incrementan la cantidad de agua en los caudales y provoca una mayor energía erosiva (Díaz y López Bermúdez, 1987); para lo que se involucran parámetros como la altitud máxima y mínima de la cuenca.

A continuación, se muestra una tabla con los parámetros directos e indirectos relacionados con el relieve de la cuenca de la Laguna de Zapotlán y su curva hipsométrica.

Tabla 11. Parámetros de relieve de la cuenca del municipio

Área de la cuenca	km2	529.02
Perímetro de la cuenca	km	128.31
Longitud de la cuenca	km	3.17
Cota inicial Cauce principal	msnm	3883
Cota final Cauce principal	msnm	1382
Pendiente media de la cuenca	%	2.30%

Fuente: Elaboración propia.

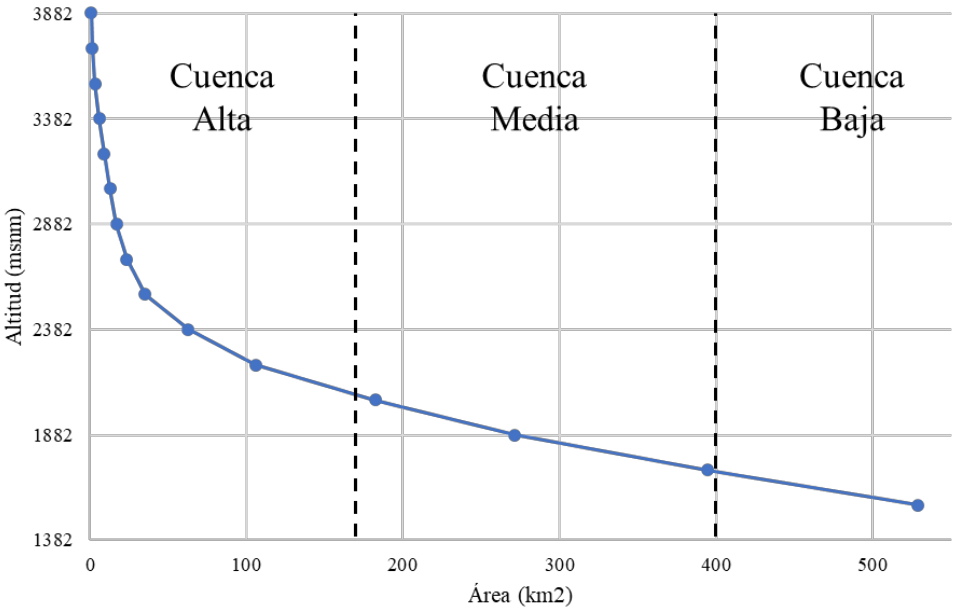


Figura 26. Curva hipsométrica del área de estudio hidrológico
Fuente: Elaboración propia.

La pendiente media de la cuenca menor al 2.9%, se considera que tiene un relieve plano. La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de una cuenca. Esta herramienta permite estimar el estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca, función que relaciona la altitud con el área, por lo tanto, cambia con el tiempo a medida que la cuenca se va "lavando" o denudando (Guerra, 2002). En las cuencas se pueden presentar los siguientes 3 tipos de curvas hipsométricas: las cuencas con ríos jóvenes presentan gran potencial erosivo. Las cuencas con ríos maduros se encuentran en estado de

equilibrio y, por último, las cuencas con ríos viejos se caracterizan por acumular sedimento. La forma de las curvas se describe en la siguiente figura:

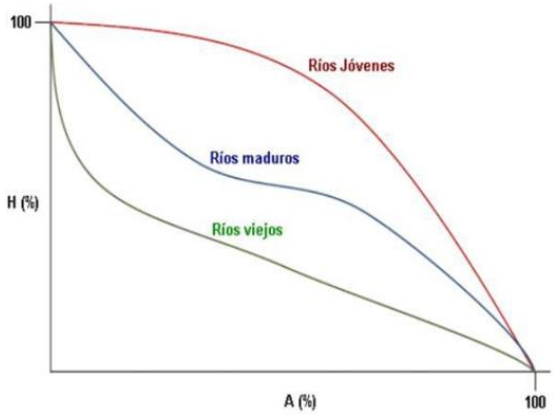


Figura 27. Cambio de forma en curva hipsométrica con la edad del río
Fuente: Ibáñez et al., 2011.

Tomando en cuenta la forma de la curva hipsométrica calculada para el presente estudio, se puede inferir que la cuenca de Zapotlán el Grande es una cuenca sedimentaria, es decir es una cuenca vieja. Este tipo de cuenca está típicamente en una etapa de madurez geomorfológica, donde los procesos de erosión y sedimentación han alcanzado un balance, resultando en un paisaje estable sin grandes desniveles.

La estabilidad de la cuenca se refleja en la presencia de llanuras aluviales y terrazas fluviales, que indican una sedimentación constante a lo largo del tiempo. En términos de erosión y sedimentación, la cuenca sedimentaria tipo C no experimenta tasas extremas de ninguno de estos procesos. La erosión es moderada, lo que ayuda a mantener la integridad del suelo y evita la formación de características topográficas abruptas. Del mismo modo, la sedimentación ocurre a un ritmo constante, contribuyendo a la creación de suelos bien desarrollados y fértiles, aptos para la vegetación densa que también actúa como estabilizador del terreno.

La estructura geológica subyacente de la cuenca suele ser de rocas sedimentarias horizontales o con baja inclinación, como lutitas, areniscas y conglomerados, lo que también contribuye a la suavidad del relieve. Esta configuración geológica, junto con la cobertura vegetal y los suelos profundos, favorece un buen equilibrio hidrológico, donde las precipitaciones y el escurrimiento están en armonía, evitando variaciones drásticas en el relieve y minimizando los riesgos de erosión severa o sedimentación rápida.

Los parámetros de la red de drenaje análisis topológico de la red de drenaje se pueden establecer los órdenes jerárquicos de los cauces, su longitud y la cantidad de estos (Gil & López Bermúdez, 2014). Por otro lado, las variables de longitud engloban los parámetros por cada orden de cauce, total del cauce principal y su índice de sinuosidad. Este último se obtiene mediante una proporción de la longitud del cauce principal entre la longitud axial de la cuenca. Este dato nos permite saber la forma del canal debido a que muy raramente la longitud del canal corresponde a la del valle (Gil & López Bermúdez, 2014).

Los cauces sinuosos se caracterizan por arrastrar carga de todo tipo ya que se encuentran ensanchados, los meandrizantes suelen llevar en suspensión de todo tipo de material, lo que genera incisiones en el cauce y ensanchamiento en los meandros. En los cauces entrelazados predomina la carga de fondo y el ensanchamiento, mientras que los cauces anastomosados se caracterizan por tener material en suspensión y un lento ensanchamiento de los meandros (Morisawa, 1985).

A continuación, se muestran un resumen de los parámetros de la red de drenaje del área de estudio hidrológico del municipio:

Tabla 12. Parámetros de la red de drenaje del área de estudio hidrológico

Longitud del cauce principal	km	28.14
Longitud total de Cauces	km	1053.37
Pendiente media del cauce principal	%	8.90%
Índice de sinuosidad	-	1.06

Fuente: Elaboración propia.

El cauce principal, el arroyo Piedra Ancha, nace en las laderas del Volcán de Colima y tiene una pendiente media de 8.9%. Este tiene un índice de sinuosidad de 1.06, lo que se cataloga como un cauce sinuoso. Un cauce de tipo sinuoso se caracteriza por una serie de curvas amplias y suaves, presentando un patrón de ondulación moderada a lo largo de su recorrido. Este tipo de cauce se encuentra en áreas con pendientes moderadas y materiales sedimentarios que permiten cierta erosión y deposición, resultando en un índice de compacidad mayor que 1, pero no tan elevado como en los cauces meandrizantes. Las curvas amplias y la moderada desviación del cauce respecto a una línea recta reflejan un recorrido más largo, pero menos extremo que en los meandros pronunciados.

El índice de sinuosidad de un cauce sinuoso indica un curso con curvas suaves, sin ser tan cerradas como en los cauces meandrizantes. Estas características permiten una erosión y

deposición moderada, con estabilidad relativa en comparación con los cauces meandrizantes. Las curvas suaves, la erosión y deposición moderada, y la mayor estabilidad dinámica definen los cauces sinuosos, que, aunque ondulados, son más estables y menos cambiantes que los cauces con meandros pronunciados.

La forma de una cuenca, en función de su tamaño, perímetro, longitud y anchura es fundamental para definir el comportamiento, de modo que está directamente relacionada con la capacidad de recolectar agua y drenarla en un punto común (Gaspari et al., 2012). Se toman en cuenta parámetros como índice de forma, coeficiente de compacidad y razón de alongamiento, parámetros que representan la forma de una cuenca en relación con sus crecidas. Una cuenca alargada tendrá menor probabilidad de recibir lluvias intensas y simultáneas sobre la totalidad de su superficie y por este motivo está sujeta a crecidas de menor magnitud en comparación a las cuencas más anchas, que presentan un sistema de drenaje con mayor energía cinética, arrastrando más sedimento y siendo más propensas a crecidas de mayor magnitud (Bó et al., 2018). Enseguida se muestran los parámetros de forma recabados para el área de estudio hidrológico junto con las tablas que relacionan los valores obtenidos para los parámetros con la clasificación de forma.

Tabla 13. Representación gráfica del factor de elongación de una cuenca

Valores	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.30 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Elaboración propia a partir de Horton, 1945.

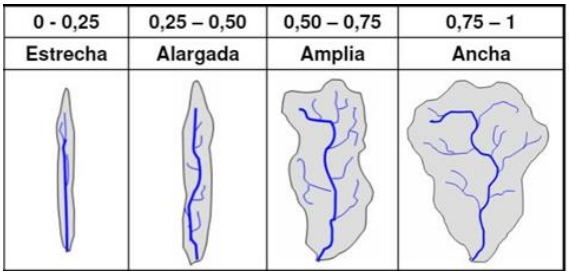


Figura 28. Representación gráfica del factor de elongación de una cuenca
Fuente: Horton, 1945.

Figura 29. Parámetros de forma del área de estudio hidrológico

Factor de forma de la cuenca	admnsl	0.85
Relación de elongación	admnsl	1.04
Relación de circularidad	admnsl	0.4
Índice de compacidad	gravelins	1.56

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca de la Laguna de Zapotlán tiene una forma muy ensanchada. El valor del factor de forma es de 0.85, lo que representa una cuenca ancha. Este valor del factor de forma indica que la cuenca es casi tan ancha como larga, lo que implica una distribución más uniforme del área de drenaje en relación con su longitud máxima. Como resultado, la respuesta hidrológica de la cuenca a eventos de precipitación es relativamente rápida, ya que el agua precipitada en diferentes partes de la cuenca tiene distancias similares que recorrer para alcanzar la desembocadura. Esta característica puede dar lugar a caudales más altos y picos de escorrentía más pronunciados en comparación con cuencas más alargadas.

Desde un punto de vista hidrológico, una cuenca con un factor de forma de 0.85 puede presentar riesgos aumentados de inundación en eventos de precipitaciones intensas debido a la rápida convergencia de los flujos hacia el canal principal. Además, la forma relativamente compacta favorece una distribución más homogénea de los procesos erosivos y deposicionales dentro de la cuenca, lo que puede influir en la estabilidad del cauce y en la dinámica sedimentaria. En términos de gestión de recursos hídricos y planificación de infraestructuras, es crucial considerar este factor de forma para diseñar medidas de control de inundaciones y manejo de cuencas de manera efectiva.

Los *parámetros de intensidad fluvial* son índices que relacionan los parámetros más significativos de las variables de relieve, de la red de drenaje y de la forma de cuenca. Uno de los más importantes es la densidad de drenaje que relaciona la longitud total de cauces de una cuenca y su propia área. A mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, por lo cual se considera como un indicador de peligrosidad (Horton, 1945).

La densidad de drenaje se relaciona de forma directa al tipo de suelo, al grado de cubierta vegetal y a la cantidad e intensidad de precipitación (Días & Bermúdez, 1987) por lo que permite que se interprete como un análisis de lo que se produce en una cuenca en términos de cantidad de agua y sedimentos.

El tiempo de concentración es otro parámetro del que ya se ha venido hablando anteriormente y se define como el tiempo en que tarda en escurrir el agua que cae en la superficie de una

cuenca hasta llegar al punto de salida, es decir, el tiempo de drenado de la cuenca. Cuando el tiempo de concentración es menor, hay un mayor riesgo a que se presenten problemas de inundación debido a que la respuesta rápida de la cuenca supera la capacidad humana de evacuar las zonas vulnerables.

Tabla 14. Parámetros de intensidad fluvial del área de estudio hidrológico

Densidad de drenaje (km/km2)	Clasificación	Tiempo de concentración Kirprich (hrs)	Clasificación
1.99	Moderada	2.19	Lento

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo una densidad de drenaje de 1.99 km/km2, clasificada como moderada para el área de estudio hidrológico. En sí, todas las microcuencas presentan una densidad de drenaje moderada (Strahler, 1968), refiriéndose a que una parte significativa del agua de la escorrentía se logra infiltrar y/ó evaporar antes de llegar al punto más bajo de la cuenca que es la laguna.

Cabe resaltar que el tipo de suelo y la cobertura vegetal influye directamente en la densidad de drenaje y las zonas donde se encuentra suelo urbanizado y terrenos agrícolas pueden incrementar este valor, trayendo consigo mayor arrastre de sedimentos. (Ibid, 1968).

La cuenca en sí presenta un tiempo de concentración lento ya que los escurrimientos principales nacen en las laderas de las serranías montañosas que se encuentran circundando el municipio, y el desnivel altitudinal se va haciendo menos gradualmente, lo que le da tiempo a la cuenca para que su respuesta a eventos de precipitación extrema amortigüe los arroyos intermitentes y no causen estragos de inundaciones.

Hidrología subterránea

El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento potable para toda la población mundial y específicamente para la población del municipio de Zapotlán el Grande. El agua que se encuentra debajo de la tierra es parte del ciclo del agua, también llamado ciclo hidrológico. Se origina en zonas elevadas, como montañas y bosques, y se desplaza hacia áreas más bajas, como valles, humedales y llanuras costeras. Según una perspectiva científica integral, su movimiento en los acuíferos crea tres sistemas de flujo principales: local, intermedio y regional. Desde una perspectiva ecosistémica, es crucial destacar que estos sistemas interactúan con otros componentes superficiales del ciclo y mantienen a los manantiales, los ecosistemas ribereños, lacustres y los humedales en cuencas cerradas, como

la de Zapotlán. (Carmona Lara, Carrillo Rivera, Hatch Kuri, Huizar Álvarez, & Ortega Guerrero, 2017).

Las actividades humanas y los sistemas de producción han tenido un gran impacto en el ciclo del agua, afectando tanto la escorrentía superficial como el movimiento y retención del agua subterránea. En regiones donde se utiliza riego con aguas subterráneas, como en la cuenca de Zapotlán, donde se extrae más agua de la que se recarga (Scott, Dall'erba, & Caravantes, 2010), el retorno del riego es deficiente debido a la alta evaporación y uso de agua virtual en cultivos, lo que resulta en descargas de aguas residuales de baja calidad con un impacto ambiental significativo (UNOPS, 2016). La perforación de nuevos pozos y el aumento de la extracción de agua subterránea a niveles insostenibles para el ecosistema representan una carga importante y generan conflictos por el agua que están en aumento en la región (Carrillo-Rivera et al., 2016).

Además, otra de las principales fuentes de la problemática del recurso hídrico subterráneo, a escala nacional, es la falta de un sistema adecuado de monitoreo y generación de datos hidrogeológicos, cambios en los niveles, flujos y calidad del agua subterránea. Los pozos privados de extracción no registran adecuadamente los volúmenes de agua extraídos ni los parámetros hidroquímicos, y no existe una red básica mínima que utilice pozos abandonados para monitoreo (Parizi, Mossa Hosseini, Ataie-Ashtiani, & Simmons, 2019).

El apropiado monitoreo, entendimiento hidrogeológico y comunicación permitiría una mejor negociación respeto al aprovechamiento, respetando su relación con el resto de los componentes del ambiente (Arévalo & Joel Carrillo Rivera, 2013), minimizando así los posibles efectos negativos por su extracción no regulada y la compensación de impactos o a los afectados ambientales por su evaporación inducida o degradación por uso en fines no prioritarios anti-resilientes al cambio climático (Clausen, 2014). Actualmente, el enfoque dado al estudio del agua subterránea en el territorio nacional pretende cuantificar volúmenes a través del balance hídrico con datos no hidrogeológicos de un banco de agua, sin entender su respuesta ni relación con diversas componentes del ambiente con base en la mejor ciencia e hidrogeología compleja de los sistemas de flujo subterráneo (Carrillo, 2000; Huízar et al., 2004; Peñuela, 2007).

Cada año, la CONAGUA establece la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos utilizando "acuíferos administrativos", que son áreas delimitadas por líneas poligonales en todo el país. Sin embargo, esta delimitación no tiene en cuenta las características hidrogeológicas regionales y locales, ni tampoco considera aspectos como la piezometría, la

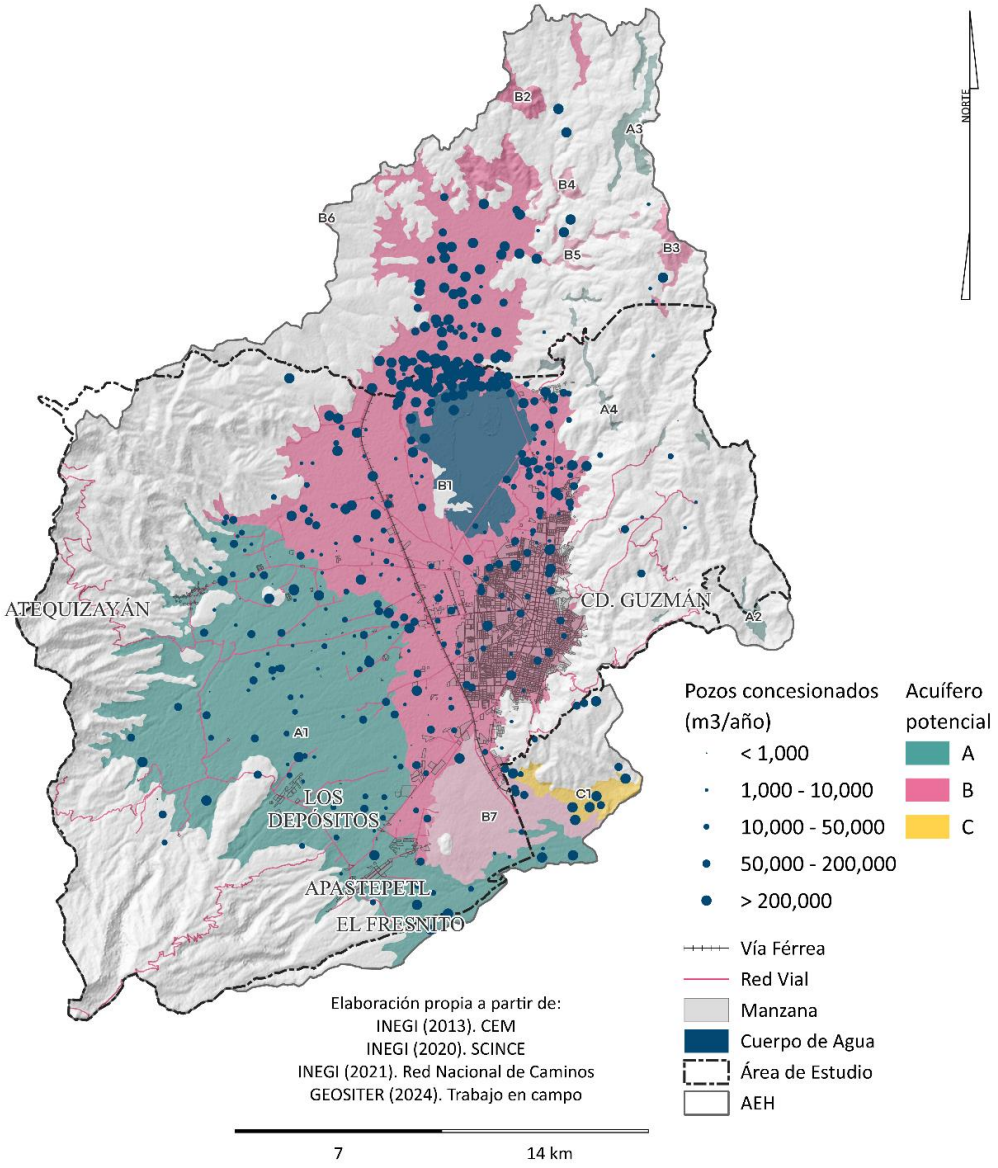
disposición de los contactos geológicos y otras variables importantes como la recarga y permeabilidad, según señala Rizo (2017).

Con el propósito de zonificar mejor los acuíferos y buscar una gestión más adecuada del agua, se delimitaron para el municipio de Zapotlán el Grande las zonas potenciales de almacenamiento de agua subterránea (conocidos como acuíferos potenciales o probables) a partir de variables hidrogeológicas (pozos, unidades hidrogeológicas y unidades litológicas) siguiendo la metodología establecida por Rizo (2017).

La ubicación de estos depende de las unidades hidrogeológicas donde se tiene material menos consolidado, por ende, son zonas con mayor permeabilidad en las cuales existe mayor recarga y almacenamiento de agua. Se identificaron que las unidades geohidrológicas con posibilidades medias y altas de permeabilidad se situaban principalmente en cuatro tipos de material geológico: aluvial, arenisca – conglomerado, basalto y roca caliza, siendo el aluvial el que mayor coincidencia presentaba. Se determinó la densidad de pozos con la cual se reconocieron las áreas que presentaron mayor densidad de extracción y que se localizan sobre las unidades geohidrológicas con posibilidades altas y medias de permeabilidad, permitieran darles validez a las zonas potenciales de almacenamiento de agua subterránea, respetando los polígonos de la geología (principalmente aluvial y en menor medida el resto).

La perforación excesiva y la extracción de agua subterránea en cantidades que el ecosistema no puede sostener representan una carga considerable y una presión humana cada vez más significativa en la región. En la cuenca, el rápido aumento de la industria del cultivo de aguacates, berries y la exportación agrícola ha intensificado esta presión y los impactos ambientales en los humedales, así como la seguridad futura del suministro de agua potable en un contexto de cambio climático (IMTA- OXFAM 2021).

Uno de los principales problemas que requiere atención prioritaria en la Cuenca es la calidad del agua que se extrae y la eficacia de los procesos de purificación, tratamiento, desinfección y distribución actuales. Es crucial analizar y asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes, incluidos los parámetros de riesgo emergentes para la salud, e implementar propuestas de mejora para garantizar que el agua entregada por el organismo operador (SAPAZA) a la población cumpla con los criterios del derecho humano al agua.



Mapa 19. Hidrología subterránea
Fuente: Elaboración propia.

En el contexto del cambio climático y la sostenibilidad de las fuentes de suministro, es necesario examinar y gestionar los impactos acumulativos de la extracción, la calidad y el uso intensivo del agua subterránea en diversos sectores productivos, buscando oportunidades de mitigación intersectorial (FAO, 2016; IAIA, 2009; IFC, 2015).

Dada la intensiva extracción y la contaminación en la región volcánica, así como la presión de la agroindustria y los sistemas de riego sobre las fuentes de agua subterránea para el consumo humano, es crucial desarrollar programas para estudiar, monitorear y proteger la calidad del agua subterránea para el consumo humano directo y cumplir con el derecho humano al agua.

La transferencia de derechos y la migración de bombas de extracción desde pozos agrícolas de pequeños productores hacia áreas de concentración de bombeo en zonas periurbanas de producción agroindustrial han tenido un impacto significativo en los servicios ecosistémicos del agua subterránea. En la misma región volcánica, se registran concentraciones peligrosas de arsénico, selenio y flúor debido a la contaminación geogénica y la sobreexplotación, lo que subraya la importancia de una gestión adecuada de los recursos hídricos. Las deficiencias en el modelo de gestión incluyen la falta de información sobre volúmenes de extracción no registrados, así como la extracción ilegal y el sobre concesionamiento. Los subsidios gubernamentales distorsionan los precios del agua y promueven su uso excesivo, lo que plantea desafíos adicionales para la conservación del recurso.

Una vez teniendo una delimitación de acuíferos que toma en cuenta las características hidrogeológicas del territorio se prosigue a obtener las zonas de recarga. Para conocer las zonas de recarga de agua subterránea en el área de estudio, se utilizó la metodología propuesta por Piscopo (2001), la cual surgió con el fin de generar la variable (R), correspondiente a la recarga neta, del método de vulnerabilidad DRASTIC (Rizo-Decelis, 2017). Esto supone ciertas limitaciones, debido a que el método de Piscopo reclasifica las tres variables utilizadas para su cálculo, en variables semi-cualitativas, que se traducen a cuantitativas por medio de relaciones numéricas (adimensionales) entre métodos (Piscopo, 2001). Las tres variables que utiliza Piscopo (2001) para el cálculo de la recarga (Rr) son, (Fp) el factor de precipitación, (Fs) factor de pendiente y (Fsp) factor de capacidad de infiltración del suelo, que se relacionan de la siguiente forma:

$$Rr = Fp+Fs+Fsp$$

Las variables representadas en capas de información geográfica son reclasificadas de acuerdo con la siguiente tabla (Piscopo, 2001):

Tabla 15. Clasificación de información geográfica

Pendiente (%)	Fs	Precipitación [mm/año]	Fp	Capacidad de infiltración	Fsp
<2	4	>850	4	Muy Alta	5
02-oct	3	700-850	3	Alta	4
oct-33	2	500-700	2	Moderada	3
>33	1	<500	1	Lenta	2
-	-	-	-	Muy Lenta	1

Fuente: Elaboración propia a partir de Piscopo, 2001.

Los valores obtenidos por la ecuación estiman la variable de recarga R para la metodología DRASTIC, según las equivalencias de la siguiente tabla (Aller et al., 1987 y Piscopo 2001):

Tabla 16. Variable de recarga R

Rr Piscopo	Recarga (DRASTIC)	Recarga neta (mm)	Recarga cualitativa
3 a 5	1	0-50	Muy Lenta
5 a 7	3	50-103	Lenta
7 a 9	6	103-178	Moderada
9 a 11	8	178-254	Alta
11 a 13	9	>254	Muy Alta

Fuente: Elaboración propia a partir de Piscopo, 2001.

Para el factor Fs, se generó una capa de pendiente, a partir del Modelo Digital de Elevación de 5 m de resolución, mediante la herramienta de análisis superficial de ArcMap, la cual se clasificó de acuerdo con los valores mostrados en la tabla anterior (véase Tabla X).

El factor Fp se creó utilizando la capa de precipitación media anual presentada en el apartado anterior de climatología.

Rizo (2017) señala que la variable permeabilidad del suelo supone cierta subjetividad al tener carácter cualitativo. Por ello, propone calificar esta variable con respecto al uso de suelo, litología y textura del suelo, y llamarla capacidad de infiltración (Fsp). No obstante, no detalla los valores empleados, por lo que se proponen los siguientes según las características del área de estudio. Esta propuesta es meramente teórica, basada en la bibliografía revisada; con base a lo dicho anteriormente, se decidió seguir la propuesta de metodológica de Matus, Faustino & Jiménez (2007). Utilizando esta metodología se deben de ponderar cinco atributos, pendiente, tipo de suelo, geología, uso de suelo y cobertura vegetal. Su relación se establece en la ecuación propuesta por Matus, Faustino y Jiménez (2007).

$$ZR=0.27\times Pend+0.23\times Ts+0.12\times Tr+0.25\times cve+0.13\times Us$$

Utilizando la calculadora ráster del programa ArcMap se realizó la operación de la ecuación anterior con los ráster generados anteriormente. En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los resultados obtenidos. Estas cinco categorías se usaron para dar congruencia con la metodología de Piscopo (2001).

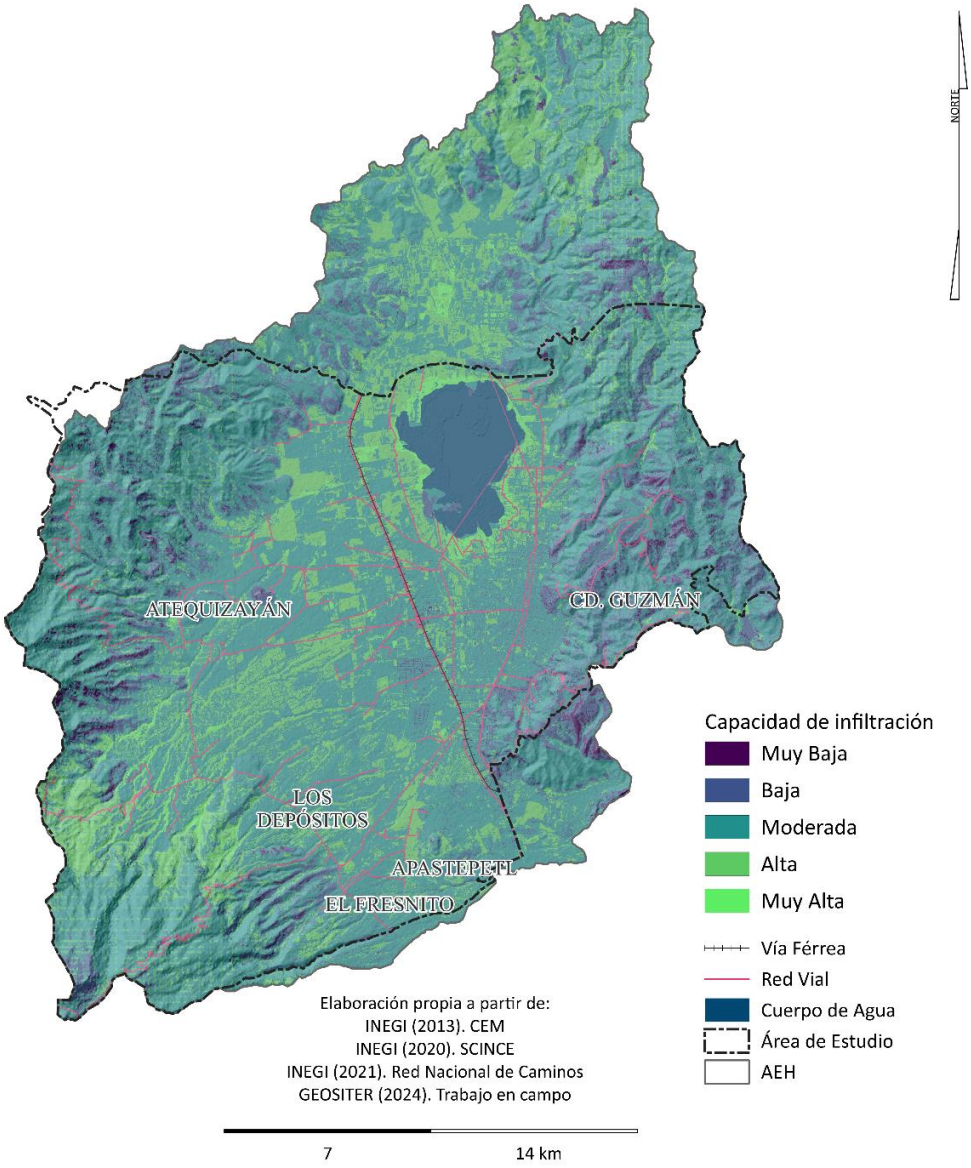
Tabla 17. Capacidad de infiltración

Capacidad de infiltración	Rango
Muy alta	4.1-5
Alta	3.5-4.09
Moderada	2.6-3.49
Baja	2-2.59
Muy Baja	1-1.99

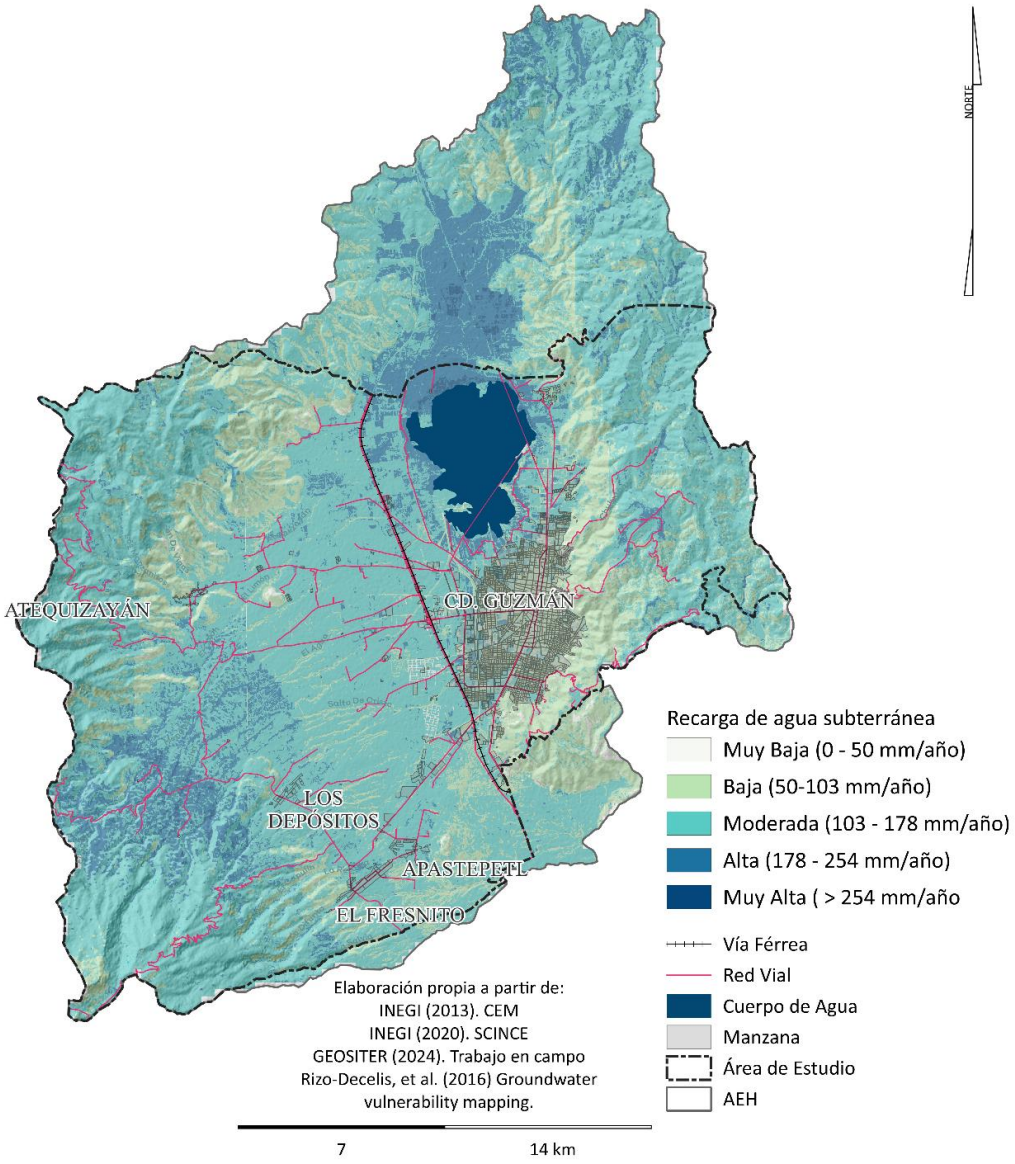
Fuente: Elaboración propia a partir de Piscopo, 2001.

En el siguiente mapa se muestran las zonas con mayor potencial de recarga de agua subterránea, que en este caso funge como el factor de capacidad de infiltración (Fsp) para motivos del cálculo de la recarga neta en el área de estudio.

Utilizando el factor de capacidad de infiltración (Fsp) representado en el mapasiguiente, en conjunto con el factor precipitación (Fp) y el factor de la pendiente (Fs), se utilizó la calculadora raster del programa ArcMap para obtener la capa de recarga neta con su clasificación establecida en la tabla presentada anteriormente.



Mapa 20. Capacidad de infiltración
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 21. Capacidad de recarga de agua subterránea
Fuente: Elaboración propia.

Áreas naturales protegidas

A la fecha de elaborado el estudio, dentro del área de estudio se tienen registradas tres Áreas Naturales Protegidas. Estas superficies son parte de los elementos que conforman los sistemas expuestos, como se verá más adelante, debido a sus funciones ecológicas.

Las que son señaladas como parques ecológicos, actualmente forman parte de la traza urbana de Ciudad Guzmán, conformando parte de su periferia y como área de transición entre la urbanización y la frontera agrícola al este del asentamiento.

Por su parte, el macizo boscoso que corona las cumbres del Nevado de Colima, se encuentra dividido por dos demarcaciones de ANP. Esta zona actualmente se ve amenazada por las actividades como la tala ilegal, el ecoturismo irresponsable, acciones de desmonte para la instalación de cultivos de aguacate y por los incendios forestales. Fenómenos que serán abordados más adelante.

Figura 30. Áreas Naturales Protegidas en el área de estudio
Fuente: Elaboración propia.

1.6 Caracterización del medio social

Demografía

El área de estudio considera a las localidades que son provistas de servicios municipales como agua y drenaje, servicios de salud, servicios de seguridad pública y de rescate. Cabe añadir que localidades como Atenquique y sus alrededores, aunque son consideradas por Catastro municipal, no fueron incluidas por su discontinuidad geográfica y administrativa para el Ayuntamiento en general.

En las variables capturadas en el Censo de Población y Vivienda del 2020 realizado por INEGI, no se identificaron grupos demográficos como de etnia, religión o condición migratoria con remarcados patrones espaciales.

Por otra parte, según la información aportada por los asistentes al taller de cartografía participativa, existe una población flotante no identificada la cual se conforma por trabajadores del sector agrícola, que en su mayoría son migrantes nacionales de otras entidades y de bajos recursos económicos.

No se encontraron referencias concluyentes que aportaran información específica respecto a este fenómeno, el cual es evidente a través de la sobre demanda de vivienda presente en el municipio.

Distribución de la población

En la región, Ciudad Guzmán es el núcleo urbano más grande, lo que otorga una característica mega cefalea a la zona, debido a que es en este lugar donde se concentran la mayor parte de servicios públicos y privados, así como la población en general.

Existen localidades rurales satélite distribuidas principalmente en el valle, donde destacan Atequizayán y El Fresnito al oeste de la cabecera. Aunque su población total se mantiene por debajo de los 2 mil habitantes, la carencia de servicios básicos y su aislamiento geográfico acentúan situaciones de desigualdad y marginación.

Tabla 18. Población total por localidad

Localidad	Población Total	Porcentaje
Cd. Guzmán	112,429	97.62
El Fresnito-Apastépetl	1,813	1.57
Atequizayán	791	0.69
Los Depósitos	132	0.11
Total	115,165	100

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SCINCE, 2020.

Nivel socioeconómico

Para complementar esta información, se realizó un análisis de nivel socioeconómico a partir de los datos del SCINCE 2020 de INEGI, concretamente de los datos de vivienda para las unidades AGEB presentes en la zona, para lograr una mejor representatividad de las localidades rurales, se trazaron polígonos a partir de fotointerpretación, a los que se les asignaron las claves geoestadísticas de los puntos de localidad rural propuestos por INEGI.

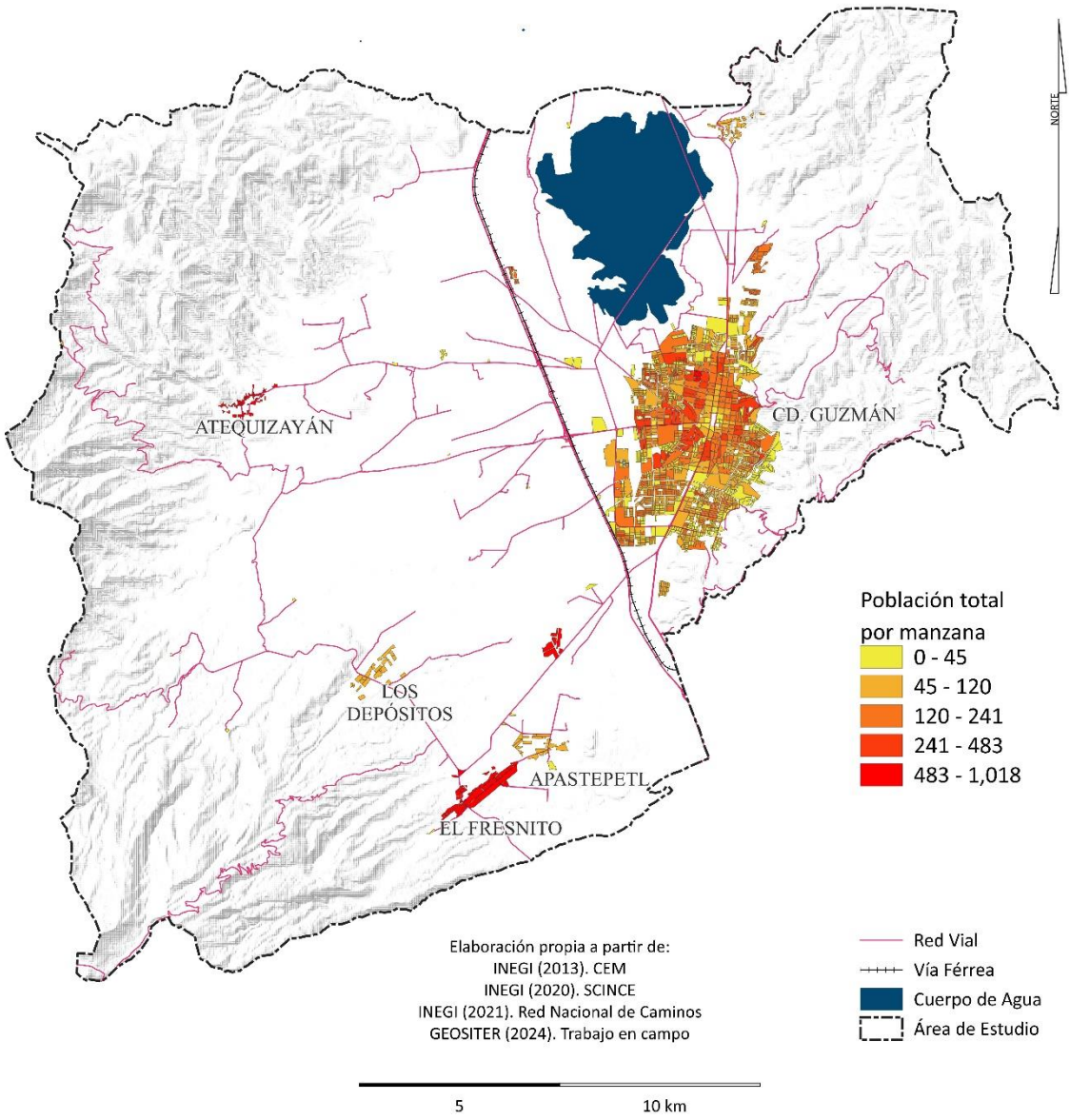
Se toma de referencia el indicador propuesto de la Asociación Mexicana de Agencias de Inteligencia de Mercado y Opinión Pública (AMAI), donde los niveles más altos (A/B) significan áreas con viviendas equipadas con servicios básicos y que cuentan con electrodomésticos, automóvil y existen habitantes con más de 12 años de estudios. Por le contrario, el nivel E infiere falta de cobertura de servicios básicos, acceso limitado a electrodomésticos y automóviles, así como pocos años de estudio.

El resultado es que en Ciudad Guzmán es donde existe mayor variedad de los niveles identificados, mientras que en las localidades rurales la clase C y C- es la de mayor predominio, el nivel E tiene poca presencia, aunque se marca en sitios con aislamiento geográfico.

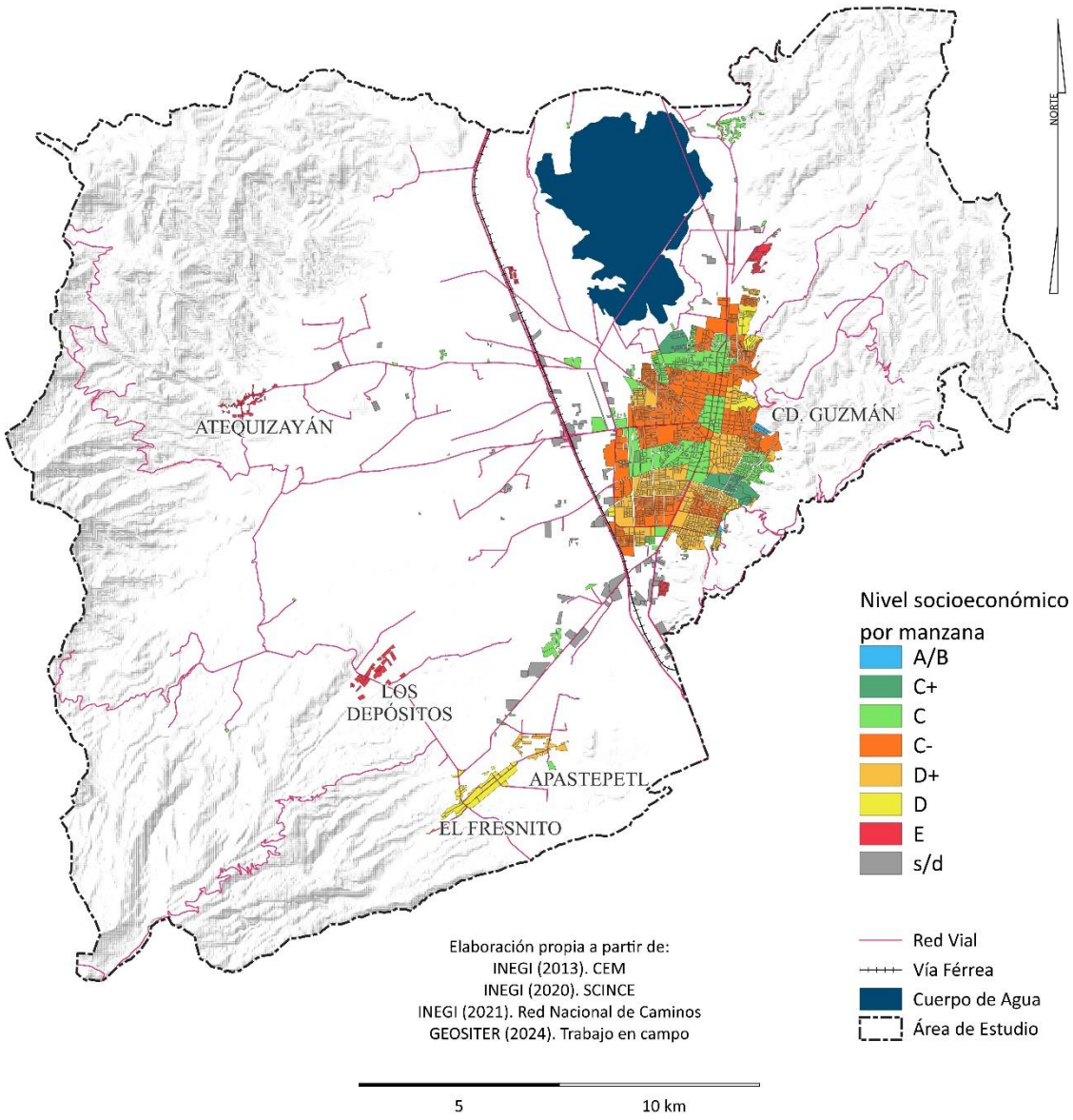
Tabla 19. Población total por nivel socioeconómico

Localidad	Nivel Socioeconómico							
	A/B	C+	C	C-	D+	D	E	s/d
Cd. Guzmán	157	2,053	18,491	54,154	33,843	3,087	406	238
El Fresnito-Apastépetl	-	-	725	11	59	1,018	-	-
Atequizayán	-	-	28	188	-	-	575	-
Los Depósitos	-	-	20	-	-	-	112	-
Total	157	2,053	19,264	54,353	33,902	4,105	1,093	238

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SCINCE 2020.



Mapa 22. Distribución de la población
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 23. Nivel socioeconómico
Fuente: Elaboración propia.

Uso de suelo

Esta variable espacial se explora con mayor detalle en los siguientes apartados. Sin embargo, cabe señalar que el emplazamiento de Ciudad Guzmán, se relaciona con la disposición de agua dulce debido a la poca profundidad del acuífero. Esta característica imprime aspectos positivos y negativos, puesto que el cambio de uso de suelo en las zonas forestales, ha derivado en alteraciones en la escorrentía y de los niveles del manto freático, así como la aceleración de procesos tectónicos como la subsidencia dicha localidad.

Por otra parte, la riqueza natural que aporta el paisaje, ha permitido el establecimiento de industrias agrícolas que han caracterizado a la región desde tiempos históricos. Esto hace que la gestión del uso de suelo y de bienes públicos como el agua, requieran un alto nivel de detalle para prevenir desastres.

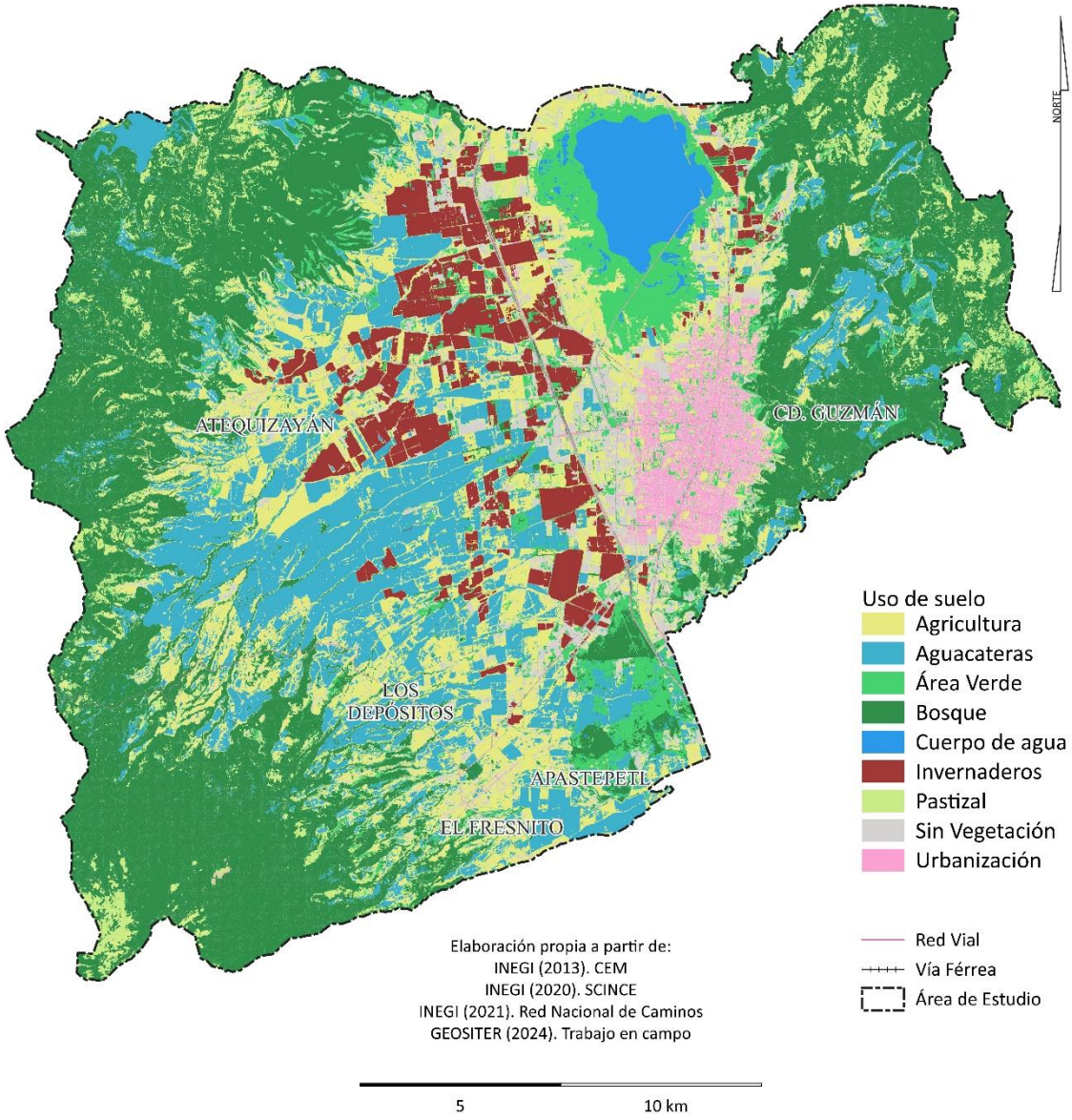
Tabla 20. Cobertura de uso de suelo

Uso de suelo general	Superficie (ha)	Porcentaje
Cuerpo de agua	951.33	2.08
Área Verde	2,939.76	6.43
Sin Vegetación	3,303.30	7.23
Urbanización	1,077.20	2.36
Pastizal	2,785.70	6.10
Agricultura	6,652.64	14.56
Invernaderos	4,065.40	8.90
Aguacateras	9,102.70	19.92
Bosque	14,817.27	32.43
Total	45,695.30	100

Fuente: Elaboración propia.

Uso de suelo urbano

En las principales vialidades de la ciudad, se observa una especialización en usos de suelo urbano destinados a actividades relacionadas con los servicios y el comercio, abarcando hasta el primer cuadro del centro histórico, además de la parte oriente del periférico Sur como señala (Bozzano et al., 2008), por vocación central se entiende al lugar donde predominan usos y funciones comerciales y de servicios sobre otras vocaciones, así como los flujos relacionados con dichas funciones; se trata, entre todos los lugares, aquellos de máxima intensidad de ocupación" es decir que estas áreas son puntos centrales de interacción y actividad económica, atrayendo a una gran cantidad de personas y generando flujos de tráfico y movimiento tanto de personas como de mercancías.



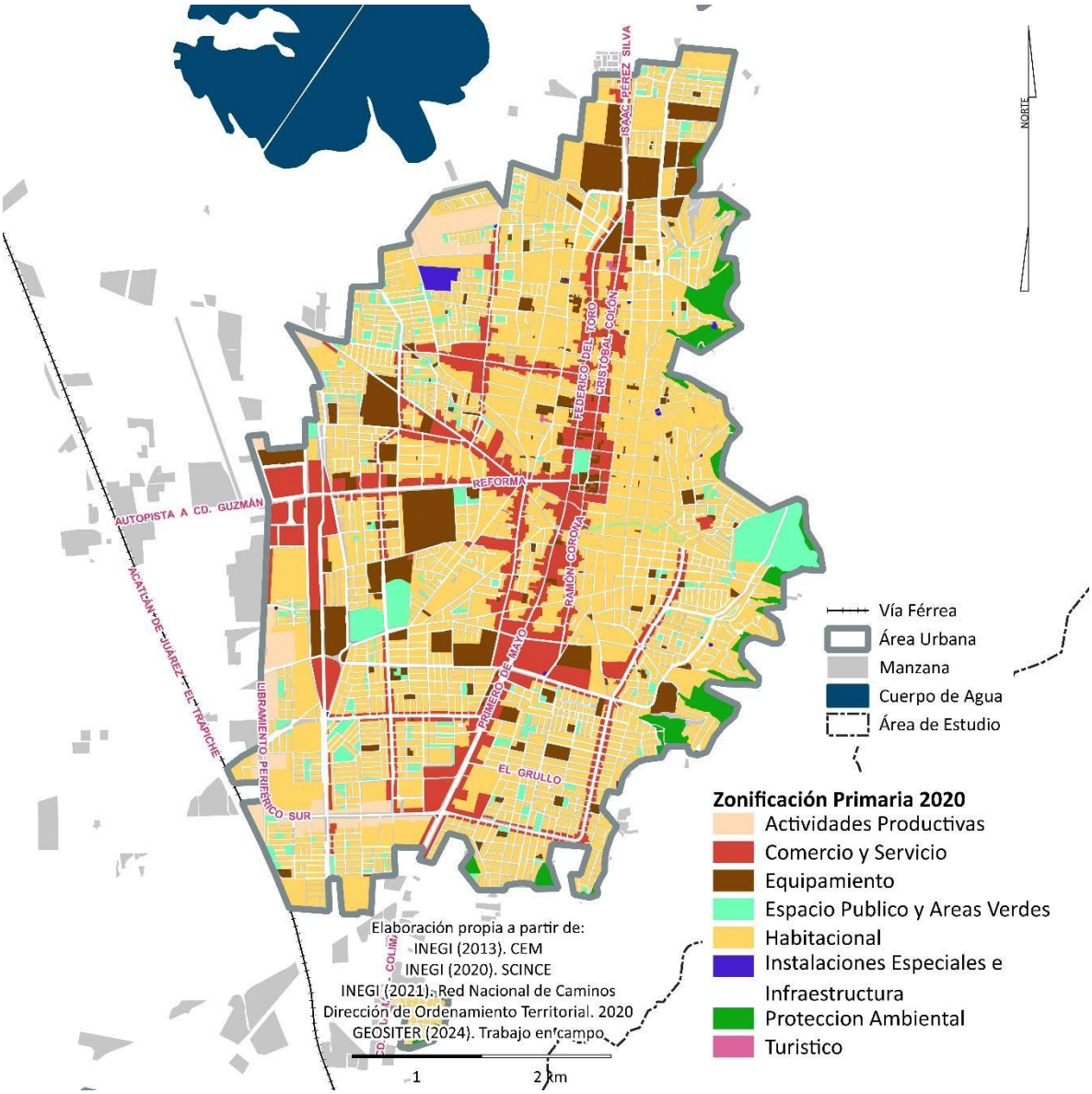
Mapa 24. Uso de suelo
Fuente: Elaboración propia.

La zonificación de tipo habitacional se erige como un indicador primordial de vitalidad, al constituir el espacio donde se desarrollan las actividades fundamentales de la vida cotidiana, tales como el descanso, la convivencia familiar y las rutinas de higiene personal, entre otras. Esta área se distingue como una porción de territorio debidamente definida y claramente delimitada en la cabecera municipal.

La representación de este tipo de uso de suelo abarca un total de 1,316.8 hectáreas de terreno urbanizado destinado a esta actividad, extendiéndose de manera amplia y abarcando todos los puntos cardinales, a su vez, este tipo de uso de suelo circunda otros espacios dedicados a actividades humanas, principalmente aquellas de carácter social y pueden ser de tipo laboral, es la zonificación de instalaciones especiales e infraestructuras, las cuales pueden comprender los sitios donde se llevan a cabo labores destinadas a proveer servicios públicos a la población, entre otros.

Asimismo, los espacios públicos y abiertos, entendidos como lugares de encuentro y convivencia social, representan un tipo de uso de suelo que, según lo indica Schlack (2007), adquiere un estatus especial al ser considerado como Bien Nacional de Uso Público. Ciertamente, estos espacios son recorridos y utilizados por las personas, principalmente con propósitos recreativos, tales como paseos, compras y participación en festividades y eventos diversos.

De manera similar, las áreas menos intervenidas por la actividad humana, catalogadas como espacios naturales, se sitúan en las periferias del área urbana. Aunque, como se mencionó previamente, que los parques y áreas verdes desempeñan un papel crucial en la recreación, su extensión es limitada y se encuentra rodeada en su mayoría por usos urbanos.



Mapa 25. Zonificación primaria en la cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

En marcado contraste, en la dirección oriental de la cabecera municipal se sitúa el área natural protegida, bajo la jurisdicción municipal, conocida como Parque Ecológico Las Peñas. Adyacente a esta zona, hacia el sur, se encuentra el parque ecológico Los Ocotillos, el primero de estos parques es el punto de origen de un canal que atraviesa la ciudad, el

propósito predominante de estos espacios es la conservación ambiental, y tanto el parque Las Peñas como la zona de la laguna de Zapotlán al norte, clasificados como áreas de suelo con categoría de protección ambiental.

Red Vial

La accesibilidad y la infraestructura del territorio, en términos de movilidad, prácticamente en conjunto a las diversas modalidades de transporte, elementos fundamentales que se refieren principalmente a las vialidades. Por esta razón, la red vial del área de estudio fue clasificada utilizando datos vectoriales de OpenStreetMap. A diferencia de otras fuentes, el diseño vectorial en OpenStreetMap se adhiere más rigurosamente a la realidad.

Dado que la clasificación original en idioma inglés es trazada y verificada en campo por usuarios, y se complementa con datos de otras fuentes, igualmente los atributos también provienen de instituciones como el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Además, que es un recurso de uso libre y gratuito.

Con ello su caracterización anglosajona se mantiene en los atributos de la capa, pero se agregaron la simplificación de estratos cualitativos para facilitar la lectura y caracterización asimismo la identificación de las vías de comunicación. Dado que estas son utilizadas por la mayoría de las personas, se omitieron clasificaciones de mayor nivel, por ejemplo, las vialidades de cuarto orden, utilizadas en la carta topográfica del INEGI.

Para esta clasificación se emplearon seis categorías, manteniendo la relevancia de la comunicación tanto en el contexto urbano como en el regional. Las categorías, descritas en la tabla siguiente, se distinguen por su tipo y características. La de mayor jerarquía es la autopista, que se caracteriza por ser una vía de alta velocidad y capacidad con acceso controlado y sin cruces a nivel. A diferencia de la autopista, la carretera es la ruta principal que conecta ciudades y regiones, pero con menor capacidad y velocidad. Asimismo, las tres categorías restantes se clasifican en la zona urbana, considerando que, en términos de control y actividades, se diferencian por la dinámica territorial, la velocidad, la aglomeración y la actividad.

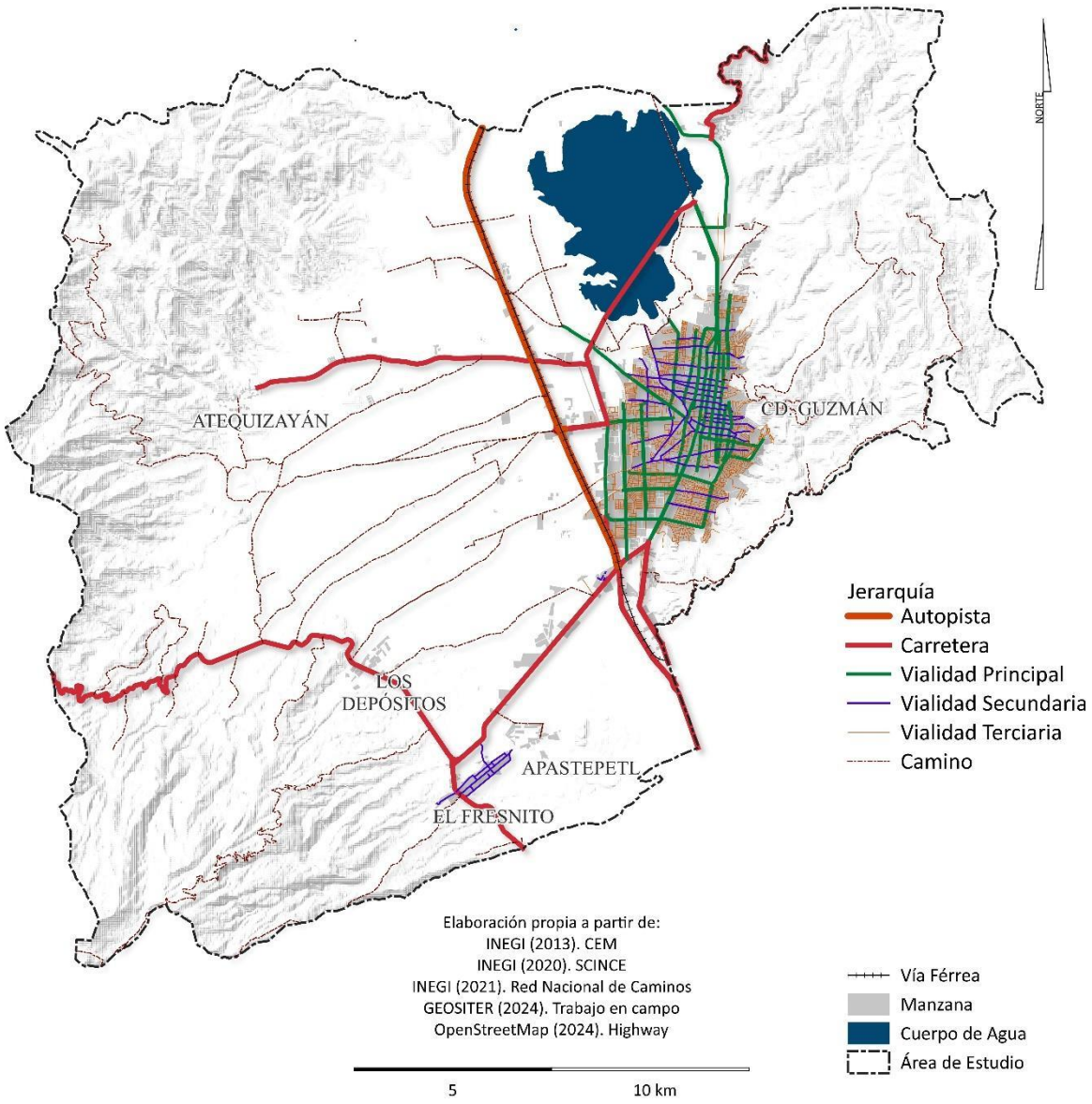
La Vialidad Principal es una calle o avenida urbana con alta capacidad y volumen de tráfico, diseñada para conectar zonas clave de la ciudad. Por otro lado, la Vialidad Secundaria es una vía que distribuye el tráfico dentro de áreas residenciales, con menor capacidad en comparación con las vialidades principales.

Tabla 21. Clasificación Vial en el área de estudio

Tipo	Características
Autopista	Alta capacidad y velocidad.
	Sin cruces a nivel (tienen pasos a desnivel o túneles).
	Generalmente, tienen varios carriles por sentido (al menos dos).
	Pavimentación de alta calidad.
	Control de acceso mediante entradas y salidas específicas.
	Pueden tener peajes.
Carretera	Conexión entre ciudades, pueblos y regiones.
	Pueden tener uno o más carriles por sentido.
	Menor velocidad que las autopistas.
	Pueden tener cruces a nivel.
	Pavimentación de calidad variable.
Vialidad Principal	Conexión dentro de ciudades grandes o áreas metropolitanas.
	Varios carriles por sentido.
	Alta capacidad de tráfico.
	Control de semáforos y señalización avanzada.
	Crucial para el transporte público.
Vialidad Secundaria	Conexión de áreas residenciales a vialidades principales.
	Menor capacidad y velocidad que las vialidades principales.
	Uno o dos carriles por sentido.
	Pueden tener cruces a nivel y control de semáforos.
Vialidad Terciaria	Conexión dentro de barrios y zonas residenciales.
	Menor capacidad de tráfico.
	Generalmente, uno o dos carriles.
	Menos señalización y control de tráfico.
Camino	Vías rurales o de baja densidad de tráfico.
	Pueden no estar pavimentados.
	Capacidad y velocidad limitadas.
	Acceso a áreas rurales o de baja urbanización.

Fuente: Elaboración propia.

La Vialidad Terciaria se refiere a calles locales en barrios residenciales, con baja capacidad y velocidad. Aunque las vías de cuarto orden podrían clasificarse en esta categoría, se han incorporado a la clasificación de tercer orden debido a su similar jerarquía en términos de conexión. Por su parte el camino es una vía rural o de baja densidad de tráfico, que puede no estar pavimentada y conecta áreas poco desarrolladas.



Mapa 26. Clasificación de la red vial
Fuente: Elaboración propia.

El beneficio técnico de determinar las clases de vialidades se manifiesta en la toma de decisiones, permitiendo a las autoridades realizar elecciones más informadas y ágiles en relación con la construcción, mantenimiento y mejora de la infraestructura vial. Además, la optimización de recursos se ve favorecida al reducir el número de categorías, facilitando así la asignación eficiente de recursos financieros y humanos a los proyectos viales más prioritarios.

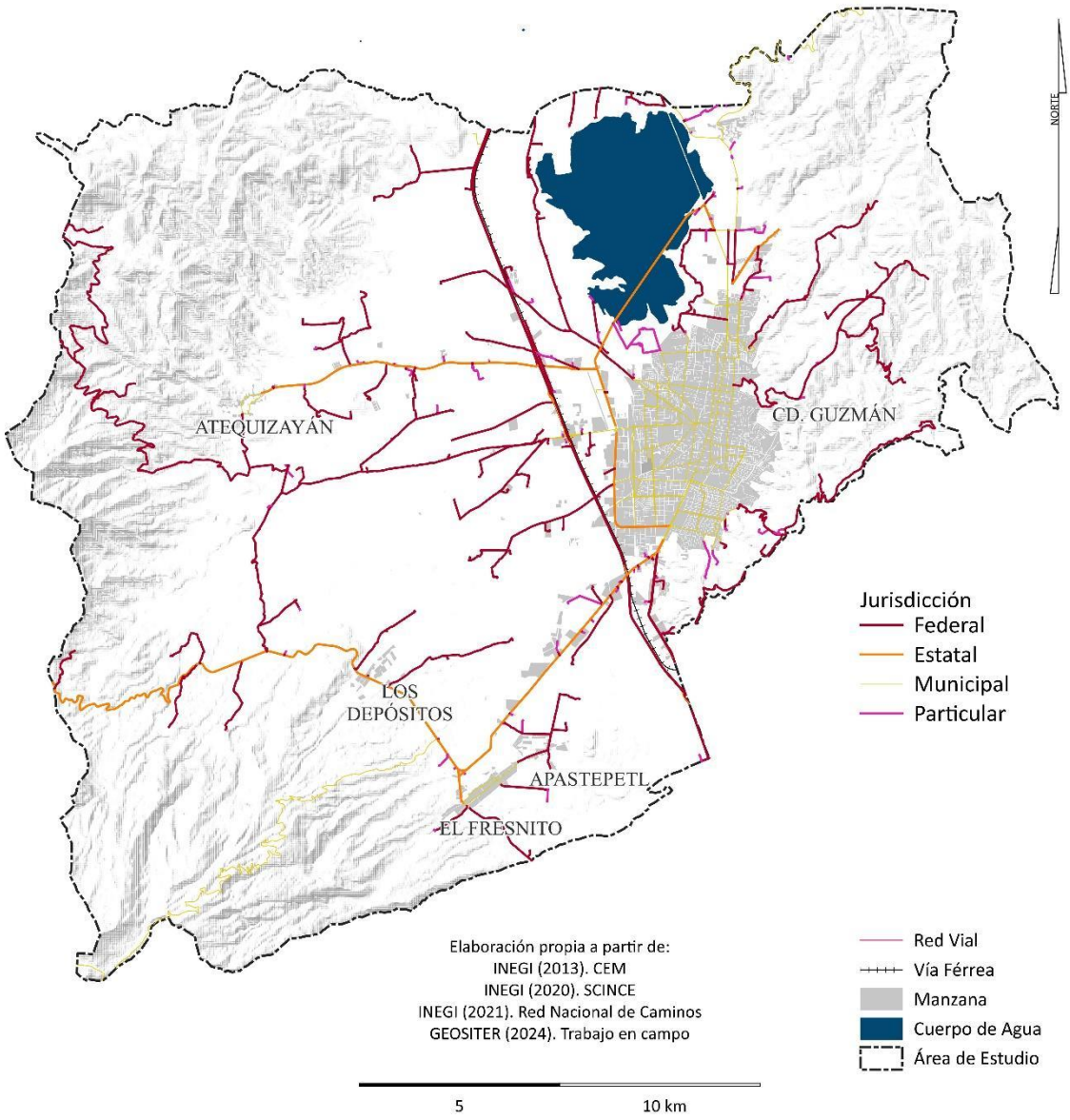
En términos operativos, la clasificación de vialidades beneficia en análisis de la conexión y conectividad, así como la eficiencia en la gestión del tráfico. La existencia de un menor número de categorías viales permite que tanto los conductores como las autoridades comprendan y optimicen la jerarquía y el propósito de cada tipo de vía. Esto puede reducir la confusión y mejorar la fluidez del tráfico.

Dentro de este contexto, es importante establecer la jurisdicción de las vialidades en el área de estudio. Por ejemplo, la recopilación de datos sobre accidentes viales se lleva a cabo a nivel municipal; sin embargo, es importante tener en cuenta que la ocurrencia de estos accidentes puede darse en cualquier tipología de vía y no necesariamente requiere la intervención de la unidad de protección civil y bomberos del municipio.

Sin embargo, en el proceso de modelación se tienen en cuenta todas las incidencias del amplio universo de datos disponibles, con el fin de evitar sesgos, esto se debe a que, incluso ante la posibilidad de un servicio ocasional y un registro poco frecuente, es crucial incluir todas las variables relevantes para calcular con precisión el riesgo asociado a los accidentes viales.

La responsabilidad, regulación y seguridad de la vialidad son de suma importancia, ya que, desde la planificación y desarrollo de entornos urbanos y rurales, la jurisdicción tiene una responsabilidad significativa. Esto se debe a consideraciones como el crecimiento de la población, la actividad económica, la movilidad y los efectos ambientales. Todos estos aspectos deben ser tenidos en cuenta en el desarrollo y gestión de la infraestructura vial en el territorio.

Las autoridades con jurisdicción sobre una vialidad tienen la facultad de establecer y hacer cumplir regulaciones de tráfico, tales como definir límites de velocidad, instalar señales de tráfico, asignar carriles y aplicar medidas de control de tráfico. Una gestión efectiva de la regulación del tráfico contribuye a mejorar la seguridad vial y a optimizar el flujo de vehículos y peatones.



Mapa 27. Jurisdicción vial
Fuente: Elaboración propia.

Se observa la configuración de los elementos físicos en la traza urbana exhibe una disposición que puede describirse como una malla o plato roto, según lo señalado por Téllez Almaraz et al. (2017). Esta disposición es el resultado de múltiples intenciones y decisiones por parte de los habitantes de la ciudad. Si bien esta estructura genera una riqueza visual notable, también puede conllevar dificultades en la orientación y el desplazamiento.

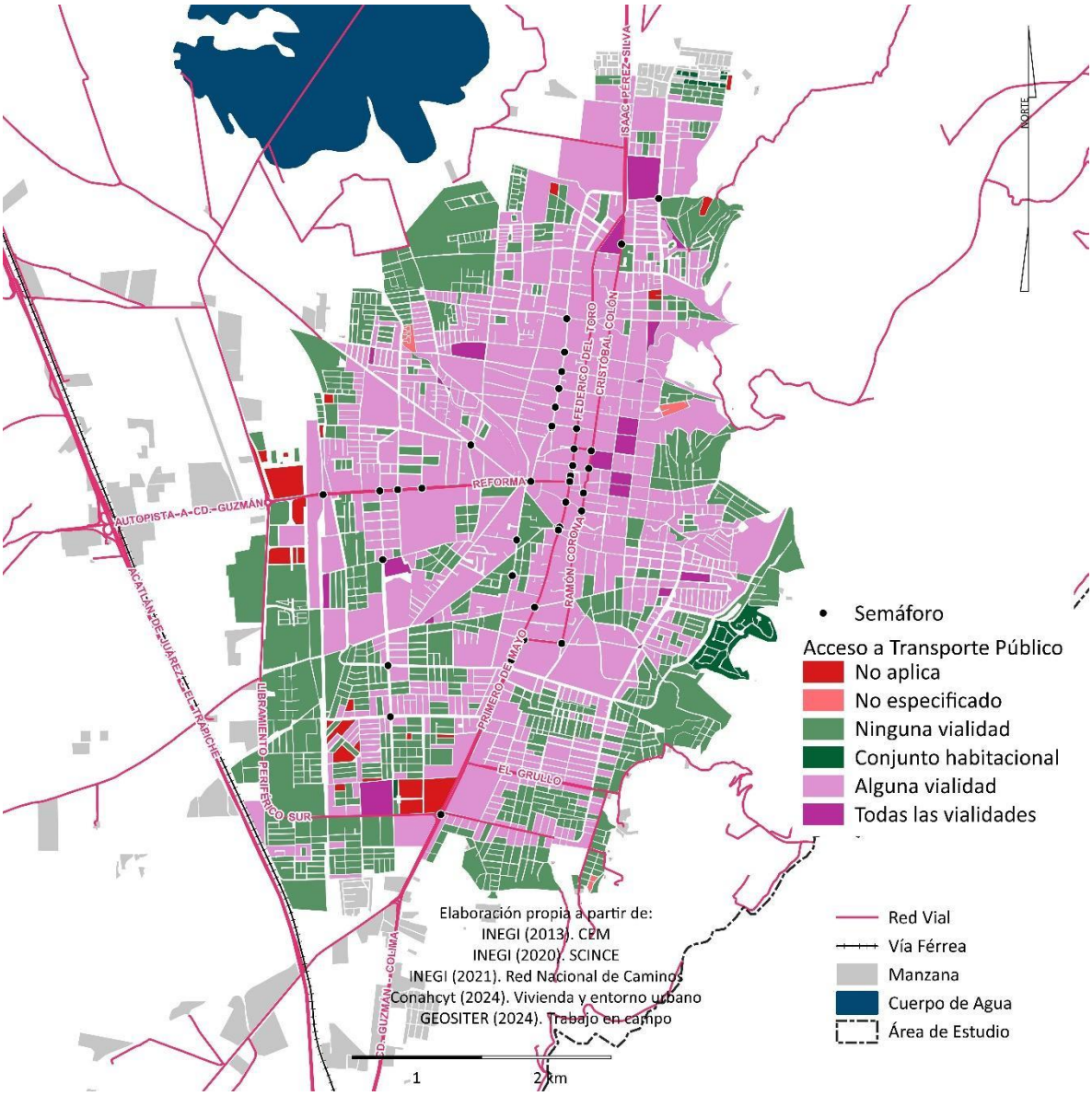
En algunos sectores de la ciudad, esta característica puede manifestarse con mayor claridad, donde ciertas avenidas o vialidades conforman una cuadrícula definida, mientras que en otros sectores esta cuadrícula puede estar ausente o menos definida, la configuración urbana influye directamente en la circulación de vehículos, personas y mercancías, llevando consigo implicaciones significativas en la toma de decisiones respecto a la movilidad dentro de la ciudad.

En base en las características previamente descritas, se puede observar una distribución de semáforos en la cabecera municipal, destacando su mayor concentración en las avenidas principales y en el centro histórico, entre estas vías destacan la avenida 1ero de Mayo, la avenida Reforma, la avenida Cristóbal Colón y la calle Federico del Toro.

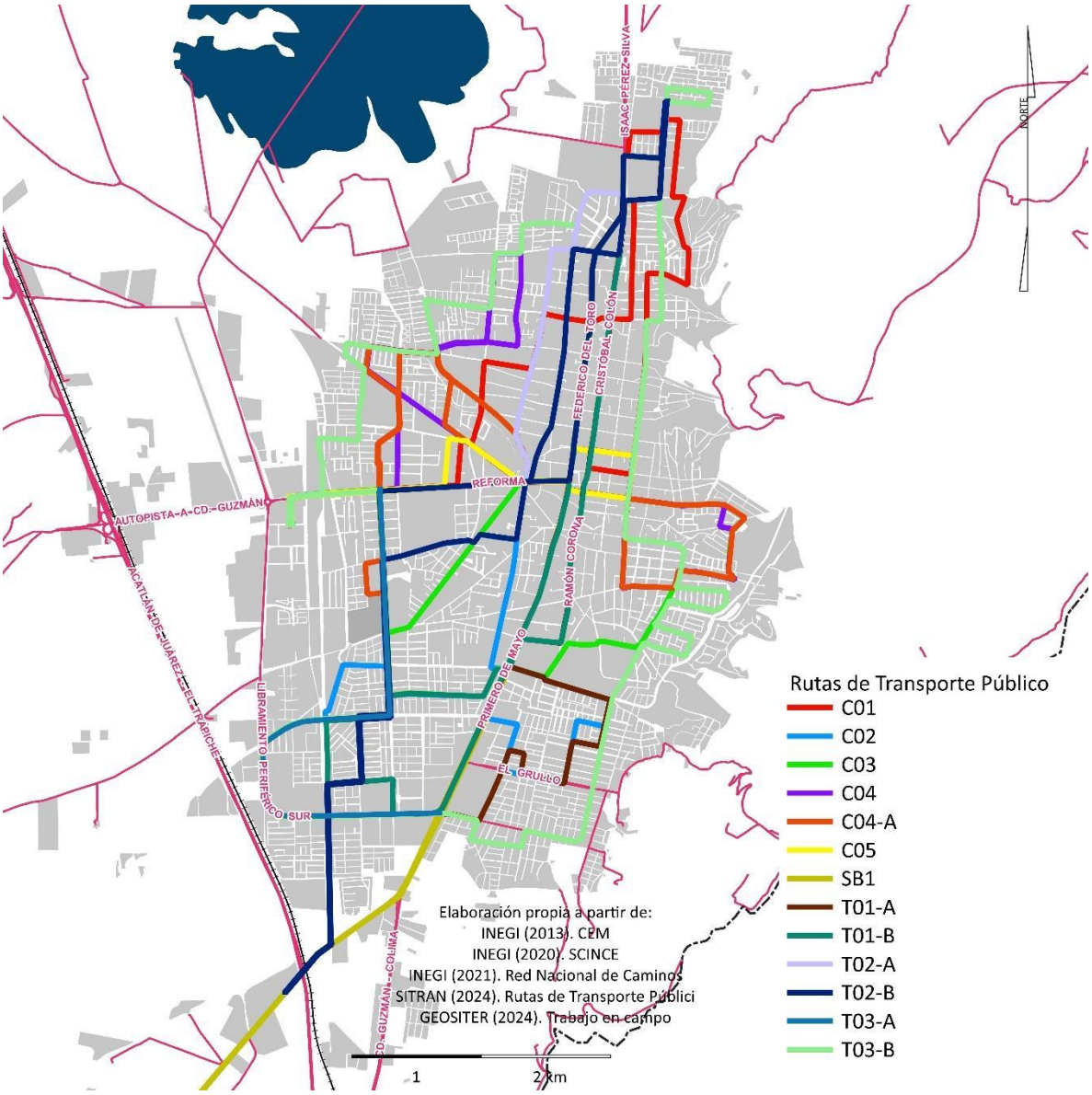
Asimismo, se identifican semáforos aislados a lo largo de la avenida Carlos Páez Stille, en las proximidades de la Subdelegación de Ciudad Guzmán, cercana al Centro Universitario del Sur, así como en la puerta sur del municipio, en el cruce con el Libramiento Periférico Sur. Por eso, esta infraestructura vial cuenta con un conjunto de medios técnicos para gestionar el tráfico en distintas horas. Los semáforos para el tráfico de vehículos desempeñan un papel fundamental en la circulación de vehículos, bienes y mercancías en la ciudad.

La circulación del transporte se erige como la columna vertebral que facilita la realización de las actividades cotidianas en una ciudad. Como destaca Tapia Gómez (2018), comprender la movilidad no solo implica analizar flujos y eficiencia de manera abstracta, sino también considerar aspectos tangibles como el tiempo y la calidad de vida, tomando en cuenta los costos, la distancia y el tiempo involucrado.

Para este propósito, se representó la circulación de las rutas de transporte público, que, debido a su capacidad, transportan masivamente a la población. La cobertura de este medio de transporte constituye una red que conecta las áreas centrales con las unidades periféricas de la mancha urbana. De manera similar a otras ciudades en el estado de Jalisco, el servicio se organiza principalmente bajo el modelo de ruta empresa, aunque también existen concesiones municipales para proporcionar el servicio.



Mapa 28. Distribución de semáforos y acceso a transporte público en la cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 29. Rutas de transporte público
Fuente: Elaboración propia.

De las 13 rutas existentes, que circulan por la ciudad, solo una conecta con el sur del municipio, específicamente con la comunidad del Fresnito. Debido a la demanda del servicio, se identifica la necesidad de un transporte foráneo que vincule la ciudad con su centro de población de menor concentración más cercano. Posteriormente, existe una concesión municipal para el transporte foráneo que comunica con ciudades cercanas del país, y su ruta actúa como un nodo de comunicación en la cabecera municipal.

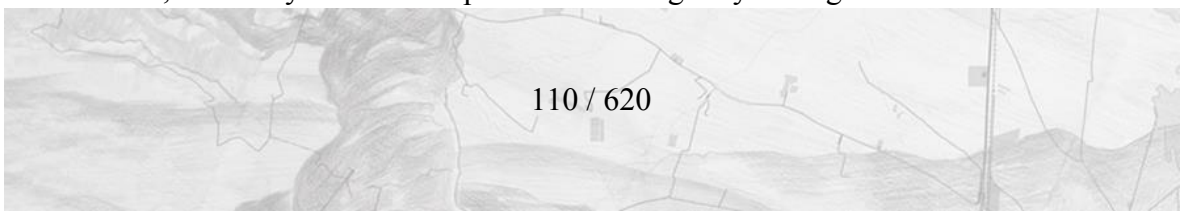
Asimismo, la infraestructura estratégica para la comunicación y accesibilidad urbana, al estar integrada en el modelo de ruta empresa, requiere el uso de una tarjeta particular para el pago. En el momento de la elaboración de este atlas de riesgos, ya existe la opción de realizar pagos con tarjetas de débito y crédito como parte de la actualización del sistema público de transporte. Este sistema de pago, aunque es un recurso de referencia para estudiantes, trabajadores y la comunidad en general, facilita la modernización y eficiencia del servicio.

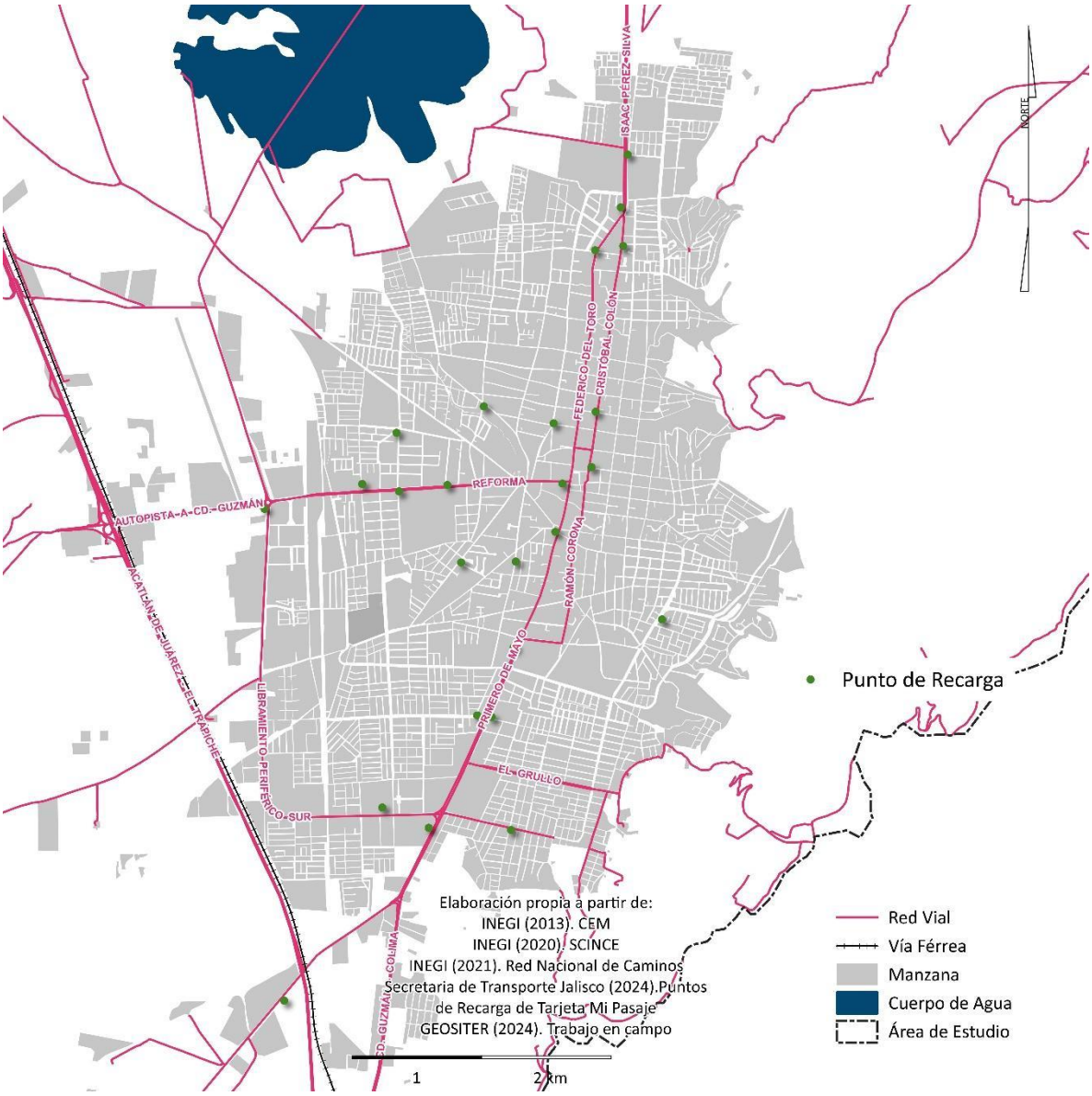
También facilita el acceso al transporte público al proporcionar comodidad a los usuarios. Permite a los pasajeros recargar sus tarjetas de manera conveniente, asegurando que siempre dispongan de saldo para utilizar el transporte público sin inconvenientes. Además, fomenta el uso del transporte público al incrementar la accesibilidad a través de la facilidad de recarga, contribuyendo así a una movilidad más sostenible.

Mejora la gestión y eficiencia del sistema de transporte mediante la reducción de colas y tiempos de espera. Al proporcionar múltiples puntos de recarga, se disminuyen las filas y los tiempos de espera en estaciones y paradas, mejorando la experiencia del usuario. Además, optimiza el flujo de pasajeros y evita interrupciones en el servicio. La disponibilidad de puntos de recarga previene que los pasajeros queden varados por falta de saldo, asegurando un flujo constante y eficiente en el sistema de transporte.

Al diversificar los lugares de recarga, se optimiza la distribución del flujo de pasajeros y se evita la congestión en puntos únicos. La ubicación de puntos de recarga en diversas áreas, como comercios, estaciones y oficinas, garantiza que todos los usuarios, independientemente de su ubicación, puedan acceder fácilmente a estos servicios. La integración de tecnología en los puntos de recarga, incluyendo terminales de autoservicio y aplicaciones móviles, moderniza el sistema de transporte y mejora su eficiencia.

Los datos recolectados en los puntos de recarga proporcionan información valiosa para la planificación y mejora continua del sistema de transporte. Además, al fomentar el uso de tarjetas recargables en lugar de efectivo, se reduce la necesidad de manejo y transporte de dinero físico, contribuyendo a una operación más segura y ecológica.





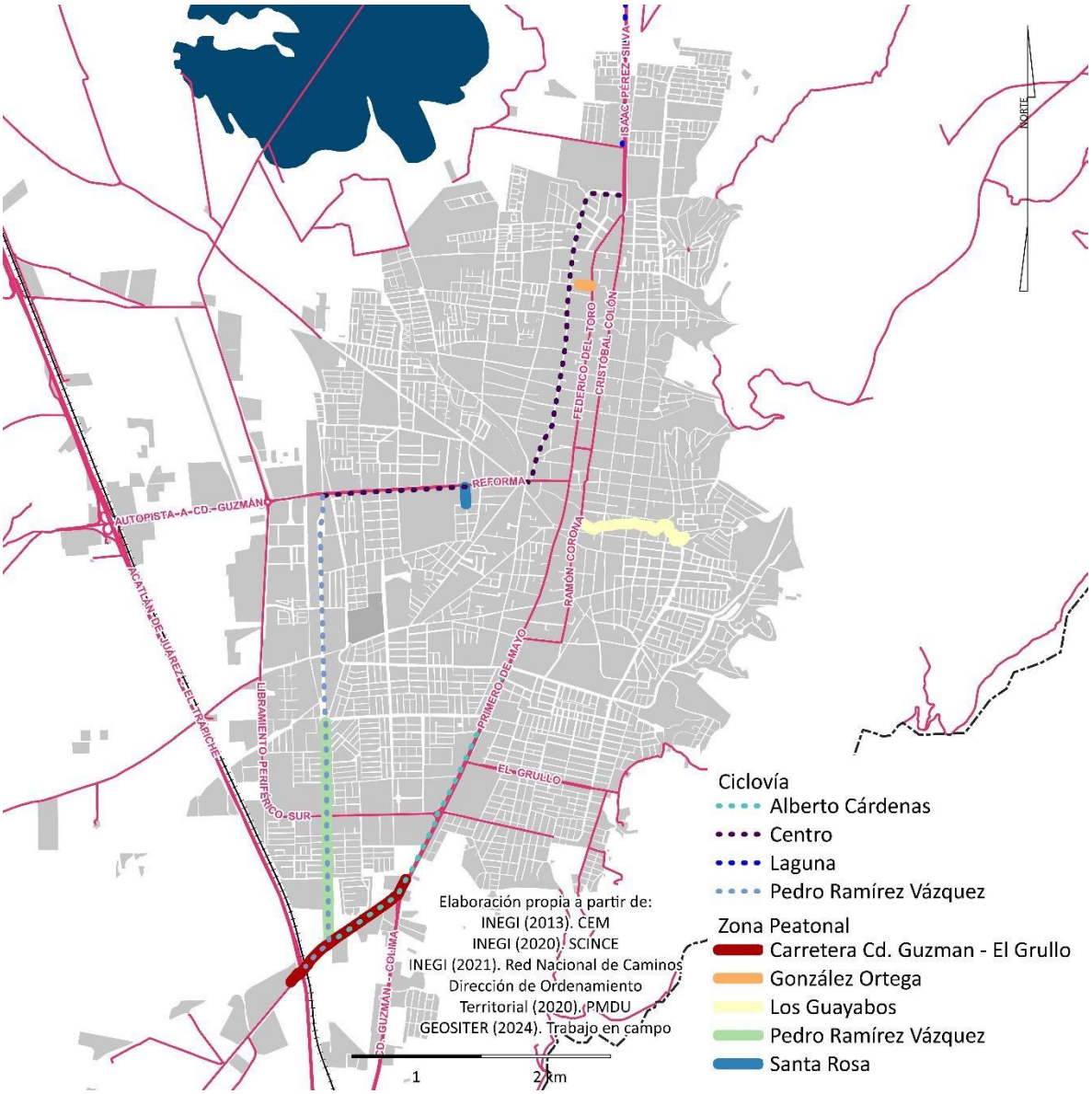
Mapa 30. Puntos de recarga oficial, tarjeta mi movilidad
Fuente: Elaboración propia.

Estos beneficios contribuyen a la movilidad sostenible, un tema que se abordará más adelante como parte esencial en los instrumentos de planificación y gestión municipal y urbana. La caracterización de esta distribución revela cómo los ciudadanos se desplazan en el municipio y su ciudad principal, destacando ejes rectores en los ámbitos social, económico y político.

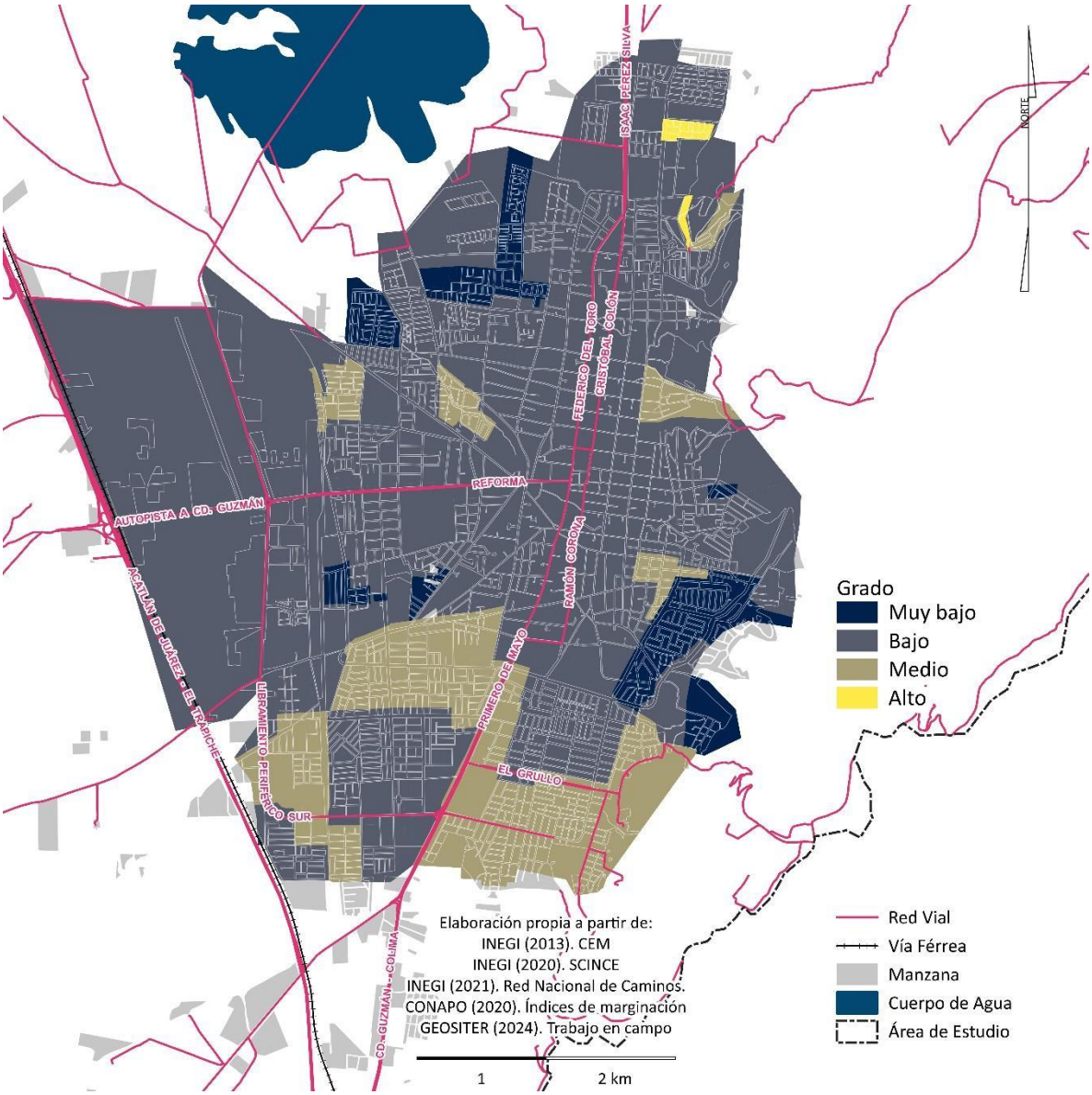
Consultando el plan municipal de desarrollo urbano más reciente, se devela parte de la infraestructura vial, como las ciclovías y las zonas peatonales, que promueven la seguridad vial, mejoran la condición física y de salud a través de la movilidad activa, y reducen la contaminación. Asimismo, Enrique Peñalosa menciona que la revitalización urbana incrementa la vitalidad de las áreas urbanas, promoviendo el comercio local y creando espacios públicos más atractivos y funcionales.

El grado de marginación no suple la función ni demerita a un indicador de nivel socioeconómico porque ambos abordan diferentes aspectos de las condiciones de vida de la población; mientras el grado de marginación se enfoca en la falta de acceso a servicios básicos, educación y vivienda adecuada, el nivel socioeconómico mide aspectos como el ingreso, la ocupación y el consumo. Al complementarse, proporcionan una visión más completa y detallada de las desigualdades y necesidades sociales, permitiendo diseñar políticas públicas más efectivas y focalizadas para mejorar el bienestar de la población en diversas dimensiones.

Los indicadores utilizados posteriormente para modelos y ponderaciones en algunos cálculos de fenómenos socio-organizativos se basan en la clasificación del grado de marginación. Según CONAPO, el grado de marginación se clasifica en cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Esta clasificación es fundamental para identificar y priorizar las regiones que requieren más apoyo e inversión en desarrollo social y económico. Desde la creación del índice en la década de 1990, algunas regiones han mostrado mejoras significativas en sus niveles de marginación, aunque otras continúan rezagadas.



Mapa 31. Zonas Peatonales y Ciclovías
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 32. Zonas Grado de marginación
Fuente: Elaboración propia.

Zonificación de peligro y susceptibilidad a fenómenos hidrometeorológicos

2.1 Introducción

La Ley General de Protección Civil define al fenómeno hidrometeorológico como al agente perturbador que se genera por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones, tormentas eléctricas, granizadas, nevadas, ondas cálidas, ondas gélidas, sequías, y heladas (DOF, 2012).

El caso particular del municipio de Zapotlán el Grande presenta una historia tectónica y geológica con características que generan un interés y dinámica única a nivel planetario por la complejidad de la morfología del paisaje, el vulcanismo activo y la necesidad de entender

los peligros geológicos e hidro sociales a los que está expuesta la población y la infraestructura del municipio.

En el año 2016 se presentó el Atlas Municipal de Peligros y Riesgos Naturales de Zapotlán el Grande, en el cual se incluye un análisis robusto de los fenómenos hidrometeorológicos que más inciden en el municipio y se destacan: inundaciones, sequías, vientos, tormentas eléctricas, nevadas, heladas y temperaturas extremas. Con el objetivo de abonar al trabajo realizado en el 2015 para identificar los peligros asociados a los fenómenos hidrometeorológicos en el municipio, se digieren los resultados principales obtenidos en este estudio y se presentan a continuación:

Ciclones Tropicales

- Localización y Frecuencia: Aunque el eje de trayectoria de los ciclones no ha incidido directamente en el municipio de Zapotlán el Grande, los efectos de estos fenómenos se han sentido debido a la proximidad del área afectada.
- Impacto Histórico: Se han registrado varios ciclones que han afectado indirectamente al municipio, como el huracán Gilbert en 1988 y Pauline en 1997, causando muertes y pérdidas económicas significativas.

Ondas Tropicales

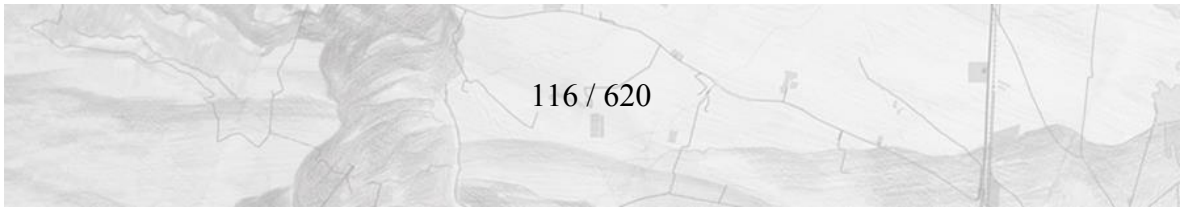
- Características: Se desplazan hacia el oeste con una velocidad de 7-8 m/s, afectando principalmente el centro y sureste de México, aunque también impactan el occidente del país y Zapotlán el Grande.
- Consecuencias: Provocan lluvias intensas y fuertes.

Granizadas

- Frecuencia: Las granizadas son comunes en la región durante la temporada de lluvias.
- Intensidad: Varía desde leves hasta severas, causando daños en cultivos, infraestructuras y vehículos.
- Distribución Temporal: Ocurren principalmente en los meses de junio a septiembre.

Heladas

- Tipos: Advección, radiación y mixtas.
- Impacto: Afectan gravemente la agricultura y la salud de la población expuesta, dañan infraestructuras y servicios.



- Frecuencia: Las heladas pueden ser otoñales, invernales o primaverales, con las otoñales y primaverales siendo las más dañinas desde una perspectiva agroeconómica.
- Modelos Probabilísticos: Se utilizó el programa TempRisk para modelar la probabilidad de una helada con temperaturas de 0° en el municipio es del 20% en cualquier año.

Temperaturas máximas extremas

- La serie de datos para la estación Ciudad Guzmán muestra eventos de temperaturas mayores o iguales a 33° con un percentil 90 y con duraciones que varían desde 2 hasta 48 días. Algunos de los eventos registrados incluyen:
    - Abril de 1989: 33.46°C durante 3 días.
    - Mayo de 1989: 33.87°C durante 4 días.
    - Abril de 1991: 34.78°C durante 10 días.
    - Mayo de 1991: 34.66°C durante 3 días.
    - Junio de 1998: 34.33°C durante 48 días.
- Estos datos indican que las temperaturas máximas extremas tienen una recurrencia significativa en la región, con eventos que pueden durar varios días y afectar la salud de la población y otras actividades socioeconómicas en el municipio.

Sequías

- Análisis Regional: Disminución significativa de la precipitación a nivel regional, con variaciones dependiendo de la estación meteorológica y los periodos de retorno.
- Impacto: Afecta la disponibilidad de agua y la agricultura en la región.
- Distribución de Probabilidad: Utilizando funciones de distribución como la logística generalizada y la de valores extremos, se analizaron las tendencias de sequía en diferentes periodos de retorno.
- Correlación: Los coeficientes de Pearson mostraron una correlación positiva moderada a fuerte para la mayoría de los modelos analizados, indicando una tendencia clara en la disminución de la precipitación

Vientos Fuertes

- Frecuencia: Meses de agosto y diciembre presentan la mayor cantidad de eventos con velocidades superiores a 75 km/h.

- Dirección: Cambios de dirección notables a lo largo del año, influenciando las condiciones meteorológicas locales.

Tormentas eléctricas

- Datos y Resultados Probabilísticos
    - Distribución Espacial y Temporal:
        - Días con Tormenta Eléctrica:
            - San Marcos: 5.7 días/año
            - Quito: 53.5 días/año
            - Nogal: 45.4 días/año
            - Tamazula: 77.5 días/año
            - Atoyac: 42.5 días/año
            - Ciudad Guzmán: 11.8 días/año
        - Densidad de Rayos a Tierra:
            - San Marcos: 0.71 rayos/km^2
            - Quito: 8.77 rayos/km^2
            - Nogal: 7.3 rayos/km^2
            - Tamazula: 13.28 rayos/km^2
            - Atoyac: 6.77 raoys/km^2
            - Ciudad Guzmán: 1.67 rayos/km^2
- Medidas de Mitigación
    - Infraestructura Crítica: Se identifican infraestructuras con riesgo muy alto y alto, especialmente aquellas que almacenan o conducen sustancias inflamables o explosivas, instalaciones de generación y redistribución de energía eléctrica y torres de comunicaciones.
    - Precauciones en Áreas Específicas: Se recomienda evitar la zona de la laguna, arroyos y cualquier cuerpo de agua durante tormentas eléctricas debido a la conductividad del agua.

Inundaciones

- Frecuencia y Distribución: Las inundaciones históricas han afectado principalmente la cabecera municipal, la planicie de inundación generada por la laguna de Zapotlán y la zona poniente del municipio.

- Impacto de la Topografía: Las montañas al oriente de la ciudad contribuyen a las inundaciones debido a la escorrentía que drena hacia la zona urbana a través de arroyos como Los Guayabos y Chuluapan.
- Cartografía: Se realizó un levantamiento cartográfico detallado de las zonas afectadas por inundaciones históricas, usando escalas de 1:50,000 con curvas de nivel a cada metro.
- Encuestas: Se llevaron a cabo encuestas entre la población para registrar infraestructura dañada y otros impactos.
- Estadísticas Hidrológicas: Se analizaron datos de precipitación y caudal máximos para periodos de retorno de 2, 10, 50, 100 y 200 años.
- Precipitación y Caudal: Se obtuvieron valores de precipitación y caudal máximo para diferentes periodos de retorno. Por ejemplo, se determinó que precipitaciones de 40 mm pueden generar tirantes de agua superiores a 0.35 m en áreas urbanas.
- Zonas Afectadas: Las principales áreas afectadas incluyen la cabecera municipal y la planicie de inundación alrededor de la laguna de Zapotlán. Las actividades agrícolas en estas áreas agravan el problema debido a la pérdida de suelo y el arrastre de sedimentos.
- Medidas de mitigación estructurales: Se construyó un canal de 8.115 km para mitigar las inundaciones en la zona urbana.
- Monitoreo y Prevención: Se sugiere la implementación de un monitoreo constante y el mantenimiento de la infraestructura existente para reducir los riesgos de inundación en el futuro.

Todas estas variables atmosféricas originan los eventos que pueden llegar a causar afectaciones a la población expuesta y su entorno que pueden llegar al desastre, por esto, la importancia de conocer anticipadamente la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos con base científica (Aragón et al., 2016).

Mientras que en el estudio realizado en el 2015 se presenta información sobre las incidencias de los fenómenos hidrometeorológicos más recurrentes en el municipio, al igual que cálculos probabilísticos para la mayoría de las variables comentadas, el instrumento no logra establecer una zonificación de los peligros analizados, sino más bien presenta índices de frecuencia. Explicado lo anterior, en esta actualización del atlas de riesgos municipal, se hace hincapié en el componente espacial de los peligros analizados, estableciendo una zonificación para el área de estudio la cual se pueda consultar por medio de cartografía

temática e identificar las zonas del municipio de Zapotlán el Grande que son más propensas a sufrir de algún peligro, en este caso asociado a algún fenómeno hidrometeorológico.

En este módulo se expone la metodología empleada para zonificar los peligros hidrometeorológicos más recurrentes en el municipio, analizados desde una escala multitemporal y espacial con el objetivo de establecer una zonificación de los peligros analizados en el atlas de riesgos del año 2015.

Con esto en mente, para lograr la zonificación de un peligro hidrometeorológico se deben contar con una serie de datos de las estaciones climatológicas de CONAGUA que se encuentran dentro del área de estudio hidrológico, esto en el caso de la zonificación por peligros por inundaciones y algunos peligros meteorológicos como tormentas eléctricas, granizadas y temperaturas máximas extremas. En otros casos, se utiliza información generada por parte del Instituto de Información Estadística y Geografía (IIEG) en el año 2015 la cual presenta modelos de zonificación de peligros como heladas, nevadas y vientos fuertes para el municipio de Zapotlán el Grande.

2.2 Zonificación de peligros por tormentas eléctricas

El cálculo probabilístico y la frecuencia con la que se presentan peligros por tormenta eléctrica en el municipio se presenta en el atlas de riesgos del 2015 mediante un cálculo de las descargas directas a tierra (ddt) utilizando la fórmula:

$$ddt = 0.1017Td^{1.12}$$

A partir de los datos de días en el año con tormenta eléctrica (Td) de las estaciones climatológicas operando que rodean el área de estudio hidrológico:

Tabla 22. Descargas directas a tierra por km2/año en las estaciones climatológicas del AEH

NOMBRE	Días con tormenta eléctrica	ddt km^2- año
SAN MARCOS	5.7	0.71
QUITO	53.5	8.77
NOGAL	45.4	7.3
TAMAZULA	77.5	13.28
ATOYAC	42.5	6.77
CIUDAD GUZMAN	11.8	1.67

Fuente: Atlas de riesgos naturales del municipio Zapotlán el Grande (2015).

En la norma NMX-J-549-ANCE-2005, se encuentran mapas del promedio anual de densidad de rayos a tierra por Estados. Para el Estado de México, este índice va de 9 a 4 rayos por km^2 por año, considerando la extensión en la que incide el límite superior del intervalo, es el más alto a nivel nacional. El más bajo corresponde a la península de Baja California. Este índice se tomará como muy alto para ponderar la intensidad del fenómeno. Así la escala que se propone es la siguiente:

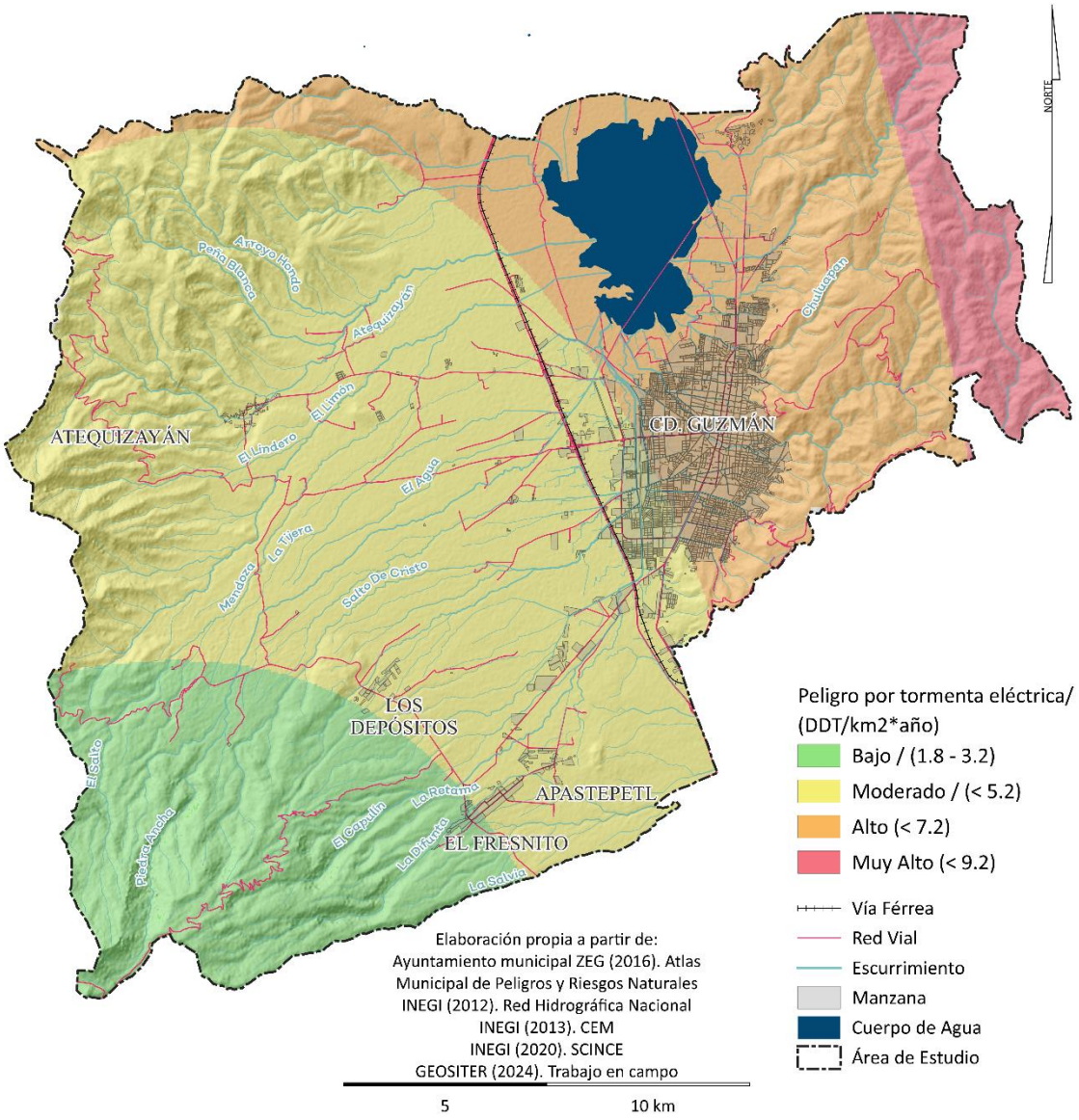
Tabla 23. Intensidad de descargas directas a tierra

Intensidad	Descargas directas a tierra
Muy Alto	< 9
Alto	< 7.2
Medio	< 5.2
Bajo	< 3.6
Muy Bajo	< 1.8

Fuente: Atlas de riesgos naturales del municipio Zapotlán el Grande (2015).

Utilizando los valores presentados en las tablas anteriores, se prosiguió a elaborar un ráster de distribución espacial del fenómeno, con la ubicación de las estaciones y el valor calculado de las descargas directas a tierra para cada una, se utilizó el método geoestadístico de interpolación local polinomial con el objetivo de obtener una zonificación del peligro asociado a tormentas eléctricas en el área de estudio.

El mapa indica un alto peligro por tormenta eléctrica en la mayor parte de la cabecera municipal, presentando un valor mayor a 7.2 descargas directas a tierra por km2 al año. El resto del municipio muestra un patrón moderado y bajo de peligro por tormentas eléctricas, mientras que una parte del Este, en la Sierra del Tigre, se tiene peligro muy alto por tormentas eléctricas.



Mapa 33. Zonificación de peligro por tormentas eléctricas
Fuente: Elaboración propia.

2.3 Zonificación de peligros por sequías

El análisis de sequía se realizó mediante la ponderación de dos insumos cartográficos: El índice de sequía de diferencia normalizada obtenido de una imagen satelital de alta resolución del 2023 y el modelo de peligro por sequía de cultivos que realizó el IIEG en el 2015 para el límite municipal de Zapotlán el Grande.

El primer insumo se obtuvo a partir del monitor de sequía del Servicio Meteorológico Nacional (MSM). El monitoreo se basa en la metodología del Monitor de Sequía de América del Norte (NADAM), mediante la obtención de diversos índices e interpretación de expertos.

Para el caso del área de estudio, se utilizó el Índice Normalizado de diferencia de sequía (NDDI) en inglés que sirve para describir la intensidad de sequía en un área determinada. Se calcula a partir de la diferencia normalizada de los índices NDVI y NDWI. Este insumo se descargó del Mapa Base Jalisco, donde se presenta el análisis multiespectral de una imagen sentinel-8 para todo el estado del año 2023 y del cual se calcula el índice NDDI. Posteriormente, se hizo un recorte al área de estudio:

Tabla 24. Porcentaje de áreas de índice de sequía

Índice de sequía	Área (km2)	% de área total
Ausente	11	3%
Anormalmente seco	19	5%
Moderada	156	41%
Severa	94	25%
Extrema	81	21%
Excepcional	19	5%

Fuente: Elaboración propia (2024) con datos del IIEG (2023).

El 46% de la superficie del municipio se encuentra con un grado de sequía severa o sequía extrema (25% y 21% respectivamente). Esta superficie representa en su mayoría terrenos agrícolas y suelo desnudo. Otra gran parte de la superficie municipal (41%) se encuentra con un índice de sequía moderado, mientras que ciertas zonas de cultivos nuevos y de temporal se ven afectados por un grado de sequía excepcional, cubriendo 5% de la superficie municipal.

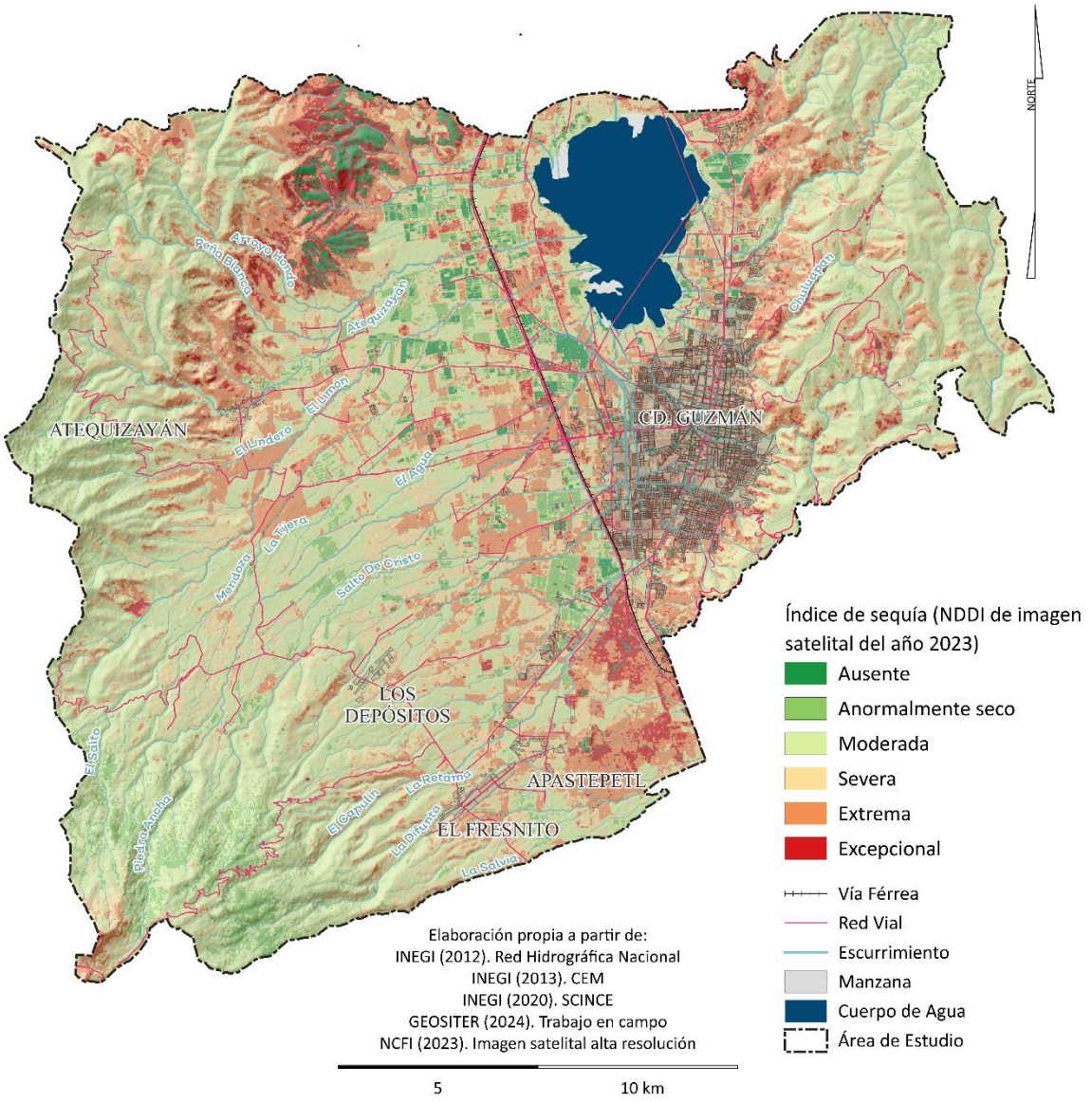
El otro insumo utilizado para el modelo ponderado de peligro por sequía es un modelo realizado en el año 2015 por el Instituto de Información, Estadística y Geografía (IIEG) del peligro por sequía, enfocándose en los polígonos de la frontera agrícola en el municipio. Este modelo contempla las zonas de cultivo en el municipio y se les otorga un nivel de peligro

que va de muy bajo a muy alto, conforme al tipo y la cantidad de agua necesaria para su cultivo.

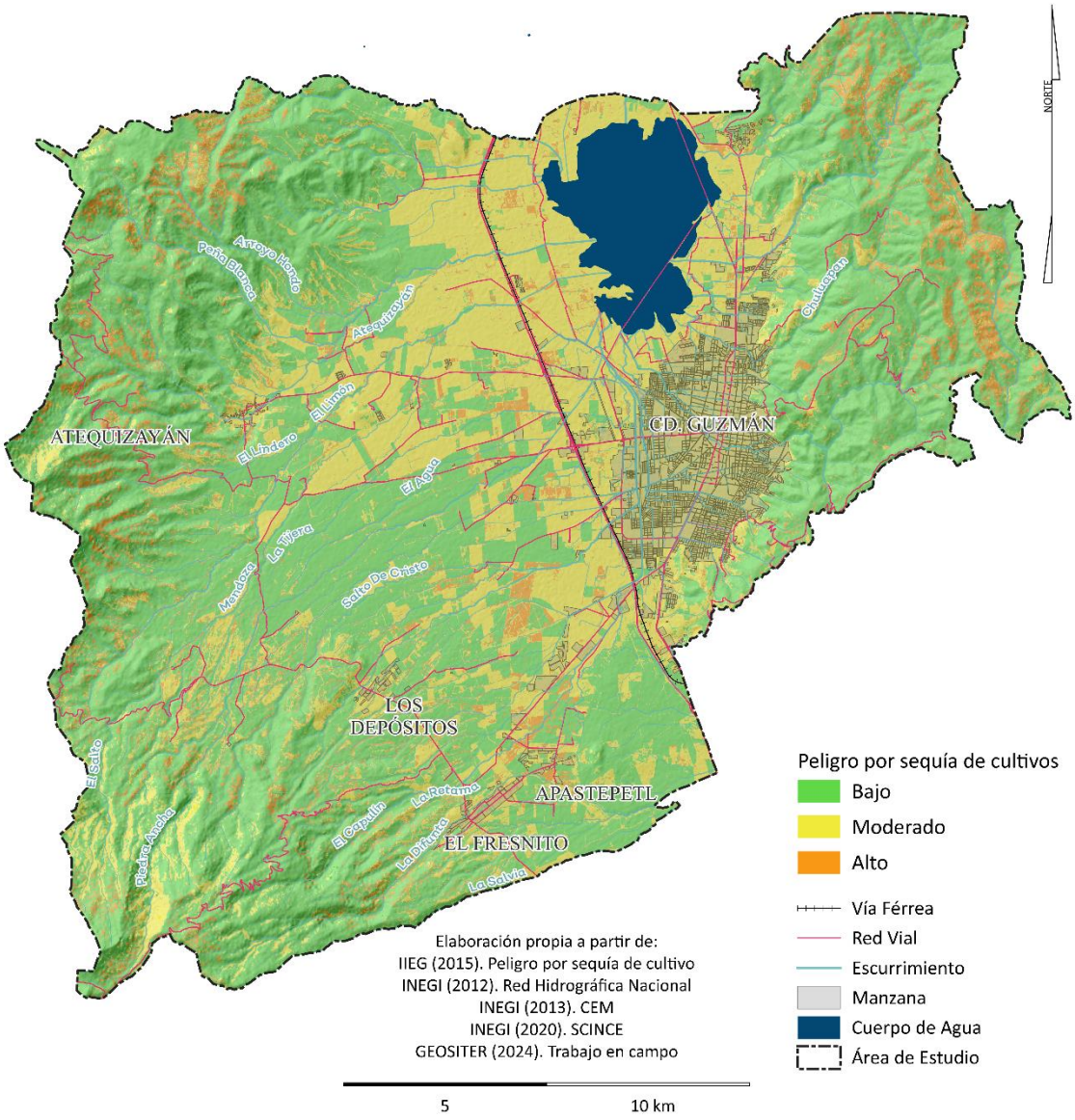
Se realizó una actualización a este modelo por medio de una revisión clasificada de los nuevos polígonos de agricultura identificados en la capa de uso de suelo del POEL 2021 y en la clasificación realizada durante el desarrollo de este atlas para identificar las nuevas parcelas de aguacateras e invernaderos. Tomando en cuenta lo anterior, el resultado es un modelo que zonifica el peligro por sequía de cultivos.

Una vez teniendo ambos insumos, se le dio una ponderación a cada uno, dándole mayor peso al índice de sequía por ser la fuente con más detalle y más reciente, con el objetivo de representar el fenómeno espacial y temporalmente asertivo. Sin dejar a lado, se incluye el modelo de peligro por cultivos en la ponderación para darle énfasis al sector agrícola, uno de los más afectados cuando sucede este tipo de fenómeno. Finalmente, se obtiene una zonificación de peligro por sequía para el área de estudio que va desde peligro muy bajo hasta peligro muy alto.

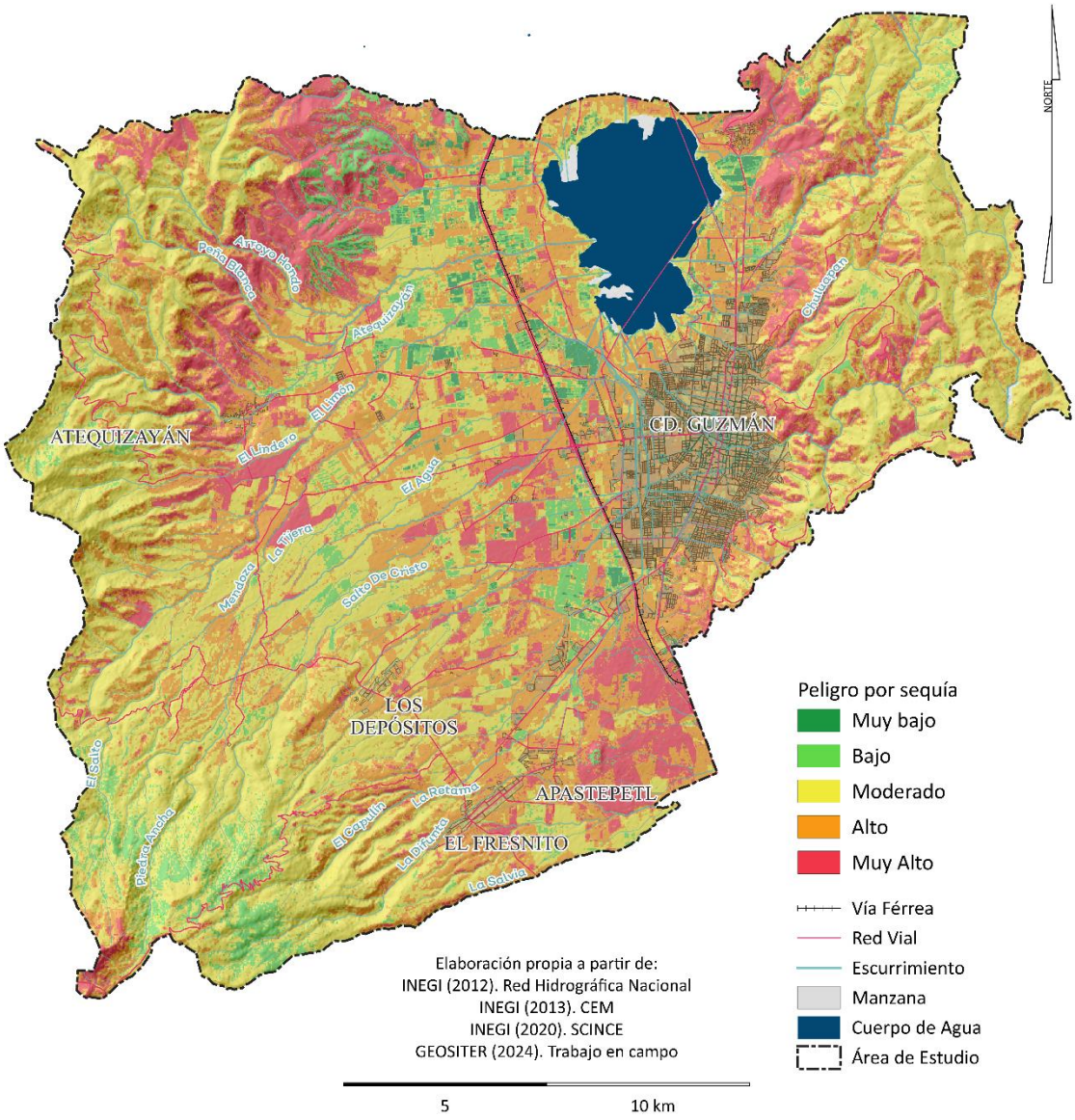
El mapa muestra que la mayor parte de la superficie del municipio sufre de peligro por sequía desde un nivel moderado hasta un nivel muy alto. Se logra identificar las zonas que más sufren de este fenómeno son los polígonos que han sufrido algún cambio de uso de suelo forestal a agrícola, ya sea sobre las laderas del nevado de colima, las laderas de la sierra del tigre o en la parte media de la cuenca, donde se encuentran las nuevas aguacateras.



Mapa 34. Índice de sequía
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 35. Peligro por sequía de cultivos
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 36. Zonificación de peligro por sequía
Fuente: Elaboración propia.

2.4 Zonificación de peligros por heladas

En el atlas de riesgos del 2015 se presenta un cálculo de que la probabilidad de ocurrencia de una helada por debajo de los 0°C en el municipio es del 20% en cualquier año, sin embargo, esta probabilidad la presentan como un valor general para el municipio en su totalidad.

Con motivo de zonificar esta variable, en este caso se utilizan dos capas del IIEG (2015) para representar el peligro por heladas dentro del municipio de Zapotlán el Grande. La primera representa el nivel de peligro por helada a nivel municipal, tomando en cuenta el gradiente térmico (la relación entre la altitud y la temperatura).

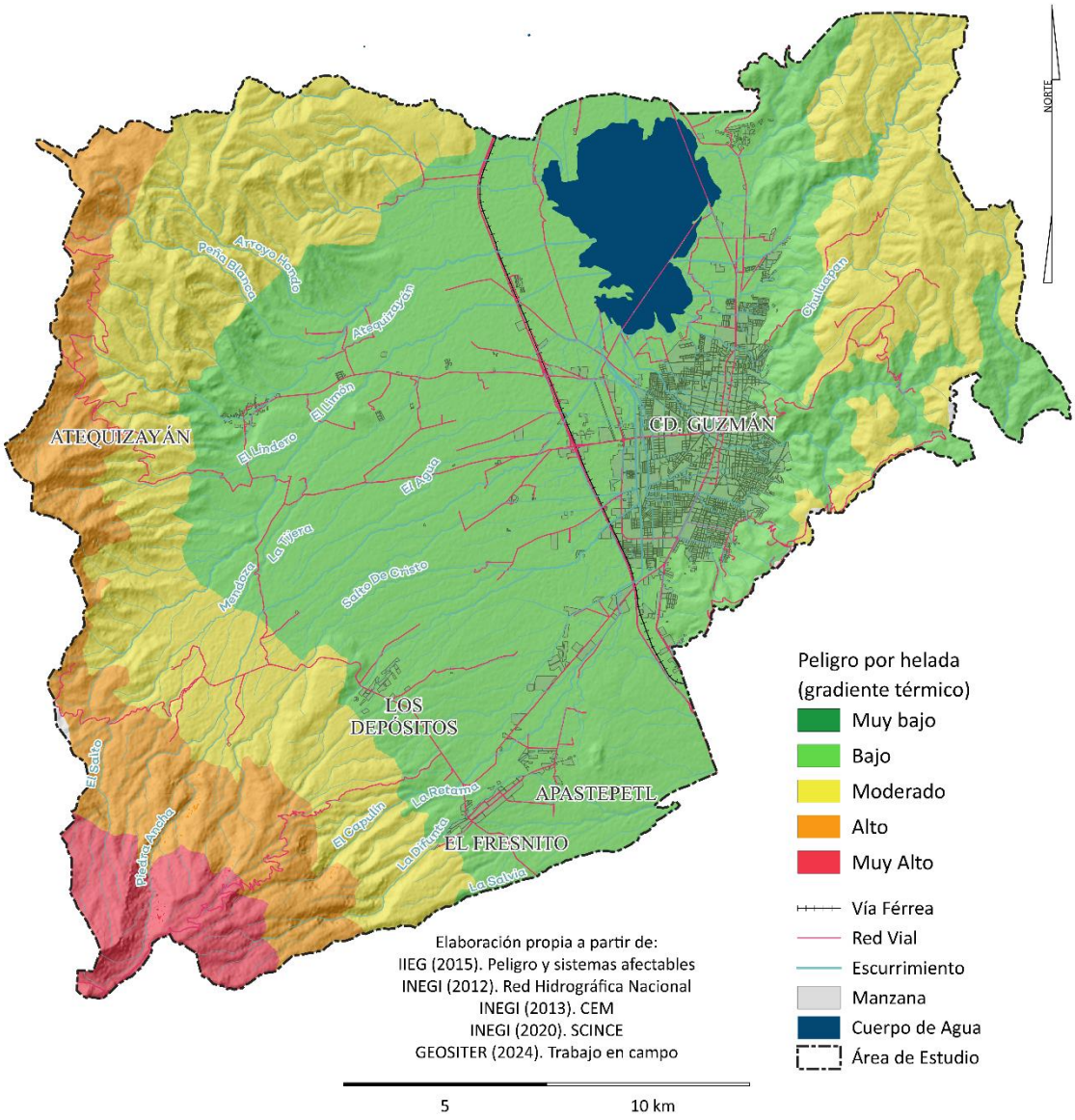
En este mapa se nota como las faldas del nevado de colima es la zona donde más se sufren heladas debido a que se encuentra a mayor altitud en esta parte, sin dejar a lado que la parte dentro del municipio que abarca la sierra del tigre también sufre de un nivel de peligro moderado en cuanto a una helada.

La otra capa utilizada para la zonificación de este peligro es el modelo de peligro por helada hacia cultivos, realizada por el mismo IIEG. Este insumo es primordial para darle peso a la actividad agrícola, como se menciona anteriormente en el apartado de peligro por sequía, esta actividad es la más afectada en cuanto a las temperaturas mínimas y máximas extremas. Se realizó una actualización a esta capa por medio de una revisión clasificada de los nuevos polígonos de agricultura identificados en la capa de uso de suelo del POEL 2021 y en la clasificación realizada durante el desarrollo de este atlas para identificar las nuevas parcelas de aguacateras e invernaderos. El nivel de peligro otorgado por el IIEG se basa en el tipo de cultivo y su dinámica de cultivo.

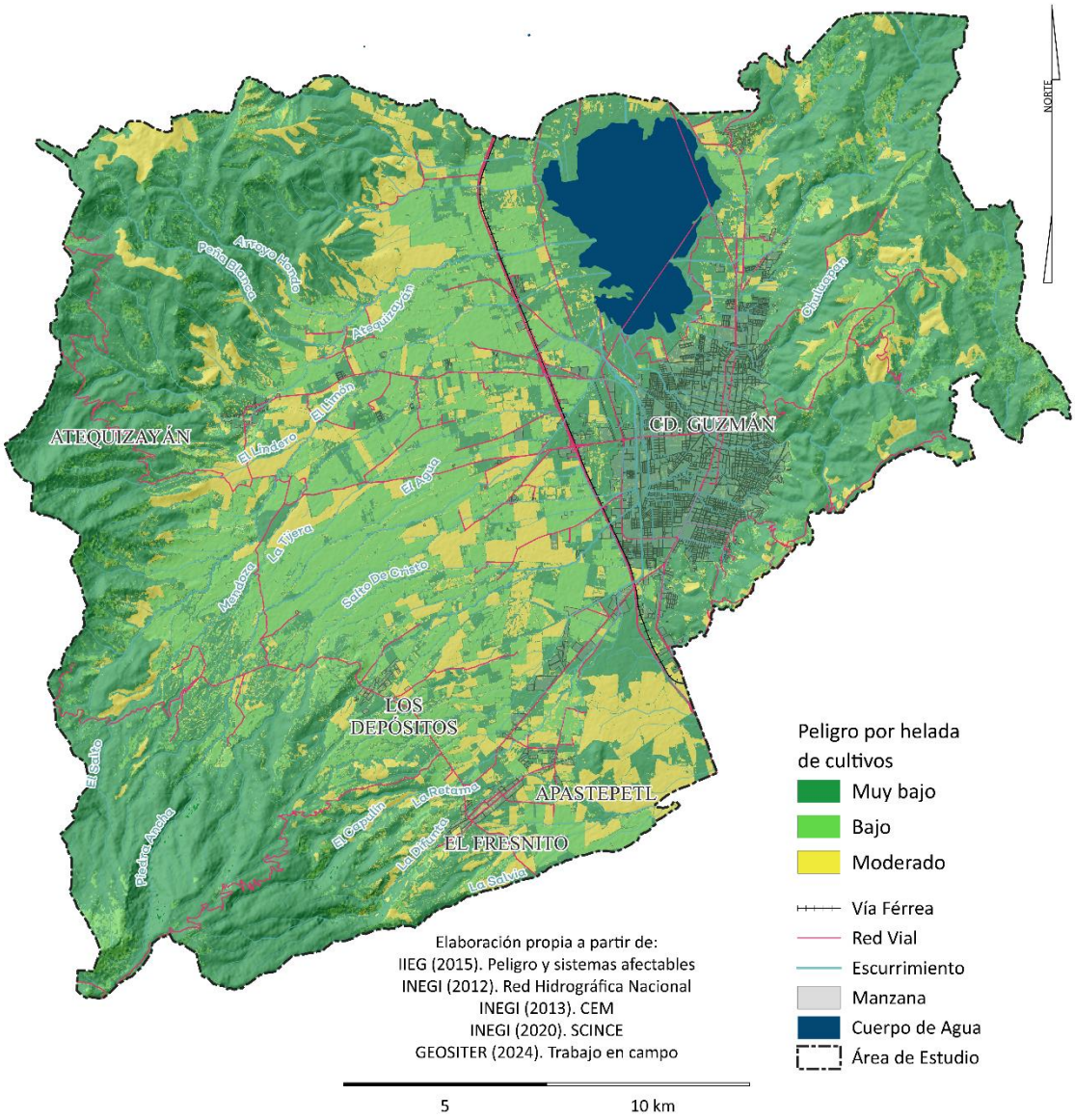
Con estos insumos se generó la modelo ponderada para zonificar el nivel de peligro por helada en el municipio, tomando en cuenta la especialización de los resultados obtenidos en el atlas de riesgos anterior y la actividad agrícola como la que más sufre las consecuencias de este fenómeno.

2.5 Zonificación de peligros por nevada

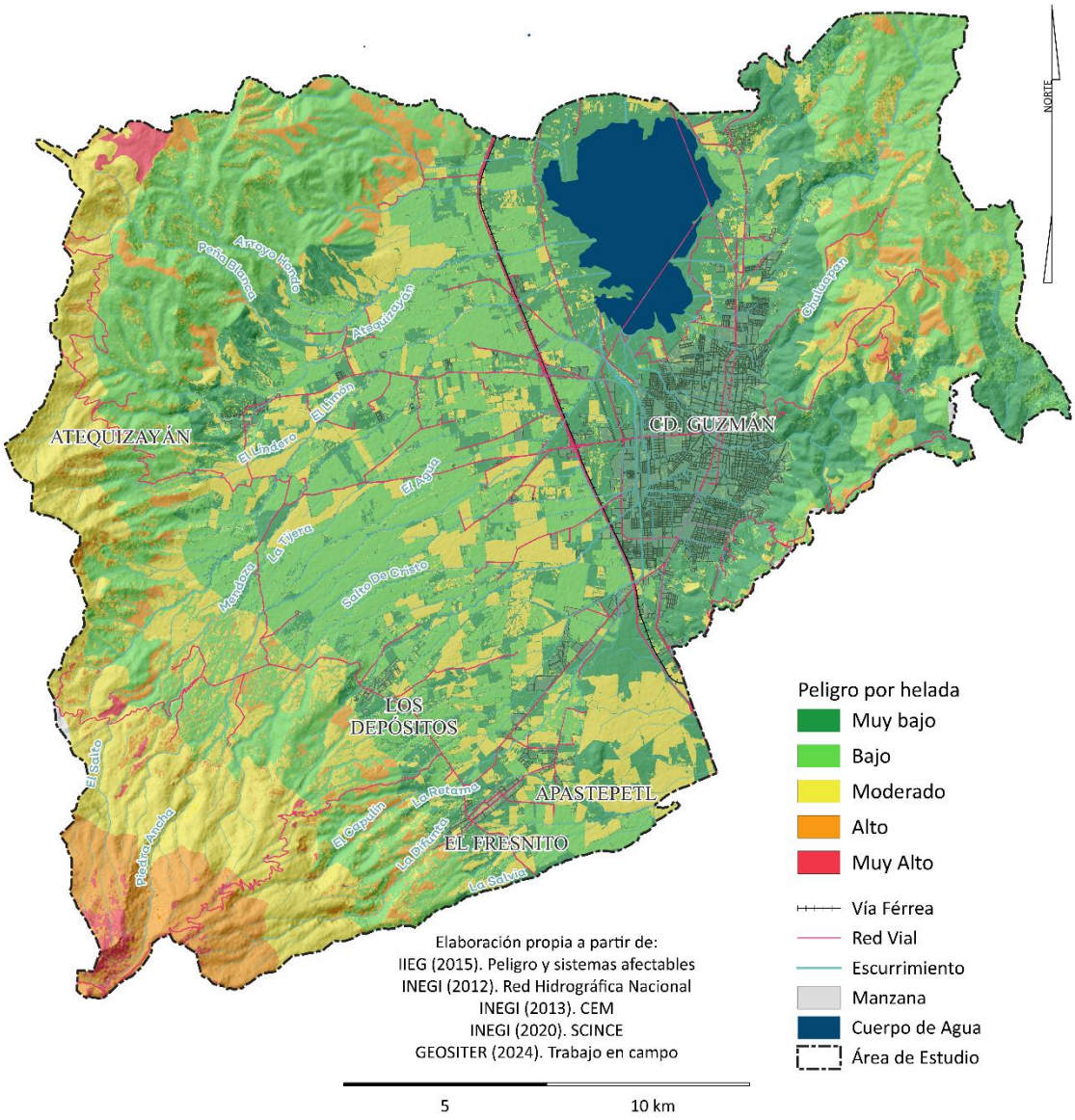
Para el caso de este fenómeno, se presenta únicamente el modelo del nivel de peligro por nevada realizado por el IIEG en el 2015. Las nevadas afectan únicamente la zona de mayor altitud, en las laderas del Nevado de Colima.



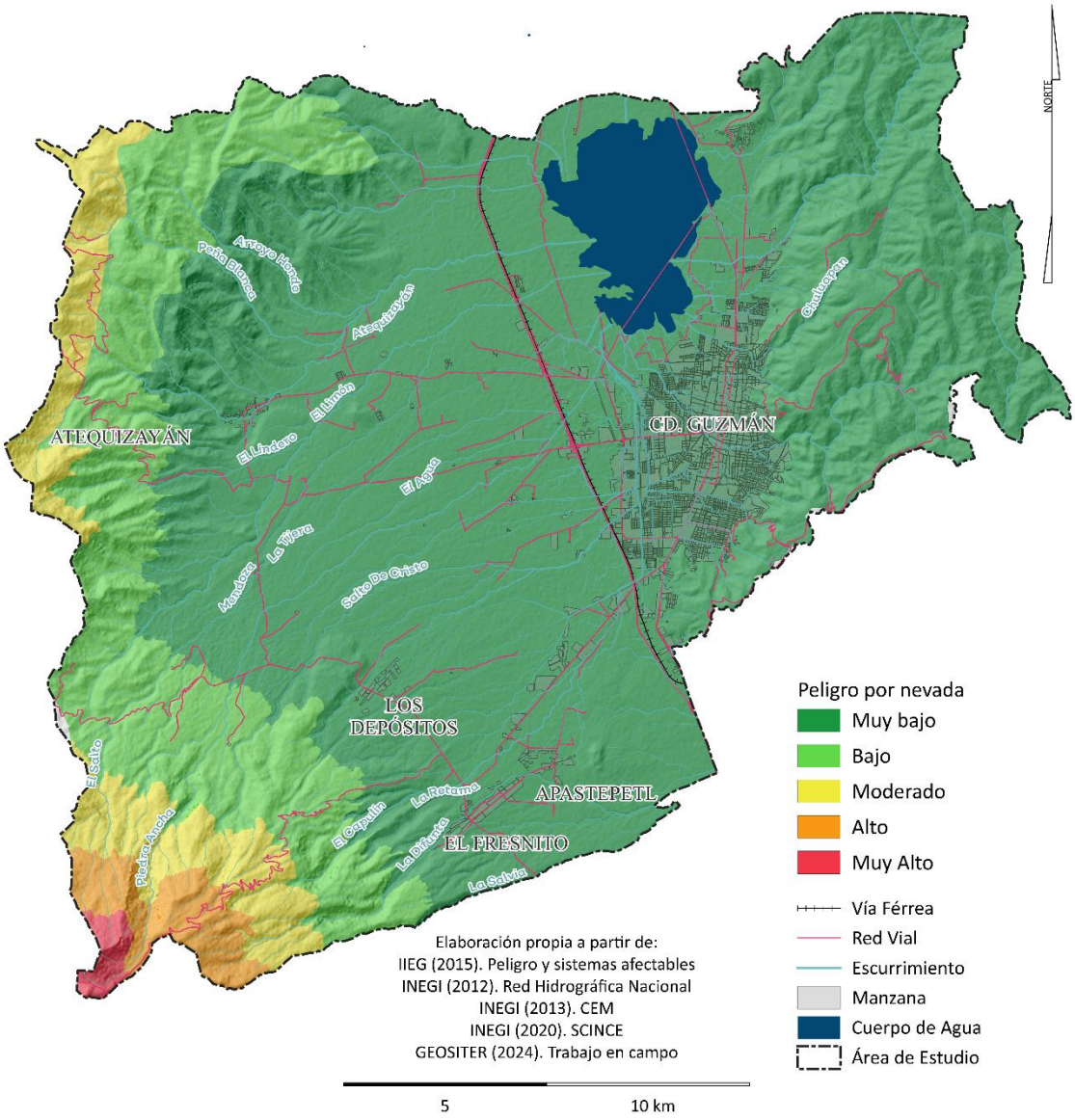
Mapa 37. Peligro por helada (gradiente térmico)
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 38. Peligro por helada de cultivos
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 39. Zonificación de peligro por helada
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 40. Zonificación de peligro por nevada
Fuente: Elaboración propia.

2.6 Zonificación de peligros por temperaturas máximas extremas

En el atlas de riesgos anterior se analizaron series completas de datos diarios de temperaturas de estaciones cercanas o que estén en el municipio de Zapotlán el Grande. La zona en estudio tiene temperatura máxima promedio de 29.16 °C para los meses cálidos (abril-septiembre), según el Atlas Climático Nacional de México, siendo mayo el de mayor temperatura. Se definen para la estación Ciudad Guzmán con 15 años de datos el percentil 90 es de 33 °C, mientras que los resultados del resto de las estaciones analizadas se muestran en la siguiente tabla:

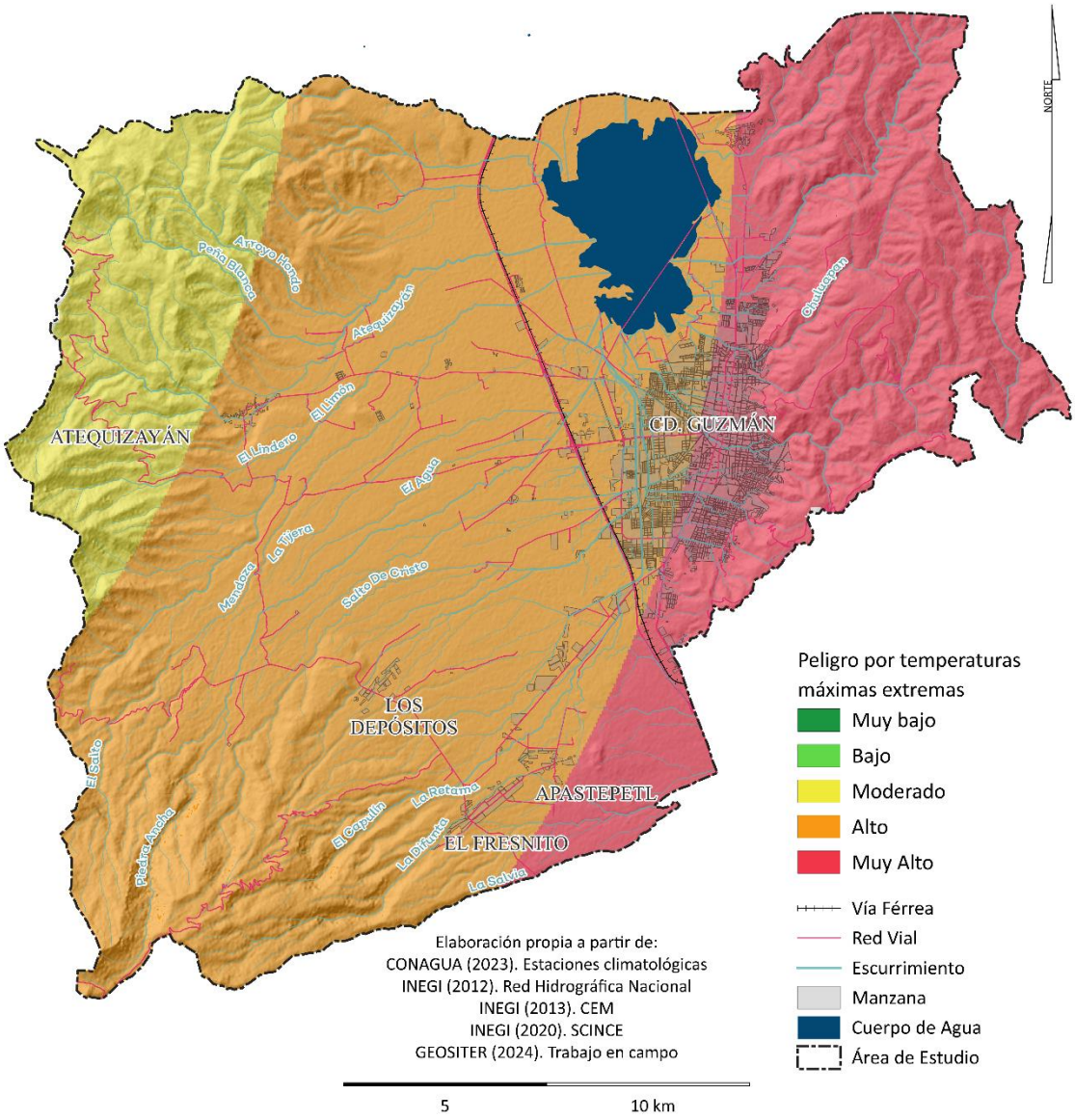
Tabla 25. Percentil 90 de temperaturas máximas extremas

Estación	Temperatura percentil 90 en °C	Años con datos
Ciudad Guzmán	33	17
Atoyac	35.5	25
Ingenio Tamazula	39	25
Quito	35	25
San Marcos	39	25
El Nogal	28	25

Fuente: Atlas de riesgos naturales del municipio Zapotlán el Grande (2015).

Con los datos de la tabla mostrada anteriormente, se realizó un método geoestadístico de interpolación local polinomial, dándole una espacialidad al fenómeno para poder zonificar su nivel de peligro dentro del municipio, a continuación, se muestra el resultado en el siguiente mapa de zonificación de peligro por temperaturas máximas extremas.

El nivel de peligro por temperaturas máximas extremas en el área de estudio es principalmente alto y muy alto. El municipio se encuentra localizado en una zona geográficamente propensa para experimentar olas de calor extremas, ya que las condiciones atmosféricas, climáticas, orográficas e hidrológicas, contribuyen a este tipo de fenómeno perturbador. Por otro lado, las actividades antropogénicas y cambios de uso de suelo que se ha experimentado a nivel global han ocasionado un incremento considerable de gases de efecto invernadero provocando el aumento de la temperatura promedio del planeta y para el municipio de interés, no ha sido la excepción al ser afectado por dicho estrago; este fenómeno se denomina cambio climático.



Mapa 41. Zonificación de peligro por temperaturas máximas extremas
Fuente: Elaboración propia.

2.7 Zonificación de peligros por vientos fuertes

En el atlas de riesgos del año 2015 se presenta que los vientos fuertes en el municipio de Zapotlán el Grande se presentan con mayor frecuencia es durante los meses de agosto y diciembre con velocidades superiores a 75 km/h.

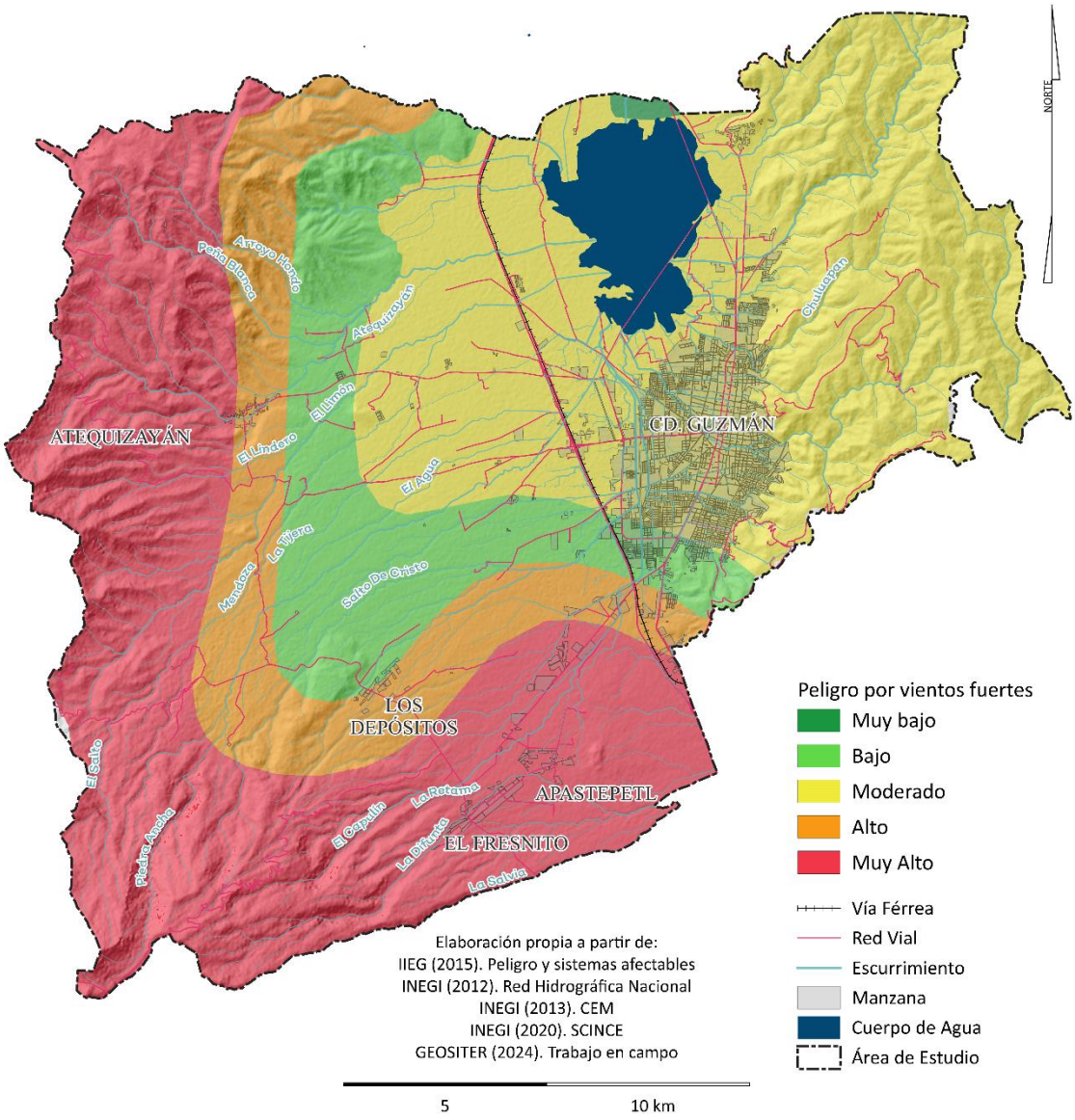
Con el objetivo de zonificar el nivel de peligro por vientos fuertes, se utilizó el modelo de peligro por vientos elaborado por el IIEG en el año 2015. Este incluye la velocidad de los vientos asociada a un nivel de peligro (ver siguiente tabla):

Tabla 26. Nivel de peligro asociado a vientos fuertes

Nivel de peligro	Descripción
Muy Bajo	Vientos fresquitos, velocidades de hasta 38 km/hr, tr 10: 120 km/hr, tr50: 140, tr200: 150 km/hr, datos de cfe, smn.
Bajo	Vientos duro de temporal, velocidades iguales o superiores a 62 km/hr, se quiebran las copas de los árboles y se dificulta andar contra el viento, fuente smn.
Medio	Viento fresquito, velocidades promedio de 38 km/hr, con tr10: 120, tr50: 140, tr200: 150 km/hr, fuente smn, cfe.
Alto	Vientos muy duros de temporal fuerte, velocidades superiores o iguales a 75 km/hr, daños en árboles, imposible andar contra el viento, fuente smn.
Muy Alto	Vientos borrascosos con velocidades promedio superiores 118 km/hr, provocan temporal muy duro, estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles, fuente smn.
	Vientos huracanados con velocidades promedio de 130 km/hr, provocan estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles, fuente smn.
	Vientos huracanados con velocidades promedio de 138 km/hr, provocan estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles, fuente smn.
	Vientos huracanados, velocidades promedio de 138 km/hr, provocan estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles, fuente smn.

Fuente: Elaboración propia (2024) con datos del SMN.

Explicado lo anterior, se presenta a continuación el mapa de peligro por vientos fuertes, en el cual se observa que el municipio sufre de cierto grado de peligrosidad, específicamente el oriente, entre más cercano al Nevado de Colima, mayor peligro por vientos fuertes. Por otro lado, la cabecera municipal en conjunto con el poniente del municipio, donde se ubica un pedazo de la Sierra del Tigre se tiene un nivel de peligro por vientos fuertes moderado. Este fenómeno es de suma importancia para la dinámica agrícola del municipio, mientras que cada año va creciendo la superficie de invernaderos dentro del municipio ya que los agricultores buscan protegerse de este fenómeno.



Mapa 42. Zonificación de peligro por vientos fuertes
Fuente: Elaboración propia.

2.8 Modelo ponderado de peligros meteorológicos

Anteriormente se presenta la zonificación de los peligros meteorológicos que más inciden en el municipio. Estos son tormentas eléctricas, sequía, helada, nevada, temperaturas máximas extremas y vientos fuertes. Cada una de estas variables se presenta espacializada a lo largo de la superficie municipal con el objetivo de zonificar los peligros asociados a cada una.

Con el objetivo de obtener un resultado que englobe todas estas variables que dependen de las variaciones climáticas en la región y el hecho de que las dinámicas agrícolas del municipio son las que más sufren las consecuencias de estos fenómenos, se realizó un modelo ponderado del nivel de peligro meteorológico en el cual se utilizaron las 6 variables mencionadas anteriormente y se les asignaron los siguientes pesos:

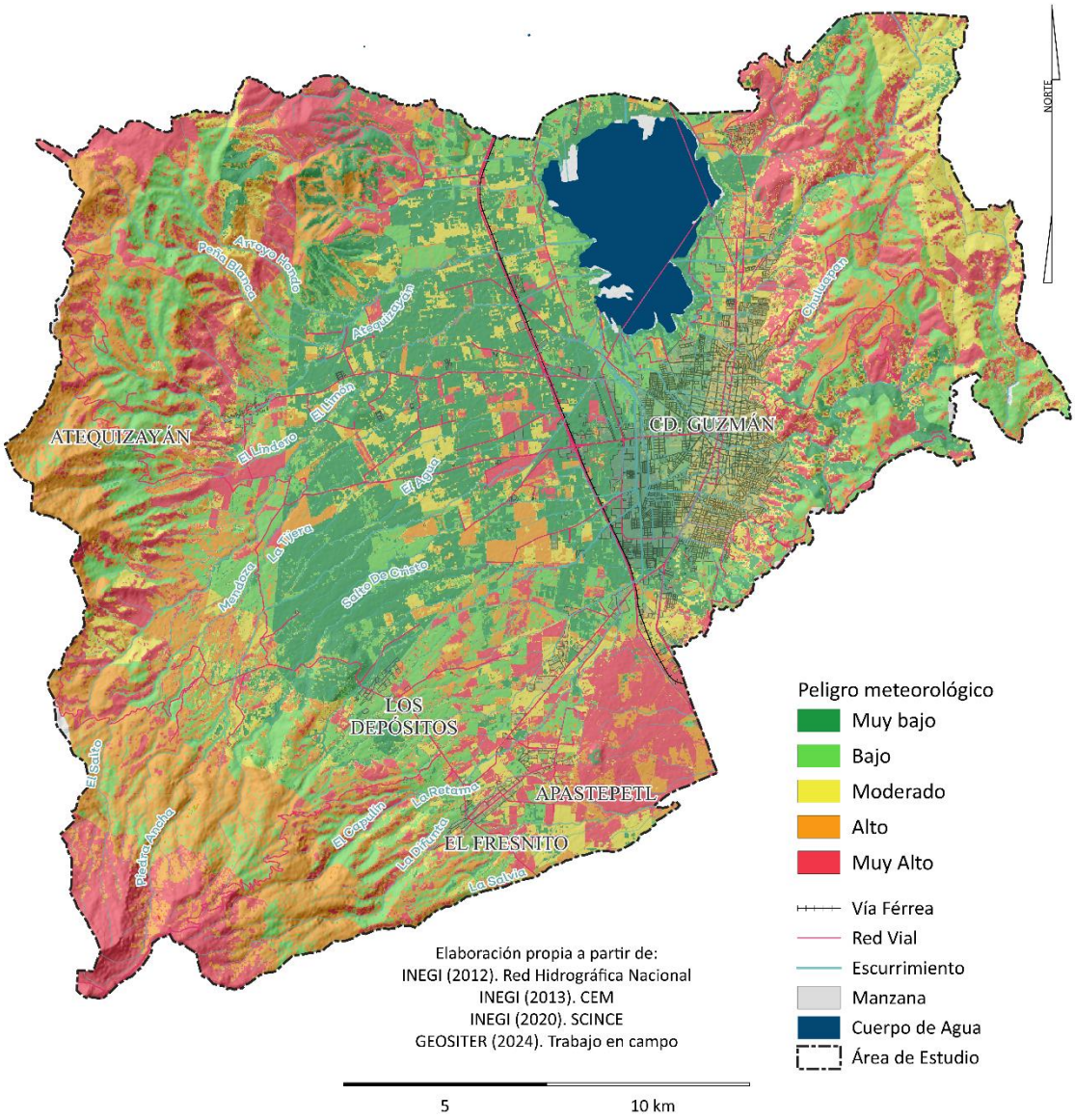
Tabla 27. Ponderaciones de las variables que conforman el modelo de nivel de peligro meteorológico

Variable	Peso en porcentaje
Peligro por sequía	30
Peligro por temp max ext	14
Peligro por helada	14
Peligro por nevada	14
Peligro por vientos fuertes	14
Peligro por tormenta eléctrica	14

Fuente: Elaboración propia.

El peso de las variables va enfocado a la influencia que tienen sobre la actividad agrícola y los cultivos en el área de estudio. La zonificación está enfocada a delimitar esas parcelas agrarias o terrenos en preparación de tierras para cultivo que son las más expuestas a pérdida de cultivos o pérdida de suelo debido al nivel de peligro meteorológico en el cual se encuentran.

La mayoría de las zonas delimitadas con peligro meteorológico muy alto se identifican como terrenos agrícolas donde cultivan maíz y/o aguacate, específicamente en las laderas partes altas de los cerros que circundan el municipio sin dejar a lado los cultivos que se encuentran en la parte sur del municipio, donde se sufre de un grado mayor de sequía.



Mapa 43. Zonificación de peligros meteorológicos
Fuente: Elaboración propia.

2.9 Zonificación de peligros por inundaciones

La presente sección del Atlas de Riesgos se centra en identificar y analizar las áreas vulnerables a inundaciones en Zapotlán el Grande, así como en proporcionar información detallada sobre la frecuencia y severidad de estos eventos. Se abordan también las principales causas y factores que contribuyen a la ocurrencia de inundaciones, destacando la importancia de la planificación urbana y la gestión integral de cuencas. Este análisis pretende ser una herramienta fundamental para las autoridades locales, los planificadores urbanos y la comunidad en general, con el fin de fomentar la resiliencia y minimizar los impactos adversos de las inundaciones en el municipio.

En este apartado se recopilan los insumos proporcionados por el municipio, así como otras instancias gubernamentales, incluyendo registros históricos de inundaciones, polígonos afectados, puntos críticos, valores de tirante de la lámina de agua y, además, se incluye una batería de incidencias relacionadas a problemas de saturación, generada a partir del trabajo de campo y los talleres realizados en esta edición del Atlas de Riesgos 2024 del municipio Zapotlán el Grande.

Marco conceptual

En los estudios de los riesgos y desastres naturales en general es posible identificar dos tipos de aproximaciones y procesamiento de los fenómenos; uno de carácter cuantitativo y otro cualitativo. El primero refiere a una información objetiva basada en medidas estadísticas y probabilísticas; se procesa la información levantada sistemáticamente durante un periodo, es la lectura rigurosa de los acontecimientos peligrosos, sustenta un registro continuo y estructurado según la naturaleza del fenómeno a tratar.

La obtención de una base de datos de carácter cuantitativo implica una consecuente y prolija estadística de la captura de incidencias. Luego de determinar la base metodológica de la cual se parte, consecuentemente se distinguen los tipos de técnicas de captura de incidencias, para armonizar los tipos de procesamientos (cualitativos o cuantitativos), que buscan llegar a referir su peligrosidad con el tipo de levantamiento, relación necesaria para la evolución del abordaje.

Desde la literatura de la disciplina de la geografía de los riesgos, se han podido distinguir cuatro tipos de metodologías que sustentan la diversidad de aproximaciones a la peligrosidad de las inundaciones.

La peligrosidad es un estudio de las amenazas o peligros, soportados en las características que posee el peligro (severidad) y la probabilidad de su ocurrencia, factor que puede ser auxiliado por los enfoques metodológicos ya expuestos (cuantitativo y cualitativo).

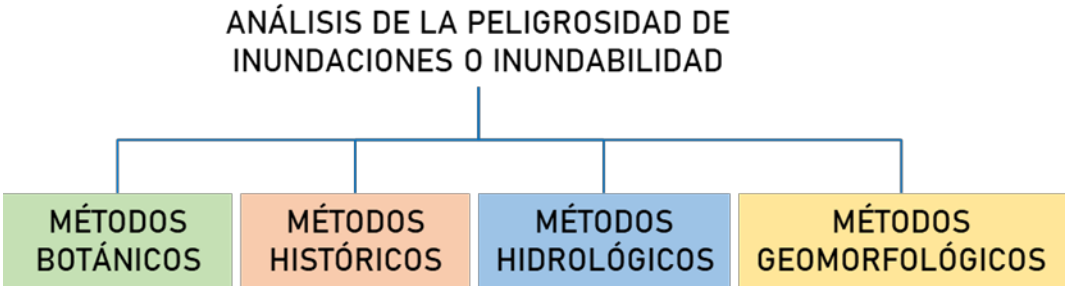


Figura 31. Tipos de metodologías para el abordaje de inundaciones
Fuente: Elaboración propia a partir de Díez, Laín y Llorente, 2008.

Los métodos de captura de las incidencias están muy relacionados con la capacidad de evaluar su peligrosidad, siendo estos (Díez, Laín, & Llorente, 2008):

Método botánico: se acude a las señales de la vegetación arbórea, ya sean especies ripiaras o no próximas a las orillas. Se registran sus atributos físicos como raíces, troncos y ramas de los árboles ubicados en determinadas zonas geomorfológicas donde se presentan inundaciones, las señales mostradas por la vegetación indican el nivel de peligrosidad que presentó el fenómeno, método eficaz para estudiar las inundaciones torrenciales dado que despliegan energía que remueve la vegetación.

Ninguna fuente consultada para este atlas hace uso de esta metodología, aunque se presentan evidencias fotográficas registradas del impacto de las inundaciones a la vegetación, como en zonas donde se observa el acarreo, algunas veces total, de elementos vegetales.

Métodos históricos: se consideran las fuentes documentales como principal evidencia, usualmente se utilizan archivos bibliográficos y distintas fuentes hemerográficas, testimonios orales y visuales. Son utilizados para recrear escenarios del pasado que permiten corroborar o descartar la recurrencia de los fenómenos, sustentándose en la hipótesis de que si las perturbaciones se presentaron anteriormente es posible que se den en un futuro.

Métodos hidrológicos: correspondientes al cálculo del caudal de las escorrentías generadas en una cuenca, relevan los valores y características de los cauces, precisan modelos hidrometeorológicos que explican la conversión de las precipitaciones en escorrentías laminares según periodos determinados, esta clase de métodos se apoyan de forma

consecuente con cálculos hidráulicos que se acotan al estudio de los flujos en segmentos de canales o cauces, con el fin de aplicar acciones ingenieriles de control sobre el caudal.

Métodos geomorfológicos: priorizan la lectura del relieve, identificando indicios de impactos del caudal, de esta manera se revelan áreas geomorfológicas activas dentro y al margen del cauce. Relacionan las dinámicas o el régimen fluvial natural con la carga sólida que contienen y su depósito, como indicativo clave para precisar la susceptibilidad del terreno a inundarse.

Todos estos métodos pueden o deben auxiliarse con el trabajo de campo, permitiendo una corroboración in situ, en caso de requerir validar las incidencias levantadas en gabinete, como puede suceder con el procesamiento de las incidencias registradas con el método histórico, o necesariamente para recabar incidencias idóneas para llevar a cabo el método seleccionado.

Acudir al campo implica registrar las interpretaciones avaladas por el método seleccionado, las incidencias reportadas pueden ser evidentes a la observación, siempre y cuando sean capturadas durante una contingencia, de lo contrario su calidad se sujeta a la capacidad interpretativa y deductiva del intérprete.

Para la confección de este atlas se tomó como guía fundamental el documento de "Términos de referencia para la elaboración de atlas de peligros y/o riesgos 2016", publicada por SEDATU (2016), avalada por CENAPRED (2006) y (2011). En él se precisa una metodología mixta de captura y abordaje con respecto a las inundaciones; desde realizar cálculos y modelos hidrometeorológicos, distinguir el relieve de la cuenca, hasta confeccionar el patrón histórico de las incidencias. Por su naturaleza de guía este documento tiene que presentar un amplio soporte de las posibles rutas metodológicas a tomar, decisión final que toma el autor del atlas según sus capacidades y aprovechamiento que el campo requiera.

Usualmente las incidencias de inundaciones presentadas en los distintos mapas de los atlas de riesgos tienen dos tipos de representaciones espaciales; puntuales y superficiales. Las primeras son referencias que indican la existencia de una incidencia, pero sin dar cuenta de su extensión; se levantan cuando se encuentran señalamientos que evidencian la localización del fenómeno. Por otro lado, las superficiales o de cobertura, pueden ser interpretaciones en base a deducciones, o delimitadas por verificaciones directamente de la observación del fenómeno en campo.

Fuente de insumos

Incidencias del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED)

Actualmente la Conagua ha generado atlas de inundación para 104 ciudades medias del país, 40 zonas ubicadas aguas debajo de presas con vertedor controlado y 4 escenarios de eventos hidrometeorológicos extremos históricos.

Estos atlas se desarrollan conforme a los Lineamientos para la Elaboración de mapas de Peligro por Inundación (2014), mismos que forman parte del Acuerdo por el que se emite la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos.

Para el límite municipal, el Atlas Nacional de Riesgos por Inundación (ANRI) presenta una capa espacial con el índice de inundabilidad para los periodos de retorno de 2, ,10, 50 y 100 años. Los polígonos de esta capa representan las zonas con riesgo de inundación, sin embargo, la resolución no alcanza tanto detalle para zonificar la peligrosidad por inundación dentro de la cabecera municipal y las otras localidades de Zapotlán el Grande.

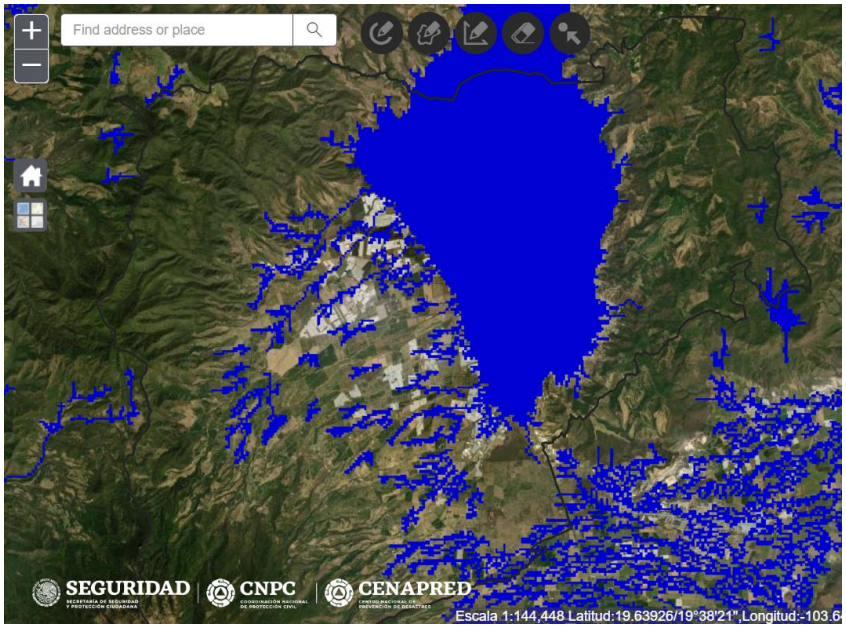


Figura 32. Índice de Inundabilidad para el escenario Tr50 del ANRI
Fuente: CENAPRED, 2021.

Incidencias del Atlas de Riesgo Estatal de Jalisco 2006-2014 (AREJ)

Este atlas presenta ambos tipos de incidencias (puntuales y superficiales), como un producto técnico-temático de cobertura estatal no centra su atención en el municipio de Zapotlán el Grande, por lo que permite tener una amplia referencia y contexto del patrón de las incidencias más allá de la jurisdicción municipal, y poder relacionarlas según las plataformas hidrográficas que comparte Zapotlán el Grande con otros municipios, como es el caso de la Cuenca de la Laguna de Zapotlán en la que se ubica la mayor parte del municipio y a la vez, una parte pertenece al municipio Gómez Farías.

La calidad y utilidad de los datos responde a la metodología de captura empleada, al ser incidencias capturadas por vía de una recopilación de evidencias históricas como reportes periodísticos. El cúmulo de datos corresponde a la búsqueda de un patrón retrospectivo de las amenazas.

Incidencias recopiladas en campo

Durante las 10 salidas formales a campo se levantaron un total de 17 incidencias relacionadas con problemas inundaciones. La mayoría se concentran en la cabecera municipal, incidencias resultantes de rompimiento de ollas y arrastre de sedimentos de las laderas de la sierra del tigre hacia la cabecera. Las demás incidencias se atribuyen a los escurrimientos que pasan por las localidades Atequizayan y El Fresnito. Se visitó la carretera que pasa por la Laguna de Zapotlán que desde el Plan Maestro de la Cuenca de la Laguna de Zapotlán se había identificado esta carretera como vulnerable a inundaciones.

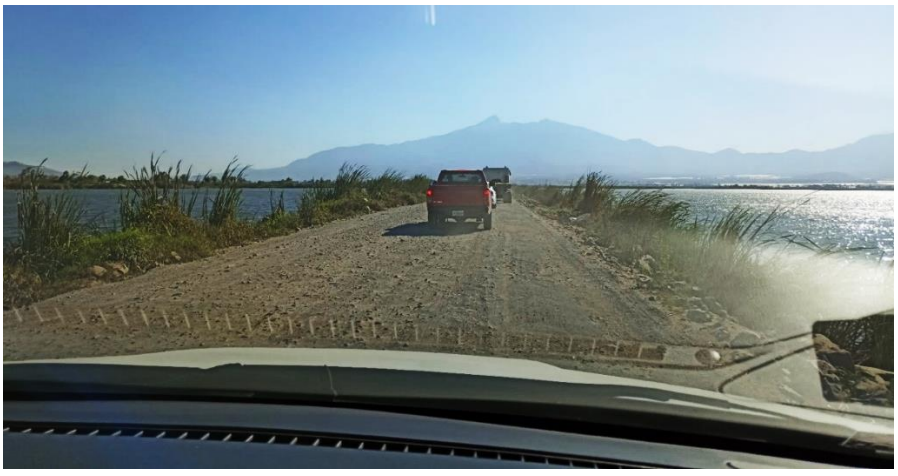


Figura 33. Carretera que pasa por Laguna de Zapotlán
Fuente: Captura propia.

Figura 34. Mapa de incidencias de inundación en la cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

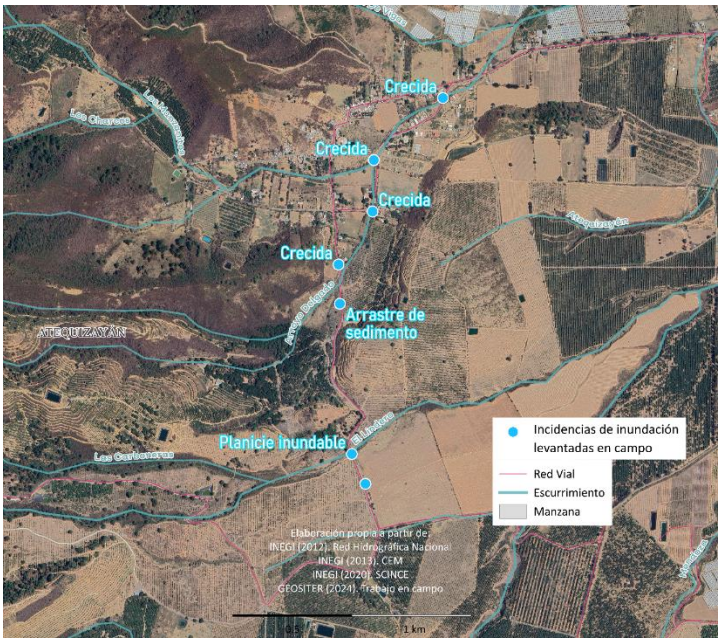


Figura 35. Mapa de incidencias de inundación en la localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

Incidencias recopiladas en talleres (participación social)

La entrega del Atlas de Riesgos de Zapotlán el Grande incluye una serie de talleres participativos realizados en conjunto con UMPCYB y participación ciudadana. El objetivo de estos talleres es la identificación de fenómenos perturbadores que los ciudadanos han identificado a lo largo de las incidencias históricas que han ocurrido en el municipio, aportando información inédita y desde un punto de vista en primera persona.

Se realizaron un total de 4 talleres participativos durante esta edición del Atlas de Riesgos de Zapotlán el Grande. En estos resaltan los fenómenos relacionados con el agua como una de las problemáticas principales que afectan a la población. Los problemas relacionados con el agua se dividieron en tres categorías, calidad de agua, saturación y encharcamientos. Se hizo identificación puntual de cauces y canales con mala calidad del agua, zonas donde han ocurrido inundaciones, zonas donde se desbordan los canales y los cauces y hasta polígonos afectados por inundaciones.

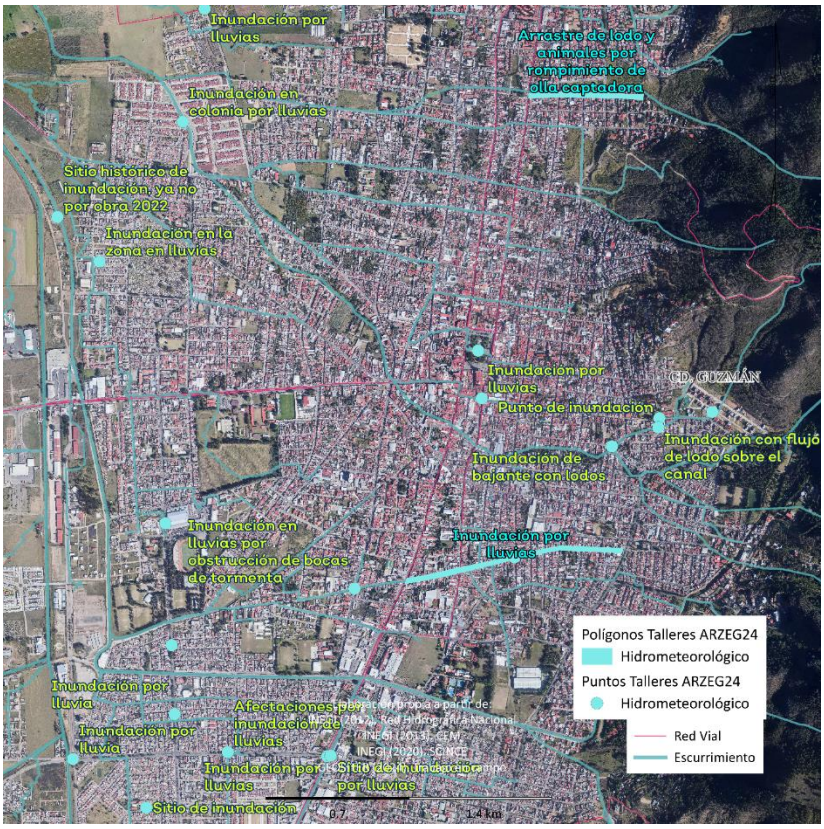


Figura 36. Mapa de incidencias de inundación recopiladas en talleres
Fuente: Elaboración propia.

Metodología para cuantificar el peligro por inundación

Como se comentó anteriormente, existen varias metodologías para calcular la peligrosidad asociada a las inundaciones que van desde métodos cualitativos hasta métodos cuantitativos. En este caso, se utilizó la metodología establecida por CENAPRED (2016) en la que se formulan modelos matemáticos para simular las inundaciones por flujo no permanente bidimensional con el paquete de software IBER. A continuación, se explica la metodología empleada para generar los modelos de inundaciones para el área de estudio.

IBER es una herramienta de modelación matemática bidimensional para la simulación del flujo del agua en lámina libre en dos dimensiones, lo que significa que utiliza el método de volúmenes finitos que permite mayor flexibilidad en la malla para resolver ecuaciones parciales y de esa manera predice los valores de las variables hidráulica como lo es el tirante, velocidad y caudal. Asimismo, esta herramienta está compuesta por un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos (Bladé et al., 2012).

El módulo hidrodinámico consiste en un conjunto de ecuaciones de St. Venant en 2D que describen el movimiento de los fluidos; es decir la solución numérica de las ecuaciones de conservación de momento y de masa en un fluido. De este modo se analizan las variables que controlan el movimiento del agua y cómo la misma se verá afectada ante diferentes modificaciones (Bladé et al., 2012). Para construir y hacer uso de estos modelos hidrológicos se siguieron los tres pasos indicados en siguiente figura.

Figura 37. Pasos generales para realizar la cuantificación de peligro utilizando modelos hidrológicos en IBER
Fuente: Elaboración propia (2024) con base en metodología del modelo IBER.

Primero se realiza el manejo y tratamiento de capas vectoriales y ráster en el sistema de información geográfica (SIG) ArcMap. Los insumos utilizados son los siguientes:

- Modelo digital de elevación tipo terreno con 12.5 metros de resolución (ALOS PALSAR, 2011) para la cuenca de la Laguna de Zapotlán.
- Modelo digital de superficie con 1 metro de resolución (Ayuntamiento Municipal ZEG, 2015) para la cabecera municipal.

- Modelo digital de elevación con 5 metros de resolución (INEGI, 2016) para las microcuencas de la subcuenca R. Tuxpan.
- Uso de suelo y vegetación escala 1:10,000 (POEL, 2021) rellenado con USV escala 1:50,000 (SEMADET & CONAFOR, 2020).
- Cartas edafológicas 1:50,000 (IIEG, 2016).
- Red hidrográfica actualizada del AEH de Zapotlán el Grande.

El manejo de datos en SIG consiste en tres etapas: asignar los valores de rugosidad con base en los usos de suelo y vegetación, establecer el número de curva del área de estudio y construir un archivo ASCII a partir del Modelo Digital de Elevación, con el objetivo de estableces una delimitación de los polígonos de la modelación y posteriormente generar una malla de estos en el siguiente paso con el software IBER.

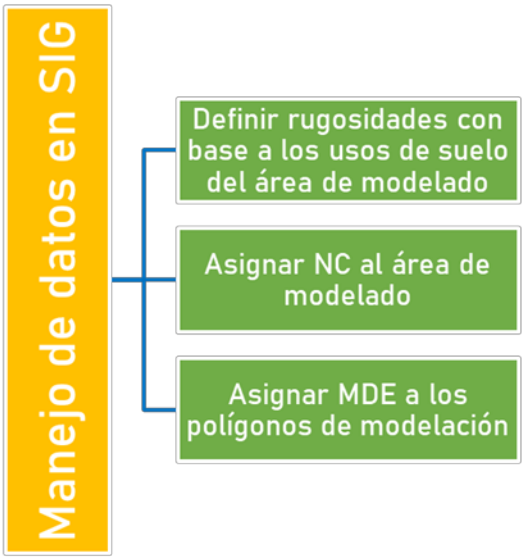


Figura 38. Manejo de datos en SIG previo al modelado en IBER
Fuente: Elaboración propia (2024) con base en metodología del modelo IBER.

El número de curva (NC) es un parámetro hidrológico que permite cuantificar el potencial de escorrentía en una cuenca a partir de la cobertura del suelo. Cada uso de suelo tiene un NC distinto. Para asignar el NC se realizó una intersección de la capa de uso de suelo y vegetación con la capa de tipo de suelo para ligar cada uso a un Grupo Hidrológico del Suelo. Después, se asignó el NC de acuerdo con el manual "Hidrología urbana para cuencas pequeñas" (USDA-SCS, 1986). Asimismo, se determinó el coeficiente de rugosidad. El NC y el coeficiente de rugosidad están estrechamente ligados debido a que ambos se enfocan en

la capacidad de infiltrar o escurrir dependiendo la cobertura de suelo. A continuación, se muestra una tabla de los NC asignados a los tipos de cobertura de suelo presentes en el área de estudio:

Tabla 28. Número de curva para los tipos de cobertura de suelo en el área de estudio

Cobertura de suelo	Coeficiente de rugosidad de Manning	Número de curva (NC)			
		Grupo hidrológico de suelo			
		A	B	C	D
Agua	0.025	99	99	99	99
Vegetación subacuática	0.020	95	95	95	95
Sin vegetación aparente	0.023	59	69	75	82
Urbanización	0.1	74	84	90	92
Vías de comunicación	0.15	78	88	94	96
Áreas verdes urbanas	0.030	55	73	81	86
Pastizal cultivado	0.035	47	67	81	88
Pastizal inducido	0.030	25	59	75	83
Pastizal natural	0.040	59	69	79	84
Agricultura de riego	0.045	67	83	88	90
Invernaderos	0.050	72	81	88	91
Huertos (aguacate)	0.035	66	74	80	82
Agricultura de temporal	0.040	63	75	83	87
Matorral inducido	0.080	35	56	70	77
Bosque tropical caducifolio	0.070	45	66	77	83
Bosque de Quercus	0.060	24	52	65	74
Bosque mixto de Pinus y Quercus	0.080	26	24	66	75
Bosque de Pinus	0.070	25	55	70	77
Bosque de Pinus disperso	0.050	24	52	65	74
Bosque de Abies y mesófilo	0.060	26	24	66	75

Fuente: Elaboración propia (2024) con valores de Número de Curva del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA-SCS, 1986)

Para la delimitación de los polígonos de modelación, se utilizaron 3 modelos digitales de elevación distintos. Para la cuenca de la Laguna de Zapotlán se utilizó el modelo digital de elevación de la NASA con resolución de 12.5 metros, sin embargo, no era suficiente detalle para alcanzar a analizar la parte baja de la cuenca, donde se ubica la cabecera. En este sentido, se utilizó un modelo digital de superficie con resolución de 1 metro, compartido como parte de los insumos entregados por el municipio para crear un polígono de modelación para la cabecera municipal. Por último, se utilizó un modelo digital de elevación con resolución de 5 metros para el polígono de modelación que representa las dos microcuencas que forman

parte del área de estudio y drenan hacia el sur en vez de a la Laguna de Zapotlán. La realización de los modelos hidrodinámicos con un modelo digital de elevación de alta resolución permite una representación de alta confianza en cuanto a los tamaños de los cauces y sus llanuras de inundación (CENAPRED, 2011).

Una vez teniendo estos tres insumos comentados anteriormente, se exportan en formato de texto binario (ASCII) para ingresarlos al software IBER.

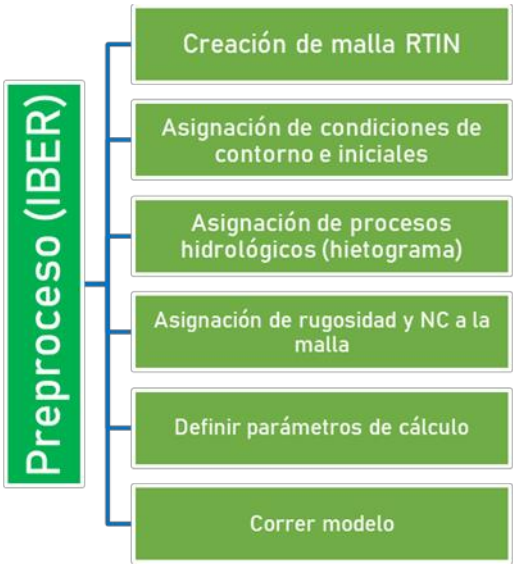


Figura 39. Proceso del modelo hidrodinámico en IBER
Fuente: Elaboración propia (2024) con base en la metodología del modelo IBER.

Tomando en cuenta que se trabajaron 3 modelo, uno para la cuenca de La Laguna de Zapotlán, uno para la cabecera municipal de Zapotlán el Grande y otro para las microcuencas que drenan hacia la subcuenca del río Tuxpan, el procesamiento en IBER es similar en los 3 casos.

En primer lugar, se importó el MDE que se hizo anteriormente, de manera que en IBER se creó un nuevo archivo RTIN, en el cual se exportó el archivo ASCII del MDE que abarca el polígono de modelación. Se utilizó una tolerancia de 2 metros, lado de máximo de 50 metros y un lado mínimo de 1 metro.

A continuación, se asignaron las condiciones iniciales. Se utilizó un valor de 0 m de profundidad de agua en todas las zonas de modelación a excepción de la Laguna donde se le asigna una profundidad de 4 metros al centro de la Laguna. Enseguida se agregaron las condiciones de contorno, es decir, los lugares de salida de los escurrimientos. Las salidas

asignadas fueron seleccionadas a partir del punto de menor elevación de cada polígono de modelación. En el caso de los modelos de la Cuenca de la Laguna de Zapotlán y el de la cabecera municipal, estos no se les asigna salida debido a que la Laguna de Zapotlán es el punto más bajo de la cuenca y la que recibe todos los escurrimientos de la cuenca.

El coeficiente de rugosidad, al igual que el número de curva, se asignaron importando sus respectivos archivos ASCII para asignar de manera automática los valores de estas dos variables a cada tipo de cobertura de suelo.

La entrada de lluvia en el modelo se realizó por medio de la inclusión de hietogramas de una lluvia de diseño para el área de estudio con distintos periodos de retorno. La lluvia de diseño es un evento de precipitación hipotético, estadísticamente previsible. El periodo de retorno es una forma de expresar la probabilidad de que un evento ocurra. Este hietograma se construye a partir del análisis de datos de precipitación de las 5 estaciones analizadas en la edición pasada del Atlas de Riesgos Municipal, del cual se rescatan los siguientes valores de precipitaciones máximas en 24 horas:

Tabla 29. Periodos de retorno de lluvia máxima en 24 horas en el área de estudio

Tr	Precipitación máxima en 24 horas (mm)
5	85.48
10	99.33
25	109.38
50	120.98
100	129.42

Fuente: Elaboración propia (2024) con información del Atlas de Riesgos de Zapotlán el Grande (2015).

Dado que la estación meteorológica 14030 Ciudad Guzmán no tiene datos suficientes para ser empleados en el cálculo de las variables precipitación y caudal máximos, en la edición pasada del Atlas se calculó la precipitación por medio de polígonos de Thiessen para toda la subcuenca Laguna de Zapotlán con los datos de las estaciones El Nogal, Ingenio Tamazula, Atoyac, San Marcos (Tonila) y Quito. Cabe mencionar que las estaciones automáticas Volcán de Colima y Ciudad Guzmán sólo cuentan con datos de los años 2013 y 2014 (Atlas de Riesgos Municipal Zapotlán el Grande, 2016).

Teniendo estos datos se prosiguió a disgregar dichos eventos a lluvias con duraciones menores a 24 horas. Se empleó el método Chen (Rojas, 2015) que permite estimar la altura de precipitación para cualquier periodo de retorno y para cualquier duración. Para la creación de los hietogramas que utiliza IBER como entrada de agua, se generaron hietogramas

adimensionales para su respectivo periodo de retorno a partir de los datos presentados en la tabla anterior. A continuación, se muestran las gráficas de una lluvia diseño de 1 hora en el municipio de Zapotlán el Grande para los periodos de retorno 5, 10, 25, 50 y 100 años.

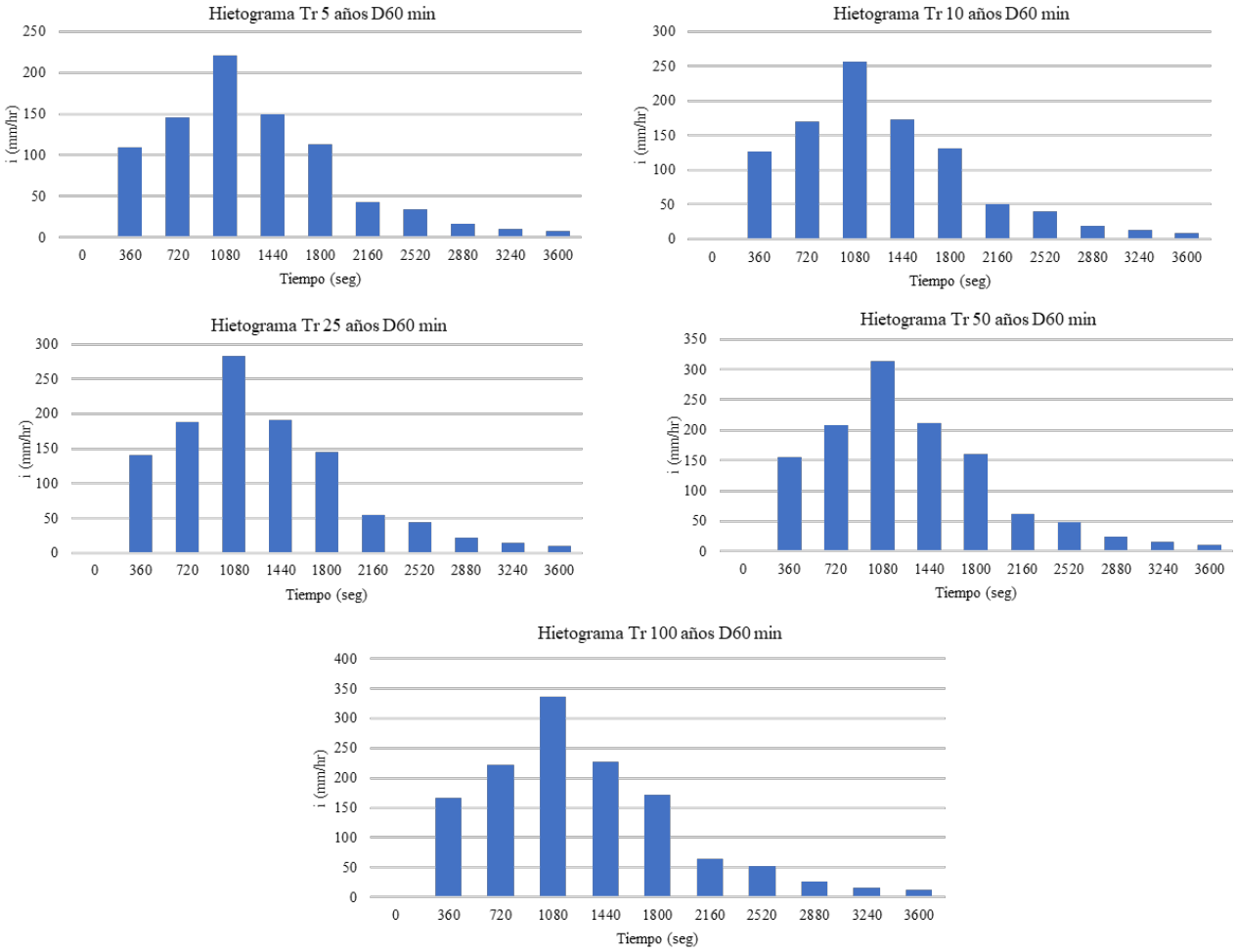


Figura 40. Hietogramas por periodo de retorno duración 60 min
Fuente: Elaboración propia (2024) con información de Atlas de Riesgos Municipal ZEG (2016).

Por último, se asignó tiempo inicial (0 segundos) y el tiempo máximo de simulación (10800 segundos), con un intervalo de tiempo de 300 segundos, tomando en cuenta la suma de la duración de la tormenta y el tiempo de concentración de las microcuencas varía entre 56 minutos hasta 126 minutos; se corrió el cálculo del modelo, y se seleccionaron los siguientes resultados a visualizar: tirante máximo, velocidad y peligrosidad máximas.

Evaluación de peligro por inundación

Para la evaluación sistémica de inundación, se optó por realizar un análisis espacial presentado cartográficamente. Una serie de mapas proporciona elementos y circunstancias geográficas que permiten la evolución del estudio, justificando el abordaje de casos concretos dentro de un contexto ajustado sistemáticamente, es decir; se transita escalarmente del panorama de amenazas a nivel municipal, a recortes hidrográficos menores como las zonas de incidencia, evaluadas en dos principales ejes, la susceptibilidad a inundación y el peligro de inundación.

La **susceptibilidad a inundación** muestra las zonas geomorfológicas que por sus rasgos territoriales son propensas a presentar anegamientos de una forma generalizada (modelo de susceptibilidad).

El **peligro por inundación** representa el modelo de tirante para un periodo de retorno de 100 años el cual representa la respuesta de la cuenca ante una modelación de una lluvia diseño. Es el resultado del modelado hidrológico en 2D, en los cuales se presenta la peligrosidad que acompaña a las inundaciones, representada por medio de valores del tirante de la lámina de agua y las velocidades del escurrimiento que se genera tras eventos extremos de precipitación, tomando en cuenta la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno.

Previamente se presentó la metodología empleada para la obtención del peligro por inundación y a continuación, se presenta la metodología utilizada para obtener la susceptibilidad a inundación y así ponderar el peligro y susceptibilidad para zonificar la peligrosidad asociada a las inundaciones en el municipio Zapotlán el Grande.

Susceptibilidad a inundación

El objetivo de este capítulo es estimar de manera visual y geolocalizada la susceptibilidad ante inundaciones por fenómenos hidrometeorológicos considerando las características geomorfológicas, geológicas e hidrográficas de la zona de estudio hidrológica.

Se hizo una revisión extensiva de diversas metodologías para la elaboración de mapas de susceptibilidad, se hizo consenso y se seleccionaron y agregaron las variables con más importancia a la hora de hablar del curso hidrológico y su comportamiento. (MIDEPLAN,2014), (CALIXTO,2017)

La manera en que los resultados se verán validados es por medio de la utilización de información de antecedentes históricos de las zonas afectadas por fuentes oficiales.

La zonificación de susceptibilidad será resultado de una evaluación multicriterio la cual se realiza mediante la suma ponderada de variables físicas, la fórmula que incluye los mapas de susceptibilidad es la siguiente:

$$(S) = ((PEND * (P)) + (EDAF * (P)) + (LIT * (P)) + (ZF_C * (P)) + (RH * (P)) + (P_ALUV * (P))$$

Donde:

- S = Susceptibilidad
- MDE = 5 m/pixel y LIDAR en cabecera
- PEND = Pendiente en grados
- EDAF = Edafología
- LIT = Litología
- USV = Uso de suelo y vegetación
- TEX_S = Textura del Suelo
- GOD = Vulnerabilidad de agua subterránea
- Rh = Red Hidrográfica
- P_ALUV = Planicies aluviales
- ZF_C = Zonas funcionales área de estudio hidrológico
- P = Ponderación

Las unidades del uso del suelo y vegetación son el primer contacto del agua de lluvia sobre la superficie determinando así el comportamiento inicial del curso del agua. Para la clasificación de la permeabilidad según el tipo de uso de suelo y vegetación se dieron valores según el tiempo de retención o posible infiltración al caer en cada tipo, se le dieron valores bajos a las zonas con vegetación densa y conforme la densidad disminuye por la naturaleza del tipo de vegetación se fueron incrementando los valores, se dieron valores altos a las tierras agrícolas ya que en los métodos convencionales de agricultura al terminar la cosecha se extrae toda la materia vegetal dejando los suelos desprovistos de vegetación imposibilitando la infiltración vertical, y para las zonas urbanas debido a que en el área de estudio la gran mayoría de localidades se encuentran categorizadas como zonas rurales se les dio el valor de 4 y no de 5 debido a que si existen zonas de gran compactación e impermeabilización de los suelos pero existen muchas zonas donde los caminos son de terracería o empedrados lo que

facilita la infiltración. Para las zonas donde existe agua se asignó una clasificación de 5 lo que indica que no existe permeabilidad en esas zonas.

Tabla 30. Usos de suelo y su ponderación para modelo de susceptibilidad a inundación

Tipo de uso de suelo	Clasificación
Agua	5
Vegetación subacuática	5
Sin Vegetación	4
Urbanización	4
Vías de comunicación	4
Áreas verdes urbanas	5
Pastizal cultivado	4
Pastizal inducido	4
Pastizal natural	3
Agricultura de riego	3
Invernaderos	4
Huertos (aguacate)	4
Agricultura de temporal	3
Matorral inducido	3
Bosque tropical caducifolio	2
Bosque de quercus	2
Bosque mixto de pinus y quercus	2
Boque de pinus	2
Bosque de pinus disperso	3

Fuente: Elaboración propia (2024) con información de POEL (2021).

Debido a que la pendiente representa una variable esencial con la dispersión y drenaje del agua se tomó en cuenta para la suma ponderada. La pendiente se clasificó en 5 categorías con los MDE disponibles, INEGI 5 m/pixel. y el LIDAR municipal con una resolución espacial de 1m reclasificado.

Tabla 31. Pendiente reclasificada y su ponderación para modelo de susceptibilidad a inundación

Categoría de pendiente	Rango (°)	Clasificación
Plana	0 a 1	5
Ligeramente suave	1 a 3	4
Suave	3 a 5	3
Moderada	5 a 15	2
Fuerte	>15	1

Fuente: Elaboración propia (2024) con información de INEGI y Ayuntamiento Municipal.

Para la determinación del grado de infiltración se tomaron en cuenta las capas de edafología y litología. Para la edafología se clasificó por las propiedades del suelo en cuanto a si son jóvenes, contenido de materia orgánica y la clase textural que entre más grande sea la porosidad más posibles espacios vacíos habrá para la infiltración del agua, en el caso de los suelos del área de estudio se presentan valores texturales finos, medios y gruesos.

Tabla 32. Tipo de suelo y su ponderación para modelo de susceptibilidad de inundación

Suelo	Textura	Fase
Andosol, cambisol, feozem, gleysol, litosol, regosol, redzina	Fina	Gravosa, pedregosa
	4	3.5
	Media	Gravosa, pedregosa
	3	2.5
	Gruesa	Gravosa, pedregosa
	2	1.5

Fuente: Elaboración propia (2024) con información de IIEG.

Para definir si existe un medio que favorezca la infiltración por columna vertical al subsuelo se tomó en cuenta la litología qué indicará si la infiltración profunda podría ser posible una vez cruzada la capa edafológica.

Tabla 33. Tipo de roca reclasificada y su ponderación para modelo de susceptibilidad a inundación

Roca	Clasificación
Andesita	5
Basalto	5
Brecha volcánica	5
Caliza	3.5
Extrusiva ácida	5
Extrusiva intermedia	5
Toba	4
Suelo aluvial	4.5
Suelo lacustre	4.5
Suelo residual	4

Fuente: Elaboración propia (2024) con información de IIEG.

Para conocer el transcurso del agua dentro de las cuencas de estudio se utilizó la capa de zonas funcionales con las que podemos conocer la dinámica hidrológica dentro de las subcuencas según la porción altimétrica en la que se encuentra. La zona funcional alta donde se forman los primeros escurrimientos (arroyos) luego que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad. La zona funcional media es una zona de transición

entre la cuenca alta y la cuenca baja, donde los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica pueden ser considerables según el uso cuenca arriba. Y por último la zona funcional baja principal desemboca en el mar o bien en un lago. Se caracteriza por ser una zona de importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y costeros, además, muy productiva para el uso agrícola y donde se acumulan los impactos de toda la cuenca. Para la ponderación se tomaron en cuenta las zonas funcionales por microcuenca.

Tabla 34. Zonas funcionales del AEH y su ponderación para modelo de susceptibilidad a inundación

Zona funcional	Clasificación
Alta	1
Media	3
Baja	4

Fuente: Elaboración propia.

La red hidrográfica al ser el eslabón principal de nuestro análisis, contribuyendo directamente en el comportamiento según su orden. Se realizó una clasificación tomando en cuenta los órdenes de magnitud y sobreestimando la premisa de la "Ribera o Zona Federal" que se encuentra estipulado en el artículo 3, fracción XLVII, de la Ley de Aguas Nacionales (LAN). Se generó un buffer a partir de las medidas según el orden del río.

Tabla 35. Red hidrológica reclasificada y su ponderación para modelo de susceptibilidad a inundación

Orden	Búfer (m)	Clasificación
Canales, 1 a 2	1	4
3 a 4	5	5
5 a >6	12	5
Cuerpos de agua	10	5

Fuente: Elaboración propia (2024) con información de INEGI.

Para la capa de planicies de inundación se utilizó la capa en formato ráster de un modelado geomorfológico realizado con la herramienta de Qswat que compara la posición de un punto o píxel, su distancia hacia el río al cual drena sus aguas y la diferencia de altitud entre ese punto y el cuerpo receptor.

Las incidencias registradas son un insumo muy importante que agrega la variable de espacio tiempo ya que se encuentra referenciado y vinculado a un suceso histórico donde ocurrió un desastre. Se utilizaron los lugares con incidencias como puntos y los polígonos de incidencias históricas generados por CENAPRED. Se utilizaron los polígonos para realizar una calibración en el modelo morfológico.

Una vez teniendo listas las capas en formato ráster se utilizó la herramienta de calculadora ráster y se asignaron los diferentes pesos para obtener el resultado preliminar. La suma ponderada fue reclasificada en 5 clases para la estandarización e interpretación de los resultados según los lineamientos de Términos de referencia para la elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016. Se optó por reclasificar con el método de natural breaks debido a que la clasificación agrupa valores similares y crea clases donde se encuentran grandes diferencias, maximizando así la diferencia entre ellas (Esri). El resultado de la suma ponderada donde se puede apreciar a grandes rasgos las zonas que por el curso del agua son potencialmente susceptibles a inundaciones:

Tabla 36. Red hidrológica reclasificada y su ponderación para modelo de susceptibilidad a inundación

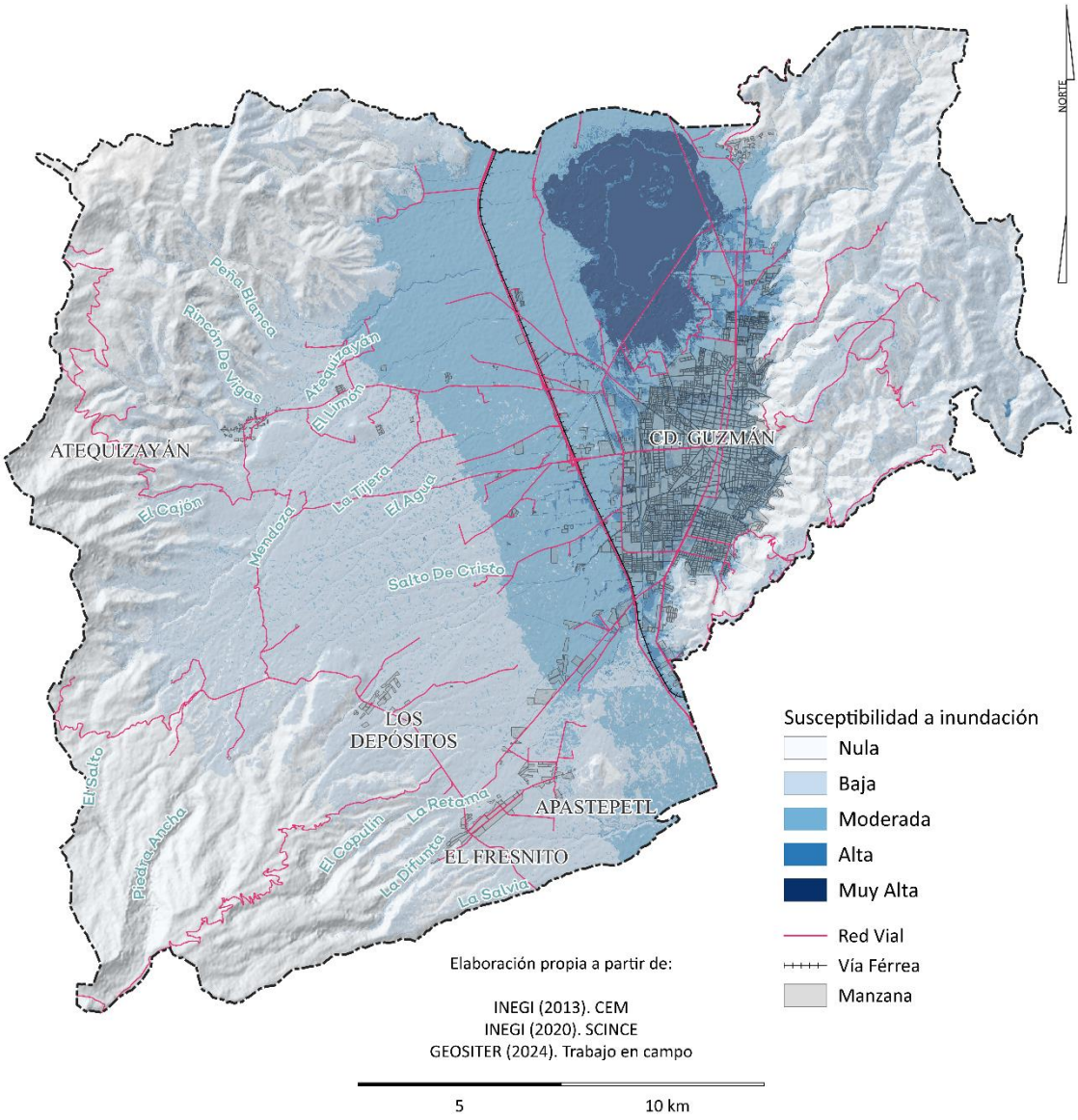
Variable	Ponderación (%)
Uso de suelo	15
Pendiente	10
Edafología	11
Litología	8
Zonas funcionales	17
Red hidrográfica	18
Planicies aluviales	21
Polígonos de incidencias oficiales	Calibración
Índice total	100

Fuente: Elaboración propia (2024) con información de INEGI.

Peligro por inundación

La Agencia Catalana del Agua (ACA, 2011) propone ciertos criterios para la evaluación del nivel de peligro de las inundaciones en función de la velocidad del escurrimiento y de su tirante. Una peligrosidad alta está asociada a velocidades mayores a 1 m/s o tirantes arriba de 1 m o el producto de tirante por velocidad mayor a 0.5 m2/s. tomando esto en cuenta, se utilizaron los productos elaborados con los modelos hidrológicos de IBER para obtener una capa de peligro asociado a una lluvia de periodo de retorno de 100 años, tomando en cuenta las velocidades y tirantes del escurrimiento generado en un evento de precipitación extrema.

Una vez explicado lo anterior, se presenta el mapa de peligro por inundación para el municipio Zapotlán el Grande.



Mapa 44. Susceptibilidad a inundación
Fuente: Elaboración propia.

La clasificación del nivel de peligro asociado a la altura del tirante corresponde a varios factores como el relieve y la cobertura de suelo (suelo urbanizado y suelo desnudo). En el mapa se muestra una reclasificación de los valores de la altura del tirante (metros) modelados para el escurrimiento superficial, más adelante se presentan los resultados de altura de tirante en las zonas con subsidencia de inundaciones. En este caso se presenta la siguiente tabla que muestra una generalización de los rangos representativos del nivel de peligrosidad por inundación, conforme a lo que establece la Agencia Catalana del Agua con respecto al nivel de peligro asociado a cierta altura del tirante.

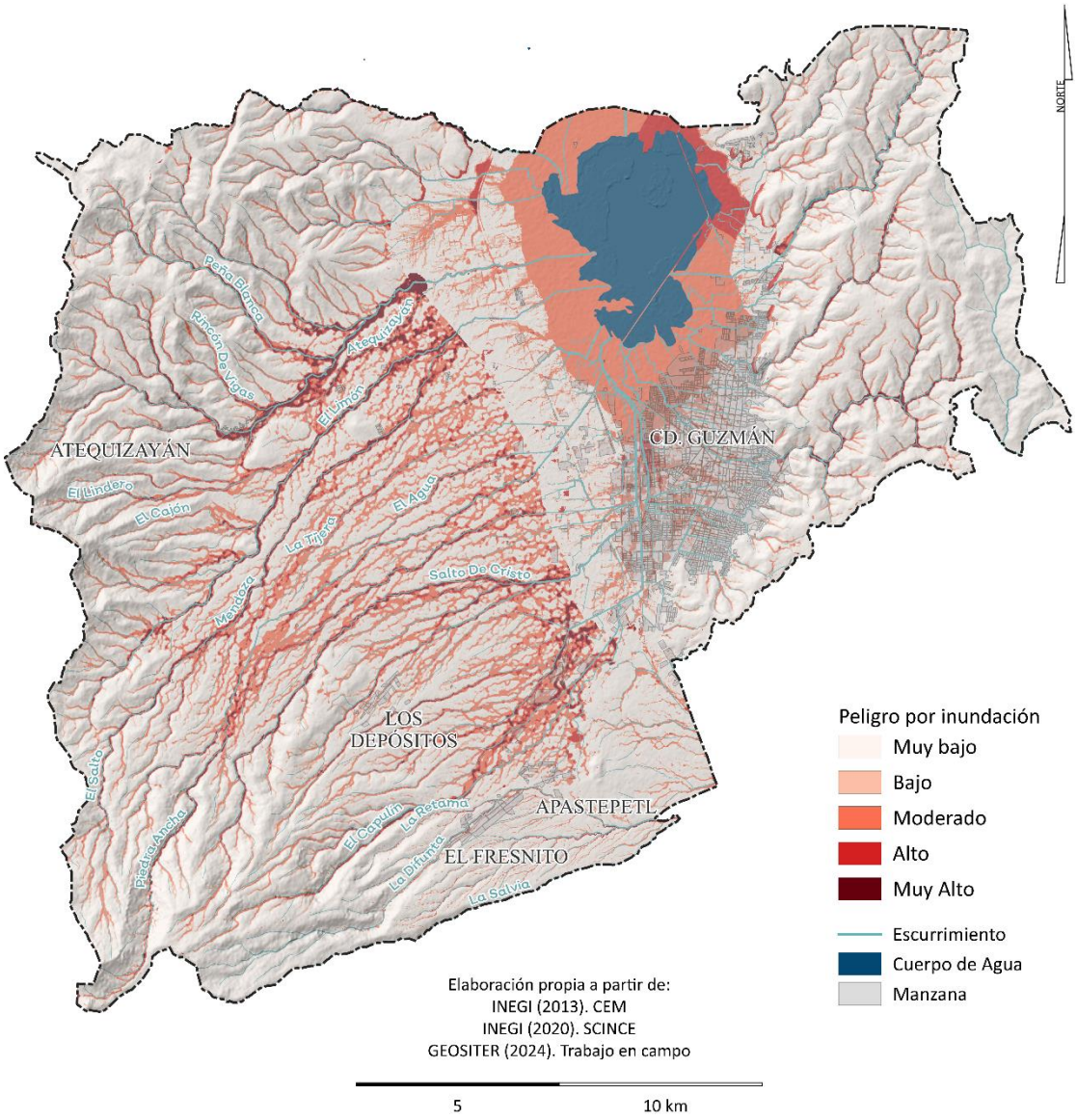
Tabla 37. Índices de nivel de peligro asociado a la altura de tirante

Tirante (m)	Nivel de Peligro
0 - 0.05	Muy Bajo
0.05 - 0.1	Bajo
0.1 - 0.5	Medio
0.5 - 1.5	Alto
> 1.5	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia (2024) con información de la ACA.

Zonificación del peligro por inundación

La zonificación del peligro se realizó por medio de la ponderación de la variable susceptibilidad con la altura del tirante de inundación reclasificada al nivel de peligro representado. El modelo de susceptibilidad a inundaciones incluye variables geomorfológicas, hidrográficas y casos históricos de zonas de conflicto. Para agregar la escala temporal al análisis, se utilizan los modelos hidrológicos en 2D de tirante y velocidad que vienen asociados a un periodo de retorno de intensidad de lluvia, es decir, toman en cuenta la probabilidad y ocurrencia de la lluvia, abarcando la temporalidad de la base de datos histórica de las estaciones meteorológicas en el área de estudio.



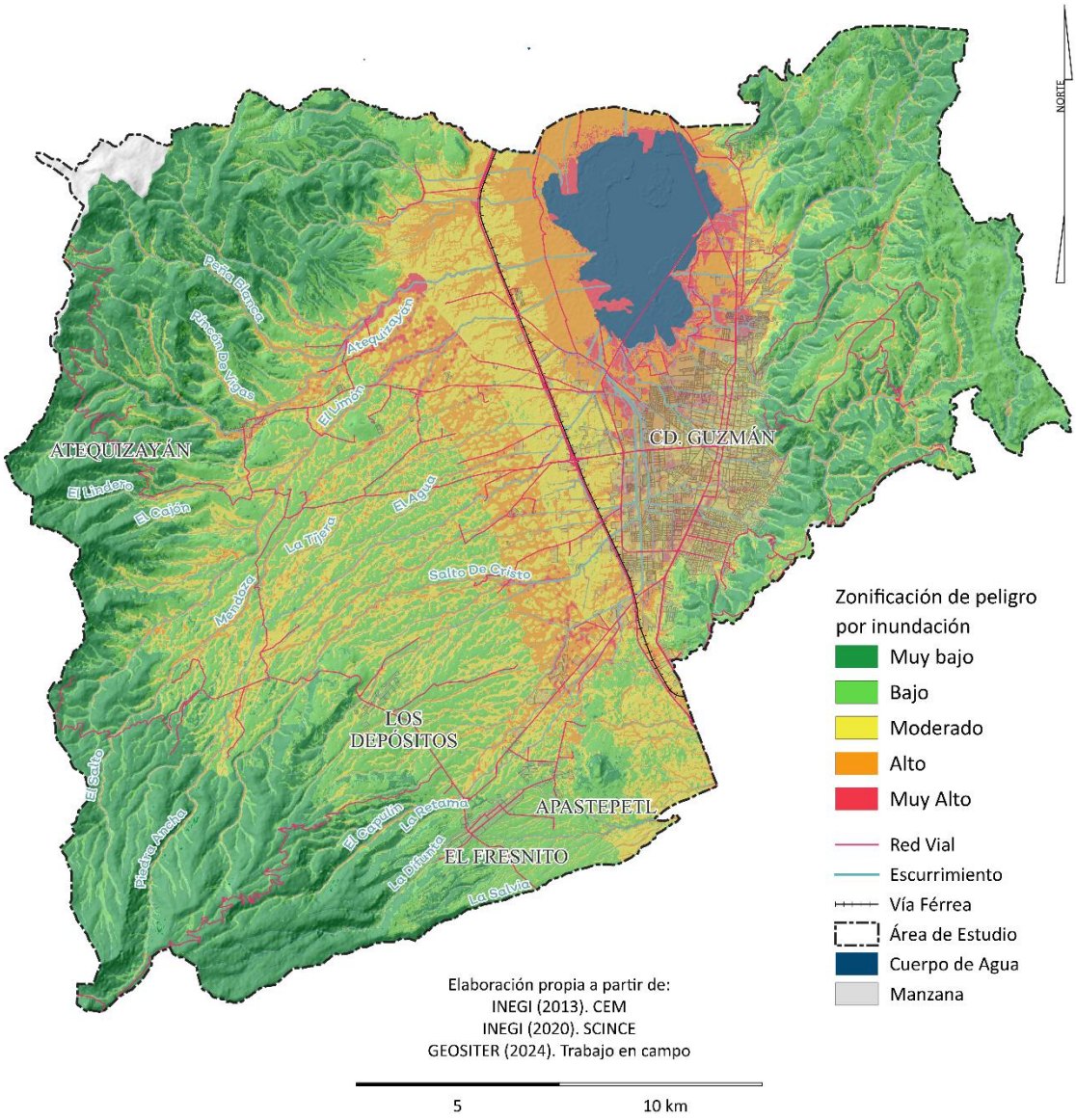
Mapa 45. Peligro por inundación
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Ponderación de modelo de zonificación de peligro por inundación

Capa	Valores	Clasificación	Ponderación (%)
Susceptibilidad a inundaciones	Muy Bajo	1	65
	Bajo	2	
	Medio	3	
	Alto	4	
	Muy Bajo	5	
Peligrosidad ACA	0,25	1	35
	0,5	2	
Modelo de inundación IBER	0,75	3	
	1	4	
	1,25	5	
RESULTADO			
Peligro_inundacion	Muy Bajo	1	100
	Bajo	2	
	Medio	3	
	Alto	4	
	Muy Alto	5	

Fuente: Elaboración propia.

El resultado final muestra las zonas inundables en el municipio con gran detalle, específicamente en la cabecera municipal, en Atequizayan y en El Fresnito. Se presenta un mapa a escala municipal con el resultado y en seguida se muestran los resultados del modelo de inundación de IBER, enfocándonos en la lluvia diseño de un evento normal, con periodo de retorno de 5 años y en la lluvia diseño con periodo de retorno de 100 años, tomando en cuenta que algún tipo de obra estructural que se proponga mitigue los eventos extraordinarios asociados a este periodo de retorno. Se profundiza en las zonas comentadas anteriormente donde se recopilaron más incidencias de inundación que sirven para validar el modelo.



Mapa 46. Zonificación de peligro por inundación
Fuente: Elaboración propia.

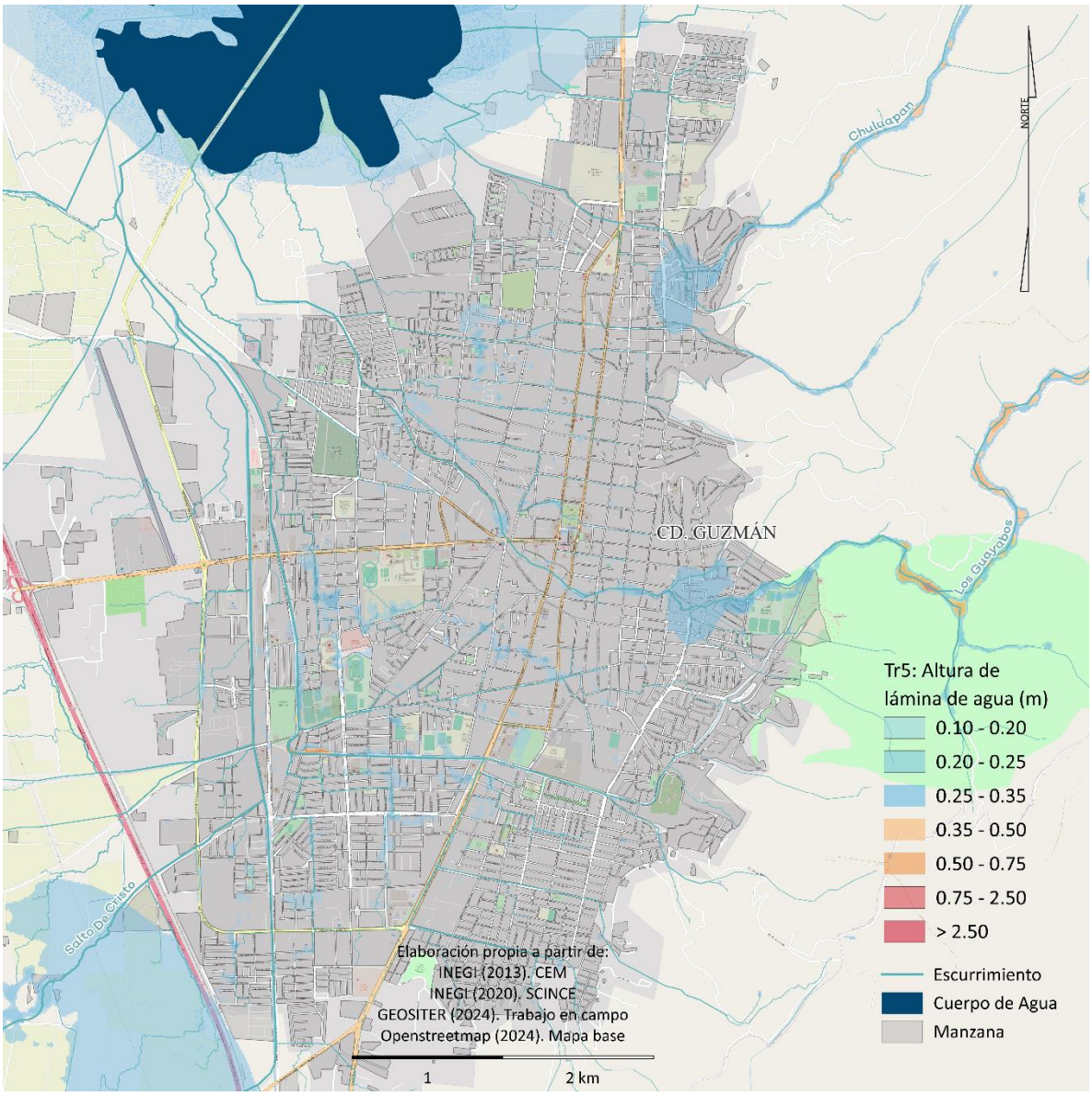


Figura 41. Altura de lámina de agua de avenida Tr5 en cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

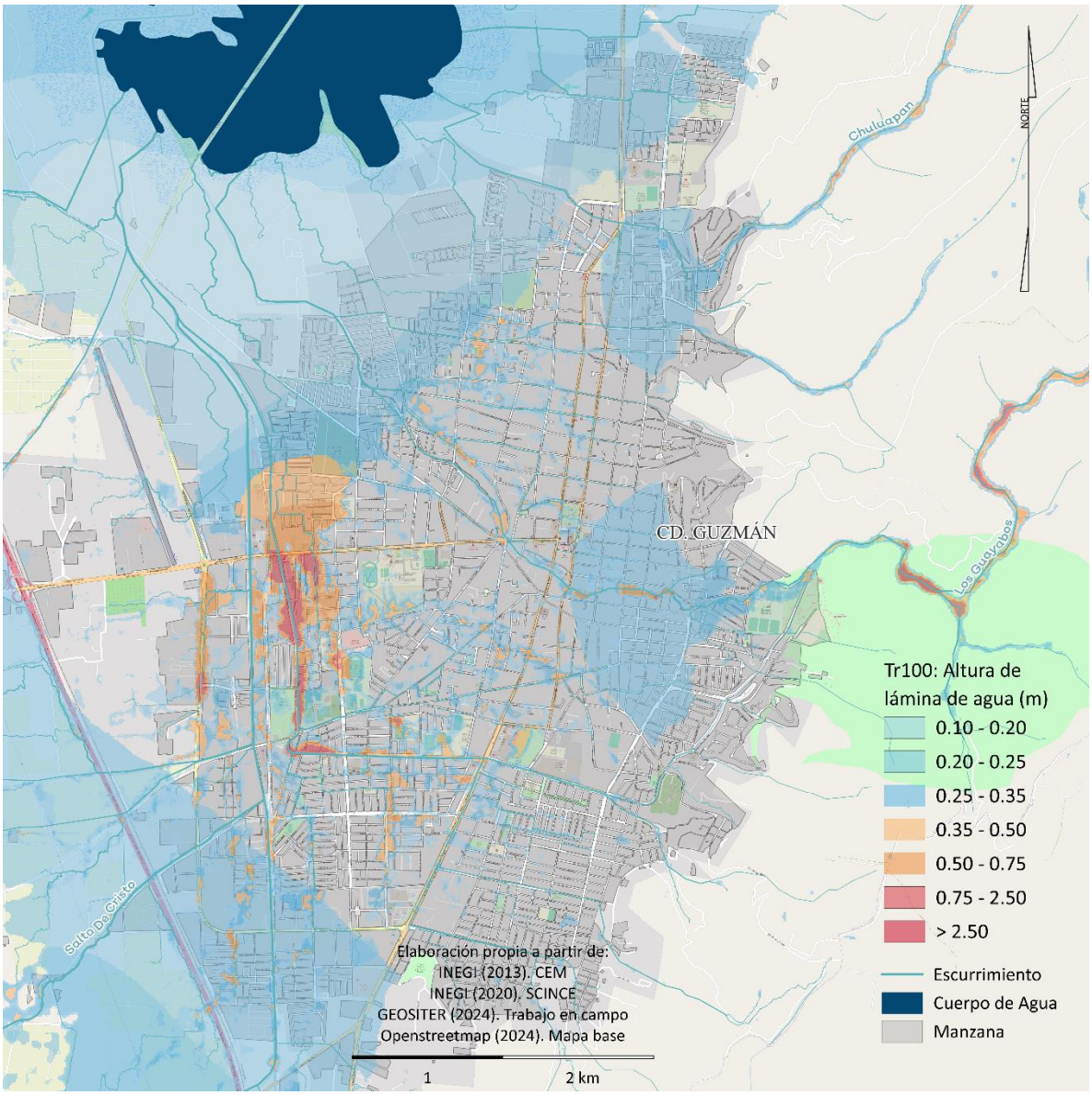


Figura 42. Altura de lámina de agua de avenida Tr100 en cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

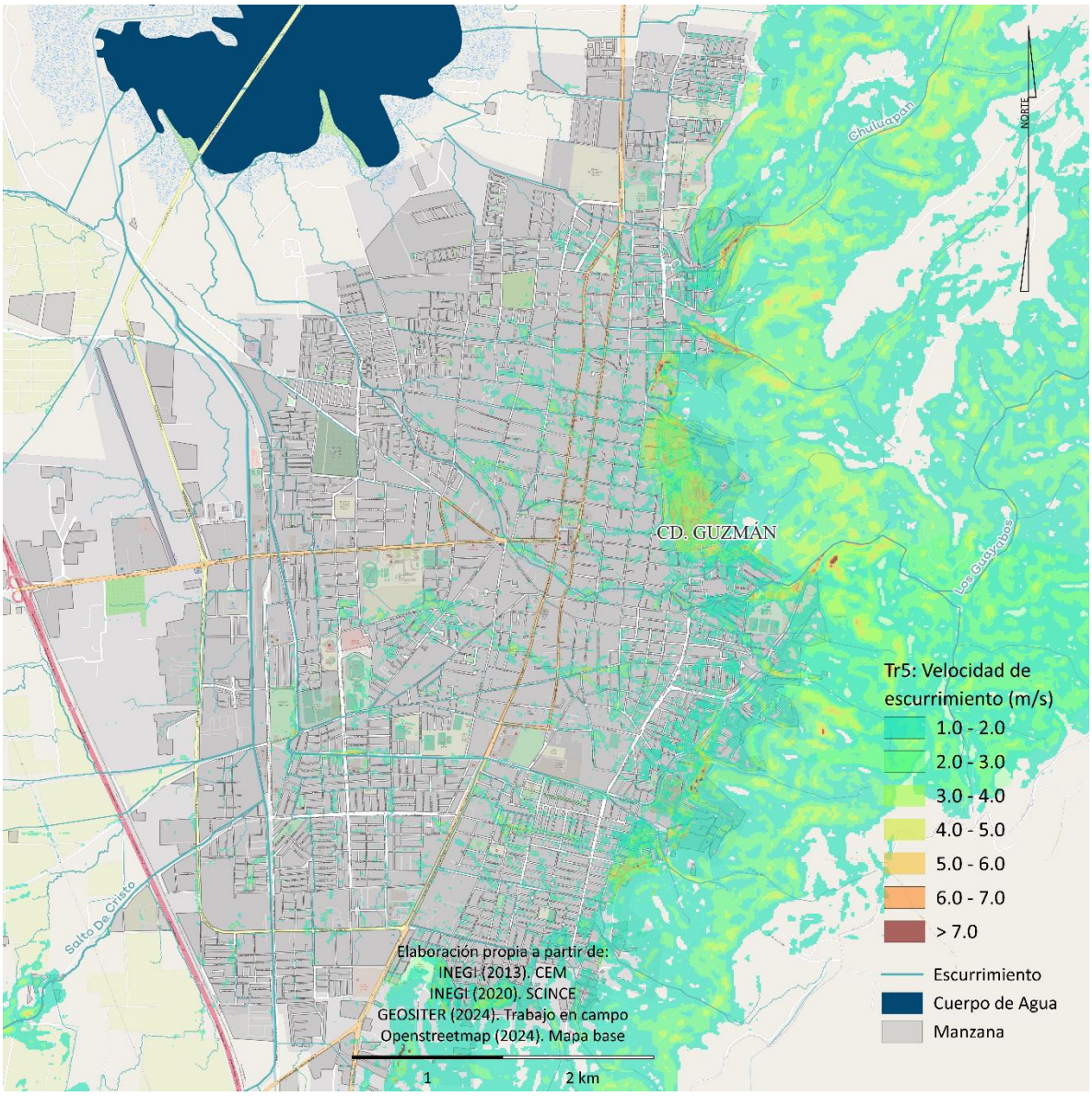


Figura 43. Velocidad de escurrimiento de avenida Tr5 en cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

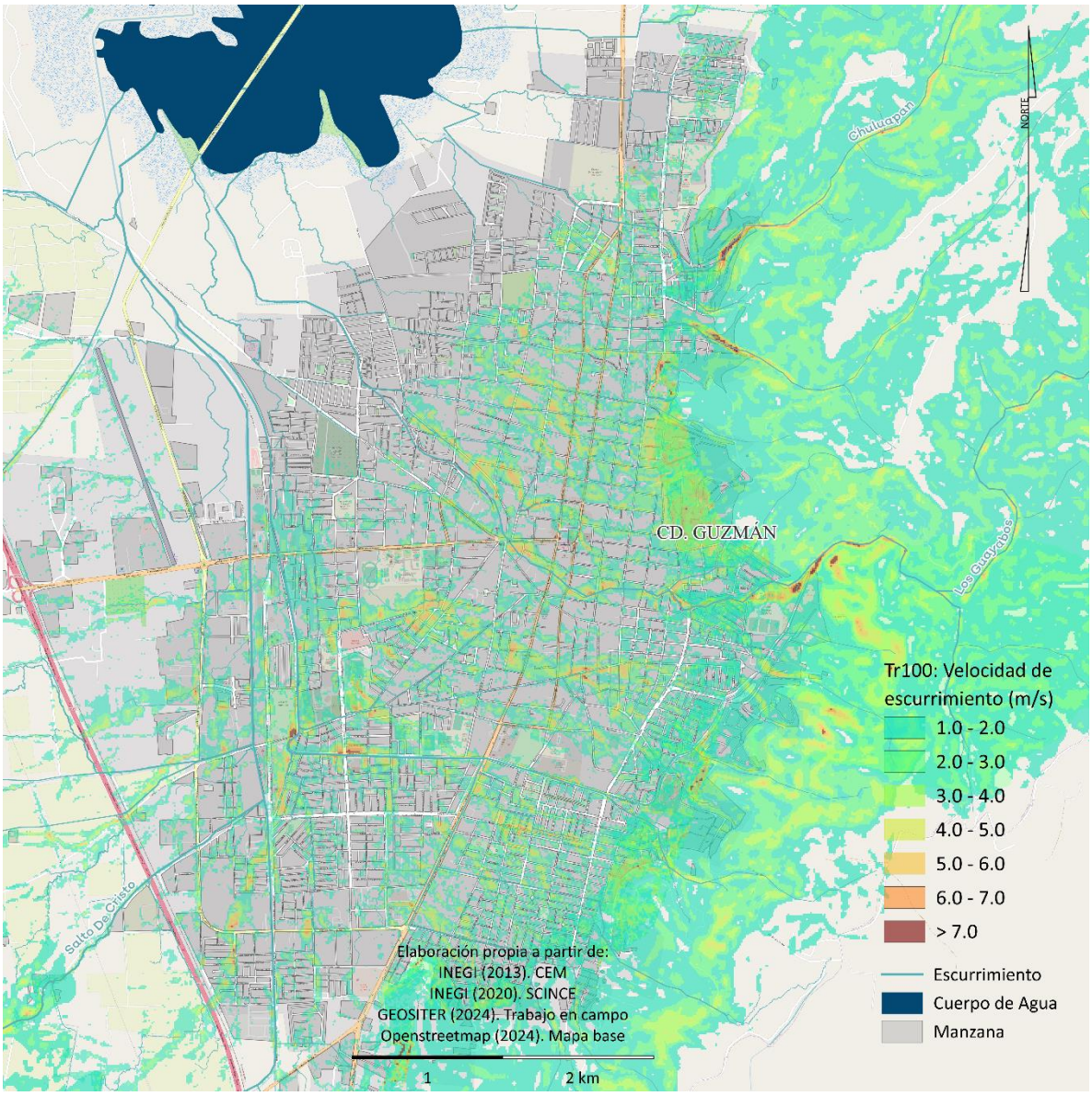


Figura 44. Velocidad de escurrimiento de avenida Tr100 en cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

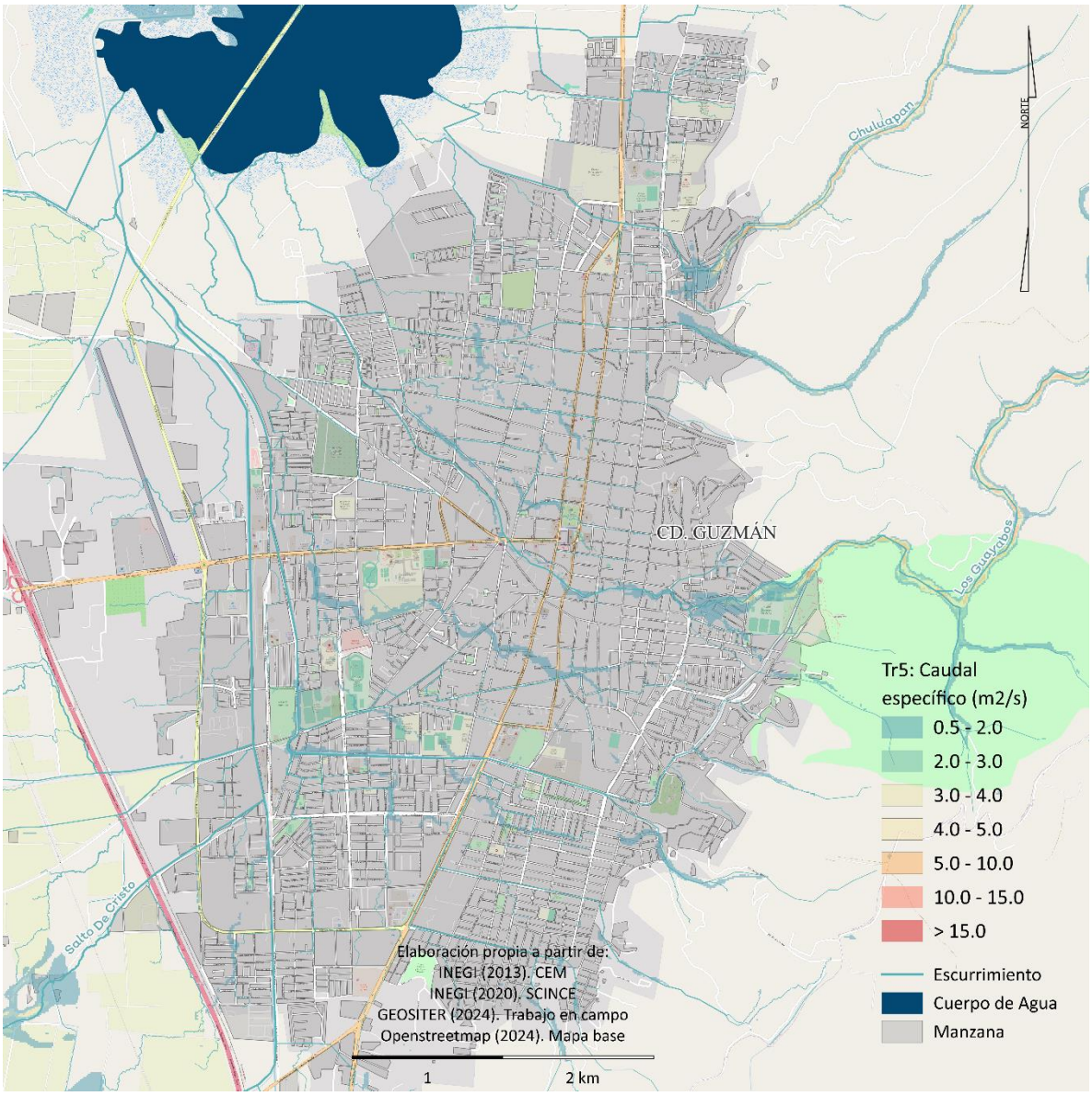


Figura 45. Caudal específico de avenida Tr5 en cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

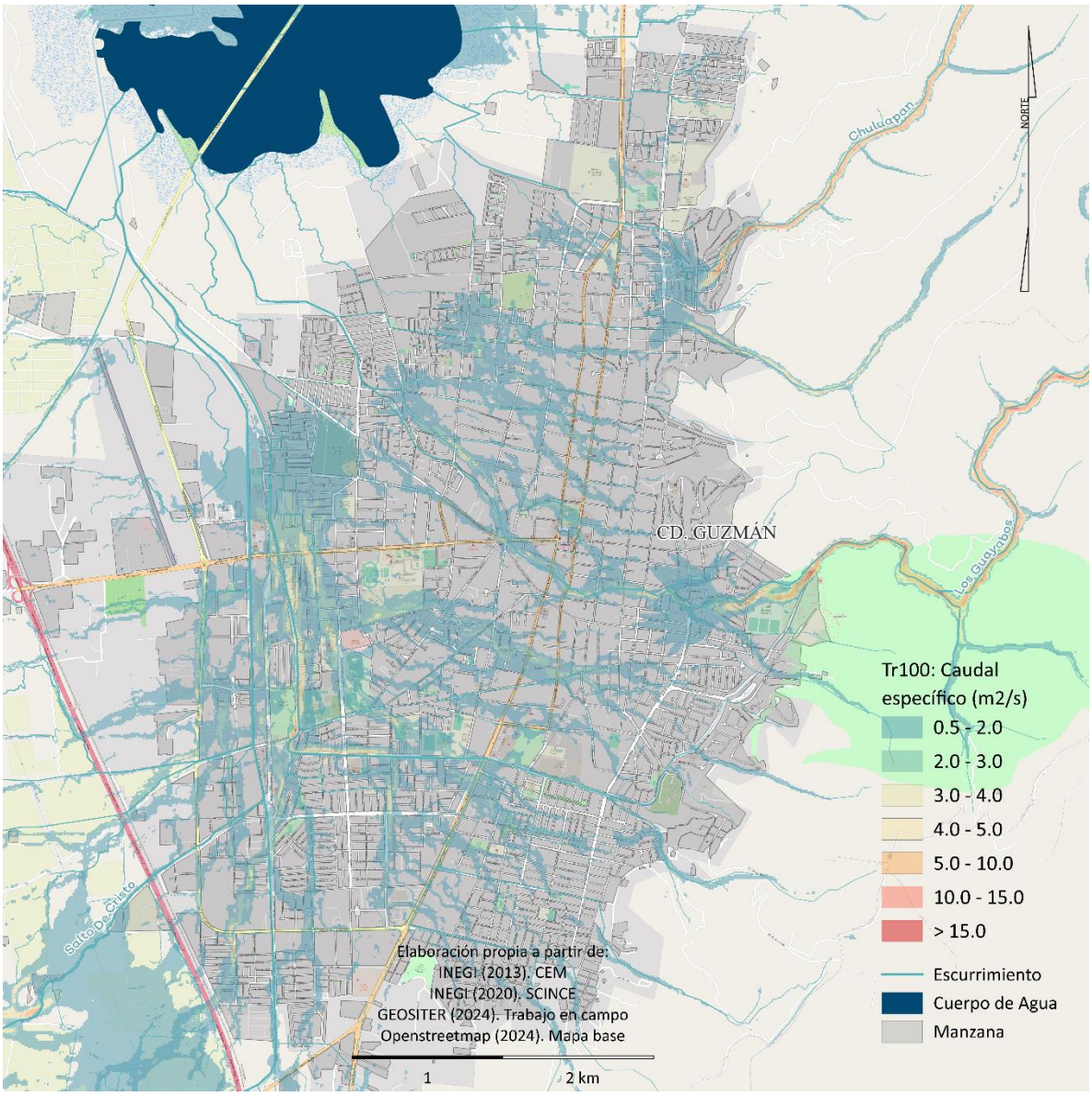


Figura 46. Caudal específico de avenida Tr100 en cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

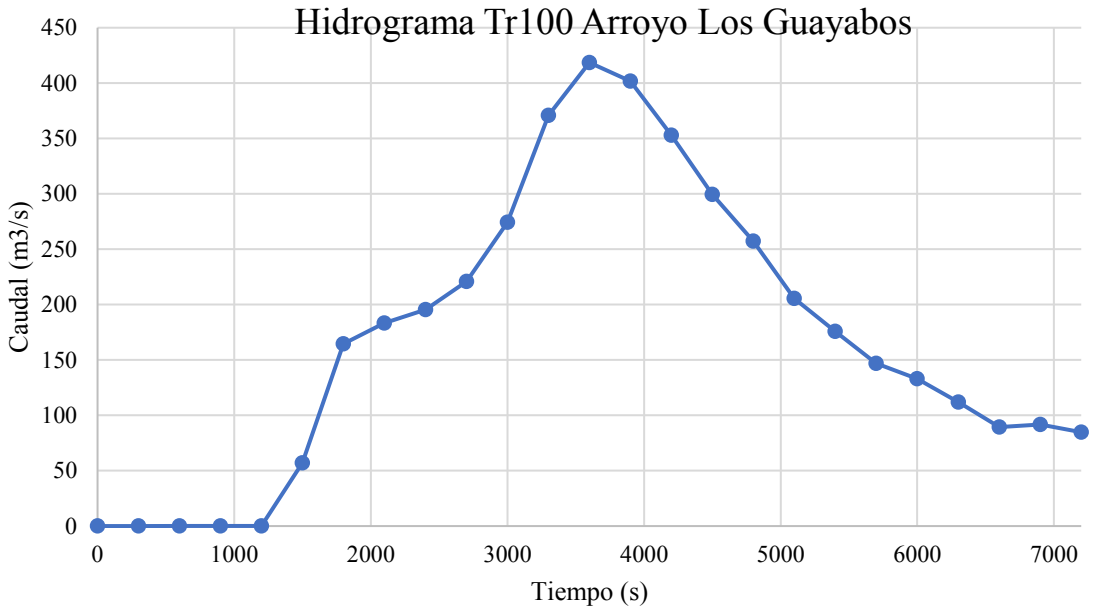


Figura 47. Hidrograma de avenida Tr100 en Arroyo Los Guayabos en Ciudad Guzmán
Fuente: Elaboración propia.

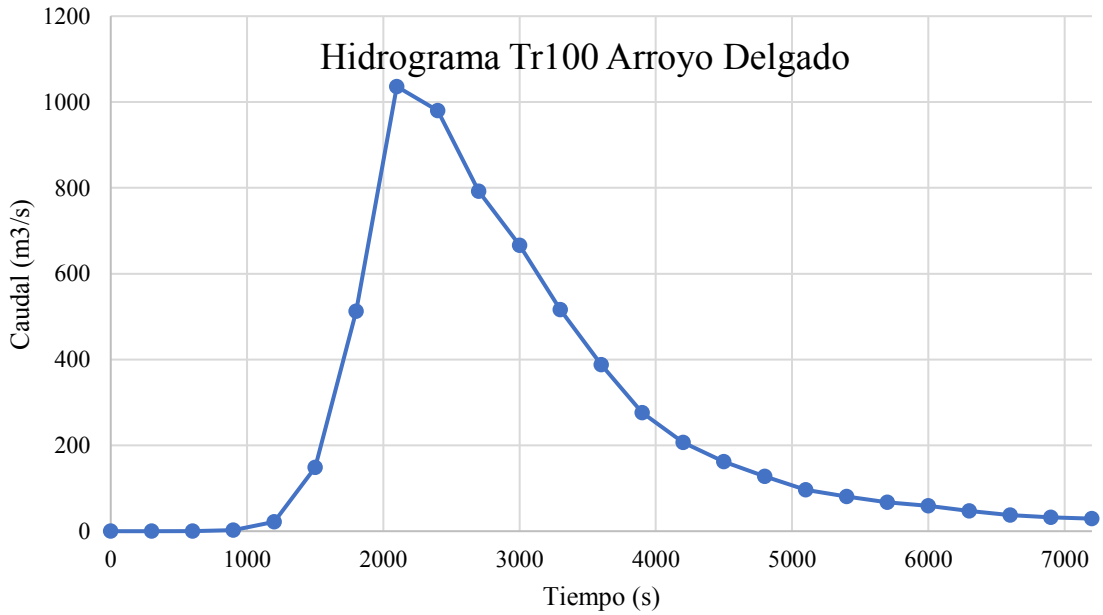


Figura 48. Hidrograma de avenida Tr100 en Arroyo Delgado en la localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

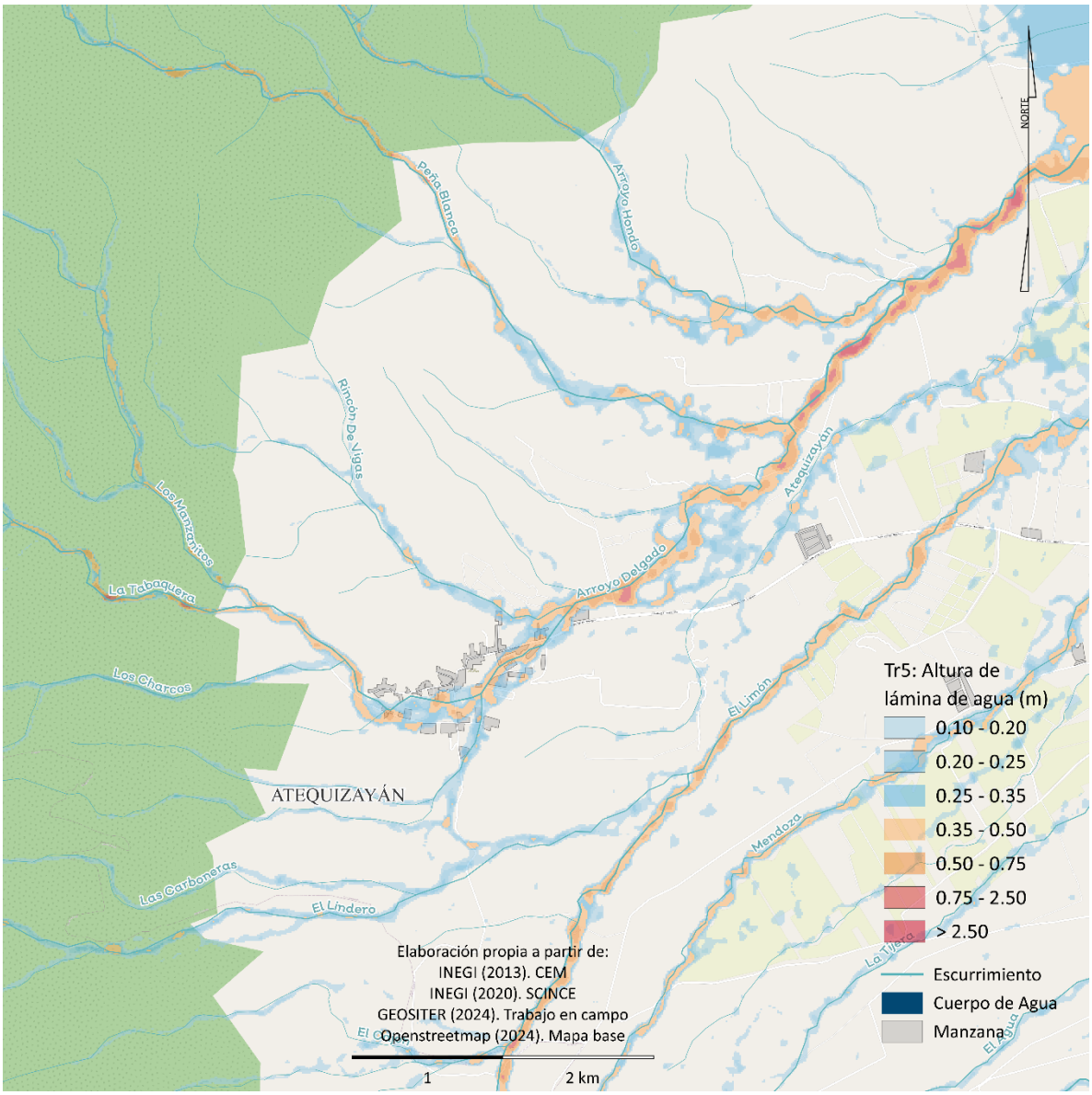


Figura 49. Altura de lámina de agua de avenida Tr5 en localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

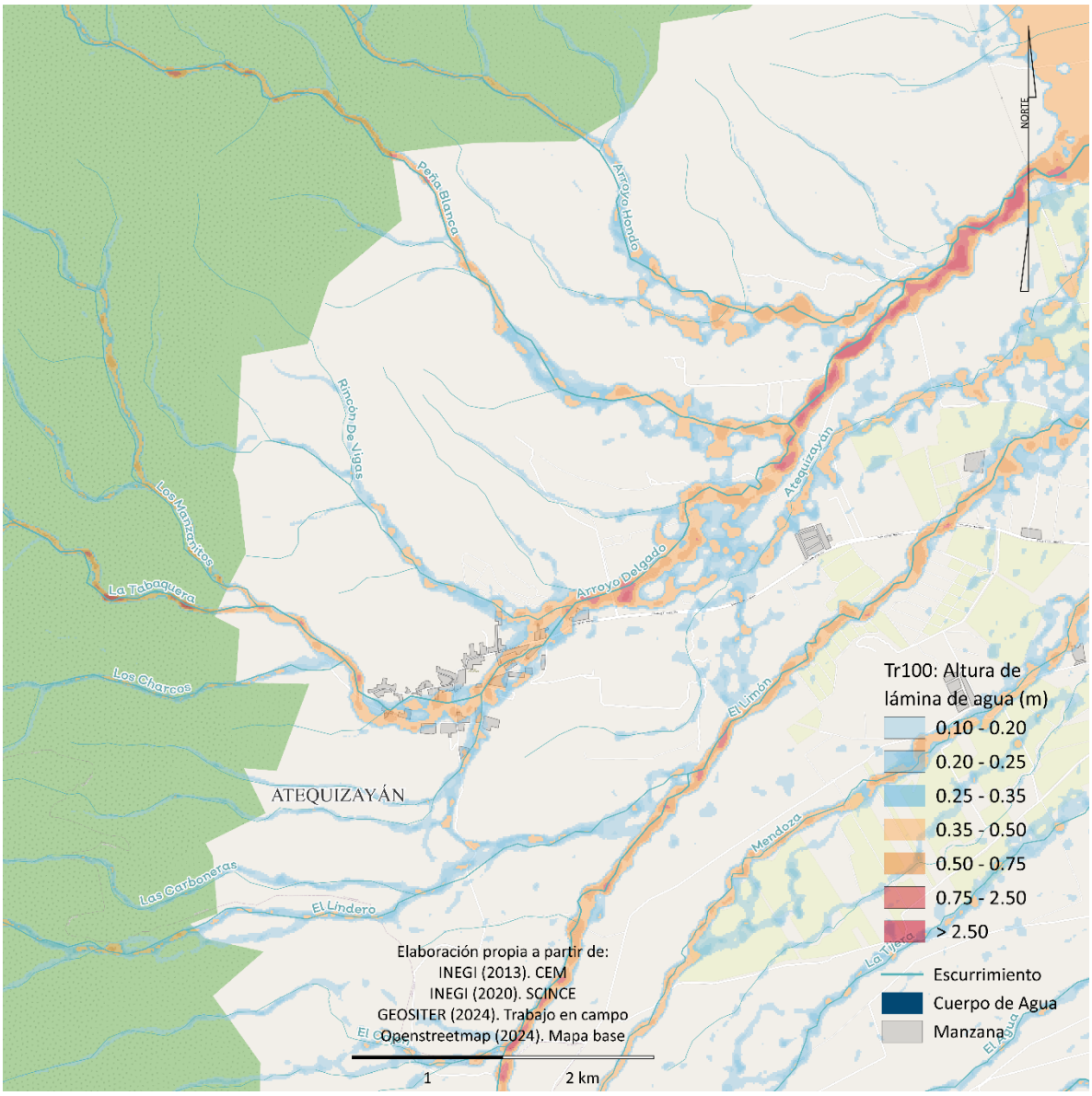


Figura 50. Altura de lámina de agua de avenida Tr100 en localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

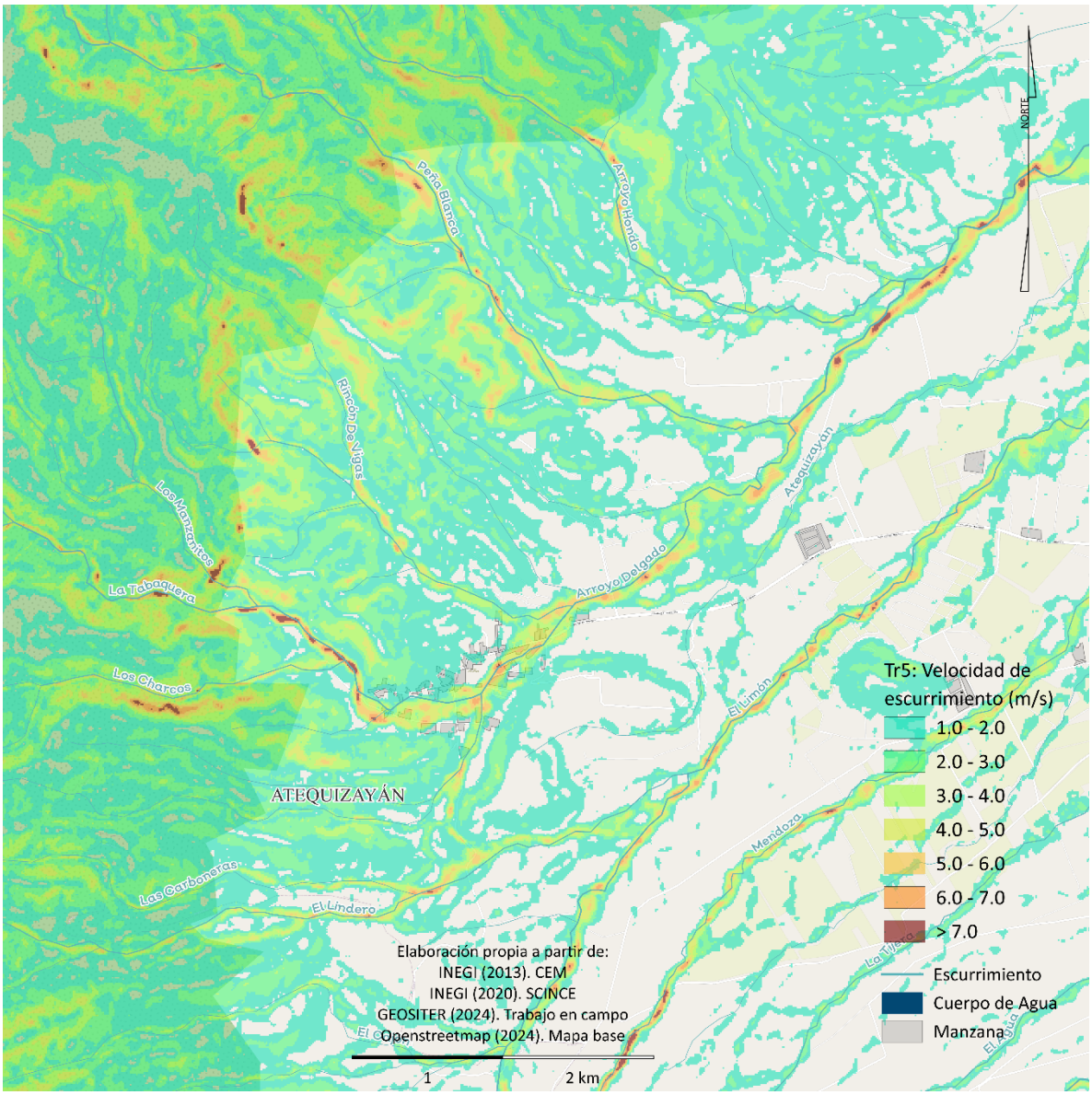


Figura 51. Velocidad de escurrimiento de avenida Tr5 en localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

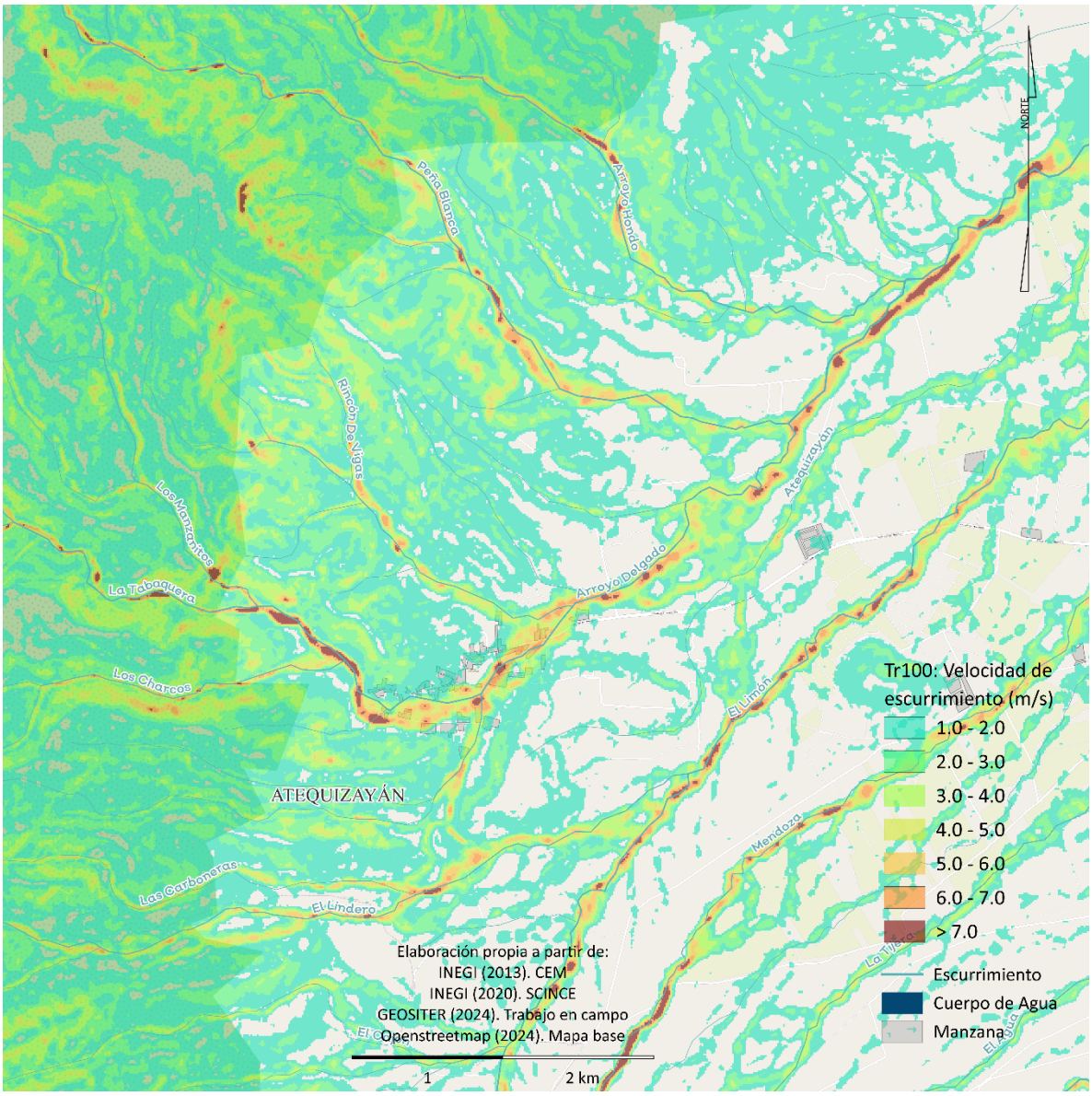


Figura 52. Velocidad de escurrimiento de avenida Tr100 en localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

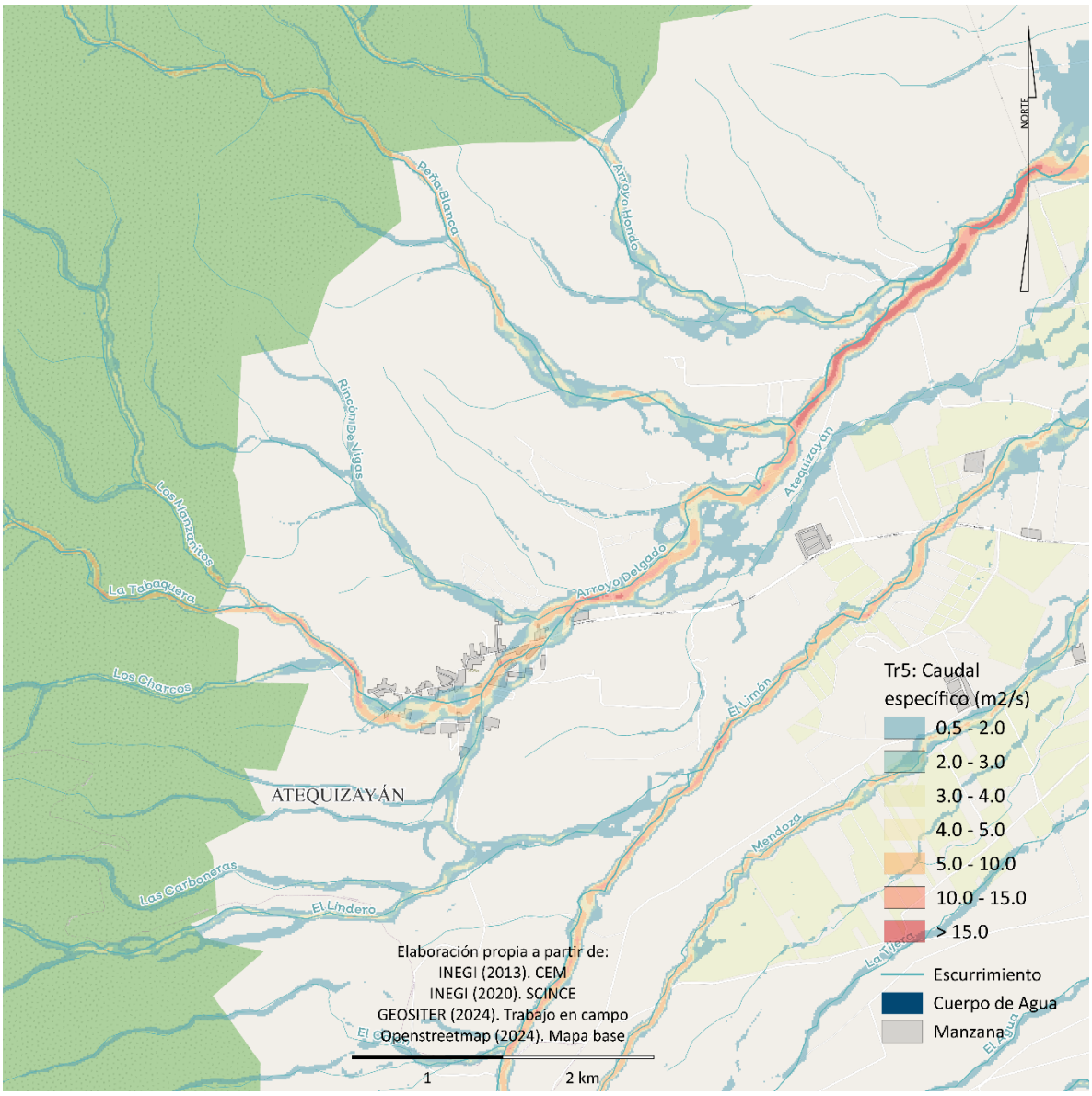


Figura 53. Caudal específico de avenida Tr5 en localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

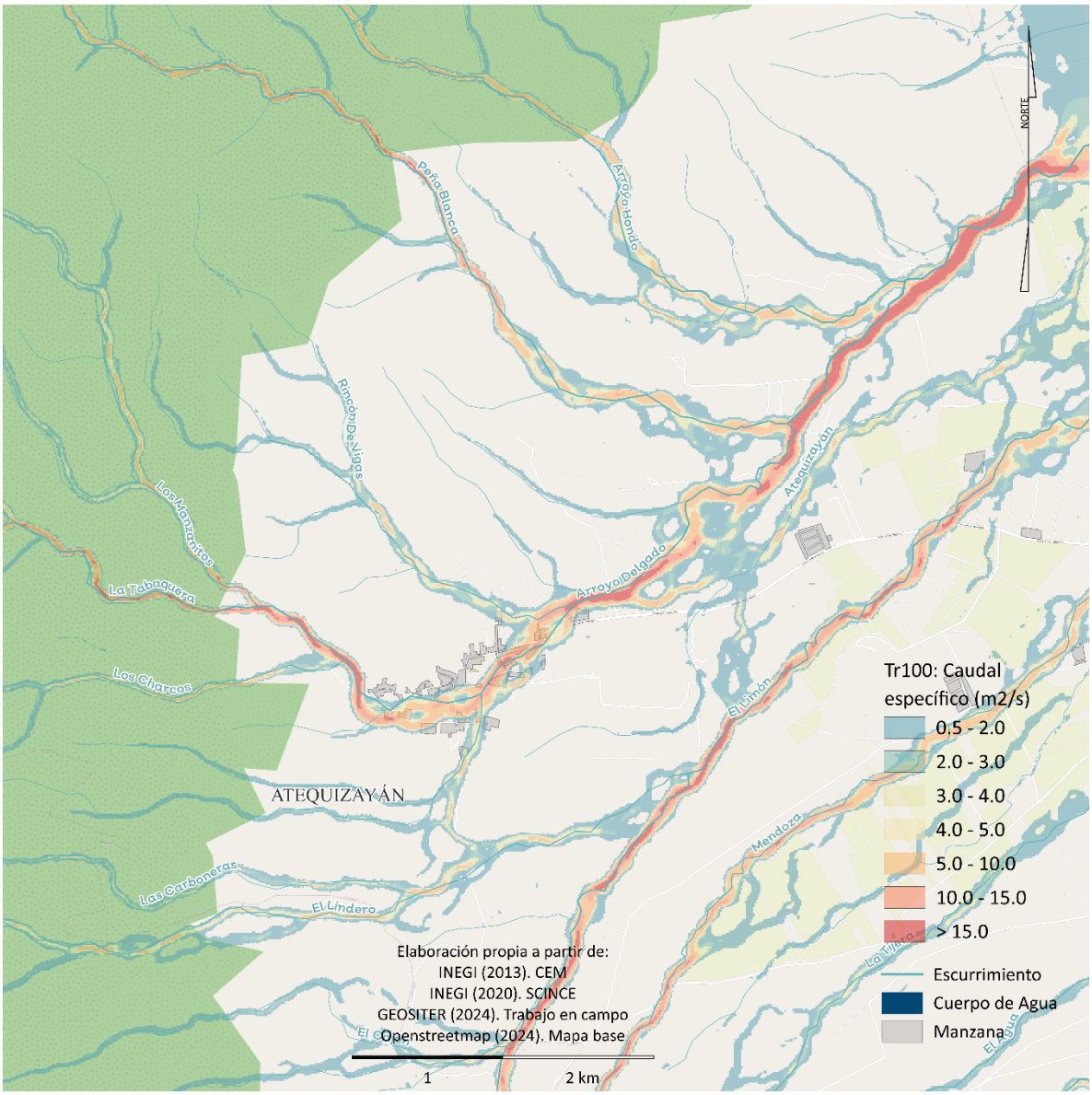


Figura 54. Caudal específico de avenida Tr100 en localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

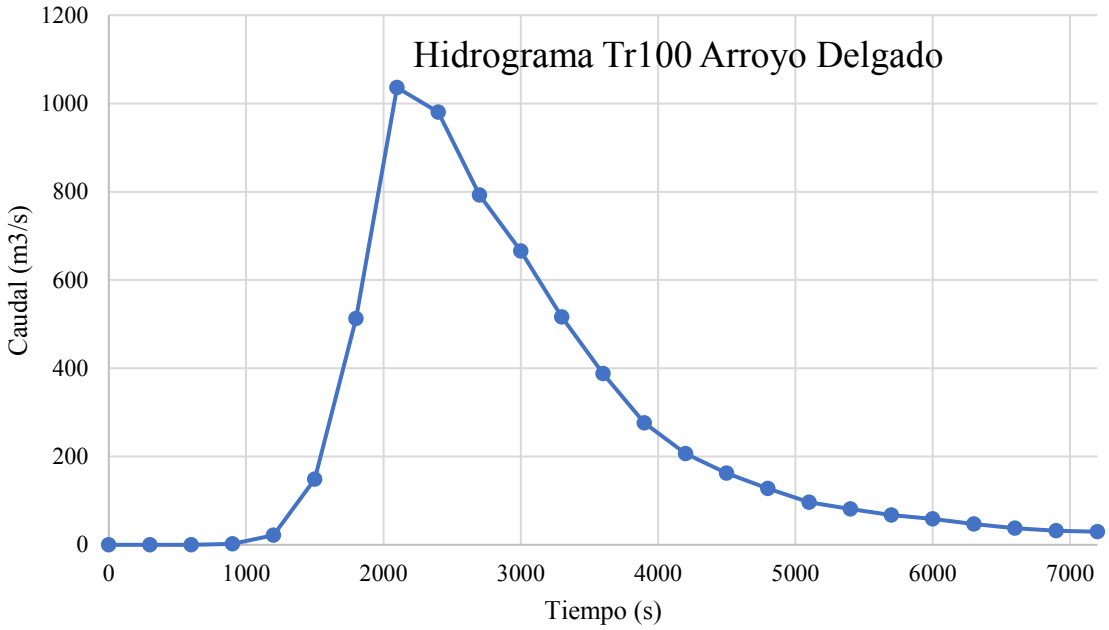


Figura 55. Hidrograma de avenida Tr100 en Arroyo Delgado en la localidad Atequizayán
Fuente: Elaboración propia.

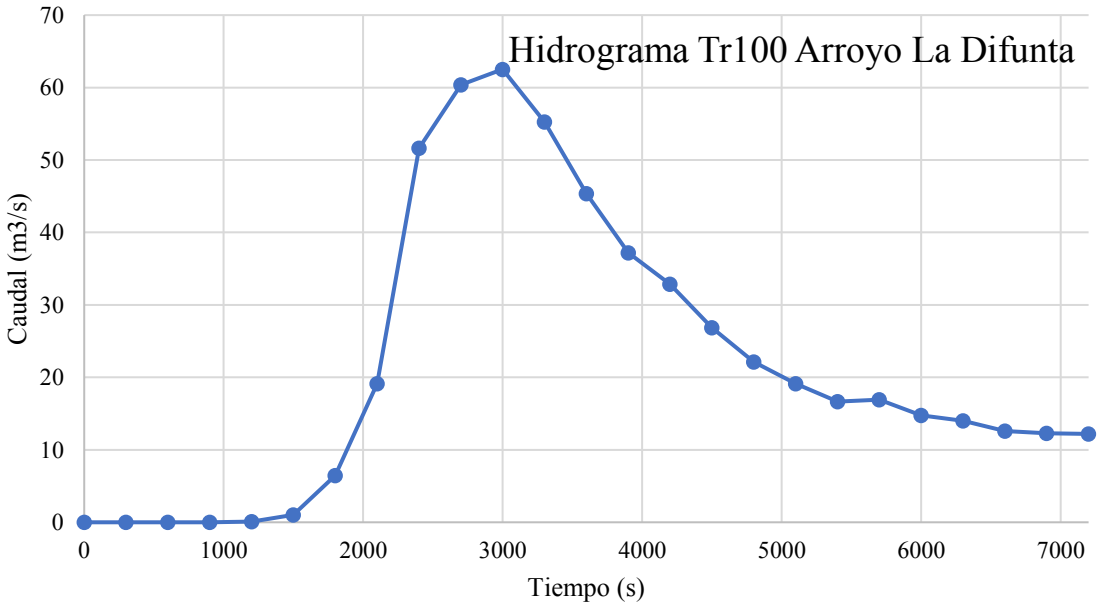


Figura 56. Hidrograma de avenida Tr100 en Arroyo La Difunta en la localidad El Fresnito
Fuente: Elaboración propia.

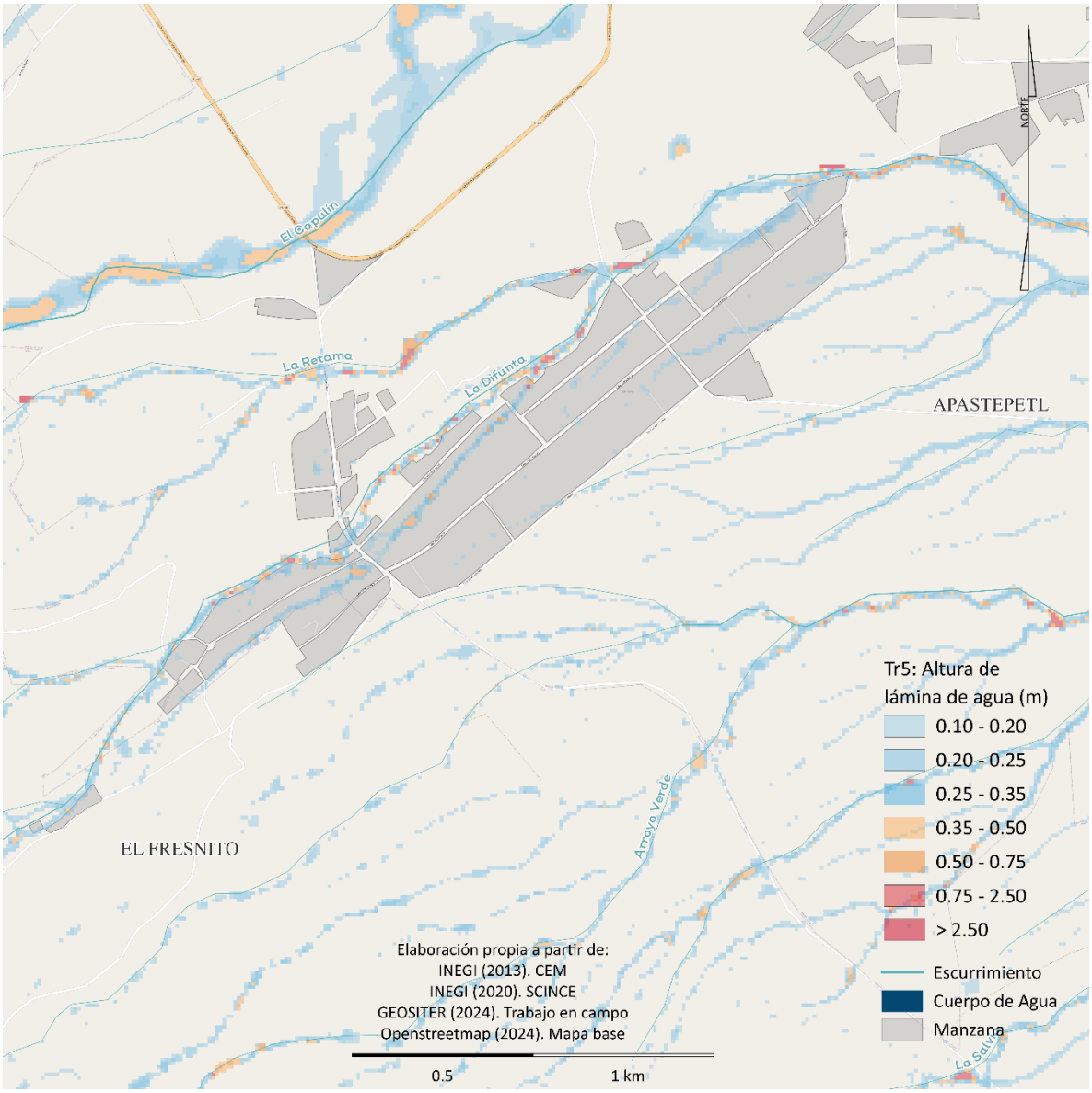


Figura 57. Altura de lámina de agua de avenida Tr5 en localidad El Fresnito
Fuente: Elaboración propia.

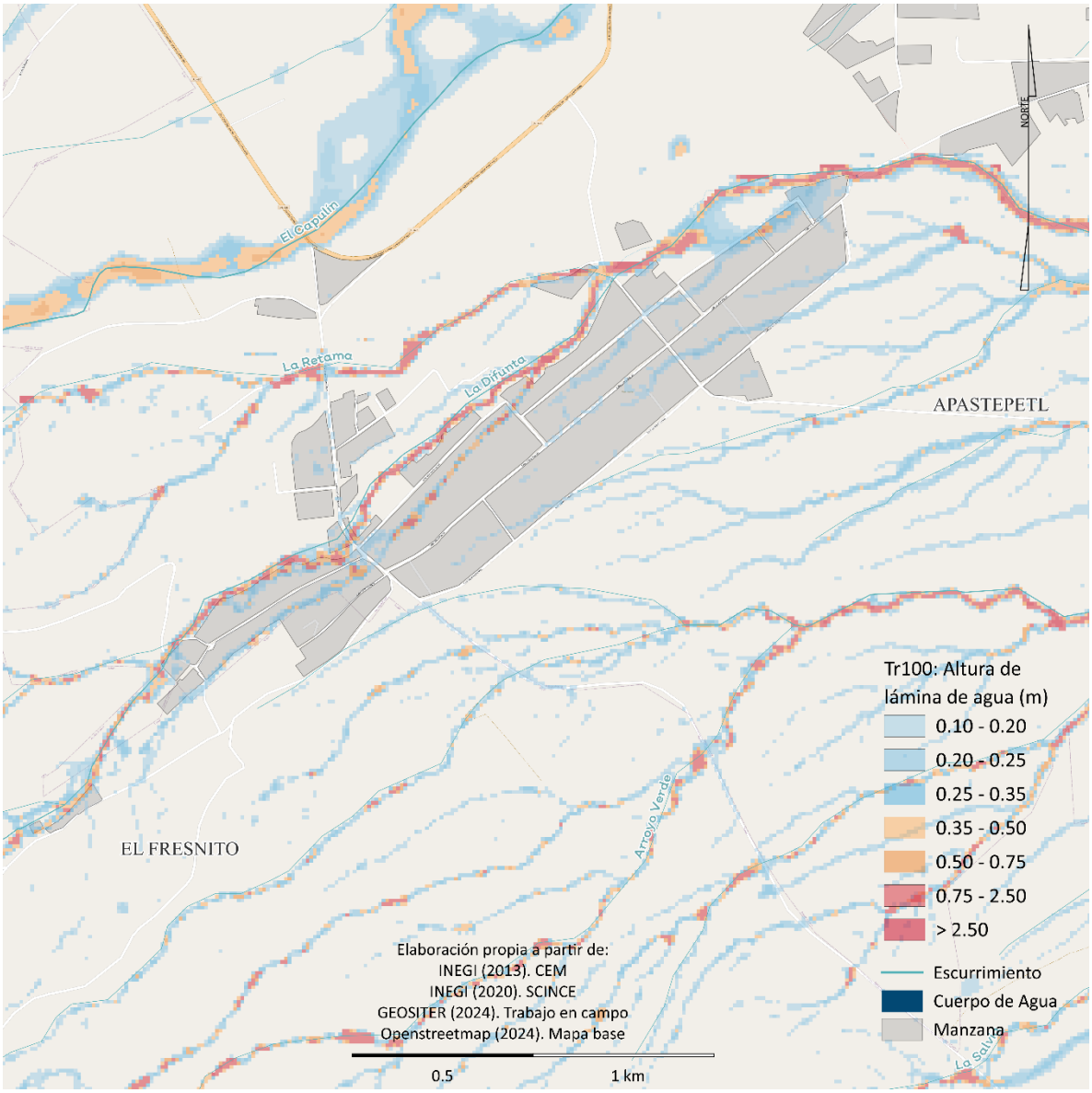


Figura 58. Altura de lámina de agua de avenida Tr100 en localidad El Fresnito
Fuente: Elaboración propia.

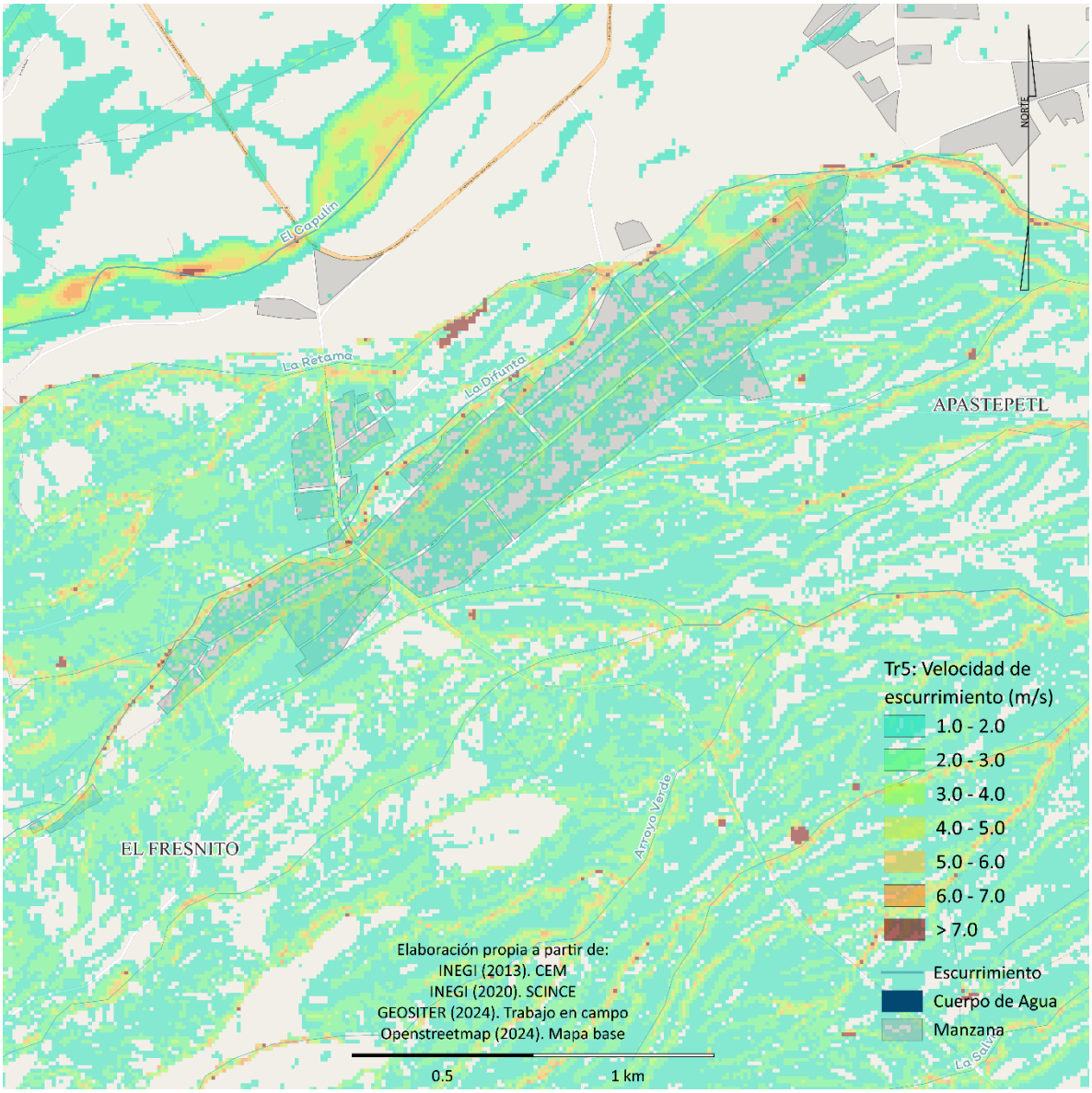


Figura 59. Velocidad de escurrimiento de avenida Tr5 en localidad El Fresnito
Fuente: Elaboración propia.

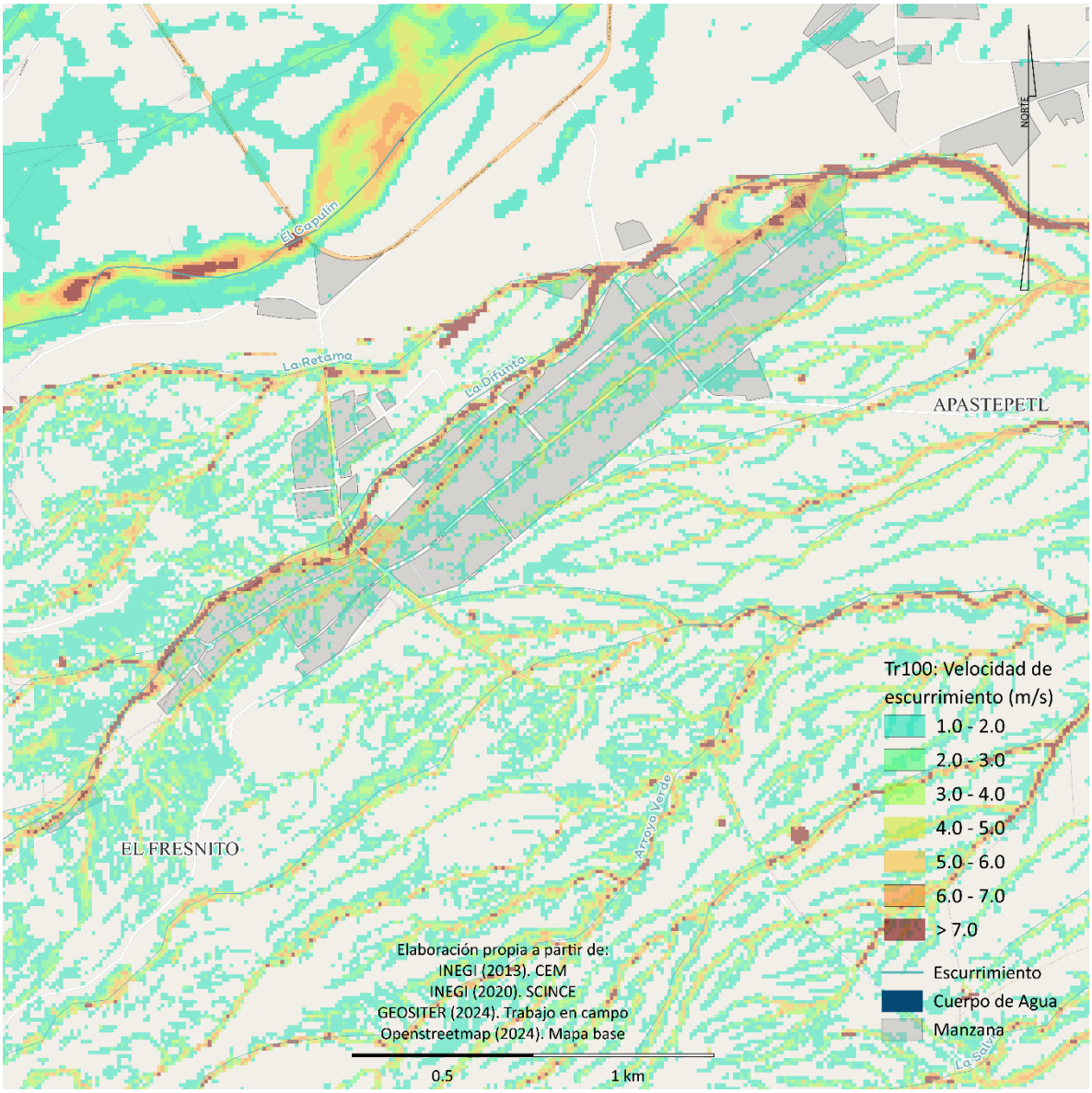


Figura 60. Velocidad de escurrimiento de avenida Tr100 en localidad El Fresnito
Fuente: Elaboración propia.

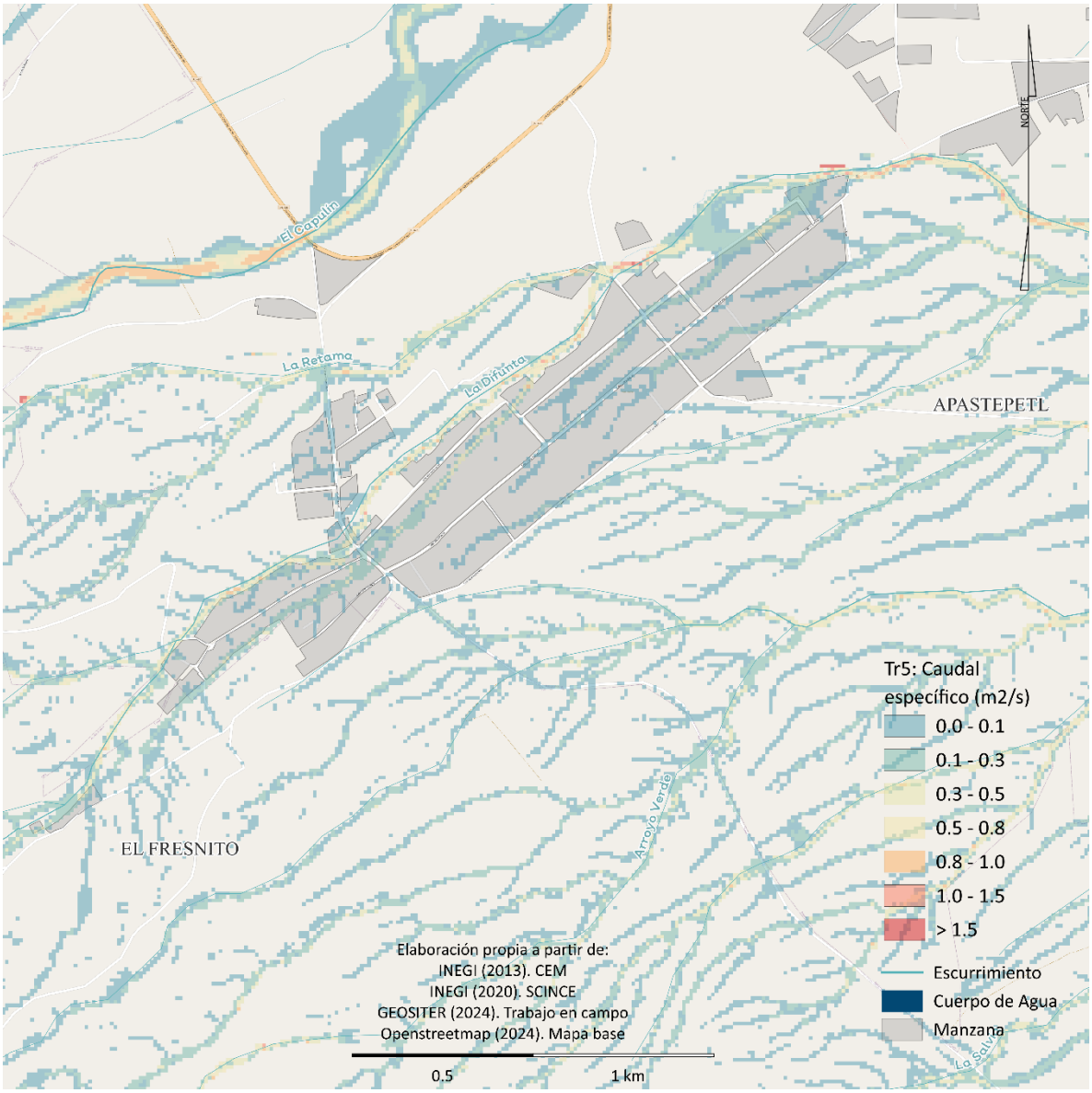


Figura 61. Caudal específico de avenida Tr5 en localidad El Fresnito
Fuente: Elaboración propia.

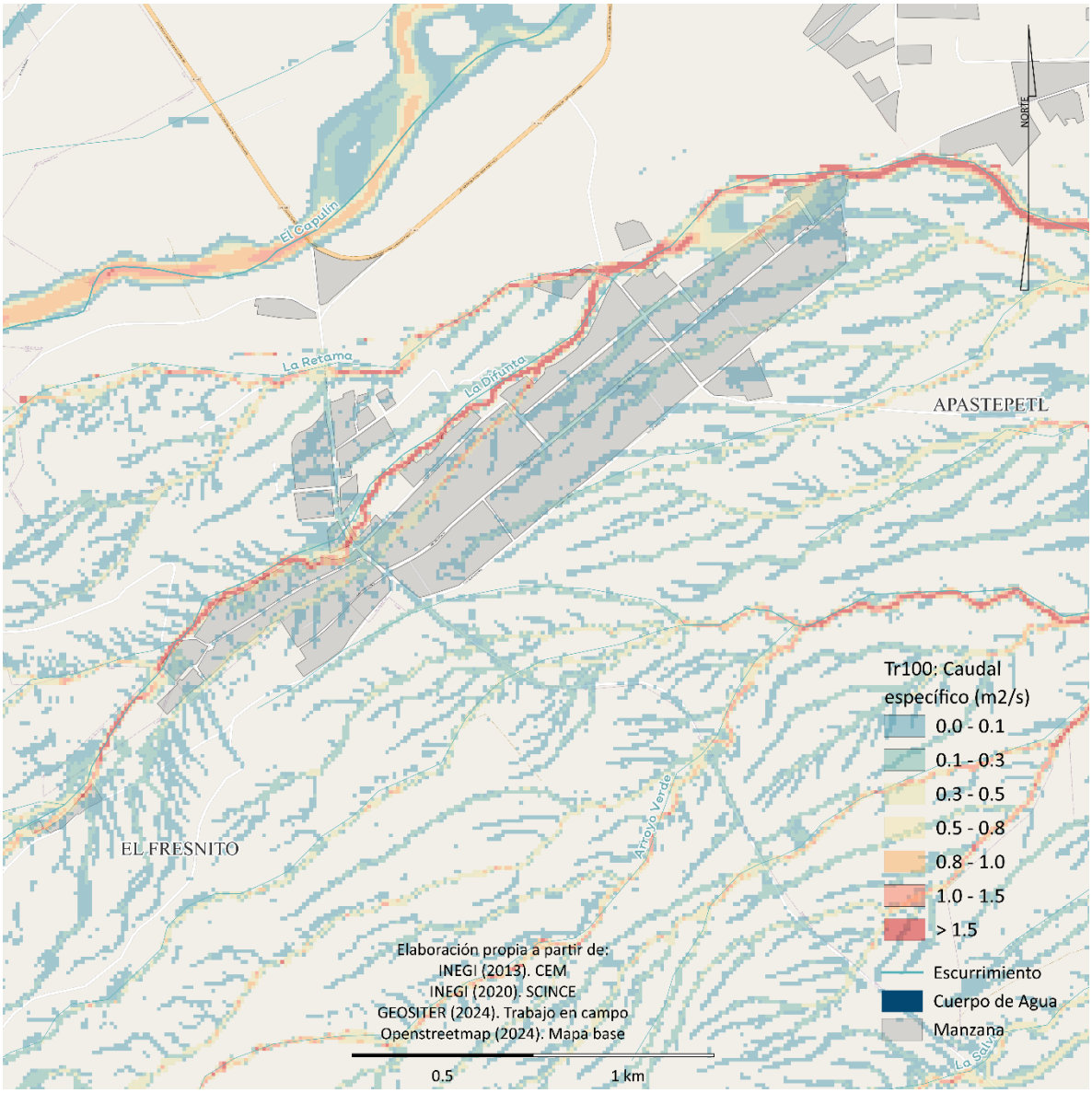


Figura 62. Caudal específico de avenida Tr100 en localidad El Fresnito
Fuente: Elaboración propia.

Zonificación de peligro y susceptibilidad a fenómenos geológico-geomorfológicos

3.1 Introducción

El municipio de Zapotlán el Grande, se encuentra ubicado en un lugar complejo desde el punto de vista tectónico (véase apartado de caracterización física), por lo cual se han identificado diversos riesgos geológicos entre los que destacan la subsidencia y el agrietamiento del terreno, lo que provoca hundimientos y fracturas en el suelo que pueden afectar gravemente la infraestructura y la seguridad de la población. Adicionalmente, las características geomorfológicas y las actividades humanas han hecho que la zona presente susceptibilidad a peligro por inestabilidad de laderas y procesos gravitacionales.

La proximidad al Volcán de Colima, uno de los más activos de Norteamérica, y la zona sísmica en la que se encuentran los asentamientos humanos en el municipio, incrementa el peligro para los habitantes.

De acuerdo a metodologías cualitativas y cuantitativas, se generó información crucial para la identificación estos riesgos, lo anterior con la finalidad de que los insumos resultantes, permitan tomar decisiones informadas y reducir la vulnerabilidad ante posibles desastres.

Figura 63. Vista desde la zona "Las Peñas" al valle de Zapotlán y al fondo el complejo volcánico de Colima y la Sierra de Tapalpa
Fuente: Captura propia.

3.2 Inestabilidad de laderas (deslizamientos, flujos y caídos o derrumbes)

México es un país donde dos terceras partes del territorio están formadas por sistemas montañosos que combinan factores geológicos, geomorfológicos, estructurales y climáticos, creando zonas geológicamente inestables. Sobre estas áreas se han desarrollado tanto asentamientos urbanos como rurales, así como infraestructura civil.

Esta situación pone a un gran número de habitantes y bienes en riesgo potencial debido a la posibilidad de deslizamientos, derrumbes de rocas, flujos de lodo y detritos, junto con otros procesos destructivos relacionados con zonas montañosas.

Es por lo anterior, que resulta prioritario analizar el territorio desde diversas variables con la finalidad de estimar el riesgo y que esto a su vez permita desarrollar esquemas generales que asocien cada tipo de material con problemas geotécnicos y la estabilidad de las laderas. Tal conocimiento es útil para relacionar los diferentes procesos gravitacionales con cada formación geológica, establecer estrategias de mitigación y remediación, guiar acciones de

manejo del riesgo a nivel regional y proporcionar una base para la gestión en diferentes escalas (Jaimes et al., 2013).

La estimación de la susceptibilidad a la Inestabilidad de Laderas indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones del terreno para que pueda ocurrir inestabilidad, y se refiere únicamente a factores intrínsecos (condicionantes) de los materiales naturales de la ladera, sin considerar factores desencadenantes, como la precipitación o la sismicidad (CENAPRED, 2020).

El deslizamiento de una ladera es un término general utilizado para describir los movimientos descendentes de materiales terrestres, como suelos, rocas y vegetación, debido a la influencia de la gravedad. Estos movimientos pueden incluir derrumbes, caídas, deslizamientos, flujos y desplazamientos laterales. Los materiales que componen la masa inestable pueden moverse de diversas maneras. Algunos deslizamientos ocurren de manera rápida, en cuestión de segundos, mientras que otros pueden desarrollarse más lentamente, tomando horas, semanas, meses o incluso más tiempo (Mendoza & Dominguez, 2010).

Particularmente para este estudio se presentarán los tres fenómenos que considera la guía de CENAPRED para la realización de un Atlas de Riesgos.

Con el objeto de establecer un indicador cuali-cuantitativo del fenómeno, se recurrió al desarrollo de un modelo de ponderación multivariable, el cual emplea diversas capas de índole territorial, tanto de corte natural como antropogénico, en donde cada una de ellas aporta un valor o porcentaje específico para la explicación del fenómeno, medido en este caso en estratos de nivel o grado de susceptibilidad, es decir, la posibilidad de ocurrencia del fenómeno en cuestión.

Esto se lleva a cabo a través del algebra de mapas, en donde se homologan todas las variables para su tratamiento como capas ráster (mallas de pixeles que forman una imagen). Así, la superposición o traslape espacial de cada pixel ponderado, dará el resultado del modelo de susceptibilidad.

Para cada uno de los fenómenos, se muestra una tabla que contiene las variables que se tomaron en cuenta para la creación del modelo de susceptibilidad a procesos gravitacionales. Cada variable se subdivide en clases, en las que, mientras más alto sea el número, más contribuye a que el fenómeno se presente, pudiendo alcanzar valores negativos si se considera que la clase reduce la susceptibilidad. A su vez, la última columna desglosa el porcentaje que aporta cada capa al fenómeno. De tal suerte, cada fenómeno peligroso tendrá

variables particulares que se consideren determinantes para medir el nivel de susceptibilidad del territorio a la presencia del mismo.

Como la mayoría de las capas se encontraban en formato vectorial, fue preciso, como se aludió previamente, transformarlas a ráster, donde los pixeles de cada clase tienen el valor que se muestra en la columna del mismo nombre; se estableció un tamaño de pixel de 5 m, como el óptimo para alcanzar un buen nivel de detalle, especialmente para una escala municipal, sin que el tamaño de los ráster quedara muy grande por usar una resolución más pequeña. A continuación, se ejecutó la fórmula, definida por los porcentajes de cada variable, y se reclasificó el resultado en 5 estratos cualitativos para su análisis final, calculando las superficies en valores absolutos y relativos para cada uno de los estratos.

Por las características mencionadas, la ponderación multivariable se emplea idealmente como producto final para sintetizar el diagnóstico de sistemas ambientales o territoriales. No obstante, esta metodología de modelación no ha sido extensamente utilizada, por lo que es relativamente escaso encontrar bibliografía que la refiera como tal, incluso en estudios de impactos ambientales, donde, por la naturaleza de los mismos, es menester desarrollar un diagnóstico ambiental para establecer zonas de alto valor ecológico, donde las actividades humanas deberán restringirse o, en su defecto, ser cuidadosamente monitoreadas.

El anterior, es un proceso análogo a lo que pretende un Atlas de Riesgos, en donde, como ya se refirió previamente en el presente documento, uno de los principales objetivos es la delimitación de zonas de peligro y riesgo. Así, esta metodología se considera altamente recomendable para estudios de este tipo, por lo que se usará a través de este trabajo de investigación para analizar y espacializar la susceptibilidad a distintos tipos de peligros, así como la vulnerabilidad espacial, los sistemas expuestos y, finalmente, el riesgo.

Como se menciona en los primeros párrafos de este capítulo, los factores geológicos y geomorfológicos son los que determinan principalmente los resultados de este tipo de fenómenos. (Si se desea conocer más información acerca de la contextualización geológica y geomorfológica véase el apartado de caracterización física).

Deslizamientos

Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera. Por la forma de la superficie de falla (Mendoza & Dominguez, 2010).

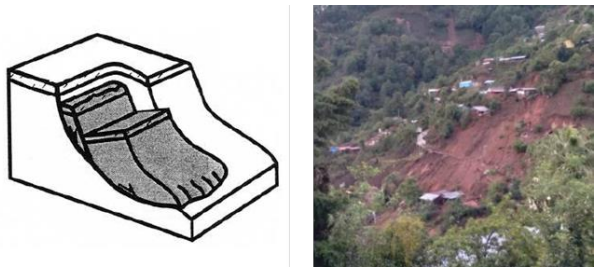


Figura 64. Deslizamiento en el año 2022 en el sur de Oaxaca
Fuente: Periódico la Prensa, mayo 2022.

Tabla 39. Variables y valores utilizados para determinar la susceptibilidad a deslizamiento de laderas

Factor	Intervalos o categorías	Atributo	Porcentaje
1 Inclinación de los taludes Fuente: NASA (2022). Modelos digital de elevación a partir de Alos Palsar.	Más de 45°	5	15
	35° a 45°	4	
	25° a 35°	3	
	15° a 25°	2	
	menos de 15°	0	
2 Altura Fuente: NASA (2022). Modelos digital de elevación a partir de Alos Palsar.	mas de 200	3	10
	100 a 200	2	
	50 a 100	1	
	menos de 50	0	
3 Antecedentes de deslizamientos en el sitio. Fuente: Información proporcionada por la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos de Zapotlán el Grande.	Si, incluso con fechas	5	20
	Algunos someros	3	
	No se sabe	1	
4 Tipo de suelos o rocas Fuente: IIEG (2016). Datos vectoriales de la carta geológica.	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas	4	10
	Rocas metamórficas (lutitas, pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas.	3	
	Suelos arcillosos consistentes o areno limosos compactos	2	
	Rocas sedimentarias (areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes.	1	
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, etc.).	0	

5 Edafología Fuente: Fuente: IIEG (2016). Datos vectoriales de la carta edafológica.	Andosol, Gleysol, litosol	4	10
	N/A	3	
	Cambisol, regosol	2	
	Feozem	1	
	Fluvisol	0	
6 Densidad de estructuras lineales (Fallas y Fracturas en Kernel) Fuente: Elaboración propia con base a las estructuras líneales del IIEG (2016). Datos vectoriales de la carta geológica.	Muy Alto	5	15
	Alto	4	
	Medio	3	
	Muy Bajo	2	
	Bajo	1	
	Nulo	0	
7 Uso de Suelo y Vegetación. Fuente: POEL (2021). Municipio de Zapotlán el Grande.	Sin vegetación aparente	5	15
	Huertos (aguacate)	4	
	Urbanización	4	
	Matorral inducido	3	
	Vías de comunicación	3	
	Agricultura de temporal	2	
	Invernaderos	2	
	Agricultura de riego	2	
	Pastizal natural	2	
	Pastizal inducido	2	
	Pastizal cultivado	2	
	Agua	2	
	Áreas verdes urbanas	1	
	Bosque de Abies y mesófilo	0	
	Bosque de Pinus	0	
	Bosque mixto de Pinus y Quercus	0	
	Vegetación subacuática	0	
	Bosque de Pinus disperso	-1	
	Bosque de Quercus	-1	
	Bosque tropical caducifolio	-1	
8 Régimen de Agua en la ladera. Fuente: GEOSITER (2024) con datos de INEGI y CONAGUA.	Buffer de fallas y fracturas	2	5
	Acuífero probable	1	
	Sin probable acuífero	0	

Fuente: Elaboración propia con base en el formato para la estimación de inestabilidad de laderas de la CENAPRED (2006).

Para los valores determinados en cada factor y su ponderación, se tomó en cuenta lo siguiente:

La inclinación del talud es un factor crucial para la estabilidad de las laderas. Taludes más inclinados (mayores a 45°) son más susceptibles a deslizamientos debido a la fuerza de gravedad que actúa más intensamente en pendientes pronunciadas.

La altura de la ladera afecta la energía potencial y, por lo tanto, la magnitud potencial de los deslizamientos. Laderas más altas tienden a ser más inestables.

Historiales de deslizamientos previos son un fuerte indicador de susceptibilidad. Áreas con antecedentes de deslizamientos tienen mayor probabilidad de sufrir futuros eventos.

El tipo de suelo y roca influye en la estabilidad de la ladera. Suelos sueltos y poco consolidados son más susceptibles a deslizamientos comparados con rocas ígneas sanas que ofrecen mayor estabilidad. Los tipos de suelo según su clasificación edafológica determinan la capacidad del suelo para retener agua y su comportamiento bajo condiciones húmedas.

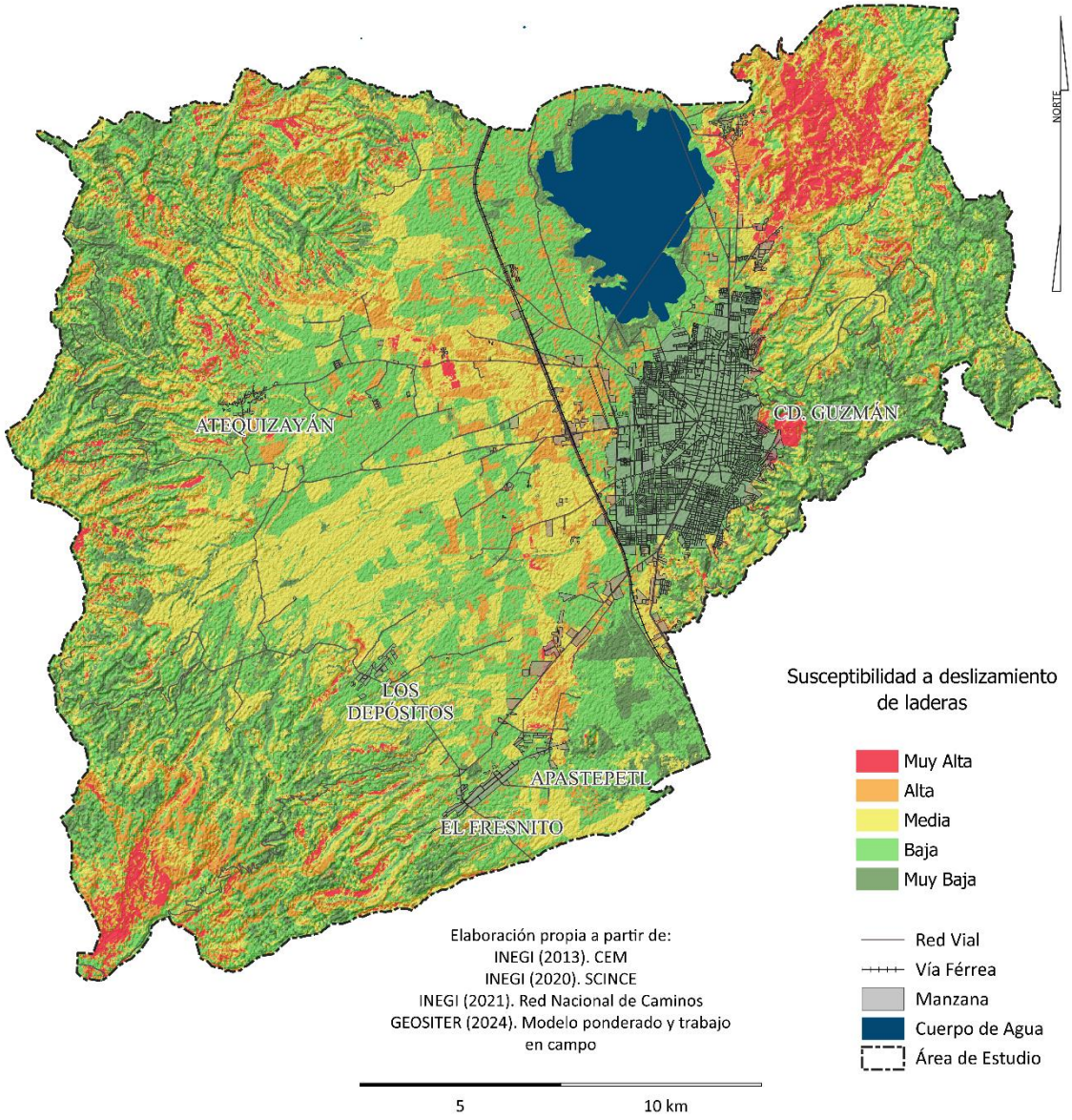
La densidad de fallas y fracturas es un indicador de la inestabilidad del terreno. Áreas con alta densidad de fallas y fracturas son más propensas a deslizamientos debido a la debilidad estructural inherente del terreno.

El uso del suelo y la cobertura vegetal afectan la estabilidad del terreno. Áreas sin vegetación son más susceptibles a deslizamientos debido a la falta de raíces que estabilicen el suelo. Urbanización y huertos, al modificar el terreno, pueden incrementar la susceptibilidad a deslizamientos.

La presencia de agua en la ladera puede saturar el suelo, lo que se traduce a mayor riesgo debido al potencial incremento en la presión de poros y la reducción de la cohesión del suelo.

Los resultados del modelo de deslizamiento de laderas, obedecen principalmente a las condiciones de materiales geológicos, geomorfología y a la saturación de agua en el terreno.

Para este caso específicamente se observan de valores medios a muy altos, las zonas con mayor grado de pendiente, tal es el caso de la porción del Nevado de Colima y Atequizayán, otros puntos de susceptibilidad se pueden observar en las zonas colindantes a la mancha urbana en la montaña oriente, y la zona crítica se identifica en la parte alta al oriente de la laguna, siguiendo el mismo patrón por la combinación de los factores antes descritos en la tabla de ponderación y los recientes cambios de cobertura vegetal debido a incendios y deforestación.



Mapa 47. Susceptibilidad a deslizamiento de laderas
Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. Zonas susceptibles a deslizamientos y procesos de erosión en laderas de la montaña oriente, por grado de inclinación y porciones con nula cobertura vegetal
Fuente: Captura propia.

Tabla 40. Superficie y porcentajes de susceptibilidad a deslizamiento de laderas respecto a la superficie de la zona de estudio

Susceptibilidad a deslizamiento de laderas	Superficie en hectáreas	Porcentaje de superficie
Muy Baja	5,581.21	14.16
Baja	16,398.73	41.60
Media	10,462.89	26.54
Alta	5,287.29	13.41
Muy Alta	1,685.65	4.28

Fuente: Elaboración propia.

Flujos

Según lo establecido por (Mendoza & Dominguez, 2010) los flujos son movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos

o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla o un cauce existente.

Estos flujos frecuentemente arrastran parte de la capa vegetal. Se forman en el momento en que la tierra y la vegetación son debilitadas considerablemente por el agua, alcanzando gran fuerza cuando la intensidad de las lluvias y su duración es larga. Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos; pueden distinguirse:

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.

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 o avalancha de detritos: Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan suelos sueltos, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua entrampados, formando una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo. Los flujos de detritos son uno de los procesos de remoción en masa más destructivos en todo el mundo, dado que se generan en las zonas montañosas y se depositan en abanicos aluviales o llanuras aluviales ocupadas por asentamientos humanos, (Sepúlveda et al., 2016).

Lahar: Flujo de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, o bien por rotura o desbordamiento de represas de agua. (Véase el apartado de vulcanismo).

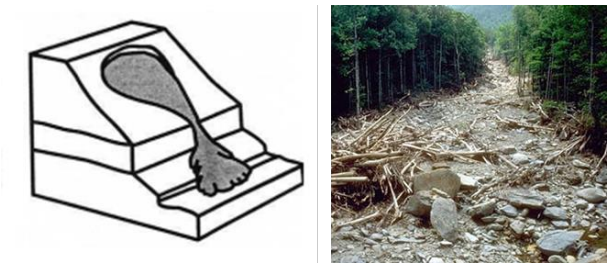


Figura 66. Material depositado por flujo de detritos en Colombia en 2006
Fuente: Portal de educación Universidad de Colombia.

Tabla 41. Variables y valores utilizados para determinar la susceptibilidad flujos dentro de los procesos gravitacionales

Factor	Intervalos o categorías	Atributo	%
1 inclinación Fuente: NASA (2022). Modelos digital de elevación a partir de Alos Palsar.	Más de 45°	5	25
	35° a 45°	4	
	25° a 35°	3	
	15° a 25°	2	
	menos de 15°	0	
2 orientación de la pendiente Fuente: NASA (2022). Modelos digital de elevación a partir de Alos Palsar.	Plano	0	5
	Norte	0	
	Noroeste	0	
	Este	5	
	Sureste	5	
	Sur	5	
	Suroeste	5	
	Oeste	5	
	Noroeste	0	
	Norte	0	
3 Antecedentes Atlas 2006	Registrados	2	5
4 Litología Fuente: IIEG (2016). Datos vectoriales de la carta geológica.	Residual	4	15
	Aluvial	3	
	Lacustre	2	
	Toba, extrusivas, brecha volcánica, arenisca-conglomerado	1	
	Basalto y andesita	0	
5 Edafología Fuente: IIEG (2016). Datos vectoriales de la carta geológica.	Andosol y litosol	4	15
	Cambisol, Gleysol y Regosol	2	
	Feozem	1	
	Fluvisol	0	
6 Uso de Suelo y Vegetación Fuente: POEL (2021). Municipio de Zapotlán el Grande.	Sin vegetación aparente	5	10
	Huertos (aguacate)	4	
	Matorral inducido	3	
	Vías de comunicación	3	
	Agricultura de temporal	2	
	Invernaderos	2	
	Agricultura de riego	2	
	Pastizal natural	2	
	Pastizal inducido	2	
	Pastizal cultivado	2	
	Áreas verdes urbanas	1	

	Vías de comunicación	1	
	Bosque de Abies y mesófilo	0	
	Bosque de Pinus	0	
	Bosque mixto de Pinus y Quercus	0	
	Vegetación subacuática	0	
	Agua	0	
	Urbanización	0	
	Bosque de Pinus disperso	0	
	Bosque de Quercus	0	
	Bosque tropical caducifolio	0	
7 Régimen de Agua en la ladera Fuente: GEOSITER (2024) con datos de INEGI y CONAGUA.	Buffer de fallas y fracturas	2	5
	Acuífero probable	1	
	Sin probable acuífero	0	
8 Cauces Fuente: GEOSITER (2024) con datos de INEGI y CONAGUA.	1er orden	5	20
	2do orden	4	

Fuente: Elaboración propia.

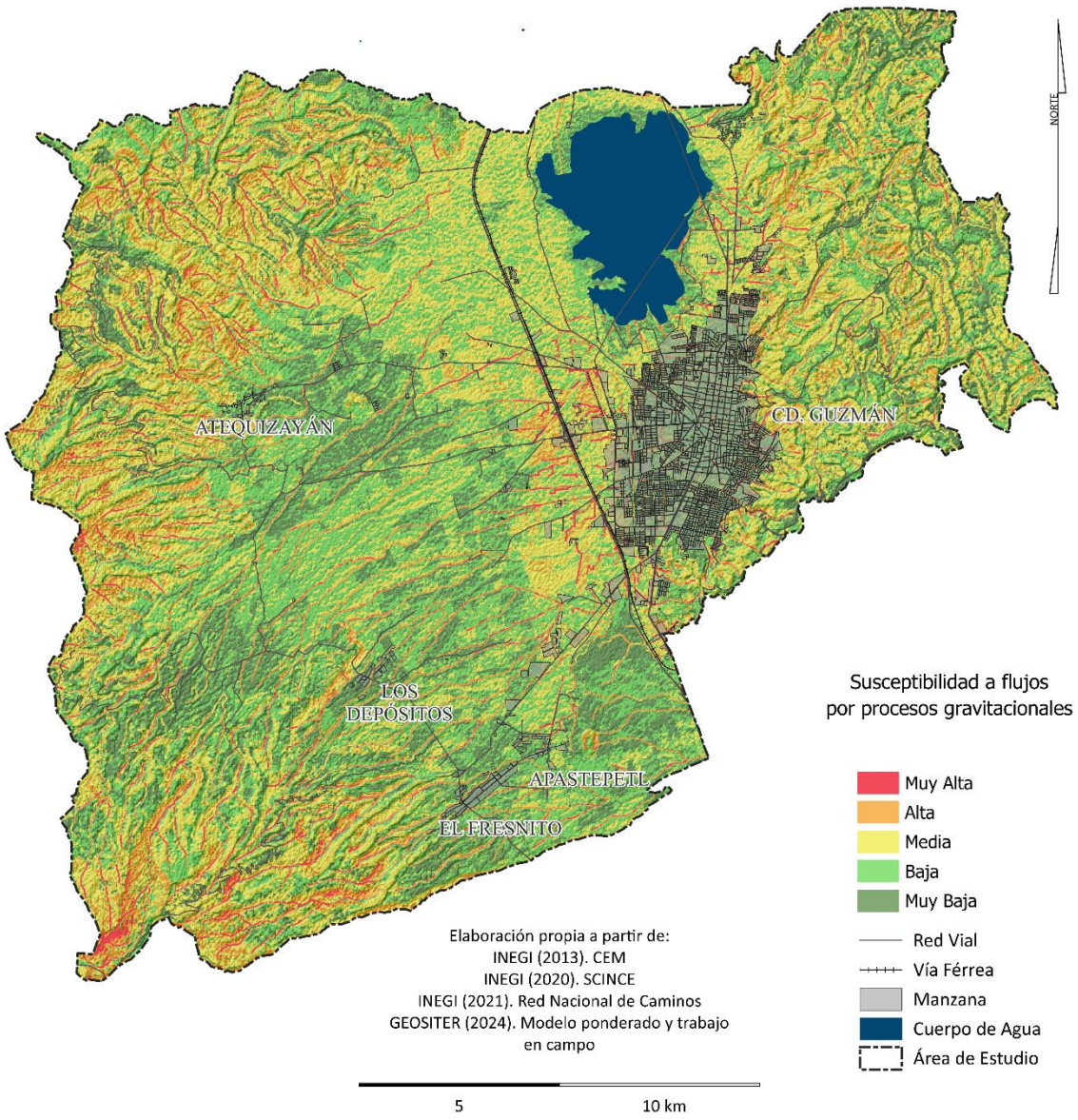
Para este modelo, se agregan factores como la orientación de la pendiente, la cual, define, según su exposición al sol, los procesos de erosión y de formación del suelo, mismos que hacen al material más susceptible a procesos de transporte y arrastre.

Los cauces de primer y segundo orden son fundamentales en el desarrollo de este tipo de eventos ya que se encuentran en las partes superiores de una cuenca y son responsables de una serie de procesos geomorfológicos, geológicos y geográficos.

La erosión es intensa en los cauces de primer orden debido a las altas pendientes, lo que provoca la incisión de los canales y la formación de valles en “V”. Esta erosión continúa en los cauces de segundo orden, aunque con menor pendiente, permitiendo el transporte de sedimentos cuesta abajo (Montgomery & Dietrich, 1994).

En los cauces de primer orden, la erosión vertical es predominante, llevando a la profundización de los cauces. A medida que los cauces de segundo orden se forman, la erosión lateral se vuelve más significativa, contribuyendo a la formación de meandros iniciales (Knighton, 1998).

Los procesos de erosión y el flujo de agua pueden provocar desprendimientos de material y deslizamientos, especialmente en áreas con suelos sueltos o poco consolidados (Selby, 1993).



Mapa 48. Susceptibilidad a deslizamiento de laderas
Fuente: Elaboración propia.

La susceptibilidad de peligros por flujos, como se menciona anteriormente, suele ser desencadenada principalmente por factores geológicos geomorfológicos combinados con lluvia.

En la zona de Atequizayán y el Nevado de Colima, predominan las áreas con susceptibilidad media a alta (amarillo y naranja), lo que sugiere una mayor propensión a flujos gravitacionales, posiblemente debido principalmente a las pendientes del terreno y a la composición del suelo.

En la zona central-sur (Los Depósitos, y El Fresnito) Se identifican áreas de susceptibilidad alta y muy alta (naranja y rojo), indicando zonas críticas donde los flujos de lodo, tierra y detritos pueden ser frecuentes.

La zona urbana está rodeada principalmente por áreas de susceptibilidad baja a media (verde claro y amarillo), lo que sugiere un riesgo moderado. Sin embargo, las zonas cercanas a los límites urbanos presentan una susceptibilidad alta y muy alta, lo cual es preocupante para la planificación urbana y la gestión de desastres.

Se tiene registro de que, en el mes de octubre del año 2022, una olla captadora de agua colapsó, tomando el curso del cauce y entrando a la ciudad con una mezcla de material vegetal y lodo.

“Debido a la ruptura de la olla de 50 por 50 metros de diámetro y una profundidad de cuatro metros, alrededor de un millón de metros cúbicos de agua desbordaron el arroyo San Cayetano y culminaron en la zona urbana de Ciudad Guzmán”, reportó en periódico El Informador.

Tabla 42. Superficie y porcentajes de susceptibilidad a flujos por procesos gravitacionales respecto a la superficie de la zona de estudio

Susceptibilidad a flujos por procesos gravitacionales	Superficie en hectáreas	Porcentaje de superficie
Muy Baja	8,335.55	21.15
Baja	12,112.73	30.73
Media	14,129.82	35.85
Alta	3,677.91	9.33
Muy Alta	1,159.78	2.94

Fuente: Elaboración propia.

Caídos o derrumbes

Movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando (Mendoza & Dominguez, 2010).

Desprendimientos: Caída de suelos producto de la erosión o de bloques rocosos, atendiendo a discontinuidades estructurales (grietas, planos de estratificación o fracturamiento) proclives a la inestabilidad.

Vuelcos o volteos: Caída de bloques rocosos con giro hacia adelante, propiciado por la presencia de discontinuidades estructurales (grietas de tensión, formaciones columnares, o diaclasas) que tienden a la vertical.

Figura 67. Caídos y derrumbes en carreteras del sur de Jalisco en 2021
Fuente: Periódico la voz del sur de Jalisco.

Aplicando la metodología que se menciona anteriormente de álgebra de mapas, para nuestra zona de estudio se utilizaron las siguientes variables y valores:

Tabla 43. Variables y valores utilizados para determinar la susceptibilidad a caídos y derrumbes

Factor	Intervalos o categorías	Atributo	%
1 inclinación Fuente: NASA (2022). Modelos digital de elevación a partir de Alos Palsar.	Más de 25°	5	70
2 Uso de suelo y vegetación Fuente: POEL (2021). Municipio de Zapotlán el Grande.	Sin vegetación aparente	5	15
	Huertos (aguacate)	4	
	Matorral inducido	3	
	Vías de comunicación	3	
	Agricultura de temporal	2	
	Invernaderos	2	
	Agricultura de riego	2	
	Pastizal natural	2	
	Pastizal inducido	2	
	Pastizal cultivado	2	

	Áreas verdes urbanas	1	
	Bosque de Abies y mesófilo	1	
	Bosque de Pinus	1	
	Bosque mixto de Pinus y Quercus	1	
	Vegetación subacuática	1	
	Agua	1	
	Urbanización	1	
	Bosque de Pinus disperso	1	
	Bosque de Quercus	1	
	Bosque tropical caducifolio	1	
3_Densidad de estructuras lineales (Kernel) Fuente: Elaboración propia con base a las estructuras líneales del IIEG (2016). Datos vectoriales de la carta geológica.	Muy Alto	5	15
	Alto	4	
	Medio	3	
	Muy Bajo	2	
	Bajo	1	
	Nulo	0	

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos, se observa que las zonas más susceptibles a este tipo de fenómeno se encuentran en la zona de laderas del Nevado de Colima, y en la zona oeste de la localidad de Atequizayán.

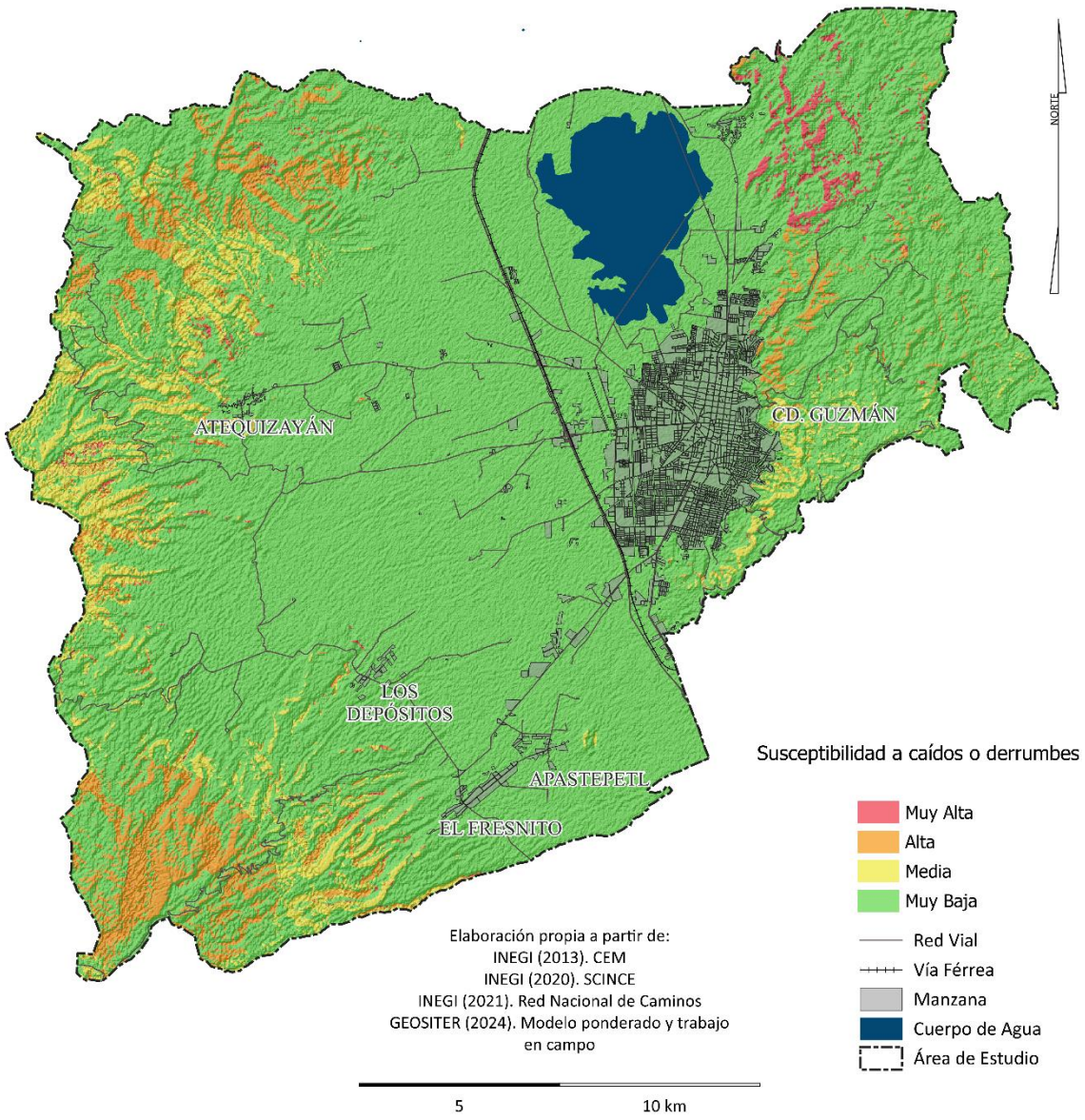
En Ciudad Guzmán se observan manchones de peligro paralelas a la mancha urbana, en las laderas medias de la montaña oriente en dónde ya se han registrado este tipo de fenómenos en la zona de la colonia Chuluapan.

Finalmente existen otras regiones de peligro en la zona alta al este de la laguna, este resultado responde probablemente a los recientes cambios de cobertura vegetal debido a incendios y deforestación.

Tabla 44. Superficie y porcentajes de susceptibilidad a caídos y derrumbes respecto a la superficie de la zona de estudio

Susceptibilidad a derrumbes y caídos	Superficie en hectáreas	Porcentaje de superficie
Muy Baja	34,538.48	87.63
Media	2,255.68	5.72
Alta	2,182.67	5.54
Muy Alta	436.27	1.11

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 49. Susceptibilidad a caídos o derrumbes
Fuente: Elaboración propia.

3.3 Licuación de suelos

La licuación (o licuefacción) de suelos incluye todos los procesos que conducen a una pérdida de resistencia o al desarrollo de deformaciones excesivas como resultado de una perturbación transitoria o repetida (sismos) en suelos saturados no cohesivos (Pastor et al., 2018).

Otras definiciones explican que la licuación del suelo produce la pérdida de rigidez del material debido a un incremento importante de la presión de poro, generando que las instalaciones subterráneas o estructuras emerjan y las estructuras apoyadas superficialmente fallen, se hundan o presenten asentamientos diferenciales.

El fenómeno de licuación es dependiente de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, tales como el grado de compactación, distribución granulométrica y contenido de finos, además de agentes externos como una fuente dinámica y un nivel de agua freática (N.A.F.) superficial. En caso de presentarse, generarán las condiciones necesarias para considerar al suelo con potencial de licuación (Quintos-Lima, 2020).

La susceptibilidad a la licuación puede evaluarse siguiendo diversos métodos), siendo algunos de los más utilizados el de Seed e Idriss (1971), el de Youd e Idriss (2001) y el de Yegian y Whitman (1978). Todos ellos comparan la resistencia cíclica del suelo a la licuación, obtenida mediante correlaciones con ensayos de campo ensayo de penetración estándar SPT, ensayo de penetración con cono CPT y velocidad de onda de corte) con la solicitación cíclica que se puede producir a causa del evento sísmico (Pastor et al., 2018).

En la versión del Atlas del 2016, se indica que la zona urbana de Ciudad Guzmán es susceptible a licuefacción debido a varias razones:

- Presencia de Material Erosivo: Se menciona que el material donde está asentada la ciudad es susceptible a erosionarse aceleradamente, especialmente en caso de fugas en el sistema de agua y alcantarillado.
- Condiciones de Suelo y Sismos: La combinación de un fenómeno sísmico con la saturación de agua puede provocar el ablandamiento del suelo, resultando en licuefacción.
- Abatimiento y Hundimiento: La existencia de pozos cercanos contribuye al abatimiento del terreno, lo que puede provocar hundimientos.

- Ruptura de Tuberías: Las infiltraciones de fluidos por la ruptura de tuberías, mezclándose con material arcilloarenoso, incrementan la susceptibilidad a la licuefacción, especialmente en caso de un sismo de gran magnitud (Mw > 6.0).

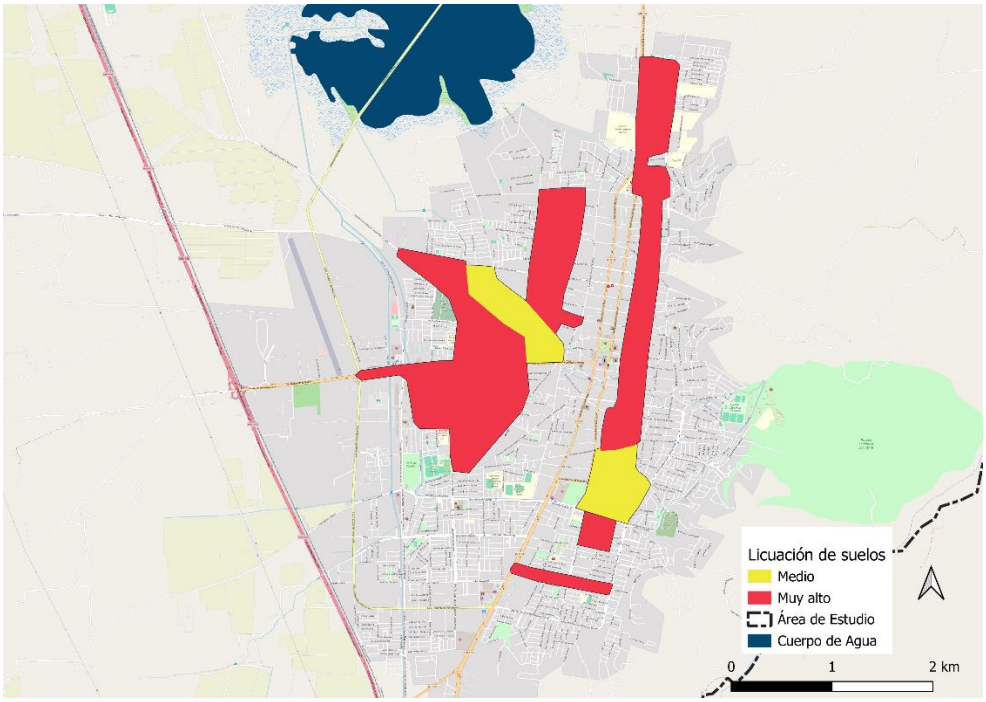


Figura 68. Zonas susceptibles a licuación de suelos en Ciudad Guzmán
Fuente: Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Zapotlán el Grande (IIEG, 2016).

La metodología aborda algunos aspectos clave de la susceptibilidad a la licuación, y si bien, es cierto que en la traza urbana de la ciudad se presentan las características enlistadas anteriormente, que pueden ser variables que influyan para que se desarrolle este fenómeno; se detectaron carencias respecto a la especificidad y rigurosidad técnica de las metodologías definidas (como la que se describe a continuación) para la evaluación al riesgo de licuación.

Mediante una consulta técnica al Dr. Juan Manuel Sandoval Hernández, Jefe de Laboratorio de Geofísica y miembro del Centro de Estudios de la Tierra, CUSur; se propone que, para definir zonas propensas a presentar licuación de suelos posterior a un sismo, se requiere lo siguiente:

"El análisis del riesgo sísmico debe contener investigación de la licuefacción (o licuación), el cuál es un fenómeno inducido por terremotos sobre suelos granulares saturados, en el cual el suelo pierde su rigidez y resistencia haciendo que se comporte como un líquido. El Índice de Potencial de Licuefacción (IPL) de un sitio puede estimarse mediante diversos parámetros para cuantificar la amenaza sísmica de asentamientos humanos (Iwasaki et al., 1978), para lo que debe caracterizarse el tipo de materiales geológicos, profundidad de estratos saturados, efecto de sitio, aceleración máxima horizontal del suelo y estimación histórica de magnitud de sismos. La presencia de suelos de grano fino y el nivel capa freática somera, incrementan la susceptibilidad de licuefacción.

Existen varias metodologías geotécnicas y geofísicas para obtener parámetros para evaluar la licuefacción. En la geotecnia el método más usado es el de recuento de golpes de prueba de resistencia estándar a la penetración (Dikmen, 2009). Mientras que, la geofísica expresa las propiedades dinámicas de los suelos, proporciona en específico el parámetro del promedio de velocidad media de las ondas de corte en los primeros treinta metros del suelo (VS30). El VS30 es el indicador de la respuesta del sitio, representa el factor de amplificación del movimiento del suelo durante eventos sísmicos (Dobry et al., 2000) (Borcherdt & Glassmoyer, 1992). La combinación de metodologías proporciona información más precisa del fenómeno de licuefacción.

Para la estimar VS 30 con geofísica, se han desarrollado diversos métodos: análisis espectral de ondas superficiales (SASW), matrices de microtremores (MAM) y análisis multicanal de ondas superficiales (MASW), la elección del método depende de las necesidades del sitio. En el MASW, el arreglo de los sensores es lineal y con fuente activa (Park & Elrick, 1998) perteneciente a la sísmica de alta resolución. En tanto la saturación de estratos se puede interpretar con método de tomografía de resistividad eléctrica. Y los valores de aceleración máxima horizontal del suelo deben ser registrados por acelerómetro instalado en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos se evalúan conforme a las clasificaciones de peligro de licuefacción de Iwasaki et al. (1981) y de suelos establecida por el programa nacional de reducción de riesgos sísmicos (NEHRP).

El objetivo es determinar el riesgo sísmico para la toma decisiones y formular políticas de diseño de estructuras sismo resistentes, basado en la evidencia científica.

Aunque el método MASW se sugiriere en este documento para licuefacción, tiene un arreglo instrumental distinto para la microzonificación sísmica. Por lo que se debe establecer la finalidad del arreglo aplicado. Por otro lado, la determinación la existencia del fenómeno de licuefacción se requiere menor número de sitios a evaluados que la microzonificación para sismos".

Aunque, como se mencionó al inicio de este apartado, se han identificado áreas susceptibles a la licuefacción en la zona urbana de Ciudad Guzmán en el Atlas de 2016, es importante considerar que las metodologías empleadas en ese momento eran menos específicas y rigurosas (inclusive es relevante mencionar los esfuerzos de la actual administración del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Zapotlán, organismo que se ha encargado de reparar la red de drenaje en estas zonas, lo que resulta en menos posibilidad de reblandecimiento del suelo); sin embargo, debido a la complejidad de la licuación del suelo, no podemos considerar esas zonas como propensas al fenómeno de licuefacción sin realizar estudios adicionales con las técnicas avanzadas disponibles como las que describe anteriormente el Dr. Juan Manuel Sandoval Hernández.

De tal manera, con el fin de aproximar una zonificación de susceptibilidad, se realizó un modelo ponderado por medio del álgebra de mapas, análogo a los realizados en otros subcapítulos de este documento, que incluye las variables detonantes de este fenómeno, las cuales se mencionaron en párrafos anteriores; es así que en este proceso se involucran las siguientes capas, presentadas con su correspondiente ponderación y el valor relativo que aportan a explicar el fenómeno:

Tabla 45. Variables y valores utilizados para determinar la susceptibilidad a licuación de suelos

Factor	Intervalos o categorías	Ponderación	Porcentaje
1 Fallas y Fracturas	Peligro Alto	5	15
	Peligro Medio	3	
	Peligro Bajo	1	
2 Global de Intensidades de sismos (Mercalli)	IX	4	5
	X	5	
3 Buffer de epicentros históricos (100 años)	200m	5	30
	400m	4	
	600m	3	
	800m	2	
	1,000m	1	

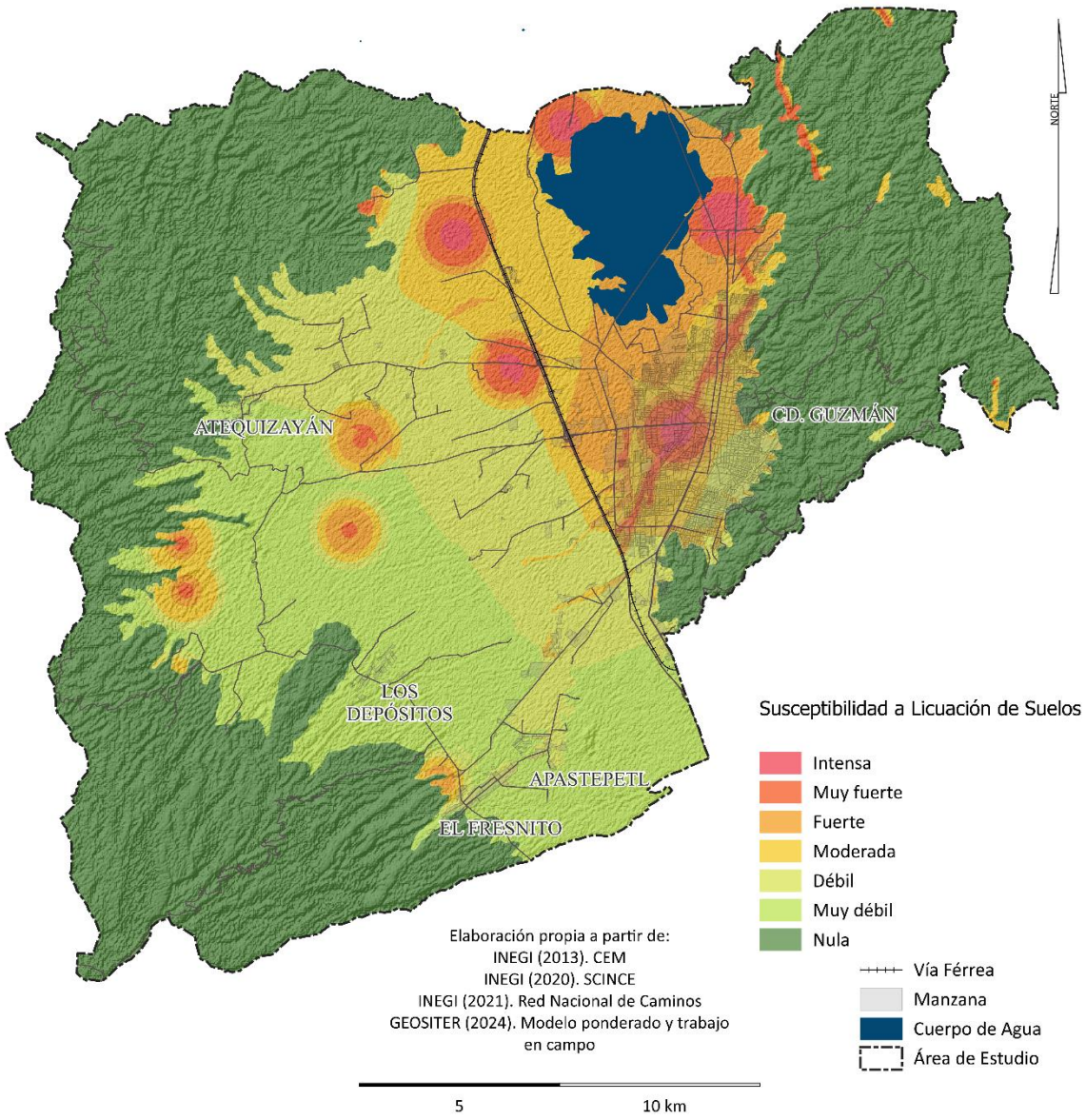
4 Litología	Aluvial, residual	5	5
	Lacustre	5	
	Arenisca, conglomerado, brecha	1	
	Toba, Extrusivas, Basalto, andesita	0	
5 Edafología	Fluvisol	5	10
	Cambisol, regosol	3	
	Feozem	2	
	Gleysol, litosol	1	
6 Nivel piezométrico modelado a partir de datos de tesista 2022	<= 75 m	5	30
	75 m -100 m	4	
	100 m - 200m	3	
	200-300m	2	
	>300m	1	
7 Polígono de zona urbana		2	5

Fuente: Elaboración propia.

Las variables mostradas en la tabla fueron seleccionadas para proporcionar un enfoque más holístico, dada la limitación de no contar con información resultante de tecnologías avanzadas y metodologías rigurosas en el análisis anterior.

Las fallas y fracturas geológicas se consideran una variable importante, debido a que representan puntos de debilidad en la corteza terrestre, susceptibles de influir en la estabilidad del suelo durante eventos sísmicos. De la misma manera, la intensidad de los sismos, medida mediante la escala de Mercalli, también se incluyó, ya que los niveles altos de intensidad (IX y X) están directamente asociados con una mayor probabilidad de licuación.

Otro factor importante es la proximidad a epicentros históricos de sismos, especialmente en un rango de hasta 1,000 metros. Las áreas más cercanas a estos epicentros tienen una mayor exposición a movimientos sísmicos fuertes, lo cual está determinado por el efecto de sitio (véase apartado de sismos), lo que aumenta la susceptibilidad a que se presente este fenómeno.



Mapa 50. Susceptibilidad a Licuación de Suelos
Fuente: Elaboración propia.

En términos de edafología, los tipos de suelos como Fluvisol, Cambisol y Regosol fueron evaluados por su susceptibilidad inherente. Suelos aluviales, residuales y lacustres, fue considerada debido a su baja cohesión y alta porosidad, características que facilitan el desarrollo del fenómeno de licuación.

El nivel piezométrico, especialmente cuando es menor o igual a 75 metros, también es un factor determinante, ya que un nivel freático superficial puede saturar los suelos y predisponerlos a la licuación.

El modelo también incorporó un factor adicional, considerando las zonas urbanas como áreas de mayor interés debido a la concentración de infraestructura y población, lo que aumenta la relevancia de mitigar los riesgos asociados.

En el mapa adjunto, se visualizan las áreas con distintas categorías de susceptibilidad a la licuación, desde nula hasta intensa. Las áreas en tonos rojos y naranjas indican una mayor susceptibilidad, lo que corresponde a zonas con alta intensidad sísmica, proximidad a fallas y fracturas, y suelos de alta porosidad y baja cohesión. Este enfoque más amplio, aunque no tan preciso como los métodos avanzados, proporciona una base inicial para identificar y mitigar los riesgos de licuación en la región, destacando la necesidad de estudios más detallados y específicos para una evaluación precisa del riesgo.

3.4 Erupciones volcánicas

El vulcanismo se define según el Servicio Geológico Mexicano (SGM,2020), como el fenómeno geológico que es una manifestación de la energía interna de la Tierra que afecta principalmente a las zonas inestables de la corteza terrestre.

Tipos de erupciones según (Pérez-Torrado & Rodriguez-González, 2015).

Hawaianas: Este mecanismo eruptivo involucra una baja o nula proporción de gases en un magma poco viscoso que permite su separación de forma no violenta. De esta forma el magma sale a la superficie poco o nada fragmentado, fluyendo en forma de “ríos” de lava. Ejemplos: Mauna Loa y Kilauea, volcanes en escudo.

Estrombolianas: Este mecanismo es muy parecido al anterior, pero con una mayor presencia de volátiles que al disociarse de la fase líquida forman burbujas que se expanden y se unen entre sí, produciendo discretas explosiones separadas unas de otras por periodos de menos de un segundo hasta varias horas. Los productos piroclásticos generados en estas erupciones

son de gran tamaño y escasa dispersión y, al igual que en las erupciones hawaianas, pueden aglutinarse entre sí y comenzar a fluir como una lava. Ejemplo: Volcán Etna (en la isla de Sicilia) como para el Estrómboli (en el archipiélago de las Eolias).

Plinianas: Son típicas de magmas ácidos e intermedios, muy viscosos y con una gran concentración de volátiles disueltos. Según van ascendiendo, la solubilidad de los volátiles va descendiendo y comienzan a separarse de la fase líquida (nivel de nucleación) pero sin posibilidad de escaparse de la misma, ya que esta fase líquida tiene una alta viscosidad. Por tanto, las erupciones plinianas son erupciones magmáticas explosivas a conducto abierto, típicas de magmas ácidos a intermedios y donde los productos volcánicos principales son los depósitos piroclásticos. Ejemplos: Chichón (México) y Pinatubo (Filipinas).

Vulcaniana: Al igual que las anteriores, son erupciones muy explosivas típicas de magmas ácidos e intermedios. La diferencia estriba en que en las erupciones vulcanianas se considera que el magma en su ascenso se encuentra con un tapón de roca que cierra el conducto de salida. Debido a que parte de la energía liberada debe emplearse en romper el tapón del conducto, es por lo que las erupciones vulcanianas generan columnas piroclásticas de menor altura que las plinianas, por lo que se dispersarán por áreas más reducidas y los depósitos piroclásticos, sobre todo los proximales, presentarán una mayor granulometría. Las erupciones vulcanianas son erupciones explosivas a conducto cerrado típicas de magmas ácidos e intermedios, donde los productos volcánicos principales son los depósitos piroclásticos. La posibilidad de interaccionar con aguas subterráneas hace que estas erupciones participen tanto de características propias magmáticas como de las hidromagmática. Volcán Pelée en la isla de Martinica (Antillas francesas) y el Monte Santa Elena en Estados Unidos de América.

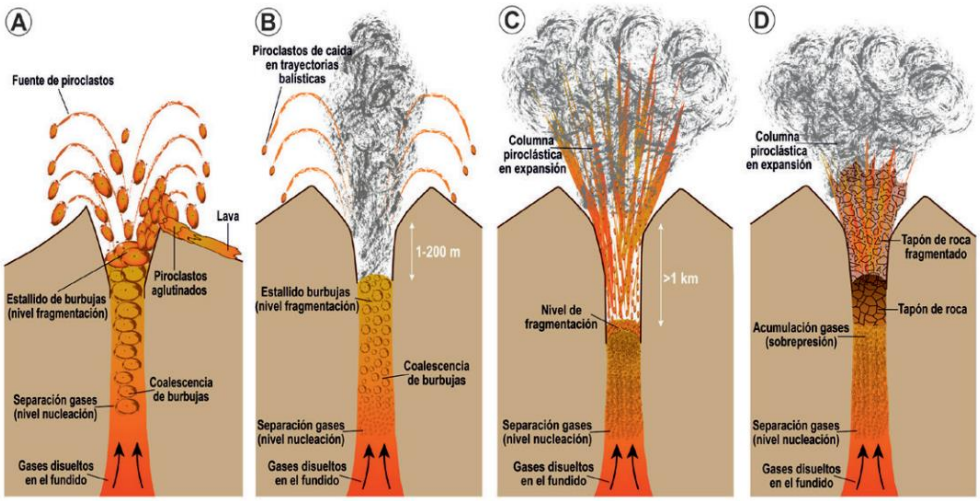


Figura 69. Distintos tipos de erupciones magmáticas. A) Hawaiana; B) Estromboliana; C) Pliniana; D) Vulcaniana
Fuente: (Pérez-Torrado & Rodriguez-González, 2015) figuras modificadas de Francis, 1993.

En la FVTM se cuenta con una docena de estratovolcanes activos, de los más famosos: Colima, Ceboruco, Popocatépelt y Pico de Orizaba.

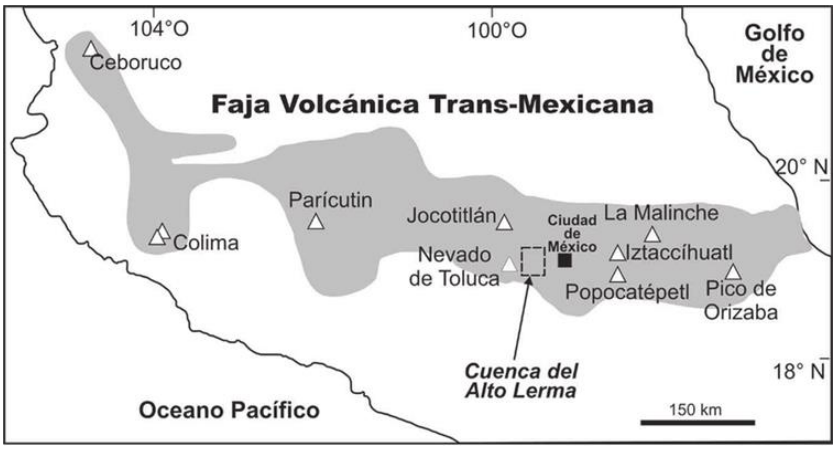


Figura 70. FVTM y sus los principales volcanes
Fuente: (Yoko et al., 2010).

Específicamente para este estudio, orientaremos el interés en el Volcán de Colima, el cual, debido a su historial eruptivo, es considerado el más activo de México y se encuentra a poco más de 25 kilómetros en línea recta de la cabecera municipal de Zapotlán el Grande (En línea recta desde el cráter).

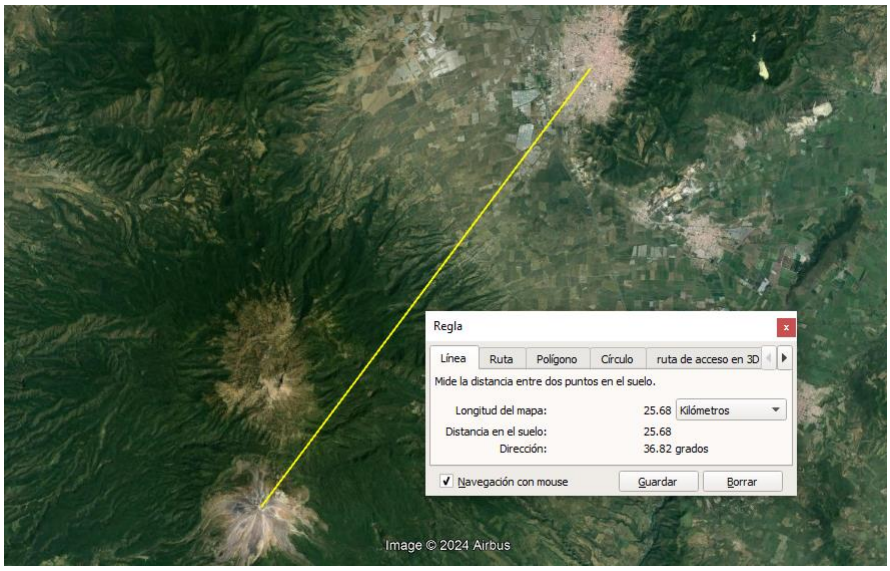


Figura 71. Distancia en línea recta desde el cráter del Volcán de Colima a la zona urbana de Ciudad Guzmán Fuente: Elaboración propia.

El complejo volcánico de Colima está constituido por una cordillera de orientación norte-sur, cuyos centros eruptivos son el volcán el Cántaro, en su porción septentrional con una altitud de aproximadamente 3,000 m.s.n.m.; El Nevado de Colima en la parte central y en su extremo meridional El Volcán de Colima o Volcán de Fuego con una altitud de 3,850 m.s.n.m. (Rodríguez Elizarrarás, 1995).

La morfología de las zonas más próximas al volcán se caracteriza por ser sumamente abrupta cambiando gradualmente hacía las partes intermedias.

Durante los últimos 400 años, el volcán de Colima ha presentado alrededor de 43 erupciones que lo colocan como el volcán más activo de Norteamérica (De-la Cruz-Reyna, 1993; Saucedo et al., 2004b). Como consecuencia de su constante actividad, el volcán de Colima cuenta con el registro histórico más completo de los volcanes mexicanos.

El registro histórico de su actividad es producto de las observaciones realizadas por Don José María Arreola y Don Severo Díaz, quiénes estuvieron encargados de los observatorios volcanológicos que funcionaron en Zapotlán el Grande y Colima durante el periodo de 1894 a 1914 (Rodríguez Elizarrarás, 1995).

El Volcán de Fuego de Colima ha tenido más de 40 eventos eruptivos de tipo explosivo y efusivo entre las que destacan las de 1576, 1606, 1690, 1818, 1869, 1903, 1913, 1960-61,

1965, 1975-76, 1981-82, 1991, 1998-99, 2001-2003, 2004-2005, 2007-2011, 2013-2017, hasta el 03 de febrero de 2017 que fue la última explosión contemporánea.

Según Súarez (2007), la actividad eruptiva del Volcán de Colima es dividida en dos períodos:

a) Período prehistórico desde su origen gasta 1576.
b) Período histórico de 1576 a la fecha.

Posteriormente en análisis temporal de los registros (Lurh,1981), muestran cuatro ciclos de actividad, cada uno de ellos con una duración aproximada de cien años; el primer ciclo abarcó de 1576 a 1611, el segundo de 1611 a 1818, el tercero de 1818 a 1913 y finalmente el cuarto de 1913 al presente, esta actividad cíclica ha sido caracterizada por las siguientes fases (Suárez, 2007):

1. Erupción violenta con desalojos del domo que ocupa el cráter, con emisión de flujo piroclásticos y material de caída libre.
2. Período de reposos de varias décadas.
3. Reinicio de la actividad con ascenso del domo de lava.
4. Derrames de lava pro los flancos del volcán y pequeñas explosiones con emisiones de ceniza.
5. Terminación del ciclo, con las características de la primera fase.

Tabla 46. Actividad eruptiva desde el año 1913

Año de registro	Manifestación
1913	La ceniza afectó a Guadalajara, Saltillo y Coahuila. Cambió la forma del volcán
1955	Flujos de escombros alcanzaron la comunidad de Atenquique ubicada a 18 km.
1958	Cráter derramó lava sobre flanco norte
1975	Diversos derrames de lava se desplazaron sobre la ladera este
1991	Actividad efusiva acompañada de colapso del domo
1997	Formación de una fractura en el domo y sismicidad relevante
1998	Erupción que formó un primer domo en la zona suroeste del cráter
1999	Explosión con una columna de cenizas de más de 7 km de altura con flujos con alcances de 4.5 km
2000	Lahares afectaron la comunidad de La Becerrera y la barranca Montegrande
2000-2003	Formaciones de domo, flujos piroclásticos, caída de ceniza con dirección al sureste, sur y este
2008-2012	Crecimiento del domo
2014-2015	Nuevo domo y numerosas explosiones, derrames de lava hacía oeste y sureste
2017	Serie de incendios en las laderas, produjo una elevada columna que rebasó los 2 mil metros con dirección Noreste, acompañada de material incandescente.

Fuente. (Infografía CENAPRED Volcán de Colima, 2022).

Peligro por erupción volcánica

Con la finalidad de determinar una zonificación de peligros del Volcán de Colima, se realizó un mapa con información que está basada en más de 500 puntos de verificación geológica en campo, realizadas bajo el proyecto CONACYT D0832-T9201 (1993) y posteriores actualizaciones (2003). Fue elaborado considerando la extensión máxima de los depósitos originados por erupciones volcánicas pasadas con un índice de explosividad volcánica (VEI) de 0 a 6 y suponiendo que la erupción tenga lugar en las inmediaciones de la actual cima. Los límites de los diferentes colores fueron trazados con base en el alcance máximo observado en campo de los productos originados por estas erupciones.

Aunque la mayoría de las afectaciones provocadas por el Volcán de Colima, han sido en comunidades que se encuentran al sur y este del mismo, el municipio de Zapotlán el Grande se encuentra solamente dentro del rango de caída de ceniza según el mapa de peligros publicado en la revista de Geofísica Internacional (1995) así como en el mapa de peligros de la Universidad de Colima (2003).

A partir del mapa generado por la Universidad de Colima, se identifican y describen los peligros señalados en el mismo.

Según el mapa de peligros del Volcán de Colima (2003), los flujos piroclásticos son una mezcla fluida y densa de rocas, ceniza y gases que bajan a velocidades mayores a 100 km/h, por las laderas de un volcán con altas temperaturas mayores a 600° C. En un radio de 15 a 20 km al sur del volcán es el principal peligro volcánico. Históricamente presentes de 1818, 1869 y 1913.

Los flujos de lodo o lahares y zonas de inundación, son avenidas repentinas de lodo, rocas y agua que escurren por las cañadas del volcán con velocidades cercanas a 50 km/h. Tienen la consistencia del concreto mojado y son disparados por lluvias torrenciales. Es el segundo depósito más abundante en un radio de 15 a 20 km. En erupciones mayores, aguas abajo puede afectar por inundación grandes extensiones.

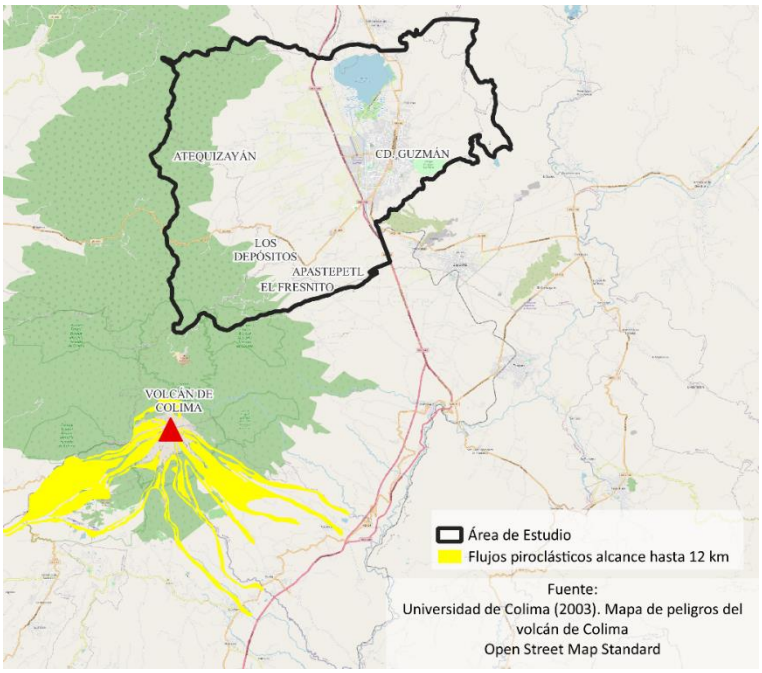


Figura 72. Flujos piroclásticos
Fuente: Elaboración propia.

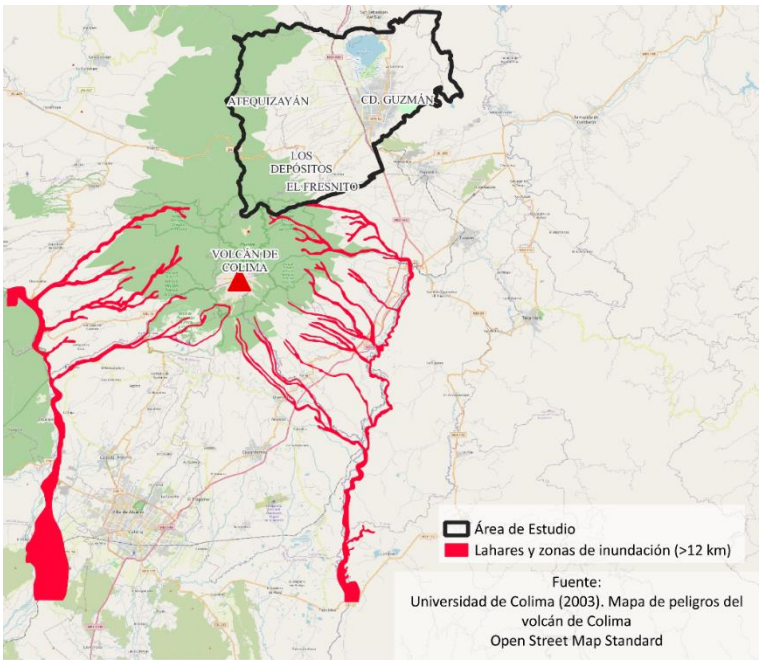


Figura 73. Lahares y zonas de inundación (<12km)
Fuente: Elaboración propia.

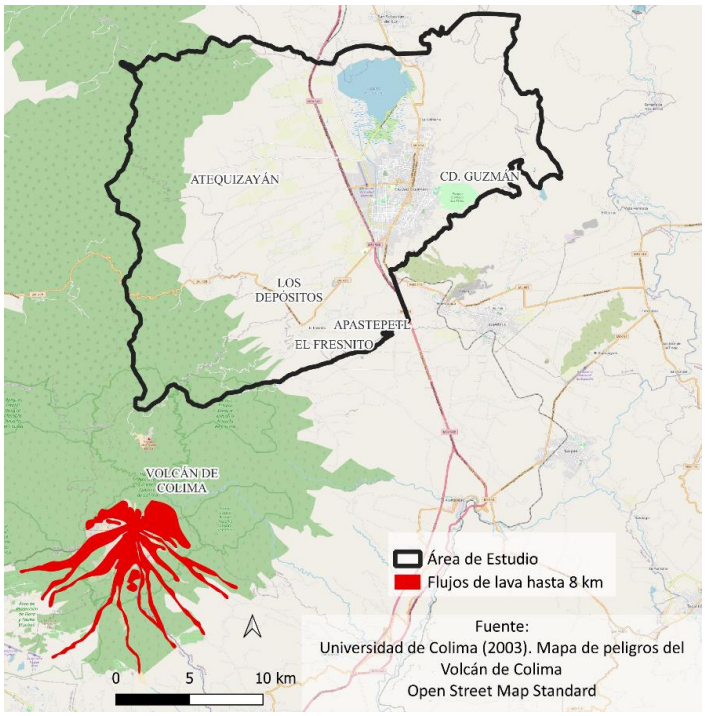


Figura 74. Flujos de lava
Fuente: Elaboración propia.

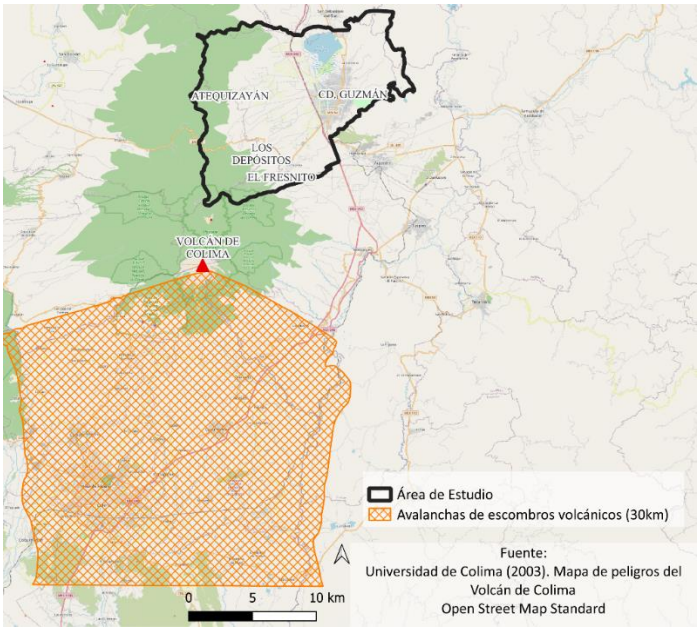


Figura 75. Avalancha de escombros volcánicos
Fuente: Elaboración propia.

Los flujos de lava densa descienden lentamente por las laderas del volcán, con velocidades menores a 100 m/día. En los últimos 40 años los alcances máximos son de 3.5 km, mientras que los flujos prehistóricos presentan alcances de hasta 8 km a partir de la cima.

La avalancha de escombros volcánicos es el escenario más catastrófico que puede ocurrir en el volcán de Colima y consiste en un derrumbe parcial o total del volcán, cuyos depósitos de escombros cubren el valle norte de la ciudad de Colima con espesores mayores a 50 m. Se han reconocido al menos tres depósitos de este tipo, con una recurrencia de miles de años, fechándose la última con el método de carbono catorce (C14) en 2,500 años antes del presente.

Hasta lo referido actualmente y tomando en cuenta que toda la información citada anteriormente es de lo contemplado por el mapa de peligros del Volcán de Colima (2003), no se identifican peligros potenciales para el municipio de Zapotlán el Grande, sin embargo, la caída de ceniza y pómez si puede representar una amenaza para la zona, como se muestra en las siguientes imágenes.

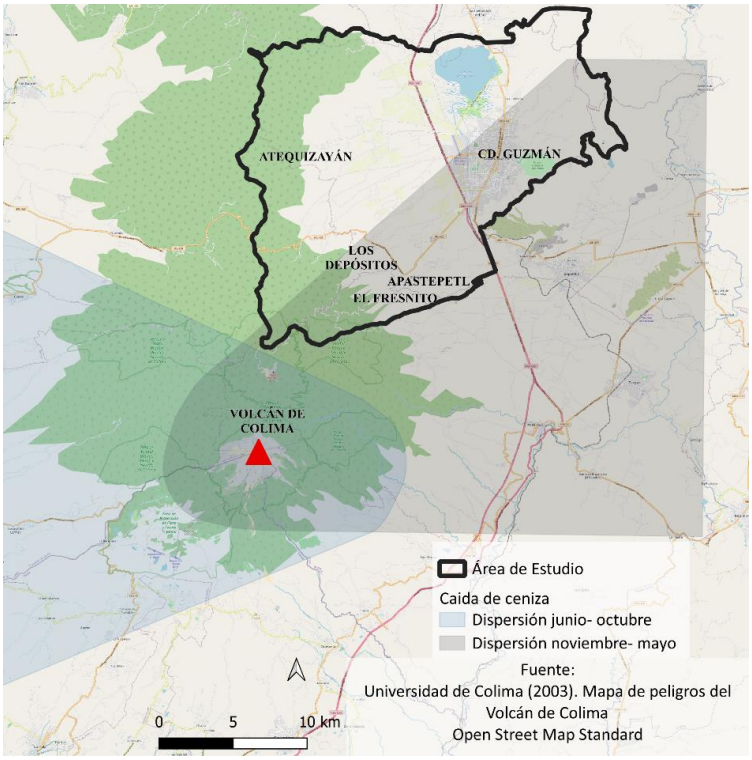


Figura 76. Caída de ceniza
Fuente: Elaboración propia.

Se define la caída de ceniza como lluvia de material fragmentado en erupciones explosivas siendo controladas por la dirección y velocidad del viento, cubriendo como un mando, grandes extensiones de terreno. Históricamente con alcances de 30 a 50 km en dirección del viento. Se han encontrado espesores de 10 m en un radio de 7 km. Se incluye en esta, la lluvia o caída de productos por trayectoria balística (fragmentos de roca hasta 50 cm de diámetro) con alcances máximos de 5 km.

Como se observa en la figura anterior, el municipio de Zapotlán el Grande se encuentra dentro del rango modelado de caída de ceniza, sobre todo en la dispersión de noviembre a mayo. No existen peligros de caída de productos mayores a 50 cm de diámetro.

Según Martín del Pozzo en la revista de Geofísica Internacional (1995) y el documento denominado: *Potential hazards from Colima volcano, Mexico*, se establece un límite de caída de ceniza y pómez, en el cual también Zapotlán el Grande sería afectado con caída de bloques de hasta 10 cm.

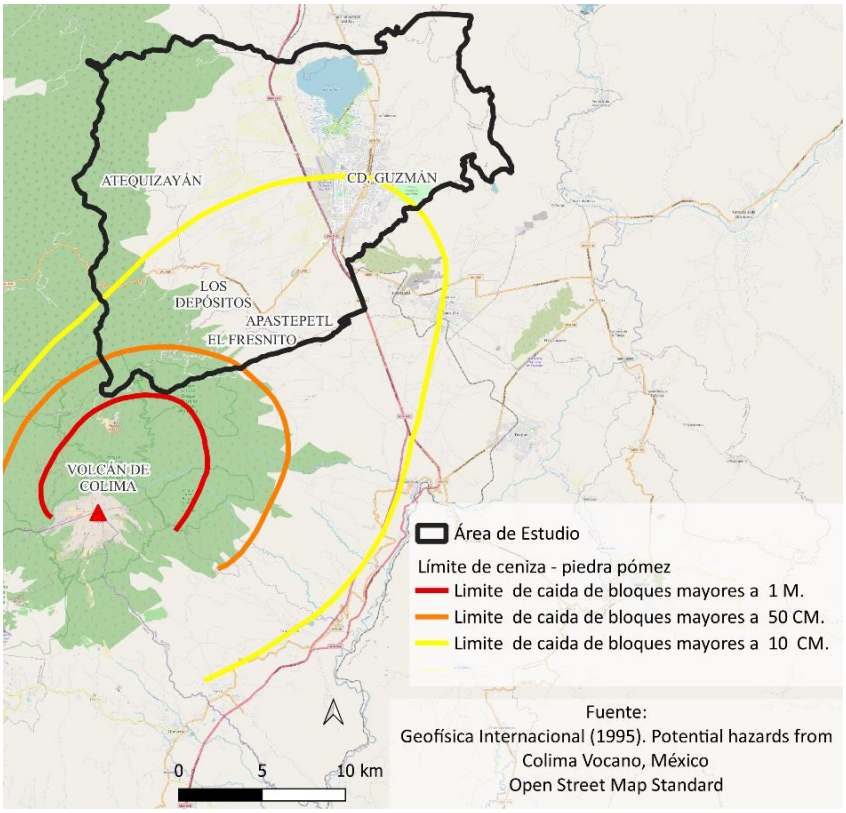


Figura 77. Caída de ceniza y pómez
Fuente: Elaboración propia.

Figura 78. Acumulación de ceniza en una de las principales calles de la actual Ciudad Guzmán. Erupción de 1913
Fuente: Imagen del Archivo General e Histórico Municipal "Juan S. Vizcaíno de Zapotlán el Grande, Jalisco.

Particularmente, la caída de ceniza genera riesgo de contaminación del agua y de los alimentos, así como la afectación del ganado y animales domésticos, de cultivos y en general del medio ambiente, comprometiendo también los servicios básicos (agua, transporte, comunicaciones) y el acceso a los servicios de salud.

Además, el cúmulo de cenizas sobre techos o cubiertas puede causar daños o colapso de edificaciones, tanto de forma inmediata como posterior al evento, como en la fase de limpieza. Esto ha generado la ocurrencia de accidentes con politraumatismo por el colapso de los techos. (IVHHN, s. f.)

En cuanto a efectos sobre la salud humana más comunes causados por las erupciones volcánicas incluyen quemaduras, asfixia, enfermedades en la piel, lesiones oculares, problemas respiratorios, conjuntivitis y hasta la muerte (OPS, 2017).

3.5 Subsidencia y agrietamiento del terreno

Subsidencia

Según la información preexistente, las observaciones en campo, los talleres de cartografía participativa, e incluso por informantes claves, se presenta la hipótesis de que el fenómeno de la "falla" que atraviesa la zona urbana en sentido NE-SO, no se trata de rasgo que pueda entenderse de forma lineal, ya que, diversas fuentes señalan que la subsidencia superficial, puede ser consecuencia de procesos relacionados con el agua subterránea, el terreno puede hundirse también cuando el agua se bombea desde los pozos más rápidamente de lo que pueden reemplazarla los procesos de recarga natural. Este efecto es particularmente pronunciado en áreas con estratos de sedimentos no consolidados superpuestos (Tarbuck & Lutgens, 2005).

El término genérico de subsidencia hace referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre, continental o submarina, a subsidencia es un fenómeno geológico, los daños materiales que causa pueden llegar a ser cuantiosos. Es de gran importancia en zonas urbanas, donde los perjuicios ocasionados pueden llegar a ser ilimitados, suponiendo un riesgo importante para edificaciones, canales, conducciones, vías de comunicación, así como todo tipo de construcciones asentadas sobre el terreno que se deforma (Tomás et al., 2009).

Valdivia y Castillo (2014), después de una extenuante revisión de estudios respecto al tema, destacan algunos puntos referentes a la formación de grietas que se mencionan a continuación de forma textual:

- No todas las grietas son sísmicas
- Algunas se relacionan con las lluvias
- Aparecen en zonas de hundimientos
- Su ubicación responde preferentemente a la configuración del basamento.
- Los hundimientos y agrietamientos sólo son dos etapas del mismo fenómeno de subsidencia.
- Se vinculan con la naturaleza del subsuelo y extracción de agua del acuífero.

En este documento se abordará la subsidencia y el agrietamiento en un mismo apartado, ya que, en el municipio de Zapotlán el Grande, es alta la correlación que guardan entre sí.

Lo anterior se encuentra sustentado con lo que Housni (2024), señala en un estudio geofísico reciente al sur de la ciudad: el suelo de Ciudad Guzmán es caracterizado por ser de origen lacustre y en depósitos aluviales y fluviales, constituidos por partículas finas de suelo como arcillas, limos y arenas finas. Este tipo de suelo es muy vulnerable a subsidencia del terreno y es considerado un suelo no estable.

Figura 79. Viviendas dañadas en la colonia "La Primavera" por hundimiento del terreno agravado por el sistema de fallas activas en el municipio
Fuente: Captura propia.

Como se menciona anteriormente, la zona urbana del municipio, se encuentra asentada sobre suelo aluvial, este tipo de suelo se encuentra conformado por sedimentos de otras rocas preexistentes cuenta con poca consolidación (Véase el apartado de caracterización física).

Lo anterior también es confirmado con un estudio realizado en 2015 por Institutos y Universidades de Italia y Canadá, en dónde emplearon el método de monitoreo inSAR, para medir la velocidad y la cantidad de desplazamiento vertical de la tierra. Los resultados fueron estimados que entre 2003 y 2012, el suelo ha presentado una constante de hundimiento en el lado noroeste de la ciudad, con un incremento anual de hasta 25 mm. (Brunori et al., 2015).

En la imagen se observan en tonos cálidos a rojos la deformidad del suelo y los autores superpusieron los agrietamientos generados en septiembre de 2012 para esquematizar la relación entre ambos fenómenos. Estos agrietamientos son principalmente en la calle de Ignacio Mejía y Manuel M. Diéguez, cerca del centro de la ciudad.

Posteriormente, en 2019, esta información fue actualizada y se encontraron valores de deformidad vertical que ascendieron hasta los 50 – 60 mm por año.

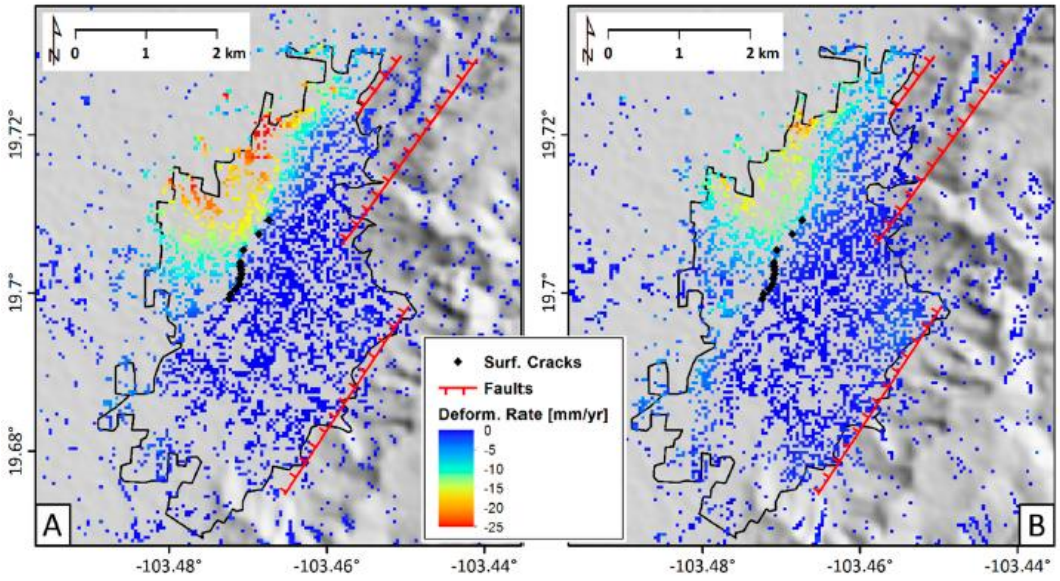


Figura 80. Deformidad vertical del terreno a partir de datos ENVISAT
Fuente: Brunori et al., 2015.

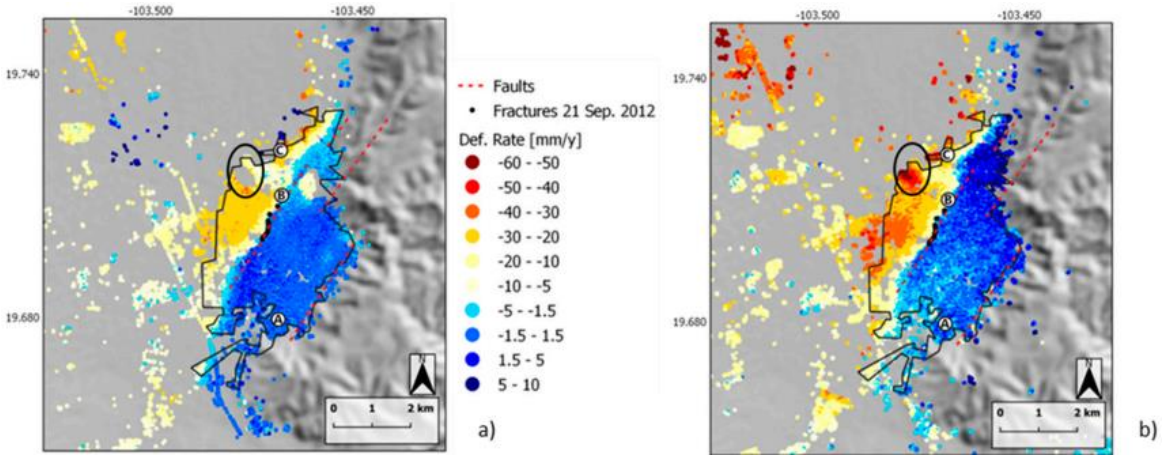


Figura 81. Deformidad vertical del terreno a partir dos técnicas interferométricas: Permanent Scatterers (PS), and Small BAseline (SBAS)
Fuente: Murgia et al., 2019.

En 2021, el INEGI, mediante la misma metodología del estudio publicado en el 2015, genera un insumo denominado “Distribución espacial, y magnitud promedio de la subsidencia en Ciudad Guzmán, Jalisco, en el periodo 2019-2020”, resultando zonas de máxima deformación de 70 mm por año.

Dado que el insumo (fomato raster) tenía una cantidad significativa de pixeles vacíos (NoData), fue preciso editar el modelo para que éste fuera un continuo sin zonas carentes de información. Lo que se realizó primeramente fue un remuestreo (Resample), cambiando el tamaño del pixel de 30.1 m que tenía originalmente, a un número cuya extensión fuera suficiente para cubrir los relativamente grandes vacíos. Después de varias pruebas, se estableció este número en 300 m; tal tamaño de pixel bastó para rellenar los espacios sin información, sacrificando lo menos posible el nivel de detalle original.

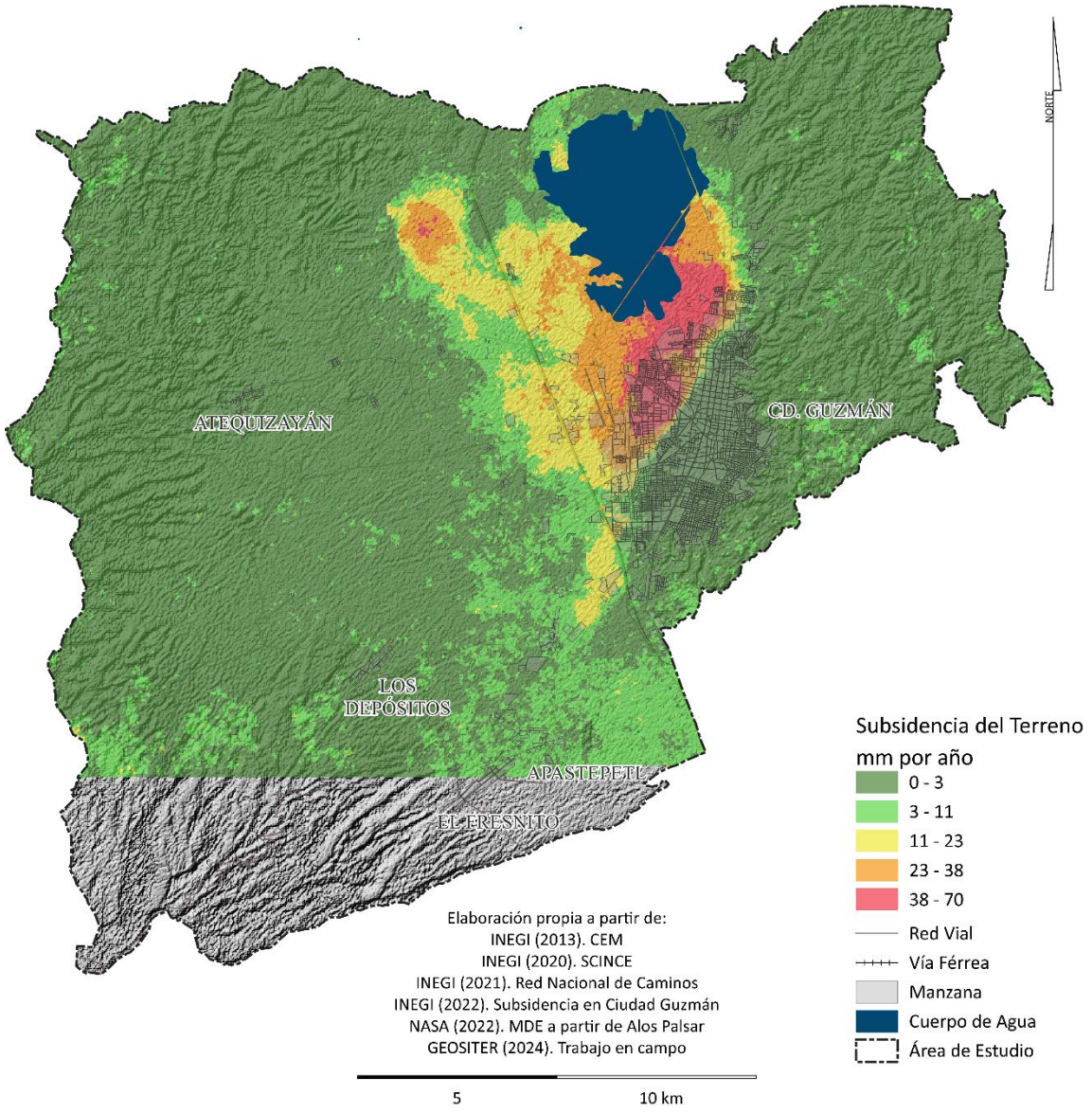
No obstante, para obtener un resultado final más óptimo, se determinó la necesidad de un tamaño de pixel intermedio, donde los pixeles no se mostrarán tan burdos como en la imagen obtenida de 300 m por cada celda. De manera análoga al proceso anterior, al realizar varios experimentos, se consideró este tamaño en 100 m; el cual, si bien todavía presentaba zonas vacías, las minimizaba lo suficiente como para fungir como estrato medio en el proceso.

Así, se contó con 3 rásters que, al unirse, conformarían uno nuevo sin celdas vacías. Para tal efecto, fue preciso transformar los rásters remuestreados a una resolución igual o menor a la del original (30.1 m), ya que al geoprocesar un raster con otro, el software, por razones obvias, arroja como imagen resultante una resolución igual a la del ráster con menor resolución (tamaño de pixel más grande).

Posterior a ello, se ejecutaron reclasificaciones en los 2 rásters que contaban con zonas vacías: el original y el de 100 m de tamaño de pixel; donde se convirtieron las zonas de NoData en valores de 0. Esto resultó en que los 3 rásters dejaran de tener áreas vacías, proceso indispensable para el último paso.

Se usó una herramienta de tratamiento ráster que tomara las celdas del primer ráster, salvo en aquéllas donde la información es 0. Así, el ráster con mayor jerarquía fue el original, seguido del de 100 m de tamaño de pixel, y solamente donde ambos presentaban valor de 0, se tomó el ráster con 300 m de dimensión de celda. De tal forma fue posible mantener toda la información del ráster original de subsidencia, manteniendo los mismos pixeles que sí contaban con valor y rellenando con 2 estratos de remuestreos los espacios vacíos.

Otro insumo consultado que nos permite comprender de manera cronológica este fenómeno, fue que Noriega (2022), también aplicó la metodología InSAR. En este caso, el periodo de observación es del 29 de abril del 2020 al 02 de octubre del 2021. Arrojando los siguientes resultados: la imagen del lado izquierdo representa la velocidad de desplazamiento en milímetros sin filtrado y el lado derecho es la velocidad de desplazamiento con un filtro para reducir ruido. En ambas se muestran movimientos de subsidencia de más de 5 cm por año.



Mapa 51. Subsidencia
Fuente: Elaboración propia.

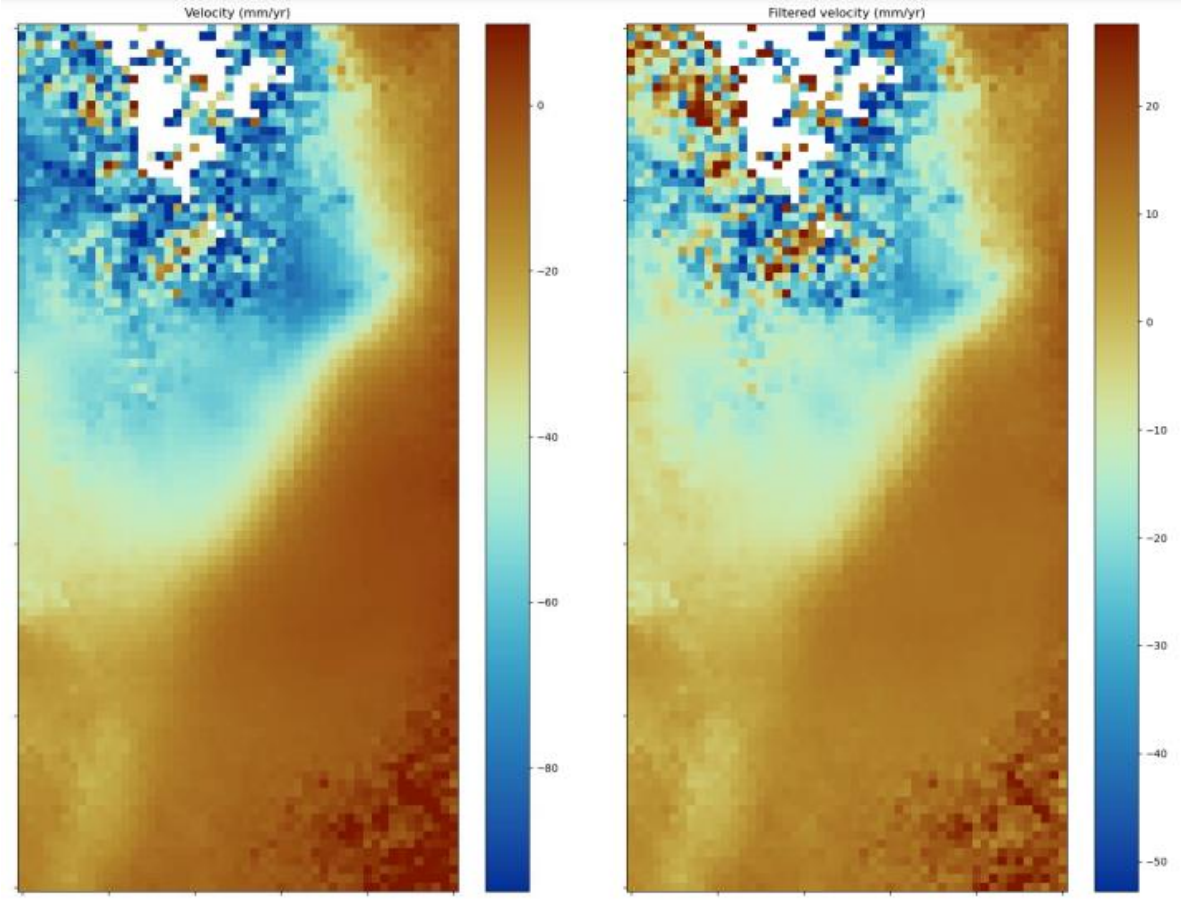


Figura 82. Imágenes obtenidas del análisis InSAR periodo 2020-2021. En color azul se muestran los desplazamientos negativos (de hundimiento) y en café desplazamientos positivos (elevación)
Fuente: Noriega, 2022.

Es de importancia resaltar que cuatro fuentes diferentes muestran resultados de deformación vertical del terreno lo que se traduce en subsidencia. Es evidente que el suelo de la porción noroeste de la zona urbana está teniendo una subsidencia que no solamente se ha mantenido, sino que se ha acelerado en los últimos años y con ello la aparición de fisuras en el terreno, mismas que afectan construcciones e infraestructura en la ciudad.

Los estudios antes citados, concluyen en que se requiere más investigación para entender mejor la estructura del acuífero y mitigar los efectos futuros en la infraestructura. Nos encontramos ante la situación de que la estabilidad y la sostenibilidad de la cuenca dependerá de una gestión efectiva del uso del suelo y del agua.

Agrietamiento del terreno

Los agrietamientos geológicos se manifiestan por una serie de grietas en el suelo que se profundizan hacia el subsuelo. Tienen forma alargada y abertura variable de unos pocos centímetros a varias decenas de centímetros. El conjunto de grietas puede adquirir una forma lineal que puede extenderse por cientos de metros a pocos kilómetros.

Las aberturas del subsuelo, corrimientos de tierra y desniveles del suelo, se transmiten a las edificaciones generando cuarteaduras en su estructura y desplomes. De aquí la peligrosidad de este fenómeno en las zonas urbanas (IPN, 2020).

Como se mencionó en el apartado de subsidencia, los factores desencadenantes son variados y resulta muy importante combinar metodologías geológico-geofísicas en el estudio de agrietamientos.

En el municipio de Zapotlán el Grande, se tiene registro de incidencia de agrietamientos desde el año 1900, cuando se menciona en un periódico estadounidense, que, a raíz de un fuerte sismo, se formó una grieta de aproximadamente tres millas de largo, por uno a tres pies de anchura. El segundo referente fue en 1985 cuando se marcaron grietas en sentido NO-SE (la que se conoce actualmente), en la zona urbana, la línea se formó en paralelo a la montaña oriente sobre la zona urbana, los desplazamientos verticales en ese entonces llegaron hasta 1 metro y se identificaron ramales al norte de la ciudad (Valdivia & Castillo, 2014).

El tercer registro documentado fue en el año 1993, en la zona del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en donde apareció una grieta de aproximadamente 300 metros de longitud. Posteriormente se reportó otro registro en el año 2012, en dónde las zonas más afectadas fueron las de la calle Manuel M Diéguez e Ignacio Mejía. Poco después en el 2013 existió otro reporte de que se había afectado la misma zona.

Figura 83. Aparición de grieta el 26 de agosto de 1993 en las inmediaciones del IMSS y colonia mansiones Fuente: La Voz del Sur[3].

El 22 de junio del 2022, se registró un sismo con epicentro local con una magnitud de 2.4 grados sobre la escala de Richter. En dicha manifestación, la Unidad Municipal de Protección Civil Municipal, declaró: "tenemos 60 fincas con daños, y de esas 19 con afectaciones considerables; de las cuales tres están inhabitables, y fueron evacuadas 12 personas de ellas" (El Informador, 2022).

Tres meses después, el 19 de septiembre del 2022, se registró un fuerte sismo con epicentro a 63 km al sur de Coalcomán, Michoacán, con una magnitud de 7.7 lo cual agravó los daños en la zona urbana de Ciudad Guzmán.

Debido a estos acontecimientos, la Unidad Municipal de Protección Civil, en conjunto con el Colegio de Arquitectos del Sur de Jalisco, realizaron una inspección detallada de las viviendas reportadas con daños, con las direcciones de estas viviendas fue posible georreferenciar dicha información, obteniendo el siguiente patrón espacial.

[3] Disponible en: https://www.lavozdelsur.com.mx/proliferan-grietas-deslaves-y-hundimientos-en-diferentes-puntos-de-la-region

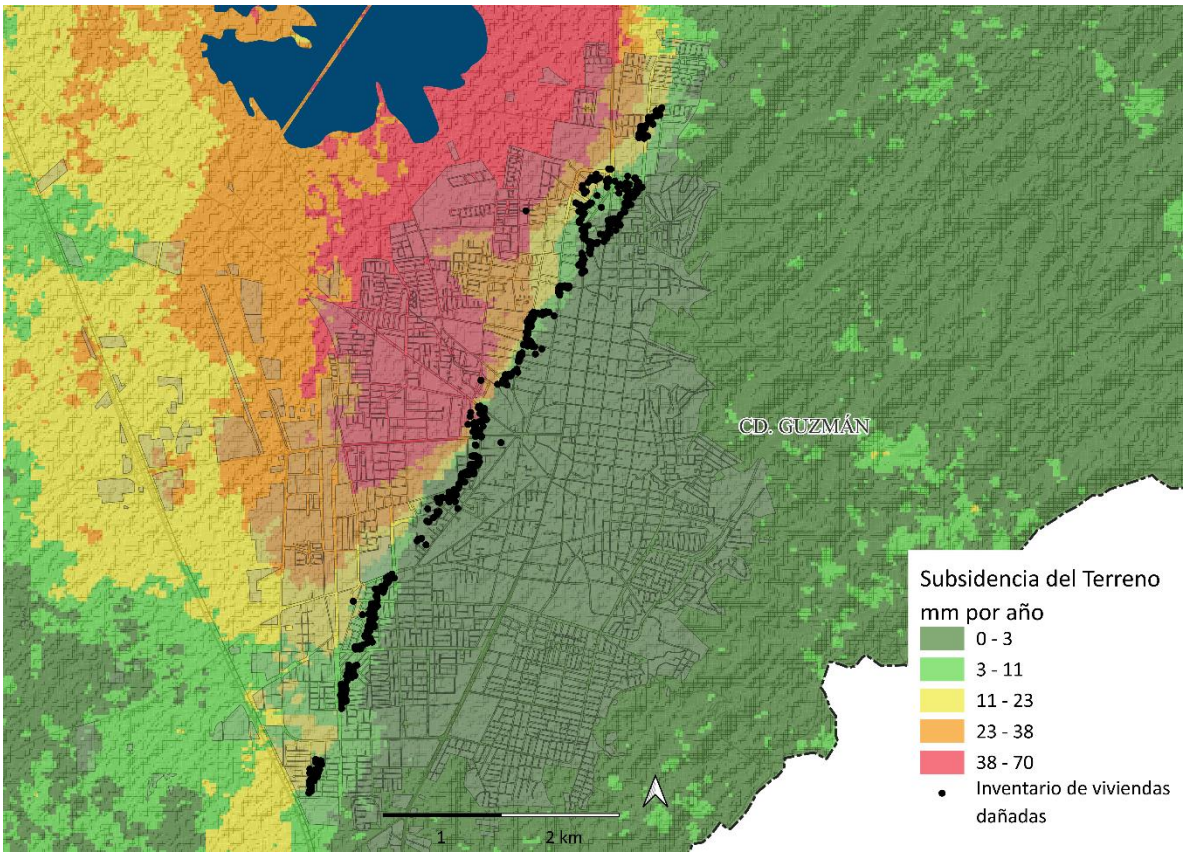


Figura 84. Inventario de viviendas dañadas realizado en 2022
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la UMPCYB.

También, como parte del proceso de recopilación de datos para el presente documento, se llevó a cabo un recorrido de campo en colaboración con el Colegio de Arquitectos del Sur de Jalisco. Durante este recorrido, se levantaron puntos de viviendas dañadas que no estaban consideradas en el inventario anterior. Esta actividad permitió la recolección de datos in situ sobre las condiciones de las casas, las características estructurales y las posibles áreas de inestabilidad que están causando daños a viviendas en la colonia Constituyentes.

En la siguiente figura, se observa cómo en las zonas de mayor hundimiento, existen puntos de daño, esto nos demuestra que el fenómeno de agrietamiento, se encuentra en los mayores puntos de subsidencia.

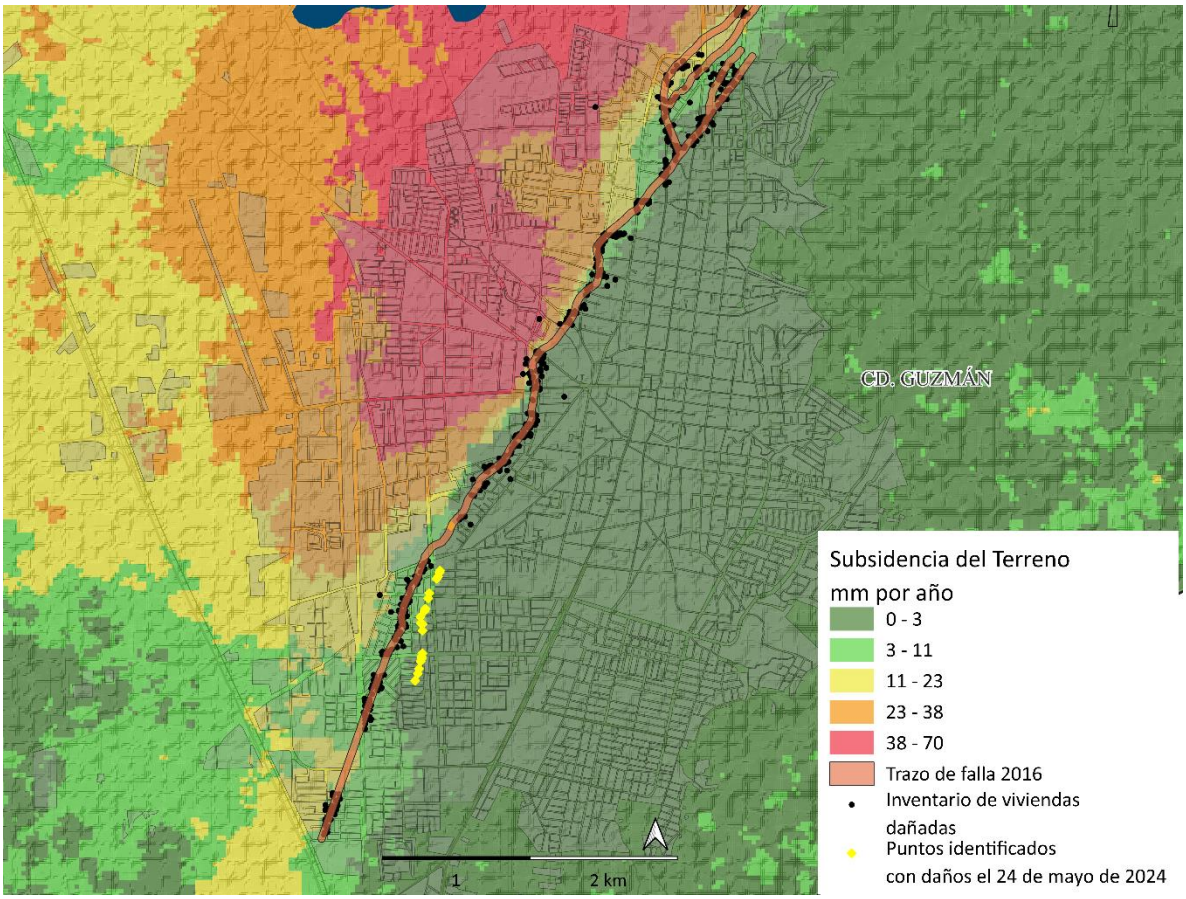


Figura 85. Resultado de puntos de recorrido de campo del día 24 de mayo de 2024
Fuente: Elaboración propia.

Figura 86. Fotografías de daños a infraestructura, capturadas en la colonia Constituyentes
Fuente: Elaboración propia.

Figura 87. Afectaciones a casa habitación y vialidades por la calle Bustamante
Fuente: Elaboración propia.

Figura 88. Afectaciones banqueta y vialidad por la calle Ignacio Mejía
Fuente: Elaboración propia.

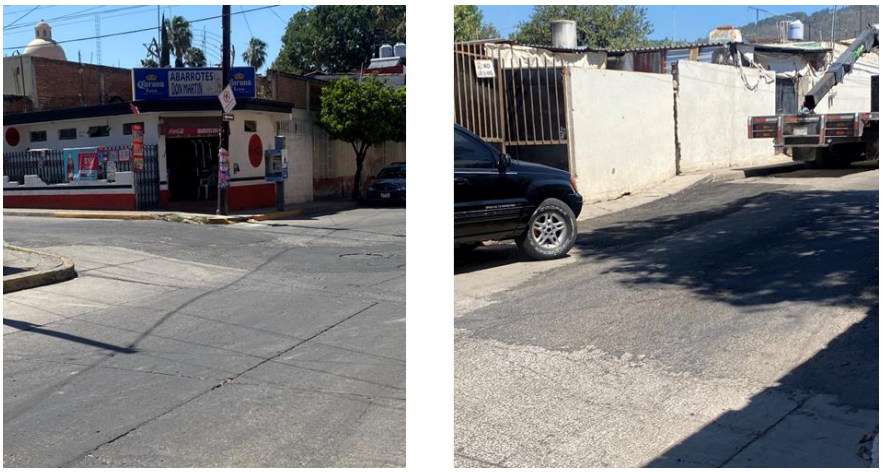


Figura 89. Afectación a vialidades por calle Morelos y Allende
Fuente: Elaboración propia.

Figura 90. Daños en parque Santa Rosa y grieta en casa habitación en la colonia Valle del Sol
Fuente: Elaboración propia.

Debido a la importancia de la subsidencia y el agrietamiento del terreno, es fundamental definir el nivel de peligro para implementar las medidas necesarias que permitan evitar pérdidas materiales y, en el peor de los casos, pérdidas humanas. La identificación precisa del nivel de riesgo asociado a estos fenómenos geotécnicos es esencial para diseñar e implementar estrategias efectivas de mitigación y prevención.

Con relación a lo anterior, se buscó obtener una capa unificada que incluyera todos los trazos de incidencias, reportes y avistamientos de fallas y agrietamientos, tanto aquellos levantados

en campo durante el desarrollo del proyecto, como los que se capturaron en fuentes oficiales y estudios complementarios. Para ello se realizó una unión de las siguientes:

1. Trazo de falla reportada en el Atlas de Riesgos del 2016 con un buffer de 25 metros.
2. Falla modelada en la tesis "Caracterización de la falla geológica de Ciudad Guzmán, Jalisco mediante tomografías geoeléctricas" del año 2022 por la Ingeniera Iaritza Noriega Valdez y como directora de tesis, la Dra. Fátima Housni.
3. Puntos de manifestación física del fenómeno en estructuras.

Logrando así contar con una sola capa de trazos lineales que conjunta todas las fuentes anteriores.

Con base en las fuentes consultadas (SEDESOL, 2003) y (SISPLADE, 2020) que determinan intervalos de distancia de distintos grados de afectación o peligro, se adaptó una metodología que considerara las particularidades del municipio. De tal modo, se determinó una distancia de influencia de 150 a partir del trazo del elemento (topología línea), tratándose todos los elementos de manera uniforme no obstante si son fallas, fracturas y/o grietas.

Se ejecutó una distancia euclidiana tomando como límite del cálculo la distancia señalada previamente, y se reclasificó a 3 estratos homogéneos; es decir, de 50 m cada uno, estableciendo los intervalos que se muestran a continuación:

Tabla 47. Nivel de peligro y distancia de influencia

Nivel de peligro	Distancia (m)
Alto	0 - 50
Medio	51 - 100
Bajo / Amortiguamiento	101 - 150

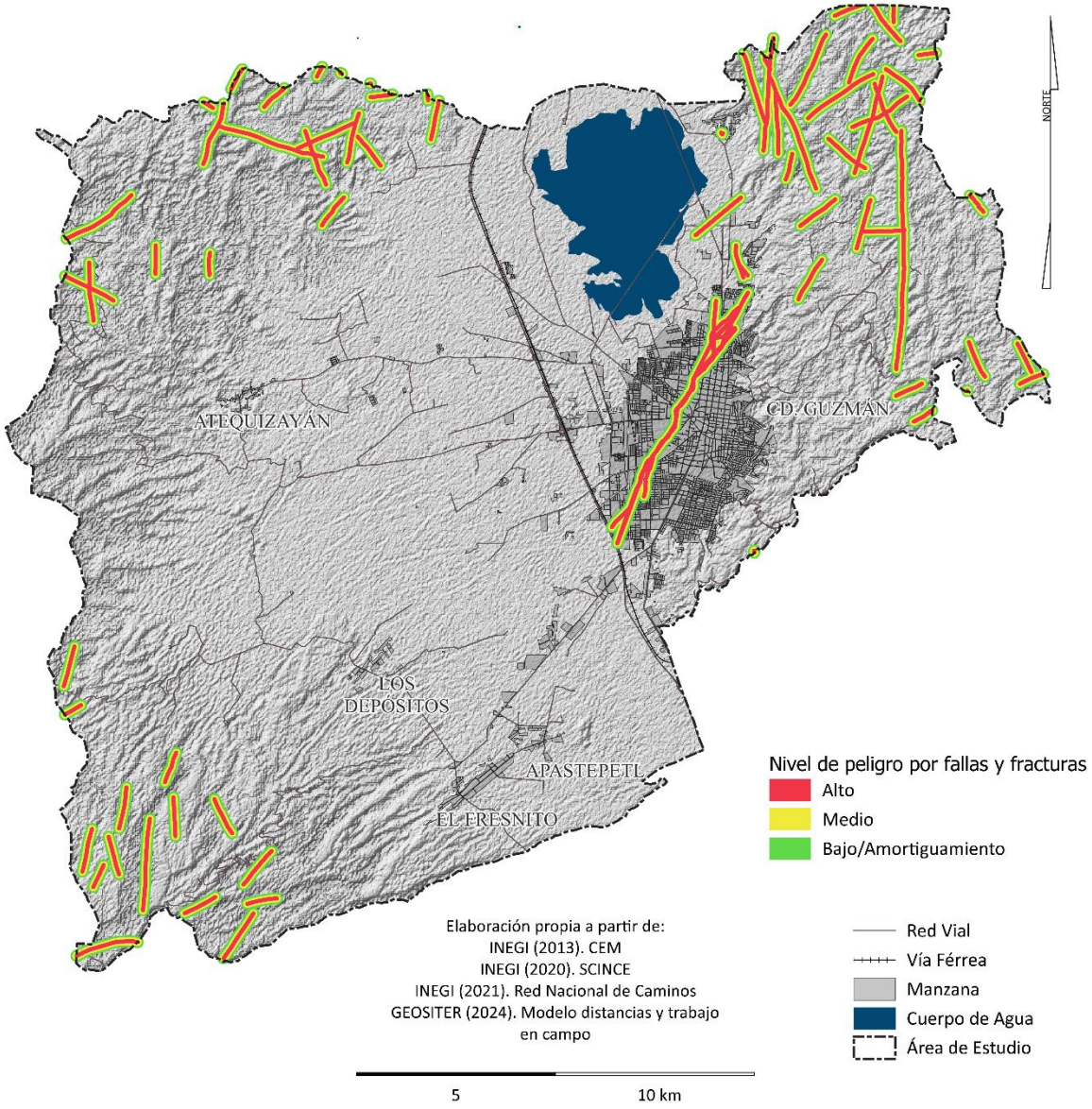
Fuente: Elaboración propia.

Cada una de estas clases cubre más del 2.5% del total del área de estudio, totalizando cerca del 8% de zonas de peligro por fallas y fracturas en el municipio:

Tabla 48. Superficie por nivel de peligro

Nivel de peligro	Superficie (ha)	Porcentaje
Alto	1,025.50	2.6
Medio	992.6	2.52
Bajo / Amortiguamiento	1,026.10	2.6

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 52. Zonificación de peligro por fallas y fracturas
Fuente: Elaboración propia.

El mapa representa una distribución principalmente al norte (región de la laguna, montaña oriente y norte de Atequizayán) por fallas y fracturas en la zona. Las orientaciones predominantes de las líneas sugieren patrones geológicos que se encuentran directamente relacionados con la tectónica y geomorfología regional (véase apartado de caracterización física).

Específicamente el rasgo que atraviesa la zona urbana de la ciudad es la que representa el mayor riesgo.

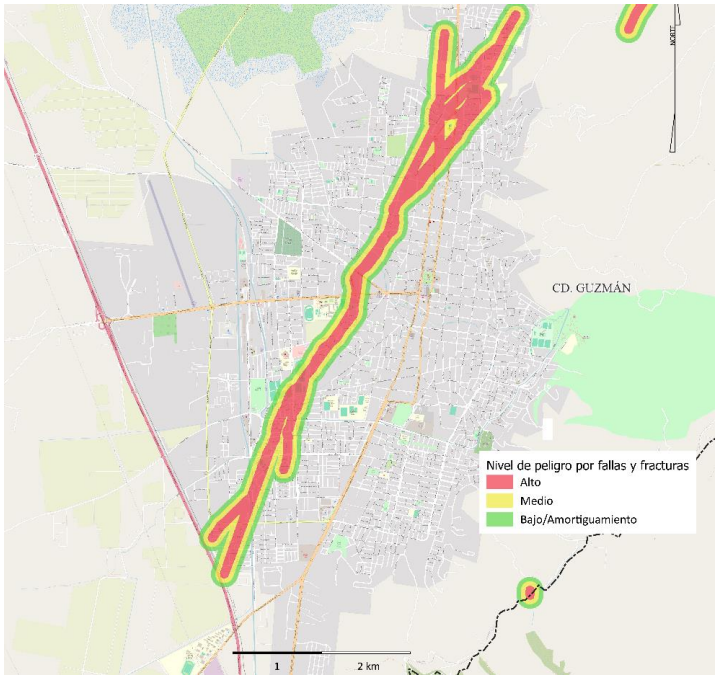


Figura 91. Acercamiento al nivel de peligro por fallas y fracturas en la zona urbana de Ciudad Guzmán Fuente: Elaboración propia.

Existen estudios recientes de este fenómeno al sur de la Ciudad a petición de la administración municipal 2021-2024 y a partir de las afectaciones generadas en las colonias Primaveras I y II, mediante modelos de tomografías eléctricas 2D. Concluyendo lo siguiente: Es importante mencionar que ya existen estudios previos realizados por el CENAPRED en Ciudad Guzmán sobre los efectos de hundimientos y agrietamientos. Estos estudios muestran que los daños han estado presentes durante más de 30 años, afectando a numerosas viviendas, infraestructuras, caminos, carreteras y banquetas. Los daños recientes en la zona de estudio también se deben a la subsidencia del terreno, causada por la continua sobreexplotación del acuífero.

La situación se complica aún más por la presencia de una falla activa. Tras analizar toda la información disponible, se concluye que los agrietamientos en las viviendas de la colonia Las Primaveras son resultado de la subsidencia, exacerbada por un sistema de fallas activas. Se recomienda realizar un monitoreo periódico de las construcciones para usar sus indicios estructurales como una herramienta de alerta temprana (Housni, 2024).

A partir de los resultados expuestos, es importante mencionar que, junto con el modelo de subsidencia del terreno, es fundamental comenzar a reconocer este fenómeno no solo como una línea, sino como un área susceptible a presentar este fenómeno. Este enfoque está respaldado por el modelo creado, que integró al menos tres fuentes de información, además de la información de subsidencia. Así, se proporciona una visión más amplia y precisa del riesgo, considerando toda la zona de influencia y no solo la traza de falla.

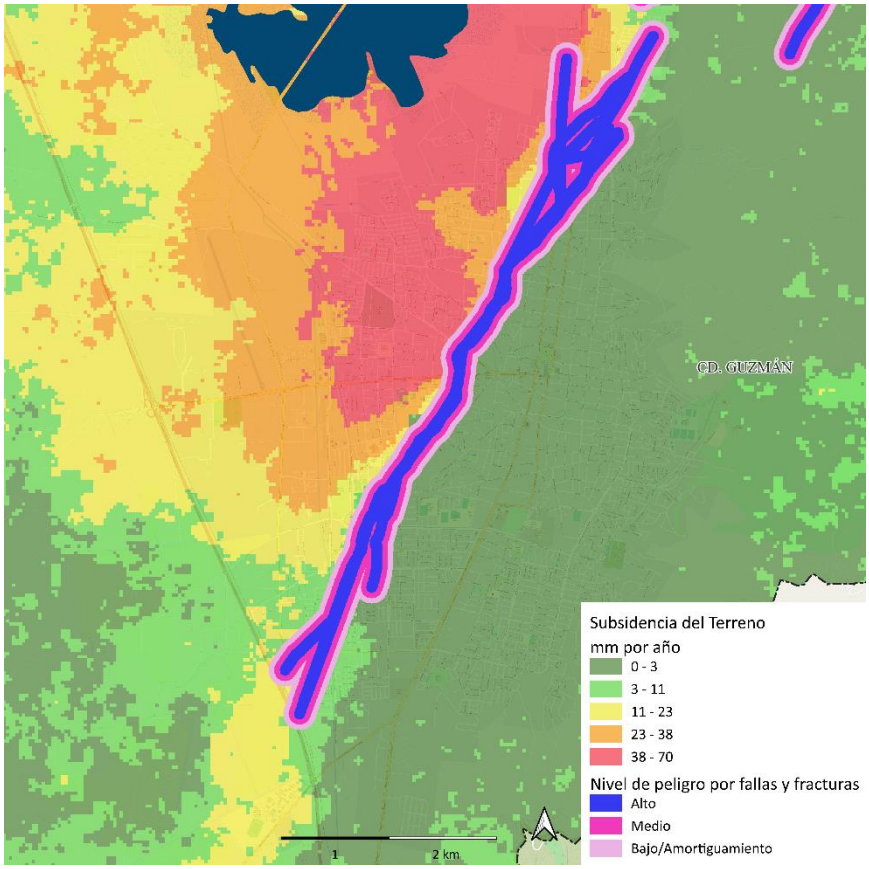


Figura 92. Acercamiento al nivel de peligro por fallas y fracturas y su relación con el nivel de subsidencia del terreno en la zona urbana de Ciudad Guzmán
Fuente: Elaboración propia.

3.6 Sismos

La corteza terrestre está formada por grandes placas tectónicas (véase apartado de caracterización física, tectónica) poco deformables que se desplazan sobre una capa visco-elástica llamada astenósfera. Estas placas, arrastradas por corrientes magmáticas del manto y empujadas por la nueva corteza que se forma en ciertas aberturas submarinas, se mueven unas con respecto a otras. Los movimientos relativos entre placas pueden ser de tres tipos principales: separación horizontal en las aberturas, que suele causar temblores débiles; deslizamiento horizontal relativo en fallas de transformación; y subducción, donde una placa se dobla y penetra bajo otra.

Estos movimientos, que alcanzan varios centímetros por año, son resistidos por fricción. Cuando la fuerza de fricción es superada, se libera la energía acumulada en forma de temblores. Los desplazamientos de las placas son el resultado de movimientos convectivos en el manto, donde el material caliente asciende liberando calor interno y el material frío desciende. Esta dinámica provoca el movimiento de las placas y genera fuerzas de fricción en los límites entre ellas. Cuando los esfuerzos sobrepasan la resistencia de la roca, se produce una ruptura violenta y la energía acumulada se libera en forma de ondas que se propagan por la Tierra, originando un temblor (Rosenblueth et al., 1992).

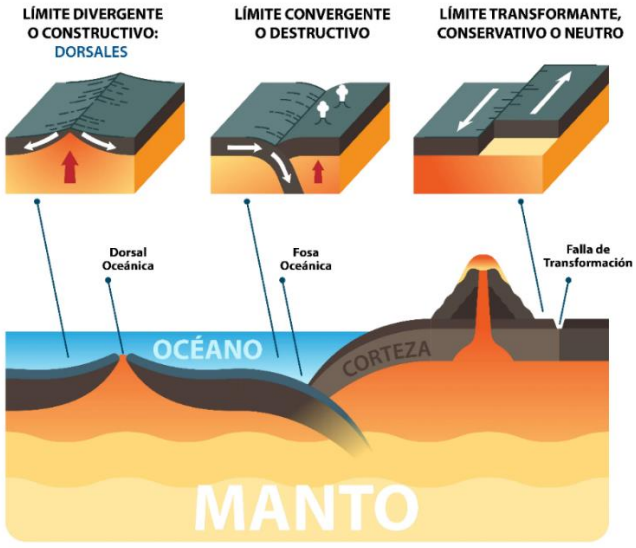


Figura 93. Tipos de límites de las placas tectónicas
Fuente: Tarbuck & Lutgens, 2005.

Desde Colima hasta Oaxaca domina la subducción de las placas Rivera y de Cocos bajo la de Norteamérica. (La placa Rivera es un triángulo que se halla al NNW de la de Cocos; aunque se desplaza con velocidad diferente de ésta, en muchos mapas se la muestra como parte de ella).

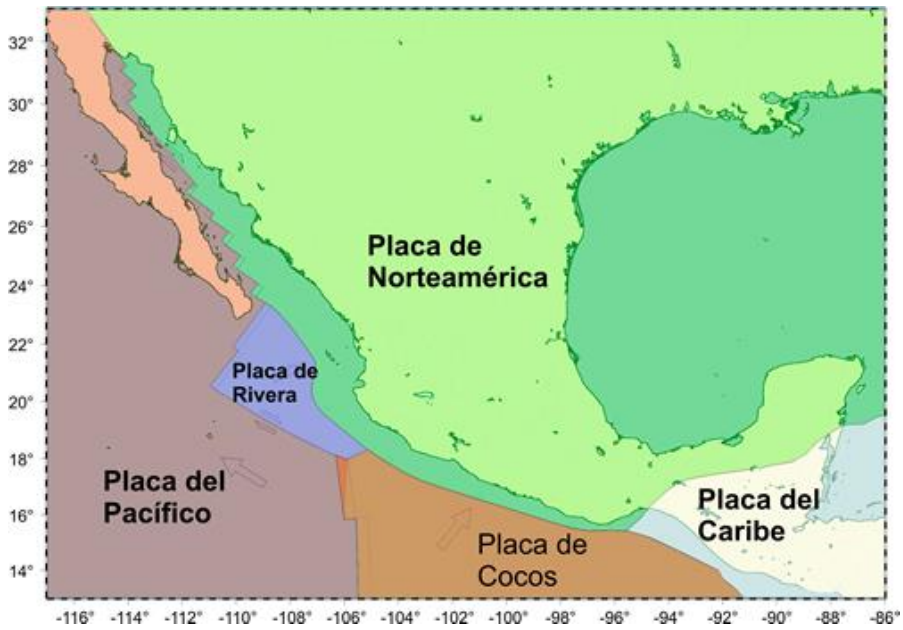


Figura 94. Placas tectónicas en el marco del territorio mexicano
Fuente: Servicio Geológico Mexicano.

Como resultado de los deslizamientos entre placas y los movimientos del magma, estas placas están sometidas a tensiones que pueden llegar a fracturarlas, incluso lejos de sus bordes. Estas fracturas son conocidas como fallas geológicas, donde también ocurren sismos. Gran parte de nuestro territorio está afectado por estos fenómenos. Además, las placas Rivera y de Cocos, ya subducidas bajo las placas continentales, también están sujetas a tensiones, y su ruptura también genera temblores, cuya profundidad en territorio mexicano se considera intermedia. Todos los demás temblores mencionados son superficiales en nuestro país: ocurren a menos de 25 km de profundidad, mientras que los de las placas subducidas pueden alcanzar profundidades de hasta 125 km o más (Rosenblueth et al., 1992).

Otros conceptos fundamentales para entender este fenómeno son:

- El hipocentro o foco es la zona en el interior de la Tierra donde inicia la ruptura de la falla, desde ahí se propagan las ondas sísmicas.

- El epicentro es el punto en la superficie terrestre situado directamente encima del hipocentro.

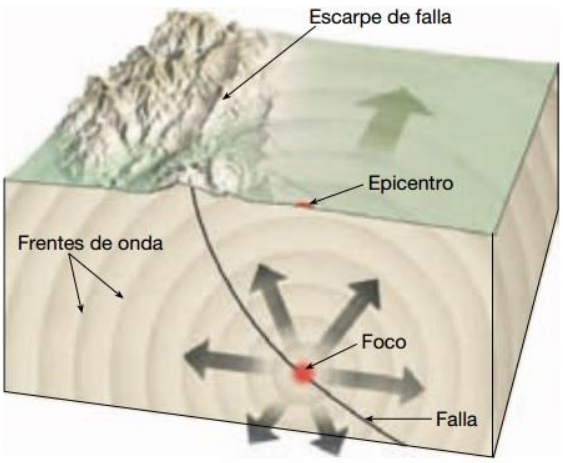


Figura 95. Localización de epicentro y foco
Fuente: Tarbuck & Lutgens, 2005.

Escalas de medición de los sismos

La Escala de Intensidad Mercalli es una medida cualitativa utilizada para evaluar el tipo de daños causados por un terremoto. Esta escala lleva el nombre del físico italiano Giuseppe Mercalli. Aunque en general un terremoto de gran magnitud produce valores de mayor intensidad que uno menor, otros factores como la cantidad de energía liberada, la distancia al epicentro, la profundidad del foco, la densidad de población, la geología local, el tipo de construcciones y la duración del temblor también influyen.

En 1902, Mercalli propuso esta tabla, que fue modificada en 1931 y desde entonces se conoce como la Escala de Intensidad Modificada de Mercalli (MM). La escala consta de 12 grados de intensidad, que se representan con números romanos del I al XII y describen las características de cada nivel. Aunque no es la única escala de este tipo, es la más comúnmente utilizada en nuestro continente (SGM, 2017).

Escala de Mercalli (modificada en 1931 por H. O. Wood y F. Neuman):

I. Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.

II. Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.

III. Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable.

IV. Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.

V. Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajillas, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen relojes de péndulo.

VI. Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.

VII. Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; ruptura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.

VIII. Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían carros de motor.

IX. Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.

X. Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en

las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.

XI. Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.

XII. Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel. Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

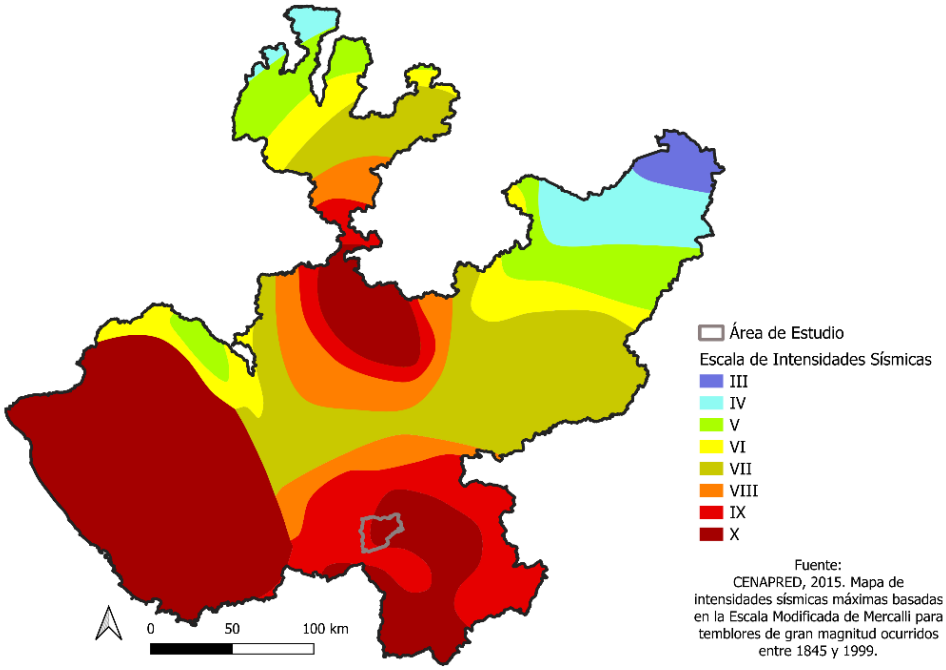


Figura 96. Escala de intensidades sísmicas para Jalisco
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la siguiente figura, en el área de estudio se especifican dos (IX Y X) de las diez intensidades que se mapean para el estado de Jalisco. Lo preocupante es que la zona urbana de encuentra sobre la escala más alta, esto se debe probablemente al efecto de sitio del cual hablaremos en líneas siguientes.

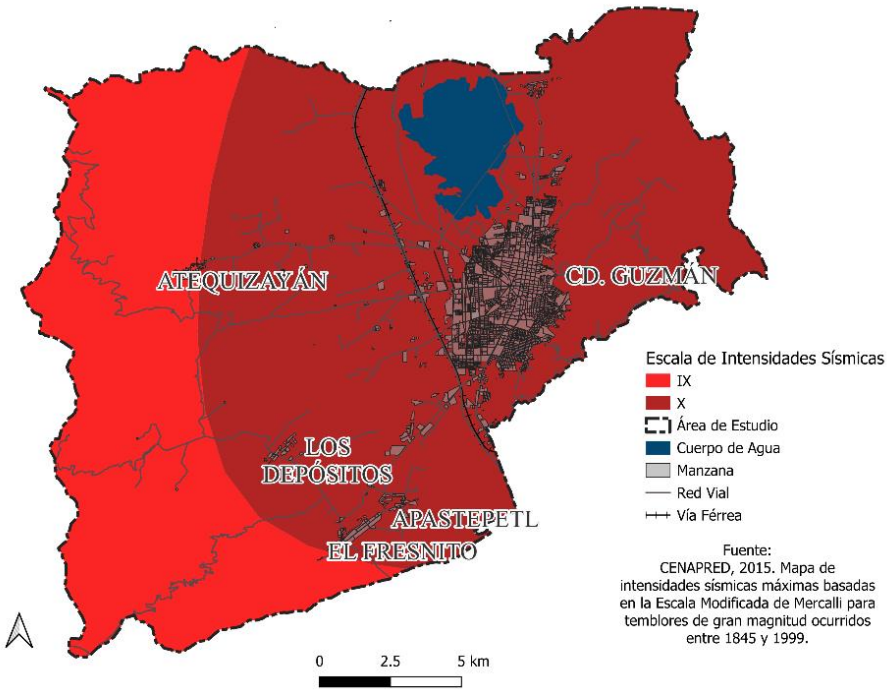


Figura 97. Escala de intensidades sísmicas para el municipio de Zapotlán el Grande
Fuente: Elaboración propia.

La Escala de Magnitud, también conocida como Escala de Richter, fue desarrollada en 1935 por el sismólogo Charles Richter. Esta escala cuantitativa mide la energía sísmica liberada durante un terremoto, independientemente de la intensidad del mismo, y sus valores empiezan en 1 y no tienen un límite superior definido.

La medición se basa en la amplitud de las ondas registradas en un sismograma. Es la forma más conocida y utilizada para clasificar terremotos. Aunque teóricamente no tiene un límite máximo, un terremoto de magnitud 9 en esta escala equivaldría a un grado XII en la Escala de Intensidad Mercalli, es decir, "destrucción total". El terremoto más fuerte registrado en la historia ocurrió en Chile en 1960 y alcanzó una magnitud de 9.5 en la Escala de Richter (SGM, 2017).

Tabla 49. Magnitud y efectos del sismo

Magnitud, escala Richter	Efectos del sismo o terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5-5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5-6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1-6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente
7.0-7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas

Fuente: SGM, 2017.

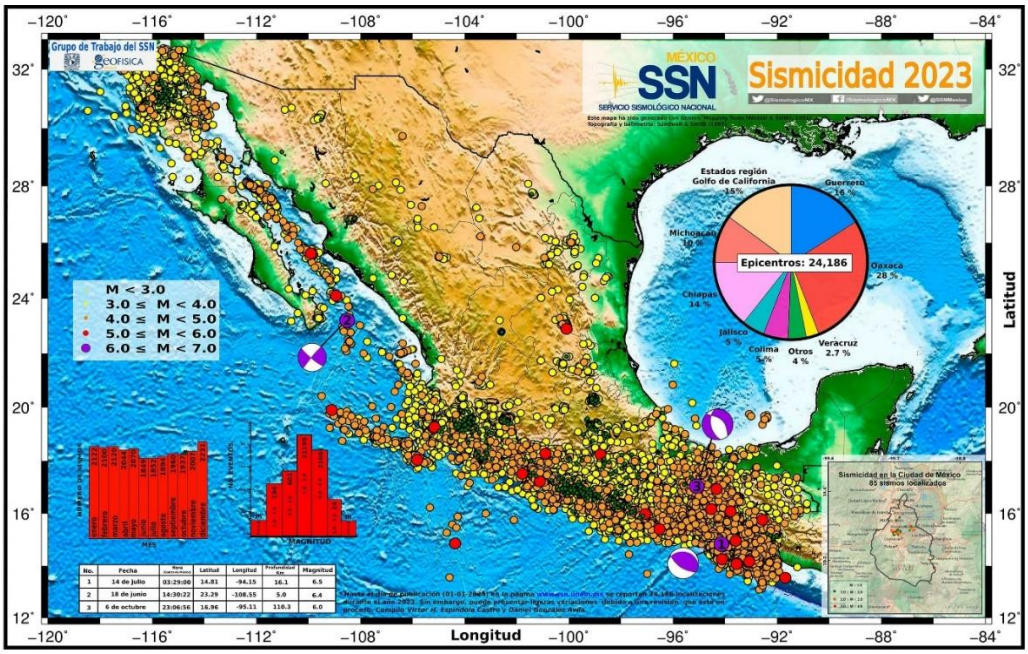


Figura 98. Sismicidad 2023, Epicentros y magnitud
Fuente: Servicio Sismológico Nacional (SSN), 2024.

Tabla 50. Epicentros y distribución por Estados

24,186 epicentros en 2023	
Estado o región	**Porcentaje**
Oaxaca	28
Guerrero	16
Estados región Golfo de California	15
Michoacán	10
Chiapas	14
Jalisco	5
Colima	5
Otros	4
Veracruz	3

Fuente: SSN, 2024.

En el mapa presentado anteriormente, es el condensado de la información recabada de sismicidad en México durante el año 2023. Cada punto colorido en el mapa simboliza un evento sísmico, con colores que indican la magnitud de los sismos. Los puntos amarillos representan los sismos menores, aquellos con una magnitud inferior a 3.0, que generalmente son imperceptibles para la mayoría de las personas. Los puntos naranjas corresponden a sismos ligeramente más fuertes, con magnitudes entre 3.0 y 4.0, que pueden ser sentidos pero rara vez causan daños.

Los puntos rojos marcan sismos moderados, con magnitudes que oscilan entre 4.0 y 5.0, capaces de causar algunos daños menores. Los puntos violetas señalan sismos fuertes, entre 5.0 y 6.0, que ya pueden causar daños sustanciales. Finalmente, los puntos azules indican los sismos muy fuertes, con magnitudes entre 6.0 y 7.0, los cuales tienen el potencial de causar daños severos y pérdidas significativas.

Observando la distribución espacial de estos epicentros, se nota una marcada concentración a lo largo de la costa del Pacífico, desde Baja California hasta Chiapas. Esta área es particularmente activa debido a la interacción de varias placas tectónicas, haciendo de esta región una zona sísmicamente activa.

En particular, el estado de Oaxaca destaca en el mapa, registrando el 28% de los sismos del país, lo cual subraya su alta actividad sísmica. Guerrero le sigue con el 16% de los sismos. Los estados de la región del Golfo de California también muestran una considerable actividad, representando el 15% del total de sismos. Michoacán y Chiapas contribuyen cada uno con el 10% y 14% respectivamente, mientras que Jalisco y Colima, ambos con un 5%, también muestran una notable actividad sísmica. Veracruz, aunque con una menor cantidad, contribuye con un 3%.

En la parte inferior del mapa, una pequeña tabla detalla tres eventos sísmicos significativos ocurridos durante el año (puntos morados). El primero, ocurrido el 14 de julio, tuvo una magnitud de 5.3 y su epicentro se localizó a una latitud de 15.8 y una longitud de -95.1, con una profundidad de 16.1 km. El segundo evento, el 18 de junio, tuvo una magnitud de 5.0, situado en una latitud de 28.1 y longitud de -108.5, con una profundidad de 5.4 km. El tercer sismo significativo tuvo lugar el 6 de octubre, con una magnitud de 5.3, localizado a una latitud de 16.8 y longitud de -95.3, con una profundidad de 11.3 km.

Es importante destacar que el mapa presentado refleja solo una porción de la actividad sísmica de México, específicamente los eventos registrados durante el año 2023. México es

un país conocido por su alta actividad sísmica debido a su ubicación lo que lo hace especialmente propenso a terremotos.

Estos datos representan únicamente un fragmento del panorama sísmico más amplio. Año tras año, México experimenta miles de sismos, muchos de los cuales son menores y no causan daños, pero algunos pueden ser significativamente destructivos.

Este mapa es una herramienta visual útil para entender la distribución y frecuencia de los sismos en un solo año, pero debe ser considerado como una parte de un conjunto de datos mucho más amplio y continuo que describe la naturaleza sísmicamente activa de México.

Regionalización Sísmica por la Comisión Federal de Electricidad (CFE)

El territorio mexicano ha sido clasificado en cuatro zonas de riesgo sísmico: A, B, C y D, de acuerdo al nivel de peligro de menor a mayor, según el Capítulo de Diseño por Sismo del Manual de Obras Civiles de la CFE. Esta delimitación se basa en la sismicidad característica de cada región, evaluando su propensión a sufrir eventos sísmicos.

A esta clasificación se le conoce como regionalización sísmica y tiene como objetivo principal, proporcionar la información necesaria para fijar los requisitos mínimos que deben seguir los proyectistas, diseñadores y constructores en las edificaciones y otras obras civiles de tal manera que éstas resulten suficientemente seguras ante los efectos producidos por un sismo, que sin embargo, esta regionalización es aplicable a estructuras construidas en terreno firme; no se toma en cuenta el fenómeno de amplificación del movimiento sísmico por efecto de suelos blandos. Esto puede ser decisivo para el peligro sísmico de algunos lugares, como la ciudad de México (CENAPRED, 2020).

Específicamente, el estado de Jalisco tiene cobertura de las cuatro regiones mencionadas, y el municipio de Zapotlán el Grande en las dos con riesgo más alto.

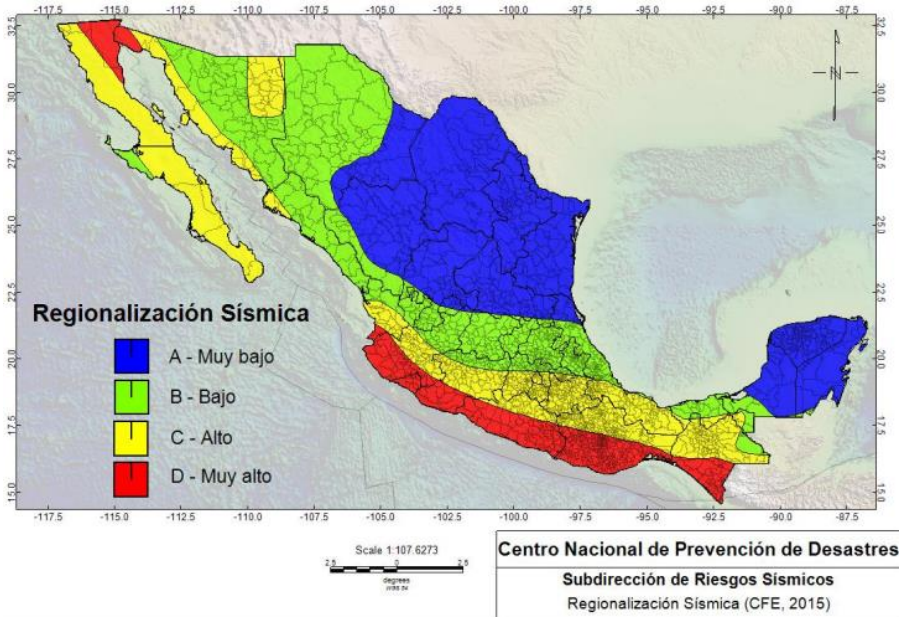


Figura 99. Regionalización sísmica de la Comisión Federal de Electricidad con los 2466 municipios que conforman la República Mexicana.
Fuente: CFE, 2015.

Figura 100. Estado de Jalisco y su regionalización sísmica
Fuente: Elaboración propia.

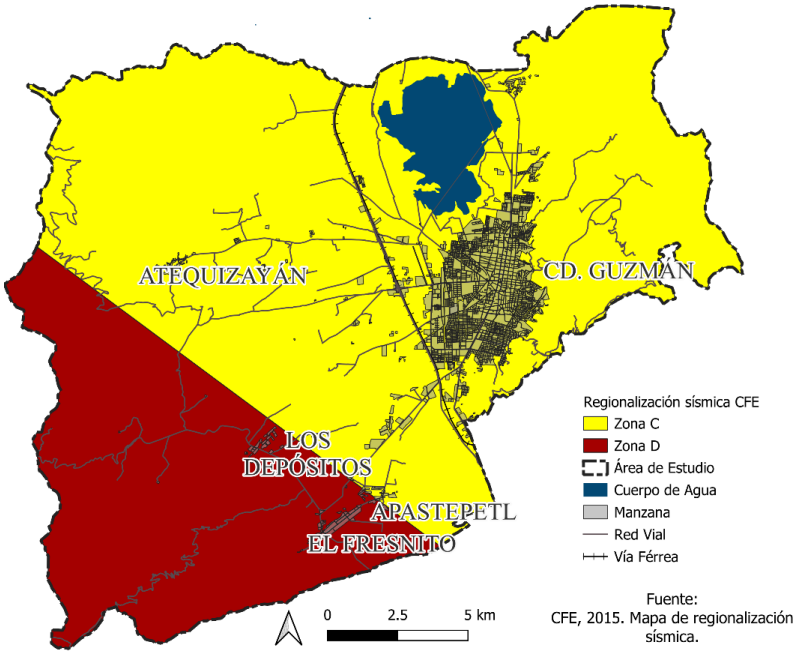


Figura 101. Zapotlán el Grande y su regionalización sísmica
Fuente: Elaboración propia.

La historia sísmica del municipio, siempre ha sido recordada de forma trágica y de alguna manera siempre a la expectativa de una nueva manifestación. En la siguiente tabla se muestran algunos de los sismos que han tenido mayor impacto en el municipio.

Tabla 51. Sismos relevantes en el municipio de Zapotlán

Sismo	Descripción
22 de octubre de 1749	Sucedió uno de los terremotos más grandes en la historia de Jalisco. Entonces todavía no había mediciones oficiales, con epicentro en la faja volcánica de Colima. Se registra que no hubo daños considerables para el municipio.
25 de marzo de 1806	El pueblo estaba reunido dentro del Templo Mayor del que se desplomaron las bóvedas, dejando sepultados entre los escombros aproximadamente 2,000 personas que estaban escuchando la explicación doctrinal.
7 de junio de 1911	Se calcula que tuvo una magnitud de 7.8 grados con epicentro en Michoacán. Los registros de la época hablan de que murieron cerca de 50 personas y se cayeron mil 200 viviendas en Zapotlán. Se presentaron serios daños en los templos de El Sagrario, Tercera Orden y el casi recién inaugurado templo parroquial que hoy conocemos como catedral
30 de enero de 1973	El sismo de 7.6 grados con epicentro en Coalcomán, Michoacán, dejó severos daños estructurales en las bóvedas de la catedral que años más tarde propiciarían la caída de las torres. En Manzanillo, Colima, y Ciudad Guzmán, Jalisco, se reportaron varias casas destruidas.
19 de septiembre de 1985	El terremoto más grande en la historia reciente de nuestro país, alcanzó 8.1 grados con epicentro en las costas de Michoacán. Después de la Ciudad de México, Ciudad Guzmán fue la comunidad

	con más daños a nivel nacional. Los efectos siguen presentes porque las torres de la catedral dejaron de existir desde aquel día y la imagen de la ciudad cambió por completo. Ese terremoto ocasionó más de 30 muertos y alrededor de 30 mil damnificados en la localidad.
9 de octubre de 1995	Con una magnitud de 8 grados con epicentro en las costas de Jalisco. De percepción muy fuerte, aunque no dejó daño en Zapotlán. Este terremoto devastó Cihuatlán y Manzanillo, donde se presentó un tsunami.
19 de septiembre de 2022	Con magnitud de 7.9 grados y epicentro en Coalcomán, Michoacán, fue el tercero de los temblores en 19 de septiembre (después de 1985 y el de 2017 que no causó daños en la región). Pese a la fuerte percepción, los daños materiales en Ciudad Guzmán no fueron tan grandes como en otras décadas; sin embargo, la catedral volvió a sufrir afectaciones en la bóveda de entrada, al grado de que fue acordonada una tercera parte del templo.

Fuente: Periódico la Voz del Sur (2022).

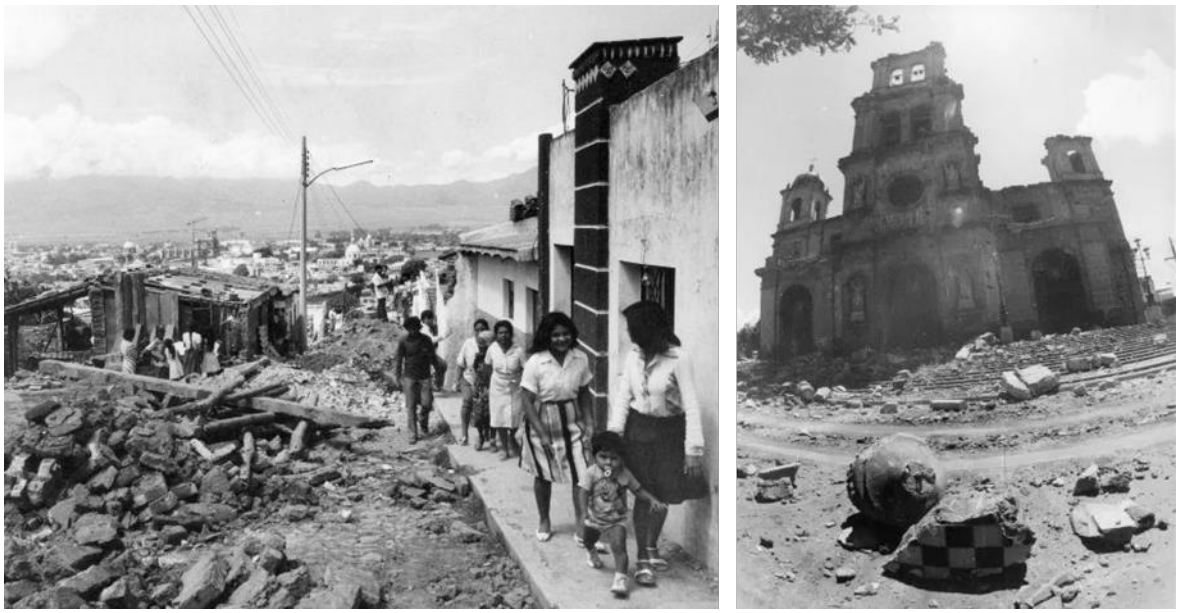


Figura 102. Daños ocasionados por el sismo del año 1985 en Ciudad Guzmán
Fuente: Periódico el Informador, 19 septiembre del 2023.

Como se ha comentado, los sismos tienen un comportamiento diferente en lugares con suelos no consolidados, cómo lo son los suelos donde se asienta el municipio de Zapotlán el Grande.

A estás peculiaridades que hacen que los impactos de este fenómeno tengan diferenciación en este municipio respecto al resto, se le denomina efecto de sitio; esto como consecuencia de las modificaciones que sufren las ondas sísmicas por la presencia de depósitos blandos (sedimentos volcánicos y depósitos aluviales), y los materiales que componen el suelo.

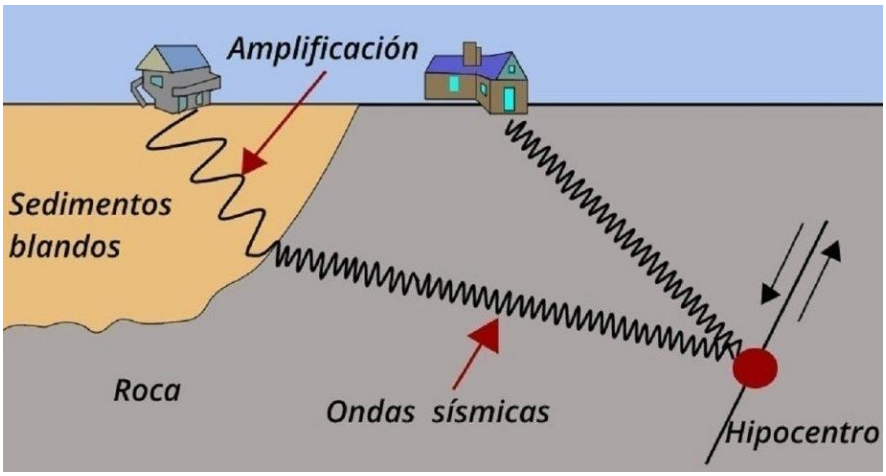


Figura 103. Efecto de sitio en suelos blandos y en roca
Fuente: Zambrana Areas, 2020.

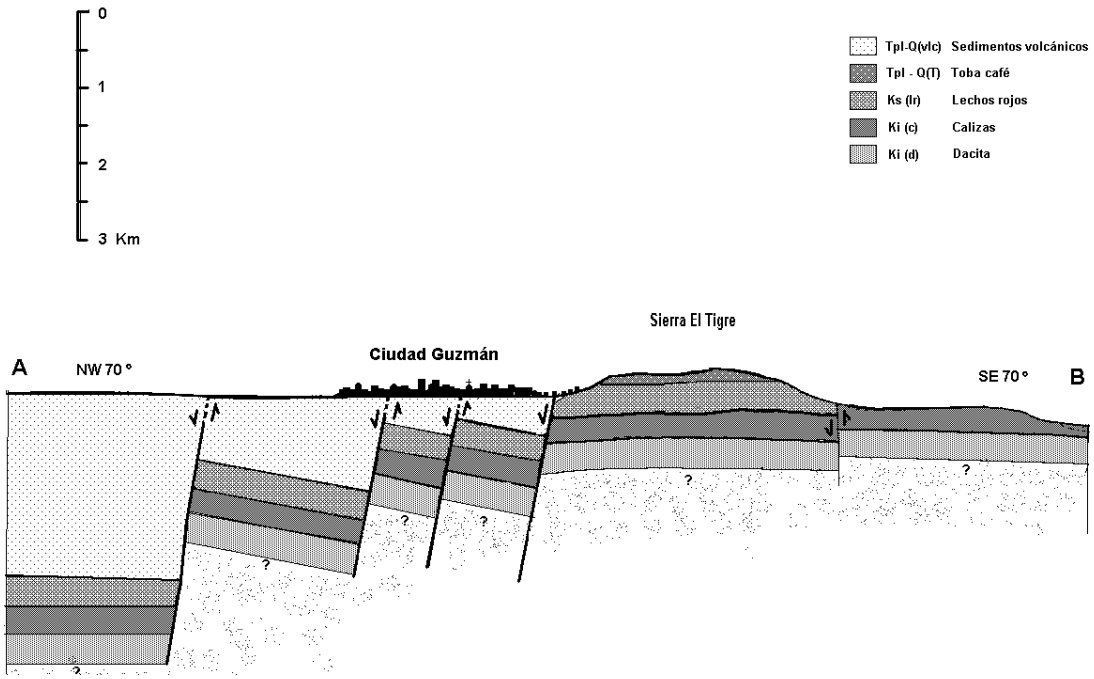


Figura 104. Espesores de los sedimentos volcánicos, que han rellenado la fosa tectónica, varían entre 300 y 1,200 metros por debajo de la ciudad
Fuente: Gutiérrez-Martínez & Franco- Sánchez, 2014.

Registrado con fecha del 2014, el Área de Riesgos Geológicos a través de la Coordinación de Investigación Centro Nacional de Prevención de Desastres, realizó un análisis de efecto

de sitio en Ciudad Guzmán, a raíz de la ocurrencia del sismo del 9 de octubre de 1995, con epicentro frente a las costas de Colima y Jalisco.

Este estudio fue realizado usando sismógrafos digitales con sensores de banda ancha en Ciudad Guzmán, asentada predominantemente sobre suelos blandos y donde se han observado daños importantes como consecuencia de grandes sismos en el pasado.

Dicho análisis, concluyó textualmente en lo siguiente (Gutiérrez-Martínez & Franco-Sánchez, 2014):

- Se determinaron las características fundamentales del efecto de sitio en el área urbana de Ciudad Guzmán mediante el análisis de sismos registrados en suelos blandos y duro y mediante el cálculo de funciones de trasferencia teóricas derivadas de perfiles de velocidades de ondas sísmicas en el centro de la ciudad y de estudios recientes de la geología regional.
- El análisis de amplificación relativa, en el que se compara la respuesta de terrenos blandos y duro mediante razones espectrales, muestra factores de amplificación promedio de hasta 20 veces para frecuencias muy cercanas a 1 Hz, en el componente este-oeste.
- Aunque el número de eventos sísmicos registrados fue relativamente reducido, éstos cubren un rango de magnitudes amplio, incluyendo un evento de M 6.1. Sin embargo, aunque los resultados son útiles para caracterizar de manera general el efecto de sitio, se juzga conveniente afinar las estimaciones con un número mayor de eventos sísmicos.

Registros sísmicos

A partir de los datos disponibles en la página oficial del SSN, se obtuvieron en total 59,141 epicentros de sismos a partir de 3 grados de magnitud, en un radio de 500 km a la redonda del punto geográfico indicado, con una temporalidad desde el año 1900 hasta al 2024, se determinó este tamaño de radio, debido a que como se menciona anteriormente, el efecto de sitio, hace que las ondas se propaguen diferente en el municipio por el sitio en dónde se encuentra asentado, lo cual repercute en que los sismos sean percibidos con mayor facilidad, sobre todo si estos provienen de un epicentro cerca de la costa por el contacto de las placas tectónicas.

La mayor proporción de ocurrencia de sismos son los que se encuentran en los rangos de magnitud 3 a 4.3 con el 97.5%, las diferencias son considerables para las demás magnitudes

ya que el siguiente rango representa tan sólo el 2%, de 5.7 a 6.9 el 0.14% y los sismos de mayor magnitud ,7 a 8.2, con una representatividad de 0.04% a través de casi 124 años.

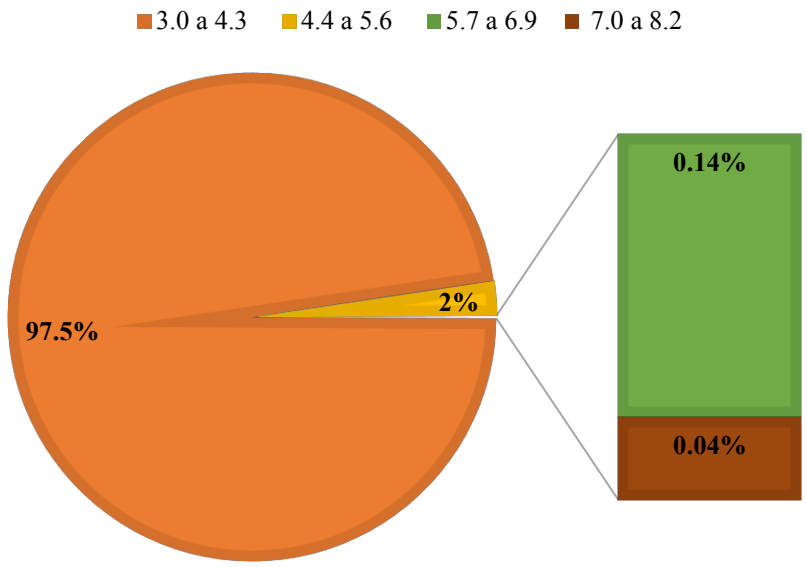


Figura 105. Proporción de sismos por magnitud
Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos disponibles en la página oficial del SSN, se obtuvieron en total 59,141 epicentros de sismos a partir de 3 grados de magnitud, en un radio de 500 km a la redonda del punto geográfico indicado, con una temporalidad desde el año 1900 hasta al 2024, se determinó este tamaño de radio, debido a que como se menciona anteriormente, el efecto de sitio, hace que las ondas se propaguen diferente en el municipio por el sitio en dónde se encuentra asentado, lo cuál repercute en que los sismos sean percibidos con mayor facilidad, sobre todo si estos provienen de un epicentro cerca de la costa por el contacto de las placas tectónicas.

La mayor proporción de ocurrencia de sismos son los que se encuentran en los rangos de magnitud 3 a 4.3 con el 97.5%, las diferencias son considerables para las demás magnitudes ya que el siguiente rango representa tan sólo el 2%, de 5.7 a 6.9 el 0.14% y los sismos de mayor magnitud ,7 a 8.2, con una representatividad de 0.04% a través de casi 124 años.

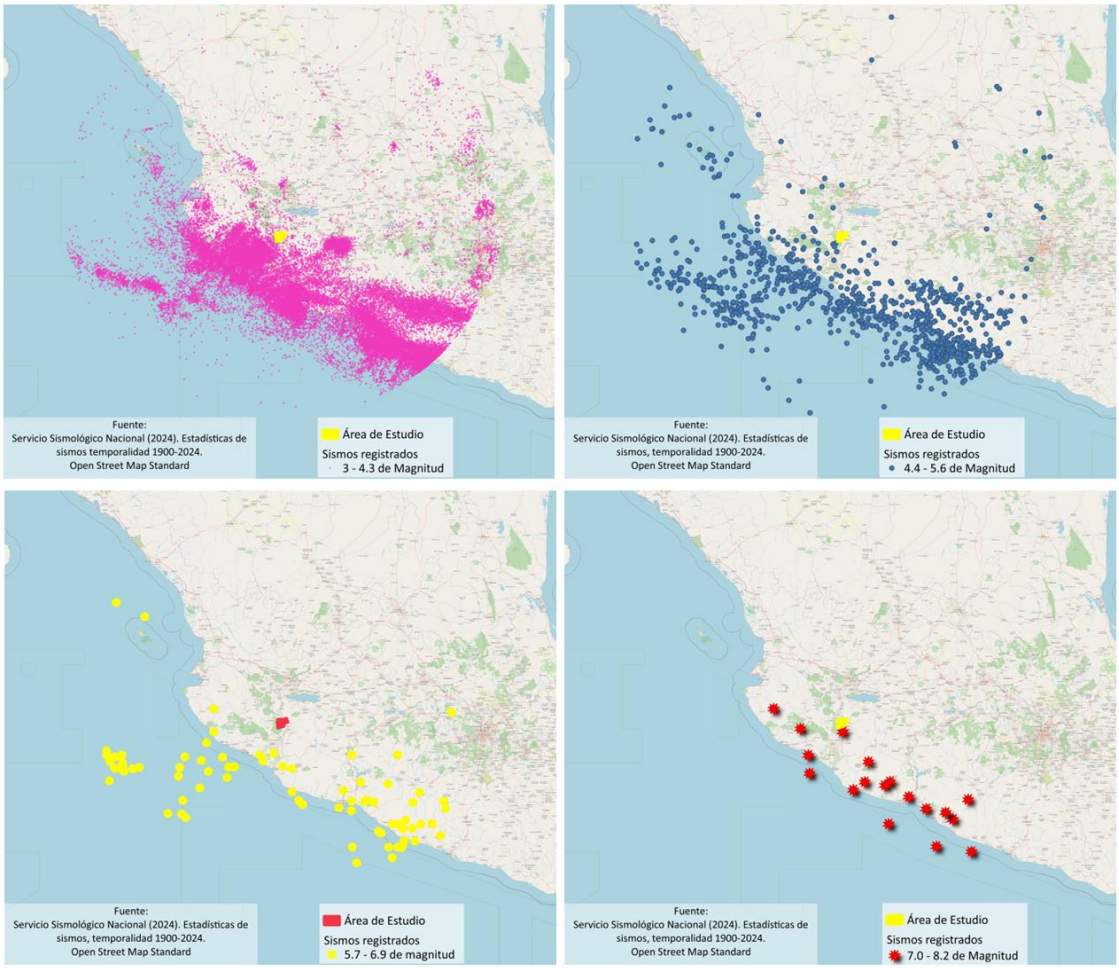
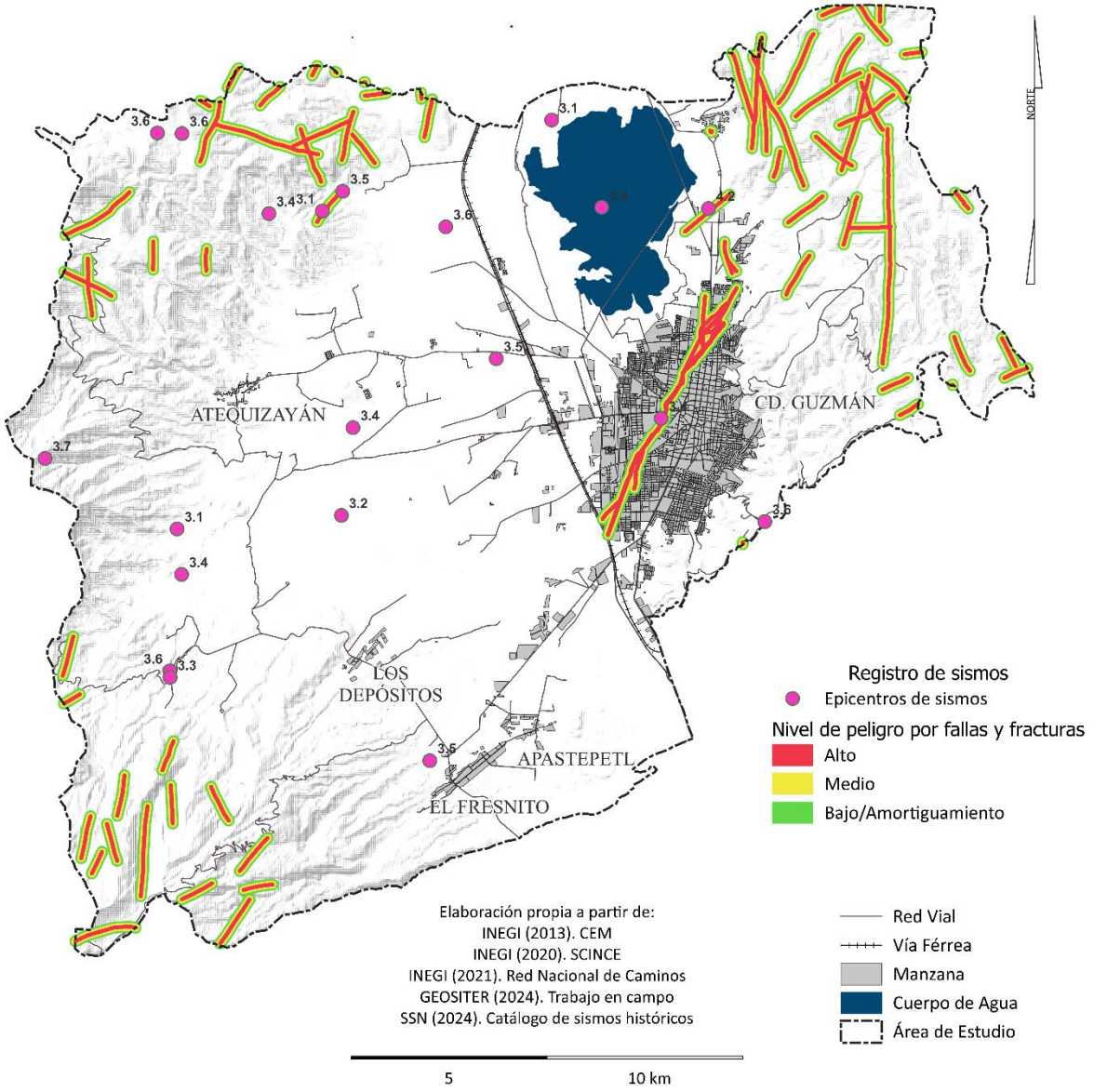


Figura 106. Epicentros en un radio de 500 km desde Zapotlán el Grande
Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente mapa, podemos observar que, de 20 fenómenos registrados, algunos fueron detectados sobre fallas activas, tal es el caso del punto que se observa en el centro de la zona urbana, cerca del área de las afectaciones de la colonia Santa Rosa, se registró un sismo fechado del día 12 de diciembre del 2020 con una magnitud de 3.4.

En este contexto, es necesario mencionar que, en años recientes el Centro Universitario del Sur (CUSur), de la Universidad de Guadalajara, a través de sus programas educativos se adhiere a los trabajos de la Red Sísmica Telemétrica de Jalisco (RESAJ), reiniciando las actividades de esta última. Lo cual permitirá tener un mejor monitoreo de estos fenómenos y de su comportamiento diferenciado sobre todo en la cuenca de Zapotlán.



Mapa 53. Epicentros de sismos, fallas y fracturas en el municipio
Fuente: Elaboración propia.

Nota: Con la finalidad de enriquecer el apartado de sismos para este documento, se tuvo a bien consultar directamente al Servicio Sismológico Nacional y al Laboratorio de Geofísica perteneciente al CUSur, con la finalidad de conocer si existían estudios y pruebas recientes para poder definir una zonificación de peligro que no fuera realizada de forma somera, ya que para determinar estos productos, es necesaria una metodología con instrumentación y amplios registros que permitan definir dicha zonificación.

Afortunadamente, a través del Dr. Juan Manuel Sandoval Hernández, Jefe de Laboratorio de Geofísica y miembro del Centro de Estudios de la Tierra, CUSur; se dio a conocer el proyecto que se encuentra en marcha para el inicio de etapa de microzonificación sísmica 2024, misma que contará con la validación de resultados que estaría avalada por los investigadores del Centro de Estudios de la Tierra (CET).

Las metodologías que se están desarrollando están apegadas a CENAPRED (H/V y parámetro Vs30), de las que se entrega clasificación del suelo en base a normas internacionales.

No obstante, debido a los diferentes tiempos que manejan ambos proyectos (Atlas de Riesgos de Zapotlán el Grande y el Proyecto de Microzonificación sísmica), se ha observado un desfase en los cronogramas previstos, por lo cual no será posible incluir los resultados en este documento. Se espera que a partir de que pueda ser definida y publicada esta zonificación, el municipio pueda acceder a ella confiando en que esto fortalecerá significativamente las capacidades de prevención y respuesta ante eventos sísmicos.

Zonificación de peligro y susceptibilidad de fenómenos químico-tecnológicos

4.1 Introducción

El municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, ha experimentado un notable crecimiento en áreas industriales y urbanas, lo que ha incrementado los riesgos asociados con peligros químicos, tecnológicos y naturales. Estos riesgos se ven exacerbados por la proximidad del Volcán de Colima y la alta actividad sísmica de la región. El Volcán de Colima, el más activo de México, representa una amenaza significativa debido a sus frecuentes erupciones que emiten cenizas, gases y flujos piroclásticos. Estos fenómenos pueden afectar gravemente a las infraestructuras críticas, como gasoductos, sistemas de distribución de recursos y plantas industriales, incrementando el riesgo de accidentes tecnológicos y químicos.

La actividad sísmica también juega un papel crucial en la vulnerabilidad del municipio. Los movimientos telúricos pueden dañar estructuras industriales y provocar fugas o derrames de sustancias peligrosas. Este escenario de riesgo múltiple requiere una planificación y gestión de riesgos exhaustiva para minimizar el impacto sobre la población y el medio ambiente.

Históricamente, el municipio ha enfrentado varios incidentes significativos relacionados con el manejo y transporte de sustancias químicas peligrosas. Entre ellos, se destacan accidentes de transporte de ácido clorhídrico, diesel y productos químicos como el amoníaco y el ácido sulfúrico. Estos eventos subrayan la necesidad de un monitoreo constante y la implementación de medidas preventivas adecuadas.

Por lo tanto, la elaboración del Atlas de Riesgos y Peligros Químico-Tecnológicos en Zapotlán el Grande es esencial para la seguridad y protección de la población. Este documento no solo sirve como una herramienta para la planificación y mitigación de riesgos, sino que también fomenta la cultura de la autoprotección entre los habitantes del municipio. La colaboración entre las autoridades locales y las entidades de protección civil es fundamental para la creación de estrategias efectivas que aborden los múltiples peligros a los que se enfrenta la región.

Incidentes Significativos

1. Accidente en la Carretera Federal 54D (2020):
    - Un camión que transportaba ácido clorhídrico volcó, derramando aproximadamente 15,000 litros de esta sustancia. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020; Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT], 2020).
2. Derrame de Diesel (2018):
    - Un camión cisterna volcó cerca de Ciudad Guzmán, derramando alrededor de 10,000 litros de diesel. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2018; Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT], 2018).
3. Incidente en Planta de Alimentos Cárnicos (2019):
    - Un fallo en el sistema de refrigeración de una planta industrial provocó el derrame de 500 litros de amoníaco. (UNIMINUTO Repository, 2019; Programas de Protección Civil, 2019).

4. Accidente de Transporte de Químicos (2016):

- Un camión que transportaba productos químicos volcó, resultando en el derrame de varias sustancias peligrosas, incluyendo ácido sulfúrico. (Issuu, 2016; Diario Libre, 2016).

Factores de Riesgo Adicionales

Actividad Volcánica del Volcán de Colima: La actividad volcánica del Volcán de Colima representa una amenaza significativa para la región. Aunque el municipio de Zapotlán el Grande se encuentra fuera del radio de los flujos piroclásticos y lahares principales, está dentro del rango de caída de ceniza y pómez. La ceniza puede afectar gravemente la infraestructura, incluyendo instalaciones químicas, por su capacidad para colapsar techos y contaminar suministros de agua y alimentos (Erupciones Volcánicas) .

Riesgos en Infraestructuras Críticas: La proximidad de infraestructuras críticas, como gasoductos, a áreas de alta actividad volcánica y de crecimiento industrial, aumenta la vulnerabilidad a incidentes graves. Un ejemplo histórico relevante es el accidente del gasoducto de San Bruno en California en 2010, donde una falla en la tubería causó una explosión devastadora, resaltando la necesidad de inspecciones rigurosas y mantenimiento adecuado (Hundimientos, subsidencias).

Con estos factores y en consideración de los incidentes pasados, se realizó una simulación del escenario donde se produjo el incidente en la planta de alimentos cárnicos. A continuación, se presenta el modelo realizado en ALOHA en el caso de charco de amoniaco evaporándose al medio ambiente determinando las distintas zonas de afectación del incidente.

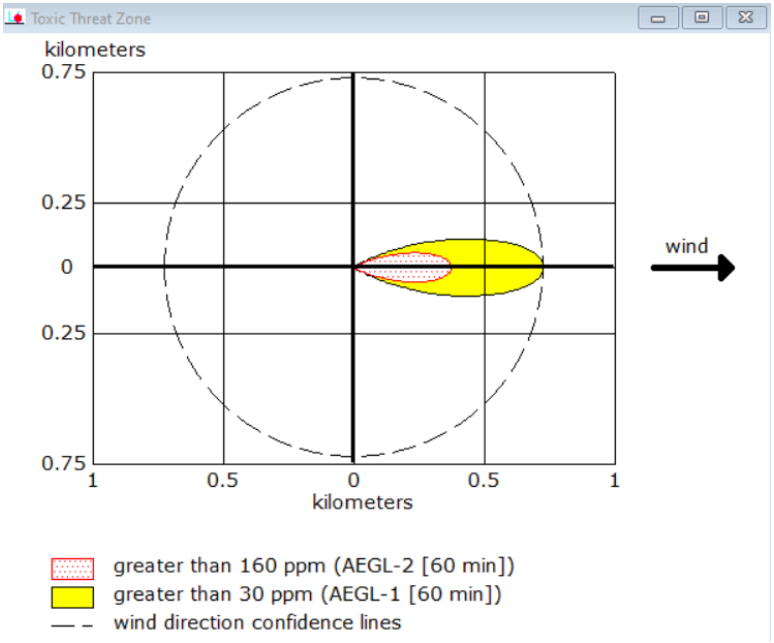


Figura 107. Modelo de área de afectación por derrame de amoniaco
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Radios de afectación por charco de amoniaco evaporándose al medio ambiente

Tipo de dispersión	**Zona de amortiguamiento [m] (30 ppm = AEGL-1 [60 min])**	**Zona de riesgo [m] (160 ppm = AEGL-2 [60 min])**
Charco evaporándose	373	727

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de la abundante información sobre accidentes en actividades o instalaciones de alto riesgo en el municipio, no se logró obtener datos valiosos sobre el historial de accidentes, sus efectos y consecuencias, entre otros aspectos. A pesar de que la Dirección Municipal de Protección Civil y Bomberos solicitó información oficialmente y en tiempo y forma a diversas dependencias relacionadas con la seguridad, la prevención y la planeación, tanto a nivel Federal como Estatal, existe una falta de información estadística precisa y oportuna sobre estos eventos. La información disponible es incompleta. Por ello, a pesar de estos inconvenientes, la elaboración del Atlas Municipal de Riesgos por Fenómenos Químicos se llevó a cabo con el máximo esfuerzo coordinado entre la empresa consultora y la Dirección Municipal de Protección Civil y Bomberos. Este documento se ha convertido en una herramienta fundamental para la planeación, prevención, mitigación y gestión de riesgos a

nivel municipal, contribuyendo finalmente a fomentar la cultura de la autoprotección entre los habitantes del municipio.

De este modo, el desarrollo del Atlas de Riesgos en el Municipio de Zapotlán el Grande, abordando peligros químicos-tecnológicos, riesgos asociados al Volcán de Colima y considerando la vulnerabilidad de infraestructuras críticas, es esencial para la seguridad y protección de la población, la infraestructura y el medio ambiente en la región.

Alcances del módulo

Se tiene por fin crear un informe que analice y valore diferentes áreas vulnerables a amenazas de origen químico, definiendo sus zonas de riesgo y niveles de peligro. Estos hallazgos serán la base para desarrollar planes de urbanización que regulen el uso del suelo en el municipio, integrando datos sobre peligros y riesgos para una planificación más segura y efectiva.

Por consiguiente, se tienen los siguientes objetivos particulares:

Identificar las diversas actividades o instalaciones consideradas de alto riesgo dentro del municipio.

- Analizar las posibles amenazas de accidentes relacionados con fenómenos químicos en estas actividades o instalaciones de alto riesgo, teniendo en cuenta su impacto potencial en los residentes, sus propiedades y la infraestructura básica municipal.
- Delimitar las áreas de peligro y riesgo asociadas a cada actividad o instalación de alto riesgo.
- Evaluar cuantitativamente la magnitud de estas amenazas.
- Identificar las colonias y localidades vulnerables a estas amenazas.
- Desarrollar la cartografía de riesgos municipales específicamente relacionados con amenazas químicas.
- Utilizar los resultados obtenidos para contribuir al diseño de programas de reordenamiento territorial con enfoque en la planificación y prevención del riesgo.
- Apoyar los planes de protección y seguridad ciudadana a través de programas de protección civil, promoviendo la cultura de la autoprotección entre la comunidad.
- Integrar la información recopilada en un sistema de información geográfica para su actualización continua y permanente.

Marco legal y normativo

El marco legal y normativo para la gestión de actividades riesgosas y la elaboración del Atlas de Riesgos en Peligros Químicos-Tecnológicos en el municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, se fundamenta en una serie de leyes, normativas y regulaciones actualizadas. Estas proporcionan directrices para la creación de zonas de salvaguarda, la clasificación de actividades peligrosas, la gestión de residuos y la seguridad en el trabajo, entre otros aspectos. A continuación, se detallan las principales normativas aplicables:

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

- Artículo 2, fracción IV: Declara de utilidad pública la creación de Zonas Intermedias de Salvaguarda alrededor de actividades altamente riesgosas.
- Artículo 20 bis 4, fracción V: Prohíbe usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población en estas zonas.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

- Tiene la autoridad para definir usos del suelo en áreas destinadas a industrias, comercios o servicios riesgosos y clasificar estas actividades según sus características peligrosas.

Listados de actividades altamente riesgosas

- Primer listado (28 de marzo de 1990): Sustancias tóxicas.
- Segundo listado (4 de mayo de 1992): Sustancias inflamables y explosivas.

Estas actividades son la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final de las sustancias que a continuación se indican, cuando se manejen volúmenes iguales o superiores a las cantidades reportadas.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010

- "Condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo". Establece los requisitos para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, incluyendo medidas de seguridad, sistemas de protección y procedimientos de emergencia.

Norma Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012

- "Sistema para la administración del trabajo seguro en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas". Establece requisitos para prevenir accidentes mayores que involucren sustancias químicas peligrosas.

Norma Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012

- "Sistema para la administración del trabajo seguro en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas". Establece requisitos para prevenir accidentes mayores que involucren sustancias químicas peligrosas.

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

- Lineamientos para la elaboración de planes de manejo y gestión de residuos peligrosos.

Ley de Protección Civil

- Establece lineamientos para la gestión integral de riesgos, incluyendo la identificación, análisis y reducción de riesgos, así como la preparación y respuesta ante emergencias y desastres.

Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente en el Trabajo

- Establece medidas de seguridad y salud en los centros de trabajo para prevenir riesgos y proteger a los trabajadores.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEGOB-2011

- "Requisitos para la seguridad de instalaciones destinadas al almacenamiento, transporte y distribución de gas LP".

Norma Oficial Mexicana NOM-005-ASEA-2016

- "Diseño, construcción, operación y mantenimiento de estaciones de servicio para almacenamiento y expendio de diésel y gasolinas".

Norma Oficial Mexicana NOM-008-ASEA-2019

- "Diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de gas LP en recipientes sujetos a presión".

Estudio de Riesgo y Programa de Prevención de Accidentes

- Las empresas que realizan actividades de alto riesgo deben elaborar un Estudio de Riesgo en Materia Ambiental y un Programa de Prevención de Accidentes, aprobados por la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas de SEMARNAT.

Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014

- "Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral – Reconocimiento, evaluación y control".

Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015

- "Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo".

Norma Oficial Mexicana NOM-047-SEMARNAT-2014

- "Residuos peligrosos – Caracterización de residuos peligrosos mediante extracción con fluido supercrítico".

Código de Seguridad para la Prevención de Accidentes Mayores (Seveso III)

- Estándares europeos aplicados internacionalmente para la gestión de riesgos industriales y prevención de accidentes mayores.

Guía para la Elaboración del Estudio de Riesgo Ambiental (SEMARNAT)

- Proporciona un marco metodológico para la elaboración de estudios de riesgo ambiental para empresas que realizan actividades altamente riesgosas.

Spill Prevention, Control, and Countermeasure (SPCC) Regulations (EPA)

- Normativas de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para la prevención y control de derrames de sustancias peligrosas.

EPA Guidelines for Human Exposure Assessment

- Incluyen avances en la evaluación de datos de exposición, uso de modelos computacionales probabilísticos, y una rigurosa consideración de incertidumbres y variabilidades en estimaciones de exposición. También enfatizan la comunicación efectiva con las partes interesadas y la inclusión de tribus en evaluaciones relacionadas con preocupaciones tribales.

EPA Cumulative Risk Assessment Principles

En febrero de 2023, la EPA publicó principios para evaluar riesgos acumulativos bajo la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA), aplicándolos a la evaluación de riesgos acumulativos de ciertos químicos como los ftalatos.

New Approach Methodologies (NAMs)

- Metodologías que integran datos in vitro e in vivo para evaluar riesgos químicos de manera más eficiente, utilizando modelos matemáticos de alta capacidad para la evaluación toxicológica y exposición.

Anexo 18: Listado de actividades peligrosas considerando disposiciones federales

Este anexo incluye un listado de actividades que se consideran peligrosas bajo las disposiciones federales, las cuales deben ser consideradas en la elaboración del Atlas de Riesgos para identificar y gestionar adecuadamente los riesgos asociados.

Marco legal y normativo aplicado al Transporte de sustancias peligrosas por Ductos

Normas Nacionales

1. NOM-003-ASEA-2016: Distribución de Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo por Ductos

- Esta norma establece los requisitos técnicos y de seguridad para la distribución de gas natural y gas LP por ductos, incluyendo el diseño, construcción, operación, mantenimiento, y seguridad de los sistemas de distribución.

2. NOM-007-SECRE-1999: Transporte de Gas Natural

- Establece los requisitos técnicos y de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de transporte de gas natural.

3. NOM-008-SECRE-1999: Control de la Corrosión Externa en Tuberías de Acero Enterradas y/o Sumergidas

- Define los criterios y métodos para la protección contra la corrosión de tuberías de acero, asegurando su integridad y prolongando su vida útil.

4. NOM-009-SECRE-2002: Monitoreo, Detección y Clasificación de Fugas de Gas Natural y Gas LP en Ductos

- Especifica los procedimientos y equipos necesarios para la detección y clasificación de fugas en ductos, con el fin de minimizar riesgos de explosiones y contaminación ambiental.

5. NOM-117-SEMARNAT-1998: Especificaciones de Protección Ambiental para la Instalación y Mantenimiento Mayor de Sistemas de Transporte y Distribución de Hidrocarburos y Petroquímicos

- Establece las medidas de protección ambiental que deben implementarse durante la instalación y mantenimiento de sistemas de transporte y distribución de hidrocarburos y petroquímicos para prevenir y controlar impactos ambientales negativos.

6. Ley de Hidrocarburos

- Regula las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos, así como su transporte, almacenamiento, distribución y comercialización.

7. Reglamento de la Ley de Hidrocarburos

- Detalla las disposiciones de la Ley de Hidrocarburos y establece las obligaciones específicas para las empresas que operan en este sector.

Normas Internacionales

1. API (American Petroleum Institute) Standards

- API 579-1/ASME FFS-1: Evaluación de Integridad y Aptitud para el Servicio. Proporciona métodos de evaluación de integridad para equipos de presión, tuberías y componentes estructurales en la industria del petróleo y gas.
- API 1104: Soldadura de Tuberías y Equipos Relacionados. Define los estándares para la soldadura en la construcción y reparación de tuberías.
- API 570: Inspección, Reparación, Alteración y Re-Rating de Sistemas de Tuberías Metálicas en el Servicio de Procesos. Establece los requisitos para la inspección y mantenimiento de tuberías en servicio.

2. ASME (American Society of Mechanical Engineers) Standards

- ASME B31.8: Gas Transmission and Distribution Piping Systems. Estándar para el diseño, construcción, inspección, y operación de sistemas de tuberías para la transmisión y distribución de gas.
- ASME B31.3: Process Piping. Proporciona guías para el diseño y construcción de tuberías de proceso.

3. ISO (International Organization for Standardization) Standards

- ISO 9001: Sistemas de Gestión de Calidad. Proporciona un marco para asegurar que los productos y servicios cumplan consistentemente con los requisitos del cliente y se mejore la satisfacción del cliente.
- ISO 14001: Sistemas de Gestión Ambiental. Estándar para gestionar y mejorar el desempeño ambiental.
- ISO 45001: Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Proporciona un marco para gestionar los riesgos y mejorar la seguridad y salud en el trabajo.

4. NFPA (National Fire Protection Association) Standards

- NFPA 59A: Producción, Almacenamiento y Manejo de Gas Natural Licuado (GNL). Establece los requisitos de seguridad para la producción, almacenamiento y manejo de GNL.
- NFPA 30: Código de Líquidos Inflamables y Combustibles. Proporciona requisitos para el almacenamiento y manejo de líquidos inflamables y combustibles para minimizar los riesgos de incendio y explosión.

5. IEC (International Electrotechnical Commission) Standards

- IEC 61511: Seguridad Funcional - Sistemas Instrumentados de Seguridad para el Sector de Proceso. Establece los requisitos para la implementación y mantenimiento de sistemas de seguridad en la industria de procesos.

6. OSHA (Occupational Safety and Health Administration) Regulations

- 29 CFR 1910.119: Gestión de la Seguridad de Procesos para Químicos Altamente Peligrosos. Proporciona regulaciones para la gestión de riesgos asociados con químicos peligrosos en instalaciones industriales.

Marco legal y normativo aplicado al Transporte de sustancias peligrosas por Vialidades

Normas y Estándares Nacionales

1. Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal (LCFPAF):
   - Regula el autotransporte federal de carga, incluyendo sustancias químicas peligrosas.
   - Establece los requisitos y condiciones para la operación de vehículos de autotransporte de materiales peligrosos.
2. Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (RTTMYP):
   - Desarrolla las disposiciones de la LCFPAF relacionadas con el transporte de materiales y residuos peligrosos.
   - Define las condiciones de embalaje, etiquetado, señalización, documentación y las medidas de emergencia en caso de accidentes.
3. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SCT/2011:
   - Establece las características de las etiquetas, envases y embalajes para el transporte de materiales y residuos peligrosos.
4. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SCT/2008:
   - Describe las especificaciones de los recipientes y embalajes para el transporte de materiales y residuos peligrosos.
5. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SCT/2008:
   - Establece las características y especificaciones de las unidades destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.
6. Norma Oficial Mexicana NOM-005-SCT/2011:
   - Detalla los procedimientos de operación de los vehículos destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos.

Normas y Estándares Internacionales

1. Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR):

   - Establece estándares reconocidos internacionalmente para el transporte de materiales peligrosos por carretera.

2. Reglamento Modelo de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas (Orange Book):

   - Proporciona un marco global para la regulación del transporte de mercancías peligrosas, con disposiciones adoptadas por muchas normativas nacionales.

3. Código IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code):

   - Establece estándares internacionales para el embalaje, manipulación y transporte de mercancías peligrosas en el transporte multimodal, incluyendo vías terrestres.

4. Reglamento de la IATA (International Air Transport Association) para Mercancías Peligrosas:

   - Aplica a materiales peligrosos transportados por vía aérea, influenciando las normativas terrestres en el contexto de transporte multimodal.

Marco legal y normativo aplicado al Transporte Ferroviario de sustancias peligrosas

Normas y Estándares Nacionales

1. Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario:

   - Regula la operación de los servicios ferroviarios en México, incluyendo el transporte de materiales peligrosos.

2. Reglamento del Servicio Ferroviario:

   - Complementa la Ley Reglamentaria, especificando las condiciones y requisitos para el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril.

3. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SCT2/2010:

   - Establece los requisitos para el transporte de materiales y residuos peligrosos por ferrocarril.

Normas y Estándares Internacionales

1. Reglamento Modelo de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas (Orange Book):

a. Proporciona directrices globales para el transporte seguro de mercancías peligrosas, adoptadas por muchas normativas ferroviarias nacionales.

2. Acuerdo Relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID):

a. Establece normas internacionales para el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril, adoptadas en varios países y reconocidas globalmente.

3. Código IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code):

a. Aplica también a transporte ferroviario en el contexto de transporte multimodal, asegurando la compatibilidad y seguridad en todas las etapas del transporte de mercancías peligrosas.

4. Título 49 del Código de Regulaciones Federales (CFR)

Partes Relevantes:

a. Parte 172: Requiere planes de seguridad y de respuesta a emergencias para el transporte de materiales peligrosos.

b. Parte 173: Define los requisitos de empaque y contención para materiales peligrosos.

c. Parte 174: Especifica las regulaciones para el transporte ferroviario de materiales peligrosos.

d. Parte 179: Establece las especificaciones para el diseño y construcción de carrotanques.

5. Normativas de la Asociación Americana de Ferrocarriles (AAR)

Manual de Normas y Prácticas Recomendadas (MSRP):

a. Especifica las mejores prácticas y requisitos técnicos para la seguridad en el transporte de materiales peligrosos.

b. Incluye directrices para la inspección, mantenimiento y pruebas de los carrotanques.

6. Reglamentos para el Transporte de Mercancías Peligrosas de Canadá (TDG)

Normas TP 14877E: Regulan el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril en Canadá.

Requisitos de Planificación de Emergencias: Obligan a los transportistas a desarrollar y mantener planes de emergencia detallados, incluyendo simulacros regulares.

Marco conceptual

El marco conceptual del apartado del Atlas Municipal sobre fenómenos químicos se basa en el análisis de criterios utilizados para elaborar dos listados de actividades altamente riesgosas relacionadas con sustancias explosivas, inflamables y tóxicas. Estos criterios se derivan de la evaluación de 400 sustancias identificadas por la US EPA como agudamente tóxicas, así como de listados considerados por la Ley General de Salud y la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales cruzó esta información para definir la inclusión de sustancias con un I.D.L.H. menor de 10mg/m3 en un listado, considerando también sustancias manejadas en grandes volúmenes en México.

Para sustancias inflamables y explosivas, se consideraron aquellas que en caso de liberación provocarían la formación de nubes inflamables o explosivas, evaluando su concentración y el área de impacto. Se aplicaron modelos matemáticos para simular la dispersión de gases o vapores y determinar las cantidades mínimas denominadas "cantidades de reporte" para sustancias tóxicas, inflamables y explosivas.

El riesgo de exposición a sustancias peligrosas en zonas urbanas es una preocupación constante, especialmente en instalaciones cercanas a áreas habitacionales. La conciencia sobre la autoprotección y el cuidado ambiental ha llevado a preparar a la población ante posibles accidentes químicos, aunque el riesgo persiste debido a amenazas naturales y tecnológicas.

En caso de un accidente mayor, las consecuencias pueden ser menos graves de lo predicho debido a acciones evasivas de la población y factores ambientales. Las acciones evasivas, como buscar refugio o evacuar, pueden reducir significativamente el número de personas afectadas. Los efectos post-incidentes varían según la naturaleza del peligro, la protección de los refugios y las características de la población afectada.

Se consideraron varios aspectos al analizar el riesgo de exposición a sustancias peligrosas en edificios, incluyendo:

1. Tipo de edificios y su construcción: Se evaluó la resistencia de los edificios a impactos, la velocidad de ventilación y la posibilidad de que permanezcan intactos en caso de incidentes químicos.
2. Efectividad del entrenamiento y disponibilidad de equipo: Se tomó en cuenta el nivel de entrenamiento del personal y la disponibilidad de equipos de respuesta a emergencias y tratamiento médico, tanto dentro de la planta como en servicios externos de apoyo. Un personal bien entrenado puede mejorar significativamente las posibilidades de supervivencia en caso de incidentes.
3. Condiciones ambientales y topografía: Se consideraron las condiciones ambientales prevalecientes, incluyendo la topografía del área y posibles obstrucciones físicas que podrían afectar la dispersión de sustancias peligrosas.
4. Intensidad y duración del gas tóxico: Se evaluó la intensidad y duración para la cual el gas tóxico incapacita al personal expuesto, lo cual es crucial para determinar las medidas de protección necesarias y los protocolos de evacuación.

Estos factores fueron analizados para comprender mejor el riesgo asociado con la exposición a sustancias peligrosas en entornos construidos, y para desarrollar estrategias efectivas de respuesta y mitigación en caso de incidentes químicos.

Evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos es un procedimiento que posibilita la identificación de potenciales peligros en el sistema analizado, el entendimiento de los riesgos específicos a ser gestionados y la jerarquización de acuerdo a las características del riesgo, las cuales pueden ser expresadas de forma cualitativa o cuantitativa.

Los conceptos de riesgo y peligro están íntimamente relacionados. El peligro implica la posibilidad de efectos adversos en una situación específica, mientras que el riesgo es la medida de esa probabilidad (Davis, 2004).

En términos de la definición de riesgo por el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPRO), se expresa como una función del peligro, la vulnerabilidad y la exposición, es decir, R = f (P, V, E) (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2021).

Cualitativamente, el riesgo se interpreta como la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos no deseados en sistemas que involucran personas, comunidades o sus bienes, como resultado de eventos o fenómenos perturbadores.

A continuación, se detallan algunos términos clave utilizados en la elaboración de Atlas de Riesgos:

- Agente perturbador: fenómeno natural o antropogénico que puede causar daños significativos a un sistema susceptible (asentamientos humanos, infraestructura, etc.), alcanzando un nivel de desastre.
- Amenaza: probabilidad de que ocurran eventos perturbadores en una ubicación específica o región.
- Atención de emergencias: acciones a realizar antes, durante y después de un desastre para minimizar pérdidas humanas, daños a bienes y la infraestructura, preservando los servicios y el entorno.
- Escenarios de riesgo: representaciones geográficas de la intensidad o efectos de eventos externos.
- Exposición o Grado de Exposición: cantidad de personas, bienes y sistemas susceptibles de daños en un área determinada, a menudo expresada en términos monetarios.
- Identificación de Riesgos: comprensión de peligros y amenazas, estudio de fenómenos perturbadores y establecimiento de niveles de riesgo considerando peligro, vulnerabilidad y exposición.
- Mitigación y prevención: diseño de acciones para reducir el impacto de desastres antes de que ocurran.
- Peligro: probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dañino de cierta intensidad en un período y lugar determinados.
- Recuperación y reconstrucción: acciones para restablecer sistemas afectados tras un desastre, incluyendo la reconstrucción de infraestructura dañada.
- Vulnerabilidad: susceptibilidad de sistemas expuestos a daños por fenómenos perturbadores, considerando pérdidas esperadas y la capacidad de amortiguamiento.

Gallopín enfatiza que la vulnerabilidad es aplicable a diversos sistemas, incluyendo sistemas humanos, naturales y socio-ecológicos, y no debe confundirse con pobreza o bienestar exclusivamente (Gallopín, 2006).

La evaluación de riesgos busca prevenir accidentes y proteger la salud y el ambiente, analizando la magnitud y probabilidad de eventos dañinos, y considerando factores como ubicación, diseño, procedimientos seguros, mantenimiento, programas de seguridad, prevención y planes de emergencia. Se emplean diversas técnicas de análisis, como listas de comprobación y estudios de riesgo de operatividad, para identificar puntos críticos y reducir la peligrosidad de las instalaciones de manera costo-efectiva.

Actividades consideradas de alto riesgo

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece la clasificación de actividades como altamente riesgosas a través del CRETIB, considerando características como corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas de los materiales manejados en establecimientos industriales, comerciales o de servicios, junto con los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento. Desde su promulgación en 1988, se han publicado dos listados en el Diario Oficial de la Federación que mencionan sustancias tóxicas, explosivas e inflamables. La presencia de al menos una de estas sustancias en las actividades, en cantidades iguales o superiores a las especificadas en los listados (cantidades de reporte), permite clasificarlas como actividades de alto riesgo.

De acuerdo con las características de peligrosidad de las sustancias químicas, su distribución en la República Mexicana y las cantidades de almacenamiento, las 14 sustancias que representan mayor peligro en México son expuestas en la siguiente tabla y figura:

Tabla 53. Sustancias consideradas de alto riesgo por la República Mexicana.

Gas L.P	Acetona
Amoniaco	Alcohol metilo
Ácido sulfúrico	Alcohol propílico e isopropílico
Cloro	Propano
Hexano	Acetato de etilo
Gasolina	Óxido de etileno
Nitrógeno	Ácido fluorhídrico

Fuente: CENAPRED, 2001.

Figura 108. Estados de la República Mexicana que almacenan sustancias químicas más peligrosas
Fuente: CENAPRED, 2001.

Accidentes de alto riesgo ambiental

La O.I.T. define un accidente mayor como un evento que implica una explosión, incendio, fuga o derrame repentino durante las actividades de un establecimiento o en ductos donde se manejen materiales peligrosos, representando un riesgo significativo para la población, bienes, ambiente y ecosistemas, ya sea de manifestación inmediata o retardada, reversible o irreversible.

Estos eventos incluyen:

1. Cualquier liberación de sustancias peligrosas que supere el umbral o límite establecido (cantidad de reporte o de control).
2. Fuegos mayores que generen una radiación térmica superior a 5 Kw/m2 durante varios segundos.
3. Explosiones de vapor o gas que produzcan ondas de sobrepresión de 0.5 lb./pulg2 o más.
4. Explosiones de sustancias reactivas o explosivas que afecten edificios o plantas cercanas.
5. Liberaciones de sustancias tóxicas que alcancen concentraciones peligrosas para la vida humana (IDLH) en la fuente emisora y alrededores.
6. En el transporte, fugas o derrames considerables de materiales peligrosos que puedan causar daños severos a la salud humana y/o el ambiente.

Efectos en la salud y el ambiente por accidentes

Una explosión puede generar ondas expansivas y proyectiles que pueden resultar en lesiones o muerte para las personas dentro de su radio de impacto, además de dañar edificios al colapsar muros y romper ventanas. Las explosiones de nubes de gases o vapores combustibles, liberadas por la ruptura de contenedores o ductos, pueden tener consecuencias catastróficas.

Los incendios, por su parte, pueden causar quemaduras de diversos grados debido a la exposición a radiaciones térmicas, cuya intensidad depende del calor y la duración de la exposición. La falta de oxígeno durante la combustión puede provocar la muerte, junto con la exposición a gases tóxicos generados en el proceso.

La liberación rápida de una mezcla de líquido y gas en el aire puede generar una bola de fuego al inflamarse, resultando en muertes y quemaduras graves a gran distancia del punto de origen.

En accidentes mayores con liberación de sustancias tóxicas, el riesgo principal está en la exposición aguda durante y después del evento, más que en una exposición prolongada. La gravedad de la exposición a nubes tóxicas depende de las concentraciones y la duración de la exposición.

Aunque se estudian principalmente los efectos agudos de los accidentes mayores, no se descarta la posibilidad de efectos adversos adicionales debido a la dispersión de sustancias tóxicas en el ambiente.

Definición de sustancias tóxicas, inflamables y explosivas

Sustancias de toxicidad aguda se definen por su capacidad para causar la muerte del 50 por ciento de los animales expuestos vía inhalación durante ocho horas con una concentración de 0.5 mg/l de aire (CL50), una dosis dérmica que provoca la muerte del 50 por ciento de los animales con 50 mg/kg de peso corporal (DL50), o una dosis oral equivalente a 25 mg/kg de peso corporal (DL50). En ausencia de estos valores, se consideran letales las concentraciones o dosis más bajas.

Las sustancias inflamables son aquellas que, al formar una mezcla con el aire, pueden producir una flama espontánea o por acción de una chispa. Se considera inflamable si su punto de inflamación es menor a 60 ºC, su presión de vapor no excede los 2.81 Kg/cm2, y su

temperatura de ebullición es de 37.8 °C. Un líquido inflamable tiene un punto de flasheo por debajo de los 37.8 °C, según la NFPA, que clasifica estos líquidos en:

- Clase 1A: puntos de flasheo por debajo de 22.8 °C y punto de ebullición por debajo de 37.8 °C.
- Clase 1B: puntos de flasheo por debajo de 22.8 °C y punto de ebullición por encima de 37.8 °C.
- Clase II: puntos de flasheo entre 37.8 °C y 60 °C.
- Clase III: subdividida en IIIA (puntos de flasheo entre 60 °C y 93.3 °C) y IIIB (puntos de flasheo por encima de 93.3 °C).

Las sustancias explosivas son aquellas que, al inflamarse, producen una expansión repentina acompañada de ruido y fuerzas físicas violentas que pueden dañar estructuras por la rápida expansión de los gases.

Efectos por Radiación Térmica

Intensidad de radiación (Kw/m²):

- 37.5: Suficiente para ocasionar daño a equipo de proceso.
- 25: Energía mínima requerida para hacer arder madera en tiempos indefinidamente grandes (no piloteado).
- 12.5: Energía mínima requerida para ignición piloteada de madera, fusión de tubería plástica.
- 9.5: Valor límite de exposición después de 8 segundos, quemaduras de segundo grado después de 20 segundos.
- 4: Suficiente para alcanzar el valor límite en 20 segundos; sin embargo, puede ocasionar problemas en la piel (quemaduras de segundo grado, 0% letalidad).
- 1.6: Puede causar molestia después de períodos amplios de exposición.

Efectos de la Explosión Basados en la Presión de la Onda Expansiva

Presión de la Onda Expansiva (psi)

- 0.5 - 1 psi: Rotura de vidrios de ventanas, causando riesgo de cortes por escombros.
- 1 - 2 psi: Daños ligeros a estructuras residenciales, como la rotura de ventanas y puertas. Posible desplazamiento de personas cercanas a la explosión, causando heridas leves.

- 3 - 5 psi: Daños moderados a estructuras residenciales y comerciales. Lesiones severas a personas expuestas, incluyendo daños en el oído y órganos internos sensibles.
- 5 - 7 psi: Daños significativos a edificios, con posible colapso parcial. Alta probabilidad de lesiones graves o fatales a personas en el área afectada, debido a la combinación de la onda expansiva y los escombros proyectados.
- 7 - 10 psi: Destrucción estructural extensa, incluyendo el colapso de edificios de concreto y acero. Lesiones severas y mortales casi garantizadas para personas en la zona de impacto.
- 10 - 20 psi: Destrucción total de la mayoría de las estructuras, incluidos edificios reforzados. La onda expansiva en esta presión causará lesiones fatales inmediatas a la mayoría de las personas expuestas.
- 20 - 30 psi: Colapso completo de todos los tipos de estructuras. Ninguna posibilidad de supervivencia para seres humanos en el área afectada.

Efectos de la Nube Tóxica Basados en la Concentración de Sustancias

IDLH (Inmediatamente Peligroso para la Vida o la Salud)

- Definición: Concentración de una sustancia química en el aire que representa una amenaza inmediata para la vida, puede causar efectos adversos irreversibles a la salud, o puede impedir la capacidad de escapar de una atmósfera peligrosa.
- Uso: Los valores IDLH se usan principalmente en situaciones de emergencia para establecer límites de exposición máxima a corto plazo y para el diseño de equipos de protección respiratoria.

AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels)

Definición: Niveles de guía de exposición aguda establecidos para determinar el riesgo asociado con la exposición breve a sustancias químicas peligrosas.

Categorías:

- AEGL-1: Concentraciones que causan molestias leves, reversibles o de menor gravedad.
- AEGL-2: Concentraciones que causan efectos irreversibles o de gravedad mayor, pero no potencialmente letales.
- AEGL-3: Concentraciones que pueden causar la muerte o efectos letales.

Uso: Utilizados en la planificación de emergencias, evaluaciones de riesgos y protección del público.

TLVs (Threshold Limit Values)

Definición: Concentraciones promedio ponderadas en el tiempo (TWA), límites de exposición a corto plazo (STEL), y concentraciones máximas permisibles (C) para sustancias en el aire, desarrolladas por la ACGIH.

Categorías:

- TLV-TWA: Concentración promedio ponderada en el tiempo para una jornada laboral estándar de 8 horas y una semana laboral de 40 horas.
- TLV-STEL: Concentración límite de exposición a corto plazo para un período de 15 minutos.
- TLV-C: Concentración que no debe ser superada en ningún momento.

RELs (Recommended Exposure Limits)

Definición: Límites de exposición recomendados por el NIOSH para proteger a los trabajadores durante su vida laboral.

Uso: Son guías para la evaluación de las condiciones de trabajo y la implementación de controles para reducir la exposición a sustancias peligrosas.

PELs (Permissible Exposure Limits)

Definición: Límites de exposición permisibles establecidos por la OSHA, que son legalmente exigibles.

Uso: Establecen el nivel máximo permitido de exposición a una sustancia peligrosa en el lugar de trabajo.

ERPGs (Emergency Response Planning Guidelines)

Definición: Niveles de guía para la planificación de respuestas a emergencias desarrollados por la AIHA.

Categorías:

- ERPG-1: Concentración a la que la mayoría de las personas no experimentará efectos más allá de molestias transitorias.

- ERPG-2: Concentración a la que la mayoría de las personas no experimentará efectos irreversibles o serios.
- ERPG-3: Concentración a la que la mayoría de las personas no experimentará efectos letales.

Metodología

Para la determinación del riesgo como agente perturbador en el manejo de las sustancias peligrosas por parte de las industrias y el trasporte de elementos químicos ya sea por vías de comunicación y vías férreas, se implementará con la metodología establecida por parte de CENAPRED, tomando como referencia lo establecido en la LEGEEPA y su Reglamento, así como las Normas de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social que apliquen de acuerdo al giro de cada establecimiento.

A continuación, se describen de una manera simplificada, los procesos para la elaboración del peligro y la modelación de las sustancias peligrosas:

1. Localizar las instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas.
2. Identificar la trayectoria, longitud y diámetro de las tuberías que transportan sustancias
3. Peligrosas.
4. Determinar las rutas de transporte y distribución de sustancias y materiales peligrosos
5. Utilizar las nuevas tecnologías para modelación de la liberación de materiales peligrosos: nube tóxica, inflamable y explosión.
6. Determinar la exposición de la población que podría ser afectada por la liberación de la sustancia peligrosa.

Identificación de instalaciones que manejan sustancias peligrosas

Basándonos en la información proporcionada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Gobernación, se aplicará la lista de actividades altamente riesgosas establecida en 1992 y actualizada con normativas relevantes hasta la fecha. Con base en este análisis preliminar, se iniciará la depuración de industrias que manipulen sustancias peligrosas en el municipio de Zapotlán el Grande.

Identificación y Geo-referenciación de Instalaciones de Alto Riesgo

Posteriormente, se llevará a cabo la geo-referenciación de instalaciones de alto riesgo según el tipo de sustancia que manejen, considerando también la cantidad y método de almacenamiento de cada sustancia. Es fundamental utilizar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para esta tarea, que puede ser apoyado por GPS (Global Positioning System) para identificar elementos espaciales en un mapa digital y dinámico de manera geográfica.

Estándares y Normativas Aplicables

Se seguirán las directrices de estandarización establecidas por CENAPRED y las normativas relevantes como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Norma Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012, y otras mencionadas en el marco legal y normativo. Estas normativas proporcionan un marco integral para la identificación, clasificación y gestión de riesgos asociados con instalaciones que manejan sustancias peligrosas.

Instalaciones Consideradas de Riesgo

De acuerdo con estas normativas y la estandarización establecida por CENAPRED, se describen a continuación las instalaciones consideradas de riesgo para su evaluación:

- Refinerías
- Instalaciones industriales
- Almacenamiento de gas LP
- Terminales de autotransporte de carga
- Plantas potabilizadoras de agua
- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Plantas de refrigeración
- Terminales de ferrocarriles: patios de maniobras, áreas de almacenamiento, etc.
- Plantas para tratamiento y/o disposición de residuos
- Aeropuertos
- Comercios
- Gasolineras
- Estaciones de carburación
- Almacén de materiales pirotécnicos
- Hospitales que manejan materiales radioactivos

Identificación de la trayectoria, longitud y diámetro del "Sistema de Transporte por Ductos"

Identificación del Proyecto

El Sistema de Transporte de Gas Natural de Manzanillo "STGNM" es una iniciativa estratégica diseñada para mejorar la distribución de gas natural en la región occidental de México. Este proyecto tiene como objetivo principal transportar gas natural desde la Terminal de Gas Natural Licuado (TGNL) ubicada en Manzanillo, Colima, hasta la Central Termoeléctrica de Manzanillo y posteriormente conectar con el Sistema Nacional de Gasoductos (SNG) en El Salto, Jalisco, abarcando una longitud total de aproximadamente 293.7 kilómetros. Esta infraestructura es esencial para satisfacer la creciente demanda de gas natural en la región y asegurar un suministro energético constante y eficiente (Centro Nacional de Control del Gas Natural, 2016; TC Energía, n.d.).

El gasoducto transporta gas natural, específicamente metano, a través de diversas regiones desde la costa del Pacífico hasta el interior del estado de Jalisco. En cuanto a la sección que atraviesa el municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, es crucial identificar la longitud específica del ducto que pasa por esta área para un análisis más detallado de los riesgos y las medidas de mitigación necesarias.

Características Técnicas y de Seguridad

El gasoducto del STGNM presenta especificaciones técnicas avanzadas que garantizan su eficiencia y seguridad operativa. El ducto tiene un diámetro nominal de 30 pulgadas y está construido con acero al carbón, específicamente grado X70, conocido por su alta resistencia y durabilidad. El espesor de las paredes del ducto varía entre 8.5 mm y 12.3 mm, proporcionando robustez adicional crucial para soportar las presiones operativas.

La presión de diseño del gasoducto es de 7,850 kPa, lo que asegura que el sistema puede manejar las exigencias de transporte de gas a largo plazo sin comprometer la integridad del ducto. Para la protección contra la corrosión, el ducto está equipado con sistemas de protección catódica, una medida esencial para prevenir el deterioro del material y prolongar la vida útil del gasoducto.

En términos de seguridad, el gasoducto está monitoreado continuamente mediante un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), que permite la supervisión en tiempo real de las operaciones y el estado del ducto. Este sistema es crucial para la detección

temprana de cualquier anomalía que pueda representar un riesgo. Además, el gasoducto cuenta con sistemas avanzados de detección de fugas, que utilizan sensores especializados para identificar cualquier escape de gas y activar medidas correctivas de inmediato.

Las válvulas de seccionamiento automáticas están estratégicamente ubicadas a lo largo del gasoducto. Estas válvulas están diseñadas para cerrarse automáticamente en caso de detectar una caída de presión significativa, lo que indica una posible ruptura o fuga. Este mecanismo es vital para minimizar los riesgos de explosiones o incendios y proteger tanto a las personas como al medio ambiente en caso de un incidente (TC Energía, n.d.; Sempra Infraestructura, n.d.).

Tabla 54. Ubicación y longitud del gasoducto

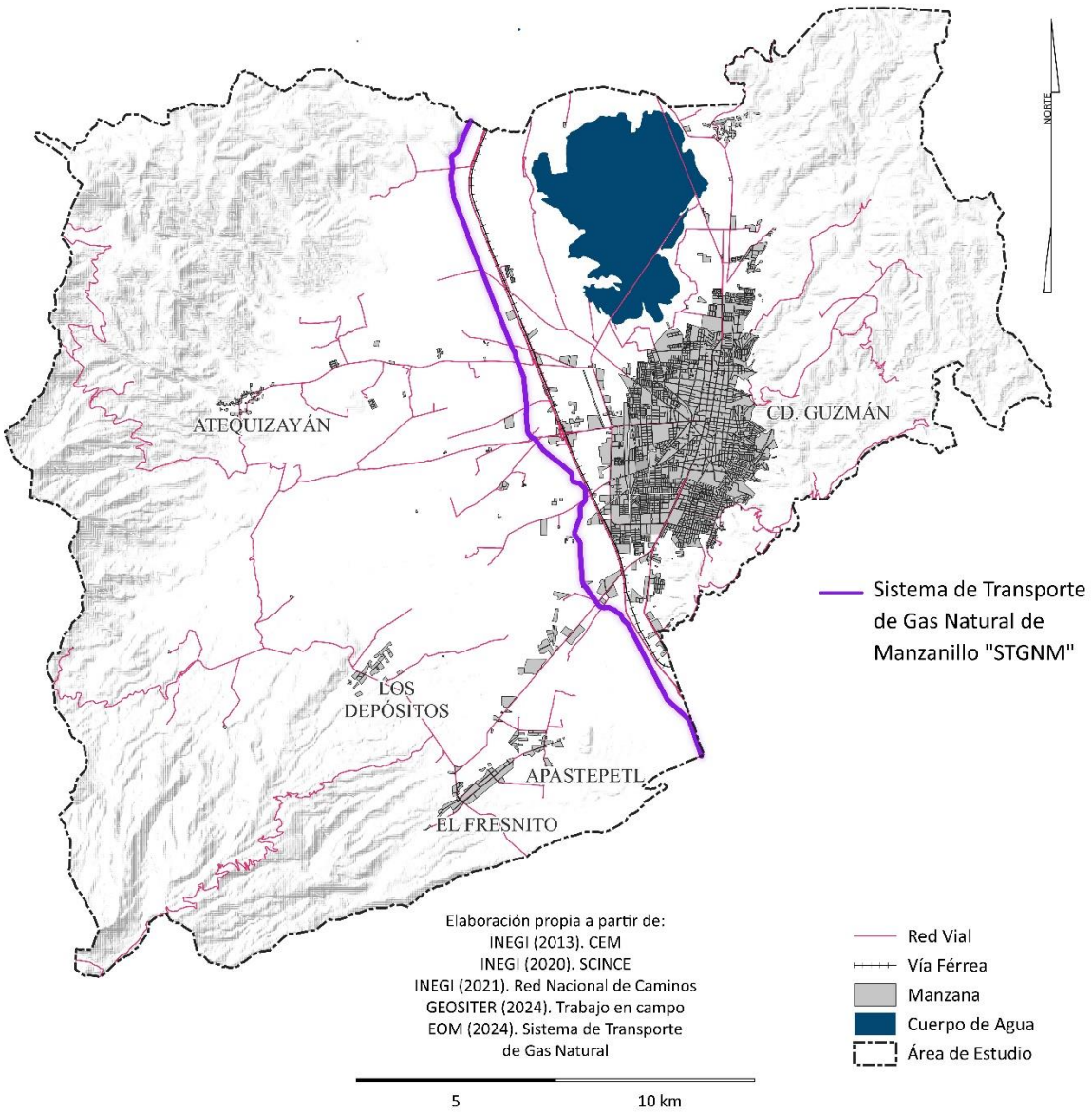
Descripción	Coordenadas UTM (Easting, Northing)	Zona UTM
Norte	655116.0; 2186914.6	14Q
Sur	660897.8; 2171003.35	14Q
Longitud del Gasoducto	14.706109787 km	N/A

Fuente: Elaboración propia.

Identificación de la sustancia transportada

Para identificar los diferentes tipos de sustancias que son transportados en cada uno de los ductos, se tomará en consideración los códigos de colores y otras medidas contenidas en "NRF-009-PEMEX-2001", con la finalidad de identificar los productos transportados por tuberías o contenidas en tanques de almacenamiento. Los ductos para la distribución de gas natural y gas licuado de petróleo deben estar señalizados de acuerdo con la "NOM-003-ASEA-2016 Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos". Además, se determina las características físicas de las sustancias, ya que son parámetros importantes para la simulación del peligro. A continuación, se describen las características generales del gas natural:

- Estado físico del material: líquido, gas, dos fases (líquido y gas).
- Presión de operación, en libras sobre pulgada cuadrada o kilogramos sobre centímetro cuadrado.



Mapa 54. Localización de Gasoducto Manzanillo-Guadalajara
Fuente: Elaboración propia.

Identificación de sustancias y materiales peligrosas transportadas

Las normas NOM-002-SCT/2011 “Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados” y NOM-004-SCT/2008 “Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos”, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, contemplan la información del sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. Estas unidades deben portar carteles de identificación.

Según la Guía de Respuesta en Casos de Emergencia, para el transporte de materiales peligrosos se deberá incluir la siguiente información, indispensable para realizar acciones de protección contra accidentes:

- Número de identificación de 4 dígitos de las Naciones Unidas o NA
- Denominación correcta para el Transporte
- Clase de peligro o número de la división
- Grupo de envase y/o embalaje
- Número de teléfono de respuesta a emergencias
- Información que describe los peligros del material

El número de identificación de las Naciones Unidas o UN puede incluirse en forma de rombo o sobre un fondo naranja y debe mostrarse en los extremos y lados de un autotanque, vehículo o carrotanque.

Esta información permitirá determinar el tipo de sustancia o material peligroso que es transportado de acuerdo al número de las Naciones Unidas (UN), con base en el Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados o la Guía de Respuesta a Emergencias (secciones amarilla y azul). La identificación de las sustancias y materiales peligrosos que se transportan se deberá realizar para cada uno de los medios de transporte terrestre (autotransporte y ferroviario) en las carreteras o vías férreas de interés.

Utilización de las nuevas tecnologías para la modelación de la liberación de materiales peligrosos: nube tóxica, inflamable y explosiva

ALOHA

Se empleó el programa ALOHA Versión 5.4.1.2 para llevar a cabo la simulación y modelado de potenciales accidentes. Este software se centra en la respuesta a incidentes químicos, así

como en la planificación y capacitación, incorporando técnicas avanzadas como un modelo para manejar gases densos. Permite evaluar el impacto de derrames o fugas de materiales tóxicos, inflamables y explosivos desde tanques de almacenamiento y ductos, identificando zonas afectadas y áreas restringidas para distintos escenarios.

ALOHA visualiza la dispersión de gases, ondas de sobrepresión y radiación térmica, y esta información puede superponerse en mapas a través de MARPLOT o imágenes satelitales. El programa es ampliamente utilizado para simular accidentes en la manipulación, transporte o almacenamiento de sustancias peligrosas, considerando los posibles efectos adversos en la salud y el medio ambiente.

Es importante mencionar que ALOHA cuenta con el reconocimiento de diversas instituciones como la Secretaría de Gobernación a través del CENAPRED, SEMARNAT y la Dirección Estatal de Protección Civil, entre otras, y es una herramienta clave en México para la simulación de incidentes químicos, aunque existen otros programas reconocidos con este propósito.

La herramienta ALOHA se fundamenta en información de bases de datos y datos proporcionados por el usuario para prever descargas de materiales tóxicos, explosivos e inflamables. Esta información abarca dimensiones de tanques, ductos, diques, cantidades de materiales almacenados, sus propiedades químicas y físicas, y las condiciones meteorológicas actuales. Una característica clave es su capacidad para estimar emisiones a la atmósfera, hasta por una hora, considerando variaciones temporales promediadas en dos módulos del programa.

Uno de estos módulos es un modelo Gaussiano para prever concentraciones atmosféricas de materiales con densidades similares al aire. El otro, una versión simplificada de DEGADIS, modela gases densos de mayor densidad que el aire. Ambos generan gráficos de concentraciones y dosis en receptores definidos por el usuario. Para gases densos, ALOHA aborda explícitamente el campo cercano y el lejano asumiendo una dispersión similar al aire, considerando posibles condiciones como inversiones térmicas.

ALOHA simula eventos desde 10 metros hasta 10 kilómetros de la fuente. Para distancias cortas, no se anticipan afectaciones significativas; sin embargo, para distancias mayores, las condiciones meteorológicas pueden volverse impredecibles, afectando las concentraciones de forma imprevista.

Generación de Escenarios de Simulación

En el desarrollo de escenarios de riesgos, combinar los criterios de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) con los del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de México permite crear un análisis más integral y adaptado al contexto local. Esta fusión facilita una evaluación que considera tanto los riesgos industriales como los naturales, proporcionando una perspectiva más completa y eficaz. A continuación, se detallan los criterios de ambas entidades y cómo se pueden complementar para lograr una metodología robusta y aplicable.

Integración de Criterios

1. Selección de Escenarios
    - Combinar la identificación de escenarios de peor caso y más probables de la EPA con los riesgos naturales identificados por CENAPRED.
    - Considerar interacciones entre riesgos antropogénicos y naturales, como el impacto de un sismo en una instalación de almacenamiento de sustancias peligrosas.
2. Condiciones Meteorológicas y Geográficas
    - Aplicar condiciones meteorológicas locales y escenarios geográficos específicos de CENAPRED en la modelización de liberaciones químicas.
    - Usar datos históricos y predicciones de fenómenos naturales de CENAPRED para ajustar los escenarios de riesgo.
3. Modelización y Evaluación de Impactos
    - Integrar herramientas de modelización de dispersión de la EPA con mapas de vulnerabilidad y riesgo de CENAPRED.
    - Evaluar impactos combinados considerando tanto los efectos directos de una liberación de sustancias peligrosas como los efectos secundarios de fenómenos naturales.

La generación de escenarios de liberación según el Anexo 19 de la Guía de Contenido Mínimo del Atlas Nacional de Riesgos del CENAPRED implica una serie de criterios generales para establecer escenarios de liberación. Los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 55. Criterios generales para establecer escenarios de liberación "Niveles de interés"

Zona	Toxicidad (ppm)	Incendio (Radiación Térmica)	Explosión (sobrepresión)	Vapores inflamables
Zona de Riesgo	AEGL-2	5.0 kw/m² o 440 BTU/ ft²h	1 lb/ in²	60% LIE (Límite Inferior de Explosividad)
Zona de Amortiguamiento	AEGL-1	1.4 kw/m² o 440 BTU/ ft²h	0.5 lb/ in²	10% LIE (Límite Inferior de Explosividad)

Fuente: Anexo 19 de la Guía de Contenido Mínimo del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED).

Para determinar la tasa de liberación constante en cada tipo de escenario de liberación descrito en el documento, se siguió un proceso sistemático. Primero, se convirtió la capacidad nominal del tanque de galones a litros y se calculó el volumen de llenado al porcentaje especificado de la capacidad nominal. Luego, se convirtió la presión interna del tanque de atmósferas a pascales, utilizando una constante de conversión.

La densidad del líquido específico (como ácido sulfúrico, amoníaco o gasolina) se utilizó a la temperatura ambiente especificada. Posteriormente, se convirtió el diámetro del orificio de pulgadas a metros y se calculó el área del orificio utilizando la fórmula del área para un círculo. La diferencia de presión se calculó multiplicando la presión interna en atmósferas por la constante para convertir a pascales. Se asumió un coeficiente de descarga basado en estándares industriales, generalmente tomado como 0.7.

Finalmente, se aplicó la fórmula de la tasa de $Q=C_d\ A\sqrt{2\Delta P\rho}$, sustituyendo los valores correspondientes para obtener Q. Este método proporciona una guía clara y estandarizada para calcular la tasa de liberación constante, asegurando que los cálculos sean consistentes y precisos, facilitando así la evaluación de riesgos y la planificación de medidas de mitigación.

MARPLOT

MARPLOT (Mapping Applications for Response, Planning, and Local Operational Tasks) es una aplicación de mapeo desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Está diseñada para ser utilizada por los servicios de emergencia, planificadores, y otros profesionales que necesitan visualizar y analizar datos geoespaciales en situaciones de emergencia y planificación.

MARPLOT se integra con otros programas, como ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), para evaluar y modelar la dispersión de sustancias peligrosas en el aire. Esto ayuda a determinar áreas de riesgo y a implementar medidas de mitigación.

Información meteorológica para el modelado de las sustancias peligrosas

Para llevar a cabo la simulación y modelado de accidentes, se empleó información meteorológica necesaria para la aplicación del modelado de accidentes químicos, obtenida entre 2019 y 2023 a través del software WeatherLink. Este software está diseñado específicamente para recopilar, almacenar y presentar datos meteorológicos provenientes de estaciones meteorológicas personales.

Los datos fueron recopilados de las siguientes estaciones personales: Jal. MEX BIO2, San Gabriel, Jal- MEX BIO1, Jal. MEX BIO4 y Ciudad Guzmán, Jal. MEX NaturalezaDulce Zapotlán. Se extrajeron datos de temperatura (°C), velocidad del viento (km/h) y humedad relativa (%). Con base en esta información, se calculó un promedio general en las siguientes tablas y figuras:

Tabla 56. Datos meteorológicos por estación

Estación "Jal. MEX BIO2"						
Variables	2019	2020	2021	2022	2023	Promedio
Temperatura [°C]	22.85	22.91	22.36	22.61	23.23	22.79
Humedad [%]	70.53	71.07	71.09	70.52	70.55	70.75
Velocidad de viento [Km/h]	3.08	1.71	2.59	4.77	3.85	3.20
Estación "San Gabriel, Jal. MEX BIO1"						
Temperatura [°C]	21.64	21.83	21.73	22.00	22.67	21.98
Humedad [%]	74.45	63.84	65.84	66.01	63.01	66.63
Velocidad de viento [Km/h]	1.39	1.03	2.86	6.94	6.68	3.78
Estación "Jal. MEX BIO4"						
Temperatura [°C]	23.39	20.92	22.47	22.83	23.39	22.60
Humedad [%]	67.01	65.56	77.06	68.01	68.17	69.16
Velocidad de viento [Km/h]	-	6.38	3.89	7.04	7.04	6.09
Estación "Jal. MEX BIO4"						
Temperatura [°C]	18.90	18.74	18.27	18.24	18.76	18.58
Humedad [%]	84.35	74.08	74.21	75.43	75.44	76.70
Velocidad de viento [Km/h]	6.20	6.87	6.28	6.89	7.23	6.69

Promedio total	Temperatura [°C]	Humedad relativa [%]	Velocidad de viento [Km/h]
	21.49	70.81	4.94

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Identificación de actividades o instalaciones de alto riesgo

Para la identificación de las instalaciones de alto riesgo ubicadas dentro del municipio de Zapotlán el Grande, se recopiló una base de datos proporcionada por el cuerpo de Protección Civil de Zapotlán el Grande, en la Gerencia de Inspección. Esta acción se enmarca dentro de la evaluación y gestión del riesgo industrial, considerando la rápida evolución tecnológica de la industria en general y la industria química en particular. Esta evolución ha llevado a un significativo crecimiento y aumento de inventarios de productos químicos en instalaciones y medios de transporte, lo cual aumenta la probabilidad de grandes accidentes. La correcta identificación de los distintos tipos de accidentes que pueden ocurrir en una instalación es esencial para una gestión efectiva del riesgo industrial.

La identificación de instalaciones de alto riesgo se desarrolla en dos fases distintas: la primera para detectar posibles accidentes y la segunda para caracterizar sus causas, es decir, los eventos que provocan el incidente no deseado. Entre los métodos de análisis más comunes se encuentran la auditoría de seguridad (Safety review), el análisis histórico de accidentes, los listados de control (Check lists), el análisis de peligro y operabilidad (HAZard and OPerability analysis, HAZOP), entre otros.

El primer paso para una correcta identificación del peligro en una instalación industrial es caracterizar las sustancias involucradas en el proceso. La recopilación de información de un accidente debe realizarse de manera sistemática y detallada, abarcando aspectos como la identificación y tipo de actividad, el tipo de industria y proceso, las principales sustancias implicadas y el tipo de accidente.

Las actividades industriales de alto riesgo se determinan administrativamente según los productos manipulados o almacenados y sus cantidades. Estos productos se clasifican como peligrosos por diferentes entidades gubernamentales según normativas específicas.

Las guías para atlas de riesgo del CENAPRED consideran criterios como el nivel de peligrosidad de las industrias por su giro, facilitando la localización de sustancias relevantes y los posibles escenarios de riesgo.

Se consideraron 40 instalaciones, comercios y locales que operan actualmente dentro del municipio de Zapotlán el Grande, con la colaboración de la Dirección de Protección Civil y Bomberos municipal, para identificar sustancias que representen un peligro potencial. Esta evaluación no solo abarcó los riesgos internos de las empresas y sus trabajadores, sino

también contempló posibles situaciones de fuga, derrame o reacción reactiva que podrían generar un peligro externo, afectando tanto a la población como a la infraestructura circundante.

Para desarrollar el atlas de riesgos químicos del municipio, se trabajó en estrecha colaboración con Protección Civil local. Se llevaron a cabo visitas a las instalaciones industriales y se utilizó tecnología de geo-referenciación como GPS para ubicarlas en mapas precisos. Además, se recopiló información detallada mediante fotografías de las instalaciones, obteniendo datos como nombres de sustancias, volúmenes almacenados y medidas de seguridad conforme a estándares internacionales. Estas acciones se llevaron a cabo en cooperación con instituciones gubernamentales y federales, asegurando la precisión y la integridad de la información recopilada.

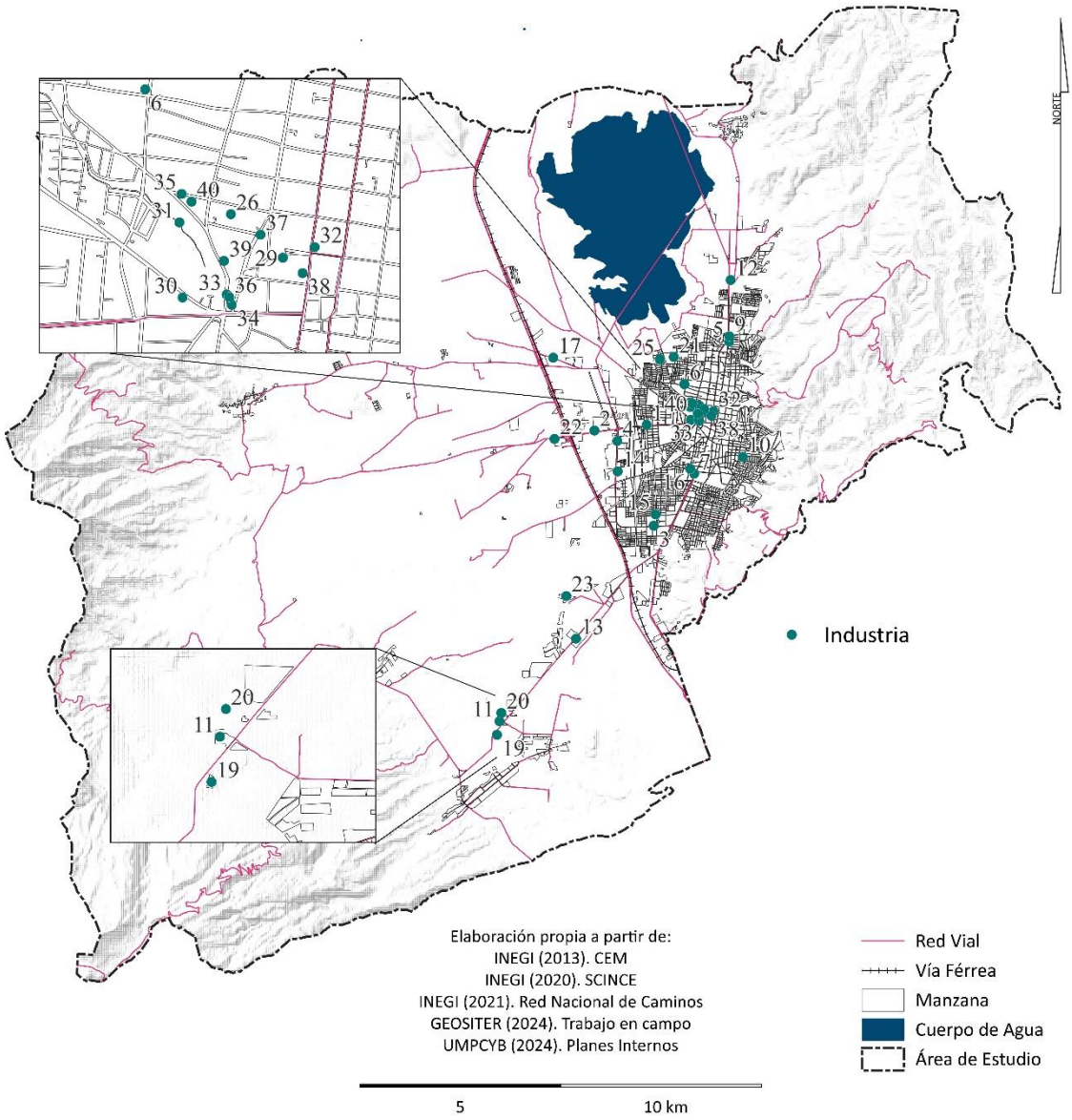
A continuación, se presenta el listado y la cartografía de empresas visitadas en el municipio.

Tabla 57. Localización de industrias, comercios y locales en el municipio

ID	Giro
1	Gasolinería
2	Centro de Almacenamiento y Distribución de Combustibles Petrolíferos
3	Gasolinera
4	Gasolinera
5	Gasolinera
6	Gasolinera
7	Gasolinera
8	Estación de Servicio
9	Estación de Servicio
10	Estación de Servicio
11	Venta y distribución de gas LP
12	Venta y distribución de gas LP
13	Venta y distribución de gas LP
14	Venta y distribución de gas LP
15	Estación de carburación para la venta de gas LP al público
16	Estación de carburación para la venta de gas LP al público
17	Fabricación de espuma celulosa

18	Elaboración y venta de rollitos de hielo
19	
20	Empaque de frutas y verduras frescas
21	Tratamiento de aguas
22	
23	Manufactura de tomate
24	Viveros y plantas de ornato invernadero
25	Lavandería
26	Zapatería
27	Ropa
28	Ropa
29	Venta de desayunos y comida
30	Barberia
31	Fabricación de equipo agrícola
32	bar- Barberia
33	Ludoteca
34	CENTRO EDUCATIVO DE IDIOMAS
35	-
36	Consultorio Psicológico
37	Centro de distribución de composta
38	Abarrotes
39	Frutería
40	Plaza Comercial

Fuente: UMPCyB.



Mapa 55. Localización de industrias, comercios y locales registrados
Fuente: Elaboración propia.

Para la identificación de las instalaciones de alto riesgo ubicadas dentro del municipio de Zapotlán, se recabó y se estructuró una base de datos proporcionada por parte del cuerpo de Protección Civil de Zapotlán, en la Gerencia de Inspección. En la identificación y análisis de

riesgos, se tomó como referencia lo dispuesto en la LEGEEPA, en específico el primer y segundo listado para la clasificación de actividades altamente riesgosas, y las normas aplicables mencionadas en el apartado de marco legal y normativo.

Hay empresas que no disponen de la información necesaria para elaborar sus respectivas simulaciones utilizando el programa adecuado, ya que se requieren datos específicos sobre el tipo de sustancia química que emplean y sus cantidades. Por lo tanto, se trabajó con 21 empresas que contaban con los datos suficientes para la realización de sus respectivas simulaciones. de acuerdo con la Dirección de Protección Civil y Bomberos municipal, poseen en mayor o menor medida alguna sustancia o sustancias que pudieran presentar un peligro potencial. No sólo para los confines espaciales de la empresa y sus trabajadores, sino que, dada una situación de fuga, derrame o reacción reactiva, pudiera convertirse en un peligro externo, es decir, afectar también a la población e infraestructura circundante.

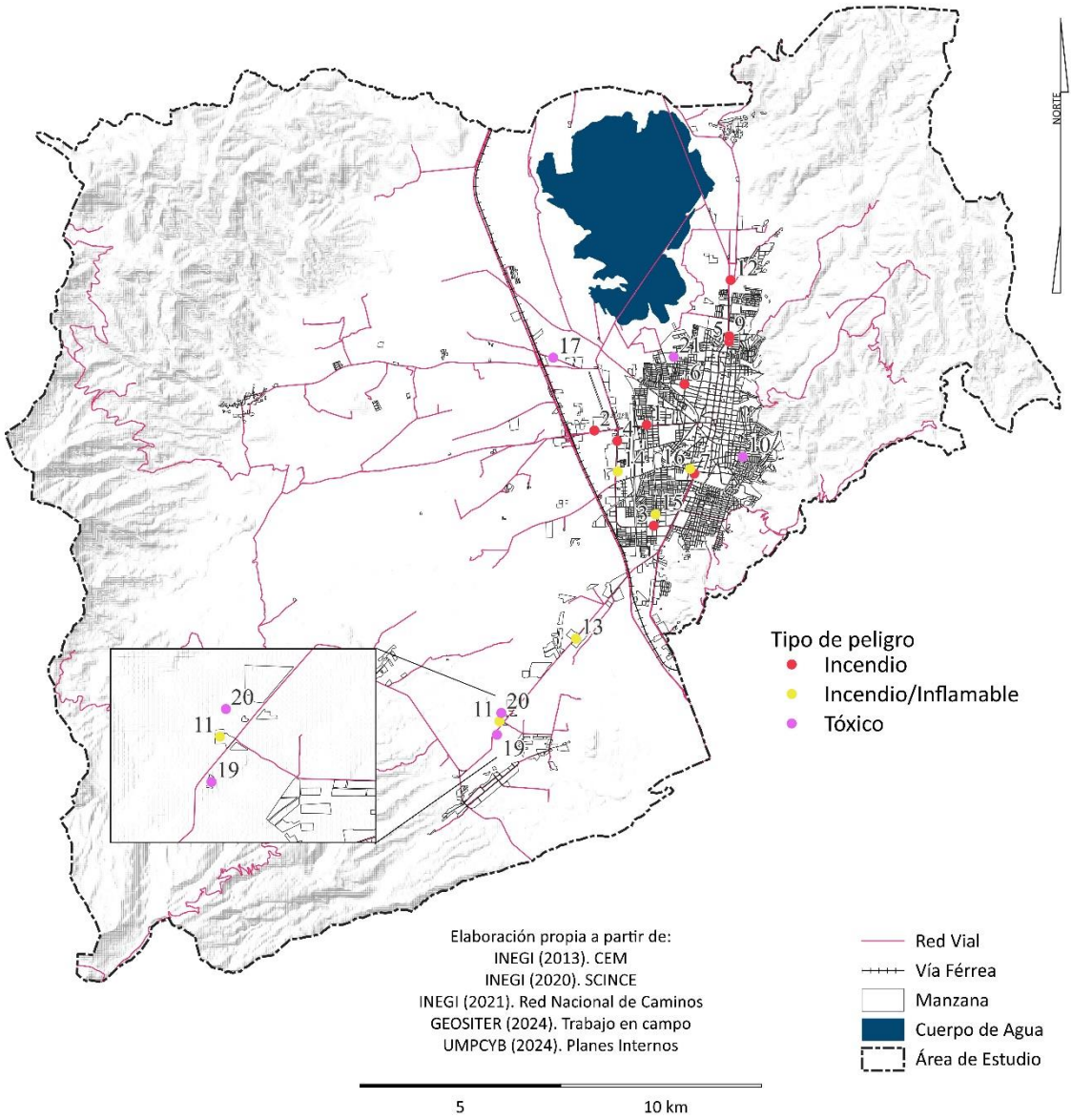
A continuación, en la siguiente tabla, se presentan las industrias que disponían de la información requerida para su correspondiente estudio. Asimismo, se les asigna un número de ID para identificar las distintas industrias en el mapa. De igual forma, el ID será el mismo en el anexo de fichas de cada una de las industrias homologadas.

Tabla 58. Localización de instalaciones con tipo de peligro químico

ID	Giro	Peligro
1	Gasolinería	Incendio
2	Centro de Almacenamiento y Distribución de Combustibles Petrolíferos	Incendio
3	Gasolinera	Incendio
4	Gasolinera	Incendio
5	Gasolinera	Incendio
6	Gasolinera	Incendio
7	Gasolinera	Incendio
8	Estación de Servicio	Incendio
9	Estación de Servicio	Incendio
10	Estación de Servicio	Incendio
11	Venta y distribución de gas LP	Incendio/Inflamable

12	Venta y distribución de gas LP	Incendio
13	Venta y distribución de gas LP	Incendio/Inflamable
14	Venta y distribución de gas LP	Incendio/Inflamable
15	Estación de carburación para la venta de gas LP al público	Incendio/Inflamable
16	Estación de carburación para la venta de gas LP al público	Incendio/Inflamable
17	Fabricación de espuma celulosa	Tóxico
18	Elaboración y venta de rollitos de hielo	Tóxico
19		Tóxico
20	Empaque de frutas y verduras frescas	Tóxico
21	Tratamiento de aguas	Tóxico

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 56. Localización de iinstalaciones por tipo de peligro
Fuente: Elaboración propia.

4.3 Simulaciones de Escenarios de Peligro

Para la modelación aludida previamente, se tomó como radio las distancias calculadas con el programa Aloha; sin embargo, en este caso no se consideró la dirección del viento como un factor para la pluma de dispersión y la orientación que tomaría el efecto hipotético de dispersión de la sustancia (véase el anexo de las fichas por empresa), sino que se graficó un polígono a modo de círculo regular para considerar la mayor superficie de afectación posible con una circunferencia homogénea, considerando así la mayor contingencia posible independientemente de la dirección o velocidad del viento imperante en un momento dado. Estos polígonos tienen por objeto mostrar tanto el área susceptible, como la población y localidades expuestas dado un siniestro específico por cada sustancia y en cada una de las empresas analizadas.

Las simulaciones se realizaron basándose en los escenarios descritos previamente en el documento, representando tanto el peor caso como el caso alternativo. Estas simulaciones se llevaron a cabo utilizando criterios y probabilidades de ocurrencia de un accidente que pudiera causar una posible liberación de sustancias químicas. Los escenarios considerados tomaron como referencia las normativas mexicanas, como la NOM-002-STPS-2010, NOM-028-STPS-2012, y NOM-018-STPS-2015, así como las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), específicamente el "Spill Prevention, Control, and Countermeasure (SPCC) Regulations".

Según estas normativas, los escenarios más probables para modelar accidentes incluyen la fuga o liberación de sustancias debido a problemas en válvulas o corrosión en alguna parte del tanque de almacenamiento. Estas normativas establecen los lineamientos y criterios para evaluar y mitigar los riesgos asociados a la manipulación y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, asegurando que las empresas tomen medidas preventivas adecuadas.

Según el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), la probabilidad de ocurrencia de eventos de liberación en gasolineras es relativamente baja debido a las estrictas normativas y medidas de seguridad implementadas en estas instalaciones. La frecuencia de incidentes significativos en gasolineras es baja comparada con otros sectores industriales, lo que justifica que no se considere necesario realizar simulaciones exhaustivas para todos los posibles escenarios de liberación.

Tanto CENAPRED como la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA) enfatizan la importancia de las medidas de prevención y control en las gasolineras. Estas medidas incluyen sistemas de detección y control de fugas, sistemas de ventilación, procedimientos operativos estandarizados y capacitaciones regulares al personal. Estas acciones están

diseñadas para minimizar la posibilidad de incidentes y mitigar sus efectos en caso de que ocurran.

La ASEA no considera probable la generación de un escenario de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) en tanques subterráneos de almacenamiento de gasolina. La razón principal es que los tanques subterráneos están protegidos por el terreno que los rodea, lo cual actúa como un escudo térmico y mecánico, reduciendo significativamente el riesgo de un BLEVE. Además, la temperatura de almacenamiento de la gasolina en estos tanques se mantiene bajo control, evitando condiciones que podrían llevar a una BLEVE.

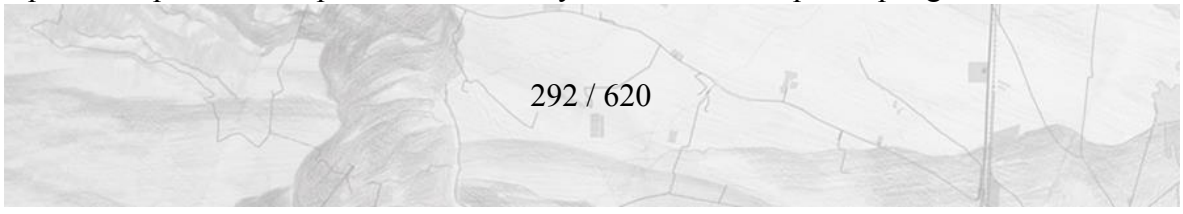
En sus guías y manuales técnicos sobre la gestión de riesgos en instalaciones de almacenamiento de combustibles, CENAPRED menciona que la evaluación de riesgos debe considerar la probabilidad de ocurrencia y las medidas de control existentes. Esto implica que, en contextos donde las medidas de prevención son robustas y efectivas, la necesidad de simulaciones detalladas para todos los escenarios posibles se reduce.

La regulación de ASEA sobre el diseño, construcción, operación y mantenimiento de estaciones de servicio de distribución de combustibles establece estándares que minimizan los riesgos de liberaciones significativas. En particular, ASEA resalta que los tanques subterráneos presentan una menor vulnerabilidad a explosiones y otros eventos catastróficos debido a su confinamiento y protección natural.

La combinación de una baja probabilidad de ocurrencia de eventos de liberación significativa en gasolineras, junto con las rigurosas medidas de prevención y control implementadas, justifica la decisión de no realizar simulaciones detalladas para todos los posibles escenarios de liberación. Las recomendaciones de CENAPRED y ASEA respaldan esta decisión, enfocándose en mantener y mejorar las medidas preventivas y de control existentes, las cuales son efectivas para gestionar los riesgos en estas instalaciones.

Además de los mencionados, se tuvieron en cuenta los parámetros específicos de cada sustancia, como su toxicidad, reactividad, y las condiciones de almacenamiento, para obtener simulaciones más precisas y realistas. Estas simulaciones permiten identificar las áreas de mayor riesgo y desarrollar estrategias efectivas para prevenir accidentes y minimizar su impacto en la población y el medio ambiente.

La información recabada por el software ALOHA fue utilizada para crear fichas técnicas específicas por cada empresa involucrada y de acuerdo al tipo de peligro asociado. Estas



fichas incluyen un análisis detallado de los criterios tomados para las simulaciones, tales como las características físicas y químicas de las sustancias involucradas, las condiciones meteorológicas y las especificaciones de los equipos. Además, cada ficha contiene la representación gráfica de los modelos generados en las simulaciones y un análisis exhaustivo de las posibles consecuencias de los escenarios simulados.

Cada instalación ha sido identificada con un ID único, como se menciona en el documento, lo que permite una clara referencia y clasificación de las simulaciones de los peligros asociados a cada una de ellas. Esta identificación facilita el seguimiento de las medidas de prevención y mitigación específicas para cada instalación. Las simulaciones permiten una evaluación precisa de las áreas de afectación, ayudando a la toma de decisiones en la planificación de contingencias y medidas preventivas.

Figura 109. Ejemplo de ficha técnica por instalación modelada
Fuente: Elaboración propia.

Simulaciones de peligro tóxico

Una vez identificadas las actividades o instalaciones de alto riesgo de acuerdo a la normatividad aplicable, se procedió a realizar la simulación de accidentes potenciales. En cada simulación se incluye una zona de alto riesgo y una zona de amortiguamiento. El AEGL-2 describe la zona de riesgo y es aquella que, en caso de exposición, puede provocar efectos adversos irreversibles o de gravedad significativa en la salud, pero que no son letales ni ponen en peligro la vida. El AEGL-1 describe la zona de amortiguamiento y es aquella que, en caso de exposición, puede causar efectos leves y transitorios en la salud, como irritación o malestar, pero que no afectan significativamente el rendimiento funcional ni la capacidad de escapar de la zona afectada.

Tabla 59. Zonas de peligro por nube tóxica para el Peor Caso

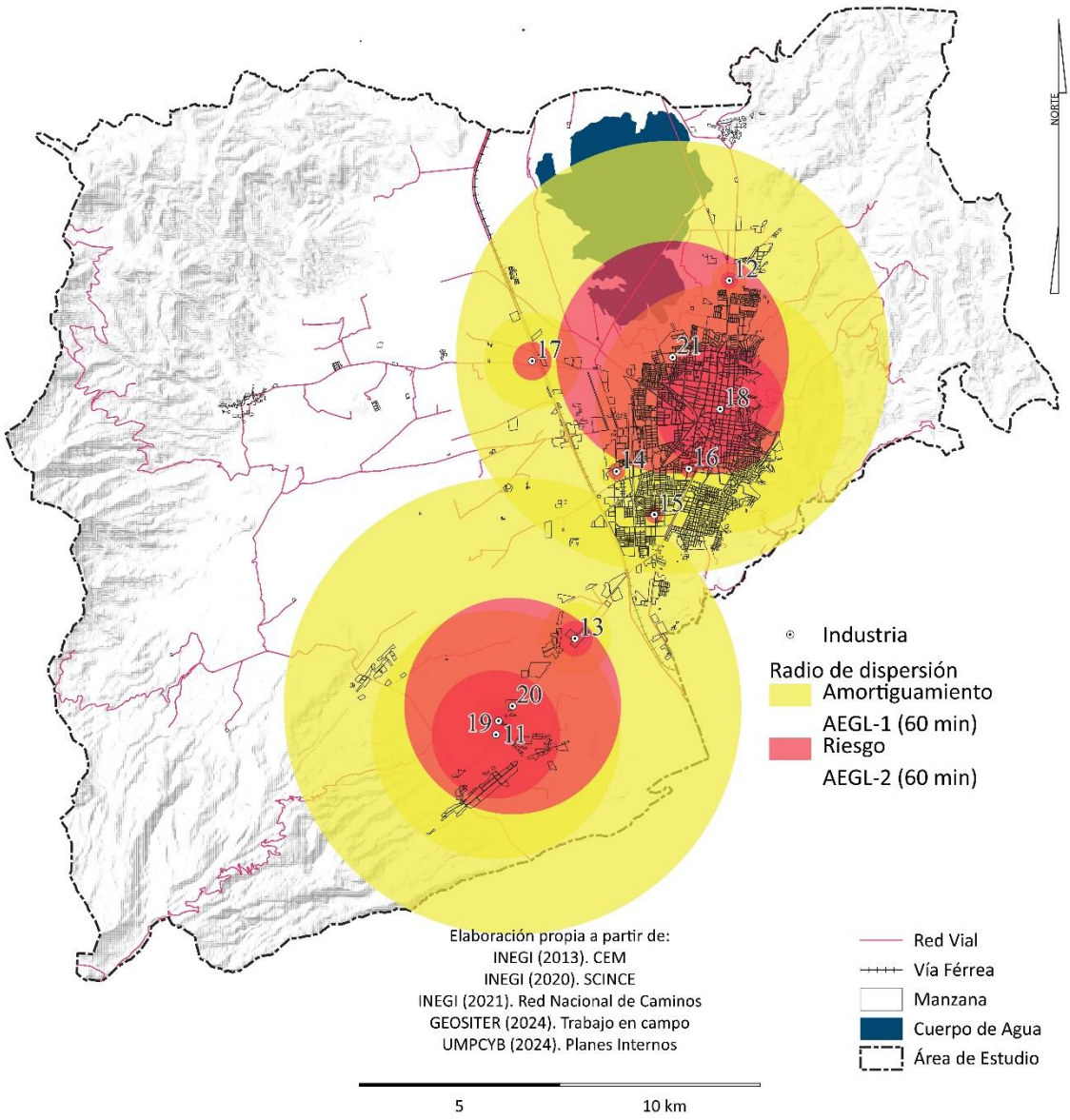
ID	Sustancia	Cantidad almacenada [L]	Radio de Amortiguamiento [m]	Radio de Riesgo [m]	Población afectada
11	Gas LP	150000	664	331	6
12	Gas LP	5000	434	215	1
13	Gas LP	250000	895	444	714
14	Gas LP	5000	434	215	708
15	Gas LP	5000	434	215	4,511
16	Gas LP	5000	434	215	1,869
17	Bisulfuro de Carbono	1600	1200	482	16
18	Amoniaco	1000	3100	1600	101,433
19	Amoniaco	2000	3100	1600	1,907
20	Amoniaco	10500	5700	2700	7,868
21	Gas Cloro	907 {kg]	5400	2900	112,535

Fuente: Elaboración propia.

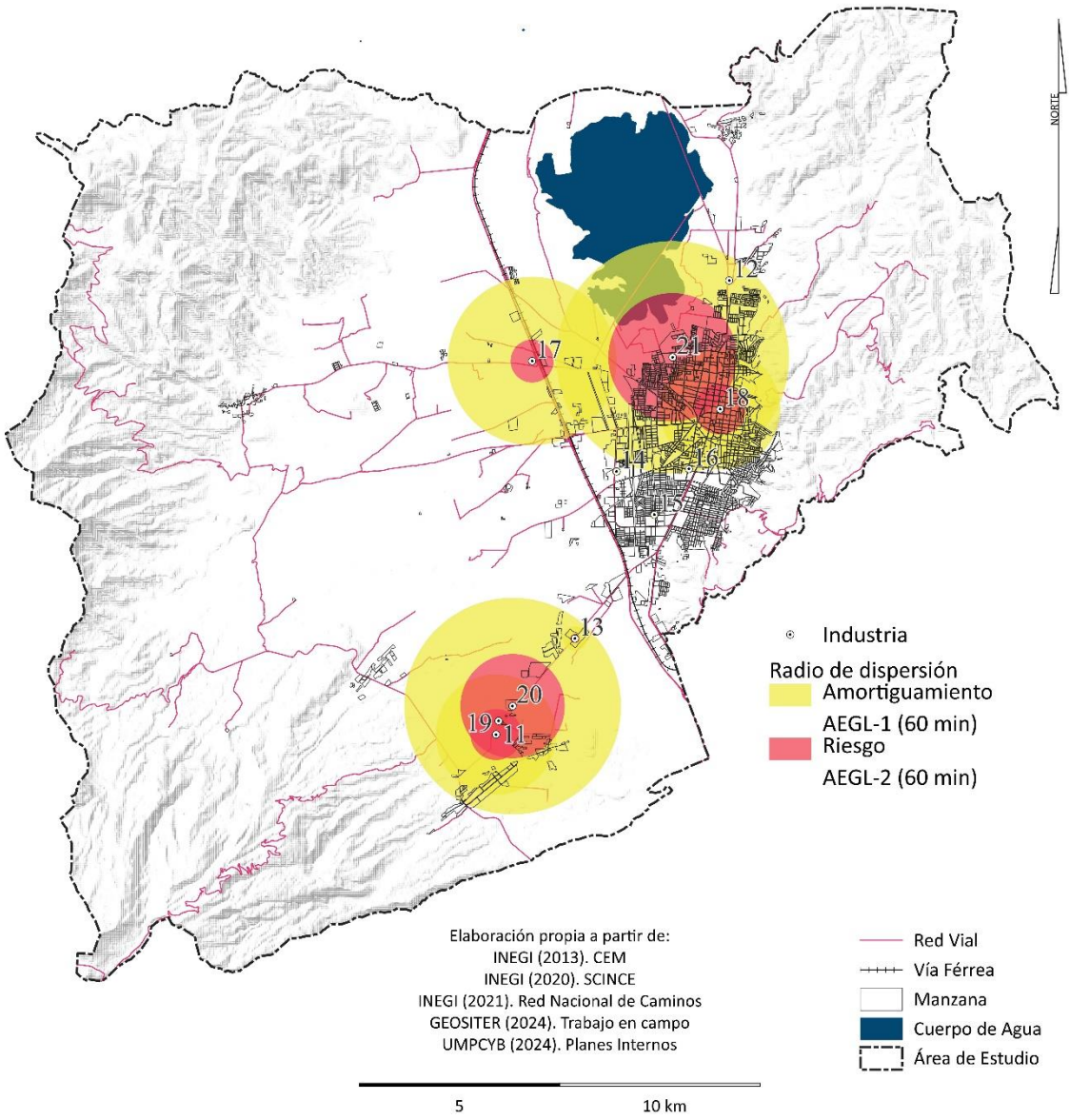
Tabla 60. Zonas de peligro por nube tóxica para caso Alternativo

ID	Sustancia	Cantidad almacenada [L]	Radio de Amortiguamiento [m]	Radio de Riesgo [m]	Población afectada
11	Gas LP	150,000	199	75	2
12	Gas LP	5,000	110	42	-
13	Gas LP	250,000	300	114	-
14	Gas LP	5,000	110	42	130
15	Gas LP	5,000	110	42	552
16	Gas LP	5,000	110	42	177
17	Bisulfuro de Carbono	1,600	2,100	536	223
18	Amoniaco	1,000	1,500	636	43,143
19	Amoniaco	2,000	1,500	636	1,087
20	Amoniaco	10,500	2,700	1,300	1,802
21	Gas Cloro	907 {kg]	2,900	1,600	66,791

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 57. Zonas de peligro por nube tóxica para el Peor Caso
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 58. Zonas de peligro por nube tóxica para caso Alternativo
Fuente: Elaboración propia.

Simulaciones de peligro inflamable

Una vez identificadas las actividades o instalaciones de alto riesgo de acuerdo a la normatividad aplicable, se procedió a realizar la simulación de accidentes potenciales con materiales inflamables. En cada simulación se incluye una zona de alto riesgo y una zona de amortiguamiento.

La zona de alto riesgo es aquella donde, en caso de un incendio o explosión, se pueden esperar daños severos a la infraestructura, lesiones graves a las personas, y un alto riesgo de fatalidades. Esta zona es delimitada considerando la intensidad y el alcance del calor radiante y la onda expansiva generada por la explosión, y se define específicamente como el área donde la concentración de la sustancia inflamable alcanza el 60% del Límite Inferior de Explosividad (LIE).

La zona de amortiguamiento, por otro lado, es aquella donde los efectos del incendio o explosión son menos severos, pero aún pueden causar daños significativos. En esta área, las personas pueden experimentar quemaduras leves a moderadas y daños menores a la infraestructura. La capacidad de las personas para evacuar la zona afectada sin sufrir lesiones graves también es un factor crítico considerado en la delimitación de esta zona. Esta zona se define como el área donde la concentración de la sustancia inflamable alcanza el 10% del Límite Inferior de Explosividad (LIE).

En ambas zonas, las simulaciones consideran variables como la cantidad de material inflamable presente, las condiciones meteorológicas, y la proximidad a otras instalaciones o áreas habitadas, para proporcionar una evaluación detallada y precisa de los riesgos y los posibles impactos de un accidente.

Tabla 61. Zonas de peligro por nube de vapor inflamable para el Peor Caso

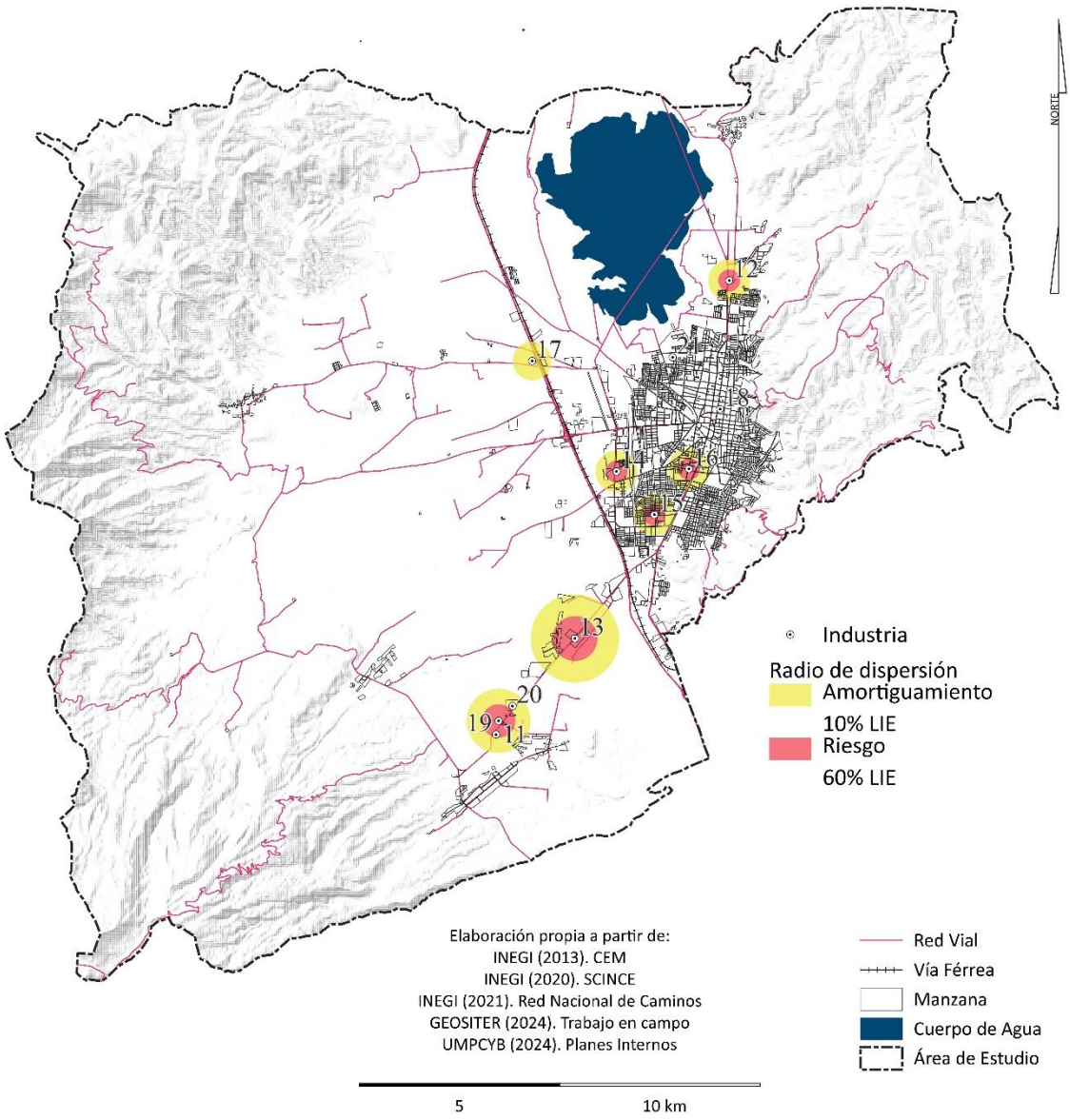
ID	Sustancia	Cantidad almacenada [L]	Radio de Amortiguamiento [m]	Radio de Riesgo [m]	Población afectada
11	Gas LP	150,000	799	331	65
12	Gas LP	5,000	521	273	85
13	Gas LP	250,000	1,100	560	7,147
14	Gas LP	5,000	521	273	764
15	Gas LP	5,000	521	273	5,727
16	Gas LP	5,000	521	273	3,484

Fuente: Elaboración propia.

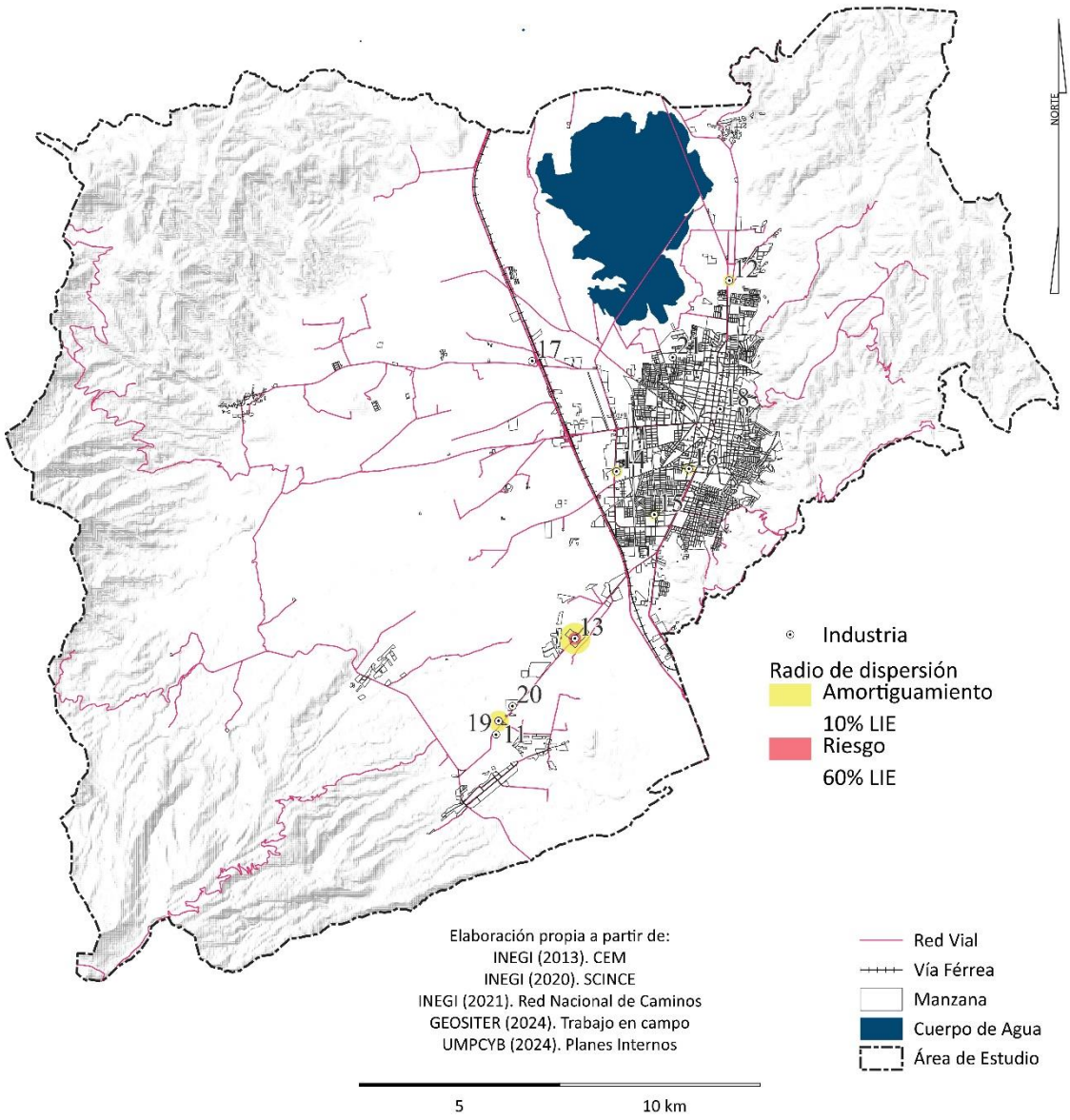
Tabla 62. Zonas de peligro por nube de vapor inflamable para caso Alternativo

ID	Sustancia	Cantidad almacenada [L]	Radio de Amortiguamiento [m]	Radio de Riesgo [m]	Población afectada
11	Gas LP	150,000	105	257	0
12	Gas LP	5,000	143	58	0
13	Gas LP	250,000	388	114	0
14	Gas LP	5,000	143	58	130
15	Gas LP	5,000	143	58	762
16	Gas LP	5,000	143	58	177

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 59. Zonas de peligro por nube de vapor inflamable para el Peor Caso
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 60. Zonas de peligro por nube de vapor inflamable para caso Alternativo
Fuente: Elaboración propia.

Simulaciones de peligro explosivo

Una vez identificadas las actividades o instalaciones de alto riesgo de acuerdo a la normatividad aplicable, se procedió a realizar la simulación de accidentes potenciales con materiales explosivos. En cada simulación se incluye una zona de alto riesgo y una zona de amortiguamiento.

La zona de alto riesgo es aquella donde, en caso de una explosión, se pueden esperar daños severos a la infraestructura, lesiones graves a las personas y un alto riesgo de fatalidades. Esta zona es delimitada considerando la intensidad de la onda expansiva generada por la explosión y se define específicamente como el área donde la presión de la onda de choque alcanza 1.0 psi.

La zona de amortiguamiento, por otro lado, es aquella donde los efectos de la explosión son menos severos, pero aún pueden causar daños significativos. En esta área, las personas pueden experimentar lesiones leves a moderadas y daños menores a la infraestructura. La capacidad de las personas para evacuar la zona afectada sin sufrir lesiones graves también es un factor crítico considerado en la delimitación de esta zona. Esta zona se define como el área donde la presión de la onda de choque alcanza 0.5 psi.

En ambas zonas, las simulaciones consideran variables como la cantidad de material explosivo presente, las condiciones meteorológicas y la proximidad a otras instalaciones o áreas habitadas, para proporcionar una evaluación detallada y precisa de los riesgos y los posibles impactos de un accidente.

Tabla 63. Zonas de peligro por Onda de Sobrepresión para el Peor Caso

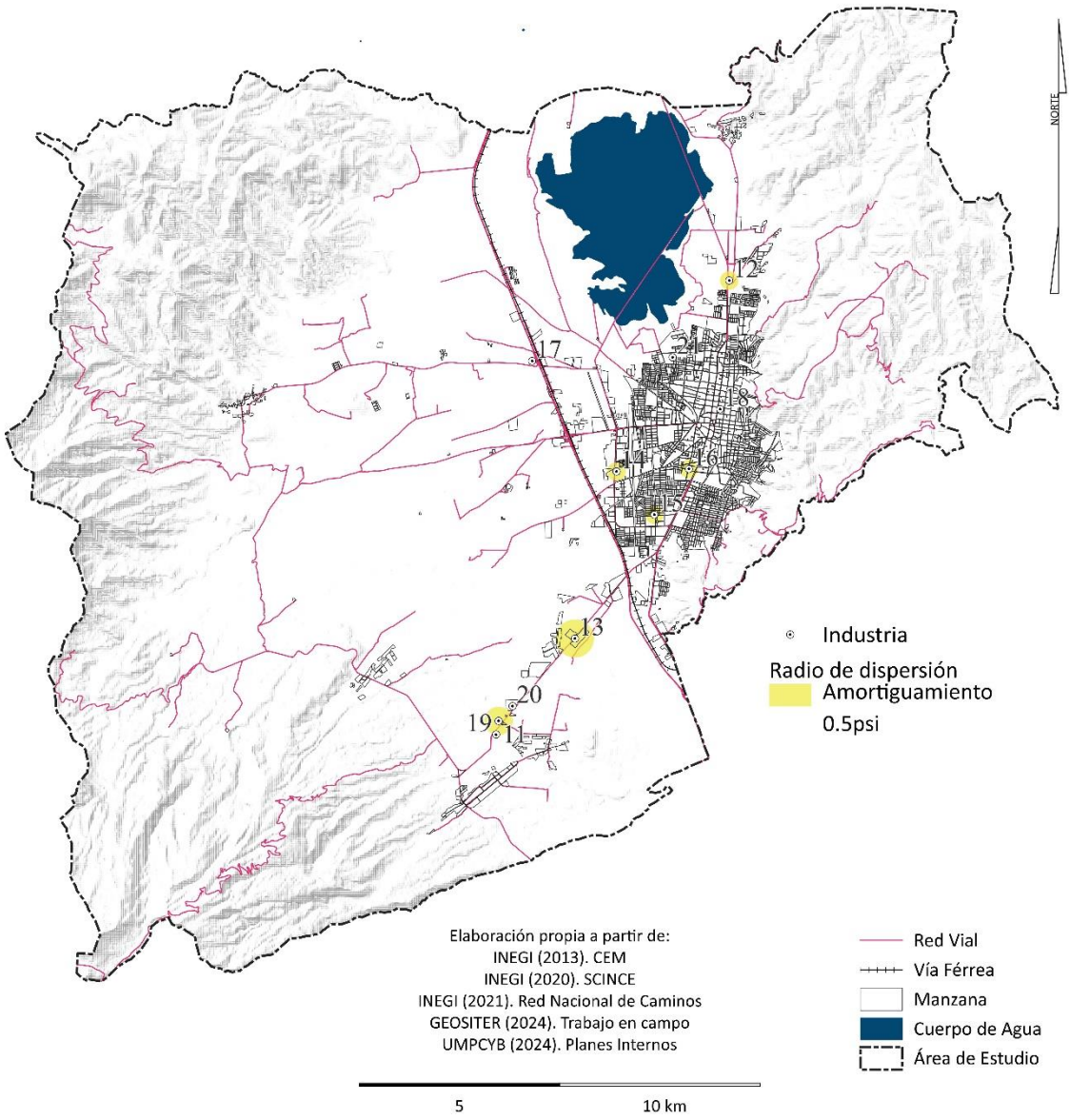
ID	Sustancia	Cantidad almacenada [L]	Radio de Amortiguamiento [m]	Radio de Riesgo [m]	Población afectada
11	Gas LP	150,000	352	0	2
12	Gas LP	5,000	229	0	-
13	Gas LP	250,000	474	0	714
14	Gas LP	5,000	229	0	130
15	Gas LP	5,000	229	0	1,408
16	Gas LP	5,000	229	0	398

Fuente: Elaboración propia.

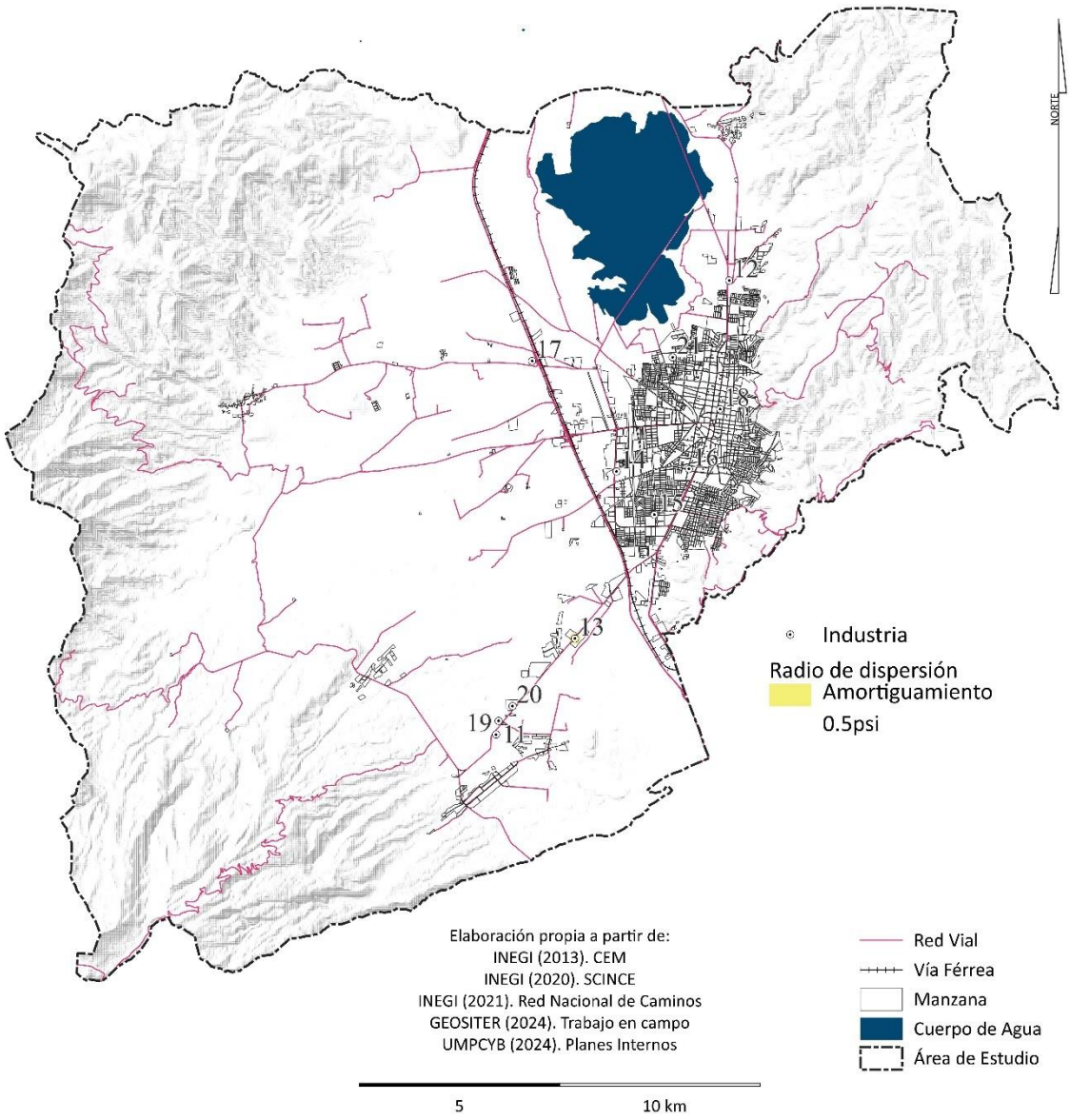
Tabla 64. Zonas de peligro por Onda de Sobrepresión para caso Alternativo

ID	Sustancia	Cantidad almacenada [L]	Radio de Amortiguamiento [m]	Radio de Riesgo [m]	Población afectada
11	Gas LP	150,000	88	0	-
12	Gas LP	5,000	49	0	-
13	Gas LP	250,000	132	0	-
14	Gas LP	5,000	49	0	130
15	Gas LP	5,000	49	0	195
16	Gas LP	5,000	49	0	76

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 61. Zonas de peligro por Onda de Sobrepresión para el Peor Caso
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 62. Zonas de peligro por Onda de Sobrepresión para caso Alternativo
Fuente: Elaboración propia.

Instalaciones con peligro a incendio

Una vez identificadas las actividades o instalaciones de alto riesgo de acuerdo a la normatividad aplicable se han utilizado diversas metodologías comunes para el análisis del riesgo de incendio. Estas metodologías permiten evaluar de manera integral los factores que contribuyen al riesgo de incendio en instalaciones como gasolineras y estaciones de servicio. A continuación, se presenta una introducción a las metodologías repetidas que se emplean en estos análisis, las cuales abarcan desde la evaluación de la superficie construida hasta la planificación y capacitación del personal, asegurando un enfoque detallado y normativo para mitigar los riesgos de incendio.

A continuación, se enumeran las metodologías que se repiten en los análisis de riesgo de incendio en los Programas Internos de Protección civil:

1. Evaluación de la Superficie Construida:
    - La clasificación del riesgo se basa en la superficie total construida de la instalación. Superficies más grandes suelen considerarse de mayor riesgo debido a la cantidad de material combustible presente.
2. Inventario de Gases Inflamables:
    - Evaluación de la cantidad de gases inflamables almacenados. Se clasifica el riesgo como ordinario o alto dependiendo del volumen almacenado.
3. Inventario de Líquidos Inflamables:
    - Evaluación de la cantidad de líquidos inflamables como gasolina o diésel. Una cantidad significativa de líquidos inflamables resulta en una clasificación de riesgo alto.
4. Inventario de Líquidos Combustibles:
    - Evaluación de la cantidad de líquidos combustibles almacenados, como aceites y lubricantes. Una cantidad significativa puede incrementar el nivel de riesgo.
5. Inventario de Sólidos Combustibles:
    - Evaluación de la cantidad de sólidos combustibles, como papel, cartón, madera, entre otros. La presencia de grandes cantidades contribuye a un riesgo alto.

6. Condiciones de las Instalaciones:

   - Evaluación visual de las condiciones estructurales y de seguridad de las instalaciones, como la presencia de grietas, deformaciones, filtraciones de agua y la condición de las escaleras y barandales.

7. Equipos de Emergencia y Sistemas de Prevención:

   - Revisión de la disponibilidad y estado de los equipos contra incendios (extintores, detectores de humo, alarmas), señalización de rutas de evacuación y salidas de emergencia.

8. Evaluación de Riesgos Externos:

   - Identificación de posibles fuentes de riesgo en el entorno inmediato de la instalación, como la proximidad a otras gasolineras, fábricas, vías de ferrocarril, líneas eléctricas, y posibles fenómenos naturales como sismos e inundaciones.

9. Planificación y Capacitación:

   - Evaluación de los planes de emergencia y contingencia, la formación y capacitación del personal en la prevención y manejo de incendios, y la organización de simulacros.

10. Cumplimiento Normativo:

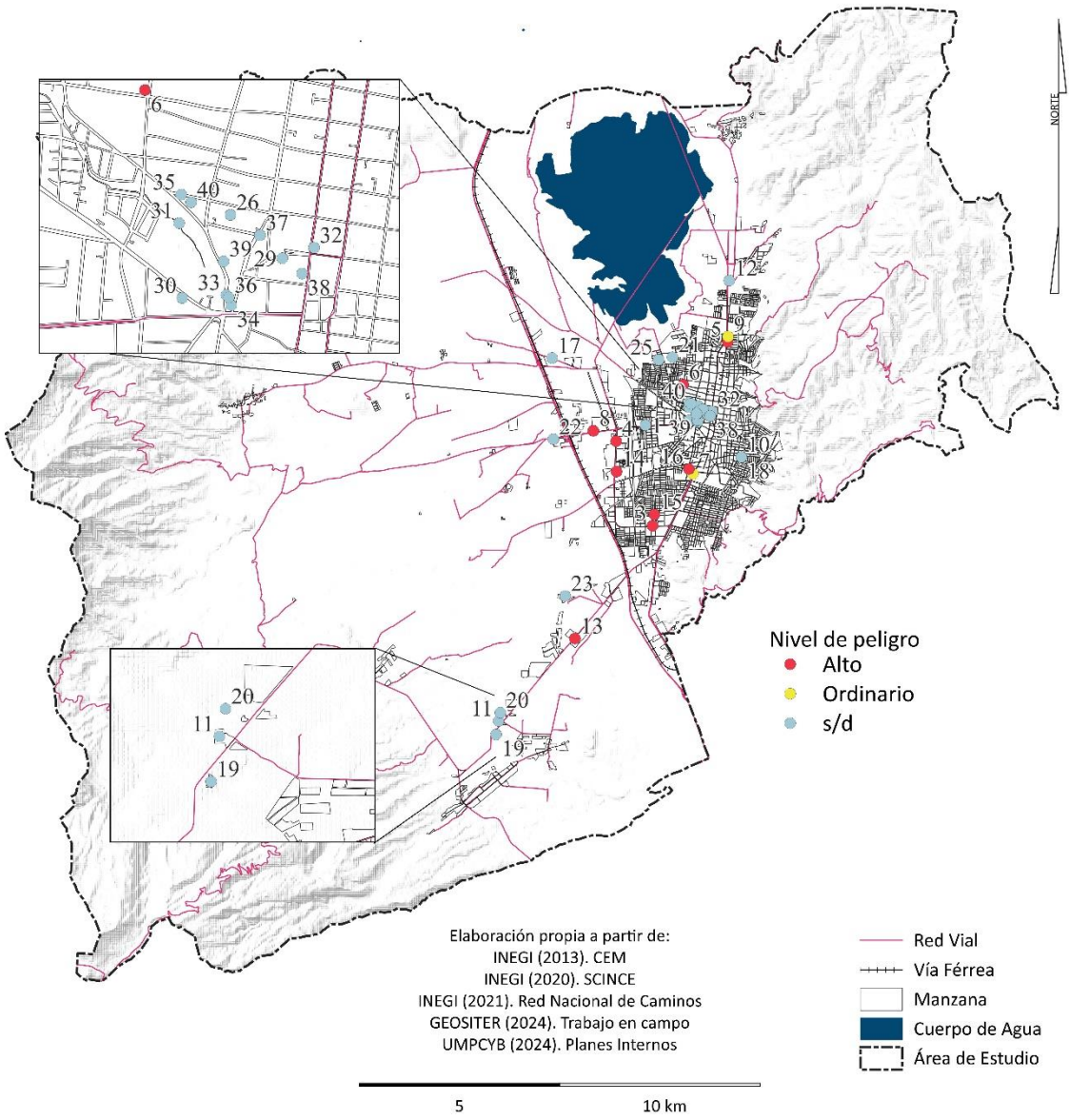
    - Alineación con las normas oficiales mexicanas relevantes (como NOM-002-STPS-2010) para asegurarse de que se cumplen los estándares legales y de seguridad.

Estas metodologías proporcionan un enfoque integral para evaluar el riesgo de incendio, abarcando tanto los factores internos como externos, y asegurando que se tomen medidas adecuadas para mitigar los riesgos identificados.

Tabla 65. Instalaciones con peligro de Incendio

ID	GIRO	Ordinario	Alto
1	Gasolinera		X
2	Centro de Almacenamiento y Distribución de Combustibles Petrolíferos		X
3	Gasolinera		X
4	Gasolinera		X
5	Gasolinera		X
6	Gasolinera		X
7	Gasolinera	X	
8	Estación de Servicio		X
9	Estación de Servicio	X	
10	Estación de servicio		X
13	Venta y distribución de gas lp		X
14	Venta y distribución de gas lp		X
15	Estación de carburación para la venta de gas LP al publico		X
16	Estación de carburación para la venta de gas LP al publico		X

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 63. Geolocalización de instalaciones con peligro de Incendio
Fuente: Elaboración propia.

Transporte de sustancias peligrosas por Ductos

En Jalisco, la problemática del robo de combustible, conocido como “huachicoleo”, ha sido particularmente prominente. A pesar de los esfuerzos gubernamentales para combatir este delito, las tomas clandestinas han aumentado en los últimos años. En 2022, se reportaron 615 tomas clandestinas, situando a Jalisco en el sexto lugar a nivel nacional por la cantidad de estos incidentes. En 2023, el estado se posicionó en el cuarto lugar con 278 casos documentados solo en el primer trimestre del año. Municipios como Tlajomulco, Zapotlanejo y Tala han sido los más afectados, con un gran número de tomas clandestinas identificadas (El Informador, 2023).

Los principales riesgos asociados con estos incidentes incluyen:

- Tomas clandestinas: Este es el problema más común y representa un riesgo elevado tanto para las personas como para el medio ambiente.
- Corrosión: Afecta la integridad de los ductos, pudiendo causar fugas o rupturas.
- Golpes mecánicos: Ocurren cuando maquinaria pesada o actividades de construcción impactan los ductos.
- Falla de soldadura transversal: Defectos en las soldaduras pueden provocar fisuras y eventual ruptura del ducto.
- Fisura por sobrepresión: El aumento de presión dentro del ducto puede causar fisuras o explosiones.
- Falla de abrazadera y materiales defectuosos: Componentes defectuosos pueden fallar, provocando fugas.
- Sobreesfuerzo por movimiento terrestre: Movimientos sísmicos o deslizamientos de tierra pueden dañar los ductos.
- Fugas en válvulas y ruptura de monoblock: Problemas en las válvulas y componentes críticos pueden resultar en escapes de gas.
- Golpe de ariete: Fluctuaciones rápidas de presión pueden dañar los ductos.

Estos eventos no solo representan un peligro directo, sino que también pueden tener consecuencias a largo plazo, como daños ambientales graves y riesgos para la salud pública (Atmosi, 2023).

Para mitigar estos riesgos, se han implementado medidas como el monitoreo constante de los ductos, la implementación de sistemas de detección de fugas y la vigilancia por parte de las

autoridades. Además, es crucial mantener la integridad de los ductos a través de programas de mantenimiento preventivo y la colaboración con las comunidades locales para reportar actividades sospechosas.

Clasificación de fugas de gas natural y gas LP según Normas Oficiales Mexicanas NOM-007-ASEA-2016 y NOM-003-ASEA-2016:

- Grado 1: Fugas que representan un peligro inminente para personas, medio ambiente o instalaciones. Deben repararse de inmediato para evitar asfixia, incendio o explosión.
- Grado 2: Fugas que no son peligrosas al detectarse, pero representan un riesgo futuro. Se programa su reparación para prevenir peligros.
- Grado 3: Fugas que no son peligrosas al detectarse y no representan un riesgo futuro inmediato. Se reevalúan periódicamente hasta su reparación para evitar cambios de grado.

Condiciones de Operación del Gasoducto STGNM

Presión de Operación

El gasoducto del STGNM está diseñado para operar a una presión máxima de 7,850 kPa. Esta alta presión asegura que el gas natural puede ser transportado eficientemente a lo largo de su recorrido de 293.7 kilómetros desde Manzanillo hasta El Salto, Jalisco.

Temperatura de Operación

Aunque el documento específico no proporciona detalles exactos sobre la temperatura de operación, es común que los gasoductos de gas natural operen a temperaturas que varían con las condiciones ambientales y la compresión del gas. Generalmente, estos sistemas están diseñados para soportar un rango de temperaturas que pueden ir desde -20°C hasta 60°C. Este rango permite que el sistema funcione de manera segura en diversas condiciones climáticas.

Material y Diámetro

El gasoducto está construido con acero al carbón, grado X70, conocido por su alta resistencia y durabilidad. El diámetro del ducto es de 30 pulgadas, lo cual es adecuado para manejar grandes volúmenes de gas natural, asegurando un flujo constante y eficiente.

Protección Contra la Corrosión

El gasoducto cuenta con sistemas de protección catódica para prevenir la corrosión, lo que es crucial para mantener la integridad del ducto a largo plazo. Estos sistemas protegen el acero al carbón del deterioro causado por las condiciones ambientales y el contacto con el suelo.

Supervisión y Control

El sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) permite la supervisión en tiempo real de las operaciones del gasoducto. Este sistema monitorea continuamente la presión, el flujo y otras variables críticas, y puede detectar anomalías como fugas o caídas de presión, activando alarmas y procedimientos de emergencia.

Sistemas de Seguridad

El gasoducto está equipado con válvulas de seccionamiento automáticas que se cierran en caso de detectar una caída de presión significativa. Además, cuenta con sistemas avanzados de detección de fugas que utilizan sensores especializados para identificar cualquier escape de gas.

Medidas Adicionales

1. Sistemas de Detección de Fugas: Utilización de sensores y monitoreo continuo para detectar y responder rápidamente a cualquier fuga de gas.
2. Monitoreo Ambiental: Evaluaciones regulares de las condiciones ambientales para asegurar que el gasoducto no impacte negativamente el entorno.
3. Mantenimiento Preventivo: Programas de mantenimiento regular para inspeccionar y reparar cualquier parte del gasoducto que pueda estar comprometida.

Simulaciones por peligro de transporte de sustancias peligrosas por Ducto

En la evaluación de riesgos del Sistema de Transporte de Gas Natural de Manzanillo (STGNM), se han considerado dos escenarios críticos para simular posibles eventos de liberación de gas: el escenario de peor caso y el escenario de liberación alternativo. Estos escenarios se han desarrollado siguiendo criterios rigurosamente evaluados en el apartado “Marco legal y normativo aplicado al Transporte de Sustancias Peligrosas por Ductos”, alineados con normativas tanto mexicanas como internacionales.

Para el escenario de peor caso, se ha modelado la ruptura total de la tubería de transporte. En esta situación, se asume una fuga instantánea de gas natural durante un periodo de 1 minuto, bajo condiciones atmosféricas específicas que representan el peor escenario posible. Este

enfoque permite evaluar el impacto máximo potencial en términos de dispersión de gas, riesgos de explosión y consecuencias ambientales.

El escenario de liberación alternativo contempla una ruptura parcial del ducto, equivalente al 20% del diámetro nominal de la tubería. En este caso, se considera un tiempo de respuesta de 10 minutos para el cierre de válvulas automáticas. Este tiempo de respuesta refleja los estándares de seguridad y las capacidades operativas actuales para la detección y contención de fugas en la infraestructura del gasoducto.

Tabla 66. Zonas de afectación por escenario de Peor Caso

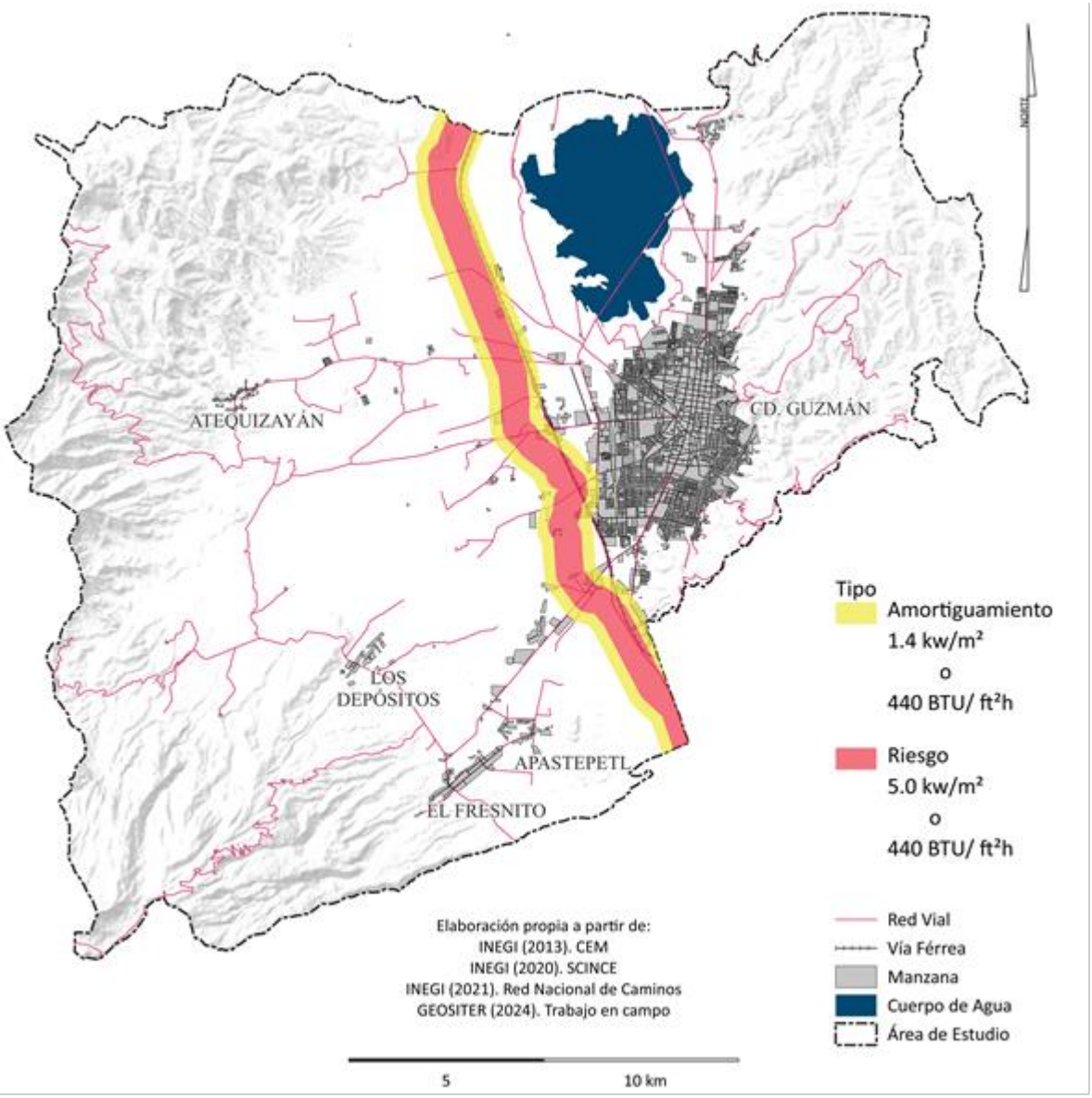
Sustancia transportada	Tipo de peligro	Zona de amortiguamiento	Zona de Riesgo
Metano	Radiación térmica	665 [1.4 kW/m²]	362 [5.0 kW/m²]
	Sobrepresión	250 [0.5 psi]	No excede
	Vapores inflamables	1.9 [10% LIE]	283 [60% LIE]

Fuente: Elaboración propia.

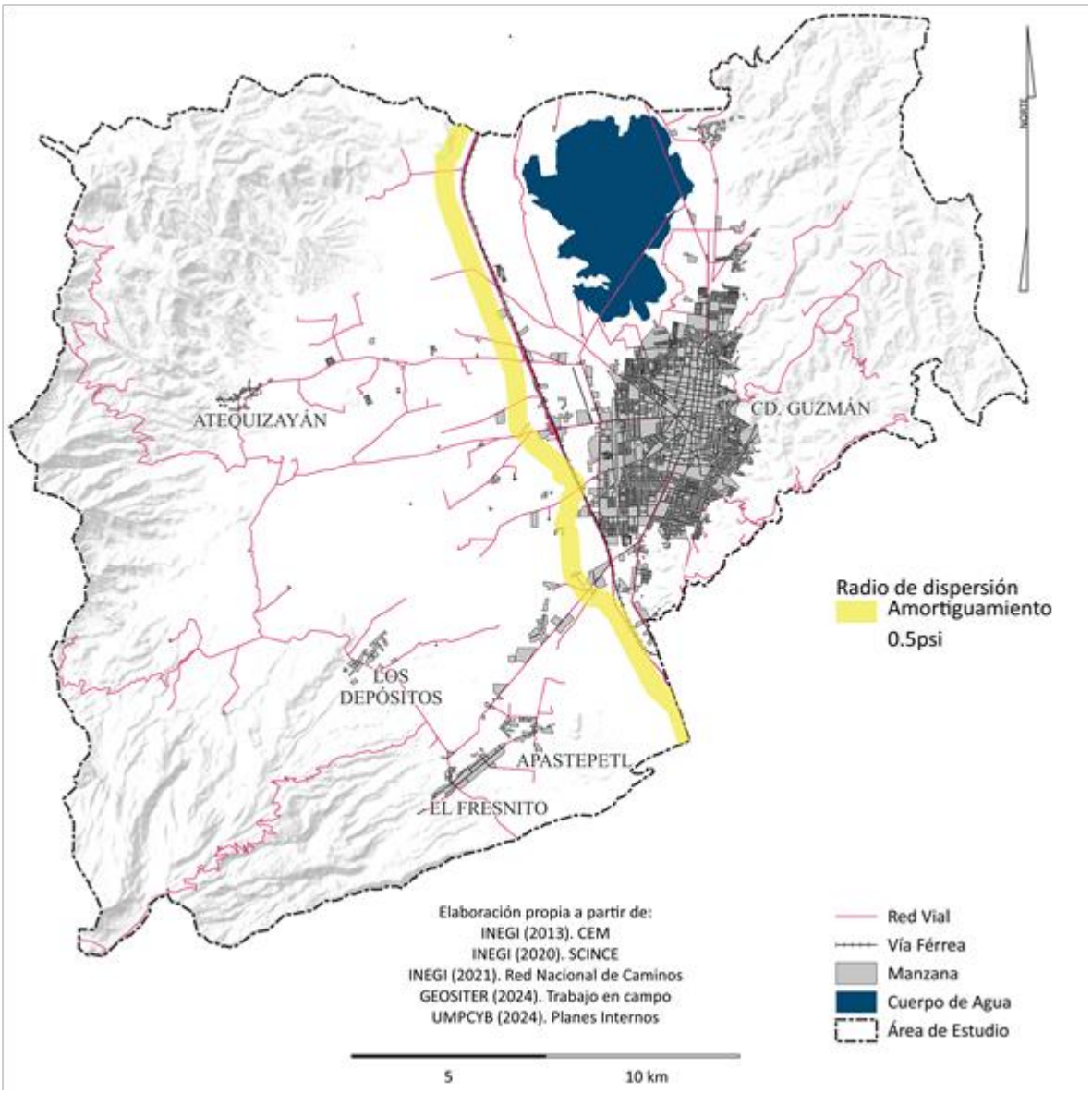
Tabla 67. Zonas de afectación por escenario Alternativo

Sustancia transportada	Tipo de peligro	Zona de amortiguamiento [m]	Zona de Riesgo [m]
Metano	Radiación térmica	100 [1.4 kW/m²]	54 [5.0 kW/m²]
	Sobrepresión	153 [0.5 psi]	No excede
	Vapores inflamables	534 [10% LIE]	224 [60% LIE]

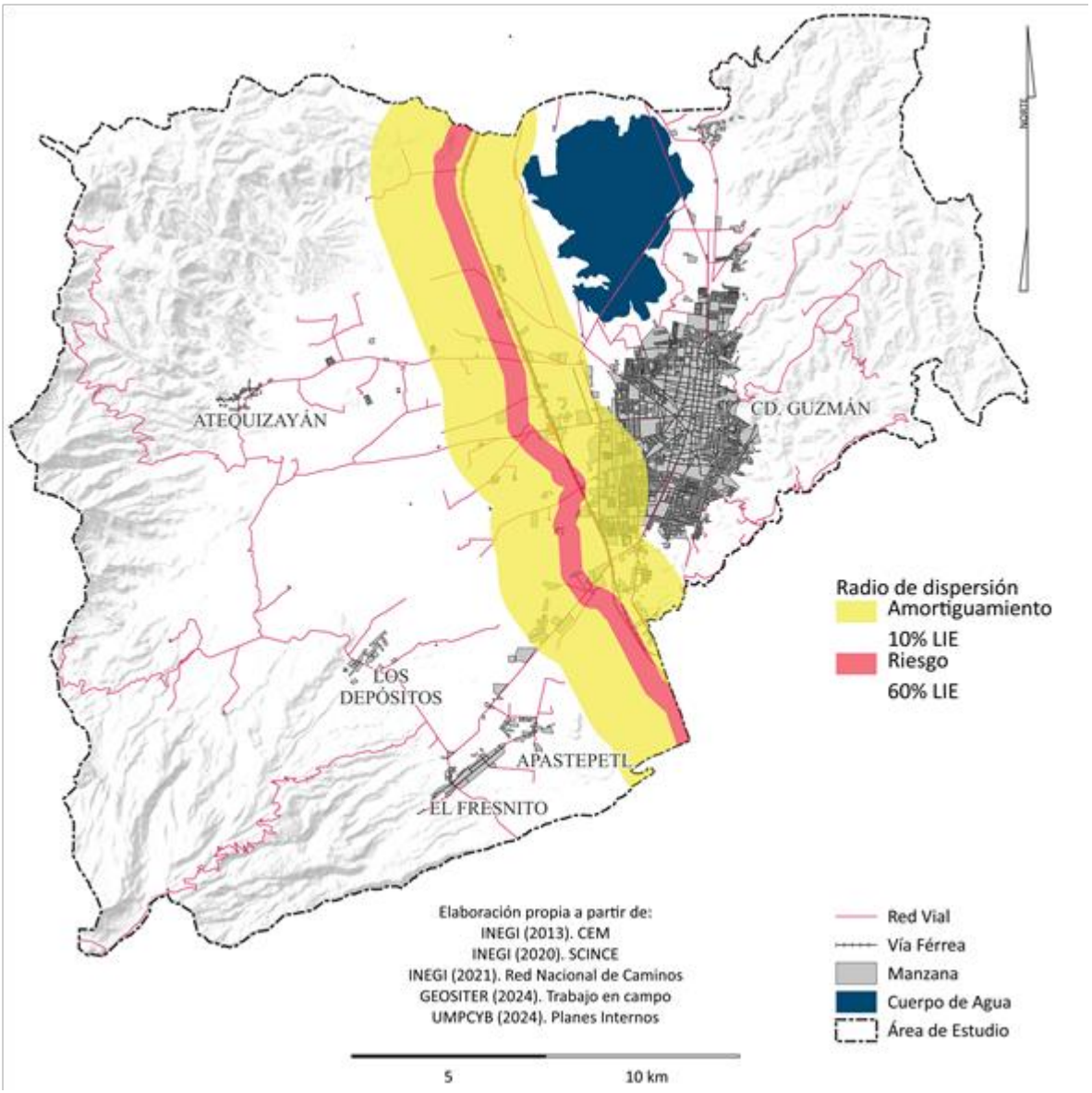
Fuente: Elaboración propia.



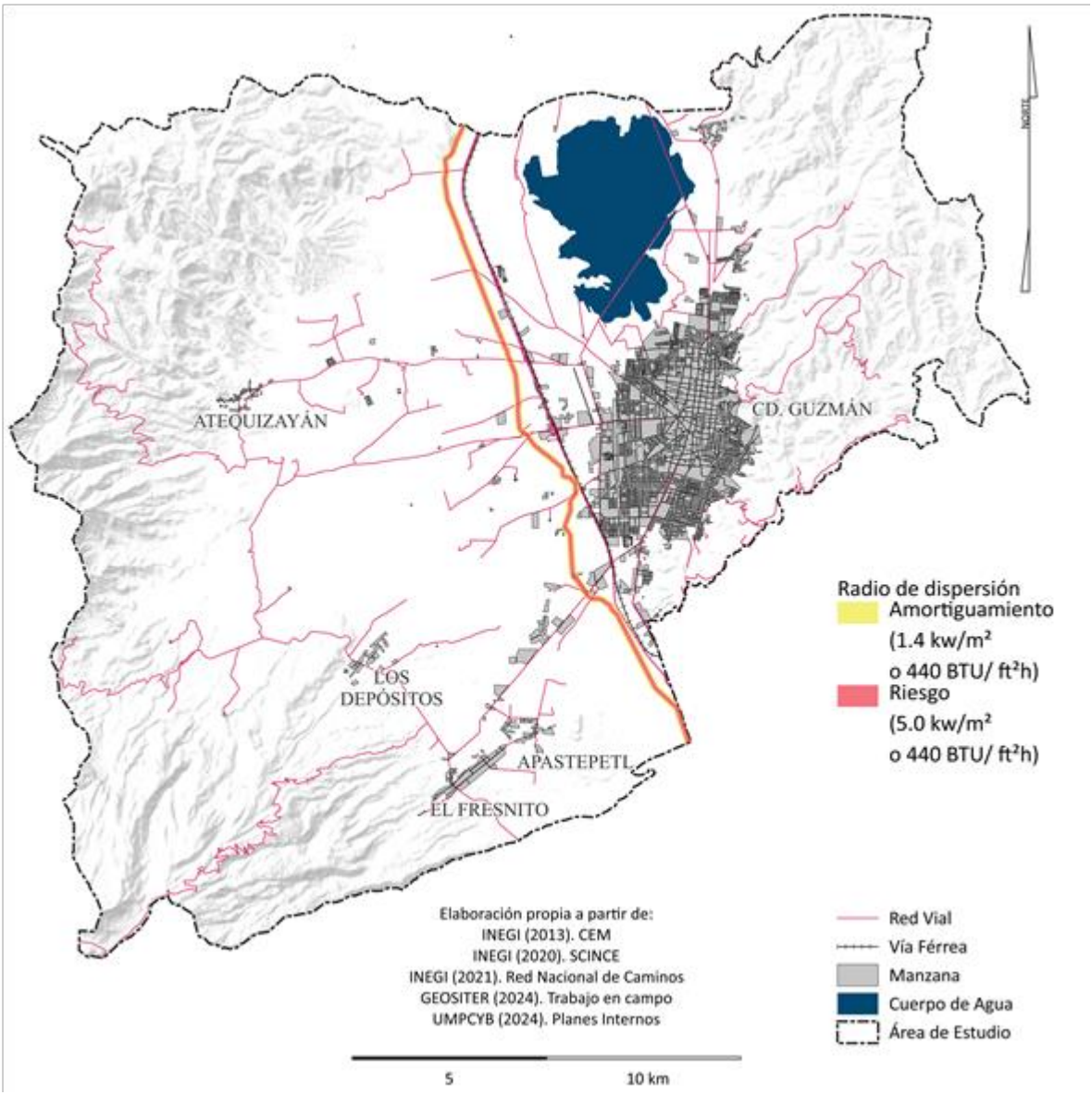
Mapa 64. Zonas de afectación por Radiación Térmica
Fuente: Elaboración propia.



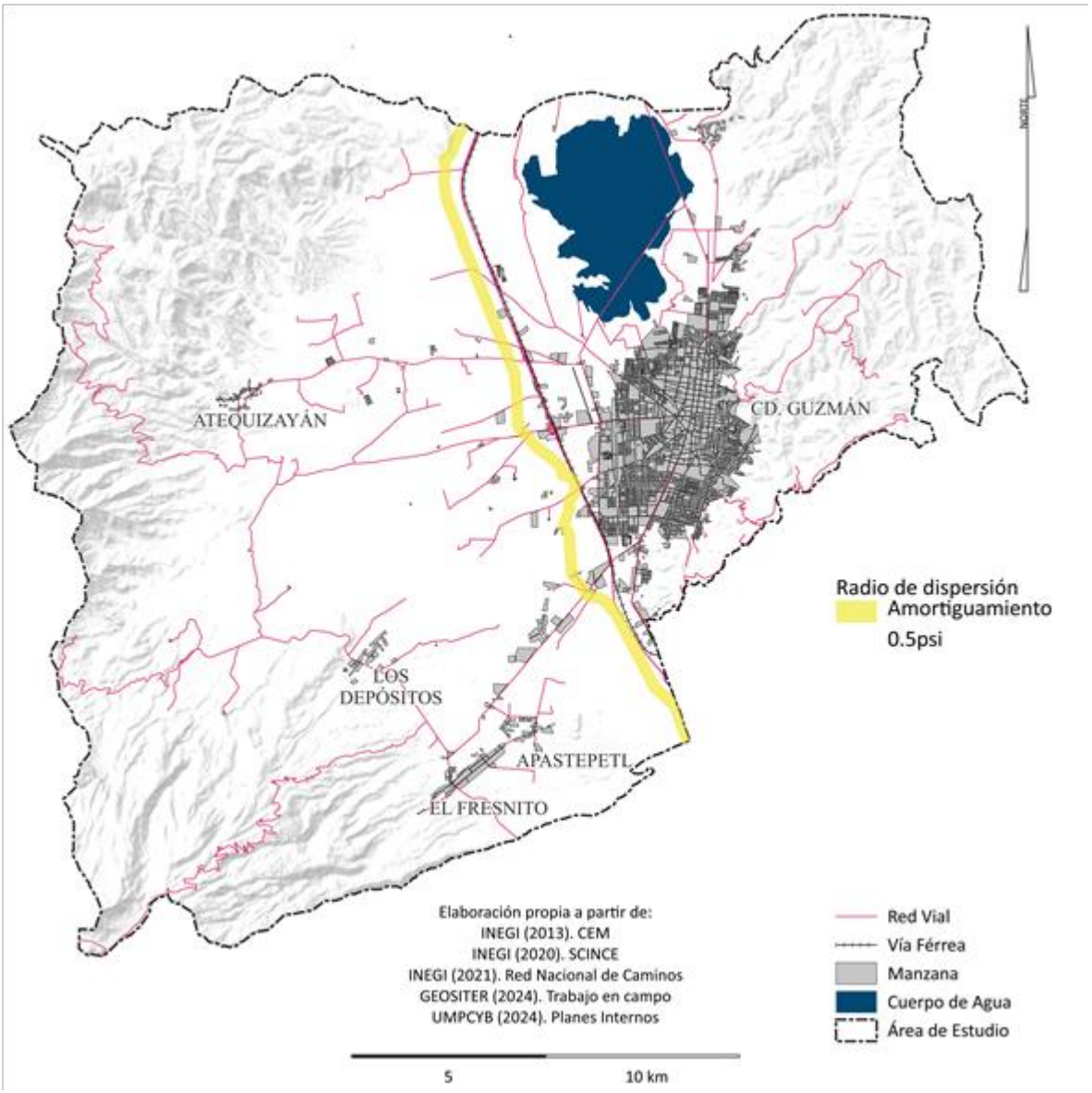
Mapa 65. Zonas de afectación por Onda de Sobrepresión
Fuente: Elaboración propia.



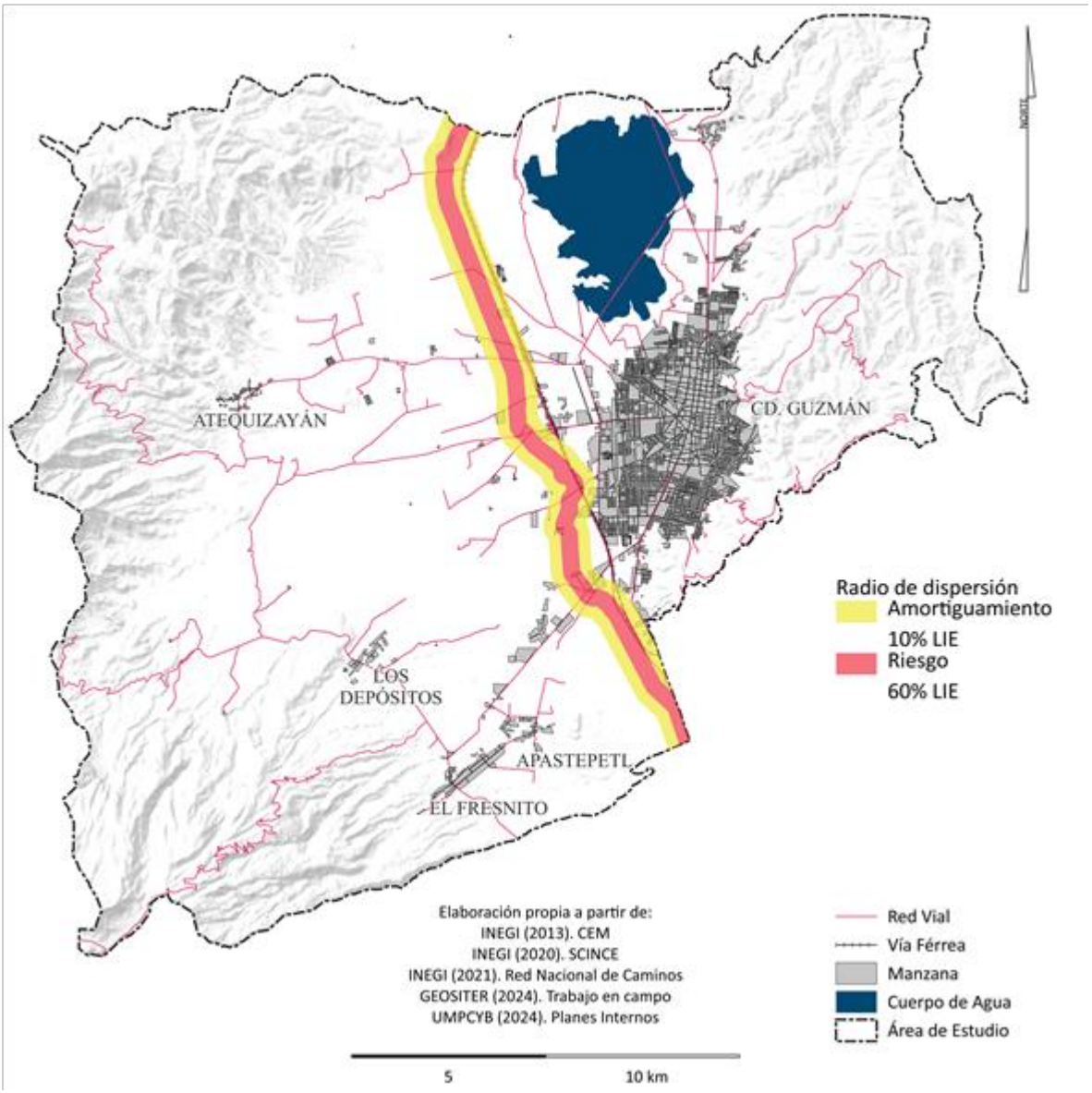
Mapa 66. Zonas de afectación por Nube de Vapor Inflamable
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 67. Zonas de afectación por Radiación Térmica
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 68. Zonas de afectación por Onda de Sobrepresión
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 69. Zonas de afectación por Nube de Vapor Inflamable
Fuente: Elaboración propia.

Transporte de Sustancias Peligrosas por Ferrocarril: Carrotanques de Amoniaco y Ácido Sulfúrico

Ferrocarril Mexicano (Ferromex) es una de las principales compañías ferroviarias en México, y juega un papel crucial en el transporte de diversas cargas, incluidas las sustancias químicas peligrosas. La compañía es responsable de mover grandes volúmenes de materiales a lo largo del país, asegurando que estos se manejen de manera segura y eficiente. A continuación, se detalla información relevante sobre Ferromex y el manejo de sustancias químicas peligrosas, específicamente el amoniaco anhidro y el ácido sulfúrico.

Sustancias y Cantidades Transportadas Regularmente

Amoniaco Anhidro

- Carrotanques Utilizados: Clase DOT/TC-112J340W.
- Características Principales:
- Válvulas y Accesorios: Válvula de Control: ¼”; Válvula de Seguridad: 3”; Válvula Angular: 2” y ¼”; Termo Pozo y Medidor Magnético de Flotante.
- Configuración de Carga y Descarga: Líneas de Educción de Líquidos y Vapor; Válvula de Alivio de Presión para protección contra sobrepresiones.

Ácido Sulfúrico

- Carrotanques Utilizados: Clase DOT/TC-111A100W2.
- Características Principales:
- Válvulas y Accesorios: Válvula de Conexión de Aire: 1”; Tapón de Alivio de Presión; Boquilla del Registro con Tiro; Tubo de Vaciado y Recubrimiento Anti-deslizamiento.
- Configuración de Carga y Descarga: Plataforma de Operación Superior con barandales y rejillas; Válvulas de Descarga Inferior operadas desde la parte superior.

Seguridad y Regulaciones

1. Protección de Accesorios Superiores: Todos los carros tanque presurizados y algunos no presurizados deben contar con protección para los accesorios superiores para evitar daños durante accidentes.
2. Válvulas de Alivio de Presión (DAP): Estas válvulas están diseñadas para aliviar la presión interna del tanque por encima de un valor especificado, evitando posibles

explosiones o derrames (Association of American Railroads/Bureau of Explosives, 2017, p. 12).

Tabla 68. Ubicación y longitud de las vías de ferrocarril FEROOMEX

Vías del Tren (Norte)	655526.1; 2186679.5	14Q
Vías del Tren (Sur)	660164.6; 2173234.1	14Q
Longitud de la Vía Férrea	14.706 km	N/A

Fuente: Elaboración propia.

Escenarios de simulación

Para garantizar la seguridad en el transporte de ácido sulfúrico y amoniaco anhidro en carrotanques, se deben realizar simulaciones que contemplen tanto el peor caso posible como el caso más probable. A continuación, se detallan estos escenarios y las medidas de respuesta correspondientes.

Carrotanques de Ácido Sulfúrico

Peor Caso: Derrame Masivo de Ácido Sulfúrico

- Escenario: Un carrotanque que transporta ácido sulfúrico se descarrila y sufre una ruptura en el tanque, resultando en un derrame masivo.
- Impacto: Derrame de gran volumen de ácido sulfúrico en el entorno; Contaminación del suelo y cuerpos de agua cercanos; Posibles quemaduras químicas a personas cercanas; Riesgo de reacciones químicas peligrosas con otros materiales.
- Medidas de Respuesta: Evacuación inmediata de la zona afectada; Uso de equipos de protección personal (EPP) especializados; Contención del derrame mediante barreras y materiales absorbentes; Neutralización del ácido con agentes alcalinos; Monitoreo y limpieza del área contaminada; Coordinación con agencias ambientales y de salud.

Caso Más Probable: Fuga Menor de Ácido Sulfúrico

- Escenario: Una pequeña fuga se detecta en una válvula o conexión del carrotanque durante el transporte o descarga.
- Impacto: Liberación limitada de ácido sulfúrico; Posible exposición de trabajadores a vapores o contacto directo.

- Medidas de Respuesta: Detención inmediata del transporte y aislamiento del área afectada; Uso de EPP adecuado para el personal; o Reparación de la fuga utilizando equipos y herramientas especializados; Aplicación de neutralizadores en el área afectada; Inspección y verificación del tanque antes de reanudar el transporte.

Carrotanques de Amoniaco Anhidro

Peor Caso: Liberación Masiva de Amoniaco

- Escenario: Un carrotanque que transporta amoniaco anhidro se descarrila y sufre una ruptura, liberando una gran cantidad de gas amoniaco.
- Impacto: Nube tóxica de amoniaco que se dispersa en el aire; Riesgo de asfixia e irritación severa a las vías respiratorias para personas cercanas; Posible evacuación de áreas pobladas; Contaminación del aire y posible afectación a la fauna y flora.
- Medidas de Respuesta: Evacuación inmediata de la zona afectada; Uso de equipos de respiración autónoma (SCBA) y otros EPP; Implementación de cortinas de agua para disipar la nube de gas; Monitoreo de la concentración de amoniaco en el aire; Coordinación con servicios de emergencia y autoridades locales; Descontaminación y evaluación del área afectada.

Caso Más Probable: Fuga Menor de Amoniaco

- Escenario: Una pequeña fuga se detecta en una válvula o conexión del carrotanque durante el transporte o descarga.
- Impacto: Liberación controlada de pequeñas cantidades de amoniaco; Posible exposición de trabajadores a bajos niveles de gas.
- Medidas de Respuesta: Detención inmediata del transporte y aislamiento del área afectada; Uso de EPP adecuado para el personal; Reparación de la fuga utilizando equipos y herramientas especializados; Monitoreo del aire para asegurar que los niveles de amoniaco sean seguros; Inspección y verificación del tanque antes de reanudar el transporte.

En la siguiente tabla se muestran los radios de afectación por tipo de fenómeno químico y sustancia química, las cuales se representan en las siguientes zonas de peligro: zona de riesgo y la zona de amortiguamiento.

Tabla 69. Zona de peligro en caso que se presente una liberación de sustancia

Sustancia	Caso simulado	Tipo de dispersión	Zona de amortiguamiento [m]	Zona de Riesgo [m]
Amoniaco=17,000gal	Peor caso	Nube tóxica	3,800	1,900
	Alternativo	Nube tóxica	1,900	820
Ácido sulfúrico= 17,500gal	Peor caso	Nube tóxica	5,900	1,400
	Alternativo	Nube tóxica	8,800	5,600

Fuente: Elaboración propia.

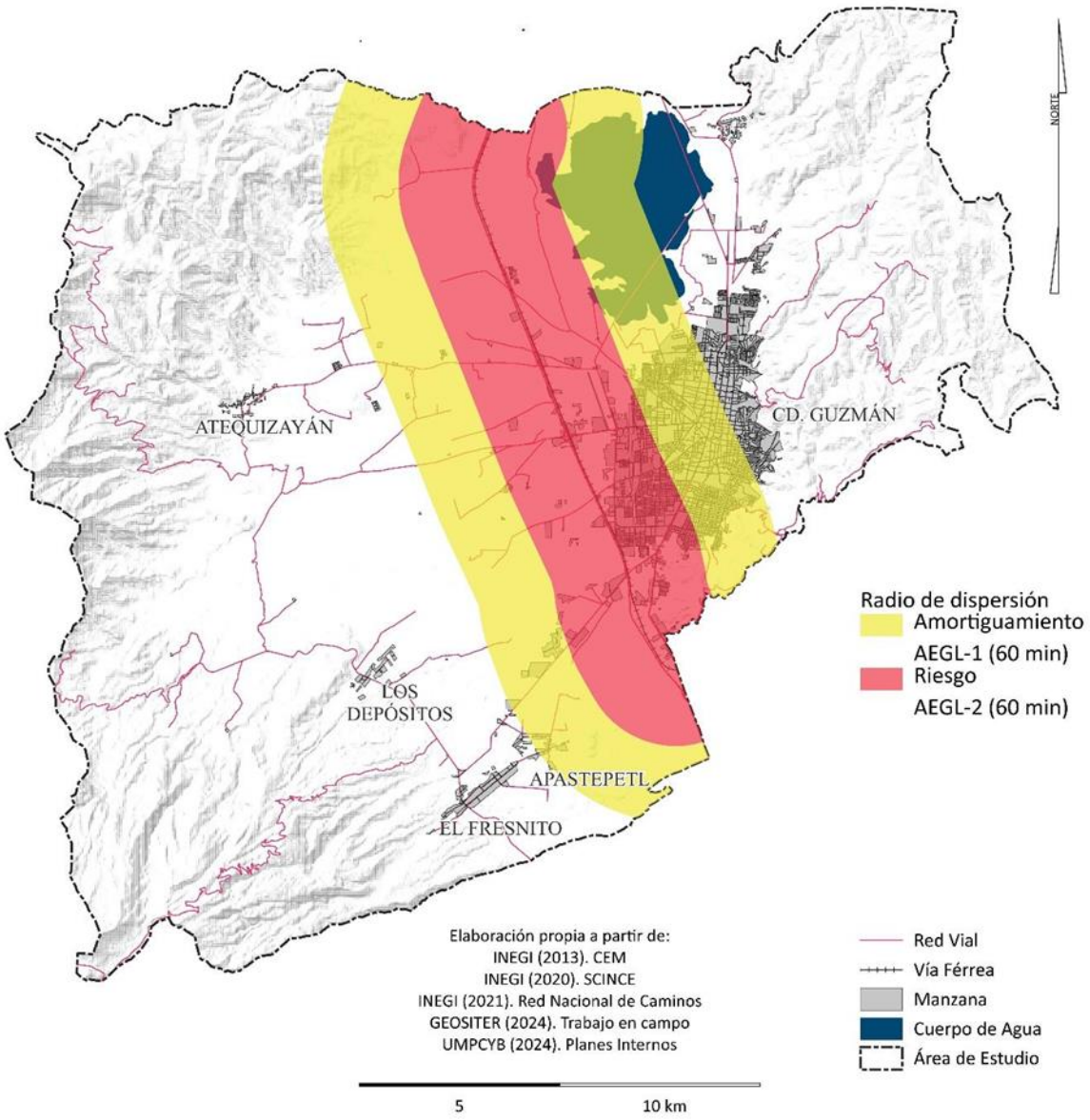
Transporte de sustancias peligrosas por vialidades

Sustancias y Capacidades de Sustancias Químicas Peligrosas Transportadas vía terrestre

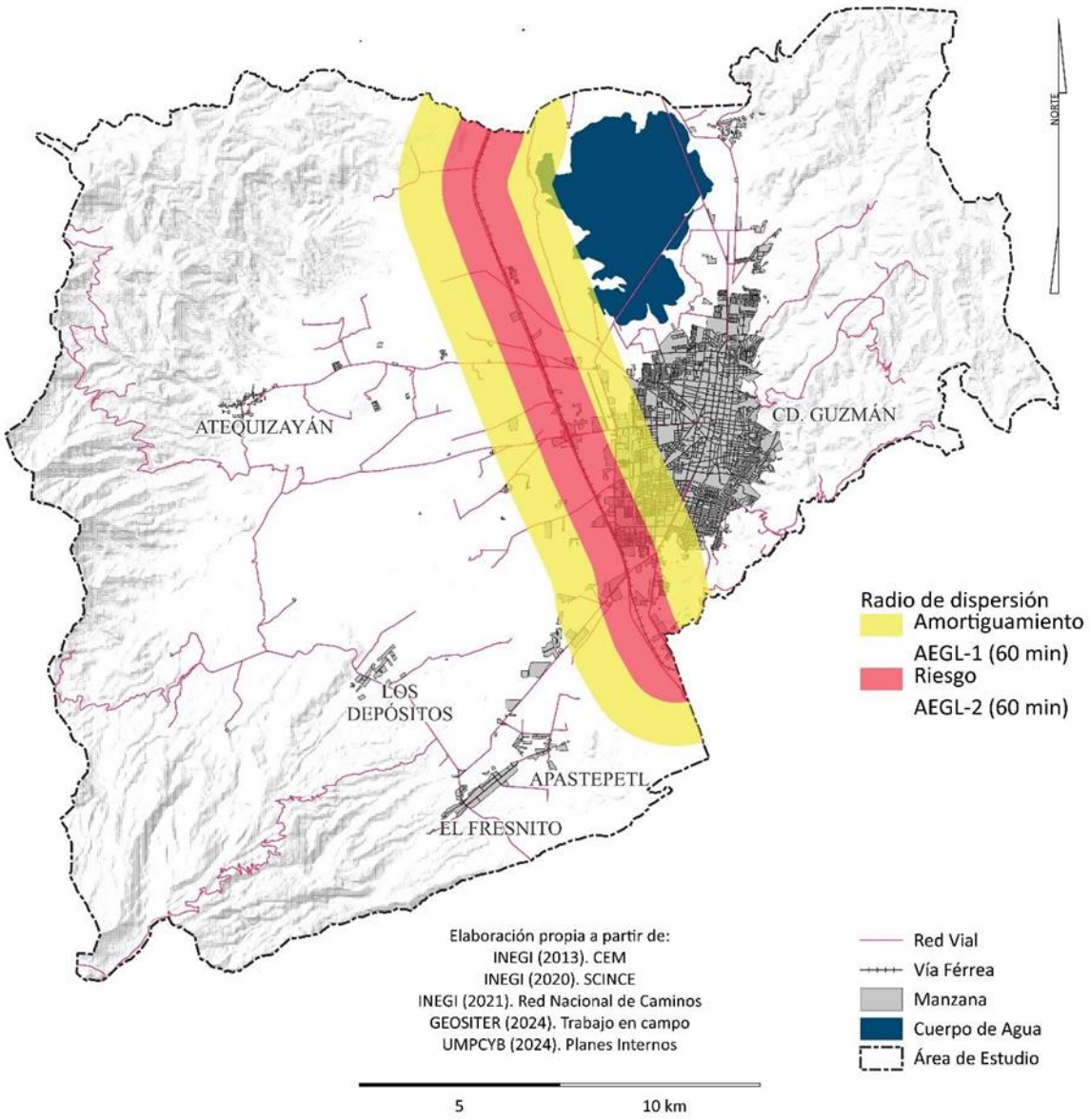
En el ámbito del atlas de riesgos químico-tecnológico, es fundamental identificar y evaluar las sustancias químicas peligrosas transportadas por vía terrestre, así como sus capacidades, debido a su potencial impacto en la seguridad y salud pública. El transporte terrestre de sustancias químicas peligrosas, que incluye materiales inflamables, tóxicos, corrosivos y reactivos, representa un riesgo significativo en caso de accidentes, derrames o exposiciones no controladas.

Este apartado se enfoca en proporcionar un análisis detallado de las sustancias químicas peligrosas más comúnmente transportadas en el municipio, incluyendo su clasificación, propiedades fisicoquímicas, y las capacidades de carga de los vehículos utilizados. Asimismo, se evaluarán los riesgos asociados al transporte de estas sustancias, considerando las rutas de tránsito, la frecuencia de transporte, y las medidas de seguridad implementadas.

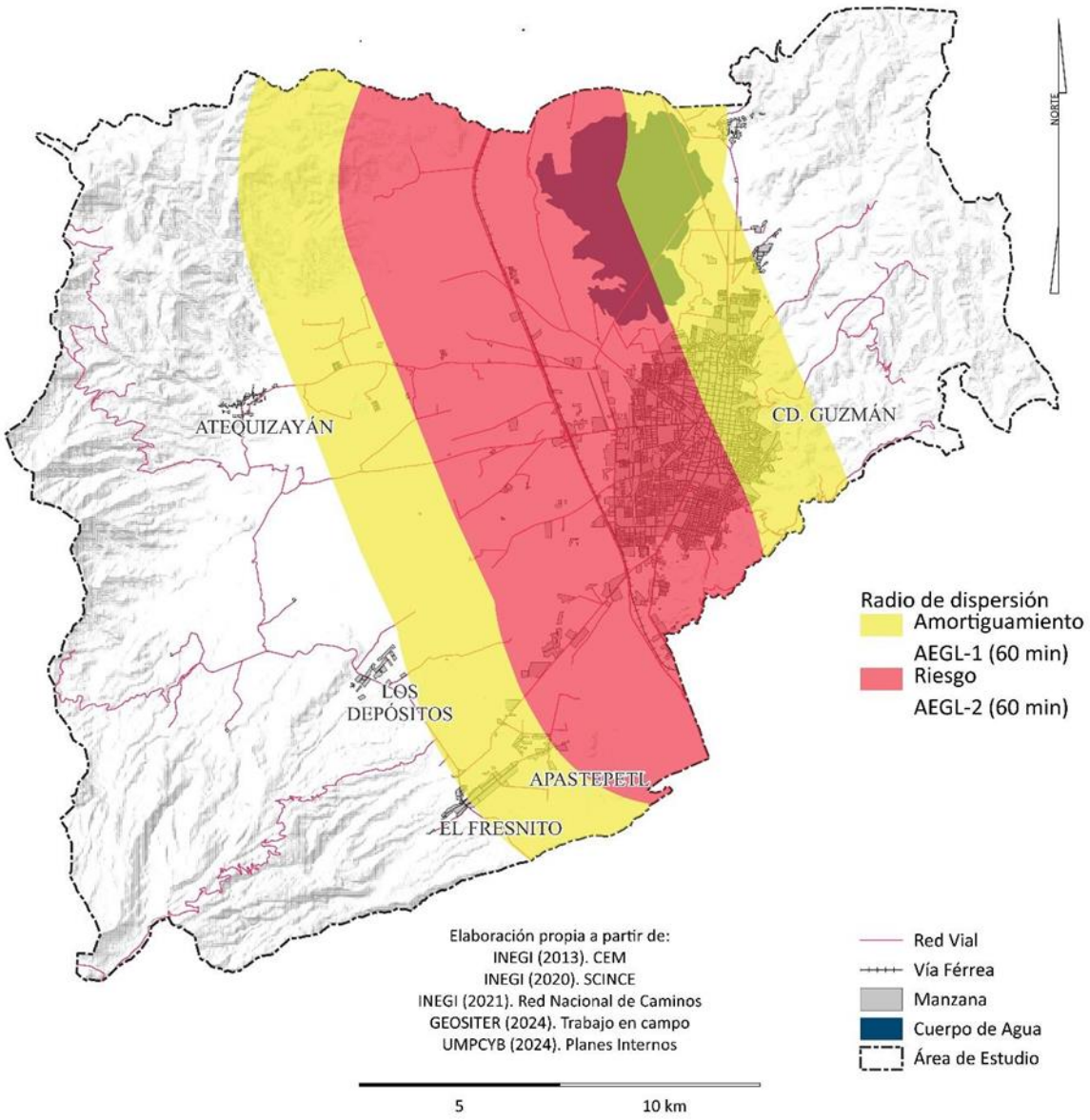
Según el documento "Riesgos químicos por transporte terrestre", las sustancias químicas peligrosas más transportadas vía terrestre en México y su frecuencia de accidentes son (Izcapa Treviño, Rivera Balboa, & Arista Narciso, 2021).



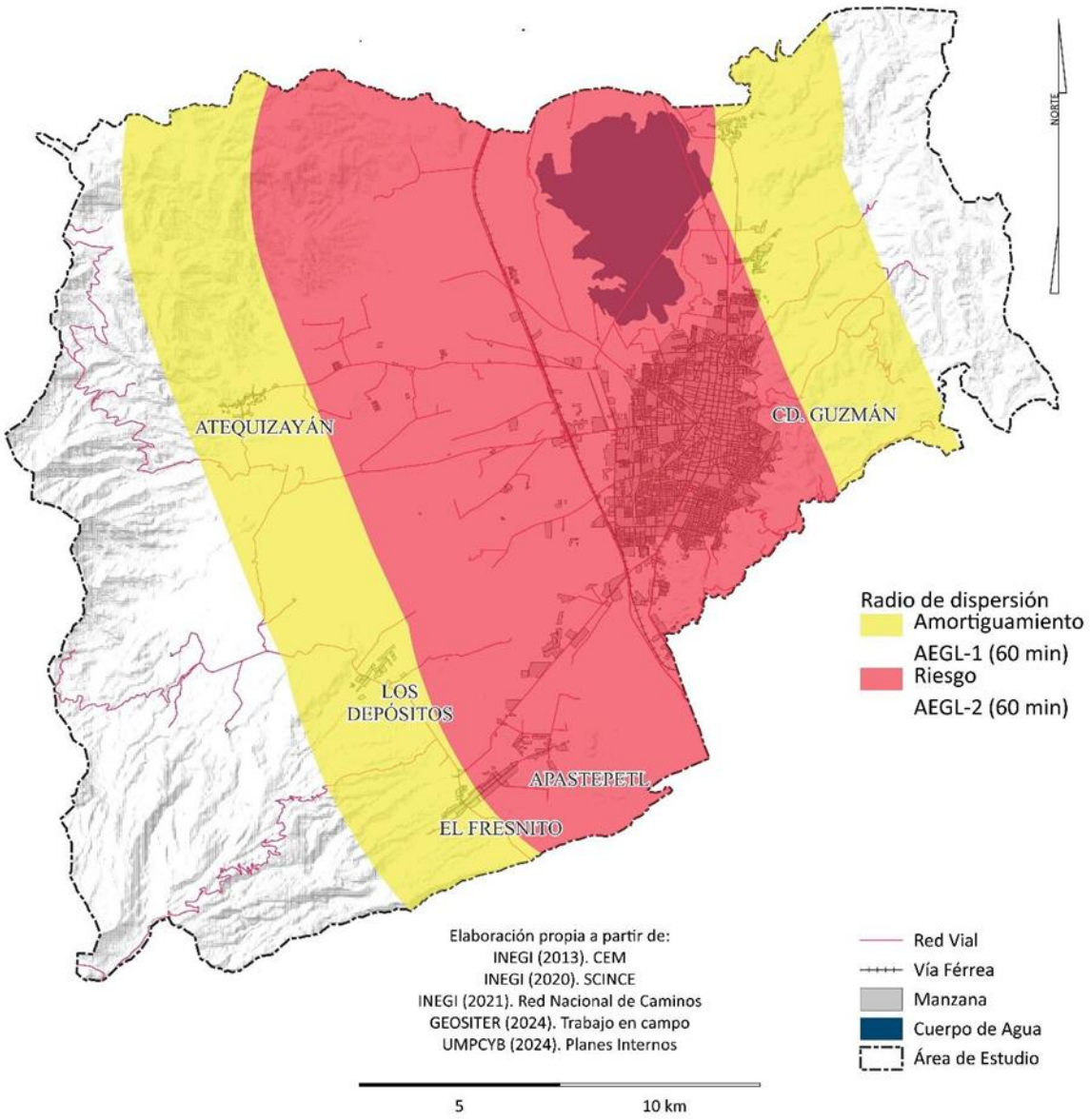
Mapa 70. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de amoniaco para el Peor Caso
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 71. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de amoniaco para el caso Alternativo
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 72. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de ácido sulfúrico para el Peor Caso
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 73. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de ácido sulfúrico para el caso Alternativo
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70. Tasa de accidentes viales en México

Clase o División	Sustancia Peligrosa	Número de Accidentes
3	Gasolina	392
3	Diésel	361
2.1	Gas LP	324
3	Destilados de petróleo	163
3	Combustóleo	153
3	Turbosina	95
8	Ácido sulfúrico	59
2.3	Amoniaco anhidro	31
3	Pinturas	27
8	Ácido clorhídrico	24
4.1	Azufre líquido	17
5.1	Nitrato de amonio, sólido	12
6.1	Cianuro de sodio	11
Total	13 sustancias	1,669

Fuente: Izcapa Treviño, C., Rivera Balboa, R. D., & Arista Narciso, A. (2021).

Estas sustancias representan el 73.4% del total de accidentes en el periodo de 2010 a 2016.

Las capacidades de los tanques utilizados para el transporte de sustancias químicas peligrosas varían según el tipo de sustancia y el diseño del vehículo. A continuación, se presentan las capacidades típicas de algunos de los tanques más comunes en el transporte terrestre de materiales peligrosos:

Capacidades Típicas de Tanques de Transporte Terrestre

1. Autotanques para Líquidos Inflamables (Clase 3)
    - Gasolina, Diésel, Destilados de Petróleo: Capacidades comunes: 20,000 a 40,000 litros.
2. Autotanques para Gases Licuados (Clase 2.1)
    - Gas LP (Gas Licuado de Petróleo): Capacidades comunes: 30,000 a 45,000 litros.
3. Autotanques para Gases a Alta Presión (Clase 2.2 y 2.3)
    - Amoniaco Anhidro: Capacidades comunes: 15,000 a 25,000 litros.
4. Autotanques para Líquidos Corrosivos (Clase 8)

- Ácido Sulfúrico, Ácido Clorhídrico: Capacidades comunes: 20,000 a 35,000 litros.

5. Autotanques para Sólidos Inflamables y Peróxidos Orgánicos (Clase 4.1 y 5.1)

- Azufre Líquido, Nitrato de Amonio Sólido: Capacidades comunes: 20,000 a 30,000 litros.

Consideraciones Adicionales

- Diseño y Normativa: Los tanques deben estar diseñados y construidos conforme a las normativas específicas que regulan el transporte de materiales peligrosos, asegurando la seguridad y la integridad del tanque durante el transporte.
- Tipo de Vehículo: El tipo de vehículo y la configuración (unitarios, doblemente articulados) pueden influir en la capacidad del tanque.
- Requisitos de Seguridad: Los tanques deben estar equipados con sistemas de seguridad adecuados, incluyendo válvulas de alivio de presión, sistemas de contención secundaria, y dispositivos de monitoreo.

Escenarios de liberación de sustancia

Se han modelado diversos escenarios de liberación de sustancias químicas peligrosas a lo largo de las principales vialidades del municipio. Estos escenarios consideran incidentes tales como volcaduras, colisiones con otros vehículos, choques con infraestructura y accidentes en los principales cruceros con alta incidencia vial.

El análisis de estos escenarios es esencial para comprender los posibles impactos de los accidentes de transporte terrestre de sustancias químicas peligrosas y desarrollar estrategias de mitigación adecuadas. A continuación, se presentan las vialidades sobre las cuales se realizaron las simulaciones:

1. Carretera Ciudad Guzmán - Colima
2. Autopista Guadalajara - Colima
3. Jalisco Ciudad Gusmán - La Mesa y el Fresnito
4. Libramiento Periférico Sur
5. Calle Carlos Villaseñor
6. Av. Carlos Paez Stille
7. Av. Constituyentes
8. Av. 1ero de Mayo

9. Av. Reforma
10. Av. Cristóbal Colón

En contraste, para el escenario de Peor Caso se utilizó el caso hipotético en el que se produce la ruptura completa del diámetro nominal de alguna de las válvulas del tanque, causando una liberación instantánea con una duración de un minuto bajo las peores condiciones meteorológicas posibles. Este escenario asume una situación extrema donde las condiciones meteorológicas adversas, como alta temperatura y viento fuerte, agravan la dispersión y el impacto de la sustancia liberada, lo que resulta en un riesgo significativo para la salud pública y el medio ambiente.

Tabla 71. Zonas de peligro en el escenario de Peor Caso

Sustancia	Tipo de dispersión	Zona de amortiguamiento [m]	Zona de Riesgo [m]
Gas lp	Nube tóxica	434 [AEGL-1]	215 [AEGL-2]
	Vapores inflamables	521 [10% LIE]	273 [60% LIE]
	Sobrepresión	229 [0.5 psi]	No excede
Ácido sulfúrico	Nube tóxica	110 [AEGL-1]	42 [AEGL-2]
Amoniaco	Nube tóxica	143 [10% LIE]	58 [60% LIE]
Gasolina	Vapores inflamables	49 [0.5 psi]	No excede

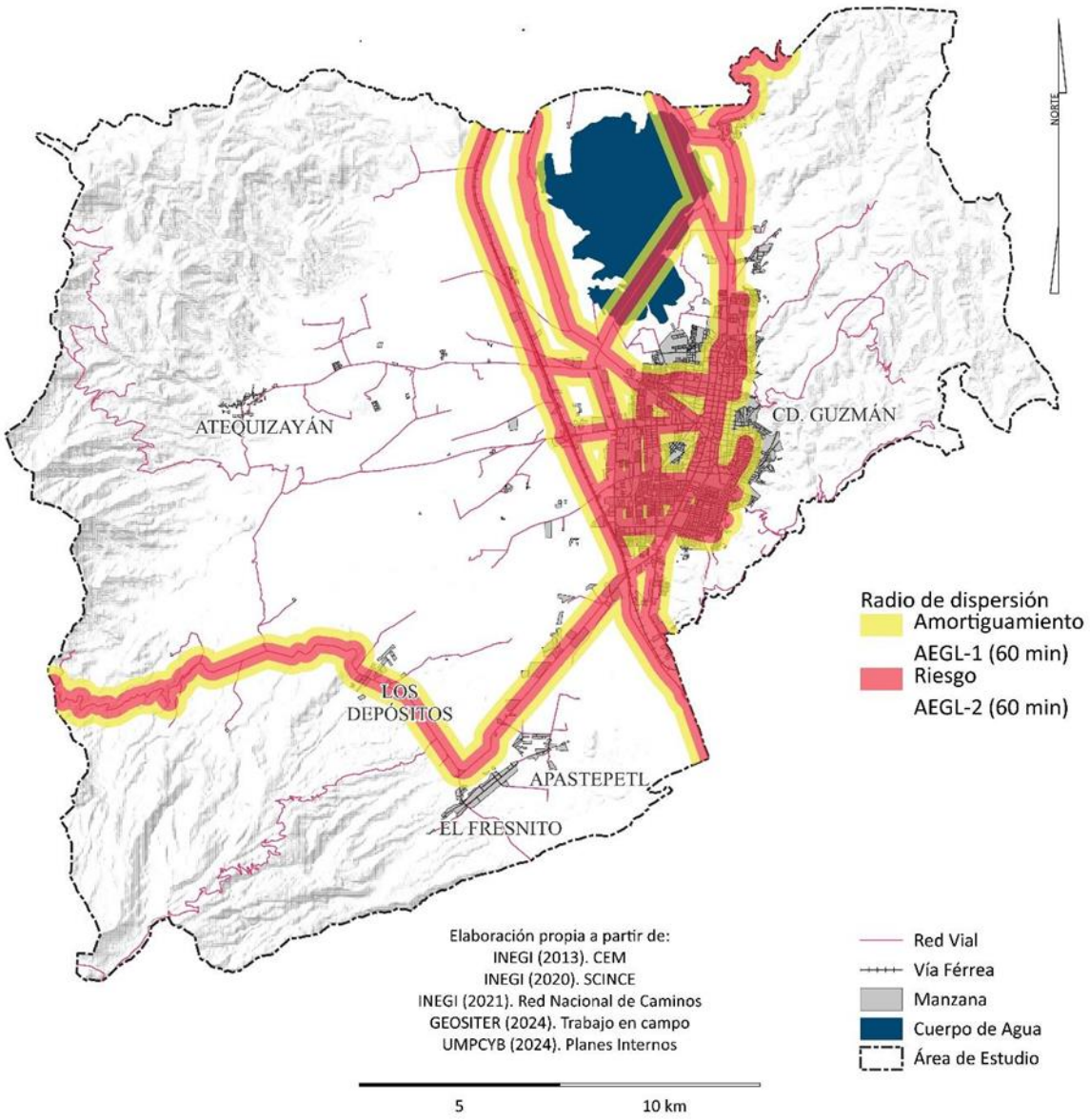
Fuente: Elaboración propia.

Para el escenario de fuga o derrame en el caso alternativo, se tomó como criterio la ruptura del 20% de alguna de las válvulas en el tanque, en un tiempo máximo de 10 minutos de liberación, de acuerdo a los criterios establecidos en las “Guidelines for Quantitative Risk Assessment” CPE18E (Purple Book, ed. 1999). Este escenario considera una liberación parcial y controlada, permitiendo evaluar los riesgos asociados a una fuga limitada que podría ser contenida con medidas de emergencia estándar.

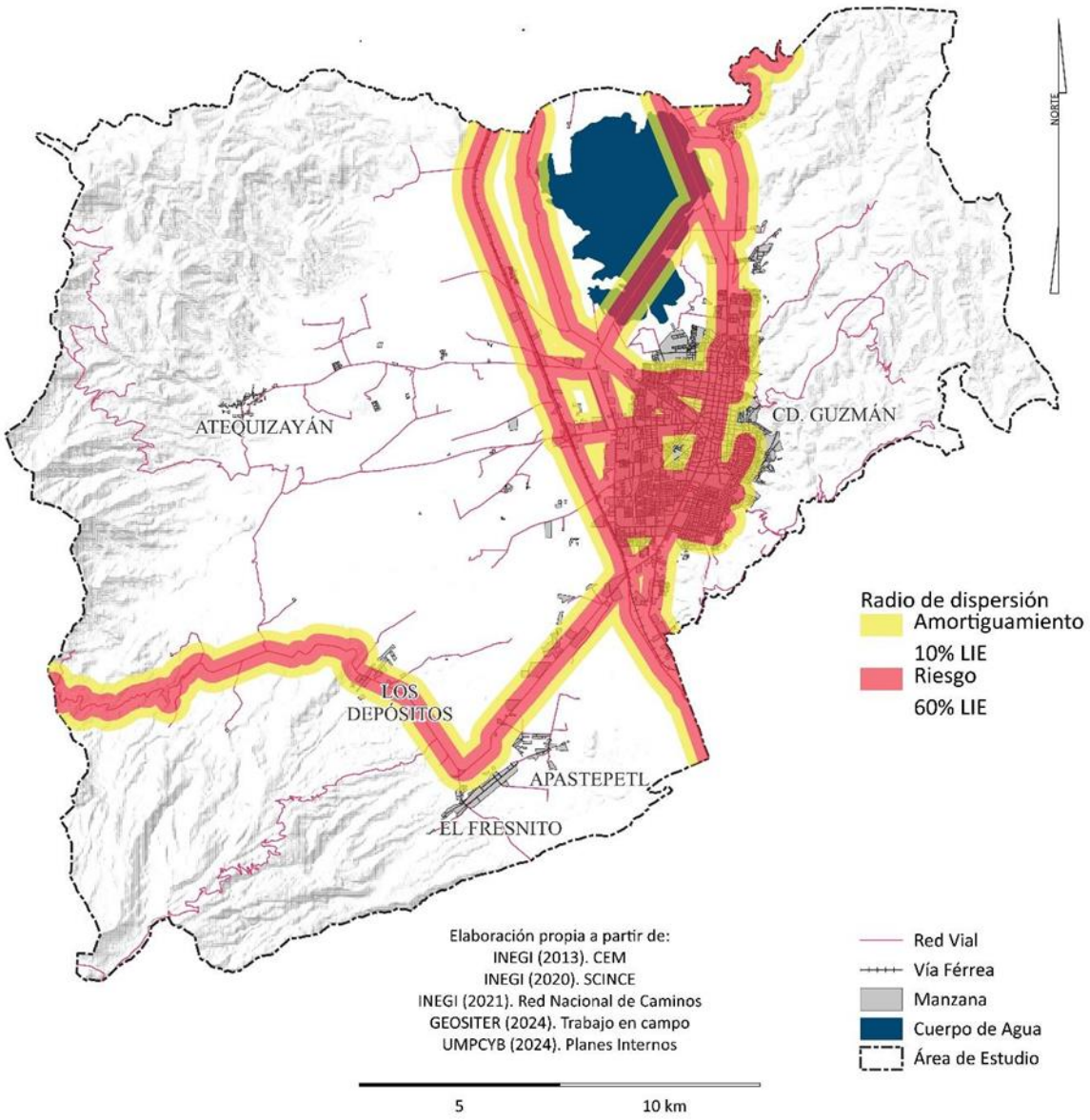
Tabla 72. Zonas de peligro en el escenario Alternativo

Sustancia	Tipo de dispersión	Zona de amortiguamiento [m]	Zona de Riesgo [m]
Gas lp	Nube tóxica	110 [AEGL-1]	42 [AEGL-2]
	Vapores inflamables	143 [10% LIE]	58 [60&% LIE]
	Sobrepresión	49 [0.5 psi]	No excede
Ácido sulfúrico	Nube tóxica	8800 [AEGL-1]	5600 [AEGL-2]
Amoniaco	Nube tóxica	1900 [AEGL-1]	820 [AEGL-2]
Gasolina	Vapores inflamables	138 [10% LIE]	56 [605 LIE]

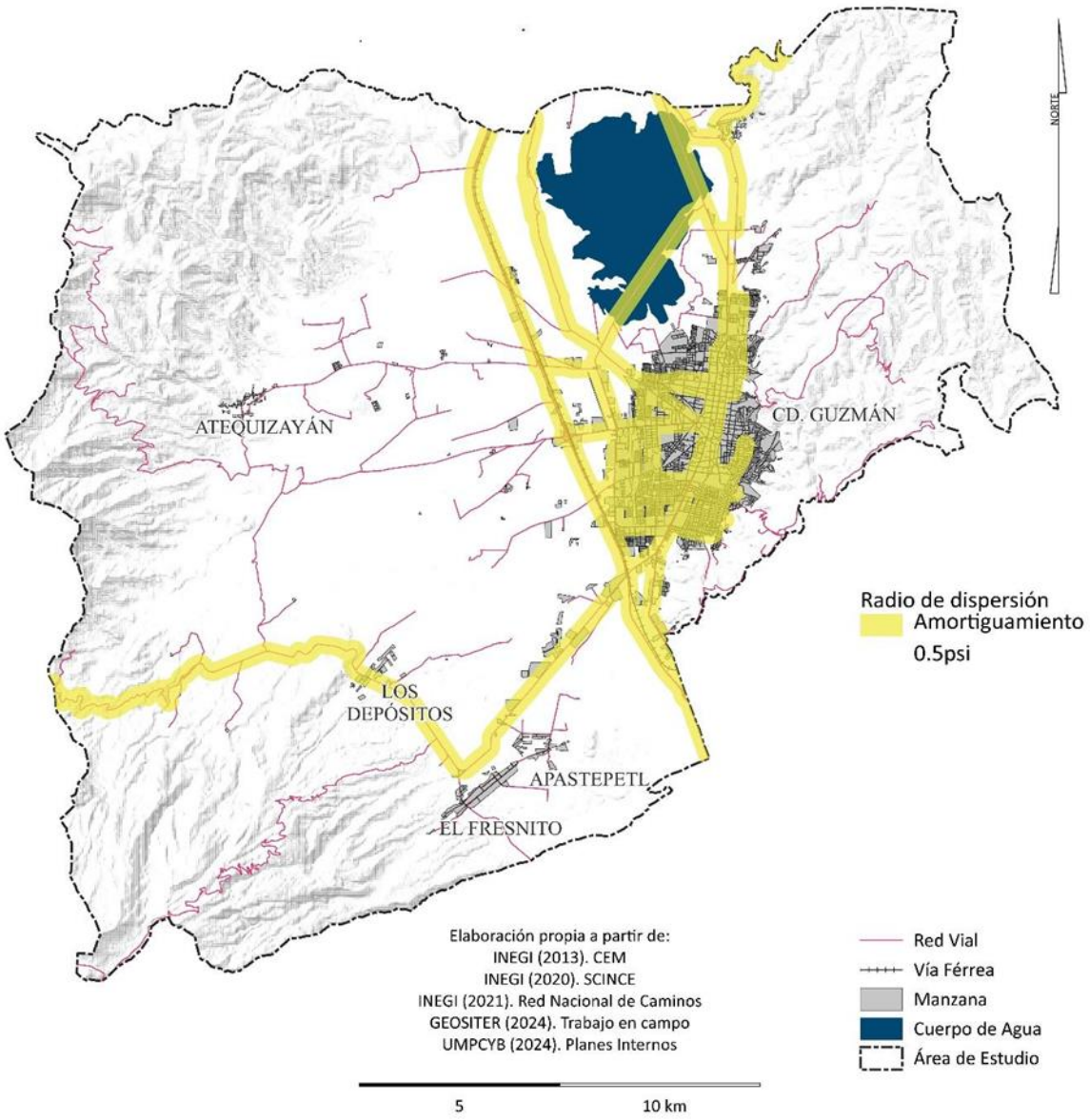
Fuente: Elaboración propia.



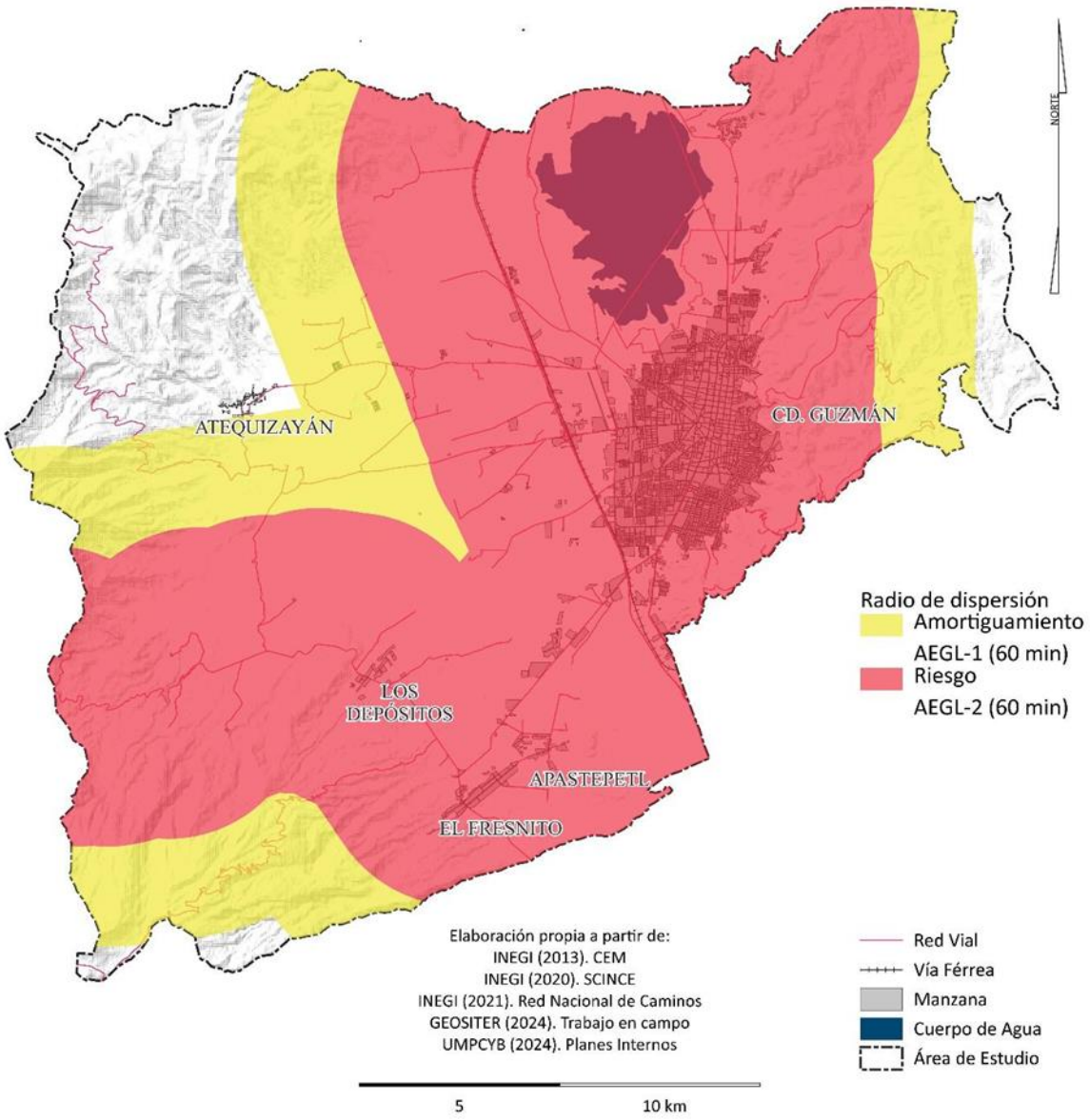
Mapa 74. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de gas l.p
Fuente: Elaboración propia.



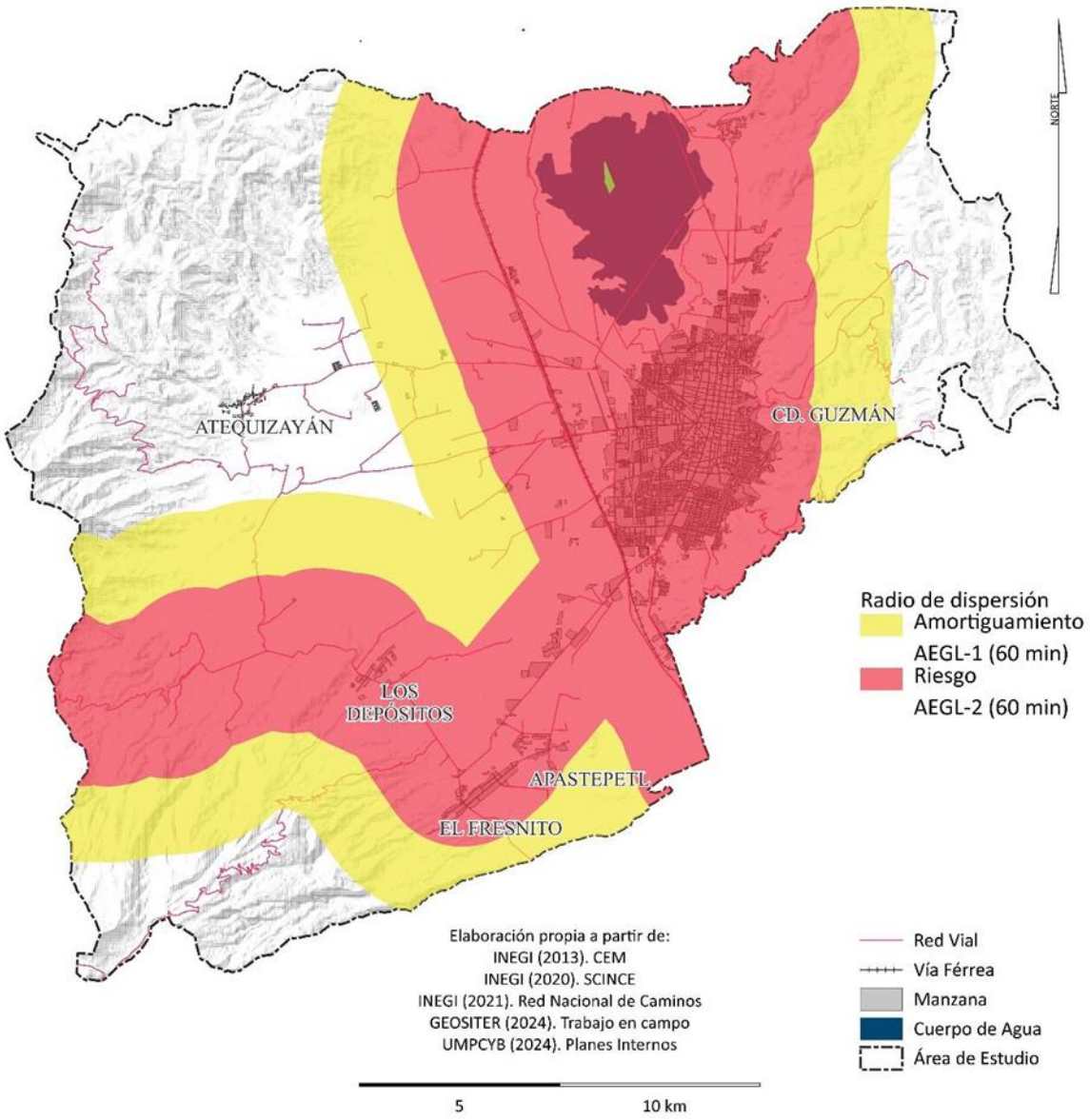
Mapa 75. Zonas de afectación por vapores inflamables de gas l.p
Fuente: Elaboración propia.



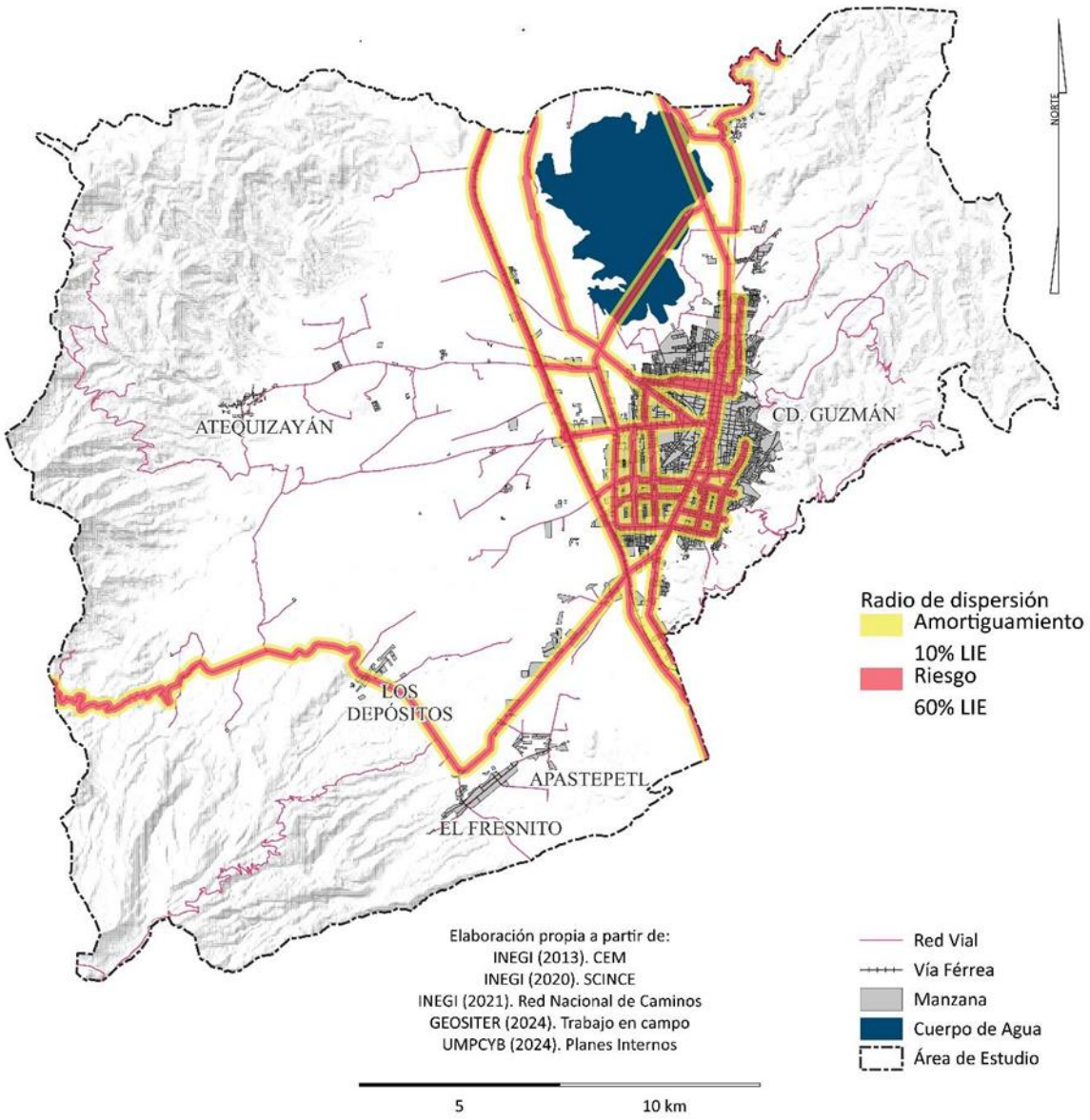
Mapa 76. Zonas de afectación por Sobrepresión de gas l.p
Fuente: Elaboración propia.



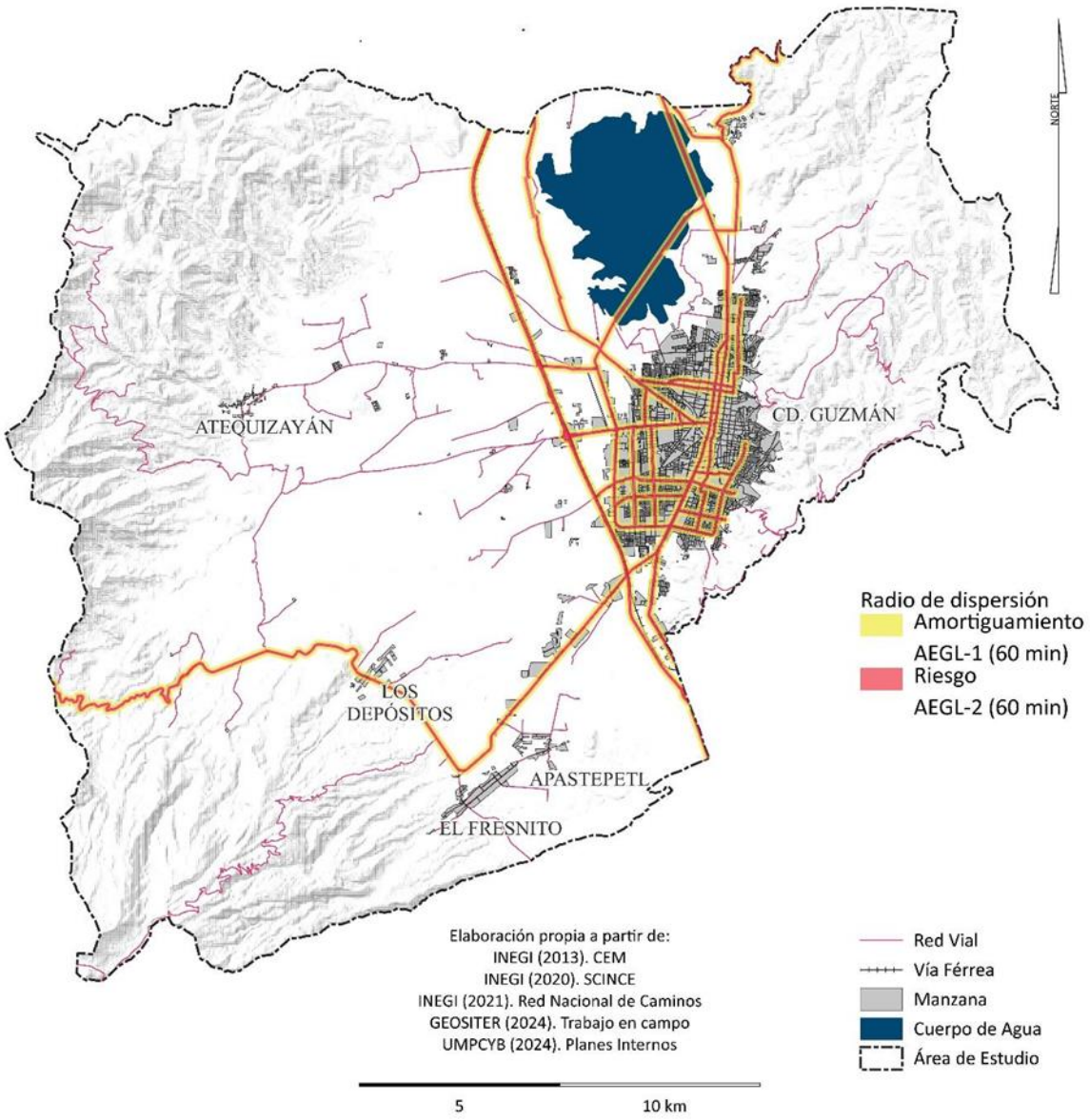
Mapa 77. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de ácido sulfúrico
Fuente: Elaboración propia.



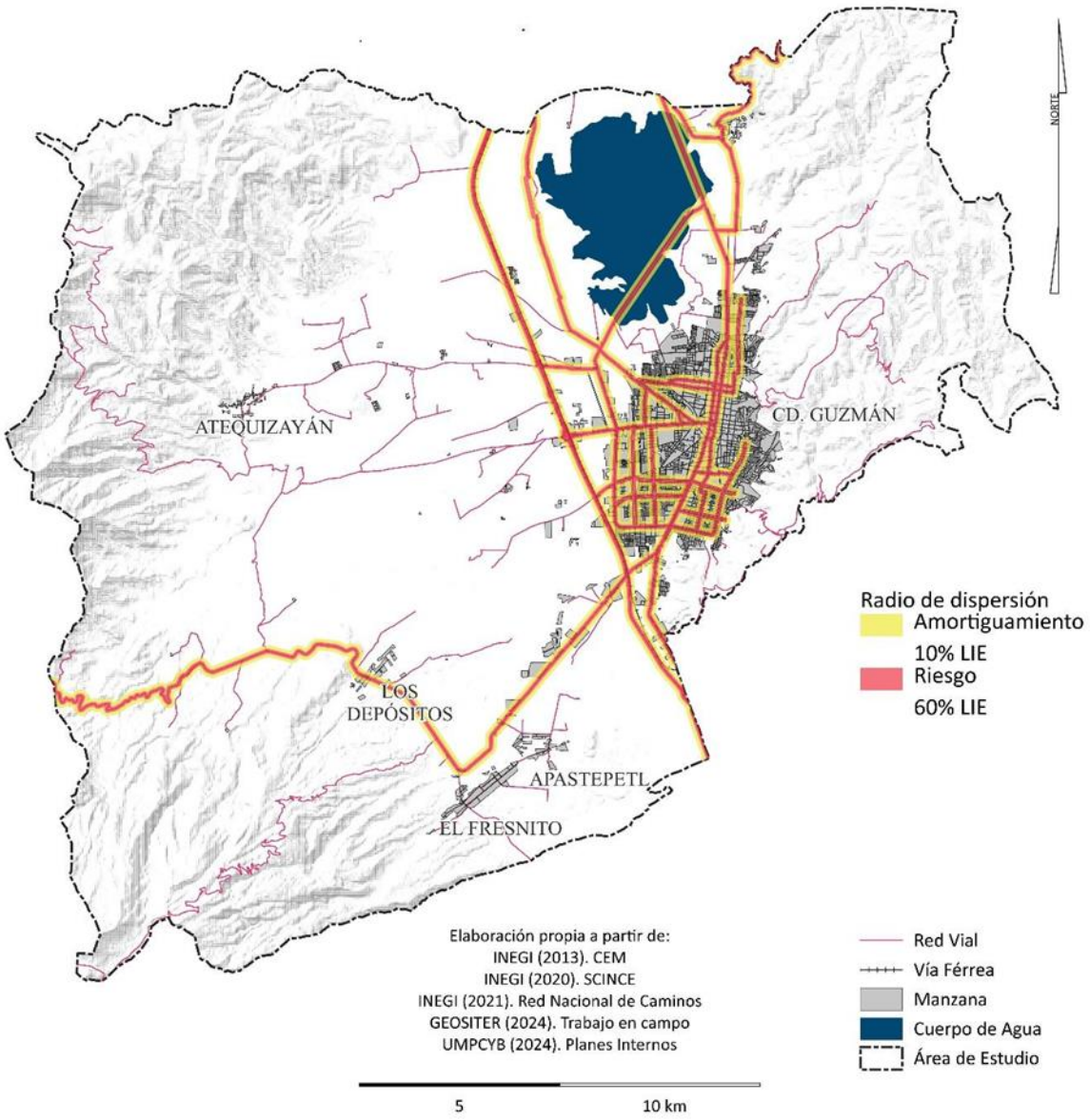
Mapa 78. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de amoniaco
Fuente: Elaboración propia.



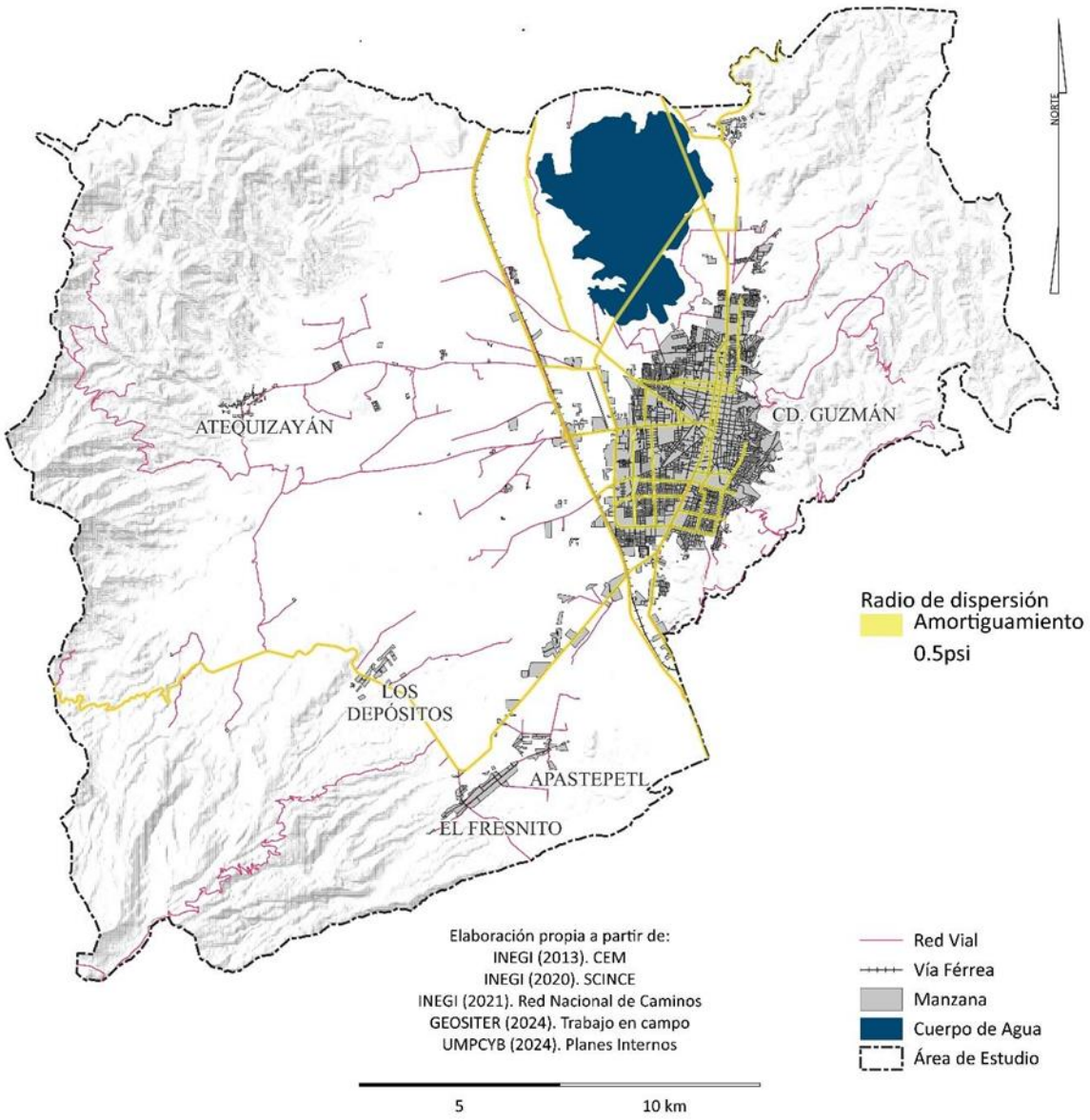
Mapa 79. Zonas de afectación por Nube de Vapores Inflamables por derrame de gasolina
Fuente: Elaboración propia.



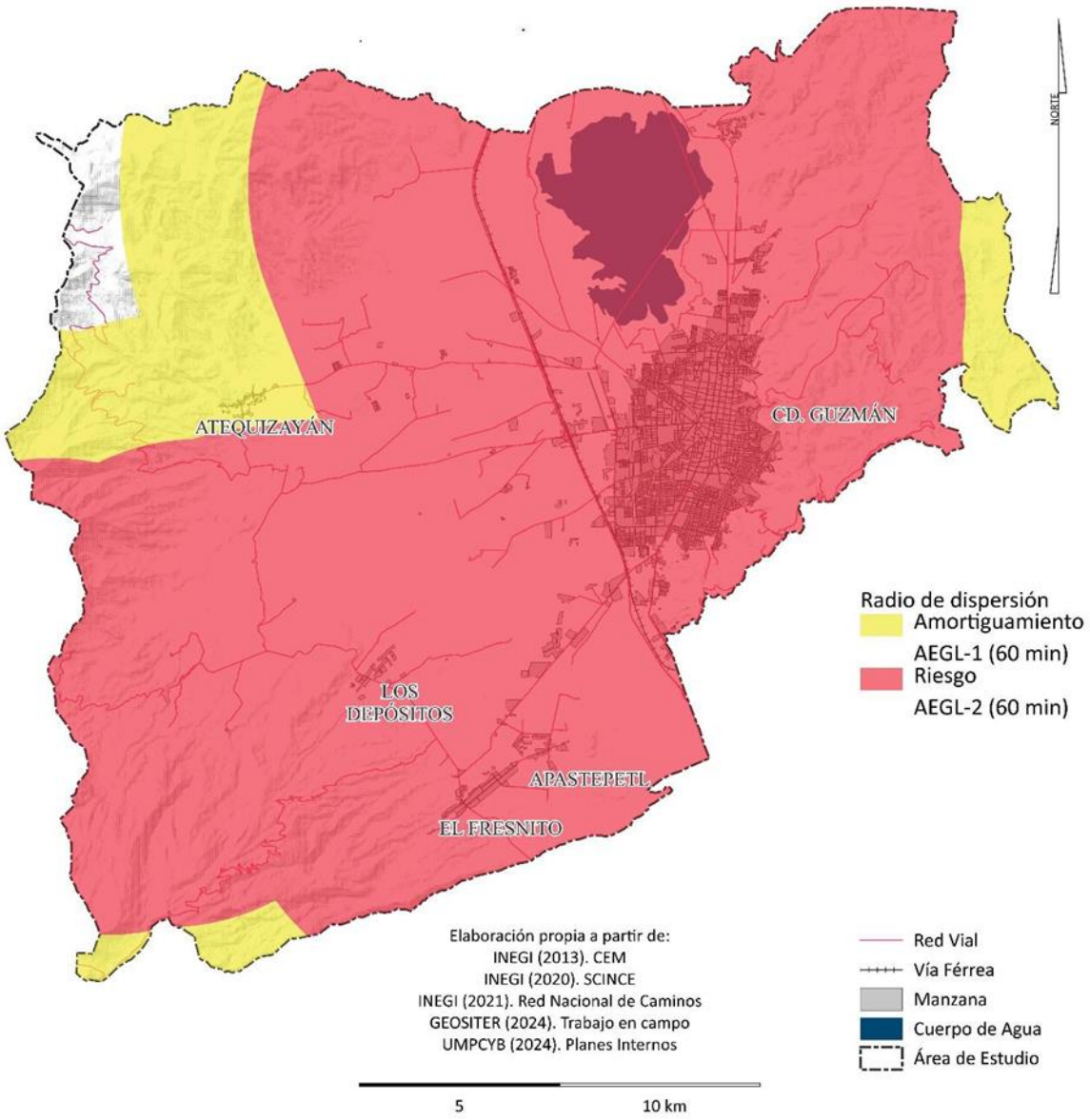
Mapa 80. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de gas l.p.
Fuente: Elaboración propia.



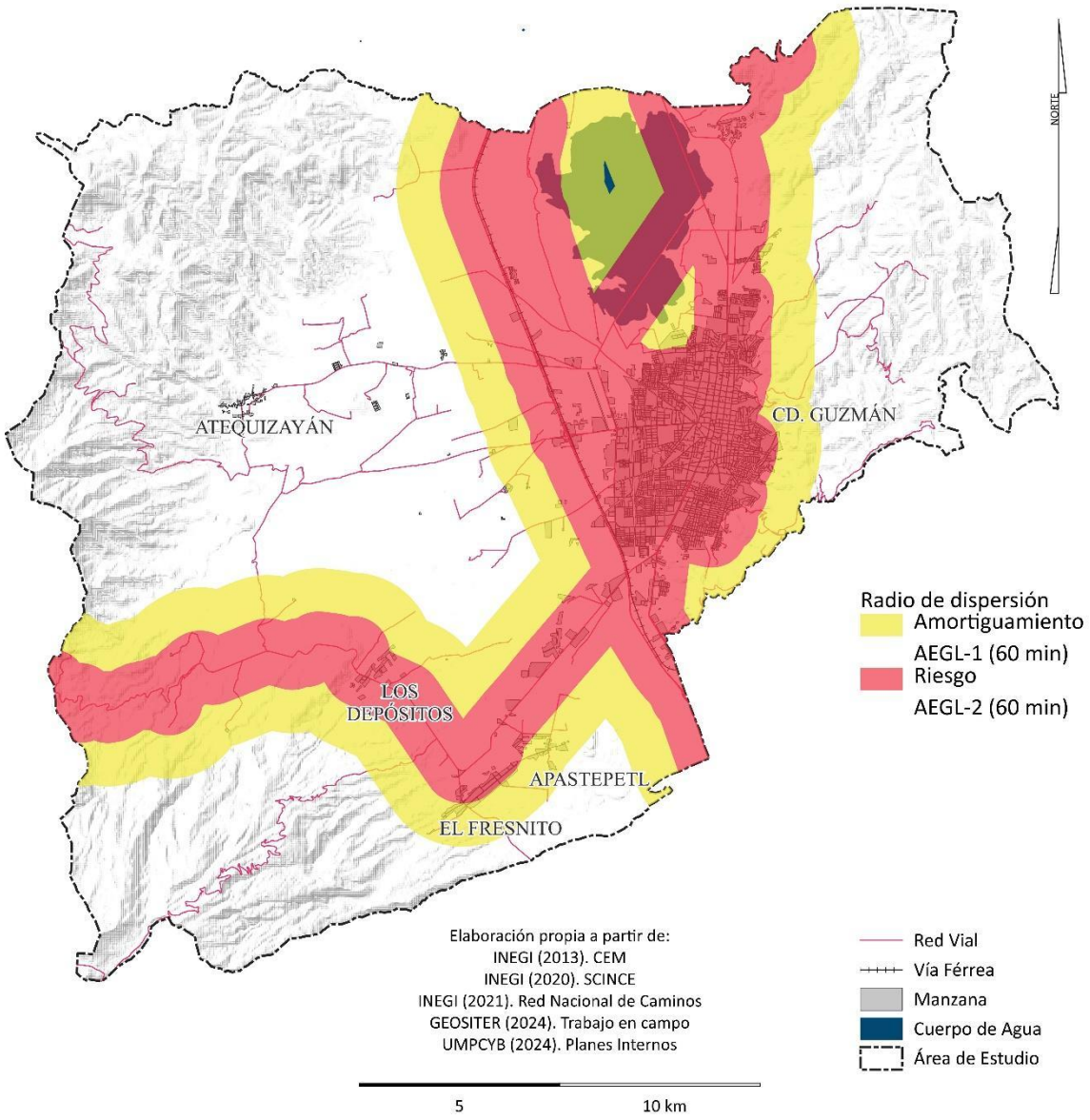
Mapa 81. Zonas de afectación por vapores inflamables de gas l.p.
Fuente: Elaboración propia.



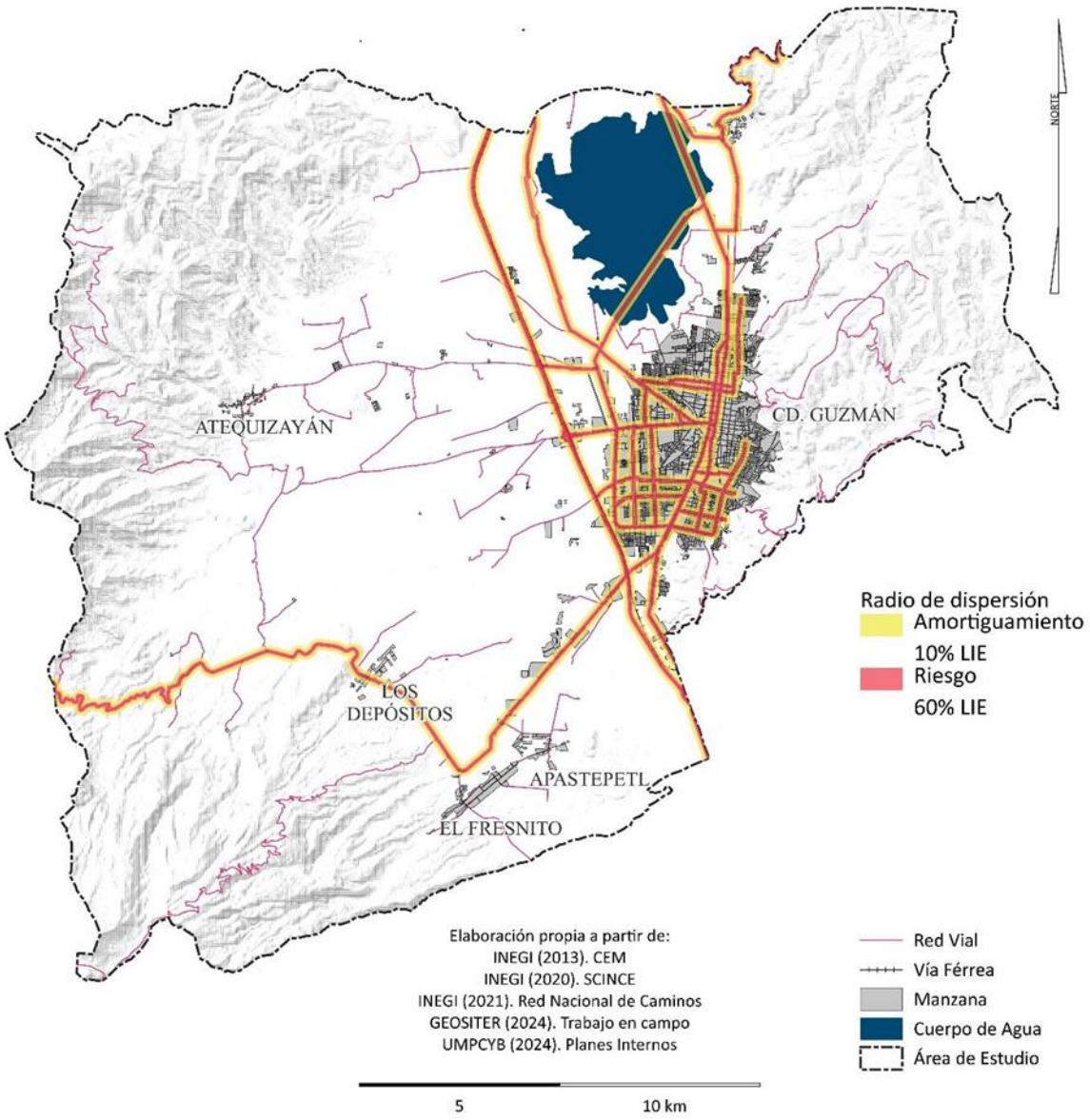
Mapa 82. Zonas de afectación por Sobrepresión de gas l.p.
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 83. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de ácido sulfúrico
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 84. Zonas de afectación por Nube Tóxica por fuga de amoniaco
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 85. Zonas de afectación por Nube de Vapores Inflamables por derrame de gasolina
Fuente: Elaboración propia.

4.4 Infiltración de hidrocarburos al subsuelo

La infiltración de hidrocarburos en el subsuelo representa un riesgo significativo para el medio ambiente y la salud pública, especialmente en municipios con alta vulnerabilidad ambiental. Un derrame de hidrocarburos, ya sea gasolina o diésel, puede ocurrir debido a accidentes viales o fallas en el almacenamiento, provocando la contaminación del suelo y de los acuíferos subterráneos. Aunque no se pudo realizar un estudio exhaustivo debido a la falta de tiempo y recursos, este documento proporciona una metodología detallada para llevar a cabo estudios futuros, basada en las variables necesarias y la información del presente Atlas de Riesgos del municipio, específicamente del módulo "Ecológico-Sanitario".

Para realizar un estudio de infiltración de hidrocarburos, es esencial considerar diversas variables relacionadas con las propiedades del suelo, las características del sitio y la recopilación de datos de campo.

Primero, es fundamental entender las propiedades del suelo, tales como el tipo de suelo, la permeabilidad, la porosidad y la densidad del suelo. El tipo de suelo (arena, arcilla, limo, etc.) influye significativamente en la capacidad de infiltración. La permeabilidad del suelo determina la facilidad con la que los hidrocarburos pueden pasar a través de él, mientras que la porosidad indica el porcentaje de volumen del suelo ocupado por poros. La densidad del suelo, que es la masa del suelo por unidad de volumen, también afecta su estructura y capacidad de retención de contaminantes.

Las características del sitio son igualmente importantes. La profundidad del nivel freático, que es la distancia desde la superficie del suelo hasta el nivel del agua subterránea, es crucial para evaluar el riesgo de contaminación del acuífero. La presencia de capas impermeables puede prevenir la infiltración vertical de los hidrocarburos, y las condiciones de la superficie, como la vegetación, la cobertura del suelo y las pendientes, afectan la infiltración y dispersión de los contaminantes.

Para la recopilación de datos, es necesario realizar estudios geológicos y edafológicos detallados. La cartografía de suelos y geología proporciona información crucial sobre los tipos de suelo y características geológicas del área, mientras que los cortes litológicos permiten determinar la permeabilidad de cada capa del suelo. Además, el monitoreo hidrogeológico mediante la instalación de piezómetros puede proporcionar datos en tiempo real sobre el nivel freático y el flujo de agua subterránea.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es fundamental para el análisis de vulnerabilidad y la simulación de derrames. La creación de mapas de sensibilidad ambiental puede identificar áreas de alta vulnerabilidad, basándose en la proximidad a fuentes de agua, gasolineras y zonas residenciales. Además, los modelos de dispersión, como ALOHA y MARPLOT, permiten predecir la trayectoria y el impacto de los derrames de hidrocarburos.

El monitoreo y detección de contaminantes también son esenciales. Los sensores remotos y la detección satelital pueden utilizarse para detectar y evaluar la extensión de los derrames. Además, las evaluaciones de riesgo ambiental pueden analizar la sensibilidad del ecosistema local y la potencial afectación a la biodiversidad y recursos naturales. Un estudio específico destaca la importancia de los análisis moleculares para identificar contaminantes en el suelo, como se detalla en un artículo de ScienceDaily, el cual proporciona métodos avanzados para la detección y análisis de la contaminación del suelo, mejorando así la precisión y efectividad de los estudios de infiltración (ScienceDaily, 2014).

La información del módulo "Ecológico-Sanitario" del presente Atlas de Riesgos de Zapotlán el Grande proporciona datos valiosos que pueden mejorar significativamente la precisión de los estudios de infiltración. Estos datos incluyen la vulnerabilidad del acuífero por la proximidad de gasolineras o calles y los cortes litológicos que permiten conocer la permeabilidad de cada capa del suelo.

4.5 Zonificación de peligro químico

La ponderación de peligros químicos en el municipio de Zapotlán el Grande se ha basado en un análisis exhaustivo de diversos escenarios de riesgo utilizando un modelo de ponderación multivariable. Este modelo integra múltiples capas de información territorial, tanto de origen natural como antropogénico, para evaluar la susceptibilidad y el nivel de riesgo asociado a fenómenos químicos-tecnológicos. A continuación, se detallan los criterios utilizados para definir los valores ponderados para los peligros específicos de nube tóxica, sobrepresión, vapores inflamables y radiación térmica.

Tabla 73. Criterios de ponderación a peligros

Sistema	Dispersión	Clase	Valor	Porcentaje
Químico	Nube tóxica	Riesgo	4	15
		Amortiguamiento	2	
	Sobrepresión	Riesgo	3	7.5
		Amortiguamiento	1	

	Vapores inflamables	Riesgo	5	12.5
		Amortiguamiento	3	
	Radiación térmica (gasoducto)	Riesgo	4	15
		Amortiguamiento	2	
Geológico-geomorfológico	Peligro por falla	Alto	5	15
		Medio	3	
		Bajo	1	
	Zona de subsidencia	0-3 mm	0	10
		3.001-11 mm	2	
		11.001-23 mm	3	
		23.001-38 mm	4	
		38.001-70 mm	5	
	Intensidad de sismos (Mercalli)	IX	4	5
		X	5	
Sanitario-ecológico	Susceptibilidad a Incendios forestales	Muy Alta	5	5
		Alta	4	
		Media	3	
		Baja	2	
		Muy Baja	1	
Socio-organizativos (transporte de sustancias)	Red vial	Carretera Federal (22 m)	5	10
		Carretera Estatal y Municipal (16 m)	4	
		Avenida o Calzada (12 m)	3	
		Calle (12 m)	2	
		Callejón, Andador, Terracería (7 m)	1	
	Vía Férrea	Buffer de seguridad (30 m)	5	5
		Buffer de precaución (50 m)	3	

Fuente: Elaboración propia.

Nube Tóxica

La simulación de nube tóxica, especialmente en escenarios como accidentes ferroviarios, ha sido ponderada de manera distinta debido a su menor probabilidad de ocurrencia en comparación con otros eventos de liberación. Sin embargo, el alcance de la dispersión de una nube tóxica puede ser significativo, afectando una amplia área geográfica. Por ello, se ha ponderado con un valor de 4 para las zonas de riesgo y 2 para las zonas de amortiguamiento, con un porcentaje del 15%. Esta decisión se basa en la capacidad de la nube tóxica para propagarse ampliamente sin causar daños físicos inmediatos comparables a otros peligros como la sobrepresión o la radiación térmica. Este enfoque se justifica considerando la alta

actividad volcánica en la región, que puede dispersar contaminantes químicos a través de cenizas volcánicas, exacerbando la dispersión de nubes tóxicas.

Sobrepresión

El peligro de sobrepresión se ha ponderado con valores de 3 y 1 para las zonas de riesgo y amortiguamiento, respectivamente, y se le ha asignado un porcentaje del 7.5%. Este fenómeno, aunque tiene una menor extensión geográfica en su impacto, puede causar daños estructurales severos y representa un alto riesgo para la vida humana en su proximidad inmediata. La ponderación refleja la gravedad del impacto y la menor frecuencia de ocurrencia en comparación con otros peligros químicos. La proximidad a infraestructuras críticas y la actividad sísmica en la región aumentan la vulnerabilidad a eventos de sobrepresión, especialmente en áreas con alta densidad industrial.

Vapores Inflamables

Los vapores inflamables representan un riesgo considerable debido a su capacidad para causar incendios y explosiones. Este riesgo se incrementa en áreas con alta actividad industrial y proximidad a infraestructuras críticas. La ponderación asignada a este peligro toma en cuenta la probabilidad de ignición y la capacidad destructiva de los vapores inflamables. Las simulaciones de escenarios han mostrado que, aunque su alcance puede ser limitado en comparación con las nubes tóxicas, el impacto potencial es severo, justificando una ponderación significativa en el modelo. Este riesgo se ve agravado por la actividad volcánica y sísmica, que puede causar daños en las instalaciones industriales y desencadenar liberaciones de vapores inflamables.

Radiación Térmica

La radiación térmica, particularmente en el contexto de un gasoducto, ha sido ponderada debido a su potencial para causar daños catastróficos. Los escenarios de radiación térmica se consideran extremadamente peligrosos debido a la intensidad del calor generado y su capacidad para iniciar incendios en áreas amplias. Esta ponderación ha sido ajustada para reflejar tanto la probabilidad de ocurrencia como el impacto devastador que un evento de radiación térmica puede tener en la infraestructura y la población. La actividad volcánica y sísmica puede aumentar el riesgo de rupturas en gasoductos, incrementando la probabilidad de eventos de radiación térmica.

Consideraciones Metodológicas

El modelo de ponderación se basa en la superposición de capas rasterizadas, donde cada capa aporta un valor específico que contribuye al índice final de susceptibilidad. Las variables consideradas incluyen la proximidad a vías de transporte de sustancias peligrosas, la densidad de infraestructuras críticas y las características geológicas y geomorfológicas del terreno. Esta metodología permite una evaluación integrada y coherente de los riesgos, facilitando la identificación de zonas de mayor susceptibilidad y la planificación de medidas de mitigación y respuesta.

Tabla 74. Resultado de nivel de peligro

Nivel de Peligro	Superficie en hectáreas	Porcentaje de superficie
Muy Bajo	28704.36	72.82
Bajo	5477.31	13.9
Medio	3181.69	8.07
Alto	1689.22	4.29
Muy Alto	365.48	0.93

Fuente: Elaboración propia.

Recomendaciones

Una vez que se tiene una perspectiva más amplia sobre el nivel de riesgos químicos dentro del municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, es fundamental realizar una planeación más estricta en cuanto a la compatibilidad de instalaciones industriales, comerciales y de servicios con los nuevos desarrollos habitacionales, estableciendo mecanismos necesarios para ofrecer seguridad a los habitantes del municipio. Entre otras medidas, es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Establecimiento de Zonas de Riesgo y Amortiguamiento: En coordinación con Protección Civil y Bomberos del municipio, realizar estudios detallados para establecer zonas de riesgo y amortiguamiento, identificando áreas con mayor vulnerabilidad debido a las condiciones naturales del entorno y las características de la población.

2. Compatibilidad de Nuevas Empresas e Infraestructura: Considerar la vulnerabilidad de la zona al establecer nuevas empresas o parques industriales cuyas actividades representen un riesgo al entorno. Esto incluye evaluar las condiciones naturales del entorno y el tipo de población aledaña.

3. Planeación Urbana y Construcción: En la planificación urbana y la construcción de nuevos conjuntos habitacionales, tomar en cuenta el presente estudio, respetando las zonas

de amenaza y amortiguamiento para evitar exponer a la población a riesgos químico-tecnológicos.

4. Ubicación de Instalaciones Riesgosas: Evitar establecer instalaciones que realicen la misma actividad riesgosa cuando se traslapen sus radios de afectación calculados para minimizar el riesgo acumulado.

5. Protección de Zonas Arqueológicas y Naturales: Para la instalación de nuevas empresas o el cambio de actividades de empresas ya establecidas, respetar zonas arqueológicas e históricas, así como zonas naturales protegidas.

6. Capacitación y Equipamiento de Protección Civil: Asegurar que la Unidad Municipal de Protección Civil reciba capacitaciones y entrenamiento periódico, además de estar debidamente equipada para la inspección y control de accidentes que ocurran dentro del municipio. La planificación y compra de capacitaciones, materiales y equipo deben considerar la magnitud y tipos de riesgo presentes en el municipio.

7. Programas de Alertas en Empresas Riesgosas: Procurar que las empresas riesgosas cuenten con un programa de alertas para informar a la comunidad cercana sobre cualquier pérdida de control de sus procesos que ponga en riesgo a la población.

8. Estudios Geotécnicos y de Mecánica de Suelos: Realizar estudios geotécnicos y de mecánica de suelos para evaluar la viabilidad de construir instalaciones que manejen sustancias químicas peligrosas. Estos estudios permitirán identificar las condiciones del terreno, garantizando la estabilidad estructural y minimizando riesgos como hundimientos o deslizamientos, especialmente en zonas con alta actividad sísmica como Zapotlán el Grande.

9. Programa Interno de Protección Civil: Exigir a quienes llevan a cabo actividades riesgosas que diseñen e implementen programas para la elaboración de manuales, sistemas, instructivos, procedimientos y acciones con el fin de:

o Verificar la calidad integral y resistencia mecánica de los equipos y accesorios.

o Establecer el mantenimiento preventivo de equipos de proceso, servicios auxiliares, sistemas de almacenamiento y dispositivos de medición y control, incluyendo los sistemas de seguridad.

o Revisar los sistemas de seguridad y programas de calibración de la instrumentación y elementos de control.

o Elaborar manuales de operación y mantenimiento, instructivos y procedimientos aplicables en áreas donde se manejen sustancias peligrosas, con recomendaciones en caso de emergencia.

o Implementar sistemas de alerta que indiquen las acciones a realizar en caso de emergencia.

o Implementar sistemas de identificación y codificación de maquinaria, equipo y accesorios.

o Llevar a cabo procedimientos para la investigación de accidentes e incidentes.

o Establecer programas de capacitación y simulacros para empleados y contratistas, incluyendo temas como manejo y uso del equipo e instalaciones contra fugas y derrames, y manejo del equipo de protección personal de emergencia.

o Integrar una Unidad Interna de Protección Civil capacitada para atender emergencias dentro del establecimiento, con temas de capacitación como evacuación y simulacros, búsqueda y rescate, prevención y combate de incendios, y primeros auxilios.

10. Mantenimiento Regular y Adecuado:

o Inspección y Mantenimiento de Equipos: Realizar inspecciones regulares y mantenimiento preventivo de las bombas, mangueras y válvulas para asegurar que estén en buen estado y funcionando correctamente.

o Reparación Inmediata de Fugas: Reparar de inmediato cualquier equipo defectuoso o con fugas para evitar derrames recurrentes.

11. Capacitación del Personal:

o Entrenamiento en Procedimientos de Seguridad: Capacitar a los empleados en prácticas seguras de manejo de gasolina, incluyendo cómo llenar los tanques correctamente y cómo responder a derrames.

o Uso de Equipos de Protección: Asegurar que el personal use el equipo de protección adecuado y que esté capacitado para manejar sustancias peligrosas.

12. Infraestructura Adecuada:

o Superficies Impermeables: Utilizar materiales impermeables para las plataformas de concreto bajo las bombas para prevenir que la gasolina penetre en el suelo.

o Sistemas de Contención de Derrames: Implementar sistemas de contención para capturar y contener los derrames antes de que se propaguen, como sumideros y barreras de contención.

13. Gestión de Aguas Pluviales:

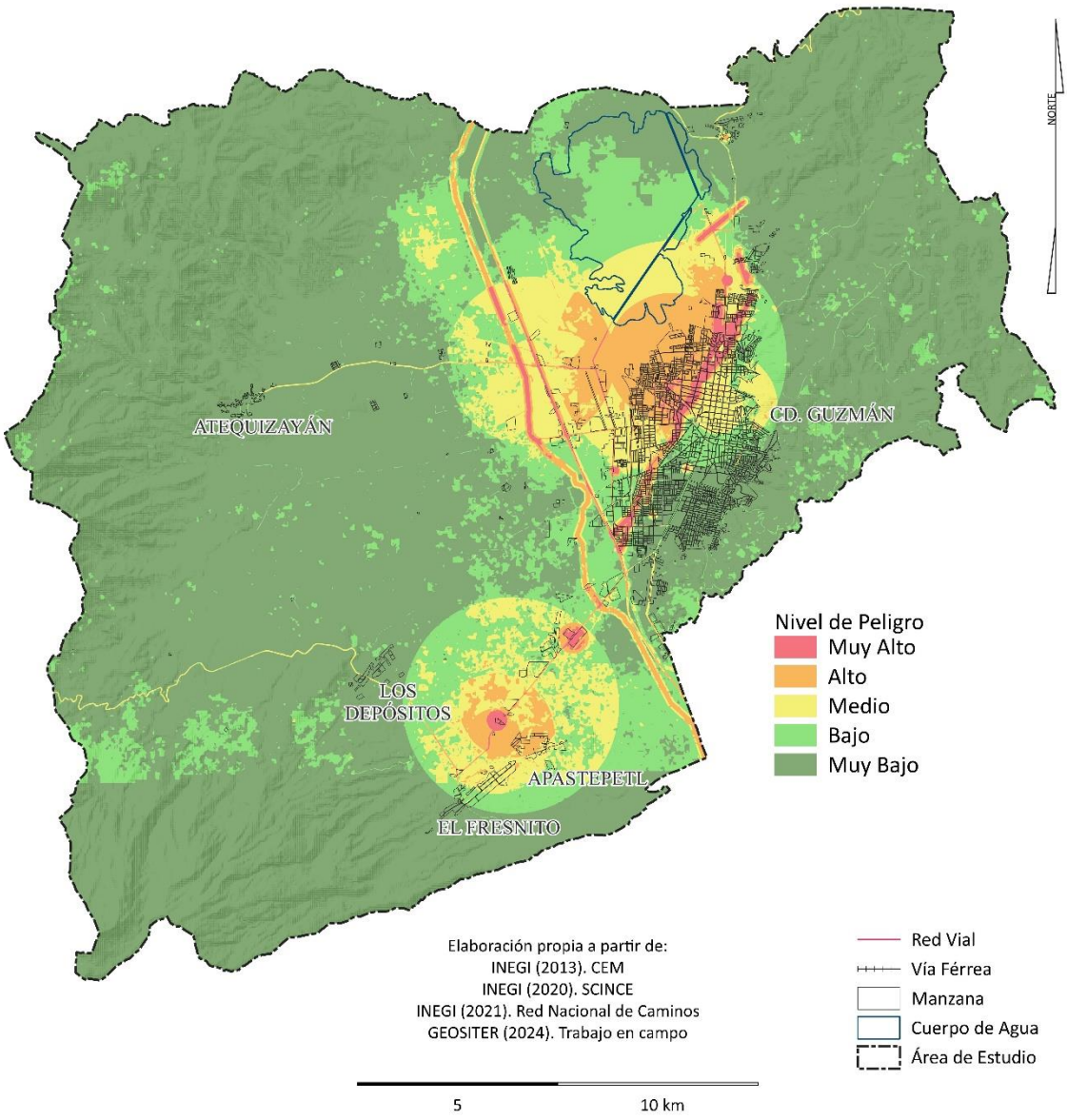
o Desvío de Aguas Pluviales: Diseñar sistemas de drenaje que desvíen el agua de lluvia lejos de las áreas de dispensación de gasolina para prevenir la contaminación del agua de escorrentía.

o Tratamiento de Aguas Contaminadas: Implementar sistemas para tratar el agua de lluvia que haya entrado en contacto con gasolina antes de que llegue a los cuerpos de agua naturales.

14. Monitoreo y Evaluación:

o Monitoreo Continuo: Instalar sistemas de monitoreo continuo para detectar la presencia de gasolina en el suelo y el agua subterránea alrededor de las estaciones de servicio.

o Evaluaciones Regulares: Realizar evaluaciones periódicas del riesgo ambiental para identificar áreas de mejora y actualizar las prácticas de manejo y contención.



Mapa 86. Peligro químico-tecnológico
Fuente: Elaboración propia.

Zonificación de peligro y susceptibilidad a fenómenos sanitario-ecológicos

5.1 Introducción

El fenómeno sanitario-ecológico abarca una serie de interacciones complejas entre la salud humana y los factores ambientales, que, en conjunto, pueden generar significativos riesgos para las comunidades. Este fenómeno se manifiesta a través de la contaminación del aire, suelo y agua, así como la proliferación de plagas y epidemias, todos los cuales representan amenazas latentes y potenciales para la salud pública y los ecosistemas.

El fenómeno sanitario-ecológico se caracteriza por la intrincada interrelación entre distintos componentes ambientales y de salud pública, formando un sistema circular donde cada elemento influye en los demás. La contaminación del aire, suelo y agua, así como la

proliferación de enfermedades, están profundamente interconectados, y comprender estas relaciones es crucial para abordar eficazmente los desafíos que presentan.

La calidad del aire, afectada por la emisión de contaminantes como el material particulado, el ozono y los óxidos de nitrógeno, tiene un impacto directo sobre la salud respiratoria y cardiovascular de la población. Sin embargo, este no es un problema aislado. Las emisiones contaminantes también pueden depositarse en el suelo y el agua, contribuyendo a la degradación de estos recursos. Los contaminantes atmosféricos, arrastrados por la lluvia, se infiltran en el suelo y las fuentes de agua, extendiendo su impacto negativo.

El suelo, contaminado por productos químicos, pesticidas y metales pesados, puede perder su capacidad de sustentar vida, afectando la agricultura y en consecuencia, la cadena alimentaria. La salud del suelo es fundamental para la calidad del agua subterránea, ya que los contaminantes pueden lixiviarse y llegar a los acuíferos, afectando la potabilidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. La contaminación del agua, a su vez, tiene un efecto dominó en la salud pública, ya que es una fuente crítica para el consumo humano, la agricultura y la industria.

Las enfermedades emergentes y las plagas se ven exacerbadas por estas condiciones ambientales adversas. La degradación del suelo y la contaminación del agua crean hábitats propicios para vectores de enfermedades, como los mosquitos que transmiten el dengue, el zika y el chikungunya. Además, la mala calidad del aire puede debilitar el sistema inmunológico de las personas, haciéndolas más susceptibles a infecciones y enfermedades crónicas.

En este contexto, es evidente que todos los componentes del fenómeno sanitario-ecológico están intrínsecamente conectados. La salud del aire, el suelo y el agua, así como el control de enfermedades, no pueden abordarse de manera aislada. Necesitamos enfoques integrados que consideren la interdependencia de estos factores. Las acciones que mejoren un aspecto del entorno natural pueden tener efectos beneficiosos en otros, creando un ciclo positivo de recuperación y regeneración. Reconocer que vivimos en un sistema circular, donde cada acción tiene repercusiones amplias, es fundamental para diseñar estrategias efectivas de mitigación y adaptación. La colaboración entre sectores y la participación activa de la comunidad son esenciales para proteger la salud pública y preservar los ecosistemas. En última instancia, la interconexión de estos temas nos recuerda que todos estamos conectados, y que cuidar nuestro entorno es cuidar de nosotros mismos.

5.2 Epidemias

Las epidemias y pandemias representan desafíos significativos para la salud pública global y local. Es fundamental comprender la dinámica de transmisión y la potencial evolución de una enfermedad dentro de una población humana o animal. Las epidemias involucran una compleja interacción entre el huésped y el parásito y se pueden originar a través de dos mecanismos principales:

- Por Contagio: La transmisión de virus o bacterias puede ocurrir a través del aire, el agua, los alimentos o de persona a persona. Las enfermedades respiratorias, como la gripe y el COVID-19, se propagan principalmente por gotículas respiratorias emitidas al toser, estornudar o hablar. Además, las enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos, como el cólera y la salmonelosis, también pueden propagarse rápidamente en comunidades con infraestructura sanitaria deficiente.
- Por Inoculación: La transmisión a través de vectores, como los mosquitos y otros insectos, es otro mecanismo significativo. Enfermedades como el dengue, la malaria y el virus del Zika se propagan principalmente a través de picaduras de mosquitos infectados. Los vectores juegan un papel crucial en la epidemiología de estas enfermedades, facilitando su propagación en áreas tropicales y subtropicales donde estos insectos son prevalentes.

A través de una comprensión profunda de estos riesgos y la implementación de estrategias adecuadas, se busca fortalecer la capacidad del municipio para prevenir, detectar y responder a las amenazas sanitarias, asegurando así un entorno más seguro y saludable para todos sus habitantes.

Definición y Clasificación

Un brote epidémico es una clasificación usada en epidemiología que denota la aparición repentina de una enfermedad infecciosa en un lugar y momento específicos. Esto puede involucrar un solo caso de una enfermedad rara, múltiples casos de una enfermedad previamente poco frecuente, o un aumento significativo en los casos de una enfermedad común. El brote se amplifica cuando el patógeno se transmite de persona a persona, lo que puede resultar en un brote sostenido dentro de la comunidad y su posterior expansión.

Endemia es un término que denota la presencia habitual de una enfermedad o un agente infeccioso en una determinada zona geográfica o un grupo de población. Se define a la prevalencia habitual de una enfermedad determinada en dicha zona.

Una epidemia se define como la propagación activa de una enfermedad cuando el brote inicial se descontrola y persiste en el tiempo, incrementando el número de casos en un área geográfica específica. Para que una epidemia pueda tener éxito son necesarios 3 factores clave; un hospedero, el agente infeccioso o patógeno y las condiciones ambientales.

Factores clave para la propagación de enfermedades infecciosas

Huésped

- Desnutrición: La falta de nutrientes esenciales puede debilitar el sistema inmunológico, haciéndolo más susceptible a infecciones.
- Inmunodepresión: Condiciones como el VIH/SIDA, el uso de ciertos medicamentos y enfermedades autoinmunes pueden reducir la capacidad del cuerpo para combatir infecciones.
- Nuevos patrones de consumo: Cambios en la dieta y el estilo de vida pueden influir en la exposición a patógenos.

Agente Infeccioso

- Nuevo serotipo: La aparición de nuevas variantes de patógenos puede evadir la inmunidad existente en la población.
- Resistencia a antibióticos: Patógenos resistentes a tratamientos convencionales pueden dificultar el control de la enfermedad.
- Movilidad del agente patógeno y/o vector: La capacidad de los patógenos para moverse y adaptarse a nuevos ambientes es crucial para su propagación.

Especies parasitarias

- Protozoarios: Enfermedades gastrointestinales causadas por protozoarios, como la amebiasis.
- Bacterias: Infecciones de garganta, riñones y otros órganos causadas por bacterias, como la faringitis estreptocócica.
- Virus: Enfermedades como la influenza, el dengue y el COVID-19 causadas por virus.

- Especies que parasitan al hombre:
- Insectos: Garrapatas, piojos y pulgas pueden transmitir enfermedades como la fiebre maculosa y el tifus.
- Nemátodos: Gusanos y lombrices pueden causar enfermedades como la ascariasis.
- Hongos: Infecciones como el pie de atleta y la caspa causadas por hongos.

Condiciones Ambientales

- Crecimiento urbano desordenado: La rápida urbanización sin planificación adecuada puede crear condiciones propicias para la propagación de enfermedades.
- Saneamiento ambiental deficiente: La falta de acceso a agua limpia y saneamiento puede facilitar la transmisión de enfermedades infecciosas.
- Pobreza y hacinamiento: Condiciones de vida precarias pueden aumentar el riesgo de transmisión de enfermedades.
- Deforestación: La alteración de hábitats naturales puede llevar a un mayor contacto entre humanos y vectores de enfermedades.
- Contaminación ambiental: La exposición a contaminantes puede debilitar el sistema inmunológico y aumentar la susceptibilidad a infecciones.

Modos de Transmisión

- Saliva: Transmisión de enfermedades como la mononucleosis infecciosa y la rabia.
- Sangre: Transmisión de enfermedades como el VIH y la hepatitis B.
- Fluidos nasales: Transmisión de enfermedades respiratorias como la gripe y el resfriado común.
- Fluidos sexuales: Transmisión de enfermedades como la gonorrea y el VIH.

Por Vectores

- Temperatura: Afecta la actividad y reproducción de vectores como los mosquitos.
- Precipitación: Influye en la disponibilidad de hábitats acuáticos para la reproducción de mosquitos.
- Altitud: Determina las zonas donde los vectores pueden sobrevivir y reproducirse.
- Viento: Puede dispersar vectores y patógenos a nuevas áreas.
- Luz solar: Afecta la supervivencia y actividad de vectores y patógenos.

La Globalización y la Propagación de Enfermedades

La globalización ha transformado drásticamente la forma en que las enfermedades se propagan a nivel mundial. La movilidad diaria entre continentes y la conectividad global aumentan significativamente el riesgo de que los brotes locales se conviertan en epidemias y pandemias. La capacidad de realizar viajes intercontinentales en cuestión de horas permite que las enfermedades se propaguen rápidamente (Jones et al., 2008). Las redes de transporte aéreo, marítimo y terrestre conectan casi todas las regiones del mundo, facilitando el movimiento de personas, animales y productos que pueden ser vectores de enfermedades infecciosas (Tatem et al., 2012).

Urbanización: La creciente urbanización y la densidad poblacional en las ciudades modernas aumentan las oportunidades de contacto cercano entre individuos, facilitando la transmisión de enfermedades. Las megaciudades, con su alta concentración de personas, actúan como focos de amplificación para la propagación de patógenos.

Interacción Humano-Animal: La globalización ha intensificado la interacción entre humanos y animales a través de prácticas como la agricultura intensiva y la expansión urbana hacia áreas silvestres. Estas interacciones incrementan el riesgo de zoonosis, es decir, la transmisión de enfermedades de animales a humanos, que es una fuente común de nuevos patógenos.

Para el análisis específico del municipio de Zapotlán el Grande se realizaron una serie de pasos técnicos y analíticos clave. En primer lugar, se descargaron los boletines epidemiológicos en formato PDF de la Secretaría de Salud Jalisco, ya que estos proporcionan datos con mayor precisión a nivel municipal en comparación con los datos agregados por estado de la Secretaría de Salud Federal. Debido a que la información no se encontraba disponible en formatos más manejables como CSV o XLSX, se procedió a extraer manualmente los datos de los boletines y vaciarlos en hojas de cálculo de Excel. Este proceso, aunque laborioso, fue fundamental para el análisis posterior.

Se recopilaron y analizaron los datos de diversas enfermedades infecciosas para el período de 2013 a 2024. Para el año 2024, se utilizó la información del boletín correspondiente a la semana #20. Posteriormente, se realizaron análisis estadísticos para identificar la incidencia y las tendencias de las enfermedades a lo largo del tiempo. Este análisis permitió identificar la incidencia de diversas enfermedades infecciosas, facilitando la detección de las principales

enfermedades en el municipio. Para comparar los números y determinar cuáles enfermedades eran importantes, se generó una tasa de incidencia en función de la población de cada año.

Para realizar un análisis histórico estadístico preciso, se llevó a cabo un análisis de tendencia demográfica utilizando los datos de población de los censos del INEGI de los años 2010 y 2020, así como estimaciones del IIEG del año 2015. Se aplicó una regresión lineal a estos datos, obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.995, lo que indica una alta precisión en la modelación de la población para los años intermedios. Esta metodología proporcionó una base de datos robusta y detallada que puede ser utilizada para mejorar las estrategias de salud pública en el municipio de Zapotlán el Grande.

La tabla a continuación muestra un resumen de los casos históricos de diversas enfermedades infecciosas en el municipio de Zapotlán el Grande para el período de 2013 a 2024:

Tabla 75. Casos de enfermedades contagiosas y transmisibles en la región sanitaria Cd. Guzmán VI

Enfermedades	2024	2023	2022
Amebiasis Intestinal	109	389	312
Brucelosis	-	2	6
Cisticercosis	-	12	5
Conjuntivitis	1,061	2,569	1,685
COVID-19	50	388	3,778
Enfermedad Pulmonar Obstructiva	49	207	147
Escabiosis	31	90	117
Fiebre Tifoidea	2	26	19
Infecciones Intestinales por Otros organismos y las mal definidas	5,552	10,858	8,394
Infecciones Respiratorias Agudas	25,410	56,489	50,935
Influenza	21	8	36
Insuficiencia Venosa Periferica	339	887	780
Intoxicación Alimentaria Bacteriana	149	434	193
Leptospirosis	-	-	-
Otras Helmintiasis	168	279	201
Otras Infecciones Intestinales debidas a Protozoarios	1	38	22
Otras Salmonelosis	30	129	123
Paratifoidea	1	8	4
Rabia humana por fauna silvestre	-	-	-
Rabia humana por fauna urbana	-	-	-
Teniasis	-	-	2
Triquinosis	-	-	-
Tuberculosis Otras Formas	-	-	14
Tuberculosis Respiratoria	4	14	11
Población	120,179	118,718	117,258

Total de casos históricos	7,850	34	31	12,282	13,914	653	1,399	218	133,970	796,750	1,005	4,517	4,488	0	4,788	533	1,340	48	0	0	17	0	122	263	
2013	1,449	3	-	1,501	-	-	56	14	19,617	117,612	22	-	889	-	820	142	472	-	-	-	2	-	14	15	104,111
2014	1,715	5	-	-	-	-	92	44	15,162	114,669	230	-	658	-	795	67	-	-	-	-	-	-	12	21	105,572
2015	1,428	8	2	-	-	-	155	32	13,440	101,699	52	-	587	-	855	111	-	-	-	-	1	-	23	20	105,423
2016	843	5	6	-	-	-	223	34	13,748	102,038	469	-	466	-	720	41	-	-	-	-	-	-	15	24	108,493
2017	16	-	-	-	-	-	7	1	262	1,926	1	-	18	-	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	109,954
2018	511	2	-	-	-	-	186	25	16,027	82,368	113	781	402	-	283	46	-	-	-	-	1	-	8	20	111,415
2019	535	-	1	2,790	-	-	179	9	15,337	72,012	7	700	370	-	345	16	233	29	-	-	10	-	8	28	112,875
2020	215	2	3	1,441	4,228	153	141	3	7,340	39,015	27	434	204	-	164	18	129	2	-	-	-	-	7	15	115,141
2021	328	1	2	1,235	5,470	97	122	9	8,233	32,577	19	596	118	-	148	30	224	4	-	-	1	-	21	91	115,797

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SINAVE/DGE/SUIVE (2013 – 2024), IIEG (2015).

Tabla 76. Enfermedades con tasas mayores al 1% en la región sanitaria Cd. Guzmán VI - Porcentaje de la población

Enfermedades principales	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
Amebiasis Intestinal	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1
Conjuntivitis	1	2	1	1	1	2	0	0	0	0	0	1
COVID-19	0	0	3	5	4	0	0	0	0	0	0	0

Infecciones Intestinales por Otros organismos y las mal definidas	5	9	7	7	6	14	14	0	13	13	14	19
Infecciones Respiratorias Agudas	21	48	43	28	34	64	74	2	94	96	109	113
Insuficiencia Venosa Periférica	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Intoxicación Alimentaria Bacteriana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Otras Helmintiasis	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SINAVE/DGE/SUIVE (2013 – 2024), IIEG (2015).

Las Infecciones Respiratorias Agudas son la principal preocupación, presentando tasas de incidencia muy altas a lo largo de los años analizados, especialmente en 2014, 2015 y 2016, siendo 2014 el año más relevante. Los valores de las tasas cercanos al 100% y, en el caso de 2014, superando este porcentaje, sugieren posibles errores estadísticos. Estos errores pueden deberse a que los registros no diferenciaban entre usuarios individuales, permitiendo que una persona que asistió múltiples veces en el mismo año por la misma enfermedad fuera contabilizada varias veces.

Las Infecciones Intestinales por Otros Organismos y Mal Definidas también son prevalentes, pero muestran una tendencia a la disminución. La incidencia de COVID-19 fue significativa sólo durante los años de la pandemia, disminuyendo rápidamente después. La Conjuntivitis muestra incidencias bajas y variables a lo largo del periodo.

5.3 Plagas

Se define como cualquier organismo que resulte de algún modo perjudicial para el hombre o sus actividades agropecuarias, cuando la presencia de la plaga produce pérdidas a las cosechas o la mortandad de animales para consumo humano. Los efectos negativos de las plagas, principalmente, repercuten en la producción de alimentos para la población e impactan en la economía del país.

Plagas urbanas

Las plagas urbanas representan un desafío significativo en términos de salud pública y bienestar en las ciudades. Estos organismos, que incluyen cucarachas, moscas, mosquitos, pulgas, chinches y roedores, actúan como vectores de diversas enfermedades que pueden afectar gravemente a las poblaciones humanas.

La aparición y proliferación de plagas urbanas son fenómenos multifactoriales que resultan de la interacción entre diversos factores ambientales, biológicos y humanos.

Factores Ambientales

Los cambios en las condiciones ambientales, como el aumento de la temperatura y la humedad, pueden favorecer la reproducción y supervivencia de muchas plagas urbanas. Por ejemplo, los mosquitos prosperan en climas cálidos y en presencia de agua estancada, lo que les permite completar su ciclo de vida y aumentar sus poblaciones. Las cucarachas y roedores también encuentran condiciones ideales en ambientes cálidos y húmedos, especialmente en áreas con acceso fácil a alimentos y refugio.

Cambios en el uso del suelo

La alteración del uso del suelo, como la conversión de áreas naturales en zonas urbanas, desplaza a las plagas de sus hábitats originales, forzándolas a adaptarse a los entornos urbanos. La deforestación y la reducción de áreas verdes también contribuyen a la concentración de plagas en zonas urbanas, donde encuentran nuevas fuentes de alimento y refugio.

Factor humano

Las actividades humanas son una de las principales causas de la aparición de plagas urbanas. La urbanización rápida y no planificada crea entornos propicios para estas plagas, debido a la acumulación de residuos sólidos, el mal manejo de desechos orgánicos y la falta de infraestructuras adecuadas para el saneamiento. La presencia de basureros abiertos, desagües obstruidos y áreas con agua estancada son ejemplos de cómo las malas prácticas humanas pueden fomentar la proliferación de plagas.

La falta de educación y conciencia sobre las prácticas adecuadas de manejo de residuos y saneamiento contribuye significativamente a la aparición de plagas urbanas. La educación pública y la promoción de prácticas higiénicas adecuadas son esenciales para reducir las condiciones que favorecen la proliferación de plagas.

Las plagas urbanas son conocidas por transmitir una amplia gama de enfermedades. A continuación, se presenta una tabla detallada que resume las principales plagas urbanas, las enfermedades que transmiten y las medidas preventivas recomendadas para su control:

Tabla 77. Plagas urbanas

Plagas	Enfermedades que transmiten	Medidas preventivas
Cucaracha	Salmonelosis, hepatitis, gastroenteritis, disentería, fiebre tifoidea	No dejar desperdicios orgánicos, eliminar la grasa en las cocinas, sellar huecos en techos y paredes
Mosca	Cólera, disentería, fiebre tifoidea y tuberculosis	No dejar materia orgánica expuesta
Mosquito	Dengue, Chikungunya, zika, fiebre amarilla	No dejar aguas estancadas para evitar la proliferación de larvas, macetas vacías o tanques de agua sin tapa. Control estacional (larvicidas y adulticidas)
Pulga	Cólera, salmonelosis, peste bubónica, fiebres hemorrágicas y tifus	Controlar la higiene de los animales domésticos
Chinches	Mal de Chagas	No dejar huecos en los techos y paredes
Roedores	Peste bubónica y fiebre hemorrágica	Sellar, revocar, colocar tejidos o suplementos en la puerta para evitar su ingreso

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SINAVE/DGE/SUIVE (2013 – 2024), IIEG (2015).

Además de las plagas urbanas, existen otros peligros que deben ser considerados. Entre ellos se encuentran la intoxicación por ponzoña de animales, picaduras de alacrán y el contacto traumático con avispas, avispones y abejas. Estos incidentes, aunque no están relacionados con plagas, representan un riesgo significativo para la salud pública y deben ser manejados con igual diligencia y prevención.

A continuación, se presenta una tabla detallada que resume las principales enfermedades y problemas relacionados a las plagas, vectores y mordeduras.

Tabla 78. Principales enfermedades y problemas relacionados a las plagas, vectores y mordeduras

Enfermedades	Contacto Traumático con Avispas, Avispones y Abejas	Dengue con Signos de Alarma	Dengue Grave	Dengue No Grave	Enfermedad por Virus Chikungunya	Infección por Virus Zika	Intoxicación por Picadura de Alacrán	Intoxicación por Ponzoña de animales	Mordedura de araña viuda negra	Mordeduras por Perro	Rabia humana por fauna silvestre	Rabia humana por fauna urbana	Población

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
	0	0	0	0	0	0	268	111	109	165	191	ND	
	0	0	0	0	0	8	32	51	2	1	3	0	
	28	10	21	40	0	9	14	25	3	0	0	0	
	181	226	349	333	1	173	761	920	43	0	12	11	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	37	4	0	0	0	0	0	
	7,523	6,875	6,541	6,897	105	5,340	5,347	4,253	4,112	3,917	4,518	1,540	
	508	612	559	374	4	408	375	286	272	396	ND	ND	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	
	372	474	437	488	5	414	430	367	338	493	466	202	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	104,111	105,572	105,423	108,493	109,954	111,415	112,875	115,141	115,797	117,258	118,718	120,179	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SINAVE/DGE/SUIVE (2013 – 2024), IIEG (2015).

Como se muestra en la siguiente tabla, las enfermedades más importantes relacionadas con plagas, vectores y mordeduras incluyen la intoxicación por picadura de alacrán, mordeduras por perro, contacto traumático con avispas, avispones y abejas, y el dengue.

Tabla 79. Enfermedades más importantes relacionadas con plagas

Enfermedades	Numero de casos histórico
Intoxicación por Picadura de Alacrán	4929
Contacto Traumático con Avispas, Avispones y Abejas	844
Mordeduras por Perro	422
Intoxicación por Ponzoña de animales	374.5
Dengue No Grave	177
Dengue Grave	9.5
Dengue con Signos de Alarma	0.5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SINAVE/DGE/SUIVE (2013 – 2024), IIEG (2015).

La intoxicación por picadura de Alacrán es la más prevalente a lo largo de los años, con una incidencia consistentemente alta. Los casos pueden ser especialmente graves en individuos alérgicos a las picaduras, lo que representa un riesgo significativo para la salud pública. Las estadísticas muestran un pico en 2014 con 6875 casos y una disminución gradual en años recientes, registrando 1540 casos en 2024.

Las mordeduras por perro son frecuentes y presentan un riesgo significativo debido a las lesiones graves y las posibles infecciones. La incidencia ha mostrado fluctuaciones, con un pico de 493 casos en 2022 y una disminución a 202 casos en 2024. Estos datos reflejan la necesidad de un control continuo en la población canina urbana.

El registro de incidentes por contacto traumático con avispas, avispones y abejas comenzó en 2018. Estos incidentes son particularmente graves en personas alérgicas a las picaduras, representando un riesgo considerable en áreas urbanas densamente pobladas. Los casos alcanzaron su punto máximo en 2019 con 268 registros, reduciéndose a cero en 2024.

El dengue, en sus diversas formas (no grave, grave y con signos de alarma), ha mostrado una tendencia fluctuante con varios picos de incidencia. En 2020, se registraron 920 casos de dengue no grave, con una disminución significativa en los años siguientes, llegando a 11 casos en 2024. La variabilidad en los casos subraya la necesidad de vigilancia continua.

Aunque menos frecuente que la picadura de alacrán, la intoxicación por ponzoña de animales puede ser igualmente grave. Los casos han disminuido en años recientes, con un máximo de 612 casos en 2014 y ningún caso reportado en 2023 y 2024. Esta reducción sugiere una efectividad en las medidas de control implementadas.

No se han reportado casos significativos de enfermedad por virus Chikungunya y solo unos pocos casos de infección por virus Zika en 2018 y 2019. No se han reportado casos de rabia humana, ni por fauna silvestre ni urbana, durante el periodo de estudio.

Plagas cultivos de aguacate

El aguacate es un cultivo de gran relevancia económica para México, que se posiciona como el principal productor y exportador mundial de esta fruta de alta calidad. No obstante, enfrenta diversos desafíos fitosanitarios que pueden afectar su producción, distribución interna y comercialización internacional. Entre las plagas más significativas se encuentran los barrenadores del hueso y del tallo del aguacate, cuya presencia puede ocasionar restricciones en los mercados internacionales debido a las estrictas regulaciones fitosanitarias de los países importadores.

En respuesta a estas amenazas, se estableció la Campaña contra Plagas Reglamentadas del Aguacate en 1996. Su objetivo principal es mantener áreas libres de barrenadores del hueso, incluyendo especies como Conotrachelus aguacatae, Conotrachelus perseae, Heilipus lauri y Stenoma catenifer, así como reducir los niveles de infestación para mejorar la condición fitosanitaria de las regiones productoras de aguacate en México. Hasta diciembre de 2023, se han declarado 90 municipios y nueve zonas agroecológicas libres de estas plagas, cubriendo una superficie de 239,844 hectáreas en ocho entidades del país. Este esfuerzo beneficia a más de 94,252 productores y abarca el 93% de la superficie aguacatera establecida en México.

El control y erradicación de estas plagas no solo protege la producción local, sino que también permite a los productores acceder a mercados internacionales como Estados Unidos, Canadá, Japón y Reino Unido, que exigen medidas fitosanitarias rigurosas. Mantener estas zonas libres de plagas es esencial para evitar pérdidas significativas en la producción y garantizar la calidad del aguacate mexicano en el mercado global.

Diversos actores, como la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Jalisco (SADER Jalisco), la Agencia de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria de Jalisco (ASICA Jalisco), junto con el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (SENASICA), juegan un papel crucial en la preservación y mejora del estatus fitosanitario de las regiones productoras.

Estos reconocimientos de zonas libres de plagas del aguacate se renuevan cada dos años, bajo la supervisión del personal técnico de Senasica. Actualmente, en Jalisco, 17 municipios están libres de barrenadores del hueso y 41 municipios están bajo control fitosanitario.

Figura 110. Representación de los distintos barrenadores
Fuente: SENASICA, 2024.

Los principales actores a nivel federal como local son los siguientes:

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA): Encabeza la Campaña Nacional contra estas plagas en varias entidades federativas. Donde conforme a la norma Oficial Mexicana NOM-069-FITO-1995 y de la modificación de la NOM-066-FITO-2002 para la Campaña contra Plagas Reglamentadas del Aguacate, así como al Manual Técnico para la Implementación del Plan de Emergencia ante la Detección de Barrenadores del Hueso del Aguacate en Zonas Libres. En las campañas se realizan

- Mapeo y Muestreo: Identificación de áreas infestadas.
- Control de Focos de Infestación: Aplicación de medidas para eliminar plagas en zonas específicas.
- Trampeo: Utilización de trampas para monitorear y reducir la población de plagas.
- Capacitación y Divulgación: Educación a los productores sobre técnicas de control y prevención.
- Supervisión y Evaluación: Monitoreo constante para asegurar la efectividad de las medidas implementadas.

Junta Local de Sanidad Vegetal de Zapotlán el Grande: Esta junta implementa campañas como la vigilancia epidemiológica fitosanitaria y el apoyo fitosanitario para las exportaciones. Específicamente se realiza la implementación de medidas para mantener el estatus fitosanitario por medio de las áreas de manejo epidemiológico Fitosanitario (AMEFIS)

Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Jalisco (CESAVEJAL): Colabora en las acciones fitosanitarias.

Asociación de Productores de Exportación de Aguacate de Jalisco (APEAJAL): Representa los intereses de más de 3,200 productores y 26 empaques de aguacate, implementando programas como la certificación Rainforest Alliance y el manejo de residuos plásticos agrícolas así también como programas de reforestación y forestación.

Estos esfuerzos son llevados a cabo por el SENASICA y son independientes del Programa de Trabajo Operativo (PTO) para la exportación de aguacate a Estados Unidos. Sin embargo, el reconocimiento de áreas libres de plagas es un requisito sanitario para los municipios que deseen exportar al país vecino.

Actualmente, los municipios certificados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Servicio de Inspección de Sanidad Agropecuaria (USDA-APHIS) y Senasica para exportar aguacate a Estados Unidos incluyen Zapotlán el Grande, Zapotiltic, Gómez Farías, Concepción de Buenos Aires, Tapalpa, San Gabriel, Sayula, Arandas, Chiquilistlán y Tepatitlán de Morelos, abarcando más de 600 huertas.

La siguiente imagen muestra en verde los municipios con problemas fitosanitarios de barrenadores: Zapotlán el Grande, Concepción de Buenos Aires, Chiquilistlán, La Manzanilla de la Paz, Mazamitla, Quitupan, Gómez Farías, Sayula, Tapalpa, San Gabriel y Zapotiltic y en rojo: Tuxpan, Zapotitlán de Badillo, Tamazula de Gordiano, Tecalitlán, Jilotlán de los Dolores, Cuauhtémoc, Comala, Tolimán entre otros. Esta representación visual resalta la importancia de mantener una vigilancia constante no solamente sobre el municipio sino de los municipios colindantes y cercanos para asegurar la protección de los cultivos de aguacate.

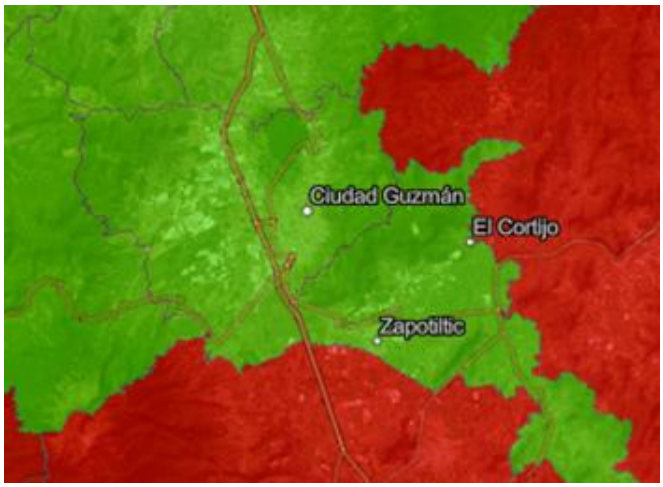


Figura 111. Zonas libres o con problemas fitosanitarios de barrenadores de hueso del aguacate
Fuente: SENASICA, 2024.

Es crucial mantener los sistemas de la alerta constantes debido a que nos encontramos en una zona que con el cambio climático aunado a las prácticas agrícolas como los monocultivos que propician la intensificación de plagas por la falta de biodiversidad y la ausencia de autocontrol biológico natural. Los cultivos con deficiencias en los ciclos del suelo tienden a depender más de insumos como fertilizantes, plaguicidas y herbicidas. Esta dependencia excesiva no solo reduce la biota del ecosistema, sino que también descompone el equilibrio natural del suelo, haciéndolo más susceptible a las plagas.

En contraste, suelos sanos, ricos en biodiversidad, promueven plantas más fuertes y resilientes. Estos suelos saludables permiten que las plantas desarrollen defensas naturales contra plagas, reduciendo la necesidad de intervención química. Fomentar la transición de las prácticas agrícolas regenerativas que mejoren la salud del suelo es esencial para mantener la viabilidad a largo plazo de los cultivos de aguacate y protegerlos de problemas fitosanitarios.

La agricultura regenerativa comenzará a ser parte fundamental de la estrategia para cultivos más resilientes. Más allá de las certificaciones, será necesario contar con la trazabilidad de las huertas y sus manejos para hacer la transición hacia prácticas agrícolas regenerativas. Estas prácticas no solo hacen que los cultivos sean más resistentes a las plagas, sino que también reducen la necesidad de agua debido a la mejor absorción y retención del suelo absorbiendo carbono a su vez e incrementando la materia orgánica en los suelos.

Además, los sistemas agrícolas regenerativos generan ecosistemas biodiversos que contribuyen positivamente a la lucha contra el cambio climático, en lugar de exacerbar. Su implementación promueve suelos más saludables, reduce el uso de agroquímicos, plantas más robustas y un entorno más equilibrado, lo que, en última instancia, mejora la sostenibilidad en su contexto económico, social y ambiental elevando así la productividad de los cultivos de aguacate.

5.4 Contaminación

La contaminación se define técnicamente como la introducción de sustancias o elementos que alteran negativamente el entorno natural, impactando adversamente los ecosistemas y la salud de los seres vivos. Este fenómeno abarca diversas formas, incluyendo la contaminación del agua, del aire y del suelo, así como fenómenos adicionales como la pérdida del suelo y los incendios forestales. La ineficiencia de los procesos desarrollados por el ser humano y la falta de comprensión de que el entorno en el que vivimos está compuesto por variables interconectadas contribuyen significativamente a este problema. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la mayoría de estos problemas son de origen antropogénico, es decir, causados por actividades humanas.

El impacto de nuestras acciones se manifiesta a lo largo de todo el ciclo de vida del desarrollo humano, desde la extracción de materias primas, la producción y distribución de alimentos, la fabricación de productos, hasta las fuentes de energía necesarias para estos procesos, y finalmente, la distribución y comercialización de los productos finales. Históricamente, los sistemas han sido concebidos como procesos lineales, un pensamiento que ha prevalecido desde la era industrial. Esta perspectiva lineal, que no considera la reintegración y reingeniería hacia procesos cíclicos, ha llevado a una situación insostenible en la que los sistemas actuales no pueden contrarrestar el crecimiento exponencial de la población ni los hábitos de consumo.

La gestión integral de los recursos más básicos del sistema, como el agua, el suelo y el aire, es crucial. La falta de una buena gestión en estos aspectos fundamentales, junto con la creciente cantidad de residuos y emisiones contaminantes, exacerba los fenómenos de contaminación. La realidad de vivir en un sistema donde toda acción genera una reacción es evidente, y la necesidad de desarrollar procesos más eficientes y sostenibles es imperativa para mitigar estos efectos negativos.

Contaminación del agua

La contaminación del agua es uno de los problemas ambientales más críticos a nivel mundial. Se refiere a la introducción de sustancias nocivas, como productos químicos, desechos industriales, aguas residuales y materiales tóxicos, en cuerpos de agua como ríos, lagos, océanos y acuíferos. Jiménez (2001).

La práctica de conducir desechos a los ríos está profundamente arraigada, pero es insostenible y perjudicial. Históricamente, se comenzó a hacer esto por la falta de sistemas de gestión de residuos adecuados y por la percepción de los ríos como recursos infinitos capaces de diluir cualquier cantidad de contaminación. Sin embargo, esta práctica ya no puede continuar. Es imperativo desarrollar y adoptar sistemas de gestión de residuos más sostenibles que no dependan de los cuerpos de agua para deshacerse de los contaminantes.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el agua contaminada contribuye significativamente a enfermedades y muertes en muchas partes del mundo, especialmente en regiones con infraestructuras de saneamiento deficientes. La agricultura, la industria y las actividades urbanas son las principales fuentes de contaminación del agua. La definición de agua contaminada se basa en la presencia de compuestos medibles que exceden los límites establecidos por normativas federales o internacionales. Estos estándares varían según el uso del agua, las exigencias higiénicas y el avance de la ciencia y la tecnología para detectar y medir los contaminantes.

La contaminación del agua tiene consecuencias graves. No solo reduce la calidad de vida, sino que también puede provocar la muerte de flora y fauna, y hacer que el agua sea inutilizable para consumo humano, recreación y producción de alimentos. La salud de todos los seres vivos depende del acceso a agua limpia y segura. Además, la contaminación del agua deteriora el medio ambiente y el paisaje, transformando un recurso vital y accesible en un peligro para la salud pública y el bienestar general.

Comprender los fenómenos ecológicos y sanitarios asociados con la contaminación del agua es crucial. Cada uno de nosotros es parte del problema y, por lo tanto, parte de la solución. La contaminación del agua es un desafío complejo que demanda nuestra atención y acción concertada. Este capítulo te invita a explorar las causas, efectos y posibles soluciones para la contaminación del agua, un recurso esencial para la vida en nuestro planeta. Acompáñanos en este recorrido para aprender cómo podemos proteger y preservar este valioso recurso y asegurar un futuro saludable para todos.

Para abordar la contaminación del agua, es fundamental comprender la clasificación de los compuestos presentes en ella. Estos compuestos se dividen en tres categorías principales: químicos, biológicos y físicos. Cada uno de estos tipos de contaminantes tiene características y efectos específicos sobre la calidad del agua y la salud de los ecosistemas y seres vivos.

En México, la normativa para la medición de parámetros de calidad del agua se basa en la norma NOM-127-SSA1-1994, la cual establece los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano.

Tabla 80. Conglomerado de parámetros de calidad del agua, sus indicadores, sus causas y efectos

Clasificación de los contaminantes	Parámetro	Importancia Positiva	Importancia Negativa
Físicos	Color	Indicador de la presencia de sustancias naturales y minerales, útil en la detección de contaminación natural.	Puede indicar la presencia de contaminantes químicos o biológicos, afectando la potabilidad y calidad estética del agua.
	Olor	Puede ayudar a identificar la presencia de ciertas sustancias químicas y compuestos orgánicos volátiles.	Un olor desagradable puede indicar la presencia de contaminantes orgánicos o inorgánicos, afectando la percepción de calidad del agua.
	Sabor	Puede ser un indicador de la presencia de minerales naturales beneficiosos, utilizado en la evaluación sensorial de calidad del agua.	Un sabor extraño puede indicar la contaminación por sustancias químicas, afectando la aceptabilidad del agua para consumo humano.
	Temperatura	Una temperatura adecuada es esencial para la vida acuática y los procesos biológicos, influyendo en la solubilidad de gases y reacciones químicas.	Temperaturas elevadas pueden reducir el oxígeno disuelto y afectar la vida acuática, incrementando la toxicidad de ciertos contaminantes.
	Turbiedad	Ayuda a determinar la efectividad de los procesos de filtración y tratamiento de agua, indicador de sólidos suspendidos.	Alta turbiedad puede indicar la presencia de patógenos, afectando la desinfección y disminuyendo la calidad del agua para consumo humano.
	Sólidos	Pueden proporcionar nutrientes esenciales para organismos acuáticos y contribuir a la estructura de sedimentos bentónicos.	Sólidos en exceso pueden obstruir sistemas de tratamiento, dañar equipos y afectar la estética del agua, además de transportar contaminantes adsorbidos.
	Conductividad	Indica la presencia de sales y minerales esenciales, útil para evaluar la salinidad y la capacidad del agua para conducir electricidad.	Alta conductividad puede señalar contaminación por desechos industriales o agrícolas, afectando la calidad del agua para uso agrícola y potabilidad.
Químicos	Alcalinidad	Mantiene el pH del agua estable, esencial para la vida acuática y los procesos de tratamiento de agua, actuando como un buffer contra cambios abruptos de pH.	Niveles altos pueden indicar contaminación por desechos industriales, afectando el equilibrio químico del agua y su uso en procesos industriales.
	Oxígeno disuelto	Esencial para la respiración de los organismos acuáticos, indicador de la calidad del agua y su capacidad para sostener vida.	Bajos niveles pueden causar la muerte de organismos acuáticos, indicando contaminación orgánica o química y

			afectando la salud de ecosistemas acuáticos.
	pH	Un pH equilibrado es crucial para la mayoría de los procesos biológicos acuáticos y la estabilidad química del agua, influenciando la solubilidad y toxicidad de contaminantes.	Los pH extremos pueden ser tóxicos para la vida acuática, causar corrosión en infraestructuras y afectar los procesos de tratamiento de agua.
	No metales	Algunos no metales son esenciales para procesos biológicos y la formación de compuestos orgánicos vitales.	Pueden incluir contaminantes como pesticidas y compuestos orgánicos volátiles, afectando la salud humana y la vida acuática.
	Metales	Algunos metales, como el hierro y el zinc, son nutrientes esenciales para organismos acuáticos y humanos, participando en procesos biológicos cruciales.	Metales pesados, como el plomo y el mercurio, son tóxicos incluso en bajas concentraciones, acumulándose en organismos y afectando la salud.
	Nutrientes (N y P)	Esenciales para el crecimiento de plantas y organismos acuáticos, indicadores de productividad biológica en ecosistemas acuáticos.	En exceso, pueden causar eutrofización, promoviendo la proliferación de algas nocivas y afectando la calidad del agua y la salud de los ecosistemas.
	Dureza	Indica la presencia de minerales beneficiosos como calcio y magnesio, importantes para la salud humana y procesos biológicos.	Alta dureza puede causar incrustaciones en tuberías y equipos, afectando la eficiencia de sistemas de distribución y tratamiento de agua.
	Cloro residual	Utilizado para desinfectar el agua y eliminar patógenos, asegurando la seguridad microbiológica del agua tratada.	El exceso de cloro puede formar compuestos tóxicos, como trihalometanos, y afectar la salud humana y la vida acuática.
Materia Orgánica	Demanda química de oxígeno (DQO)	Indica la cantidad de materia orgánica en el agua, útil para evaluar la carga contaminante y la efectividad de los procesos de tratamiento de aguas residuales.	Alta DQO puede reducir el oxígeno disuelto, afectando la vida acuática y señalando una alta carga de contaminantes orgánicos.
	Demanda biológica de oxígeno (DBO)	Indicador de la carga orgánica biodegradable en el agua, importante para el diseño y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales.	Alta DBO puede agotar el oxígeno disuelto, afectando negativamente a los organismos acuáticos y la calidad del agua.
	Carbono orgánico total (COT)	Permite evaluar la cantidad total de materia orgánica presente en el agua, incluyendo compuestos no biodegradables, útil para monitoreo de contaminación.	Altos niveles pueden indicar contaminación orgánica, promoviendo el crecimiento de microorganismos y afectando la calidad del agua.
	Extractables con cloroformo	Indicadores de compuestos orgánicos potencialmente tóxicos, útiles para identificar la presencia de contaminantes persistentes y bioacumulativos.	Pueden incluir sustancias tóxicas persistentes y bioacumulativas, afectando la salud humana y la vida acuática.
	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	Utilizadas para identificar tensioactivos en el agua, indicadores de contaminación por detergentes y productos industriales.	Pueden indicar la presencia de detergentes y otros contaminantes orgánicos, afectando la calidad del agua y la salud de ecosistemas acuáticos.
	Grasas y aceites	Pueden ser reciclados y utilizados como recursos, indicadores de contaminación por hidrocarburos y productos oleosos.	Pueden formar películas en la superficie del agua, afectando la vida acuática y los sistemas de tratamiento, además de ser tóxicos para organismos acuáticos.

	Fenoles	Utilizados en la fabricación de productos industriales, su presencia puede ser monitoreada para evaluar la contaminación industrial.	Altamente tóxicos y pueden causar efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente, afectando la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.
Bacteriológicos	Coliformes fecales	Indicadores de contaminación biológica, útiles para evaluar la efectividad del tratamiento de agua y la seguridad microbiológica.	Presencia indica contaminación fecal, señalando posibles riesgos para la salud humana debido a patógenos.
	Vibrio cholerae	Identificación permite prevenir brotes de cólera, importante para la salud pública y la gestión de recursos hídricos.	Causa cólera, una enfermedad grave y potencialmente mortal, afectando la salud pública y la seguridad del agua.
	Shigella	Indicador de contaminación fecal y salud pública, su detección ayuda a prevenir brotes de shigelosis.	Causa shigellosis, una enfermedad infecciosa grave y contagiosa, afectando la salud pública y la seguridad del agua.
	Salmonella	Detección ayuda a prevenir enfermedades transmitidas por el agua, esencial para la seguridad alimentaria y sanitaria.	Causa salmonelosis, una enfermedad infecciosa que puede ser grave en humanos, afectando la salud pública y la calidad del agua.
	Giardia Lamblia	Detección permite tratamiento y prevención de giardiasis, importante para la gestión de recursos hídricos y la salud pública.	Causa giardiasis, una infección intestinal debilitante, afectando la salud pública y la calidad del agua para consumo humano

Fuente: Elaboración propia con datos de Jiménez (2001), APHA (2017), WEF (2017), EPA (2016).

Sitios y cuerpos de agua contaminados

La contaminación de sitios y cuerpos de agua es un problema ambiental crítico que afecta tanto la salud humana como la integridad de los ecosistemas. En muchas regiones, los cuerpos de agua superficiales y subterráneos están expuestos a diversas fuentes de contaminación, incluyendo descargas industriales, aguas residuales domésticas y escorrentías agrícolas. Estos contaminantes pueden contener sustancias tóxicas, nutrientes en exceso y patógenos, que deterioran la calidad del agua y ponen en riesgo la biodiversidad acuática y la salud pública.

Calidad del agua

La calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas y biológicas del agua, que determinan su idoneidad para diversos usos, como el consumo humano, la agricultura, la recreación y la sostenibilidad de los ecosistemas.

Descarga de aguas residuales

Los volúmenes de descargas de aguas residuales se encuentran asentados dentro del Registro Público de Derechos de Agua (2023) por el titular del derecho y uso. En el municipio se concesionan 3.73 hm3 anuales cuyas descargas se transfieren a la Laguna de Zapotlán. Se registran dos categorías con concesión de público urbano y pecuario, aunque son un total de

8 concesiones, la cantidad del volumen de descarga anual es extremadamente alto, alcanzando los 3,701,713.20 metros cúbicos para el uso urbano y 32,258.7 metros cúbicos anuales para uso pecuario.

Tabla 81. Concesiones de descargas superficiales en el AEH

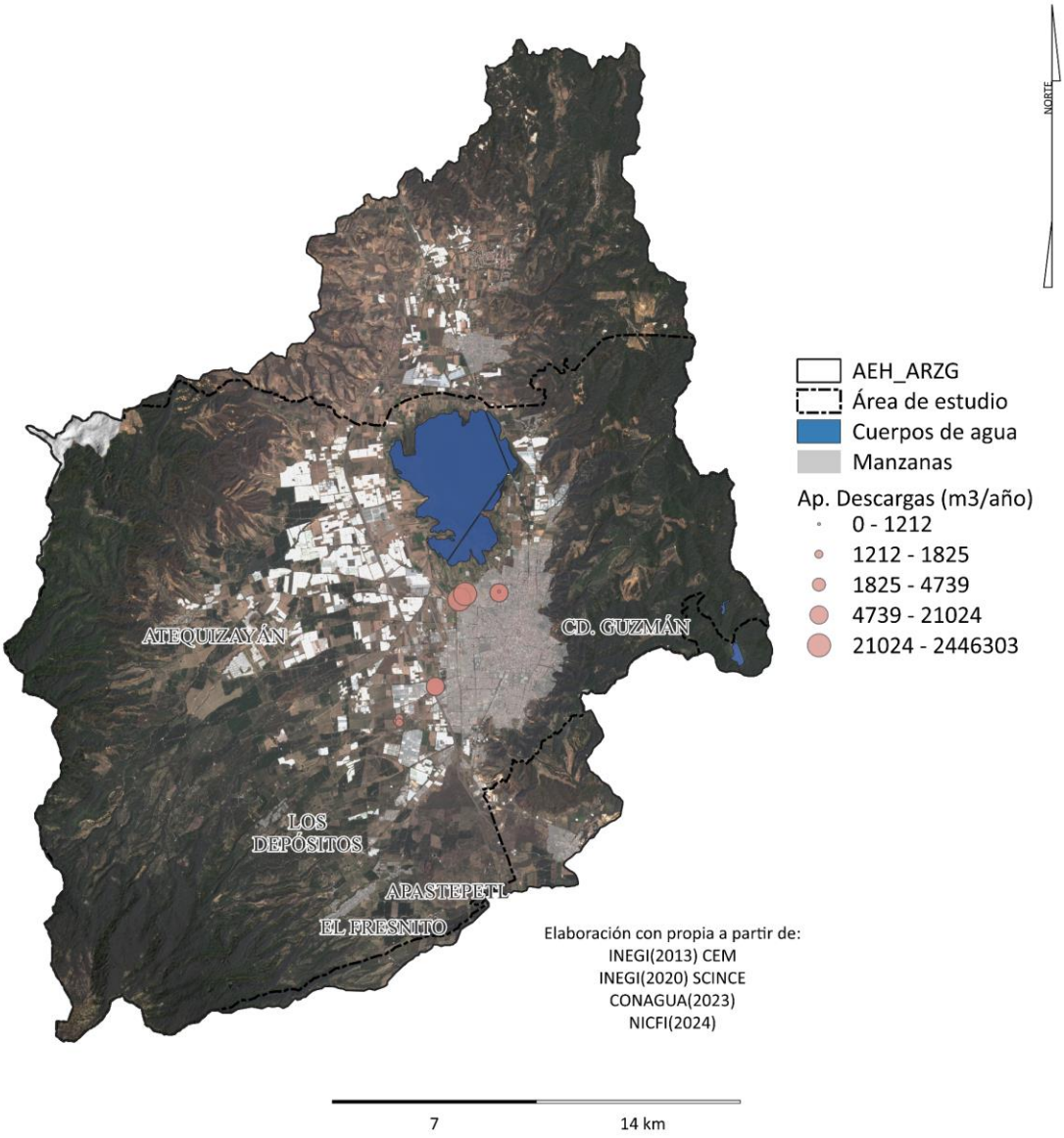
Municipio	Tipo de descarga	Número de Concesiones	Volúmen de descarga (m3/año)
Zapotlán el Grande	Público Urbano	2	3,701,713.20
	Pecuario	6	32,258.70

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2023.

Plantas de tratamiento de aguas residuales

SAPAZA opera 2 plantas de tratamiento biológico nivel secundario, diseñadas para cumplir con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, mediante lodos activados sin sedimentación primaria, proceso convencional y 1 planta de tratamiento por medio de humedales. Planta de tratamiento #1: se localiza al noroeste de la ciudad, en la prolongación de la calle Manuel Doblado. Dicha planta fue construida en el año de 1999 para una capacidad de 50 litros por segundo, entrando en operación en el año 2000. En el año 2008 se llevó a cabo una rehabilitación y ampliación de la misma, teniendo actualmente una capacidad instalada de 65 litros por segundo.

La Planta de tratamiento #2 se ubica al noroeste de la ciudad, en la prolongación de la calle Manuel M. Diéguez y Nicolás Bravo, a una distancia aproximada de un kilómetro con respecto a la planta de tratamiento #1. Fue construida en el año de 2003 para una capacidad de 153 litros por segundo, entrando en operación en el año 2004. En el año 2008 se llevó a cabo una rehabilitación de la misma, sin embargo, no fue ampliada en su capacidad. Planta de tratamiento Atequizayan se ubica en la localidad de Atequizayan, es una planta de tratamiento La instalación incluye aprovechamiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, paralelo al suministro convencional por parte de CFE. con una capacidad de 1.8 l/s. Actualmente la PTAR, equipada con paneles fotovoltaicos, se encuentra terminada y en operación y el humedal fue recientemente plantado. La información disponible sobre plantas de tratamiento se encuentra publicada en el catálogo de plantas de tratamiento de la Comisión Estatal del Agua en Jalisco (2023). Existen 4 PTAR dentro del AEH. De los 2 municipios que componen el AEH, los 2 cuentan con PTAR´s, el municipio de Zapotlán el Grande tiene 2 convencionales y una para la localidad de Atequizayan de tipo humedal, el municipio de Gomez Farias cuenta con 2. De las 5 plantas construidas 4 se encuentran en operación. Estas mismas suman una capacidad de tratamiento total de 226.8 litros por segundo. Enseguida se desglosa la información sobre las PTAR dentro del AEH.



Mapa 87 Concesiones de descargas superficiales en el AEH.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 112. Planta de tratamiento #1
Fuente: Ortofoto municipal.

Figura 113. Planta de tratamiento #2
Fuente: Ortofoto municipal.

Figura 114. Planta de tratamiento por medio de humedal en Atequizayán
Fuente: Captura propia.

Figura 115. Vista del interior del humedal de la Planta de Tratamiento de Atequizayán
Fuente: Captura propia.

Tabla 82. Capacidad de tratamiento en el AEH

Municipio	Nombre	Gasto de diseño (l/s)	Situación
Zapotlán el Grande	Ciudad Guzman 1	50	En operación
	Ciudad Guzman 2	150	En operación
	Humedal Atequizayan	1.8	En operación
Gómez Farias	San Andres Ixtlán	11	Fuera de operación
	San Sebastian del Sur	25	En operación
Capacidad total instalada (l/s)			237.8
Capacidad total en operación (l/s)			226.8
Porcentaje en operación (%)			95

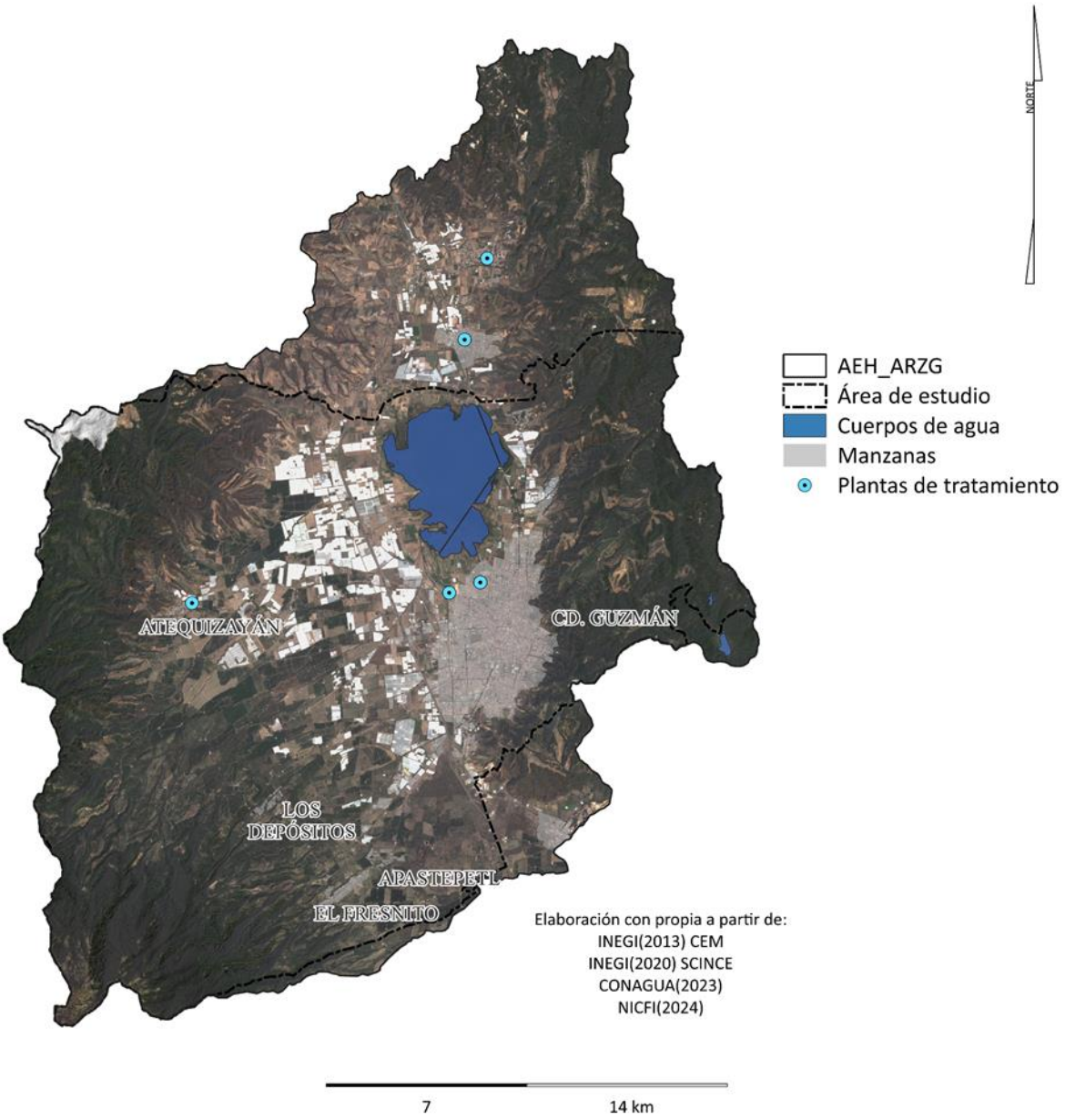
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2023).

Con el objetivo de evaluar si la capacidad de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es suficiente para procesar el agua residual generada en las localidades urbanas y rurales del municipio de Zapotlán el Grande, se llevó a cabo un análisis de caudal de tratamiento. Para calcular el volumen de agua residual generado en cada localidad, se consideró que el 75% del consumo de agua de la población se convierte en aguas residuales, de acuerdo con su clasificación como urbana o rural.

Este estudio se basó en datos del "Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento" (Libro 4: Dotación) y en información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2016). Los datos específicos incluyeron:

- Capacidades de diseño de las PTAR: Proporcionadas por la Comisión Estatal del Agua (CEA, 2023).
- Datos poblacionales municipales: Obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020).

El volumen de aguas residuales se determinó según las directrices del manual de CONAGUA (2016), el cual recomienda asumir que el 75% del consumo total de agua se convierte en aguas residuales.



Mapa 88. Plantas de tratamiento de aguas residuales en AEH
Fuente: Elaboración propia.

Se adoptó una dotación de agua promedio para el Área de Estudio Hidrográfico (AEH) considerando el clima predominante en el municipio, que es semicálido semihúmedo, clasificado dentro del manual como cálido húmedo (A). Se realizaron ajustes basados en los consumos promedio para este tipo de clima y observaciones durante visitas a las PTAR. Los consumos de agua por habitante al día se estimaron en 338 L/día para poblaciones urbanas y 250 L/día para poblaciones rurales, conforme a los datos de CONAGUA (2016), PMGD ZGJ (2022).

Una vez establecidos los datos de entrada se calcula la cantidad de agua residual generada por municipio y su capacidad de tratamiento. En cuanto a la información de la capacidad de tratamiento se utilizó la capacidad para la cual fueron diseñadas. Los resultados de este análisis se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 83. Déficit de tratamiento en el municipio de Zapotlán el Grande

Municipio	Capacidad de tratamiento (hm3/año)	Volumen anual de aguas residuales (hm3/año)	Déficit de tratamiento por municipio (hm3/año)	Porcentaje de tratamiento de aguas residuales domésticas (%)	Estado de tratamiento de aguas residuales
Zapotlán el Grande	6.363965	10.574096	-4.21013101	39.82	Déficit

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2023).

De acuerdo con los resultados del análisis, el municipio de Zapotlán el Grande presenta un déficit en su capacidad de tratamiento de aguas residuales. Esto se debe a que el volumen de agua residual generado en el municipio supera la capacidad de tratamiento de sus PTAR, particularmente en la cabecera municipal, y a la falta de sistemas de tratamiento en las localidades rurales.

Las localidades rurales carecen de sistemas de tratamiento de agua residual convencionales, lo que requiere un enfoque diferente para su manejo. Los sistemas descentralizados no convencionales, como los humedales construidos y los biodigestores, son adecuados para tratar las aguas residuales en estas áreas. Estos sistemas ofrecen una solución viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en las localidades rurales de la región.

Semáforo de contaminación hídrica

De acuerdo al semáforo de CONAGUA, que representa, a partir de 8 indicadores de calidad de agua, si el cuerpo de agua incumple o cumple con la clasificación de calidad, los valores de incumplimiento son clasificados como: contaminado y fuertemente contaminado y son

reportados en rojo o amarrillo; por su parte, los valores que cumplen son clasificados como: excelente, buena calidad y aceptable y se representa con el color verde.

Para la clasificación de los sitios de monitoreo a través del semáforo se deben seguir las siguientes indicaciones según sea el parámetro. En la siguiente tabla se puede apreciar.

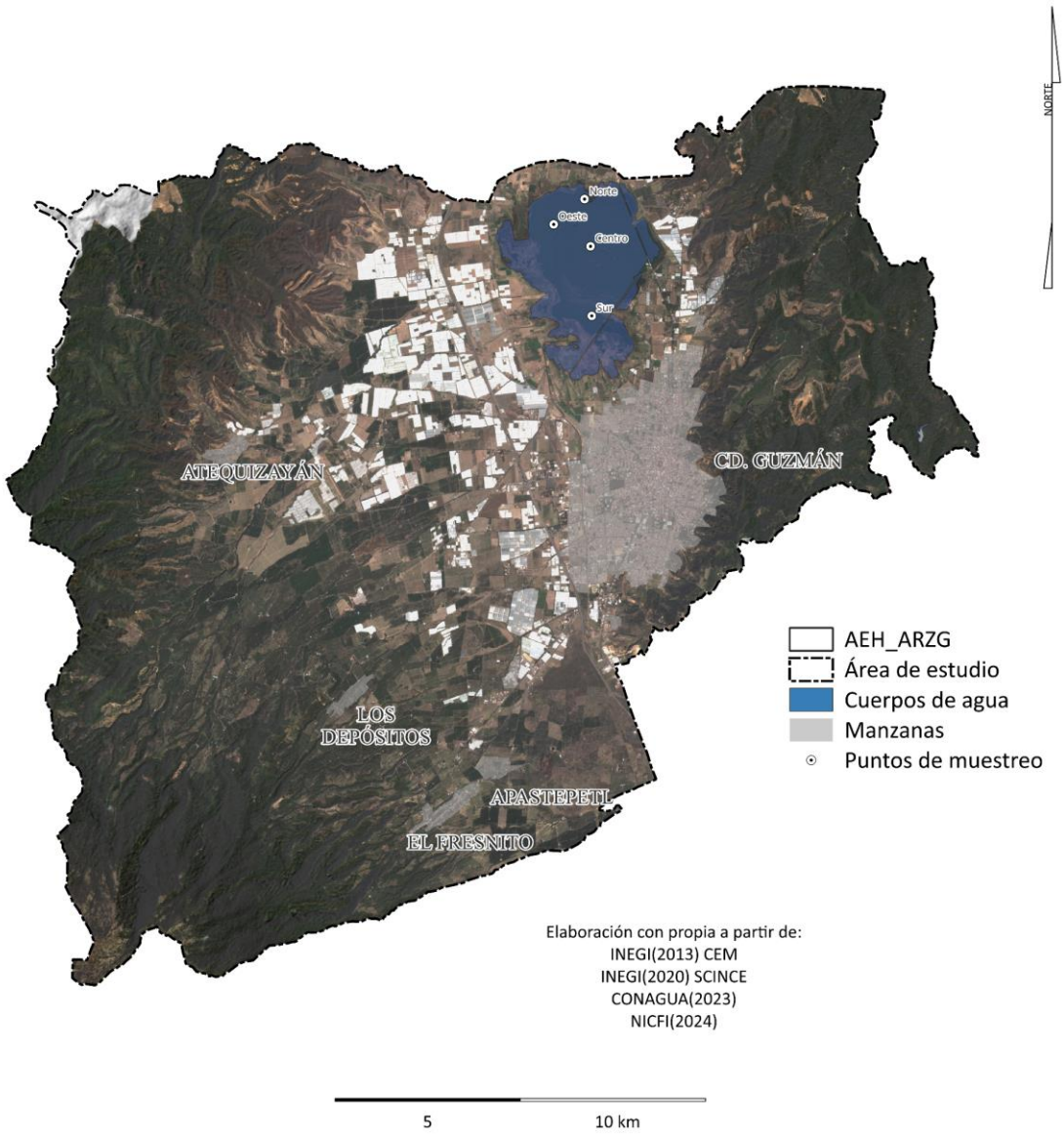
Tabla 84. Semáforo de calidad de agua

Notas	Indicador	No cumple	Cumple
Si los resultados de calidad del agua indican que no se cumple uno o varios indicadores, el sitio se clasificará en rojo.	DBO_5 (Demanda bioquímica de oxígeno)	Rojo	Verde
	DQO (Demanda química de oxígeno)	Rojo	Verde
	TOX (Toxicidad)	Rojo	Verde
	ENTEROC (Enterococos fecales)	Rojo	Verde
Si los resultados de calidad del agua indican que no se cumple uno o varios indicadores, el sitio se clasificará en amarillo.	E-Coli (Escherichia coli)	Amarillo	Verde
	CF (Coliformes fecales)	Amarillo	Verde
	SST (Sólidos suspendidos totales)	Amarillo	Verde
	OD % (Oxígeno disuelto)	Amarillo	Verde

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2021).

Los indicadores son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Coliformes fecales (CF), Enterococos fecales (ENTEROC), Escherichia coli (E_COLI), toxicidad (TOX), y Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD%).

En el Área de Estudio Hidrográfico (AEH) se puede observar que solo existen puntos de muestreo de calidad del agua para los cuerpos de agua lénticos que es el caso de la Laguna de Zapotlán.



Mapa 89. Puntos de muestreo de calidad de agua léntico en la Laguna de Zapotlán
Fuente: Elaboración propia.

La Laguna de Zapotlán exhibe excesos con respecto a los límites permitidos de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes Fecales (CF) y Escherichia coli (E. coli) dentro de sus cuatro puntos de muestreo. La Laguna de Zapotlán presenta problemas significativos de calidad del agua, evidenciados por los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes Fecales (CF) y Escherichia coli (E. coli) en sus cuatro puntos de muestreo. En particular, la parte sur de la laguna, donde se encuentran la mayoría de las descargas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), granjas porcícolas y actividades agrícolas, muestra una mayor influencia en la calidad del agua.

Figura 116. Vista aérea de la Laguna de Zapotlán
Fuente: Captura propia.

Los datos indican que la calidad del agua en el punto de muestreo sur es generalmente aceptable, con algunos episodios de contaminación por coliformes fecales (2020) que en general fue un año donde todos los puntos de muestreo se encontraban en semáforo rojo. Esto sugiere que las descargas en esta área tienen un impacto inmediato pero que los mecanismos de dispersión y dilución pueden estar mitigando parcialmente los efectos negativos.

En contraste, los puntos de muestreo centro, oriente y norte muestran una mayor frecuencia de parámetros fuera de norma. Especialmente en los puntos de muestreo oriente y norte, donde los niveles de DQO son consistentemente contaminados y los coliformes fecales y E. coli se encuentran frecuentemente en niveles elevados. Esto indica que los contaminantes se están dispersando desde el sur hacia estas áreas, siguiendo un patrón de flujo de agua que distribuye la contaminación hacia el centro y el norte de la laguna.

La elevada concentración de DQO en los puntos de muestreo oriente y norte sugiere una acumulación de materia orgánica en estas áreas, posiblemente debido a la escorrentía agrícola que arrastra fertilizantes y pesticidas de los cultivos de aguacates y berries principalmente. Las prácticas de manejo de residuos en granjas porcícolas también contribuyen a los altos niveles de coliformes fecales y E. coli, especialmente en las áreas donde el tratamiento de aguas residuales es insuficiente o inexistente.

La comparación de los datos anuales muestra que, a pesar de las fluctuaciones en la calidad del agua, existe una tendencia persistente de contaminación, especialmente en el norte y el oriente. Esto resalta la necesidad de mejorar las prácticas de cultivo y de manejo de residuos agrícolas y pecuarios, así como de ampliar y optimizar la capacidad de tratamiento de aguas residuales, especialmente en las localidades rurales.

A continuación, se presentan los resultados históricos para cada punto de muestreo con la simbología y clasificación según su calidad.

Tabla 85. Resumen histórico de calidad de agua superficial en la Laguna de Zapotlán

Sitio	DBO_5 (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes fecales (NPM/100ml)	E-coli (NPM/100ml)	OD Superficial (mg/L)	OD Medio (mg/L)	OD Fondo (mg/L)	Semáforo	Parámetros fuera de norma
Punto de Muestreo Sur										
2017	Aceptable	Aceptable	Excelente	Aceptable	Excelente	Buena calidad	Excelente	Buena calidad	Verde	-
2018	Buena calidad	Aceptable	Excelente	Aceptable	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Aceptable	Verde	-
2019	Buena calidad	Aceptable	Excelente	Aceptable	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Aceptable	Verde	-
2020	Excelente	Aceptable	Excelente	Contaminada	Buena calidad	Aceptable	Sin Datos	Sin Datos	Amarillo	CF
2021	Buena calidad	Aceptable	Excelente	Aceptable	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Aceptable	Verde	-
2022	Buena calidad	Aceptable	Excelente	Aceptable	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Aceptable	Verde	-
Punto de Muestreo Centro										
2017	Buena calidad	Aceptable	Excelente	Buena calidad	Excelente	Excelente	Buena calidad	Buena calidad	Verde	DQO,CF,E_COLI
2018	Excelente	Aceptable	Excelente	Aceptable	Excelente	Buena calidad	Buena calidad	Buena calidad	Verde	-
2019	Excelente	Aceptable	Excelente	Aceptable	Buena calidad	Excelente	Buena calidad	Excelente	Verde	-

2020	Excelente	Contaminada	Excelente	Contaminada	Contaminada	Aceptable	Buena calidad	Excelente	Rojo	-
2021	Excelente	Aceptable	Excelente	Aceptable	Buena calidad	Excelente	Buena calidad	Excelente	Verde	-
2022	Excelente	Aceptable	Excelente	Aceptable	Buena calidad	Excelente	Buena calidad	Excelente	Verde	-
Punto de Muestreo Oriente										
2017	Buena calidad	Contaminada	Buena calidad	Contaminada	Buena calidad	Excelente	Buena calidad	Excelente	Rojo	DQO,CF
2018	Excelente	Contaminada	Excelente	Contaminada	Contaminada	Excelente	Buena calidad	Excelente	Rojo	DQO,CF,E_COLI
2019	Excelente	Contaminada	Excelente	Contaminada	Aceptable	Excelente	Buena calidad	Excelente	Rojo	DQO,CF,E_COLI
2020	Aceptable	Contaminada	Excelente	Fuertemente contaminada	Aceptable	Buena calidad	Sin Datos	Excelente	Rojo	DQO,CF
2021	Excelente	Contaminada	Excelente	Contaminada	Aceptable	Excelente	Buena calidad	Excelente	Rojo	DQO,CF
2022	Buena calidad	Contaminada	Excelente	Contaminada	Aceptable	Excelente	Buena calidad	Excelente	Rojo	DQO,CF
Punto de Muestreo Norte										
2017	Excelente	Contaminada	Buena calidad	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Excelente	Buena calidad	Buena calidad	Rojo	DQO,CF,E_COLI,
2018	Excelente	Contaminada	Buena calidad	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Excelente	Buena calidad	Buena calidad	Rojo	DQO,CF,E_COLI
2019	Excelente	Contaminada	Excelente	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Excelente	Buena calidad	Buena calidad	Rojo	DQO,CF,
2020	Buena calidad	Aceptable	Excelente	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Excelente	Sin Datos	Sin Datos	Amarillo	CF,E_COLI,
2021	Excelente	Contaminada	Excelente	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Excelente	Buena calidad	Buena calidad	Rojo	DQO,CF,E_COLI,
2022	Buena calidad	Contaminada	Excelente	Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	Excelente	Buena calidad	Buena calidad	Rojo	DQO,CF,E_COLI,

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2023).

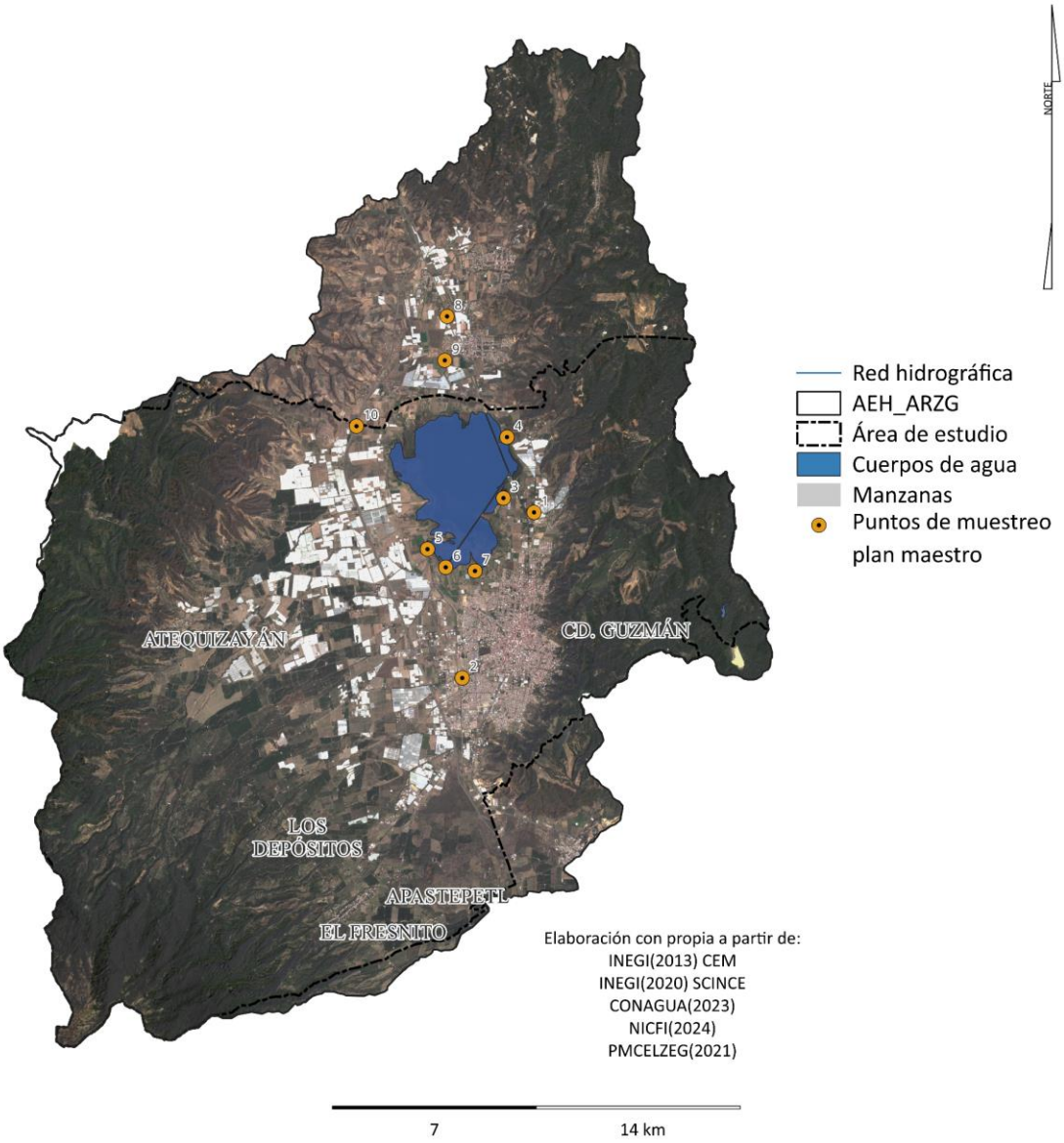
Como complemento para la caracterización de la calidad de los escurrimientos de la región se utilizará la información del Plan Maestro de la Cuenca Endorreica de Zapotlán el Grande 2021, un proyecto integral destinado a evaluar y mejorar la gestión de los recursos hídricos en esta región. Como parte de este plan, se llevaron a cabo una serie de tareas específicas enfocadas en la evaluación de la calidad del agua en diversas zonas estratégicas. Esta evaluación se realizó en colaboración con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).

Tareas Realizadas en el Plan Maestro

1. Identificación de Puntos de Muestreo: Se seleccionaron diez puntos estratégicos dentro de la cuenca, incluyendo pozos, canales y zonas de confluencia.

2. Muestreo de Agua: Se recolectaron muestras de agua en dos fechas, el 28 y 30 de junio de 2021, para asegurar la representatividad de los datos.
3. Análisis de Laboratorio: Las muestras recolectadas fueron entregadas a las instalaciones del CIATEJ, donde se realizaron análisis detallados conforme a la normativa NOM-127-SSA1-1994.
4. Evaluación de Resultados: Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites permisibles establecidos, identificando los puntos de incumplimiento y las áreas que requieren atención inmediata.

A continuación, se presenta un condensado de la información obtenida a partir del muestreo y análisis de agua. Esta información condensada proporciona un panorama claro de la situación actual de la calidad del agua y establece las áreas prioritarias para intervención, contribuyendo así al objetivo general del Plan Maestro de garantizar un manejo integral y seguro de los recursos hídricos en Zapotlán el Grande.



Mapa 90. Puntos de muestreo propuestos por el CIESAS (2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de CIESAS (2021).

Tabla 86. Resultados de puntos de muestreo en zonas estratégicas

Determinación	Unidad	Límite permisible NOM-127-SSA1-1994	1. Pozo C. Guz Catarina 3	2. Pozo 16	3. Escombrera - 28	4. Invernaderos - 28	5. Canal Chiqueros - 28	6. Canal 2	7. Canal 1	8. San Andrés - 30	9. Confluencia SS - 30	10. Canal V - 30
Coliformes totales	(NMP/100 mL)	No detectable	2	13	1,600	920	1,600,000	23	130,000	1,300,000	11,000,000	49,000
Coliformes fecales	(NMP/100 mL)	No detectable	2	13	350	220	920,000	2	20,000	1,300,000	7,900,000	49
Escherichia coli	(NMP/100 mL)	No detectable	No Detectado	13	21	27	180,000	2	20,000	1,300,000	7,900,000	33
Aluminio	mg/L	0.2	< 0.05	< 0.05	< 0.05	1.79	7.85	< 0.05	< 0.05	4.43	2.86	0.68
Arsénico	mg/L	0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Bario	mg/L	0.7	0.031	0.022	0.12	0.156	0.536	< 0.01	0.025	0.123	0.107	0.26
Cadmio	mg/L	0.005	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002
Cobre	mg/L	2	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.042	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cromo	mg/L	0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	< 0.01
Fierro	mg/L	0.3	0.045	1.5	0.12	3.22	7.35	0.088	0.13	2.75	2.11	0.6
Manganeso	mg/L	0.15	0.022	0.209	0.035	1,025	0.47	< 0.01	0.105	0.206	0.235	0.072
Mercurio	mg/L	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Plomo	mg/L	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Zinc	mg/L	5	< 0.01	0.027	< 0.01	< 0.01	0.02	0.015	< 0.01	< 0.01	0.03	< 0.01
Sodio	mg/L	200	14.95	38.22	117.2	58.23	9.79	88.98	95.34	21.89	55.06	11.56
Olor	---	Agradable	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro
Sabor	---	Agradable	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*
Color Pt-Co	Pt-Co	20	10	20	40	60	120	5	0	35	55	70
Turbiedad	UNT	5	0.15	8.8	3.8	55	450	1.2	5.3	70	75	300
pH (en aguas potables)	UP	6.5-8.5	7.55	7.74	8.26	7.74	7.55	7.38	8.05	7.9	7.64	7.44
Sólidos disueltos totales	mg/L	1 000.00	170	172	485	274	89	759	405	175	293	86.3
Sulfatos	mg/L	400	30.72	0.61	2.27	16.58	112.63	216.91	212.99	51.94	167.99	129.57
Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0.5	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
Fenoles	mg/L	0.3	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Cianuros	mg/L	0.07	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Cloro residual	mg/L	0.2-1.50	< 0.10	< 0.10	0.1	< 0.10	< 0.10	0.1	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Cloruros	mg/L	250	85.78	122.55	651.26	400.91	80.53	563.72	625	157.56	227.59	61.28
Dureza total	mg/L	500	168.7	128.19	230.54	210.66	67.59	162.97	204.7	146.07	159.99	43.72
Fluoruros	mg/L	1.5	0.22	0.64	0.86	0.37	< 0.10	0.53	0.33	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	10	0.55	0.12	0.4	< 0.12	< 0.12	21.88	0.46	< 0.12	< 0.12	< 0.12
Nitrógeno de Nitritos	mg/L	1	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.02	0.08	< 0.02	0.14	0.12	0.07	0.11
Nitrógeno ammoniacal	mg/L	0.5	< 0.50	< 0.50	< 0.50	0.58	2.74	0.58	6.06	5.54	12.7	0.5
Aldrín	µg/L	0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Dieldrín	µg/L	0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Gamma-Clordano	µg/L	0.2	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
DDT total de isomeros	µg/L	1	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00
2.4'-DDT	µg/L	1	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00
4.4'-DDT	µg/L	1	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00
Gamma-BHC (Lindano)	µg/L	2	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00	< 2.00
Hexaclorobenceno	µg/L	1	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Heptacloro	µg/L	0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Heptacloro Epóxido	µg/L	0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Metoxicloro.	µg/L	20	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00	< 20.00
2.4-D	µg/L	30	< 30.00	< 30.00	< 30.00	< 30.00	< 30.00	< 30.00	< 30.00	< 30.00	< 30.00	< 30.00
Benceno	µg/L	10	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00	< 10.00
Etilbenceno	µg/L	300	< 300.00	< 300.00	< 300.00	< 300.00	< 300.00	< 300.00	< 300.00	< 300.00	< 300.00	< 300.00
Tolueno	µg/L	700	< 700.00	< 700.00	< 700.00	< 700.00	< 700.00	< 700.00	< 700.00	< 700.00	< 700.00	< 700.00
Xileno	µg/L	500	< 500.00	< 500.00	< 500.00	< 500.00	< 500.00	< 500.00	< 500.00	< 500.00	< 500.00	< 500.00
Trihalometanos totales	mg/L	0.2	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.36	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20

Fuente: Elaboración propia con datos de CIESAS (2021).

Tabla 87. Semáforo de puntos de muestreo en zonas estratégicas

Determinación	Unidad	Límite permisible NOM-127-SSA1-1994	1. Pozo C. Guz Catarina 3	2. Pozo 16	3. Escombrera - 28	4. Invernaderos - 28	5. Canal Chiqueros - 28	6. Canal 2	7. Canal 1	8. San Andrés - 30	9. Confluencia SS - 30	10. Canal V - 30	Muestras que exceden los límites permisibles
Coliformes totales	(NMP/100 mL)	No detectable	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	100%
Coliformes fecales	(NMP/100 mL)	No detectable	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	100%
Escherichia coli	(NMP/100 mL)	No detectable	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	90%
Aluminio	mg/L	0.2	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	50%
Arsénico	mg/L	0.05	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Bario	mg/L	0.7	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Cadmio	mg/L	0.005	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Cobre	mg/L	2	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Cromo	mg/L	0.05	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Fierro	mg/L	0.3	SI CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	60%
Manganeso	mg/L	0.15	SI CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	50%
Mercurio	mg/L	0.001	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Plomo	mg/L	0.01	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Zinc	mg/L	5	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Sodio	mg/L	200	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Olor	---	Agradable	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	0%
Sabor	---	Agradable	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	NR*	0%
Color Pt-Co	Pt-Co	20	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	60%
Turbiedad	UNT	5	SI CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	70%
pH (en aguas potables)	UP	6.5-8.5	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Sólidos disueltos totales	mg/L	1 000.00	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Sulfatos	mg/L	400	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Sustancias activas al azul de	mg/L	0.5	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Fenoles	mg/L	0.3	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Cianuros	mg/L	0.07	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Cloro residual	mg/L	0.2-1.50	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Cloruros	mg/L	250	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	40%
Dureza total	mg/L	500	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Fluoruros	mg/L	1.5	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	10	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	10%
Nitrógeno de Nitritos	mg/L	1	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Nitrógeno ammoniacal	mg/L	0.5	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	60%
Aldrín	µg/L	0.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Dieldrín	µg/L	0.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Gamma-Clordano	µg/L	0.2	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
DDT total de isomeros	µg/L	1	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
2.4'-DDT	µg/L	1	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
4.4'-DDT	µg/L	1	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Gamma-BHC (Lindano)	µg/L	2	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Hexaclorobenceno	µg/L	1	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Heptacloro	µg/L	0.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Heptacloro Epóxido	µg/L	0.03	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Metoxicloro.	µg/L	20	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
2.4-D	µg/L	30	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Benceno	µg/L	10	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Etilbenceno	µg/L	300	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Tolueno	µg/L	700	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Xileno	µg/L	500	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	0%
Trihalometanos totales	mg/L	0.2	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	10%

Fuente: Elaboración propia con datos de CIESAS (2021).

Como se puede apreciar en la tabla anterior, los resultados son de alarma:

Coliformes Totales y Fecales: Ninguna de las muestras cumplió con los límites permisibles establecidos por la normativa NOM-127-SSA1-1994 para coliformes totales y fecales. Este resultado indica una contaminación biológica significativa en todas las ubicaciones analizadas.

Escherichia coli: El 90% de las muestras no cumplieron con el límite permisible para **Escherichia coli**. Solo la muestra del Pozo C. Guz Catarina 3 cumplió con este parámetro.

Metales:

- Aluminio: El 50% de las muestras excedieron los límites permisibles.
- Fierro: El 60% de las muestras presentaron concentraciones elevadas de fierro.
- Manganeso: El 50% de las muestras no cumplieron con el límite permisible.

Parámetros Físico-Químicos:

- Color: El 60% de las muestras no cumplieron con los límites permisibles.
- Turbidez: El 70% de las muestras presentaron niveles de turbidez superiores a los permitidos.

Contaminantes Orgánicos:

- Trihalometanos Totales: para el punto #6 que se encuentra en las microcuencas de las aguacateras y los berries al sur oeste de la laguna de las muestras no cumplieron con el límite permisible.

Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación GOD

Para identificar las zonas más vulnerables a la contaminación de agua subterránea se utilizó el método de cartografía de vulnerabilidad de acuíferos (Foster e Hirata, 1988). Esta metodología, llamada GOD, evalúa las características litológicas y piezométricas y estima el potencial de contaminación de agua subterránea por infiltración vertical desde la superficie.

Esta metodología es útil y aplicable a zonas con escasa información hidrogeológica que impida cuantificar las características de transmisividad de agua a través del medio. Sus insumos consisten en las siguientes tres variables:

- G (Groundwater confinement, confinamiento de agua subterránea): indica el tipo de acuífero según su grado de confinamiento.
- (Overall aquifer class, clase general de acuífero): representa la litología de la zona no saturada y su grado de consolidación
- D (Depth to groundwater, nivel piezométrico): es la profundidad a la que se encuentra el nivel piezométrico.

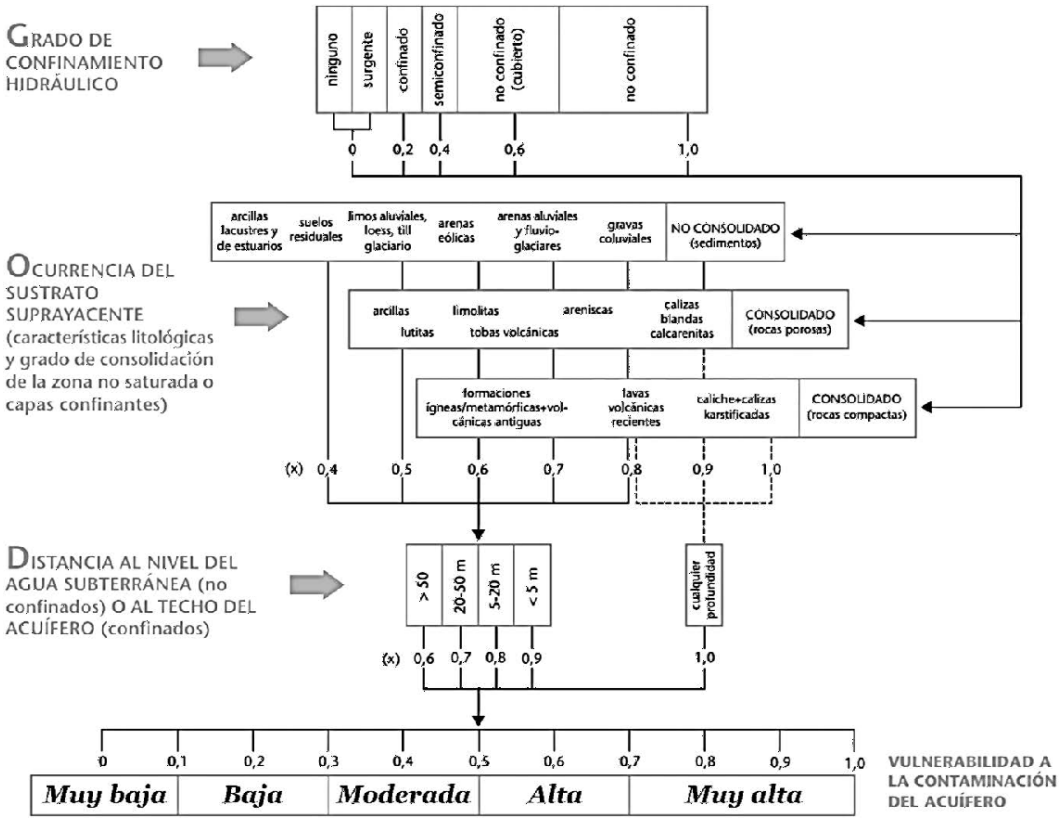


Figura 117. Esquema de la metodología de cartografía de vulnerabilidad de agua subterránea GOD Fuente: Foster e Hirata (1988) y Rizo (2017).

El cálculo del índice se lleva a cabo de la siguiente manera:

$$\text{Índice GOD} = G*O*D$$

Al multiplicar las tres variables de la ecuación se obtiene un valor del índice de vulnerabilidad que se comprende entre 0 y 1 (muy baja a muy alta). Las ponderaciones de los factores según sus características se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 88. Ponderación de las variables del método GOD para cartografía de vulnerabilidad de agua subterránea

Valor	G	O			D
		No consolidado	Consolidado (rocas porosas)	Consolidado (rocas compactas)	
0	Ninguno surgente confinado	-	-	-	-
0.2	-				
0.3		Arcillas lacustres y de estuarios			
0.4	Semiconfinado	Suelos residuales			
0.5		Limos aluviales	Arcillas y lutitas		
0.6	No confinado (cubierto)	Arenas eólicas	Limolitas y tobas volcánicas	Formaciones ígneas / metamórficas	> 50 m
0.7	-	Arenas aluviales y fluvioglaciares	-	-	20-50 m
0.8		Gravas coluviales	Calizas blandas, calcarenitas	Lavas volcánicas recientes	5-20 m
0.9		-			< 5 m
1	No confinado		-	Calizas karstificadas	Cualquier profundidad

Fuente: Foster e Hirata (1988) y Rizo (2017).

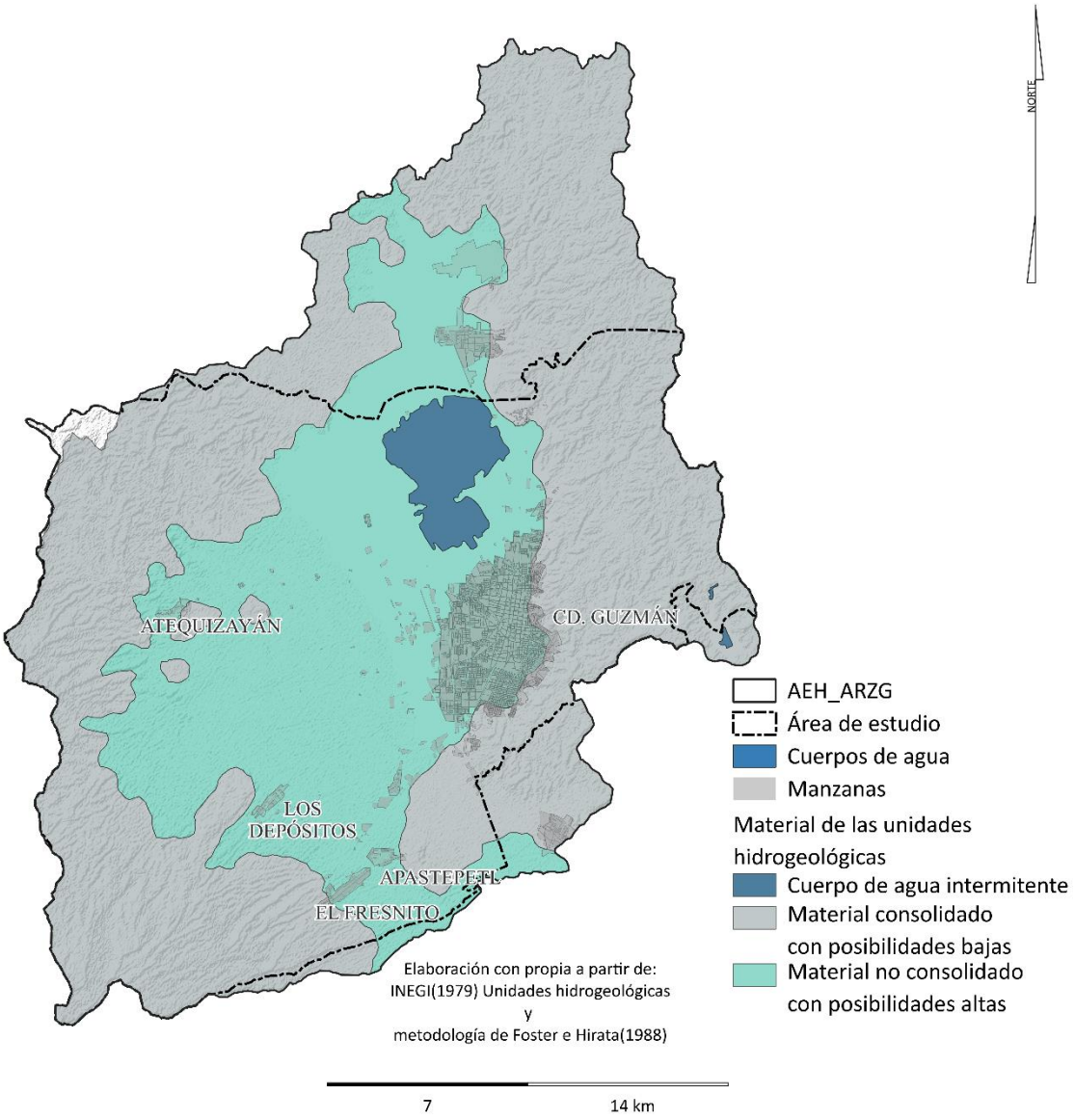
Para el análisis e interpretación cartográfica se utilizaron las guías de INEGI. Para cada variable se utilizaron los siguientes datos:

FACTOR G: se utilizaron las capas de unidades hidrogeológicas (u) del conjunto de datos vectoriales de la carta de aguas subterráneas escala 1:250,000 Serie I (E1303 Colima, F1311 Puerto Vallarta y F1312 Guadalajara) (INEGI, 1979). Estas capas se reclasificaron según su grado de consolidación y su posibilidad de contener agua de la siguiente forma:

Tabla 89. Clasificación de unidades hidrogeológicas

Tipo de material	**Valor**
Cuerpo de agua intermitente	0.2
Cuerpo de agua perenne	0.2
Material consolidado con posibilidades bajas	0.2
Material no consolidado con posibilidades altas	1

Fuente: Elaboración propia con base en capas de unidades hidrogeológicas 1:250,000 (INEGI, 1979) y Foster e Hirata (1988).



Mapa 91. Material de las unidades hidrogeológicas
Fuente: Elaboración propia.

FACTOR O: se utilizó la capa vectorial de unidades litológicas 1:50,000 (IIEG, 2016). La litología clasificó de acuerdo con su potencial de confinamiento según el tipo de roca predominante y génesis.

Tabla 90. Clasificación de unidades litológicas superficiales

Clave	Descripción	Valor
A	Andesita	0.6
al	Aluvial	0.9
ar	Arenisca	0.7
ar-cg	Arenisca - Conglomerado	0.8
B	Basalto	0.6
Bv	Brecha volcánica	0.6
cz	Caliza	0.9
Igei	Extrusiva intermedia	0.6
la	Lacustre	0.4
re	Residual	0.4
T	Toba	0.7

Fuente: Elaboración propia con base en la capa vectorial de unidades litológicas 1:50,000 (IIEG, 2016) y Foster e Hirata (1988).

FACTOR D: Debido a que en el área de estudio hidrológico se cuenta con escasa información piezométrica actualizada, al valor de la variable D se le asignó un valor de 1, como se ha hecho en estudios hidrogeológicos en el occidente de México (Rizo, 2017). De tal forma, el resultado de este análisis es una cartografía de vulnerabilidad dependiente únicamente de las características físicas del medio: unidades hidrogeológicas y unidades litológicas.

Una vez que se clasificaron las capas de unidades hidrogeológicas y unidades litológicas de acuerdo con los valores indicados en las tablas anteriores, las capas vectoriales se convirtieron a ráster, multiplicándose con álgebra de mapas.

Las áreas más vulnerables a la contaminación del agua subterránea están localizadas en las partes de menor elevación del área de estudio hidrológico, donde predominan los materiales no consolidados como suelos aluviales y las formaciones de areniscas-conglomeradas.

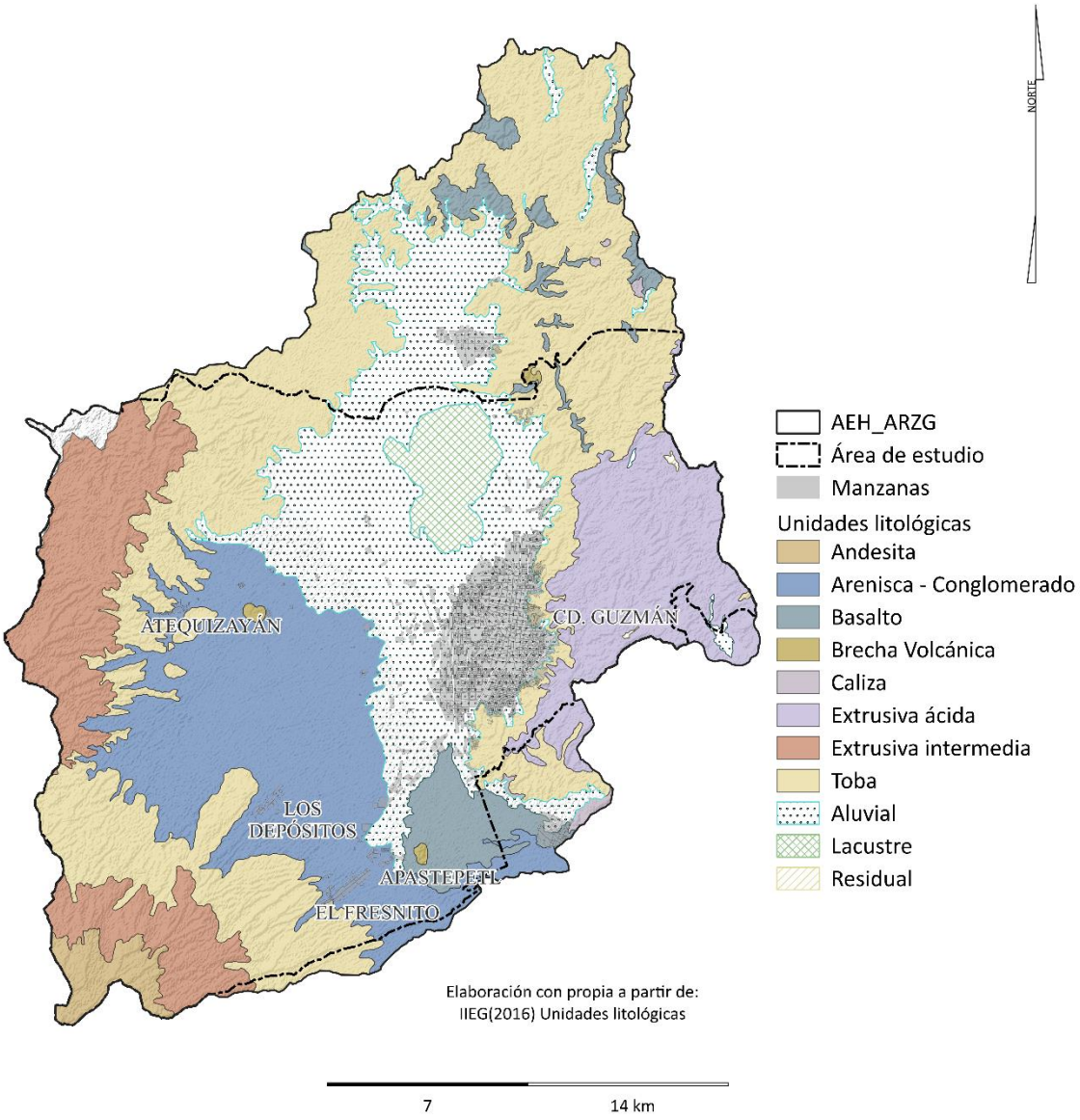
En el estudio, se destacan principalmente dos categorías de vulnerabilidad del agua subterránea: muy alta y baja. En el área de estudio hidrológico, los valores para vulnerabilidad muy alta y baja son del 35.2% y 60.1%, respectivamente. Por otro lado, el análisis para el municipio de Zapotlán el Grande muestra que los valores para la vulnerabilidad muy alta son del 40.4%, y para la vulnerabilidad baja del 54.3%.

Adicionalmente, los valores para las otras categorías de vulnerabilidad —alta, moderada y muy baja— son menores, con porcentajes que varían entre el 0.2% y el 3.1% en ambas áreas, lo cual sugiere que las condiciones geológicas y la topografía del área de estudio y de Zapotlán el Grande contribuyen a una menor propensión a la vulnerabilidad en estas categorías.

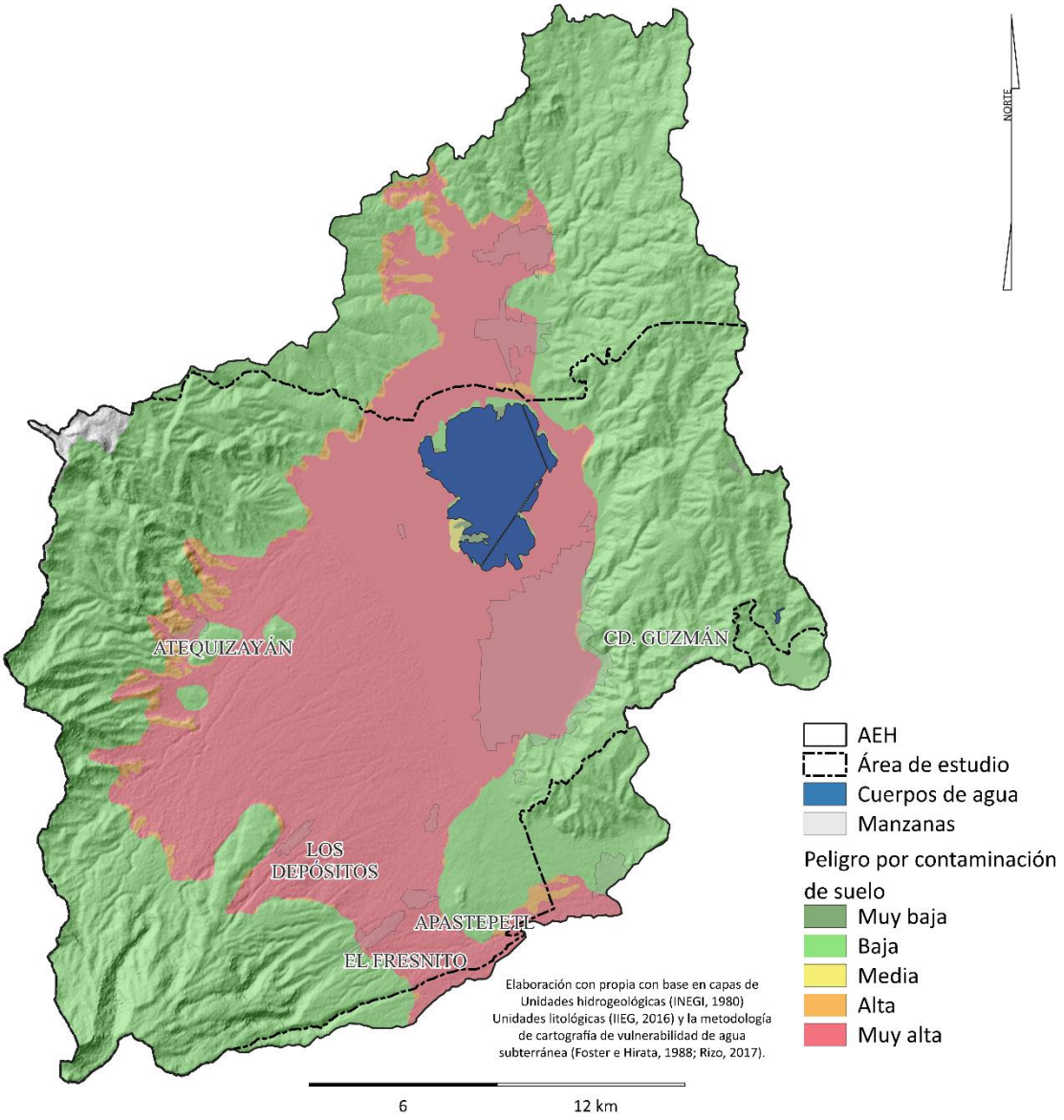
Tabla 91. Vulnerabilidad a la contaminación subterránea

Índice de vulnerabilidad a la contaminación subterránea GOD	AEH %	Área de estudio %
Muy alta	40.4	35.2
Alta	1.9	2.2
Moderada	0.3	0.2
Baja	54.3	60.1
Muy baja	3.1	2.3

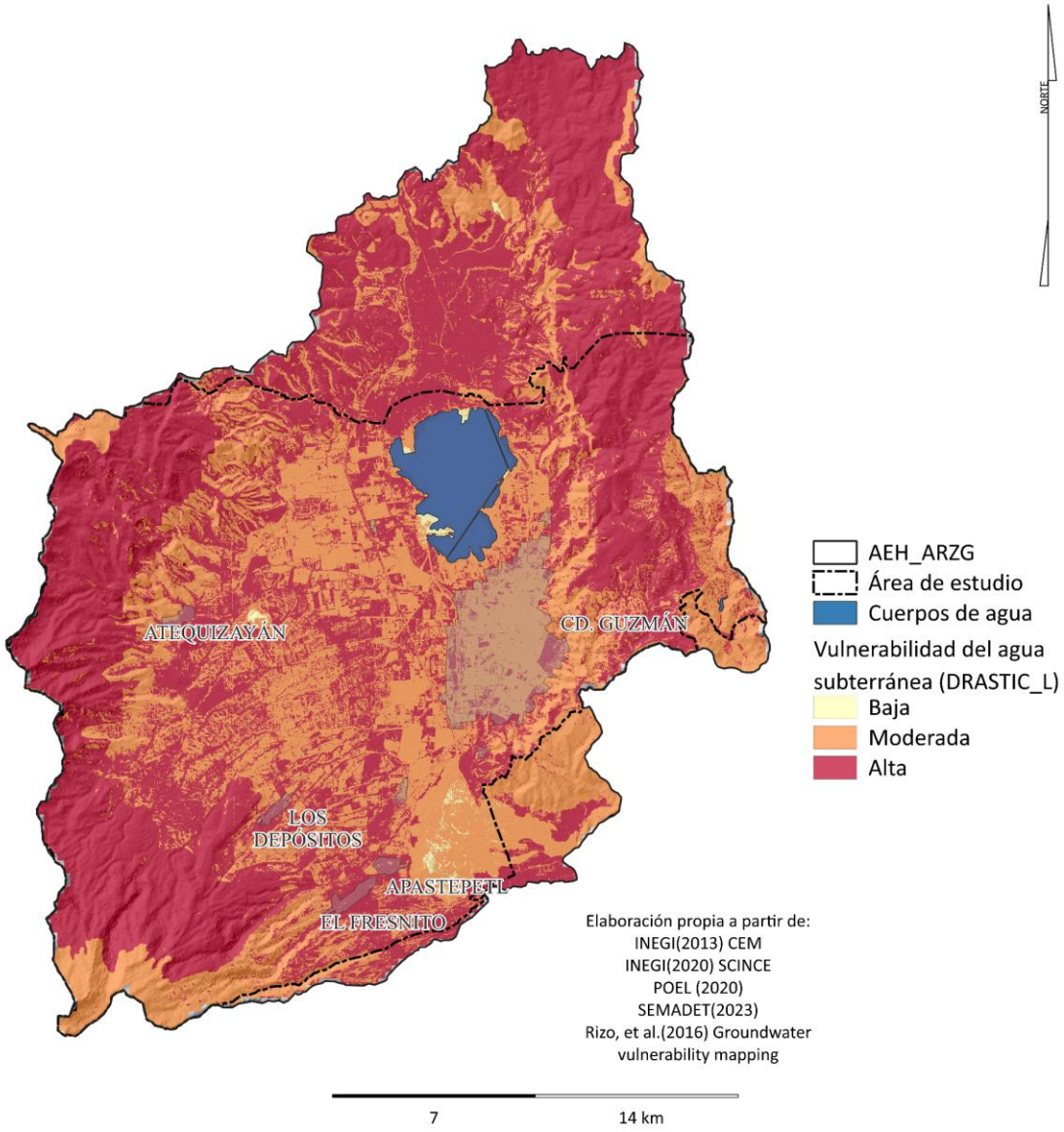
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 92. Unidades litológicas superficiales
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 93. Vulnerabilidad de agua subterránea
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 94. Vulnerabilidad de agua subterránea DRASTIC-L
Fuente: Elaboración propia.

Contaminación aire

La contaminación del aire es una de las formas más visibles y peligrosas de contaminación ambiental. Se produce por la emisión de sustancias nocivas, como dióxido de carbono (CO2), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO2), partículas en suspensión y compuestos orgánicos volátiles (COV). Estas emisiones provienen principalmente de fuentes industriales, vehículos de motor y actividades agrícolas. La exposición prolongada a aire contaminado puede causar una serie de problemas de salud, incluyendo enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire es responsable de millones de muertes prematuras cada año. Además, contribuye al cambio climático, afectando no solo la salud humana, sino también los ecosistemas y la biodiversidad.

La contaminación del aire constituye uno de los principales desafíos ambientales que enfrentan los municipios en la actualidad. Es imperativo abordar este problema de manera integral para proteger la salud pública y el medio ambiente. En este contexto, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) desempeñan un papel fundamental en el monitoreo y la gestión de la calidad del aire en México.

A parte de poder medir es importante conocer la procedencia de los contaminantes.

Fuentes de Contaminación

- Fuentes Fijas: Las fuentes fijas de contaminación incluyen instalaciones industriales, plantas de energía, y otras infraestructuras que liberan contaminantes al aire de manera constante. Estas fuentes son responsables de una parte significativa de las emisiones de gases y partículas perjudiciales. La regulación y el control de estas emisiones son esenciales para mitigar su impacto negativo.
- Fuentes Móviles: Por otro lado, las fuentes móviles comprenden vehículos automotores, aviones, barcos, y otros medios de transporte que contribuyen significativamente a la contaminación del aire. Las emisiones provenientes de estas fuentes son una preocupación constante, especialmente en áreas urbanas donde el tráfico vehicular es denso.

El deterioro de la calidad del aire puede en muchos casos percibirse con facilidad, especialmente en las grandes ciudades, al disminuir la visibilidad del paisaje o causar irritación de los ojos, garganta, etc. Sin embargo, más allá de ver el aire limpio o sucio, es

necesario evaluar de manera cuantitativa su calidad, mediante la medición de la concentración de los contaminantes que se presentan. Los indicadores de la calidad del aire permiten, entre otras cosas, evaluar el estado de la contaminación atmosférica y comunicar al público cuál es la calidad del aire que respira.

Contaminantes Criterio

Los seis contaminantes criterio que se monitorean y gestionan incluyen:

- Partículas Suspendidas PM10 y PM2.5: Estas partículas, de diámetro menor a 10 y 2.5 micrómetros respectivamente, pueden penetrar profundamente en los pulmones y causar serios problemas de salud respiratoria y cardiovascular.
- Ozono (O3): Un componente principal del smog, el ozono a nivel del suelo es un irritante pulmonar que afecta tanto la salud humana como la vegetación.
- Dióxido de Azufre (SO2): Proveniente principalmente de la combustión de combustibles fósiles, este gas puede causar problemas respiratorios y contribuir a la formación de lluvia ácida.
- Dióxido de Nitrógeno (NO2): Emitido por vehículos y plantas industriales, el NO2 puede irritar las vías respiratorias y agravar enfermedades respiratorias existentes.
- Monóxido de Carbono (CO): Este gas incoloro e inodoro, generado principalmente por la combustión incompleta en motores, puede interferir con el suministro de oxígeno en el cuerpo y es particularmente peligroso en espacios cerrados.

Tabla 92. Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental

Contaminante	Dato base utilizado para la evaluación	Exposición	Frecuencia Tolerada	Valor límite Indicador con el que se evalúa	Criterio de suficiencia anual	Norma Oficial Mexicana
Partículas menores de 10 micrómetros (PM10)	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m³ Máximo	Por lo menos tres trimestres con al menos el 75% de los promedios de 24 horas válidas	NOM-025-SSA1-2014 (DOF, 2014)
		Crónica	---	40 µg/m³ Promedio anual		
Partículas menores de 2.5 micrómetros (PM2.5)	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	45 µg/m³ Máximo		
		Crónica	---	12 µg/m³ Promedio anual		
Ozono (O3)	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm Máximo	Al menos 75% de los datos horarios	NOM-020-SSA1-2014

	Promedios móviles de 8 horas		No se permite	0.070 ppm Máximo	Al menos 75% de los de los promedios móviles de ocho horas	(DOF, 2014)
Dióxido de azufre (SO2)	Máximo diario	Aguda	1% de veces al año	0.075 ppm Promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales	Al menos 75% de los datos diarios por trimestre de tres años consecutivos	NOM-022-SSA1-2019 (DOF, 2019)
	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	0.04 ppm Máximo de tres años consecutivos	Al menos 75% de los promedios de 24 horas por trimestre o de los meses con concentraciones altas de tres años consecutivos	
Dióxido de nitrógeno (NO2)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Segundo máximo	---	NOM-023-SSA1-1993(DOF, 1994)
Monóxido de carbono (CO)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	11 ppm Segundo máximo	---	NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994)
Plomo (Pb)	Muestreo 24 horas	Crónica	No se permite	1.5 µg/m³ Promedio trimestral	---	NOM-026-SSA1-1993 (DOF, 1994)

Fuente: Elaboración propia con datos de SINAICA (2024) y SS.

En el contexto de la evaluación de la calidad del aire en el municipio y ante la falta de información disponible debido a la falta de infraestructura de estaciones climatológicas que realicen mediciones de los contaminantes, se utilizó la información de un visor llamado Plumelabs. Este visor genera un histórico anual, que nos permite comprender mejor las fluctuaciones y los niveles de contaminantes atmosféricos a lo largo del año. Sin embargo, es importante considerar que la información obtenida será meramente visual y tendrá sus limitaciones, ya que los datos disponibles son únicamente de los meses de enero a julio de 2024. Por lo tanto, los valores medios pueden presentar inconsistencias debido a la falta de datos de invierno, una época en la que la contaminación atmosférica tiende a incrementar debido a fenómenos como la inversión térmica.

La inversión térmica es un fenómeno meteorológico en el que una capa de aire más caliente se sitúa sobre una capa de aire más frío cerca de la superficie terrestre. Esta situación impide la dispersión vertical de los contaminantes, resultando en mayores concentraciones de estos cerca del suelo. En regiones valle, este fenómeno es común, lo que agrava la calidad del aire y puede tener serios impactos en la salud pública. Durante las inversiones térmicas, los

contaminantes emitidos por fuentes como vehículos y fábricas quedan atrapados en la capa de aire frío, aumentando los niveles de contaminación y exacerbando problemas respiratorios y cardiovasculares en la población.

El Índice de Calidad del Aire (AQI) es una herramienta utilizada para comunicar al público qué tan limpia o contaminada está el aire y cuáles son los posibles efectos de salud asociados. El AQI se calcula utilizando las concentraciones de varios contaminantes del aire, cada uno de los cuales tiene efectos específicos sobre la salud y el medio ambiente. Aunque existen diversas fuentes para los cálculos de los índices de calidad del aire ya sean organizaciones, o naciones, los contaminantes principales considerados en el AQI incluyen:

El índice de calidad del aire (AQI) Los principales contaminantes considerados incluyen:

- PM2.5: Partículas finas con un diámetro de 2.5 micrómetros o menos. Estas partículas pueden penetrar profundamente en los pulmones y causar efectos graves en la salud.
- PM10: Partículas inhalables con un diámetro de 10 micrómetros o menos. Estas pueden causar problemas respiratorios y otros efectos adversos en la salud.
- NO2: Dióxido de nitrógeno, un gas que puede irritar las vías respiratorias y agravar enfermedades respiratorias.
- O3: Ozono a nivel del suelo, un potente oxidante que puede causar problemas respiratorios y otros efectos adversos en la salud.

Las concentraciones de estos contaminantes se miden en microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$), proporcionando un índice de la carga contaminante en el aire y ayudando a evaluar el impacto potencial sobre la salud pública.

Según la clasificación de Plume Lab, que han desarrollado su propio índice de calidad del aire, el Plume Air Quality Index (PAQI), que incluye seis niveles de contaminación basados en los límites de exposición de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para proporcionar una guía clara y práctica sobre la calidad del aire y su impacto en la salud.

Las clasificaciones de los índices son los siguientes:

Tabla 93. Indices de los PAQI

Indicador	Valor PAQI	Significado
10 AQI	Excelente (0-20)	La calidad del aire es ideal para la mayoría de las personas; disfruta de tus actividades al aire libre normalmente.
35 AQI	Buena (21-50)	La calidad del aire es generalmente aceptable para la mayoría de las personas. Sin embargo, los grupos sensibles pueden experimentar síntomas leves a moderados por exposición prolongada.
75 AQI	Mala (51-100)	El aire ha alcanzado un nivel alto de contaminación y es perjudicial para los grupos sensibles. Reduce el tiempo al aire libre si experimentas síntomas como dificultad para respirar o irritación de garganta.
125 AQI	No saludable (101-150)	Los efectos sobre la salud pueden sentirse de inmediato en los grupos sensibles. Las personas sanas pueden experimentar dificultad para respirar e irritación de garganta con exposición prolongada. Limita las actividades al aire libre.
175 AQI	No muy saludable (151-250)	Los efectos sobre la salud serán inmediatos para los grupos sensibles y deben evitar las actividades al aire libre. Las personas sanas probablemente experimentarán dificultad para respirar e irritación de garganta; considera quedarte en interiores y reprogramar las actividades al aire libre.
275 AQI	Peligroso (251+)	Cualquier exposición al aire, incluso por unos pocos minutos, puede causar serios efectos sobre la salud en todas las personas. Evita las actividades al aire libre.

Fuente: Plume Labs. (2024).

Enseguida se muestra la gráfica donde se muestra el índice de calidad de aire anual* de Zapotlán el Grande.

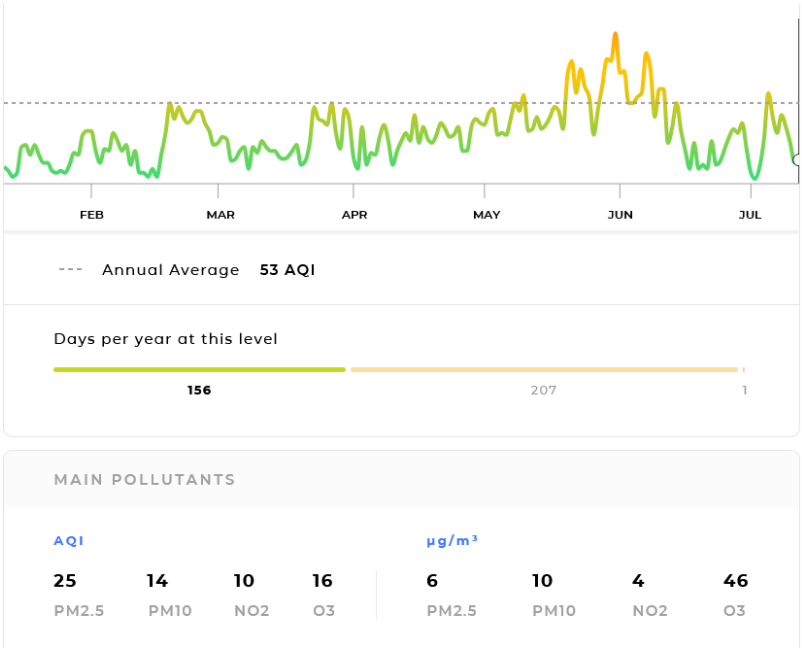


Figura 118. Calidad de aire en la cabecera de Zapotlán el Grand
Fuente: Plume Labs. (2024).

La calidad del aire es uno de los principales factores que afectan la calidad de vida y la salud de los humanos. La exposición a contaminantes atmosféricos está directamente relacionada con una serie de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire es responsable de aproximadamente 7 millones de muertes prematuras anuales a nivel mundial. Esto incluye 4.2 millones de muertes debido a la contaminación del aire exterior y 3.2 millones de muertes relacionadas con la contaminación del aire interior. OMS (2023).

Entre los efectos adversos más comunes, se encuentran las enfermedades respiratorias agudas y crónicas, como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), además de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares y cáncer de pulmón. En 2019, la OMS estimó que el 37% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior fueron debidas a enfermedades cardíacas isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% a enfermedades respiratorias crónicas, el 23% a infecciones respiratorias agudas, y el 11% a cáncer en el tracto respiratorio. OMS (2023).

Tabla 94. Histórico de enfermedades respiratorias

Enfermedades	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013
Asma	421	1,189	1,144	828	821	1,638	3,166	20	1,755	1,706	1,760	1,731
Infecciones Respiratorias Agudas	25,410	56,489	50,935	32,577	39,015	72,012	82,368	1,926	102,038	101,699	114,669	117,612
Intoxicación por Monóxido de Carbono	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Intoxicación por Plaguicidas CIE-10	16	66	20	29	64	96	100	2	141	164	146	135
Población	120,179	118,718	117,258	115,797	115,141	112,875	111,415	109,954	108,493	105,423	105,572	104,111

Fuente: Elaboración propia con datos de SINAVE/DGE/SUIVE (2013-2024),

Para abordar la calidad del aire en la cabecera municipal, afectada por contaminantes como PM 2.5 y PM10, la combustión de automotores y polvos suspendidos de zonas agrícolas, se llevó a cabo un análisis para determinar las áreas verdes.

El análisis espacial se realizó mediante el uso de unas imágenes satelitales con bandas RGB e infrarrojo cercano para calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de la posibilidad de utilizar los satélites Landsat, Sentinel y el programa noruego NICFI. Se eligió NICFI debido a su alta resolución de 4.7 m/pixel, en comparación con Sentinel (10 m/pixel) y Landsat (30 m/pixel). Aunque menor resolución temporal es un muy buen elemento cuando se requiere de una alta resolución multiespectral.

El NDVI es un índice utilizado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. El NDVI mide la diferencia entre el infrarrojo cercano (que la vegetación refleja) y la luz roja (que la vegetación absorbe). Los valores se encuentran entre -1 y 1, cada valor corresponderá a diferentes situaciones vegetativas siendo los valores más bajos un suelo sin cubierta vegetal y los valores más altos una gran densidad vegetal. A continuación, se muestra la ecuación para calcular el NDVI.

$$NDVI = \frac{NIR - Banda\ Roja}{NIR + Banda\ Roja}$$

Donde:

NDVI = Índice Diferencial Normalizado de Vegetación

NIR = Espectroscopia de infrarrojo cercano

Para la zonificación de las áreas verdes, se realizó un análisis utilizando índices de vegetación NDVI, complementado con imágenes RGB y ortofotos proporcionadas por la dependencia de catastro del municipio. Este análisis incluyó la recolección y procesamiento de datos de junio de 2024. Los valores de NDVI se calcularon y se realizó una reclasificación manual junto con una supervisión detallada del ortomosaico el cual permitió calibrar las clasificaciones, diferenciando entre áreas verdes densas y zonas de baja densidad.

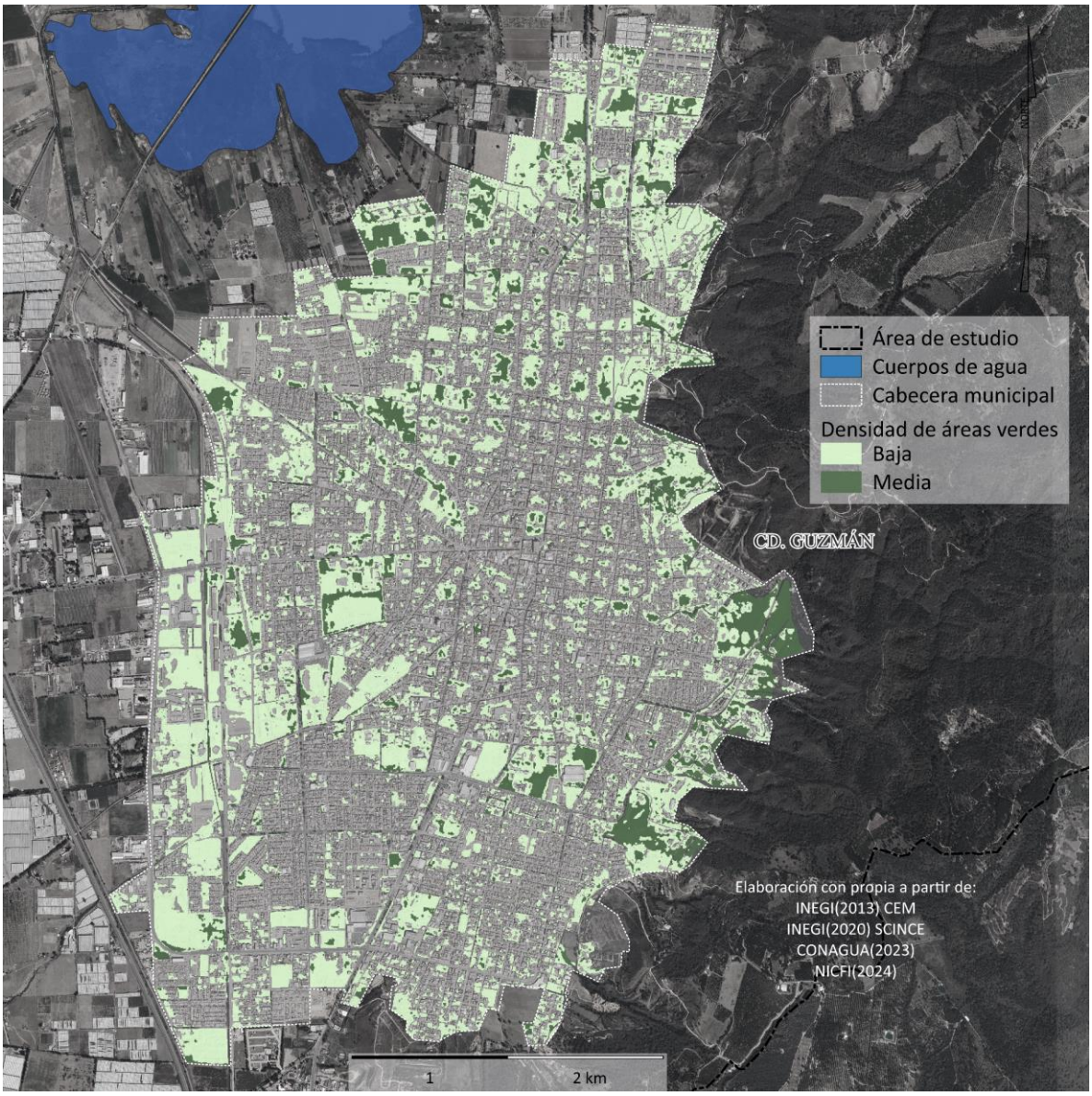
La densidad de vegetación se clasificó de la siguiente manera:

Tabla 95. Reclasificación supervisada de valores de NDVI

Densidad de áreas verdes	Característica	Área (ha)	Porcentaje (%)	Porcentaje del total de la mancha urbana (%)
Baja	Pastos, pastizales, baldíos y zona de cultivos	530.77	82.5	30.33
Alta	Zonas con arbolado denso	112.59	17.5	6.43
Total		643.37	100	36.76

Fuente: Elaboración propia con imagen satelital NICFI (2024) y Ortofoto ayuntamiento municipal (2020)

En el siguiente mapa se puede visualizar las densidades de las áreas verdes en la cabecera municipal.



Mapa 95. Densidad de áreas verdes en la cabecera municipal
Fuente: Elaboración propia.

La presencia y conservación de áreas verdes en las ciudades desempeñan un papel crucial en la mitigación de la contaminación del aire. Estas zonas actúan como zonas de absorción de contaminantes atmosféricos como dióxido de carbono (CO2), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO2) a través de la vegetación. Además, las plantas liberan oxígeno mediante la fotosíntesis, mejorando la calidad del aire y proporcionando un entorno más saludable para los habitantes urbanos. Las áreas verdes también ayudan a mitigar el efecto isla de calor, característico de las zonas urbanas densamente pobladas, al proporcionar sombra y liberar vapor de agua, lo que enfría el aire y reduce la formación de ozono troposférico, un contaminante dañino. Más allá de los beneficios directos en la calidad del aire, la existencia de parques y bosques urbanos favorece la salud mental y física de la población, aliviando el estrés y fomentando la actividad física. Asimismo, estas áreas apoyan la biodiversidad y conectividad ecológica, ofreciendo hábitats para diversas especies y contribuyendo a la resiliencia ambiental. La gestión eficiente de las aguas pluviales es otro beneficio significativo, ya que las áreas verdes reducen la escorrentía y la carga sobre los sistemas de alcantarillado, disminuyendo la cantidad de contaminantes que llegan a los cuerpos de agua.

Contaminación del suelo

“La nación que destruye su suelo se destruye a sí misma.”
— Franklin D. Roosevelt

La contaminación del suelo es un problema ambiental que resulta de la deposición de productos químicos, desechos industriales y materiales tóxicos en la superficie terrestre. Esta forma de contaminación reduce la fertilidad del suelo, afecta su salud y puede provocar la acumulación de sustancias nocivas en la cadena alimentaria. Las prácticas agrícolas intensivas, el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes, los suelos descubiertos y la disposición inadecuada de residuos sólidos son las principales causas de esta degradación. No solo afecta la producción agrícola, sino que también tiene impactos profundos en los ecosistemas terrestres y la biodiversidad.

El suelo es un recurso finito, cuya pérdida y degradación no es recuperable de manera natural en el transcurso de una vida humana. Los suelos influyen en los alimentos que comemos, el agua que bebemos, el aire que respiramos y nuestra salud, así como en la de todos los organismos del planeta. Sin suelos sanos, no podríamos producir nuestros alimentos, ya que el 95% de ellos se generan directa o indirectamente en los suelos (FAO, 2018).

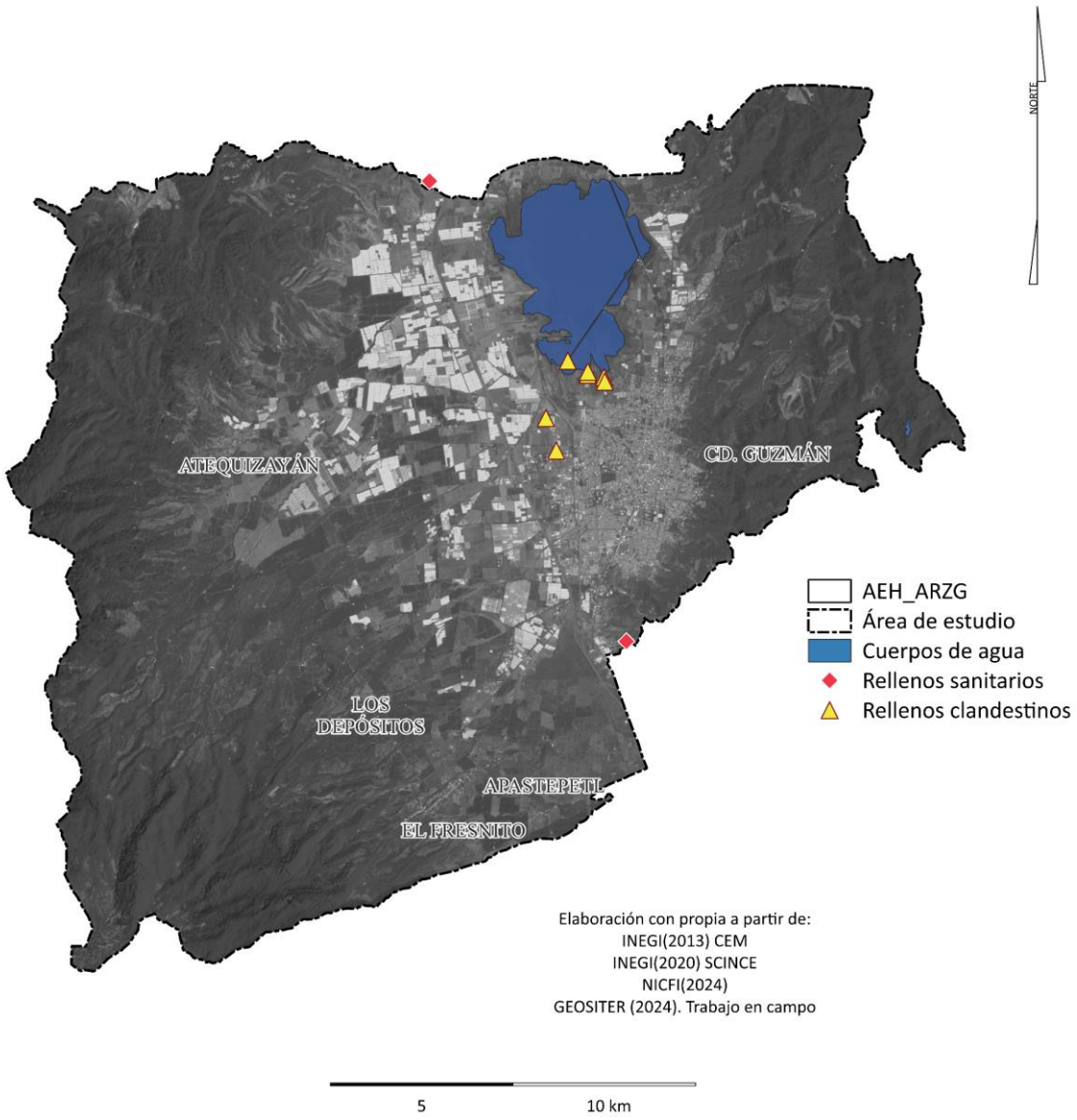
Es crucial reconocer y valorar los suelos por su capacidad productiva y su contribución a la seguridad alimentaria y a los servicios ecosistémicos clave. Hoy en día, un tercio de nuestros suelos están moderadamente o muy degradados debido a la erosión, la pérdida de carbono orgánico, la salinización, compactación, acidificación y la contaminación química. Se necesitan aproximadamente 1,000 años para formar 1 cm de capa arable superficial (FAO, 2018), lo que significa que no podremos producir más suelo en el transcurso de nuestras vidas. Sin embargo, los suelos están bajo una presión creciente debido a la contaminación. La tasa actual de degradación del suelo amenaza la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades más básicas.

La adopción de técnicas de manejo sostenible del suelo, como la agricultura regenerativa y la remediación de suelos contaminados, así como la gestión integral de los residuos, es crucial para mitigar los efectos pasados y evitar la generación de nuevos y peores problemas en el futuro.

Rellenos sanitarios y su manejo

Los rellenos sanitarios son instalaciones diseñadas para la disposición final de residuos sólidos de manera controlada. Aunque representan una mejora respecto a los tiraderos a cielo abierto, los rellenos sanitarios por lo general son fuentes significativas de contaminación si no se gestionan adecuadamente. La mala gestión y manejo de de lixiviados, que son líquidos generados por la descomposición de los residuos, puede contaminar el suelo y los cuerpos de agua subterráneos por infiltración. Además, la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos produce metano, un potente gas de efecto invernadero. La implementación de tecnologías de captación y tratamiento de lixiviados y gases, así como la promoción de la reducción, reutilización y reciclaje de residuos desde la fuente, son esenciales para minimizar el impacto ambiental de los rellenos sanitarios.

La generación y gestión de residuos son cuestiones críticas a nivel mundial. A nivel global, el 37% de los residuos se dispone en rellenos sanitarios, de los cuales el 8% utiliza sistemas de captura de gas y el 29% corresponde a otros tipos de rellenos. No se especifican porcentajes para rellenos controlados ni no especificados. El reciclaje representa el 19% de la disposición de residuos, incluyendo el compostaje dentro de este porcentaje. La incineración abarca el 11% de los residuos. El 33% restante incluye métodos no convencionales de disposición, como el vertido en aguas y otras prácticas informales o ilegales (WB,2018).



Mapa 96. Puntos de contaminación de suelos
Fuente: Elaboración propia.

En América Latina y el Caribe, el 52% de los residuos se dispone en rellenos sanitarios, aunque no se especifica cuántos de estos utilizan sistemas de captura de gas. Un 14.7% de los residuos se maneja mediante rellenos controlados. El reciclaje representa solo el 4.5% de la disposición de residuos, incluyendo el compostaje dentro de este porcentaje, mientras que la incineración abarca el 1.5%. Un significativo 26.8% de los residuos se maneja mediante métodos no convencionales, como el vertido en aguas y otras prácticas informales o ilegales. (WB,2018)

Figura 119. Relleno sanitario municipal vista hacia el Noroeste
Fuente: Captura CIESAS (2021).

A medida que los países se desarrollan, la cantidad y complejidad de los residuos que producen aumentan, lo que requiere sistemas de gestión de residuos más sofisticados.

En las grandes ciudades del mundo, la disposición final de los residuos es un problema sin resolver, Zapotlán el Grande no es la excepción. Como en buena parte de Latinoamérica, el destino de la basura es un "relleno sanitario", un espacio donde, con mejores o peores medidas de mitigación ambiental, se entierran los desechos sin control ni conocimiento alguno de lo que pudieran contener. En otros lugares, la basura se quema, se convierte en algún nuevo producto o se intenta reintroducir en la industria con la promesa del reciclaje. Sin importar la opción que se elija, todas implican afectaciones al medio ambiente y la infraestructura no es suficiente inclusive en los países de primer mundo, por tanto, a la humanidad (Toral, 2023).

Las afectaciones para las poblaciones aledañas a los basureros son prácticamente las mismas en cualquier lugar del mundo: malos olores, incineración intencionada, basura dispersada por

vientos, derrame de lixiviados y vectores y fauna nociva. En resumen, esto resulta en la contaminación del aire, la tierra y el agua del lugar.

El manejo de los residuos en Zapotlán es un problema que se ha agravado por los cambios en los hábitos de consumo, el nivel de ingresos, el crecimiento exponencial de la población aunado a los efectos de la globalización ha causado un incremento significativo en la cantidad y volumen de residuos generados.

Como se puede mostrar en la gráfica de la tendencia demográfica se puede notar el crecimiento exponencial. Por lo que al encontrarse relacionado a la producción per cápita de residuos esta también va incrementando.

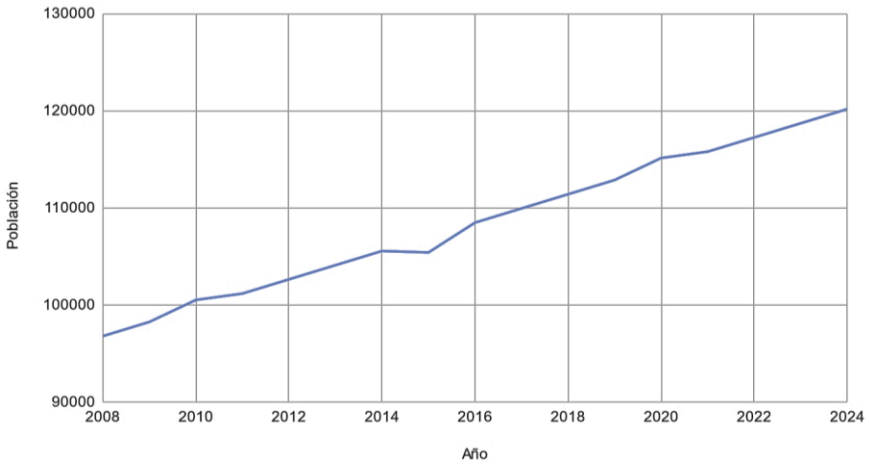


Figura 120. Crecimiento demográfico en el municipio de Zapotlán el grande
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010 y 2020) e IIEG (2015).

La producción de residuos sólidos urbanos

Zapotlán el Grande aporta sus residuos al relleno sanitario metropolitano ubicado la parte alta la ladera de la cordillera que delimita el lado oriental de la cabecera municipal de Zapotlán. Se ubica al sur de la ciudad y al límite del AE, por el rumbo del Cerrito de la Virgen de Guadalupe en la carretera hacia Zapotiltic, antes de llegar al poblado de Huescalapa.

Figura 121. Relleno sanitario municipal vista aérea
Fuente: Ortofoto ayuntamiento municipal (2020).

El relleno sanitario cuenta con una capacidad de 1 millón de toneladas, con una profundidad de entierro de aproximadamente 70-75 metros y un área de aprovechamiento de 5 hectáreas, siendo de propiedad municipal. Ha estado en operación durante 25 años y no cuenta con un programa de manejo de residuos. La separación de valorizables no comenzó hasta el año 2021, cuando se instalaron bandas separadoras. Debido a su volumen virtual y su manejo histórico, el tiempo de vida del relleno está comprometido (CIESAS, 2021).

La gestión de los residuos es operada por la concesionaria SEOS, una empresa privada encargada de la recolección y disposición final de los residuos sólidos urbanos. La concesión se otorgó en 2017 por un período de 25 años.

El historial de la concesionaria ha sido mayormente negativo, manifestándose en diversos análisis como el PACMUN (2019), CIESAS (2021), el Gobierno Municipal de Zapotlán el Grande (2023), notas periodísticas de UDGTV (2023) y talleres participativos (2024). Estos informes reconocen que el servicio de recolección de basura es ineficiente y presenta problemas significativos en su gestión. Independientemente del gestor, el relleno sanitario ha tenido un manejo histórico cuestionable, recibiendo una sanción de PROEPA en 2017.

La generación de lixiviados es un problema crítico, ya que su control no cumple con los estándares de buenas prácticas de acopio y tratamiento. En conclusión, el manejo del relleno

sanitario no cumple con los criterios establecidos para un relleno sanitario adecuado y no cumple con la Norma 083 que regula los sitios de disposición final.

A lo largo de la historia de Zapotlán el Grande, la gestión de residuos ha sido una preocupación constante para los habitantes. Los esfuerzos municipales se han repetido, con campañas de separación de basura que no han fructificado debido a diversos factores, como la falta de organización, el seguimiento insuficiente de los proyectos y la falta de conciencia ciudadana para fomentar hábitos de consumo sostenibles y la separación de residuos desde la fuente de generación.

El servicio de recolección de residuos en Zapotlán el Grande se encuentra activo y ha implementado cambios significativos en su operación. Actualmente, la recolección se realiza en horarios nocturnos, entre las 9 y 10 pm, siguiendo diversas rutas de recolección por cuadrantes. Esta modificación se hizo para evitar problemas relacionados con el tráfico y los olores generados por los camiones de basura durante el día. Esta medida ha tenido efectos positivos y ha funcionado eficazmente durante varios años. Sin embargo, el sistema aún tiene puntos de mejora tanto desde los generadores de basura como del servicio.

Figura 122. Vista de las calles en la noche de la cabecera, esperando su recolección
Fuente: Captura propia.

Por medio de los talleres participativos y de manera física se observó que la basura sigue siendo sacada en bolsas negras o bolsas aleatorias. Se considera que, al ser bolsas de diferentes tamaños, colores y medidas, además de afectar la estética, esto reduce la eficiencia a la hora de la recolección de la basura. Las diferentes formas de acomodar las bolsas hacen que el proceso sea más tardado y difícil e incluso peligroso para los trabajadores. Aunado a esto, durante la noche, tanto las personas en situación de calle como los animales (perros callejeros, ratas, etc.) abren las bolsas, lo que genera problemas de dispersión de basura, malos olores y complicaciones para los recolectores a la hora de realizar la recolección. Aunque estos problemas se podrían mitigar mediante el uso de botes de basura con medidas estándar, las personas en situación de calle probablemente seguirán vaciándolos en busca de objetos de valor.

Tiraderos clandestinos

Los tiraderos clandestinos de escombro representan una forma ilegal de disposición de residuos de construcción y demolición. Estos sitios no autorizados pueden causar graves problemas ambientales y de salud pública. La acumulación de escombros en áreas no reguladas puede obstruir cauces de agua y contaminar suelos y cuerpos de agua con materiales tóxicos, como asbestos, plomo y otros metales pesados. Además, los tiraderos clandestinos crean paisajes visualmente desagradables y pueden convertirse en focos de plagas y vectores.

Figura 123. Tiraderos clandestinos en Libramiento Periférico Sur
Fuente: Captura propia.

A lo largo del libramiento periférico sur se registraron diversos puntos de tiraderos clandestinos, se pudo notar en los diferentes puntos que se deposita de forma clandestina distintos tipos de basura: escombros o residuos de construcción y demolición (RCD) en su mayoría, llantas, residuos de aparatos electrónicos, filtros de aceite y aire de camiones pesados); así como Residuos Sólidos Urbanos (basura), residuos de la agricultura.

En muchos de los puntos, los predios se encuentran dentro la zona inundable de la laguna, y eran parcelas de temporal, estos tiraderos clandestinos a menudo se utilizan para nivelar los terrenos con el fin de prepararlos para futuras construcciones. Esta práctica es especialmente peligrosa en áreas cercanas a la laguna, donde el riesgo de contaminación del agua es elevado. Los suelos también se contaminan debido a los materiales tóxicos presentes en los escombros. La situación se agrava por el hecho de que la zona es sísmicamente activa y se encuentra sobre suelos aluviales. Los suelos aluviales, caracterizados por ser sedimentarios y sueltos, presentan baja capacidad de carga y son propensos a la licuefacción durante eventos sísmicos. Los comportamientos inadecuados en suelos aluviales pueden resultar en asentamientos diferenciales y fallas estructurales, poniendo en riesgo tanto las infraestructuras construidas como la integridad del entorno natural.

Figura 124. Tiraderos clandestinos en Libramiento Periférico Sur
Fuente: Captura propia.

Contaminación por agroquímicos

La contaminación por agroquímicos es una problemática significativa en la agricultura moderna. Esta forma de contaminación ocurre cuando pesticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes químicos se aplican en exceso o de manera inadecuada, lo que resulta en la acumulación de sustancias tóxicas en el suelo, agua y aire. Estos compuestos pueden causar efectos adversos en la salud humana, como trastornos endocrinos, cáncer, cambios de comportamiento e irritación de la piel hasta vómitos, mareos, convulsiones, cataratas, disminución de la fertilidad y defectos de nacimiento y enfermedades neurológicas. Además, los agroquímicos pueden alterar los ecosistemas, afectando a la biodiversidad y a los organismos beneficiosos, como polinizadores y microorganismos del suelo. La gestión sostenible de los cultivos, incluyendo prácticas que van más allá que simplemente la agricultura orgánica como la agricultura regenerativa y el uso de biofertilizantes, estas prácticas son necesarias para reducir la dependencia de agroquímicos y mitigar sus impactos ambientales y de salud.

Según la Red Toxicológica Mexicana (RETOMEX) y la CONAPO, los estados con los mayores problemas de envenenamiento fueron Nayarit, Morelos y Jalisco. En 2016, se registraron 3869 casos de envenenamiento por plaguicidas en México.

Para la comprensión del fenómeno de la agricultura de aguacate y berries que son los de mayor alerta debido a su crecimiento exponencial histórico. Se utilizará información proveniente del Plan Maestro de la Cuenca Endorreica de Zapotlán el Grande, CIESAS (2021) debido a su contextualización sintética del proceso de cambio en la región.

Figura 125. Expansión de cultivos de aguacate y berries en la localidad de Atequizayán
Fuente: Captura propia.

La aparición y el incremento de los dos principales cultivos del AE se deben a eventos clave que potencializaron el gran cambio.

- **Puesta en Operación de las Presas El Carrizo y Vista Hermosa (Macías y Sevilla, 2007)**: La construcción y operación de estas presas en el municipio de Tamazula de Gordiano garantizó el acceso al agua, favoreciendo el desarrollo de huertas e invernaderos en la región. Este acceso seguro al recurso hídrico fue un factor determinante para la expansión de la agricultura intensiva, incluyendo la producción de aguacate y berries.
- **Programa de Desarrollo de la Industria de Berries en Jalisco (2007):** Este programa, lanzado por el gobierno estatal, tenía como objetivo convertir la región sur de Jalisco en una zona exportadora de berries. Se establecieron contratos entre productores locales y agroempresas nacionales y transnacionales, lo que incentivó la transformación de tierras agrícolas hacia la producción intensiva de berries en invernaderos.
- **Declaración de Zonas Libres de Gusano Barrenador de Hueso (SAGARPA, 2018):** En 2018, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) declaró

a Zapotlán el Grande y Gómez Farías como zonas libres de gusano barrenador de hueso. Este reconocimiento fue crucial para la exportación de aguacates a Estados Unidos, lo que motivó a los productores locales a expandir y tecnificar sus huertas de aguacate para cumplir con los requisitos de exportación.

Con un crecimiento exponencial y desmedido en cultivos intensivos como el aguacate y las berries, los productores buscan alcanzar la competitividad internacional y maximizar la rentabilidad de estos productos exportables, principalmente hacia Estados Unidos, Europa y Japón. Sin embargo, para lograr una comercialización exitosa en estos mercados, cada vez más será necesario obtener certificaciones de buenas prácticas agrícolas. Aunque algunas empresas importadoras comienzan a pedir las certificaciones y las buenas prácticas, las acciones son distintas a las que deberían ser.

El uso intensivo de agroquímicos es prominente en la producción agrícola de la región, especialmente en cultivos de aguacate y berries. Estos agroquímicos incluyen una variedad de pesticidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes químicos. Los agroquímicos utilizados en exceso o de manera inadecuada pueden acumularse en el suelo, el agua y el aire, resultando en una significativa contaminación ambiental. Los principales agroquímicos utilizados son:

- Paracuat: Un herbicida altamente tóxico que provoca lesiones pulmonares irreversibles y elimina microorganismos del suelo.
- Malation: Un insecticida tóxico para humanos y fauna, que persiste en el medio ambiente y contamina las aguas.
- Glifosato: Un herbicida considerado por la OMS como posible causante de cáncer, que contamina suelos y acuíferos, y afecta la biodiversidad.

La sobreexplotación de aguas subterráneas por medio de pozos ilícitos, la modificación de cauces para el llenado de las ollas de agua se combina con la contaminación antropogénica del agua resultante del uso excesivo de agroquímicos. La escorrentía superficial y la lixiviación transportan estos contaminantes hacia cuerpos de agua superficiales y subterráneos, afectando la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.

Subrayan Macías y Sevilla (2021), que el uso intensivo de agroquímicos también ocasiona efectos en la salud de animales humanos y no humanos. En 2016 y 2017, en municipios como Zapotlán y San Gabriel, se registró un incremento en la mortandad de abejas en sus colmenas, con una disminución tanto en las colmenas como en la productividad. Apicultores y especialistas en el tema, refieren los investigadores, relacionan estos fenómenos con el

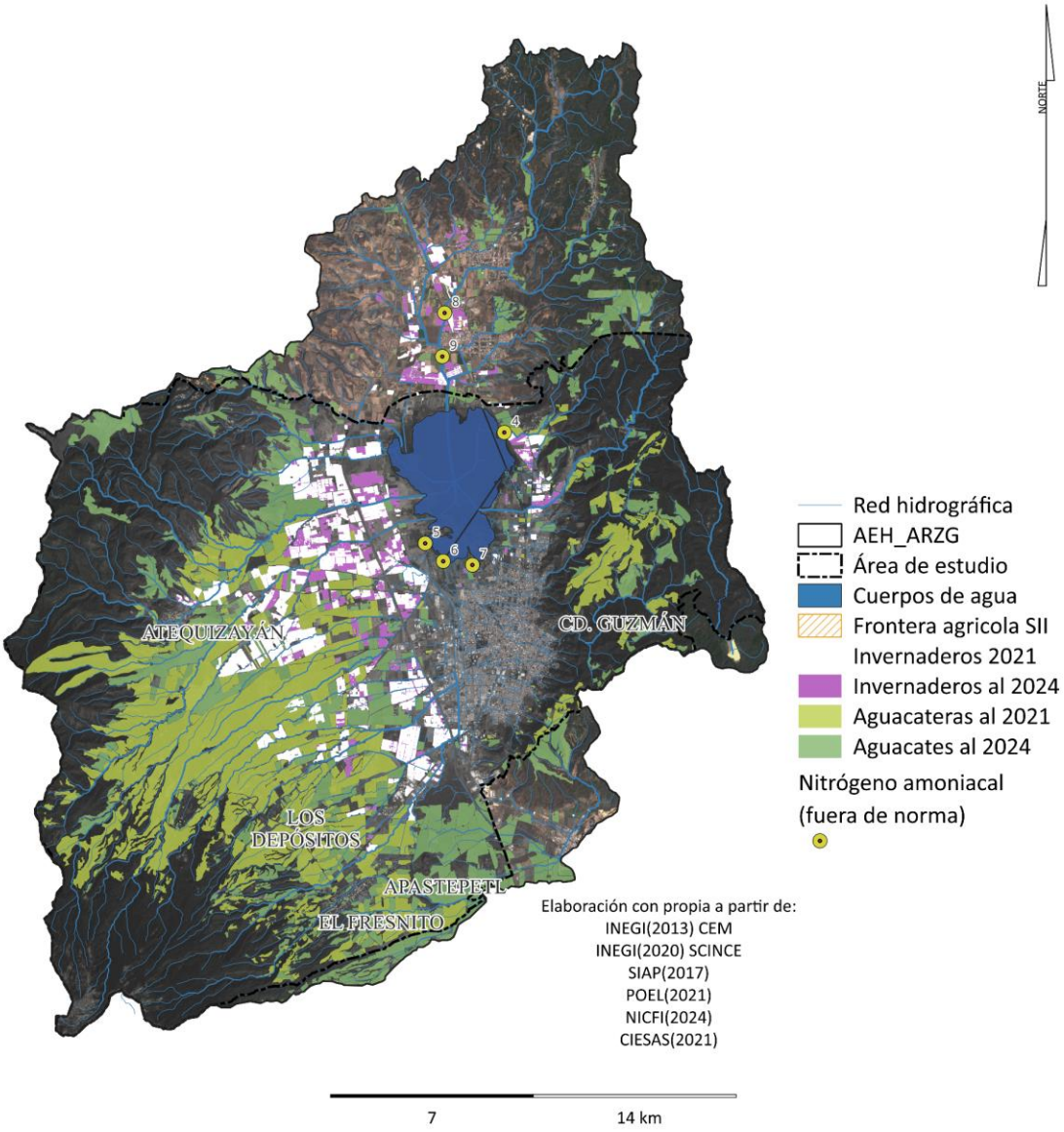
envenenamiento ocasionado por pesticidas. Terriquez y Housini (2019) analizaron los datos de plaguicidas utilizados entre 2008 y 2018 en Zapotlán, y encontraron que se utilizaron 78 tipos de plaguicidas distintos con alto riesgo sobre la salud. CIESAS (2021)

En Zapotlán el Grande, Jalisco, se ha detectado la presencia de neonicotinoides en el organismo de niños y niñas, a través de un estudio realizado por investigadoras del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA). Este hallazgo pone de manifiesto la exposición a estos plaguicidas tóxicos, ya sea por inhalación directa del aire o por ingesta de vegetales contaminados. Un estudio realizado con 21 niños y niñas de entre 3 y 11 años en Ciudad Guzmán reveló la presencia de metabolitos de imidacloprid y acetamiprid en sus muestras de orina, indicando una exposición significativa a estos plaguicidas (Gaceta UDG, 2023).

Los neonicotinoides, un grupo de plaguicidas persistentes en el medio ambiente, son utilizados en la agricultura para controlar insectos, pero permanecen en los vegetales incluso después de ser lavados, desinfectados o cocidos, resultandos tóxicos para la salud humana. La exposición a los neonicotinoides se produce tanto por la ingesta de alimentos contaminados como por la inhalación del aire en áreas cercanas a las parcelas agrícolas (Gaceta UDG, 2023).

La exposición a los neonicotinoides tiene diversas afectaciones en la salud humana, incluyendo neurotoxicidad, hepatotoxicidad, inmunotoxicidad, genotoxicidad y alteraciones del sistema reproductivo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Estos plaguicidas son altamente tóxicos para las abejas, contribuyendo a su disminución en regiones como Jalisco y Campeche, lo que afecta negativamente la biodiversidad y la polinización de cultivos (OMS, 2023).

Según el estudio realizado por el CIESAS (2021), se encontraron niveles por encima de la norma de nitrógeno amoniacal en el 60 % de los puntos de muestreo de los escurrimientos, el arroyo que proviene del municipio de Gómez Farías en San Andrés y el canal 1, el tercer punto en el arroyo noreste de la Laguna de Zapotlán denominado Invernaderos, al sur este de la laguna en 3 distintos escurrimientos provenientes de las microcuencas al sur oeste del municipio.



Mapa 97. Expansión de cultivos de aguacate y berries
Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del peligro por contaminación del suelo en el municipio de Zapotlán el Grande, se utilizaron diversas capas y factores que fueron esenciales para determinar la susceptibilidad a la contaminación del suelo. A continuación, se detallan los factores y su importancia en el modelo:

Tabla 96. Variables y valores utilizados para determinar el peligro por contaminación de suelo

Factor	Intervalos o categorías	Reclasificación
Rellenos Sanitarios Fuente: SEMADET	Polígono de delimitación	5
	Buffer 500m	3
	Buffer 1000 m	2
Escombros clandestinos Fuente: Salidas de campo con equipo técnico	Buffer 50 m	
Uso de suelo y vegetación por usos y actividades desarrolladas Fuente: POEL (2021). Municipio de Zapotlán el Grande.	Agua, vegetación subacuática	1
	Bosque de Abies y mesófilo, Bosque de Pinus, Bosque de Pinus disperso, Bosque de Quercus, Bosque mixto de Pinus y Quercus, Bosque tropical caducifolio	2
	Matorral inducido, Urbanización	3
	Agricultura de riego, Agricultura de temporal, Pastizal cultivado, Pastizal inducido, Pastizal natural, Vías de comunicación	4
	Huertos (aguacate), Huertos (aguacate)2024, Invernaderos, Invernaderos 2024, Sin vegetación aparente	5
Edafologia textura Fuente: IIEG (2016). Datos vectoriales de la carta geológica	Fina	2
	Media	3
	Gruesa	5
Mancha urbana Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2020) SCINCE	Nulo	1
	Cabecera	3
	No cabecera	5
Red vial Fuente: INEGI (2021)	Calles	3
	Avenidas	4
	Carreteras y cruceros	5

Fuente: Elaboración propia.

Rellenos Sanitarios: Los rellenos sanitarios son puntos críticos de acumulación de residuos sólidos. El manejo inadecuado de estas zonas de disposición normalmente genera contaminación debido al transporte y las malas prácticas, tanto en la zona de disposición final como en el trayecto. La basura es dispersada por factores naturales como el viento, el agua y los animales. Además, el potencial de peligro por malas gestiones e incluso accidentes en el manejo pueden desencadenar problemas de contaminación del suelo y afectar a las personas que viven cerca de la zona

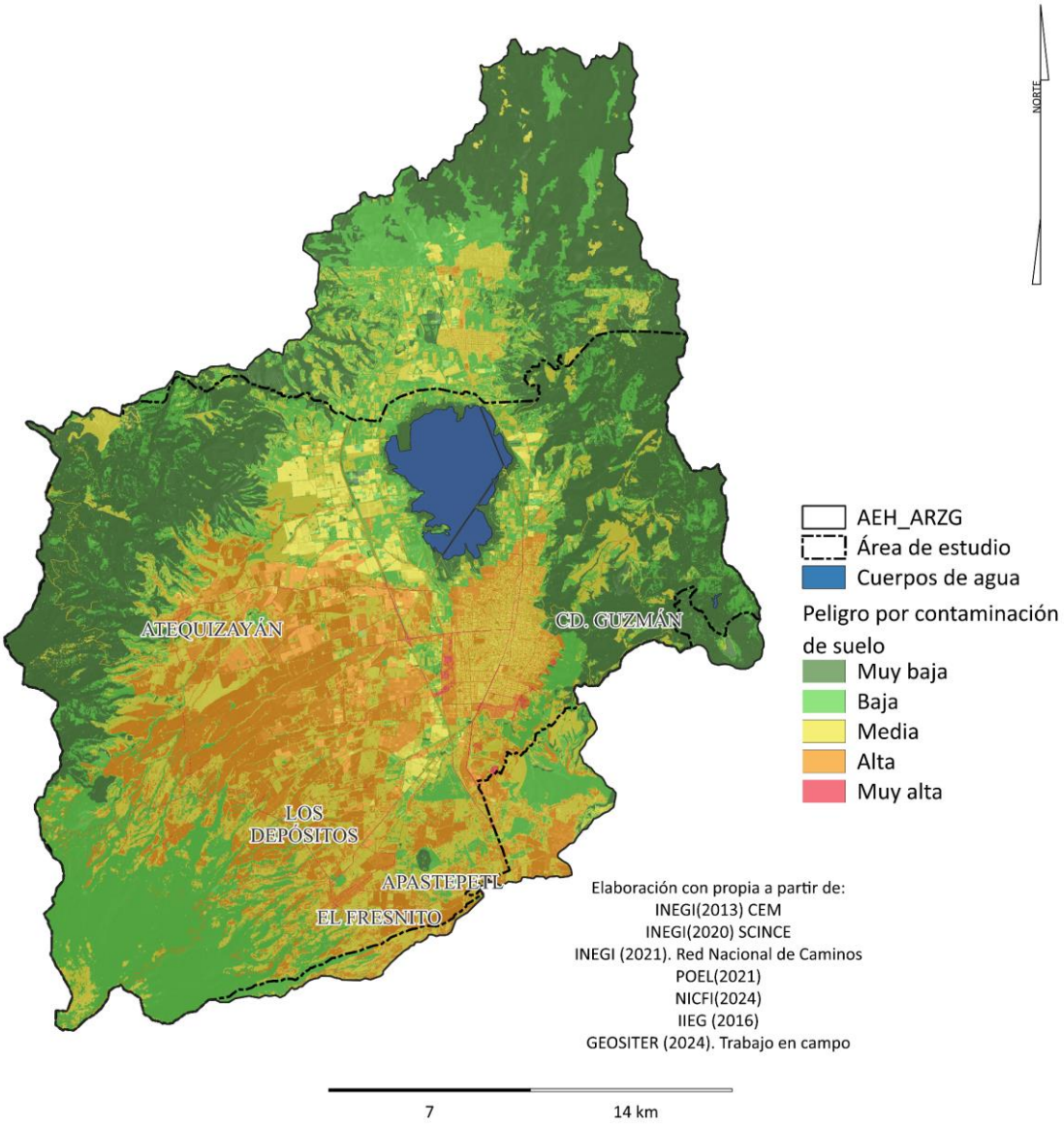
Escombros Clandestinos: Los escombros clandestinos suelen contener materiales de construcción y demolición, algunos de los cuales pueden ser peligrosos, como el plomo, el mercurio y el asbesto. Estos materiales no solo contaminan el suelo, sino que también afectan la capacidad del suelo para funcionar como sustento para la vegetación y otras formas de vida.

Uso de Suelo y Vegetación: Diferentes usos del suelo y tipos de vegetación tienen capacidades variadas para retener o dispersar contaminantes. Áreas con alta densidad de vegetación pueden actuar como filtros naturales, mientras que áreas urbanizadas o dedicadas a la agricultura intensiva son más susceptibles a la contaminación debido a la mayor intervención humana y el uso de agroquímicos.

Edafología (Textura del Suelo): La textura del suelo determina su capacidad de retención y transporte de contaminantes. Suelos con textura fina (arcillosos) tienen mayor capacidad de retención de contaminantes debido a su menor porosidad, mientras que suelos con textura gruesa (arenosos) permiten una mayor movilidad de los contaminantes a través del perfil del suelo.

Mancha Urbana: La densidad y extensión de áreas urbanizadas afectan significativamente la susceptibilidad a la contaminación del suelo. Aunque las áreas urbanas se categorizan con menor peso en comparación con la población rural debido a un mayor porcentaje de impermeabilización, los valores de contaminación son altos debido a la generación de grandes cantidades de residuos y la exposición a diversos contaminantes industriales y domésticos

Red Vial: La proximidad a carreteras y vías de transporte es un factor importante debido a la posible contaminación por hidrocarburos, metales pesados y otros contaminantes derivados del tráfico vehicular. Las carreteras también facilitan el transporte de contaminantes hacia áreas sensibles. En carreteras y cruceros, los riesgos de accidentes con mayores daños son más probables, aumentando así el riesgo de contaminación significativa en estas áreas.



Mapa 98. Peligro por contaminación de suelo
Fuente: Elaboración propia.

Pérdida del suelo por erosión hídrica

La pérdida de suelo por erosión hídrica es un proceso natural que se ha intensificado significativamente debido a las actividades humanas. Este fenómeno ocurre cuando el agua, ya sea a través de la lluvia o del flujo superficial, desprende y arrastra las partículas del suelo, llevándolas a ríos, lagos y océanos. La erosión hídrica puede causar graves problemas ambientales y económicos, ya que disminuye la fertilidad del suelo, reduce la capacidad de retención de agua y nutrientes y provoca la sedimentación de cuerpos de agua, afectando la calidad del agua y la vida acuática.

Las principales causas de la erosión hídrica incluyen la deforestación, la agricultura intensiva, el pastoreo excesivo y las prácticas de construcción inadecuadas. La eliminación de la vegetación natural deja el suelo expuesto y más susceptible a ser erosionado por el agua. Además, el cambio climático ha incrementado la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, exacerbando aún más el problema.

Las consecuencias de la erosión hídrica son amplias y graves. A nivel agrícola, la pérdida de suelo fértil reduce la productividad de los cultivos, aumentando la necesidad de fertilizantes químicos para mantener los rendimientos. A nivel ecológico, la erosión puede llevar a la degradación de los ecosistemas, afectando la biodiversidad y la estructura del hábitat. Además, la sedimentación de cuerpos de agua puede provocar inundaciones y reducir la capacidad de almacenamiento de embalses y presas.

Figura 126. Monocultivo de aguacate sin control de escurrimientos
Fuente: Captura propia.

Con el fin de determinar la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica, se utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE por sus siglas en inglés). A continuación, se detalla los pasos seguidos, así como las fuentes de datos utilizadas.

La ecuación USLE (Wischmeier y Smith, 1978) es una manera de medir la pérdida de suelo derivada de los efectos de la lluvia. Esta ecuación contempla una serie de variables para proporcionar un valor final de pérdida de suelo en ton/ha/año.

La ecuación es la siguiente:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A = tasa de erosión anual (ton/ha.año); R = factor de erosividad de la lluvia (MJ.mm/ha.h); K = factor de erodabilidad del suelo (ton.h/MJ.mm); LS = factor topográfico longitud-pendiente; C = factor de vegetación y cultivo; P = factor de prácticas conservación.

A continuación, se explica en qué consisten y cómo se han obtenido cada una de estas variables.

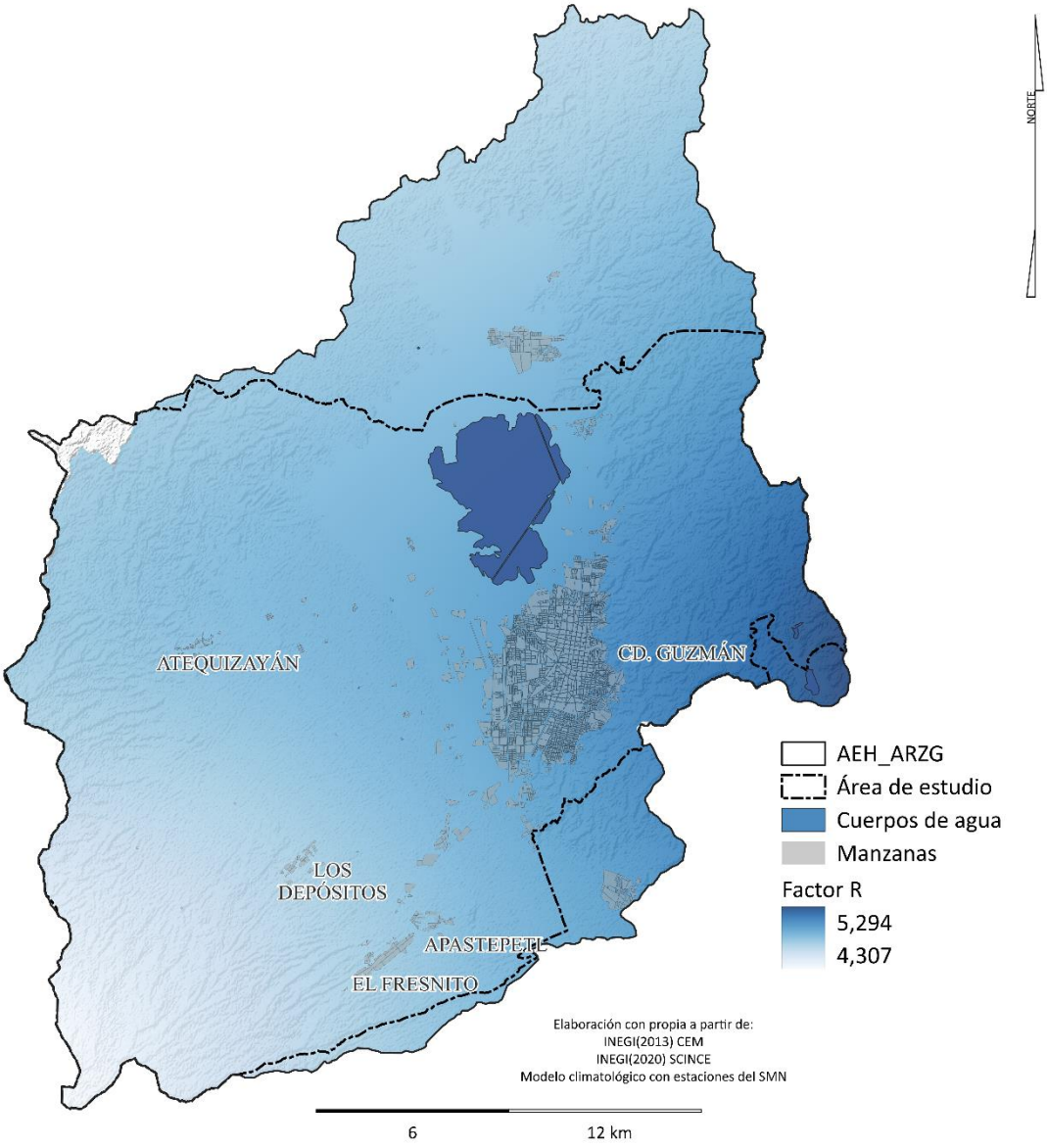
Factor R - Erosividad de la lluvia

El factor R mide la erosividad de la lluvia, esto es, la capacidad de la lluvia para producir erosión. El factor R se obtiene evaluando la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos y su energía cinética asociada; debido a la complejidad que esto conlleva, se utilizó para el AEH las ecuaciones regionalizadas estadísticamente homogéneas para la república mexicana propuestas por (Becerra, 1997), las cuales permiten calcular el factor R promedio anual en función de la precipitación promedio anual del área de estudio.

La superficie del AEH se ubica completamente en la región 7; para esta región, la ecuación es:

$$R = (-0.0334)*P + 0.0061*P2$$

Donde P es la precipitación media anual, dicha información fue elaborada por parte del equipo en el apartado de caracterización del AEH a partir de las interpolaciones con la precipitación media anual de 12 estaciones climatológicas alrededor y dentro de AEH, la metodología se puede apreciar en el apartado de caracterización hidrológica. La precipitación promedio en el AEH es de 765 mm/anual, si se compara con la de Jalisco que va 838 mm/anual para 2021, se encuentra un poco por debajo del promedio estatal.



Mapa 99. Factor R - Erosividad de la lluvia
Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa en el mapa, los mayores valores de erosividad de la lluvia se encuentran en la parte este de la cabecera municipal.

Factor K - Erodabilidad del suelo

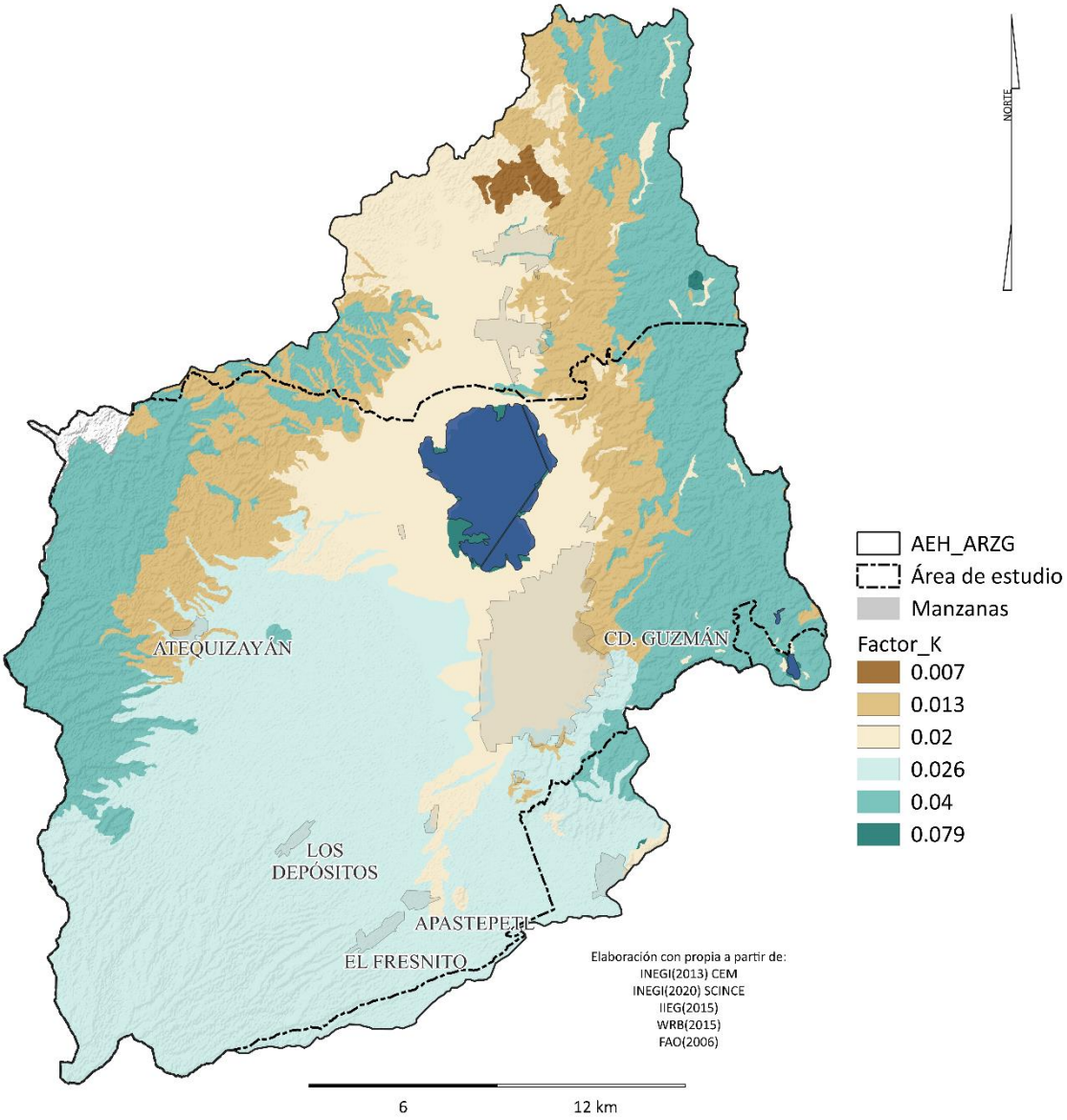
El factor K mide la susceptibilidad del suelo a erosionarse; en la metodología original propuesta por Wischmeier y Smith (1965) utilizan para calcularlo un nomograma que evalúa determinadas propiedades edafológicas; para simplificar este proceso y debido a la falta de información sobre ciertas propiedades necesarias para incluirlas en este modelo, se utilizó la tabla de equivalencias entre tipo de suelo y textura y el valor del factor K propuesto por la FAO (2006), con la referencia de la World Reference Base for Soil Resources (WRB, 2015).

Para el AEH se partió de la información edafológica del Instituto de Información Geográfica del estado de Jalisco (IIEG, 2015). El primer paso para poder utilizar los valores K de la FAO fue estandarizar la nomenclatura de los tipos de suelo entre los de esta institución y las del WRB, para posteriormente, y de acuerdo a su textura, asignarle el valor K. Este proceso y los valores obtenidos pueden observarse en la siguiente tabla, además, se rasterizó la información con una resolución de 12.5 m.

Tabla 97. Equivalencias entre el INEGI y la WRB, con el Factor K

Tipo de suelo INEGI	Tipo de suelo WRB	Textura	Factor K
Andosol	Andosol	Media	0.026
Andosol	Andosol	Gruesa	0.078
Cambisol	Cambisol	Fina	0.026
Cambisol	Cambisol	Media	0.04
Cambisol	Cambisol	Gruesa	0.104
Feozem	Feozem	Fina	0.007
Feozem	Feozem	Media	0.16
Feozem	Feozem	Gruesa	0.013
Fluvisol	Fluvisol	Media	0.04
Fluvisol	Fluvisol	Gruesa	0.078
Litosol	Leptosol	Fina	0.007
Litosol	Leptosol	Media	0.02
Litosol	Leptosol	Gruesa	0.026
Gleysol	Gleysol	Media	0.158
Regosol	Regosol	Gruesa	0.026
Regosol	Regosol	Media	0.013
Rendzina	Vertisol	Media	0.079

Elaboración propia con información de la WRB, 2015 y la FAO, 2006.



Mapa 100. Factor K - Erodabilidad de suelo
Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa en el mapa, hay una gran superficie del AEH con el valor K (0.026); esta superficie corresponde casi su totalidad a los andosoles, cambisoles, leptosoles y regosoles con texturas medias a finas. El siguiente grupo con el valor de K (>0.079) corresponden a los suelos Feozem, Gleysol, Cambisol y Rendzina con sus texturas medias a gruesas. El siguiente grupo, el litosol con textura media y valores de K (0.02) cercano a la Laguna de Zapotlán. El resto de suelos que presentan este valor mínimo del factor K (0.007 y 0.013) con suelos Feozem y litosoles de textura fina.

Factor LS - Topográfico

El factor LS mide el efecto de la topografía sobre la erosión, tomando en cuenta la longitud (L) y su grado de pendiente (S); con el fin de simplificar el proceso de cálculo de este factor se optó por utilizar la metodología propuesta por Portuguez (2015) y desarrollada por la Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid). Esta tabla asigna valor al factor LS de acuerdo a los grupos de pendientes. Para determinar estos valores para el AEH, se realizaron los siguientes procedimientos en ArcMap:

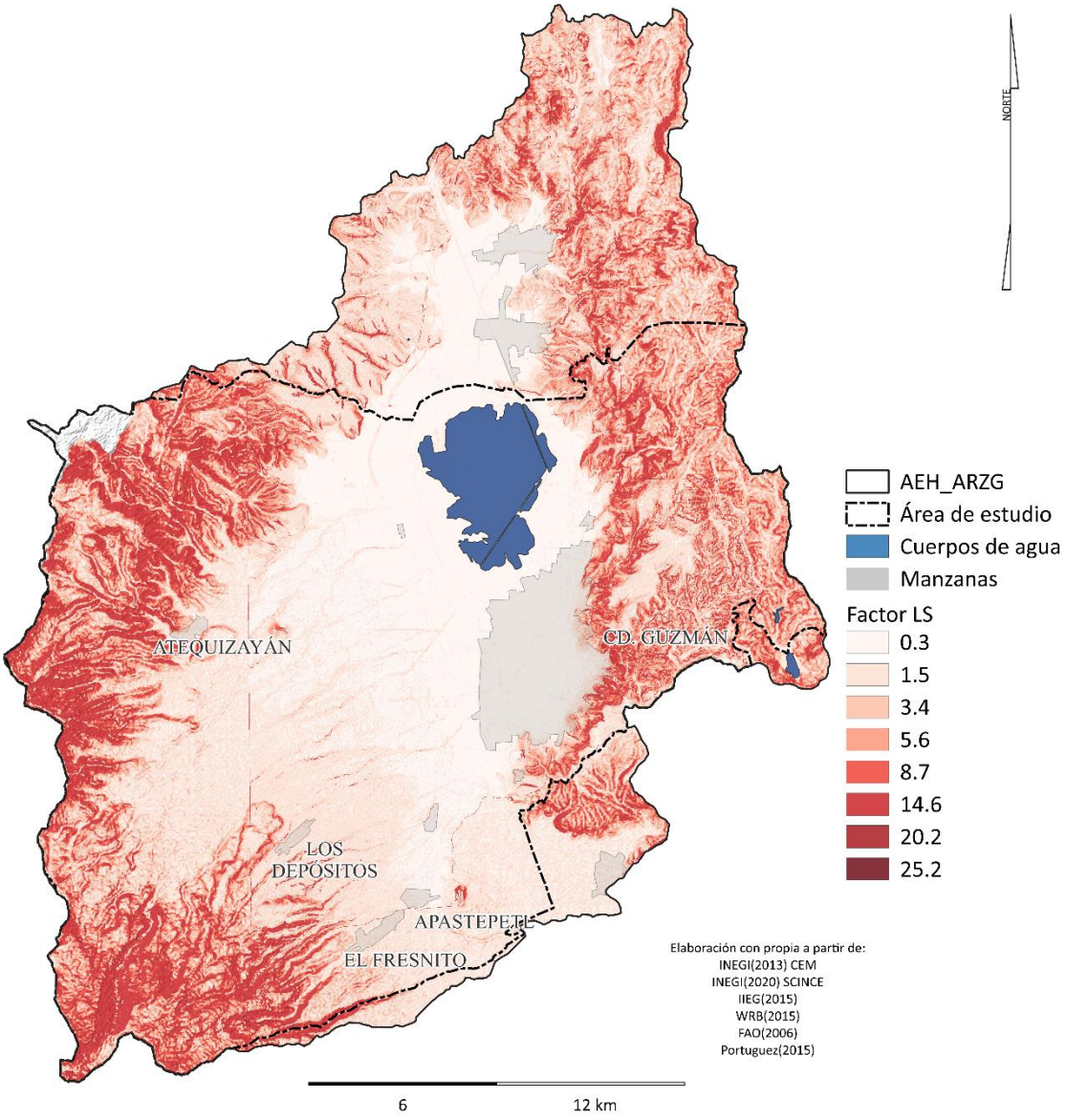
1. A partir del DEM (ASF DAAC, 2011), se calcula la pendiente en porcentaje, con la función 'slope'.
2. Se clasifica la pendiente con los valores propuestos por Portuguez, (2015) y que pueden observarse en la siguiente tabla.

Tabla 98. Valores del factor L.S para diferentes pendientes

Grupos de pendientes °	Factor LS
0 - 3	0.3
3 - 12	1.5
12 - 18	3.4
18 - 24	5.6
24 - 30	8.7
30 - 60	14.6
60 -70	20.2
70 - 100	25.2
>100	28.5

Fuentes: Elaboración propia.

El resultado se muestra en el mapa siguiente:



Mapa 101. Factor LS – Topográfico
Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede observar en el mapa, los mayores valores para el factor LS se ubican en las zonas funcionales medias y en la zona de transición, específicamente en las faldas del volcán de fuego al suroeste, en la zona del oeste y en el noreste y oeste de la cabecera municipal. Estas áreas con altos valores de factor LS indican una mayor susceptibilidad a la erosión debido a la topografía y la pendiente pronunciada.

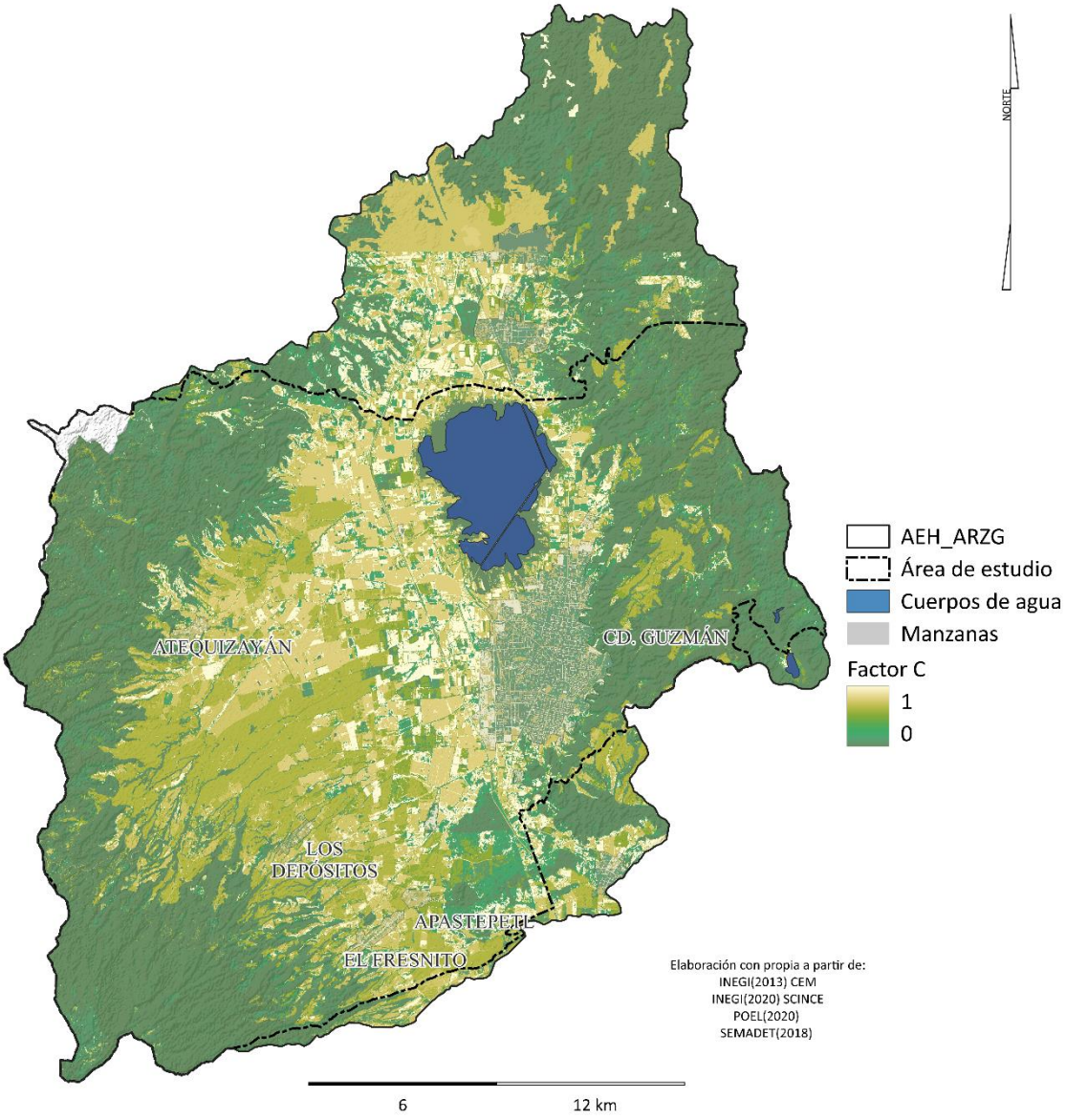
Factor C - Vegetación y uso de suelo

El factor C refleja el efecto de la vegetación como cubierta protectora del suelo frente a la erosión. Con el fin de asignar el valor del factor C al AEH se partió de la capa de cobertura de suelo del POEL (2021) y se asignaron los valores de acuerdo a diversas bibliografías (Renard, 1997, et al., citado por Montes-león, Uribe-Alcántara, García-Celis, 2011; Ibáñez Asensio, Moreno Rámon, & Gisbert Blanquer; Lianes, Marchamalo, & Roldán, 2009). El valor del factor C para cada tipo de cobertura presente en el AEH puede observarse en la tabla siguiente:

Tabla 99. Equivalencias de Usos de suelo y Factor C

Agricultura de riego	0.55
Agricultura de temporal	1.5
Agua	0
Áreas verdes urbanas	0.1
Bosque de Abies y mesófilo	0.01
Bosque de Pinus	0.01
Bosque de Pinus disperso	0.05
Bosque de Quercus	0.01
Bosque mixto de Pinus y Quercus	0.03
Bosque tropical caducifolio	0.03
Huertos (aguacate)	0.65
Invernaderos	0.8
Matorral inducido	0.2
Pastizal cultivado	0.2
Pastizal inducido	0.1
Pastizal natural	0.1
Sin vegetación aparente	1
Urbanización	0.05
Vegetación subacuática	0.01
Vías de comunicación	0.8

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 102. Factor C - Vegetación y uso de suelo
Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa en el mapa, a medida que la cobertura de suelo es mayor, el factor C es menor, a quedar el suelo más protegido ante la erosionabilidad de la lluvia, que en este caso son los cuerpos de agua perennes (ya que no pueden perder suelo), los bosques naturales de la AEH (de coníferas y de encinos) así como la vegetación frondosa ribereña. En el otro lado están los suelos menos protegidos, como las tierras agrícolas de cultivos anuales, o los matorrales que, aunque es vegetación natural, no es densa y su potencial de protección es menor que otro tipo de vegetación.

Aplicación de la ecuación

Una vez se obtuvieron todos los valores, se aplicó la ecuación en la herramienta de calculadora ráster. Esta capa se reclasificó a partir de las categorías propuestas por la FAO-PNUMA-UNESCO (1980).

Tabla 100. Clases de erosión

Clases de erosión	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)
Nula a ligera	menor a 10
Moderada	oct-50
Alta	50 - 200
Muy alta	mayor a 200

Fuente: Elaboración propia con base en FAO-PNUMA-UNESCO (1980).

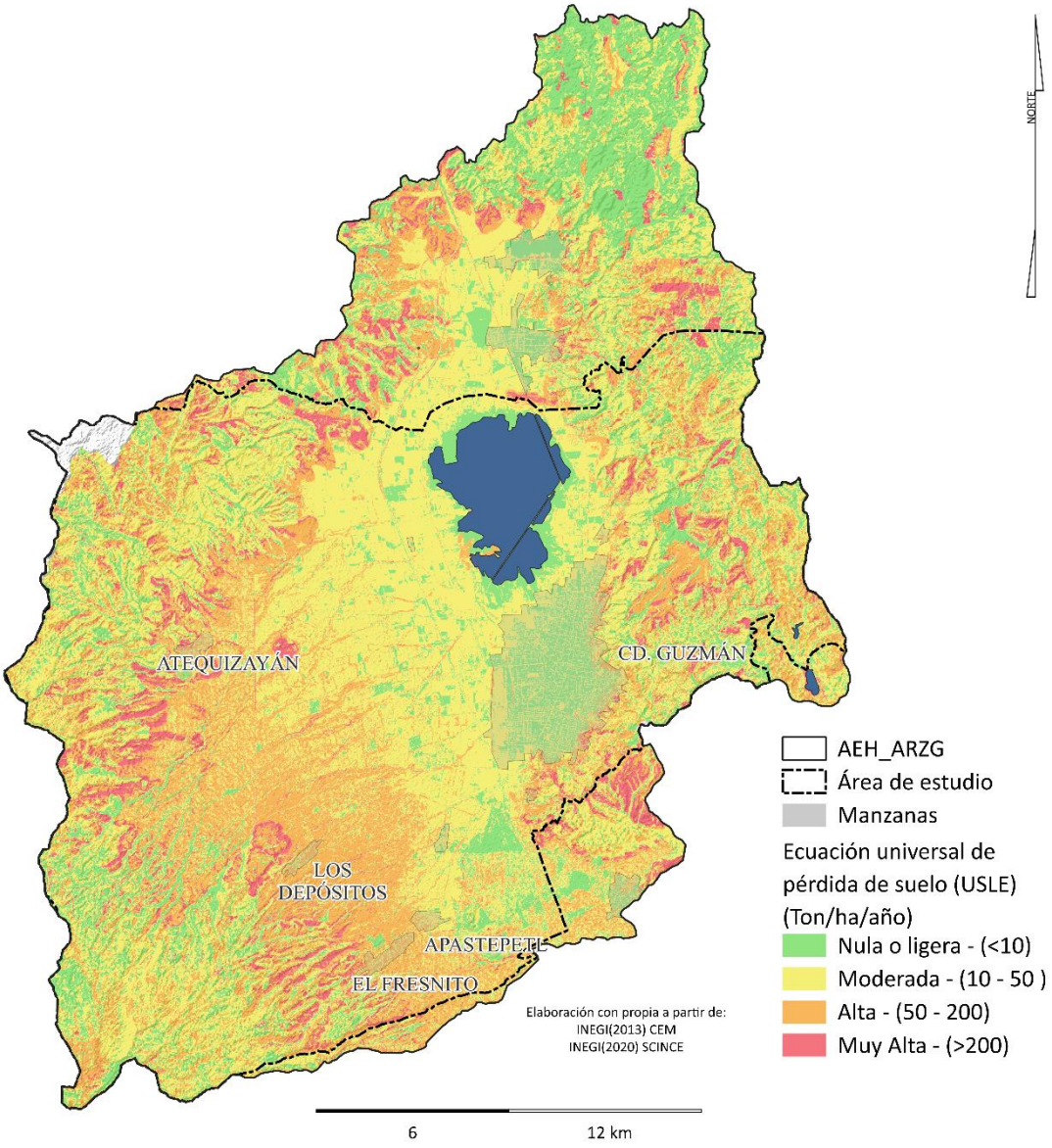
El resultado es una capa en formato ráster de resolución 12.5 m cuyos píxeles contienen 4 valores tal como se puede observar en la tabla siguiente:

Tabla 101. Clasificación de la erosión potencial y su superficie en el AE

Valor del pixel	Clases de erosión	Pérdida del Suelo (Ton/ha/año)	Hectáreas	%
10	Nula a ligera	menor a 10	8368	21.4
50	Moderada	oct-50	17360	44.39
200	Alta	50 - 200	10829	27.69
201	Muy alta	mayor a 200	2550	6.52

Fuente: Elaboración propia.

Enseguida se puede observar la distribución de la erosión en el AEH.



Mapa 103. Factor A - Pérdida de suelo
Fuente: Elaboración propia.

Una vez observados el mapa y la tabla, se puede notar que el área de estudio revela una distribución de las cuatro clases de erosión donde:

El 6.52% del AEH se clasifica como de erosión muy alta, con pérdidas anuales superiores a 200 toneladas por hectárea. Estas áreas se encuentran predominantemente en las zonas medias funcionales, donde inicia la zona de transición y predominan las pendientes pronunciadas en las cañadas, así como huertas de aguacate.

Un 27.69% del área se clasifica con erosión alta, con pérdidas anuales entre 50 y 200 abarcando más de una cuarta parte del AEH. En estas áreas, la cobertura predominante incluye huertas de aguacate, pastizal natural, agricultura de temporal y bosque de pino disperso, lo que contribuye a que la lluvia cause máximas pérdidas de suelo.

La mayor parte del AEH, equivalente al 44.39%, presenta un nivel de erosión moderada, con pérdidas de suelo entre 10 y 50 toneladas por hectárea al año. Este nivel de erosión indica que una porción significativa del terreno sufre una degradación considerable del suelo, aunque no tan severa como la erosión alta y muy alta, sigue siendo significativa debido a la extensa área afectada. Esta clasificación se debe a la combinación de pendientes suaves, que reducen el escurrimiento y favorecen la retención del suelo.

Finalmente, el 21.40% del área presenta una baja erosión, lo que indica que estas zonas están relativamente estables en términos de pérdida de suelo. Estas áreas se encuentran principalmente en las zonas de la laguna y la zona urbana.

Las zonas agrícolas presentan los valores más altos de pérdida de suelo por erosión hídrica. Esto se debe a que las prácticas agrícolas intensivas convencionales y las áreas de agricultura protegida intensivas contribuyen significativamente a la degradación del suelo. Factores como los diseños inadecuados para el manejo del escurrimiento, el uso desmedido de agroquímicos como herbicidas, la quema de cultivos de temporal y la labranza intensiva exacerban el problema, aumentando la presencia de suelos desnudos, sin cobertura vegetal ni mulching, dejando el suelo expuesto a los agentes erosivos.

Las consecuencias de la erosión hídrica son amplias y graves. A nivel agrícola, la pérdida de suelo fértil reduce la productividad de los cultivos, aumentando la necesidad de fertilizantes químicos para mantener los rendimientos, así como un aumento en el uso del agua debido a la poca retención hídrica del suelo. A nivel ecológico, la erosión puede llevar a la degradación de los ecosistemas tanto macro como micro, afectando la biodiversidad y la estructura del hábitat. Además, la sedimentación de cuerpos de agua, un proceso que naturalmente tomaría

cientos de años, se acelera a solo décadas, provocando eutrofización. Esto puede causar inundaciones y reducir la capacidad de almacenamiento de embalses y presas. La nula infiltración del agua en suelos compactados y erosionados también contribuye a la disminución de la recarga de acuíferos, exacerbando los problemas de disponibilidad de agua y aumentando los escurrimientos, lo que resulta en un mayor riesgo de inundaciones.

Incendios

Los incendios forestales son fenómenos que pueden ocurrir de manera natural, provocados por fenómenos como la caída de rayos y erupciones volcánicas, o como parte del ciclo natural de ciertos ecosistemas forestales. Sin embargo, la gran mayoría de estos incendios, aproximadamente el 99%, son ocasionados por actividades humanas, especialmente las agropecuarias y la expansión urbana (CONAFOR, 2010). Las principales causas incluyen la tala inmoderada, la proximidad de los bosques a terrenos agrícolas, el cambio de uso de suelo y la cercanía a caminos.

Estos incendios se han incrementado en frecuencia e intensidad debido tanto a la acción humana como al cambio climático. No solo destruyen vastas áreas de bosques, sino que también liberan grandes cantidades de dióxido de carbono y otros contaminantes en la atmósfera, contribuyendo así a la contaminación del aire y al cambio climático. Los incendios forestales tienen efectos devastadores en la biodiversidad, ya que muchas especies de plantas y animales pierden su hábitat y, en muchos casos, sus vidas. Además, los suelos afectados por el fuego quedan expuestos a la erosión, lo que disminuye su capacidad para retener agua y nutrientes, exacerbando aún más los problemas ambientales y la degradación del suelo.

Figura 127. Incendio registrado en la parte oriente del AE
Fuente: Captura propia.

De acuerdo con el registro histórico de incendios publicado por la SEMADET, para el periodo de 2017 al 2023, se identificaron para el AE y el AEH alrededor de 592 y 786 incendios. Este registro histórico demuestra variaciones significativas en el número de incendios anuales, con picos notables en los años 2019 y 2020.

Tabla 102. Número de incendios en el AEH y AE

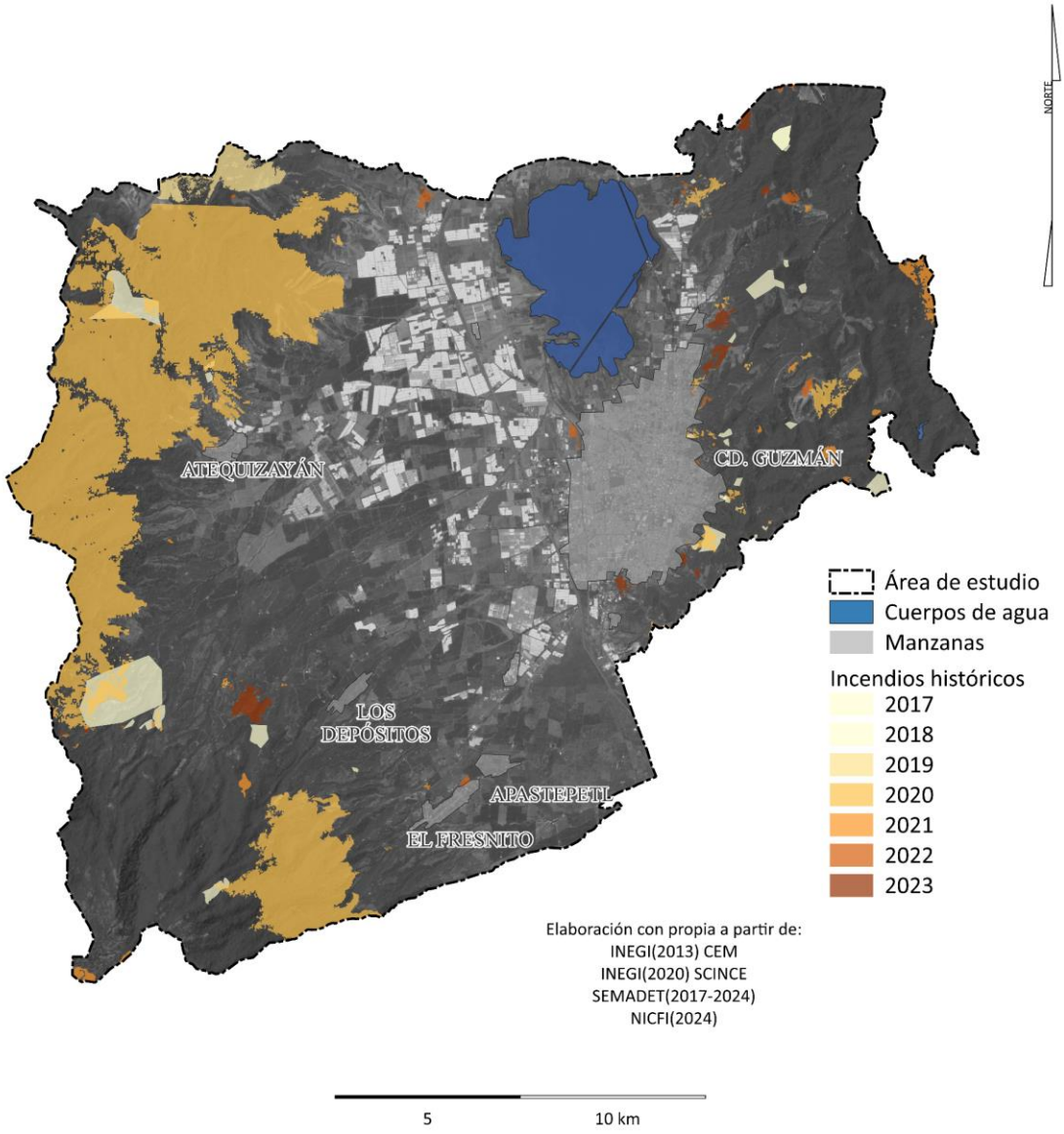
Años	Número de incendios AE	Número de incendios en AEH
2017	12	18
2018	19	23
2019	182	232
2020	294	371
2021	28	42
2022	20	34
2023	37	66
Total	592	786

Elaboración propia con base en SEMADET (2017-2023).

Tabla 103. Comparación áreas quemadas en el AEH y AE

Años	Área quemada AE (ha)	Área quemada AEH (ha)
2017	502.49	1,054.25
2018	146.37	233.85
2019	209.72	254.34
2020	5,514.51	6,000.85
2021	119.08	231.94
2022	58.20	108.44
2023	136.19	277.92
Total general (ha)	6,686.56	8,161.60

Fuente: Elaboración propia con base en SEMADET (2017-2023).



Mapa 104. Incendios históricos en los años 2017-2023
Fuente: Elaboración propia.

Las causas principales en los registros se les atribuye principalmente a fogatas, fogatas de paseantes, actividades agropecuarias, intencionales, vandalismo, quema de basureros, quema para preparación de tierras agrícolas, actividades ilícitas y fumadores.

Tabla 104. Clases de erosión

Años	Área quemada AE (ha)	Área quemada AEH (ha)
2017	502.49	1,054.25
2018	146.37	233.85
2019	209.72	254.34
2020	5,514.51	6,000.85
2021	119.08	231.94
2022	58.20	108.44
2023	136.19	277.92
Total general (ha)	6,686.56	8,161.60

Fuente: Elaboración propia con base en las imágenes satelitales NICFI (2024).

Para la zonificación de peligro se utilizó la metodología de CONAFOR (2022). La metodología para la elaboración de mapas de peligro de incendios forestales se basa en la integración de variables claves a la hora de la potencialidad de incendio, variables geomorfológicas, climatológicas y de cubiertas vegetales principalmente. Los cálculos se realizan a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG). El proceso implica la ponderación de cada variable según su influencia en la propagación del fuego. Enseguida detallaremos las variables, su importancia y la clasificación según la metodología.

Tabla 105. Variables y valores utilizados para determinar el peligro por incendios

Factor	Intervalos o categorías	Atributo
Pendiente % Fuente: NASA (2022). Modelos digital de elevación a partir de Alos Palsar.	0	0
	1 - 5	1
	5 - 30	2
	30 - 54	3
	>= 55	4
Aspecto (grados) Fuente: NASA (2022). Modelo digital de elevación a partir de Alos Palsar.	0 - 22.5 - N y NO	2
	22.5 - 67.5 O, E y SE	3
	67.5 - 112.5 O, E y SE	3
	112.5 - 157.5 - S y SO	4
	157.5 - 202.5	4
	202.5 - 247.5 - S y SO	4
	247.5 - 292.5 - O, E y SE	3

Factor	Intervalos o categorías	Atributo
	292.5 - 337.5 - O, E y SE	3
	337.5 - 360 - N y NE	2
	Plano	0
Precipitación Fuente: Elaboración propia a partir de SMN	0-500	3
	500-1000	2
	>1000	1
Temperatura Fuente: Elaboración propia a partir de SMN	<15	1
	15-25	2
	>25	3
Índice de humedad Fuente: Elaboración propia a partir de SMN	Muy alta	1
	Alta	2
	Media	3
	Baja	4
	Muy baja	5
	Selva perennifolia, selva caducifolia, bosque mesófilo (Baja intensidad, alta severidad)	3
Formación vegetal Fuente: Elaboración propia a partir de USV POEL (2021)	Agua, urbanización, vegetación subacuática, vías de comunicación	0
	Áreas verdes urbanas, invernaderos	2
	Agricultura de riego, Bosque de pinus disperso, Bosque tropical caducifolio, huertas aguacate	4
	Agricultura de temporal, bosque de abies y mesófilo, bosque mixto de pinus y quercus, matorral inducido, pastizal cultivado, pastizal inducido, pastizal natural, sin vegetación aparente	5

Fuente: Elaboración propia.

Pendiente

La pendiente del terreno se refiere al ángulo de inclinación del suelo, que afecta la velocidad y dirección de la propagación del fuego. Las pendientes pronunciadas aumentan la velocidad del fuego debido al efecto del pre-calentamiento del combustible situado más arriba en la pendiente, ya que el calor, la radiación y las llamas ascienden, secando e inflamando el material vegetal con mayor rapidez. Rothermel (1972). Además, pendientes más pronunciadas dificultan el acceso para las labores de combate y control del fuego, permitiendo que los incendios se propaguen sin oposición.

Aspecto u orientación de ladera

El aspecto se refiere a la orientación de la ladera respecto a los puntos cardinales. Esta orientación afecta la exposición solar y consecuentemente, la temperatura y la humedad del combustible vegetal. Las pendientes orientadas hacia el sur (en el hemisferio norte) reciben más luz solar, lo que incrementa las temperaturas y reduce la humedad del combustible. Esto resulta en pendientes que tienden a secarse más rápidamente, aumentando la inflamabilidad del material vegetal. Además, las diferentes orientaciones crean microclimas que pueden variar en términos de humedad y temperatura, influyendo en la distribución y comportamiento del fuego

Precipitacion

La precipitación media anual es un indicador relativo de la humedad disponible en el material vegetal. Niveles bajos de precipitación implican menor humedad en el combustible, aumentando el riesgo de incendios. Menor precipitación resulta en mayor sequedad del combustible, facilitando la ignición y propagación del fuego. La lluvia recarga la humedad del suelo y del material vegetal, reduciendo la inflamabilidad. Los patrones estacionales de lluvia afectan la disponibilidad de humedad durante las temporadas críticas de incendios. Bradstock, Gill, & Williams (2012).

Temperatura

La temperatura media anual afecta directamente la inflamabilidad del combustible vegetal. Temperaturas más altas secan el material vegetal y aumentan el riesgo de incendios. Las altas temperaturas aceleran la evaporación de la humedad del combustible, disminuyendo su contenido de agua. Las altas temperaturas prolongadas crean condiciones secas que son propicias para la ignición, y las fluctuaciones diarias y estacionales de temperatura pueden influir en la inflamabilidad del combustible. Flannigan, Stocks, & Wotton (2000).

Índice de humedad NDMI (por sus siglas en inglés de humedad de diferencia normalizada)

El NDMI (Índice Diferencial Normalizado de Humedad) se utiliza para la identificación de masas de agua y zonas con alta saturación. Se basa en el principio de que el infrarrojo cercano de onda corta (SWIR) muestra una alta absorción de luz debido al agua. También entre una de las aplicaciones del NDMI se encuentra la evaluación del riesgo de incendio puesto que ayuda a determinar la presencia de humedad en la cobertura vegetal. Estos valores varían entre -1 y 1 donde los valores cercanos al límite inferior (-1) representan un suelo desnudo,

los valores medios (0) representan una cubierta de dosel medio con alto estrés hídrico y los valores cercanos al límite superior (1) representan cubiertas altas de dosel con gran cantidad de humedad. La ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Donde:

NDWI = Índice normalizado de agua

NIR es la reflectancia en el infrarrojo cercano.

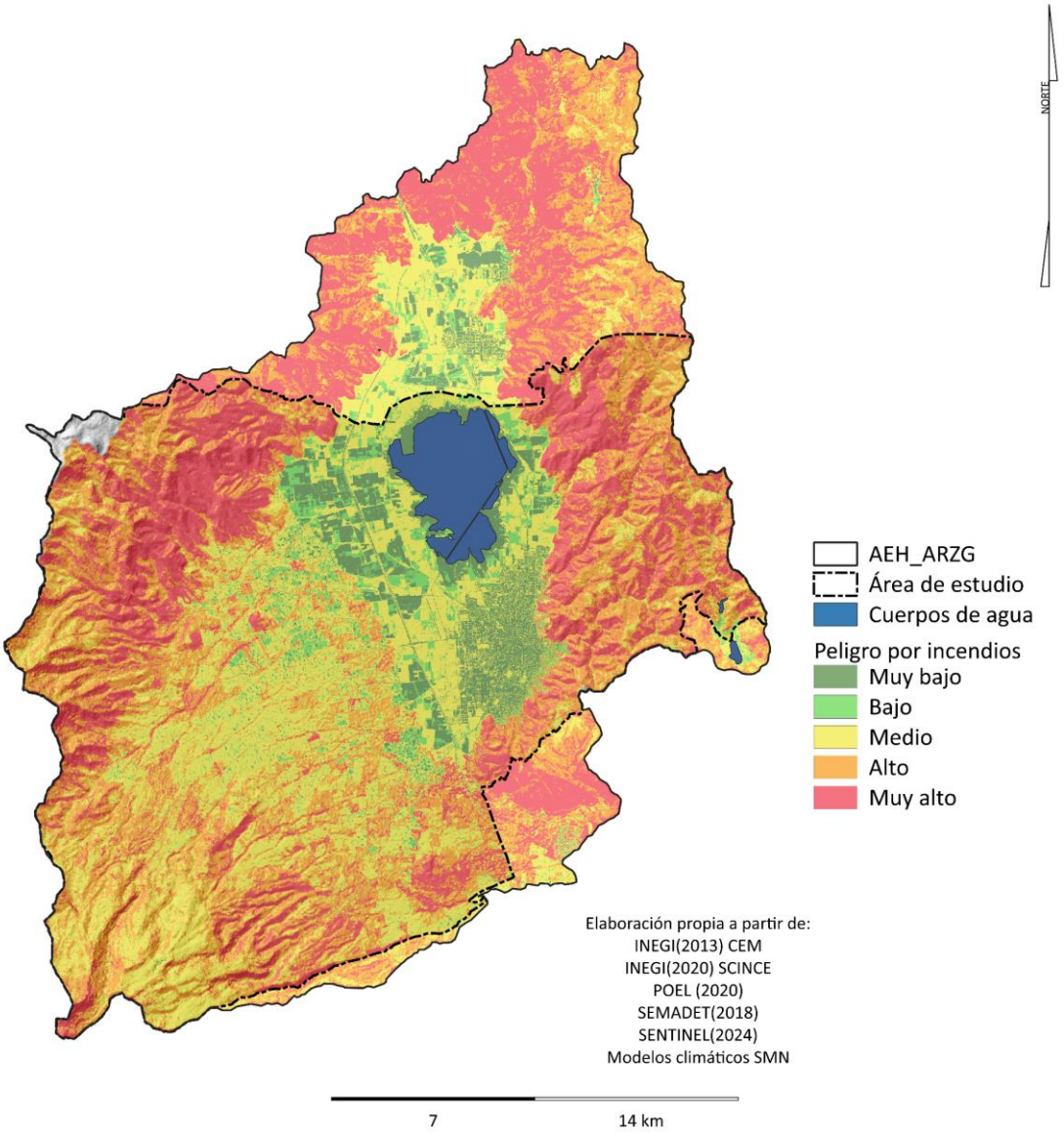
SWIR representa la reflectancia en el infrarrojo de onda corta.

El índice de humedad evalúa la disponibilidad de humedad en el ambiente y en el material combustible. Este índice es una medida crítica para determinar la facilidad con la que el fuego puede iniciarse y propagarse. Menores índices de humedad facilitan la ignición del material combustible y permiten que el fuego se propague más rápidamente. Conocer el índice de humedad ayuda en la planificación de medidas de mitigación y en la predicción de periodos de alto riesgo. El índice de humedad se categoriza desde muy alta a muy baja, con menores índices de humedad incrementando el riesgo de incendios.

Formación Vegetal

La vegetación se clasifica según su tipo y la severidad/intensidad de su respuesta al fuego. Diferentes formaciones vegetales presentan riesgos variables de incendios. Formaciones vegetales con mayor biomasa y continuidad horizontal presentan un mayor riesgo de incendios severos e intensos. La naturaleza de la vegetación, como selva perennifolia, bosque de coníferas, y pastizales, determina la inflamabilidad y la propagación del fuego. Además, algunas formaciones vegetales están adaptadas al fuego y pueden regenerarse rápidamente, mientras que otras pueden sufrir daños significativos. La clasificación incluye categorías como selva perennifolia, bosque de coníferas y pastizales, donde las formaciones vegetales con mayor biomasa y continuidad horizontal tienden a tener mayor severidad e intensidad de incendios CONAFOR (2022).

A continuación, se puede ver el mapa de peligro por incendios, categorizada en cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.



Mapa 105. Peligro por incendios
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que aproximadamente el 28% de la AEH y el 23% del área de estudio se encuentran en una categoría de muy alto riesgo de incendios, principalmente en las laderas este y oeste del municipio donde se encuentran pendientes pronunciadas.

Casi un tercio tanto de la AEH como del área de estudio presentan el 31% en la categoría de alta peligrosidad. Estas zonas se encuentran distribuidas por toda el área de estudio, tanto en las partes funcionales altas como en las medias, debido principalmente a la clasificación de las pendientes. Además, alrededor del 28% de la AEH y el 30% del área de estudio están en una categoría de riesgo moderado, encontrándose principalmente en las zonas agrícolas de pastizales, invernaderos y huertas de aguacate al suroeste del municipio.

Por otro lado, una pequeña proporción de la AEH (5%) y del área de estudio (5%) se clasifica con un bajo riesgo de incendios, representando zonas donde la probabilidad de ocurrencia de incendios es menor. Finalmente, cerca del 9% de la AEH y el 10% del área de estudio se encuentran en la categoría de muy bajo riesgo de incendios, indicando áreas con condiciones menos propensas a la ocurrencia de incendios forestales. Estas categorías se encuentran principalmente en la cabecera municipal, así como en la zona de invernaderos cerca de la carretera de cuota al oeste de la laguna de Zapotlán.

Tabla 106. Clasificaciones de peligro por incendio y su distribución

Peligro por incendios	AEH (%)	Área de estudio (%)
Muy alta	28	23
Alta	31	31
Moderada	28	30
Baja	5	5
Muy baja	9	10

Fuente: Elaboración propia.

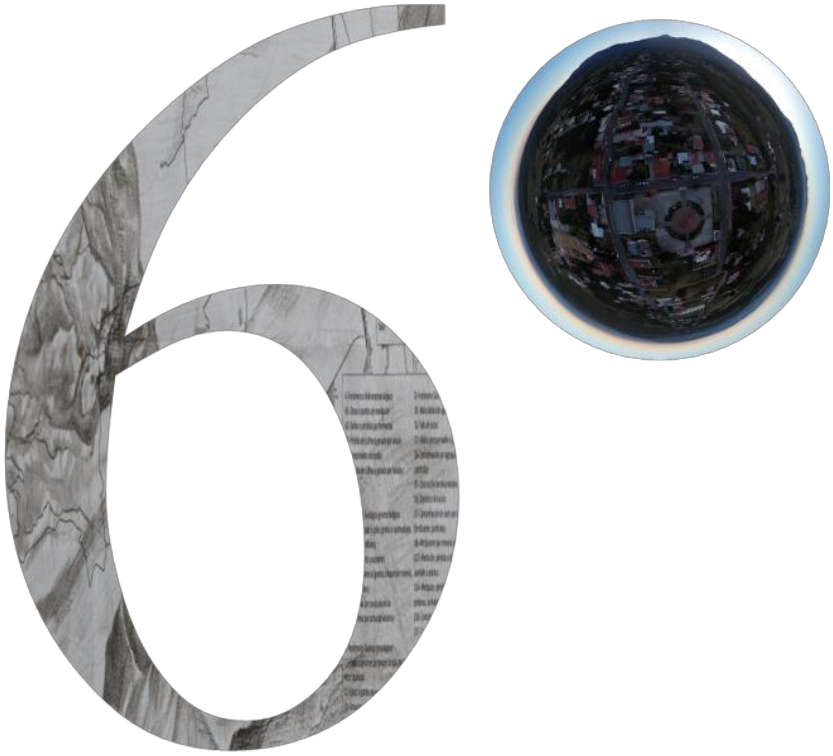
Contaminación de alimentos

La contaminación de alimentos es un problema crítico que afecta tanto la salud pública como la sostenibilidad de los recursos naturales. Este fenómeno ocurre cuando los alimentos entran en contacto con sustancias peligrosas, lo que puede resultar en intoxicaciones y enfermedades en la población. Una de las causas principales de esta contaminación es el uso de aguas residuales no tratadas para el riego de cultivos, así como la aplicación indiscriminada de herbicidas y plaguicidas.

El riego de cultivos con aguas negras, que contienen patógenos y contaminantes químicos, puede introducir estos elementos nocivos en los productos agrícolas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el uso de aguas residuales para el riego, si no se gestiona adecuadamente, puede llevar a la contaminación de alimentos con bacterias, virus y parásitos, además de metales pesados y otros contaminantes químicos (OMS, 2006). Estas sustancias peligrosas pueden acumularse en los alimentos, provocando intoxicaciones en las personas que los consumen.

Por otro lado, el uso intensivo de herbicidas y plaguicidas en la agricultura contribuye significativamente a la contaminación de los alimentos. Estos productos químicos, diseñados para proteger los cultivos de plagas y malas hierbas, a menudo contienen compuestos tóxicos que pueden persistir en el medio ambiente y en los productos agrícolas. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) advierte que la exposición a ciertos plaguicidas puede causar efectos adversos en la salud humana, incluyendo problemas neurológicos, hormonales y reproductivos (EPA, 2017).

Además de los riesgos directos para la salud, la contaminación de alimentos también puede provocar daños en recursos naturales esenciales como el agua, el suelo y el aire. comprometiendo la capacidad de producir alimentos seguros y sostenibles, exacerbando la inseguridad alimentaria y la vulnerabilidad de las poblaciones dependientes de la agricultura.



Zonificación de peligro y susceptibilidad a fenómenos socio-organizativos

6.1 Introducción

Los fenómenos perturbadores socio-organizativos (FSO), al igual que otros fenómenos, han sido subestimados en la elaboración tradicional de los atlas de riesgos en México. Es fundamental reconocer la importancia de considerar el impacto de las calamidades, tanto a nivel colectivo como individual en la gestión integral del riesgo, la visión holística de los

fenómenos o antrópicos y particularmente Fenómeno Socio-Organizativo[4] (Cenapred, 2017). Abarcan una amplia gama de eventos, entre ellos:

- Los accidentes de transporte, ya sean aéreos, marítimos o terrestres, pueden ocurrir en una variedad de entornos, como áreas urbanas, suburbanas, zonas rurales, carreteras, puertos y helipuertos. Estos incidentes pueden resultar en pérdidas humanas y están relacionados con diversos factores y elementos, incluido el tráfico, la señalización, el diseño vial, la velocidad y la visibilidad, entre otros.
- Los eventos o lugares con concentración masiva de población y demostraciones de inconformidad social, pueden tener diversas razones o motivos. Por lo general, son áreas donde la población se aglomera para llevar a cabo sus actividades en fechas u horarios específicos o aproximados. Estos sitios pueden ser el punto de partida de recorridos o simplemente áreas donde la gente se congrega en gran número.
- La interrupción o afectación de los servicios básicos o de infraestructura estratégica, principalmente servicios esenciales como el agua potable, el alcantarillado, la energía eléctrica y los servicios de comunicación (como los viales, telefónicos, telegramas, internet, televisión o radio), así como el abastecimiento de combustibles y alimentos, pueden tener un impacto significativo en la comunidad. Estos servicios, vitales para el bienestar y la seguridad de las personas, pueden verse afectados en situaciones de emergencia o crisis, lo que destaca la importancia de su resiliencia y protección.
- Los eventos que resultan del comportamiento antisocial, como actos de terrorismo, sabotaje y vandalismo, pueden tener un impacto significativo en la comunidad y están relacionados principalmente con la seguridad nacional. La gestión de estos eventos requiere la colaboración de diferentes niveles de gobierno, incluyendo elementos y jurisdicciones a nivel federal, estatal y municipal en el país.

Estos fenómenos se pueden dividir en dos tipos, primero, los eventos crónicos, que suelen tener una alta frecuencia de ocurrencia, pero con afectaciones materiales y humanas relativamente bajas, como los accidentes de tránsito. Segundo, los eventos catastróficos, que

[4] Fenómeno Socio-Organizativo: Agente perturbador que se genera con motivo de errores humanos o por acciones premeditadas, que se dan en el marco de grandes concentraciones o movimientos masivos de población, tales como: demostraciones de inconformidad social, concentración masiva de población, terrorismo, sabotaje, vandalismo, accidentes aéreos (Ley General de Protección Civil, artículo 2 fracción XXVII).

son poco frecuentes, pero con graves consecuencias humanas o materiales, como una estampida en un concierto o una procesión religiosa.

En la cotidianidad de las sociedades y a lo largo del tiempo, estamos expuestos a una variedad de elementos y factores de diversa índole, algunos de los cuales pueden pasar desapercibidos o tener afectaciones poco visibles. Como se sabe, el ser humano es de los principales actores en la gestión de estos fenómenos. La elaboración de este módulo nos lleva a reflexionar sobre cómo la cultura de la prevención respalda las actividades de protección civil.

En este sentido, es fundamental comprender que en la gestión y prevención en respuesta a la ocurrencia de eventos requiere tener en cuenta que ciertos servicios, sistemas e instalaciones pueden experimentar fallas, interrupciones o daños. Estos incidentes pueden desencadenar peligros secundarios en áreas extensas y aumentar la cantidad de población afectada.

Los establecimientos o instalaciones destinadas para atender las emergencias, como son albergues temporales o refugios, tienen la función crucial de proporcionar un lugar seguro para aquellos afectados por un peligro. Sin embargo, en ocasiones presentan condiciones subóptimas para hacer frente a las emergencias o carecen de elementos necesarios para garantizar la seguridad de los afectados. Por ejemplo, la fragilidad de estas instalaciones ante fenómenos de cierta magnitud, como un sismo, puede amplificar las pérdidas y los daños a la población atendida.

De manera similar, la accesibilidad y conectividad a los centros de población son críticas durante situaciones de emergencia. Además, es esencial garantizar la cobertura en el municipio y la capacidad de atender las necesidades básicas de los afectados, como alimentos, agua potable, artículos de higiene personal y atención médica, especialmente para aquellos que padecen enfermedades crónicas.

Marco conceptual

Según la Teoría de la Estructuración, las estructuras sociales y organizativas no son entidades externas y objetivas que determinan el comportamiento de los individuos, sino que son el resultado de las acciones y prácticas de los actores sociales dentro de un contexto dado. A su vez, estas estructuras influyen en las acciones y decisiones de los individuos.

El autor de esta teoría Anthony Giddens hace el “análisis de la forma en que los seres humanos hacen su propia historia, un marco para dar cuenta de la forma en que a través de

las prácticas sociales los agentes producen, reproducen y transforman a la sociedad (Alfredo Andrade Carreño, 2015) siendo esto un punto de partida para el análisis de este marco.

Con esto afirmamos que existen interacciones entre las estructuras y acciones, con ello nos lleva a la reflexividad puede influir en la gestión y mitigación de los riesgos, además, se identifican las brechas estructurales donde resalta la necesidad de intervenciones y políticas adicionales para el desarrollo de estrategias adaptativas que mejoren la resiliencia comunitaria y la capacidad de respuesta en el ámbito local.

Panorama Internacional

Los organismos internacionales clasifican los fenómenos FSO de la siguiente manera:

Tabla 107. Definición de los fenómenos Socio-Organizativos de acuerdo a organismos internacionales

Organismo	Fenómenos	Como se atiende
Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA)	Terrorismo (homicidios, secuestros, bombas, cyber ataques, armas biológicas y nucleares).	Coordina las acciones necesarias con aeropuertos, militares, gobierno e incluso la población civil para disminuir las amenazas terroristas
Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja (FICR)	Crisis alimentarias, desplazados, accidentes industriales, disturbios civiles (cambio climático).	Llevar a cabo la administración del desastre, desde acciones preventivas, hasta acciones de emergencia, colaborar para aumentar la resiliencia de las comunidades, rehabilitarlas y coordinar los apoyos de donadores y socios humanitarios.
Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD)	Amenazas tecnológicas (contaminación, procedimientos peligrosos, fallas humanas: accidentes)	Genera estrategias coordinadas y organizadas, al igual que funciones y recursos institucionales, disposiciones operativas y procesos informativos claramente identificados para actores específicos en momentos apremiantes. Con base en distintos escenarios sobre las posibles condiciones de emergencia o eventos relativos a los desastres.
Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC)	Amenaza antropogénica o antrópica y tecnológicas.	Brinda orientación regional en materia de Gestión del Riesgo de Desastres, diseño de estrategias específicas, así como las actualizaciones correspondientes del Plan Regional para la Reducción de Desastres, PRRD.

Fuente: CENAPRED, 2017.

Panorama Nacional

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil, desde 1986 se ha hecho mención a través de los programas nacionales de protección civil a los FSO, estos fenómenos han sido objeto de estudios y estadísticas que han beneficiado significativamente la comprensión con gran medida en la gestión de estas manifestaciones a nivel nacional y local.

Entre 1990 y 1994, se incorporó la definición de los fenómenos perturbadores, incluyendo los accidentes de transporte y las interrupciones en los servicios públicos, al Programa Nacional de Protección Civil en las principales metrópolis del país. Esta inclusión se basó en el decreto presidencial del 6 de mayo de 1986.

En 2008, los FSO fueron reconocidos como factores de riesgo antropogénicos, es decir, causados por la actividad humana como son procesos de industrialización o modernización, así como causas delincuenciales y la presencia de asentamientos irregulares en el crecimiento urbano desordenado.

Como ya se había mencionado, actualmente, el CENAPRED define los FSO como calamidades, que abarcan una variedad de eventos como accidentes aéreos, marítimos o terrestres, concentración masiva de población y demostraciones de inconformidad social, interrupción o afectación de servicios básicos o infraestructura estratégica, así como actos de vandalismo, terrorismo y sabotaje.

Cabe destacar que el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) ha desarrollado cursos, materiales y productos gráficos accesibles en la web, los cuales brindan capacitación tanto al personal de dependencias gubernamentales como a la sociedad en general. Esta iniciativa promueve una cultura de prevención desde el ámbito gubernamental, fomentando la conciencia y la preparación ante posibles desastres

En las guías de contenido mínimo, producidas por el CENAPRED proporcionan apoyo para la elaboración de los módulos de los atlas de riesgos, estableciendo clasificaciones y detalles necesarios para evaluar la susceptibilidad y comprender el desarrollo de las ocurrencias, dan sustento a los productos finales que son de utilidad para la gestión del riesgo y la protección

Además, hay reconocer que la gestión, y planificación del espacio tienen componentes multidimensionales que incluyen factores sociales. Según Bourdieu (1999), el "espacio social tiene una estructura física, una forma definida y una distribución de agentes y elementos". Esto nos lleva a la generación de bases de datos y la clasificación de fenómenos, tanto presentes como futuros, con diferentes niveles de ocurrencia, lo que nos permite integrar riesgos potenciales en la planificación y gestión del territorio.

De esta manera, para el área de estudio en la actualización del atlas de riesgos del municipio de Zapotlán el grande, analizan los siguientes peligros socio- organizativos:

- Accidente de tránsito
- Concentración masiva de población y demostraciones de inconformidad social
- Interrupción o afectación de los servicios básicos o de infraestructura estratégica
- Terrorismo, sabotaje y Vandalismo

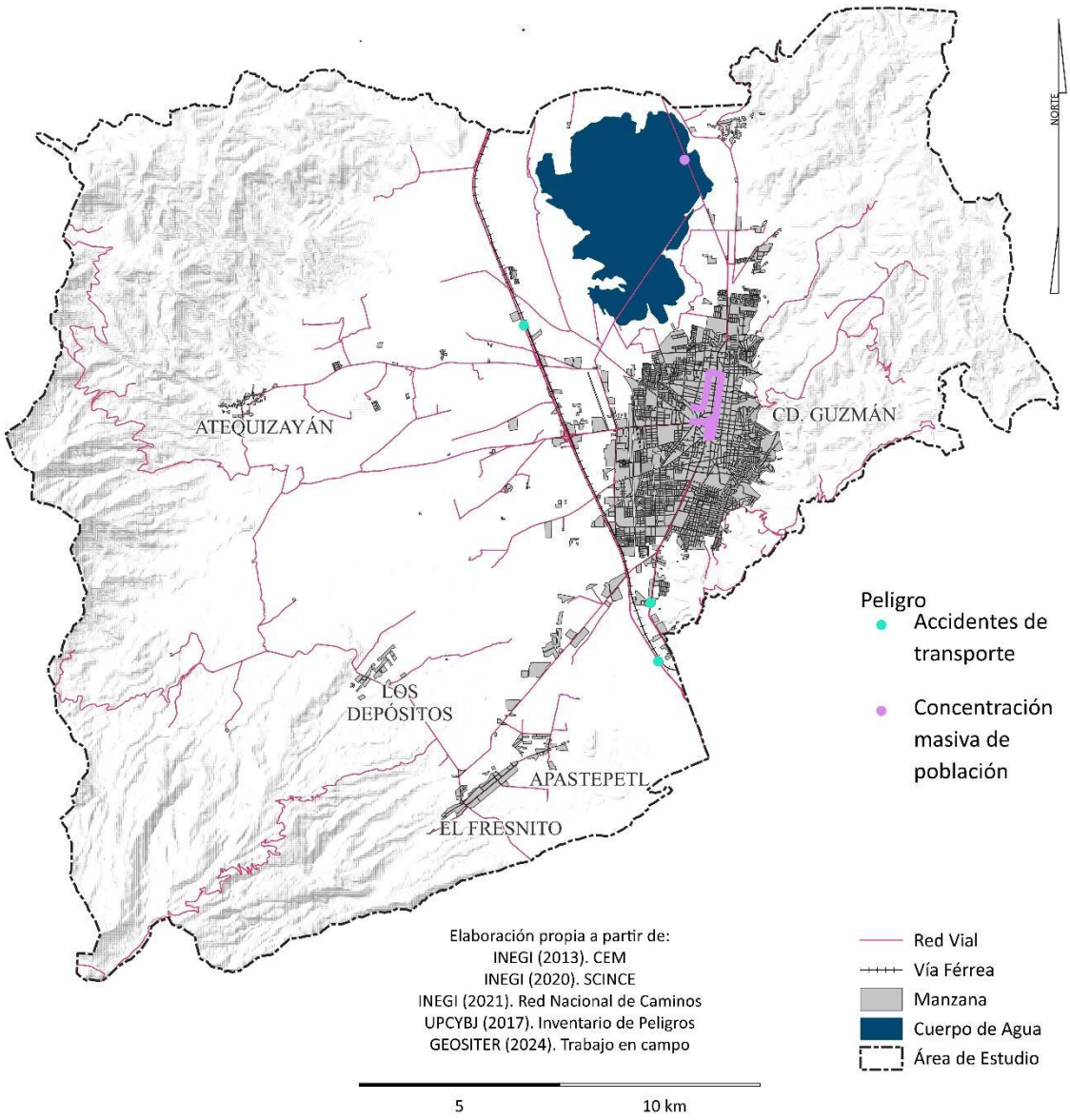
Para comprender estos peligros, es fundamental analizar ciertos elementos básicos o esenciales introductorios que están estrechamente relacionados con estos fenómenos. Entre ellos, se destacan aspectos vinculados con elementos cotidianos utilizados por los seres humanos, como la infraestructura vial y urbana, la vivienda y diversas variables sociales y económicas dentro del municipio.

Antecedentes

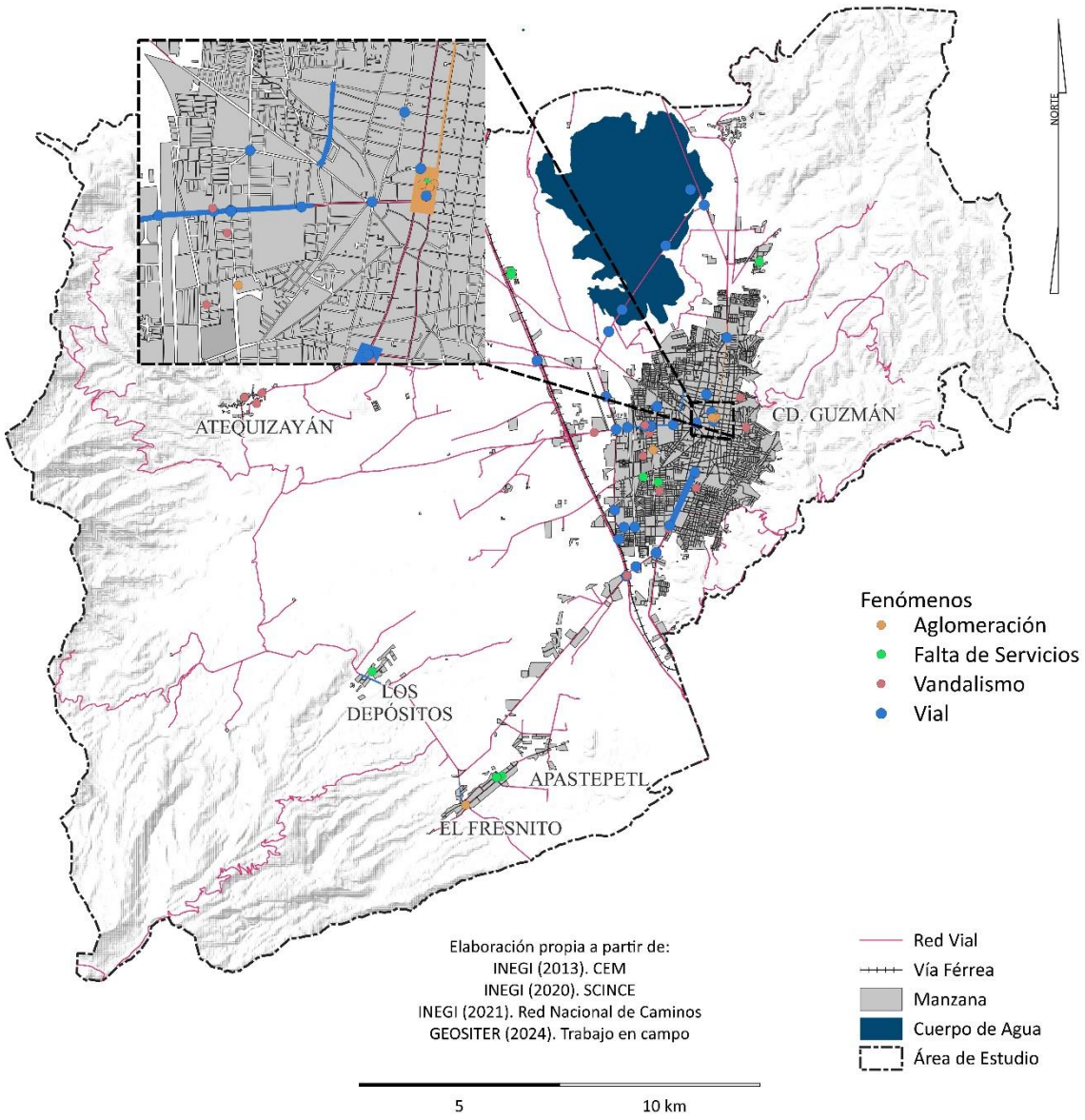
La base de datos de la Unidad de Protección Civil y Bomberos del estado de Jalisco (UPCYBJ) aborda los peligros de FSO. A partir de esta información, se identificaron los riesgos que deben ser considerados en la prestación de servicios por parte del cuerpo de bomberos, sin embargo, dado que la base de datos abarca desde el año 2004 hasta el 2017 y presenta un número limitado de peligros, constituye un inventario escaso, aunque esta base de datos proporciona información valiosa, su alcance resulta insuficiente. Por lo tanto, para una determinación más precisa, es necesario recopilar una gama más amplia de datos a nivel municipal.

Los peligros presentes en el área de estudio se dividen en dos categorías principales: los accidentes de transporte y la concentración masiva de población. Los accidentes de transporte ocurren principalmente fuera de la zona urbana, mientras que la concentración masiva de población se asocia con las festividades más tradicionales del municipio.

Estos peligros se caracterizan por formar parte de una base de datos de menor detalle cartográfico. Es decir, el inventario responde mayormente a incidencias recabadas por la unidad del cuerpo de bomberos del estado y las vialidades de jurisdicciones estatales. En el caso de la concentración masiva de población, se destaca la festividad principal o de mayor jerarquía de importancia para los ciudadanos del municipio, la cual coincide con el sitio adyacente que concentra la mayoría de los eventos que reúnen a la población de manera masiva.



Mapa 106. Antecedentes Socio-Organizativos
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 107. Datos recabados en campo y talleres de participación ciudadana
Fuente: Elaboración propia.

Trabajo de campo y talleres de participación ciudadana

Durante el recorrido de campo y los talleres de participación ciudadana, se llevaron a cabo entrevistas, recorridos, cartografía social y análisis fotográfico, todo ello en colaboración con el personal municipal de protección civil y bomberos. Para este módulo, se recopiló información en gabinete antes de realizar recorridos a través de las principales vialidades de la ciudad.

6.2 Accidentes de transporte

Este análisis considera que el transporte, en todas sus modalidades, según el artículo 3, fracción XXV de la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (Congreso de la Unión, 2021), implica la capacidad, facilidad y eficiencia del tránsito o desplazamiento de personas y bienes en el territorio, priorizando la accesibilidad universal y la sustentabilidad" esto conlleva una serie de beneficios, principalmente económicos, sociales y políticos.

La movilidad rápida, confiable y segura en el territorio es fundamental para el desarrollo, y los distintos sistemas de transporte contribuyen a facilitarla, sin embargo, es importante reconocer que el crecimiento del transporte, especialmente el motorizado, también conlleva desafíos y efectos negativos en ciertos aspectos, los cuales están influenciados por decisiones humanas en cuanto a regulación y control.

Dentro de este marco los accidentes relacionados con diversos medios de transporte, como aviones, barcos, ferrocarriles, autobuses y automóviles, principalmente se deben Según Tolley y Turton (1995) a los vehículos automotores terrestres. En consecuencia, este tipo de transporte se considera el más peligroso de todos (citado en Luna y Chias, 1999:317). Siendo eventos de alta frecuencia u ocurrencia por su uso masivo.

La transportación privada es una práctica común en el día a día, pero en los últimos años hemos observado una tendencia hacia alternativas más sustentables, a pesar de la creciente conciencia ambiental que ha fomentado el uso de la bicicleta y el transporte público, la convivencia en las vialidades sigue siendo un desafío, la coexistencia pacífica entre los distintos medios de transporte aún no ha alcanzado la utopía deseada.

Accidentes de tránsito[5]

Los accidentes de tránsito son uno de los principales problemas de salud pública, según la Organización Mundial de la Salud (2023), aproximadamente 1.19 millones de personas fallecen cada año debido a esta causa, lo que significa que los accidentes de tránsito matan a una persona cada dos minutos y que se producen más de 3200 defunciones al día

Distribuyéndose el fallecimiento en el -12% en la Región de las Américas, estos accidentes siguen siendo la principal causa de muerte entre los niños y jóvenes de 5 a 29 años. (OMS, 2023) la población joven y adulta la que principalmente es afectada por estos hechos, para el caso de México se tienen datos para los últimos 25 años, con variables recabadas por INEGI.

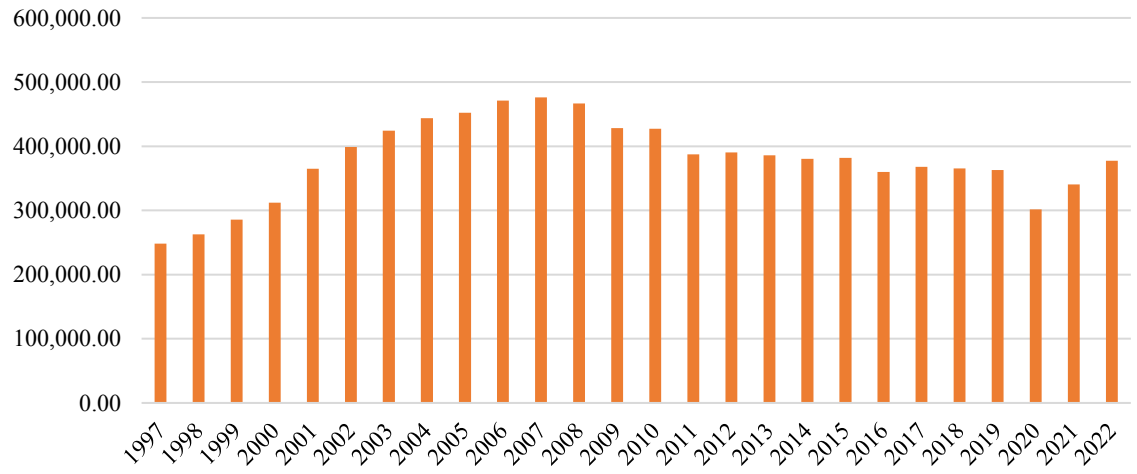


Figura 128. Accidentes viales en México
Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.

El día con mayor número de ocurrencias presentes en la base histórica de accidentes es el sábado, seguido del domingo. El día con menos accidentes registrados es el jueves. Esto se

[5] El termino accidente de tránsito terrestre es definido por INEGI (2011) como "un percance vial que se presenta súbita e inesperadamente, determinado por condiciones y actos irresponsables potencialmente previsibles, atribuidos a factores humanos, vehículos preponderantemente automotores, condiciones climatológicas, señalización y caminos, los cuales ocasionan pérdidas prematuras de vidas humanas y/o lesiones, así como secuelas físicas o psicológicas, perjuicios materiales y daños a terceros".

interpreta como resultado de una mayor convivencia, desplazamiento y movilidad, principalmente en las zonas urbanas durante los fines de semana.

Con base en los datos de percances viales proporcionados por el INEGI en 2022, se llevó a cabo el cálculo de tasas a nivel estatal y se representaron en dos mapas. El primero de ellos muestra el número de accidentes por cada 100,000 habitantes, utilizando datos del Censo de población y vivienda del INEGI del año 2020. A nivel nacional, se obtuvo un promedio de 2.4184 accidentes por estado, mientras que en el estado de Jalisco la tasa registrada fue cercana con el 2.072 accidente de tránsito ocurridos por cada 100,000 habitantes.

Para la tasa de defunciones ocasionadas por percances de tránsito, se realizó un cálculo a nivel nacional, obteniendo un promedio de 371.8617 defunciones por cada 100,000 habitantes. Sin embargo, es importante resaltar que este promedio nacional es significativamente menor al promedio de 179.201 defunciones registradas para el estado, esta disparidad refleja un nivel preocupante de pérdidas humanas en el ámbito de la entidad, representando casi 200 vidas perdidas anualmente debido a accidentes de tránsito.

Las causas de defunción en accidentes de tránsito abarcan diversas tipologías, que incluyen ser el conductor del vehículo, ser pasajero, ser peatón o desplazarse en bicicleta. Cada una de estas categorías presenta sus propios riesgos y características específicas en términos de seguridad vial, estos datos, específicamente para el estado de Jalisco y dentro del área de estudio del atlas de riesgos, configuran un espacio de flujos y de interacciones complejas entre distintos elementos y actores.

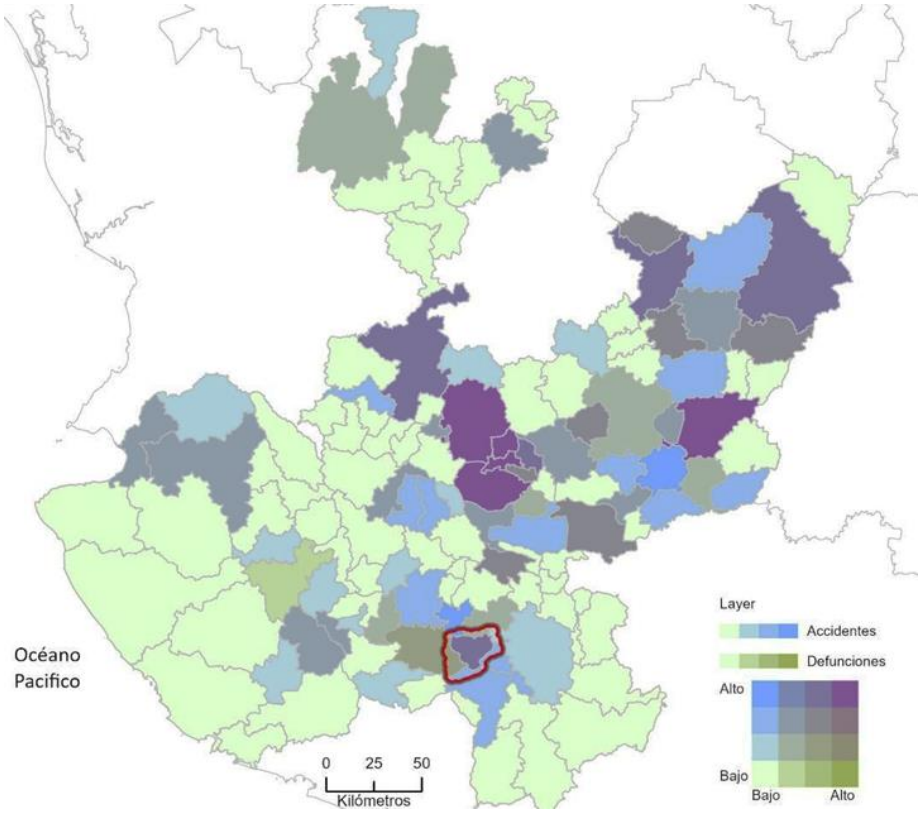
En el análisis del contexto para el estado de Jalisco es importante destacar que, para una variable, la posición en el promedio nacional puede ser alcanzada, mientras que para otra, podría encontrarse por debajo de dicho cálculo, esto sugiere una diversidad de dinámicas y condiciones dentro del contexto local o regional que pueden influir en los resultados obtenidos para diferentes variables.

A través de la representación cartográfica de este mapa bivariado, se logra visualizar la distribución de los accidentes de tránsito y las defunciones asociadas a estos, mediante la clasificación de cuantiles. Esta técnica permite diferenciar los municipios con baja incidencia y, a su vez, resaltar las aglomeraciones municipales que reflejan este fenómeno, en el contexto estatal.

La manifestación de una división regional claramente definida se hace patente, destacando especialmente tres regiones dentro del estado: en primer lugar, se encuentra la capital y su

área metropolitana correspondiente, que constituyen una de las áreas de mayor concentración urbana y actividad económica; seguidamente, se observa la región de los Altos de Jalisco, localizada al noroeste del estado, caracterizada por su paisaje montañoso y una economía diversificada que incluye actividades agrícolas y ganaderas, entre otras.

Asimismo, la representación de los 3 municipios que componen el área metropolitana del sur (AMS)[6] que son: Zapotlán el Grande, Gómez Farías y Zapotiltic, comparten una serie de interacciones económicas, sociales y de infraestructura que contribuyen a su desarrollo conjunto y a la integración de sus actividades cotidianas.



Mapa 108. Mapa bivariado de Accidentes y Muertes de Tránsito en los municipios del estado de Jalisco 2022
Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.

[6] Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (IIEG). (2020). *Análisis General del Área Metropolitana del Sur 2020.* Recuperado de https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/03/An%C3%A1lisis-General-del-%C3%81rea-Metropolitana-del-Sur-2020.pdf

Dentro de la región de datos aglomerados, el área de estudio muestra una intensidad de color más pronunciada debido a su mayor registro de datos que concentra, lo que sugiere que es una centralidad en la región con una incidencia significativa de accidentes de tráfico.

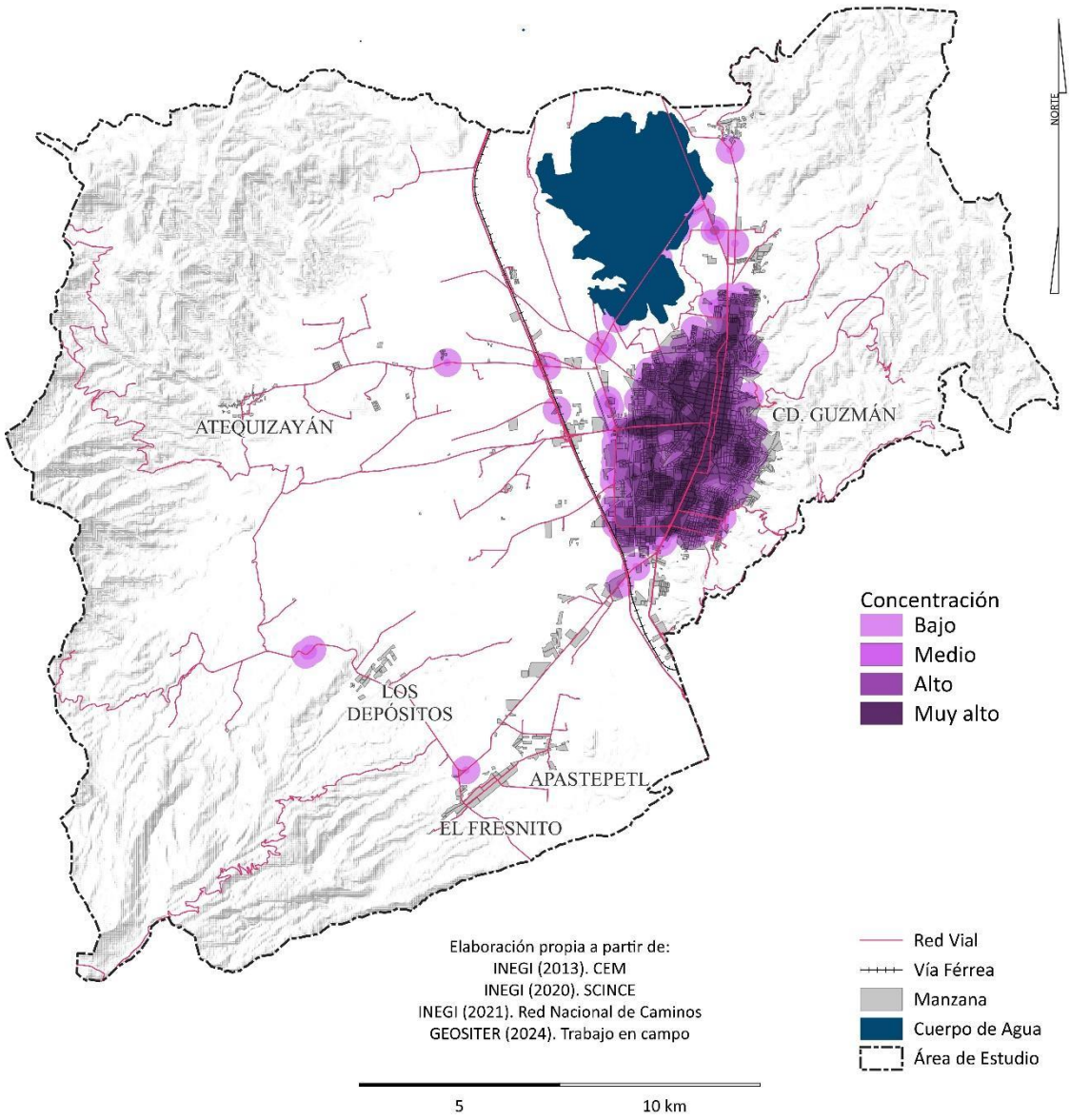
Se observa que la concentración de ocurrencias, especialmente de accidentes de tránsito, es mayor en el municipio de Zapotlán el Grande. Sin embargo, se distingue una tendencia mayor a las defunciones por estas calamidades en los municipios vecinos de San Gabriel al poniente, y en conexión al norte, Gómez Farías, para comprender mejor esta incidencia en el área de estudio, se llevará a cabo un análisis y representación de clúster que permitirá desglosar y analizar los datos con mayor detalle.

Se realizó un análisis utilizando registros municipales y la georreferenciación del INEGI, a partir de la base de datos de Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas para el área de estudio. El registro cartográfico abarca los últimos dos años, aunque en el contexto puntual, no ha variado significativamente respecto a la estadística registrada por municipio desde el año 1997.

Los accidentes se concentran principalmente en las vialidades principales, las cuales sirven de conexiones vitales para la ciudad y enlazan con su centro urbano. Para abordar este problema, se ha desarrollado una proyección por clúster, que ofrece una representación visual de la aglomeración de estos incidentes viales.

La causa de estos accidentes es también decisiva para la toma de decisiones en la gestión de la movilidad y la implementación de medidas de mitigación. Dado que la mayoría de los accidentes se registran en zonas urbanas, específicamente en Ciudad Guzmán, la colisión con vehículos automotores se identifica como la principal causa de accidentes. Asimismo, la segunda causa de accidentes es la colisión con motocicletas, con 214 registros. La tercera causa es la colisión con objetos fijos, mientras que en cuarto lugar se encuentra la colisión con ciclistas, otro grupo de usuarios de la movilidad urbana.

Se analizó también la frecuencia horaria de los accidentes registrados. Los datos revelan que la mayoría de los accidentes ocurren alrededor de las 13:00 horas, un horario diurno. Esto sugiere que la congestión vial, las actividades y las necesidades de desplazamiento en la ciudad son los principales factores que contribuyen a la movilidad en ese momento del día.



Mapa 109. Concentración de incidentes de tráfico
Fuente: Elaboración propia.

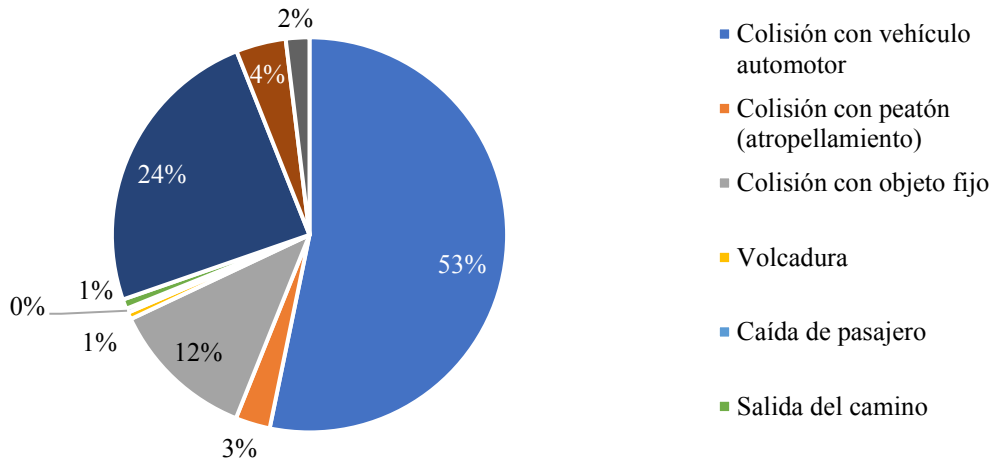


Figura 129. Tipo de accidentes registrados en el área de estudio
Fuente: Elaboración propia.

Otro pico significativo se observa a las 18:00, con alrededor de 60 accidentes, lo que coincide con la hora típica de salida del trabajo y el consecuente aumento del tráfico vehicular.

Las horas de mediana incidencia de accidentes son entre las 10:00 y las 12:00 horas, donde se observa un aumento gradual en el número de accidentes, con un notable incremento hacia el mediodía. Las horas entre las 15:00 y las 19:00 también presentan un número elevado de accidentes, aunque no tan alto como el pico registrado a las 13:00 horas.

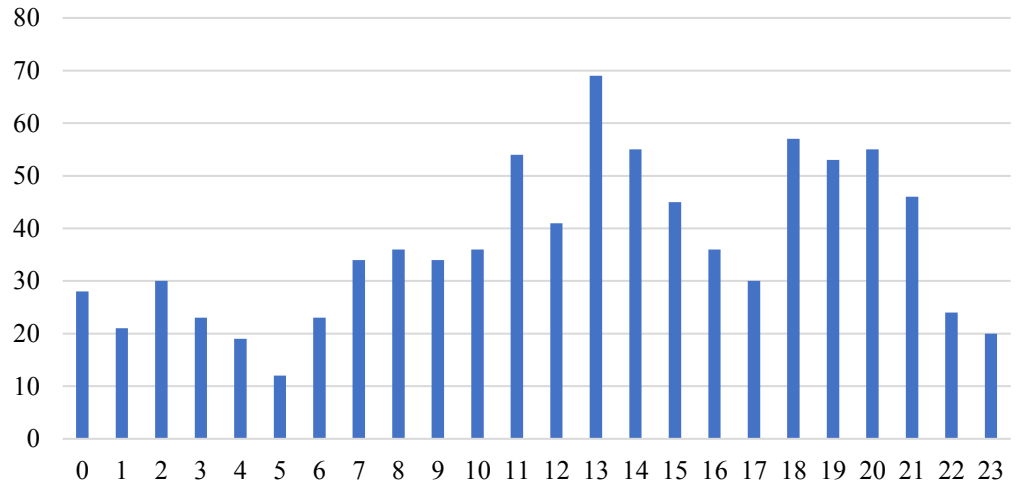


Figura 130. Hora de ocurrencia de accidentes
Fuente: Elaboración propia.

Las horas de baja incidencia de accidentes son entre las 0:00 y las 6:00 horas. Durante este periodo, se registra una menor cantidad de accidentes, con cifras que varían entre 10 y 30 incidentes, lo cual es esperado debido a la menor cantidad de vehículos en circulación durante la madrugada. Entre las 21:00 y las 23:00 horas también se observa una disminución en la frecuencia de accidentes, aunque el número sigue siendo significativo.

Por último, las horas con la menor frecuencia de accidentes son entre las 4:00 y las 5:00 horas. Durante este periodo, se registra la menor cantidad de accidentes, con menos de 20 incidentes. La baja actividad vehicular durante estas horas de la madrugada contribuye a esta menor incidencia.

También se calcularon las siguientes tasas para la cabecera municipal, escenario de la concentración de los accidentes. Utilizando datos del Censo de Población y Vivienda del año 2020, se determinó el número de viviendas que disponen de automóvil, motocicleta y bicicletas, todos estos elementos que forman parte de la movilidad.

En la tasa de automóviles, se observa un área central con una tasa muy alta (176-235), mientras que la mayoría de las zonas presentan una tasa media (59-118). Por otro lado, la tasa de motocicletas muestra áreas con tasas altas, aunque hay menos zonas con tasas elevadas (60-80) en comparación con los automóviles. Las áreas con alta tasa están representadas por zonas rojas que son más pequeñas y dispersas, mientras que muchas áreas presentan tasas bajas (0-20).

Asimismo, la tasa de bicicletas muestra áreas con alta tasa, similares a las de automóviles, pero ubicadas en diferentes zonas. La distribución de estas tasas es más alta en el centro y el sur del área estudiada. En comparación, los automóviles presentan una cobertura más amplia de alta tasa que las motocicletas.

Por su parte, los automóviles y bicicletas presentan áreas de alta tasa más concentradas y menos dispersas para las bicicletas. En comparación, las motocicletas muestran tasas más bajas y menos áreas con alta concentración en comparación con las bicicletas. En términos de movilidad, los automóviles son el medio más utilizado, seguidos por las bicicletas, mientras que las motocicletas tienen un uso más restringido y localizado.

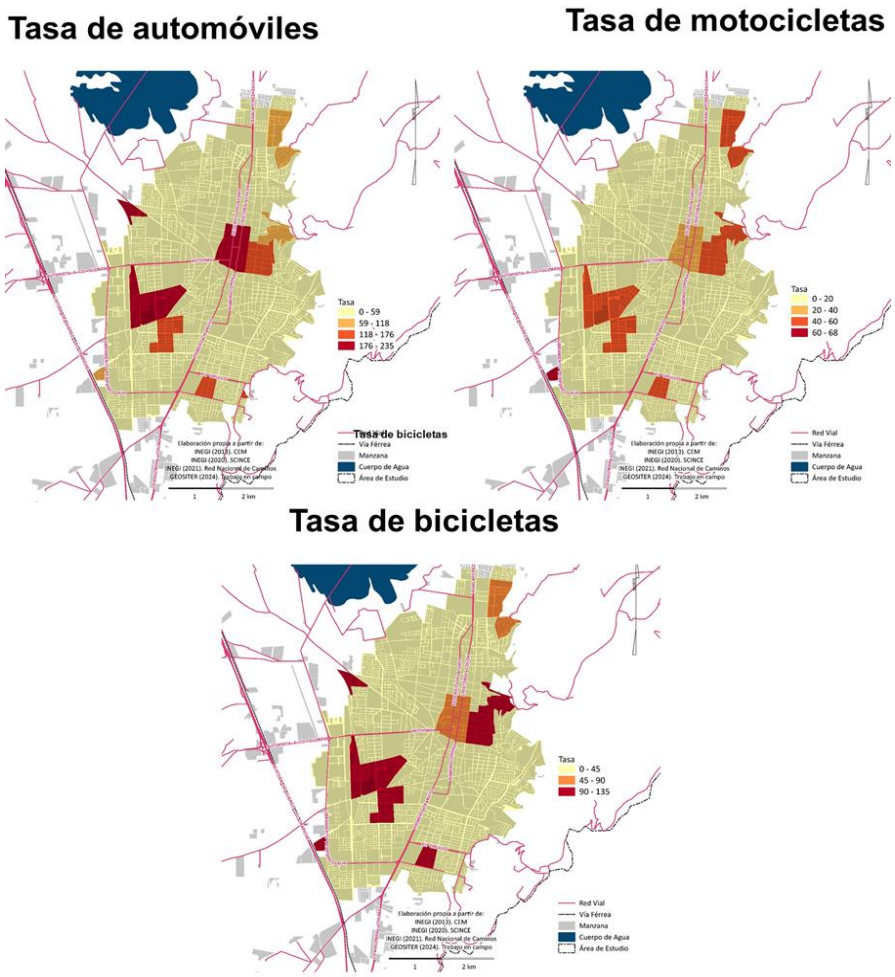


Figura 131. Tipo de vehículo involucrado
Fuente: Elaboración propia.

Decesos por accidentes de tránsito en Zapotlán el Grande

En el registro no se observa un patrón exacto relacionado con la hora, minutos o día de la semana en que ocurren las defunciones. Sin embargo, se presenta una tendencia de que las defunciones ocurren antes de la segunda quincena del mes. Además, solo la mitad de las pérdidas humanas ocurrieron en sábado, es decir, durante el fin de semana. De estas defunciones, dos se produjeron fuera del área urbana, en zonas carreteras.

Tabla 108. Defunciones y causas

Causa de la defunción	Vialidad	año
Colisión Con Vehículo Automotor	E.C. 417 - E.C. 401 (Libramiento Ciudad Guzmán)	2022
Salida Del Camino	Libramiento Periférico Sur	2021
Colisión Con Objeto Fijo	Madero Y Carranza	2021
Colisión Con Ciclista	Gobernador Ingeniero Alberto Cárdenas Jiménez	2021
Colisión Con Ciclista	Obispo Serafín Vázquez	2021
Colisión Con Vehículo Automotor	16 De septiembre	2021
Otro	Volcán Paricutín	2021

Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.

Como se sabe que, una reducción del 10% de las muertes por accidentes de tránsito elevaría un 3,6 % el PIB real per cápita en un período de 24 años Los beneficios equivalentes del 6 % al 32 % del PBI nacional pueden lograrse reduciendo el 50 por ciento de las muertes y lesiones en las carreteras durante un período de 24 años (World Bank, 2017, p.11.)

Además, se han registrado otros decesos relacionados con esta calamidad y la ingesta de bebidas etílicas, según reportes del personal de Protección Civil y Bomberos, así como de ciudadanos y la comunidad en general. En particular, Josué Negrete, miembro de la UPCyB, menciona que frecuentemente se ahogan personas en la laguna de Zapotlán. El rescate es complicado debido a la densidad del agua y la presencia de vegetación acuática, lo que dificulta significativamente las maniobras de salvamento.

6.3 Zonificación del peligro

Para zonificar este tipo de calamidades, se decidió que, además de presentar la concentración de accidentes mediante la densidad tipo kernel, se realizaría una estimación estadística a través del cálculo de clústeres. Esto permitirá representar el fenómeno de manera más detallada en el área urbana, que es la principal zona de registros.

El término clúster proviene del inglés y se traduce directamente como agrupamientos. En este contexto, se refiere a áreas o zonas, como cruces de calles o vialidades, donde se concentra predominantemente el registro de incidentes.

Este cálculo se realizó utilizando un sistema de información geográfica, donde cada grupo de puntos se representa con un símbolo que indica la cantidad de puntos dentro de ese clúster. El análisis se efectuó a una escala de 1:7,000 para proporcionar un mayor detalle en las agrupaciones, facilitando así la visualización de los datos.

Se analizó que las principales vialidades concentran los accidentes, formando los clústeres más densos con la mayor cantidad de incidentes. No obstante, los clústeres menos densos (representados en azul oscuro y azul claro) se distribuyen más en las áreas periféricas de la ciudad.

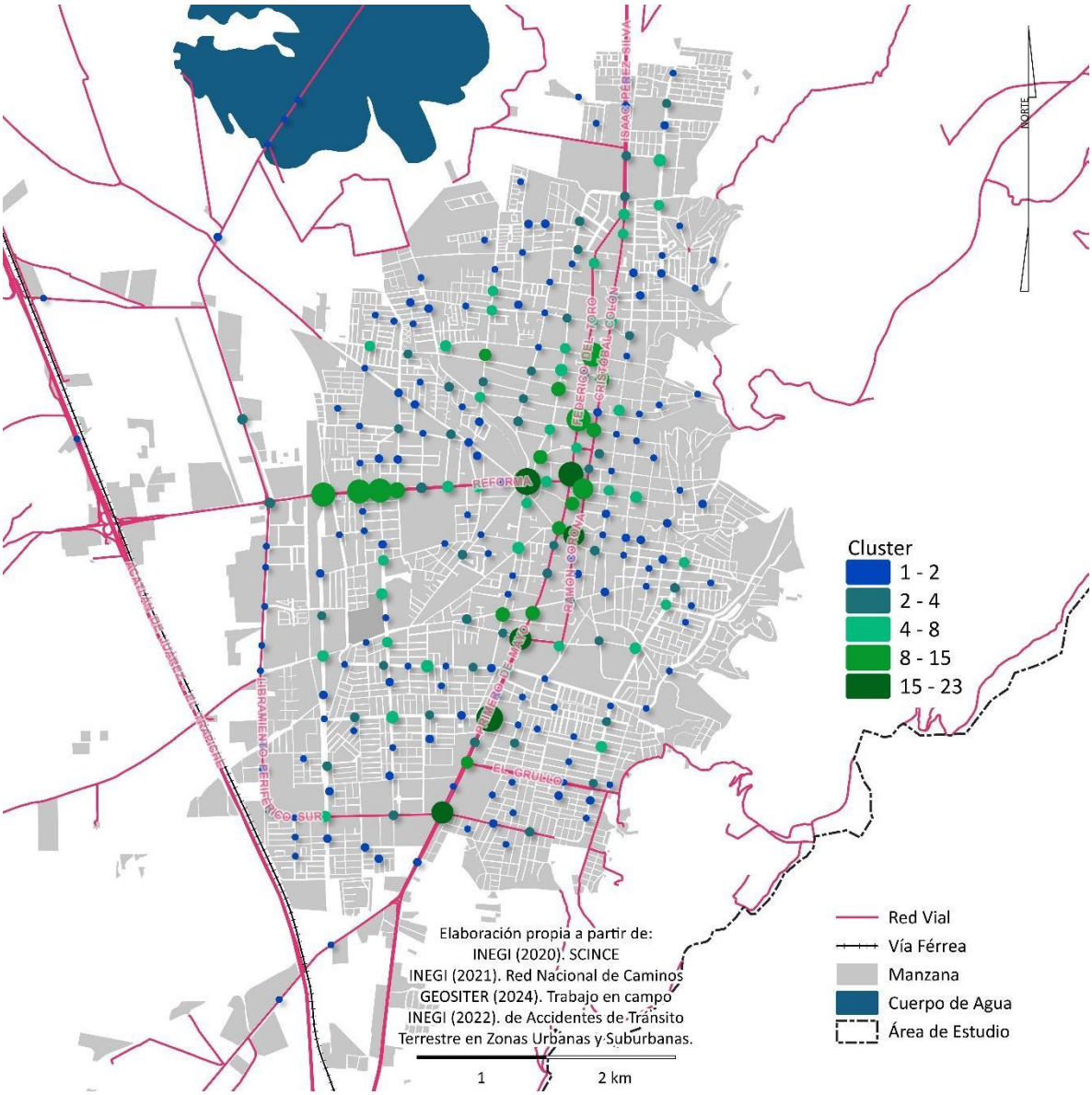
La mayoría de los accidentes tienden a concentrarse cerca de las principales avenidas y cruces importantes. Se observa una mayor concentración de accidentes en la parte central y sur de la ciudad, con algunos puntos de alta concentración a lo largo de avenidas significativas. En contraste, el norte de la ciudad, cerca de la laguna de Zapotlán, presenta una densidad de accidentes menor en comparación con otras áreas.

Este mapa es útil para identificar las áreas con mayor riesgo de accidentes de tráfico, lo que puede ayudar a implementar medidas de seguridad vial más efectivas y a diseñar infraestructuras de transporte más adecuadas. A continuación, se presentan las tres principales vialidades que concentran el mayor número de clústeres, de acuerdo con el número de accidentes registrados. La primera con 54 accidentes registrados es la Avenida Gobernador Ingeniero Alberto Cárdenas Jiménez, que es un ingreso y salida al sur de Ciudad Guzmán, destaca la calle Félix Torres milanés con 15 accidentes en su cruce.

Tabla 109. Cruce o vialidad próxima a los Accidentes Registrados En La Avenida Gobernador Ingeniero Alberto Cárdenas Jiménez

Calle	Accidentes Registrados
Carlos Villaseñor	10
Congreso Del Trabajo	2
Del Obrero	1
El Grullo	8
Félix Torres Milanés	15
Insurgentes	1
Jazmín	2
Joaquín Aguirre	1
Liberalismo	2
Libramiento Periférico Sur	2
Margarita Maza De Juárez	10

Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.



Mapa 110. Clúster de accidentes de tránsito
Fuente: Elaboración propia.

La segunda vialidad con 48 accidentes registrados en los clústeres es la Avenida Cristóbal Colón, que se extiende desde el norte hasta prácticamente el centro de la ciudad. Esta avenida atraviesa el área urbana central y se destaca como una de las arterias principales que concentra los accidentes en el núcleo urbano.

Tabla 110. Cruce o vialidad próxima a los Accidentes Registrados En La Avenida Cristóbal Colón

Calle	Accidentes Registrados
5 De Mayo	2
Antonio Rosales	4
Cazadores	3
Darío Vargas	5
Federico Del Toro (Eje)	5
Ignacio López Rayón	2
Independencia	9
Jesús García	2
Lázaro Cárdenas Del Río	3
Manuel López Cotilla	7
Pedro Hinojosa	1
Quintana Roo	3
Sor Juana Inés De La Cruz	2

Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.

La tercera vialidad con 40 accidentes registrados es la Avenida Federico del Toro, que es paralela a la Calle Cristóbal Colón. El cruce más peligroso en esta vialidad es con la Calle Independencia, las 3 principales avenidas se caracterizan por movilizar de norte a sur.

Tabla 111. Cruce O Vialidad Próxima A Los Accidentes Registrados En La Avenida Federico Del Toro

Calle	Accidentes Registrados
Agustín Melgar	2
Clemente Orozco	6
Ignacio Allende	2
Ignacio López Rayón	4
Independencia	7
José Rolón Álvarez	2
Niños Héroes	2
Pedro Hinojosa	2
Portal Herrera Y Cairo	5
Primero De Mayo	4
Refugio Barragán De Toscano	4

Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.

La vialidad que, en su zona céntrica, se denomina Reforma y cambia a Calzada Madero y Carranza, es otra calle principal que aglomera una gran cantidad de accidentes y tiene una jerarquía primaria. Las siguientes calles que cruza y que también tienen registros de accidentes son:

Tabla 112. Registro de accidentes acumulados en la la Av. Reforma y adyacentes por cruce

Vialidad Principal	Vialidad Secundaria	Accidentes registrados
Av. Reforma	Av. Constitución	25
	Leandro Valle	6
Calz. Madero y Carranza	Av. Carlos Páez Stille	13
	Arq. Pedro Ramírez Vázquez	13
	Emiliano Zapata	13
	José Vasconcelos	11
	Ignacio Mejía	6
	Fresno	6
	16 de Septiembre	4
Miguel de la Madrid	Libramiento Periférico Sur	4
	Total	101

Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.

Como se analiza y se menciona de acuerdo con Tapia Gómez (2018, p. 18), los traumatismos causados por el tránsito generan costos para los gobiernos que equivalen aproximadamente al 3% del PIB, y pueden alcanzar hasta el 5% en los países de ingresos bajos y medianos.

En los términos operativos diarios puede generar problemas la concentración al ser una zona céntrica y colapso de las principales arterias de la ciudad, es claro que el fenómeno se presenta en la zona de mayor presencia social, así como de concentración humana

Las medidas recomendadas para mejorar la seguridad vial, como el transporte multimodal y la planificación del uso del territorio, representan un punto de partida fundamental, según la Organización Mundial de la Salud (2022). Esta relación no solo se basa en estadísticas, sino que también demuestra que las víctimas de los accidentes pueden ser más de una persona y no necesariamente viajar en el vehículo involucrado.

En el acumulado de estos dos años con georreferencia exacta, las víctimas heridas se han concentrado principalmente en los meses de mayo y noviembre. Mientras tanto, de marzo a abril se mantiene una frecuencia similar de incidentes.

Tabla 113. Número de total de víctimas de heridas por mes

Mes	Total general
Enero	65
Febrero	80
Marzo	69
Abril	68
Mayo	96
Junio	44
Julio	85
Agosto	77
Septiembre	77
Octubre	96
Noviembre	70
Diciembre	54

Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.

El análisis de los heridos y el tipo de conductor revela que los accidentes ocurren con mayor frecuencia cuando un hombre está al volante. En comparación, la frecuencia de accidentes con conductoras mujeres es significativamente menor. Además, los conductores que se dan a la fuga representan más del doble en comparación con las mujeres.

Tabla 114. Cantidad de heridos y el tipo de conductor

Conductor	1 herido	2 heridos	3 heridos	4 heridos
Se fugó	30	8	3	
Hombre	126	22		1
Mujer	12	4		
Total	168	34	3	1

Fuentes: Elaboración propia con base de datos INEGI, 2022.

Estos datos revelan las relaciones existentes en el tránsito. Además, la movilidad no solo cumple las funciones previamente descritas, sino que, desde la perspectiva de la Gestión de Riesgos de Desastre, las calles y espacios públicos también desempeñan roles cruciales. Estas vías actúan como rutas de evacuación, áreas de seguridad, y puntos de reunión, formando un sistema integral de conexión con la infraestructura crítica en caso de desastre (Tapia Gómez, 2018, p. 25).

Por lo tanto, es fundamental prestar especial atención al manejo de datos y considerar una mayor variedad de variables. Desde el municipio y en coordinación con las diferentes entidades, se debe alimentar el modelo con información detallada para identificar de manera efectiva las zonas de riesgo asociadas a accidentes de tránsito.

Accidentes ferroviarios

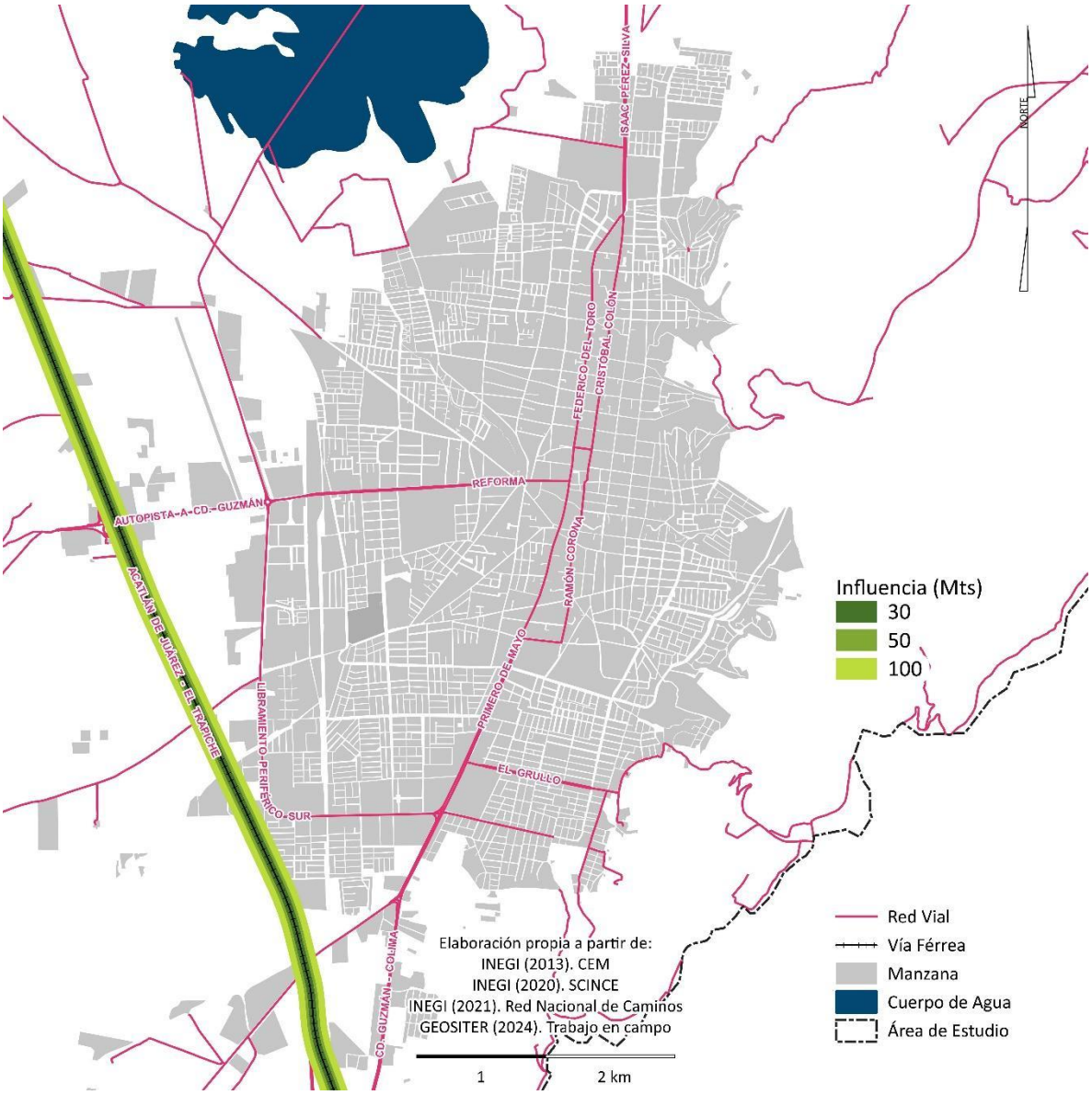
Aunque los accidentes de este tipo no son comunes en el área de estudio del municipio, durante el levantamiento de campo y las entrevistas se registró que la contaminación auditiva por el ruido de las locomotoras es frecuente. En la Colonia Las Primaveras, los residentes informaron que sufren diversas afectaciones debido a una mala planificación urbana. Entre estos problemas se encuentran las vibraciones del tren, que afectan la integridad estructural de las viviendas y generan ruido molesto para los habitantes.

La Norma Oficial Mexicana NOM-020-SCT2-2017: Esta norma establece los niveles máximos permisibles de emisión de ruido en carreteras y caminos. Para su análisis, se realizó un buffer con un radio de 30 metros, en cumplimiento con los parámetros sugeridos por esta normativa.

De la misma manera para la Norma Oficial Mexicana NOM-EM-003-ARTF-2023: Esta norma regula los límites máximos permisibles de emisión de ruido en estaciones y servicios de transporte ferroviario. En concordancia con esta normativa, se creó un buffer de 50 metros para evaluar el impacto del ruido en las áreas adyacentes.

En casos donde el ruido supera los límites establecidos, puede ser necesario adaptar las viviendas existentes para reducir el impacto acústico. Los operadores ferroviarios deben considerar la adopción de tecnologías y equipos que minimicen la generación de ruido.

Es importante para reducir el impacto del ruido ferroviario en las áreas urbanas y suburbanas, protegiendo la calidad de vida de las personas que viven cerca de estos servicios. Para la referencia sobre accidentes relacionados con fugas o derrames, consultar el módulo de Químico-Tecnológico.



Mapa 111. Influencia Normativa de Vías férreas
Fuente: Elaboración propia.

6.4 Concentración masiva de población y demostraciones de inconformidad social

Las concentraciones masivas de población suelen ocurrir en eventos arraigados en tradiciones, pasatiempos compartidos o donde las personas se sienten fuertemente identificadas con la multitud, estas situaciones son especialmente comunes en áreas urbanas.

Además, están estrechamente relacionadas con las manifestaciones de inconformidad social, influenciadas por una serie de factores, como son los sociales, los económicos, los ambientales y los políticos. La falta de acceso equitativo a estos recursos puede generar sentimientos de marginalización y exclusión social, lo que a su vez alimenta la inconformidad y las protestas por parte de los grupos afectados.

Por eso los problemas ambientales y de salud pública, como la contaminación del aire, la escasez de agua, la degradación del entorno urbano y la falta de infraestructura adecuada, son causas comunes que generan tensiones entre los ciudadanos y las autoridades locales, que se relacionan con la toma de decisiones y la distribución de recursos públicos, lo que puede desencadenar conflictos asociados con la gentrificación, el desplazamiento de comunidades locales y la pérdida de identidad cultural y patrimonio.

Por ende, pueden desencadenar protestas y movimientos sociales en defensa de los derechos de las comunidades afectadas, para entender estas interconexiones es fundamental para abordar los desafíos que enfrentan las ciudades contemporáneas en términos de desarrollo urbano sostenible, equidad social y participación ciudadana, incluyendo estudios especializados en la materia y soluciones a las causas.

Para analizar estos fenómenos, se parte de la primicia principalmente a sitios donde comúnmente se desarrollan actividades, como plazas públicas, kiosco, centros de educación, centros sociales, centro histórico, parques por mencionar algunos, localizados principalmente en áreas urbanas.

Además, se caracterizó y analizó la distribución espacial de estas concentraciones como complemento se utilizó el modelo de la ciudad de los 15 minutos[7]. Esto nos proporciona un marco con enfoque multidimensional que busca promover la sostenibilidad urbana y la equidad social, facilitando la proximidad de los sitios a pie. Si bien estos eventos suelen atraer a multitudes, es importante tener en cuenta que puede haber excepciones.

Concentración masiva de población

Oficiales

El municipio celebra diversas festividades a lo largo del año, abarcando tanto eventos nacionales como internacionales, tales como la conmemoración de la Independencia Nacional el 15 de septiembre y la Revolución Mexicana. Adicionalmente, se destacan eventos de carácter local, entre los que se incluyen el recorrido del toro, la Expo Agrícola Jalisco, la cual se clasifica como la tercera exposición agrícola más relevante a nivel nacional.

Asimismo, el Festival Cultural de la Ciudad se ha consolidado como un foro importante, en el cual se han presentado artistas de renombre, incluyendo a Eugenia León, Cecilia Tousseint, Paco Padilla y Paco Rentería. Este festival no solo proporciona un espacio para la expresión artística, sino que también incluye una serie de homenajes a ciudadanos distinguidos de la localidad.

Además, el municipio alberga una serie de eventos especializados que reflejan su crecimiento y diversidad cultural. Entre estos destaca el Congreso Nacional del Aguacate, que, consolidado en 2017, albergó el 5º Congreso Latinoamericano de Aguacate, subrayando el notable desarrollo del sector agroindustrial del aguacate en la región. La Feria Nacional de la Birria, el Festival de la Granada, y las Fiestas Religiosas en honor al Señor San José son eventos de gran relevancia local.

También se celebran la Feria Zapotlán, la Feria de la Ciencia y la Tecnología, el Festival Gastronómico Cultural de la Tostada, y la Feria Jalisciense de la Miel, cada uno contribuyendo significativamente a la identidad y dinamismo cultural del municipio. Para el análisis de las categorías de eventos y sitios que concentran población de manera masiva, se

[7] Büttner, B. (s.f.). Para crear ciudades más sustentables, los parques, los espacios deportivos, las salas de cine o los comercios tienen que moverse hacia donde viven las personas, y no al revés.

llevó a cabo una exhaustiva investigación utilizando diversas fuentes públicas a nivel federal, estatal y municipal. Este proceso tiene como objetivo identificar y representar los lugares que, tanto en su funcionamiento cotidiano como durante eventos festivos, presentan aglomeraciones significativas a lo largo del año.

Previamente, el municipio de Zapotlán el Grande contaba con un estudio de diagnóstico del año 2022, aplicado a su mancha urbana, conocido como el Atlas de Espacios Públicos. Este estudio se enfocó en Ciudad Guzmán y se dividió en 10 sectores, donde se evaluaron y puntuaron los espacios públicos, así como el equipamiento disponible.

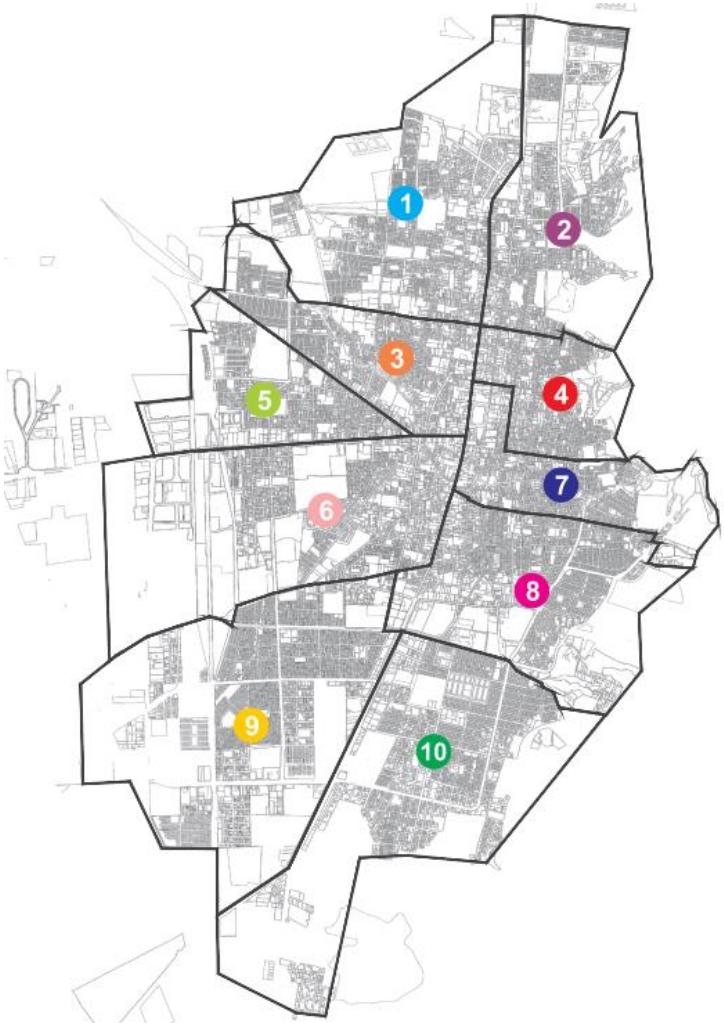


Figura 132. División de sectores
Fuente: JAPI, 2022.

El espacio físico, propiedad de la comunidad, en el cual se pueden llevar a cabo diversas actividades, constituye uno de los principales elementos de identificación. Esta identificación puede partir desde el ámbito de barrio o colonia hasta la estructura a escala urbana de la localidad o región. Asimismo, la convivencia se extiende al ámbito social, o, como lo describen diversos autores, al "espacio social", debido a su relación e interacción a una escala más humana.

En esta instancia, las personas, “los agentes sociales que se constituyen como tales en y en relación con un espacio social (o, mejor, con determinados campos) -y también las cosas en tanto que los agentes se apropian de ellas, y son pues constituidas como propiedades Bourdieu, P. (1999). Por lo tanto, estos espacios están diseñados para el beneficio de toda la comunidad, garantizando igualdad de derechos para todos los individuos. Estos espacios desempeñan funciones clave, tales como el desarrollo intelectual, el esparcimiento y la cohesión social.

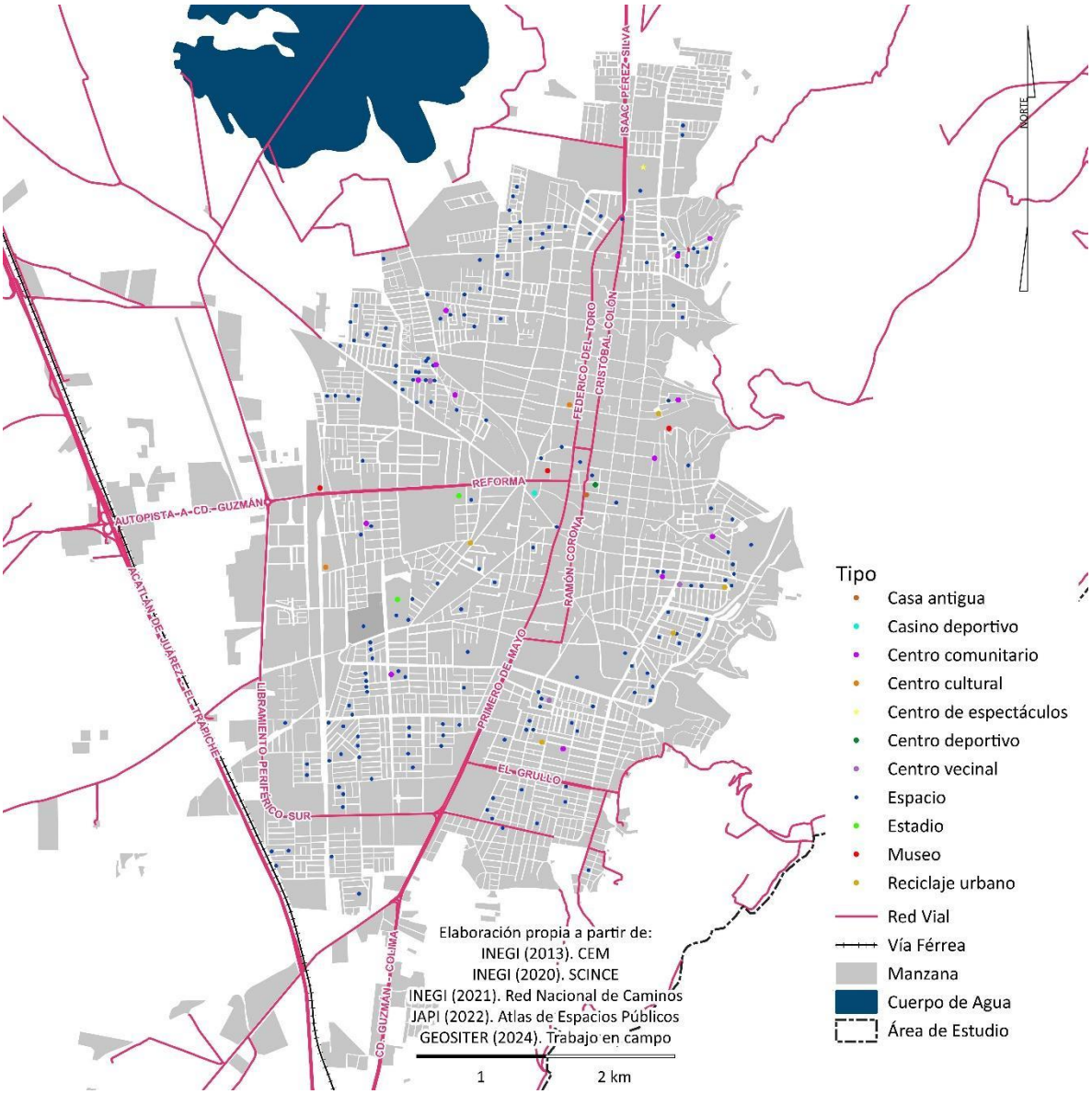
Tabla 115. Distribución de espacios por sector

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Espacios Públicos	26	14	24	4	5	13	7	21	39	20
Centros Comunitarios	1	2	3	2		1	1	2	1	2
Espacio con potencial de uso			1	1		1		1		1
Museo			1	1	1					
Casa de la cultura			1							
Centros de Espectáculos		1								
Centro cultural						1	1			
Estadios						2				
Centro deportivo						1	1			

Fuente: Atlas de espacios Públicos del municipio de Zapotlán el Grande 2022.

Con base en este antecedente, se caracteriza parte de la distribución de los principales recintos de esparcimiento, así como los centros de desarrollo intelectual y cultural, donde las personas conviven y se trasladan en el espacio público.

Además de los lugares obvios de aglomeración, existen otros sitios que, aunque no representan una susceptibilidad evidente a peligros por aglomeración a simple vista, son centros de concentración importantes, entre ellos se encuentran los centros educativos, que albergan a poblaciones vulnerables como infantes y un gran número de personas concentradas, la dinámica se vuelve más compleja por los horarios, que a su vez son flujos de personas.



Mapa 112. Espacios públicos
Fuente: Elaboración propia.

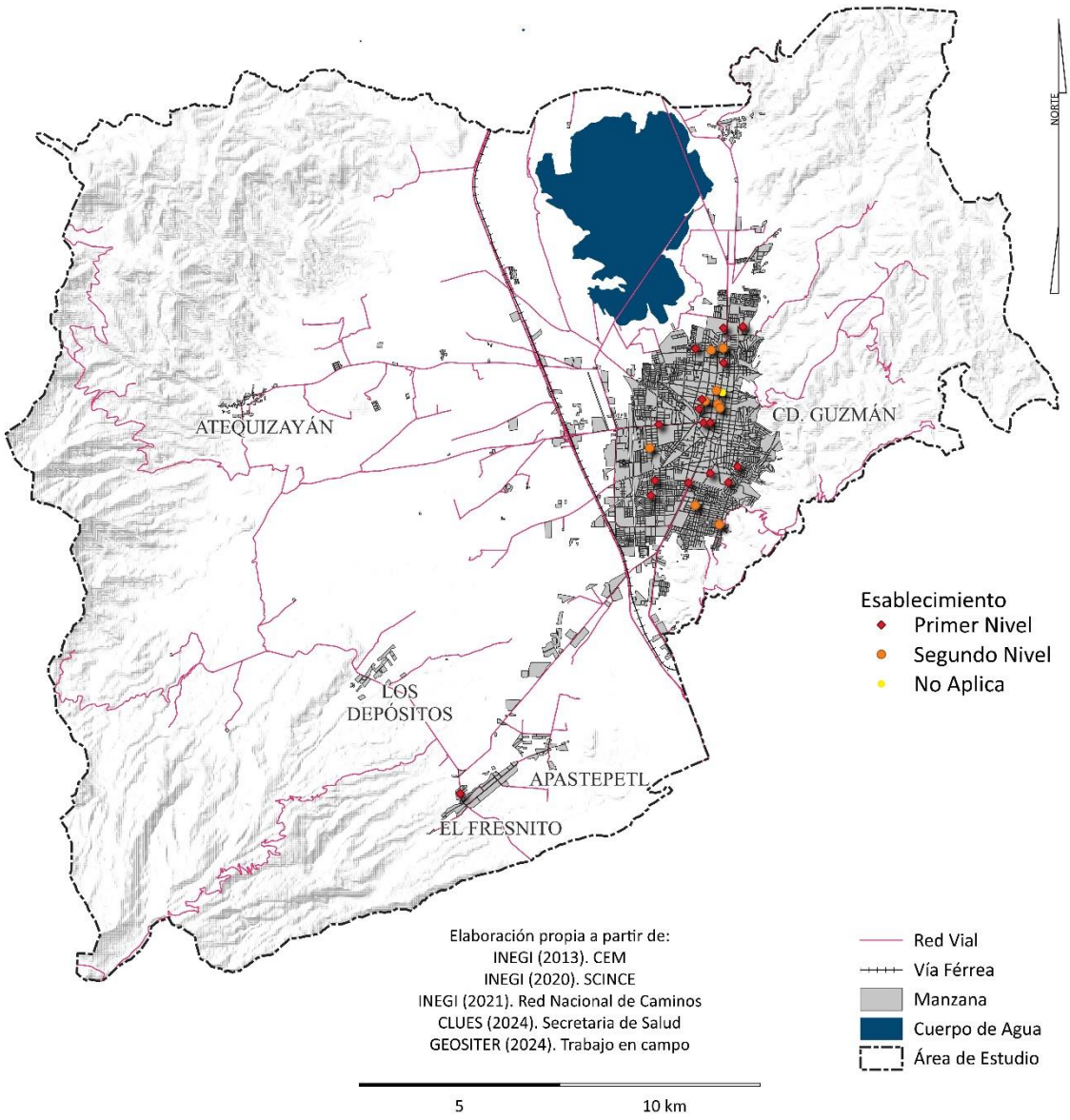
A diario, las personas se trasladan frecuentemente a estos establecimientos, los cuales desempeñan un papel significativo en nuestras vidas. Estos lugares no solo son fundamentales para el desarrollo académico y la convivencia social, sino que también son el escenario de eventos y actividades, tales como festividades que atraen a un público más amplio que el alumnado habitual. Además, eventos como los desfiles requieren una gestión especializada por parte de las autoridades de protección civil.

El municipio ofrece los tres niveles de educación, siendo la educación básica la que representa una mayor oferta. La centralización de estos servicios se concentra en el principal núcleo de población. Aunque el servicio educativo presente en la cabecera municipal, tiene oferta pública y privada, las localidades El Fresnito, Los Depósitos y Atequizayan cuentan con instituciones básicas que permiten a sus habitantes evitar desplazamientos prolongados, tanto en términos de distancia física como de tiempo, a sus viviendas.

Por último, la educación de nivel superior se concentra en áreas centrales de la ciudad, como la Avenida Reforma y la Avenida Federico del Toro. En estas ubicaciones se encuentran principalmente la Escuela Normal y el Centro Universitario del Sur. Estas instituciones ofrecen una oferta académica que permite a los estudiantes evitar desplazamientos hacia ciudades más grandes, como Guadalajara, al proporcionar alternativas educativas de alta calidad dentro de la misma ciudad.

En el sector salud, de los 38 establecimientos registrados en el Clave Única de Establecimientos de Salud (CLUES), 17 pertenecen a la Secretaría de Salud, 15 son servicios médicos privados, dos están vinculados al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), uno al Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), uno al IMSS-Bienestar, y uno a los Servicios Médicos Universitarios y uno de la Cruz Roja.

Con excepción de dos establecimientos de consulta externa ubicados en La Mesa (El Fresnito), el resto de los 36 establecimientos de salud se concentran en la cabecera municipal. De estos, 4 se dedican al apoyo, 10 a la hospitalización, 1 a la asistencia social, y 23 a la consulta externa.



Mapa 113. Establecimientos de Salud por nivel de atención
Fuente: Elaboración propia.

Tradiciones, religiosas, deportivas y culturales

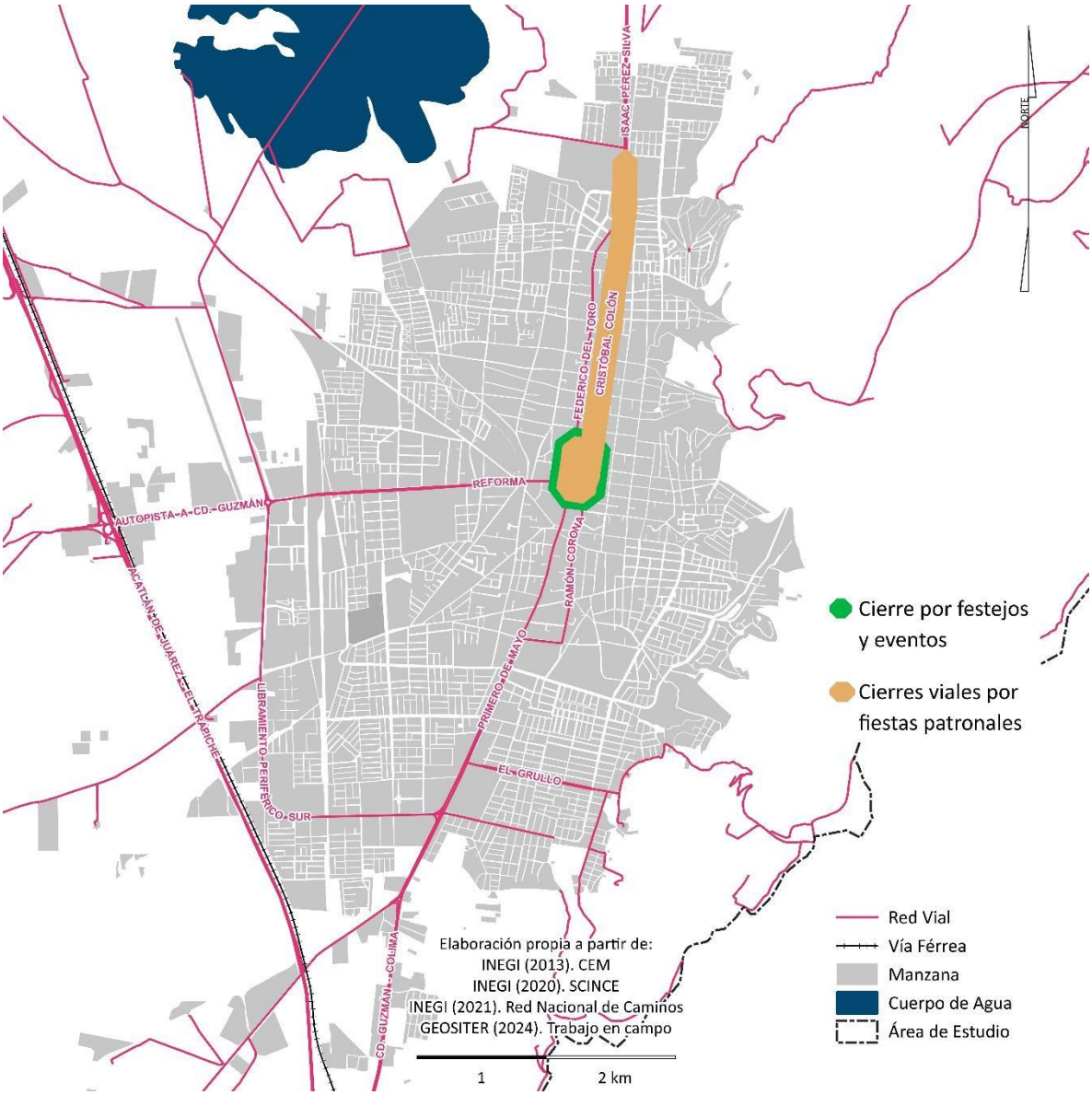
En la ciudad, las concentraciones masivas de población se manifiestan a través de sus principales arterias, las cuales también, encapsulan las tradiciones y prácticas que definen la identidad y celebración de la comunidad, estos recorridos están repletos de una diversidad de elementos y símbolos que representan la esencia de la festividad, la principal reconocida en el municipio de Zapotlán el Grande, la cual se lleva a cabo el día 23 del mes de octubre.

Este día de convivencia entre ciudadanos y visitantes se lleva a cabo en la zona centro, donde se realiza un recorrido por las principales vialidades de la ciudad. Entre ellas se encuentran la Avenida Reforma, la Avenida Colón, la Calle Ocampo, la Vialidad de Ramón Corona, pasando por el Jardín Principal, el Palacio Municipal, la Catedral de San José, el Templo del Sagrado Corazón de Jesús, el Portal Hidalgo y el Mercado Municipal, por mencionar algunos de los sitios más reconocidos.

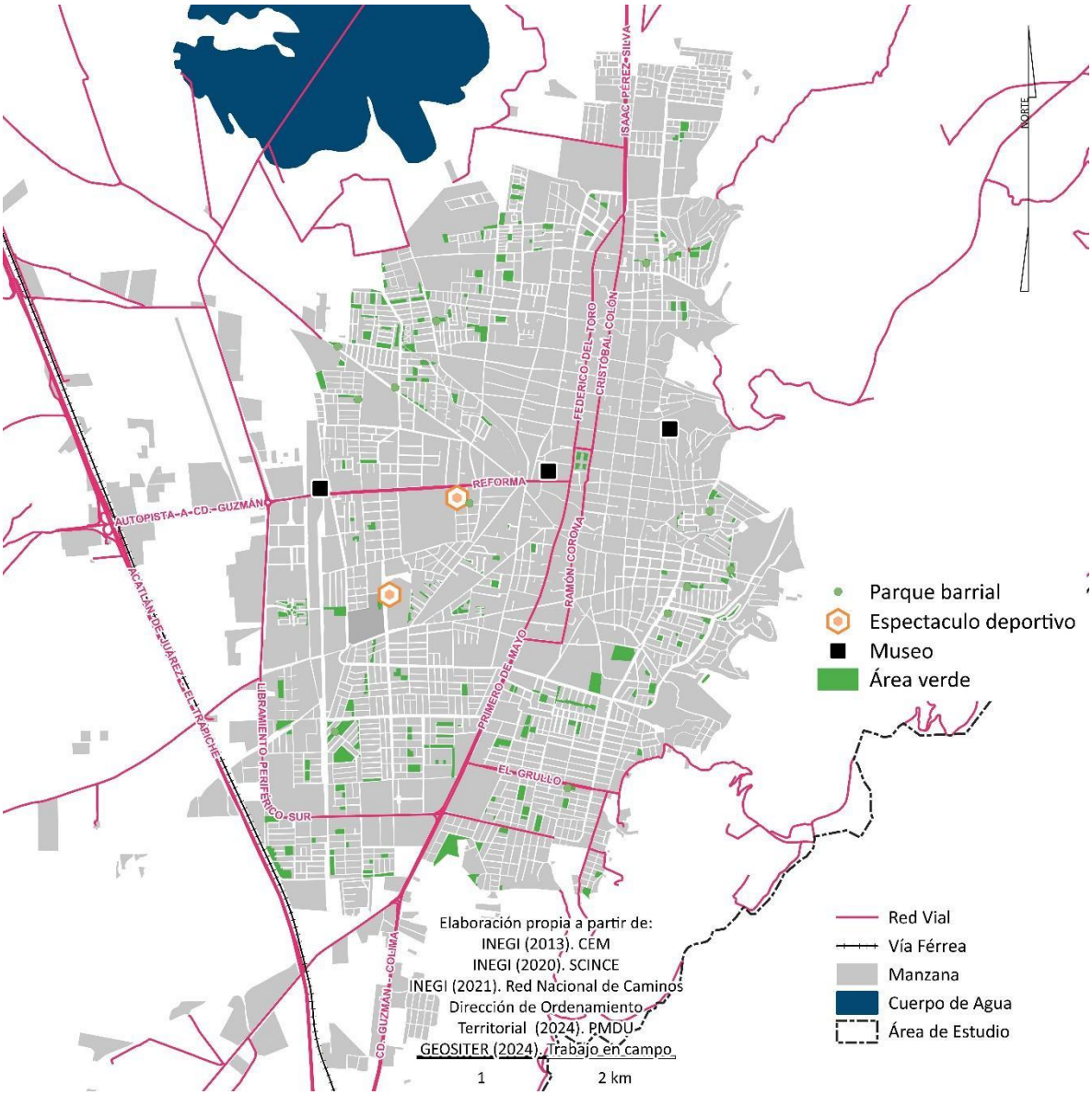
El esparcimiento y los clubes deportivos son fundamentales para la socialización. Las ligas deportivas fomentan la recreación, mientras que otros puntos de reunión, como parques y áreas verdes, concentran a vecinos y miembros de la comunidad. Aunque estas zonas no siempre reciben visitas periódicas, son elegidas frecuentemente como puntos de encuentro. Otros espacios que fomentan el desarrollo y la cultura son los museos, los cuales atraen a visitantes, ciudadanos y grupos escolares.

Los recintos como los estadios municipales, que albergan ligas intermunicipales, se convierten en escenarios de intensa actividad cada fin de semana, promoviendo la participación de todos los miembros de la familia. Estos eventos deportivos no solo fortalecen el tejido social, sino que también generan un sentido de pertenencia y comunidad entre los residentes.

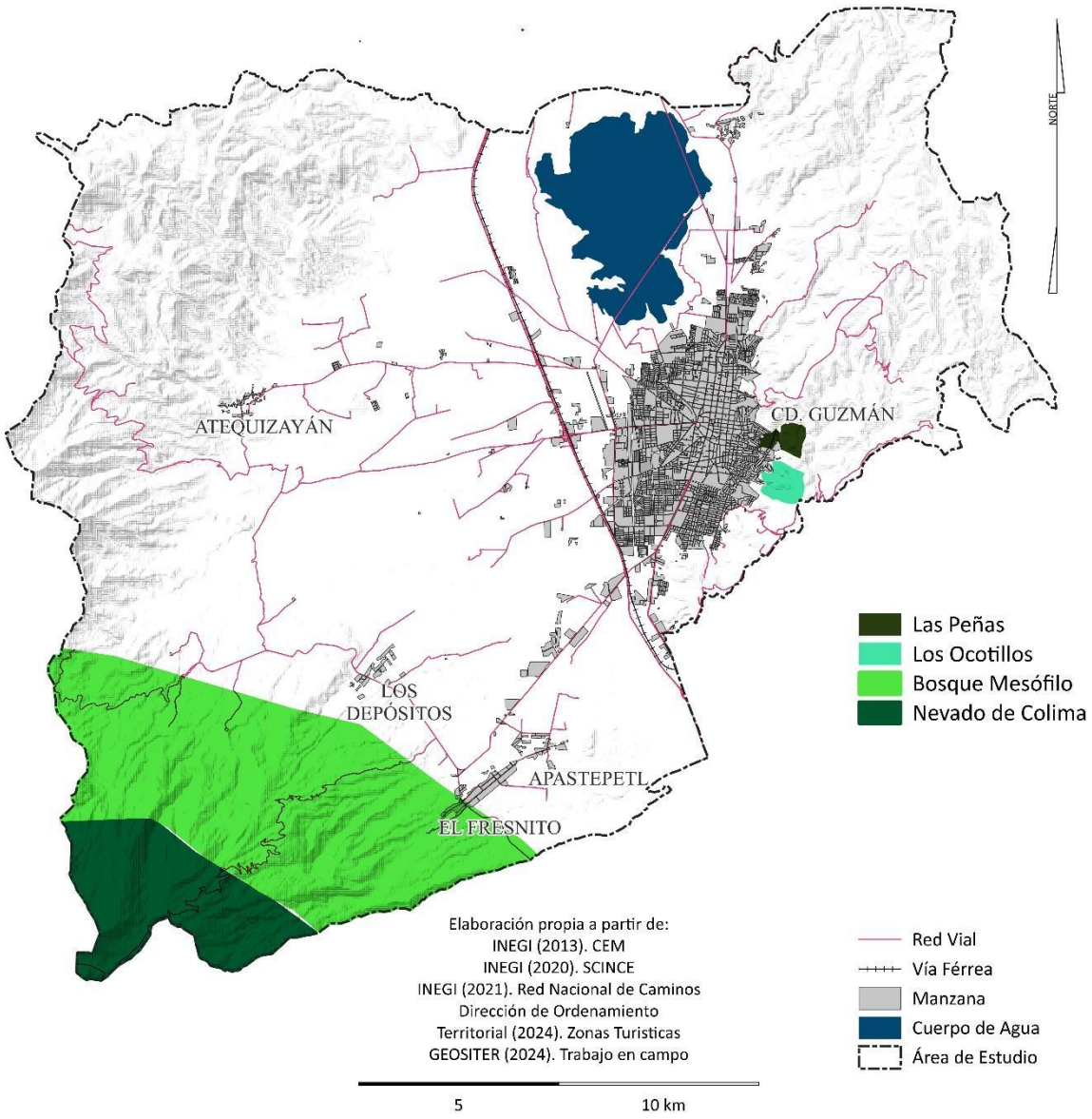
Así mismo, algunas concentraciones se presentan en épocas o temporadas específicas del año. Un ejemplo notable es el Nevado de Colima, que en ciertas estaciones se cubre de nieve, atrayendo a turistas y amantes de la naturaleza que desean recorrer sus paisajes. Este fenómeno estacional incrementa la afluencia de visitantes y la actividad turística, evidenciando la importancia de estos espacios naturales como puntos de atracción y recreación para la comunidad y los visitantes.



Mapa 114. Concentración masiva de población por tradiciones o festejos religiosos
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 115. Instalaciones deportivas de concentración masiva de población
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 116. Zonas turísticas de concentración masiva de población
Fuente: Elaboración propia.

De otra naturaleza

El Día Internacional de la Mujer no es una celebración, sino una conmemoración. Esta distinción es importante, ya que subraya la deuda histórica que la sociedad tiene con este género. En la contemporaneidad, hemos observado una tendencia creciente de manifestarse y expresarse en torno a esta deuda. Principalmente, son las mujeres quienes lideran este movimiento, siendo las jóvenes quienes están en primera línea.

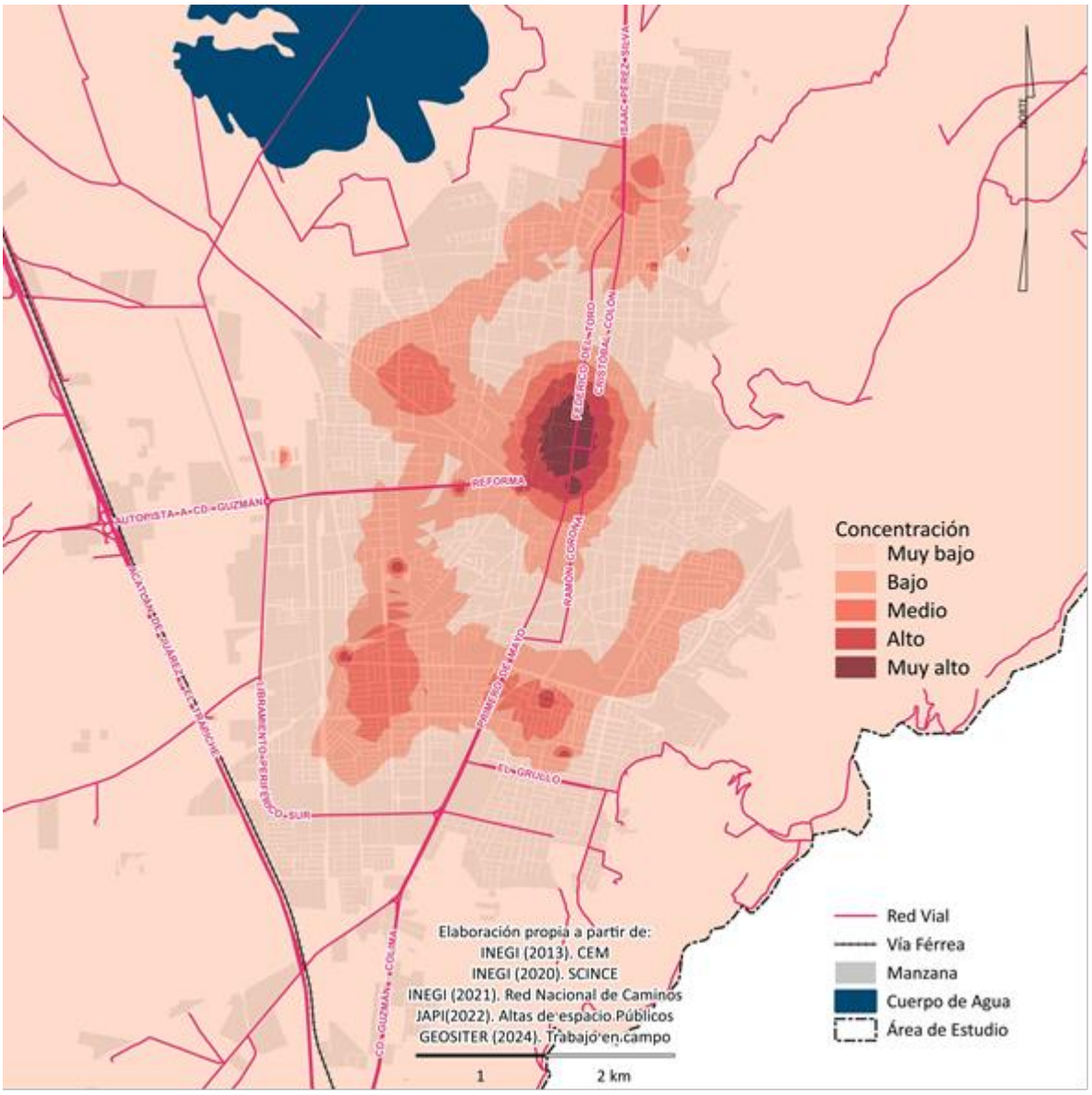
Es esencial comprender que esta conmemoración no es solo un recordatorio de las luchas pasadas, sino también un llamado a la acción presente. A medida que nos situamos en este punto crucial, es vital reconocer y abordar las inequidades de género que persisten en nuestra sociedad. Solo así podemos avanzar hacia un futuro más igualitario y justo para todas las personas, independientemente de su género.

En este sentido, cada gesto de protesta, cada voz levantada, y cada acción realizada en conmemoración del Día Internacional de la Mujer es un paso hacia adelante en el camino hacia la igualdad de género. Es un recordatorio poderoso de que aún hay trabajo por hacer, pero también una muestra inspiradora de la determinación y el coraje de quienes se niegan a conformarse con el status quo.

Por lo tanto, en lugar de simplemente celebrar este día, debemos comprometernos a conmemorarlo de manera significativa, reconociendo las luchas del pasado mientras trabajamos juntos para construir un futuro más equitativo y justo para todas las personas.

La concentración de personal que labora al finalizar su turno, junto con la necesidad de trasladarse, convierte a las paradas de transporte y a las empresas con más de 50 trabajadores en puntos altamente susceptibles. Esto se evidenció durante la pandemia de COVID-19 en el estado de Jalisco, donde la aglomeración de trabajadores en espacios de espera destacó como un factor crítico en la propagación del virus.

Otro sitio que debe mencionarse e incluirse en el análisis presentado posteriormente son los centros de abastecimiento. Los más tradicionales, y de gran extensión de superficie que incluyen el comercio itinerante, representan una variable inherente a la cultura latinoamericana, ya que proporcionan suministros de alimentos, vestimenta y artículos de uso diario esenciales.



Mapa 117. Zonas de concentración masiva de población
Fuente: Elaboración propia.

Una vez recopilados todos los datos, se procedió a realizar un análisis de las capas y densidad de tipo kernel para identificar zonas de concentración. Se superpusieron las capas en formato raster y se reclasificaron los resultados en cinco clases, utilizando intervalos de caídas naturales. Este enfoque permitió determinar la densidad de concentración de los sitios mencionados anteriormente, clasificándolos desde muy bajo hasta muy altoLa distribución de estas zonas se centra en el jardín municipal, un sitio que convoca a diversas festividades, protestas y eventos. Al norte y en el occidente de la ciudad, se observan islas de zonas de concentración media y alta. Estas áreas, aunque de menor extensión, son apreciables en los anillos de las zonas circundantes.

6.5 Ciudad de los 15 minutos

Se aplicó la metodología desarrollada por el Grupo de Estudios de Movilidad, Transporte y Territorio (GEMOTT) del Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), en colaboración con la Universidad de Granada, la Universidad de las Islas Baleares (UIB) y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Esta metodología fue empleada en la creación del atlas de movilidad activa (MOVACTIVA), para este caso de estudio se enfoca solo el indicador de ciudad de los 15 minutos. Ya que este modelo proporciona un marco valioso para abordar este desafío al promover la descentralización de servicios y la diversificación de actividades dentro de las ciudades,

Al distribuir estratégicamente servicios esenciales y lugares de interés en áreas accesibles y próximas de traslado a pie en un radio de 15 minutos que "hace referencia a la facilidad de acceder a las actividades cotidianas en un tiempo determinado" (GEMOTT, 2023). Este modelo busca reducir la dependencia de desplazamientos masivos y mejorar la resiliencia urbana frente a eventos adversos.

El concepto implica la conveniencia, aborda los desafíos asociados la concentración masiva de población en áreas urbanas, que pueden ser altamente pobladas, por esta razón también puede favorecer en la planeación de los múltiples desafíos en términos de gestión de riesgos y respuesta a emergencias, promover la interconexión de barrios y fortalece la cohesión social y fomenta la sostenibilidad urbana a largo plazo. Además, que da la caracterización para evaluar la vulnerabilidad ante diferentes escenarios de riesgo. Al considerar la accesibilidad a servicios críticos y la distribución espacial de la población, se pueden identificar áreas de alta vulnerabilidad y priorizar acciones de prevención, mitigación y respuesta en función de las necesidades específicas de cada comunidad.

El cálculo del modelo de ciudad de 15 minutos se realiza mediante un análisis de red en un Sistema de Información Geográfica (SIG), que evalúa en distancia superficial el tiempo de desplazamiento a pie desde un punto de origen a diversas ubicaciones de interés mediante un enfoque, comúnmente conocido como network analysis, que permite identificar áreas que cumplen con los criterios de accesibilidad y proximidad que son definidos por el modelo, facilitando a futuro la planificación urbana y el diseño de políticas públicas orientadas a mejorar la movilidad y la calidad de vida en entornos urbanos.

Este proceso técnico es modelado y se utilizan estas relaciones para encontrar información o servicios de manera apropiada, dependiendo del contexto y las especificaciones necesarias. Además, estas relaciones difieren en su fuerza (Antonieta Kuz et al., 2016).

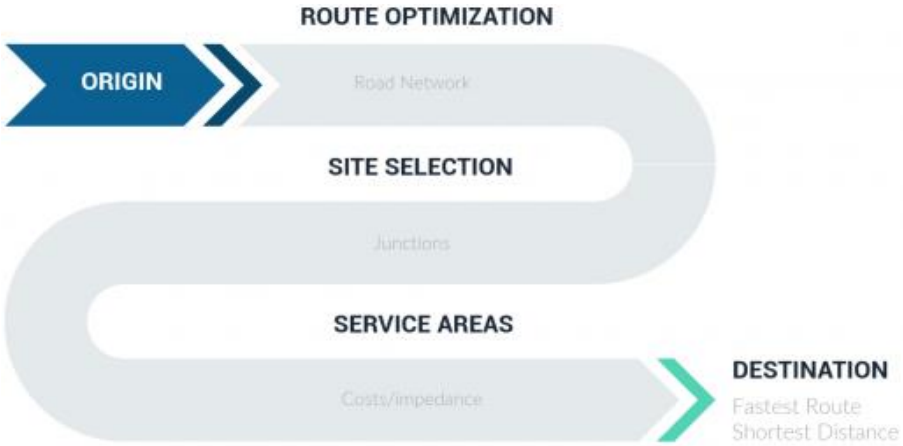


Figura 133. Reglas de los objetos en la red
Fuente: GISGeography, 2019.

Los ámbitos considerados en el desarrollo del modelo de la metodología incluyen centros de cuidados, como hospitales, centros de salud, base de protección civil, bombero, policía, albergues, así como instalaciones especializadas en el cuidado de la tercera edad. Además, se tienen en cuenta los lugares relacionados con la educación, como guarderías, escuelas de todos los niveles (primaria, secundaria, bachillerato o preparatoria) y centros universitarios.

Además, se consideran los centros de aprovisionamiento, estaciones de Gas LP, estaciones de gasolina, tiendas de abarrotes, supermercados, mercados, comercio ambulante, tiendas de artículos diarios no alimentarios y servicios de catering.

También se incluyen los servicios diversos, como centros comerciales. Por otro lado, se contempla el ámbito del ocio y la cultura, que engloba centros cívicos, de gobierno, bibliotecas, teatros, cines, parques, gimnasios y equipamientos deportivos.

Además, se contempla el ámbito del transporte público y activo, englobando tanto las paradas de autobús como las estaciones de bicicletas compartidas, junto con la infraestructura destinada al tránsito de bicicletas y las áreas peatonales. Esta metodología tiene el enfoque de analizar la accesibilidad a través de distancias caminables, y evalúa la proximidad entre las diversas actividades cotidianas cabe destacar que esta metodología es predominantemente aplicada en la cabecera municipal y sus localidades adjuntas.

Para efectuar el cálculo y proceder al análisis de la cobertura de 15 minutos desde el sitio de analizado, se emplea la red vial empleada para la realización de los cálculos de desplazamiento corresponde a aquella trazada por OpenStreetMap (OMS), utilizando los atributos pertinentes, en promedio el desplazamiento caminando es de 3 a 5 km por hora, esto es una estimación razonable para el paso humano promedio en condiciones normales, a una velocidad promedio de 5 km/h, una distancia de 15 minutos sería aproximadamente de 1.25 kilómetros, esto podría variar dependiendo del ritmo individual de caminata y las condiciones del terreno, pero es una estimación razonable.

Asimismo, para complementar este análisis, se incorporaron datos de población del Censo 2020 del INEGI, permitiendo una comprensión más detallada de la distribución de la población en la ciudad, se identificaron diversas categorías de lugares, como centros de salud, educación, aprovisionamiento, ocio y cultura, así como infraestructura de transporte público y activo.

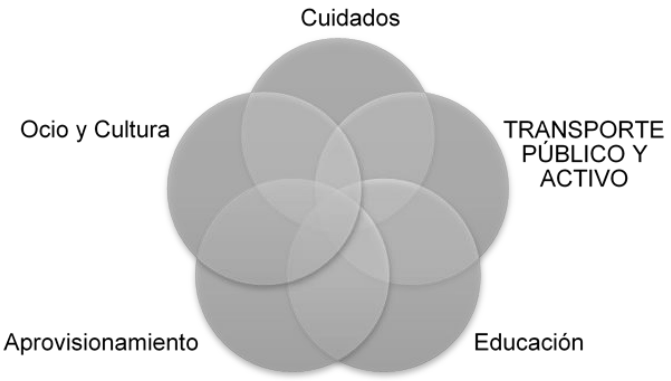


Figura 134. Indicadores de la ciudad a 15 minutos
Fuente: Modificado de MOCATIVA, 2024.

Centros de cuidados

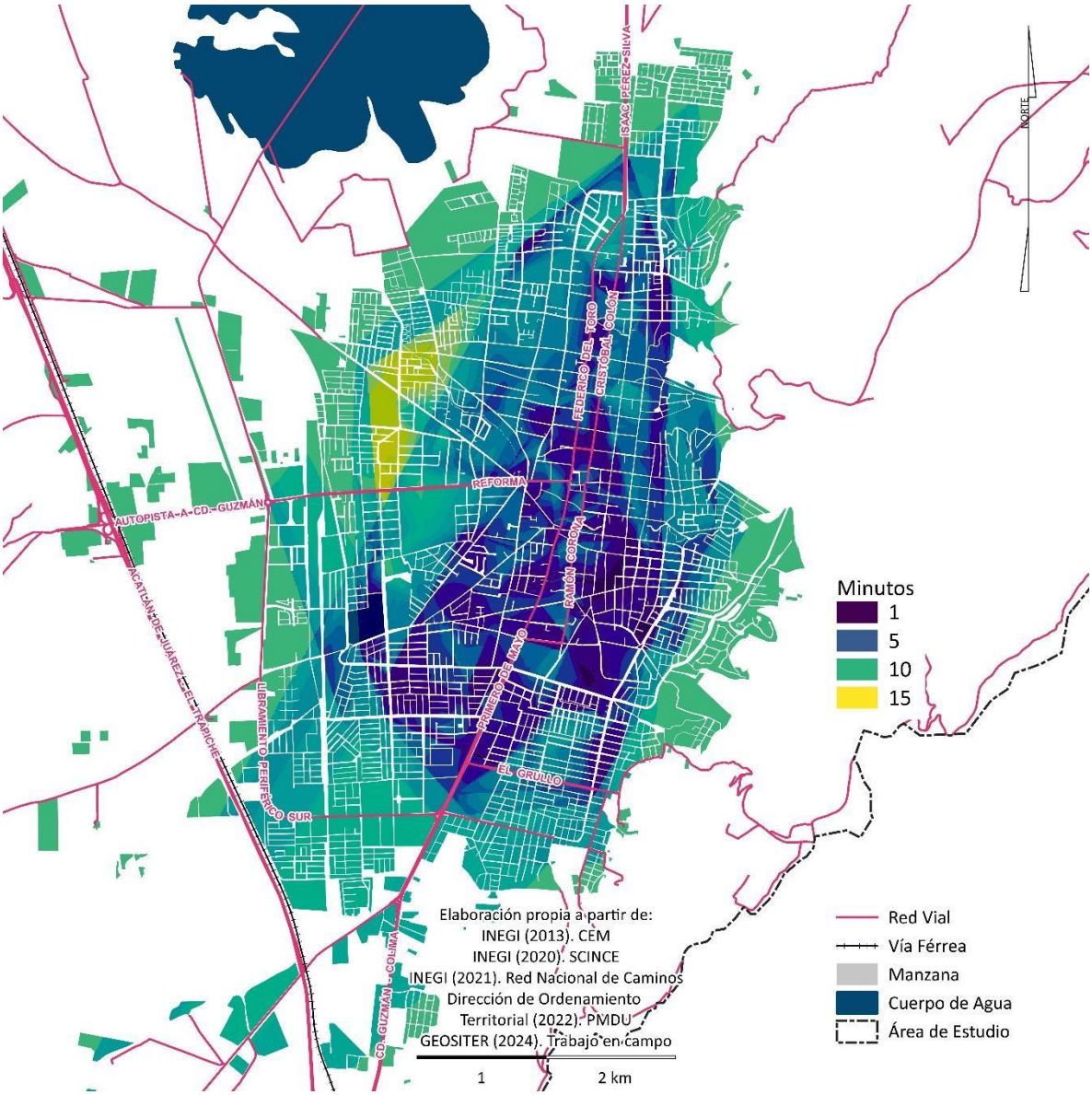
Primeramente, para evaluar este aspecto, se analizaron los servicios públicos disponibles que proporcionan asistencia social, utilizando información obtenida del INEGI. Estos servicios incluyen una variedad de opciones, como consultas médicas básicas, servicios dentales, atención ginecobstétrica, centros ópticos, albergues, entre otros. Asimismo, se evaluó la cobertura de casetas de vigilancia policial, que consta de un total de 14 distribuidas por la ciudad, junto con las 2 estaciones municipales, en coordinación con la jurisdicción estatal de bomberos y protección civil.

En este contexto, es de suma importancia considerar los servicios médicos, cuya información se obtuvo de la Secretaría de Salud federal a través de la Clave Única de Establecimientos de Salud (CLUES). Se georreferenciaron las unidades de distintos niveles que ofrecen servicios médicos, incluyendo tanto servicios públicos como privados. La cabecera municipal concentra prácticamente todas las unidades, a excepción del Centro de Salud La Mesa y Fresno, ubicado en la localidad del mismo nombre.

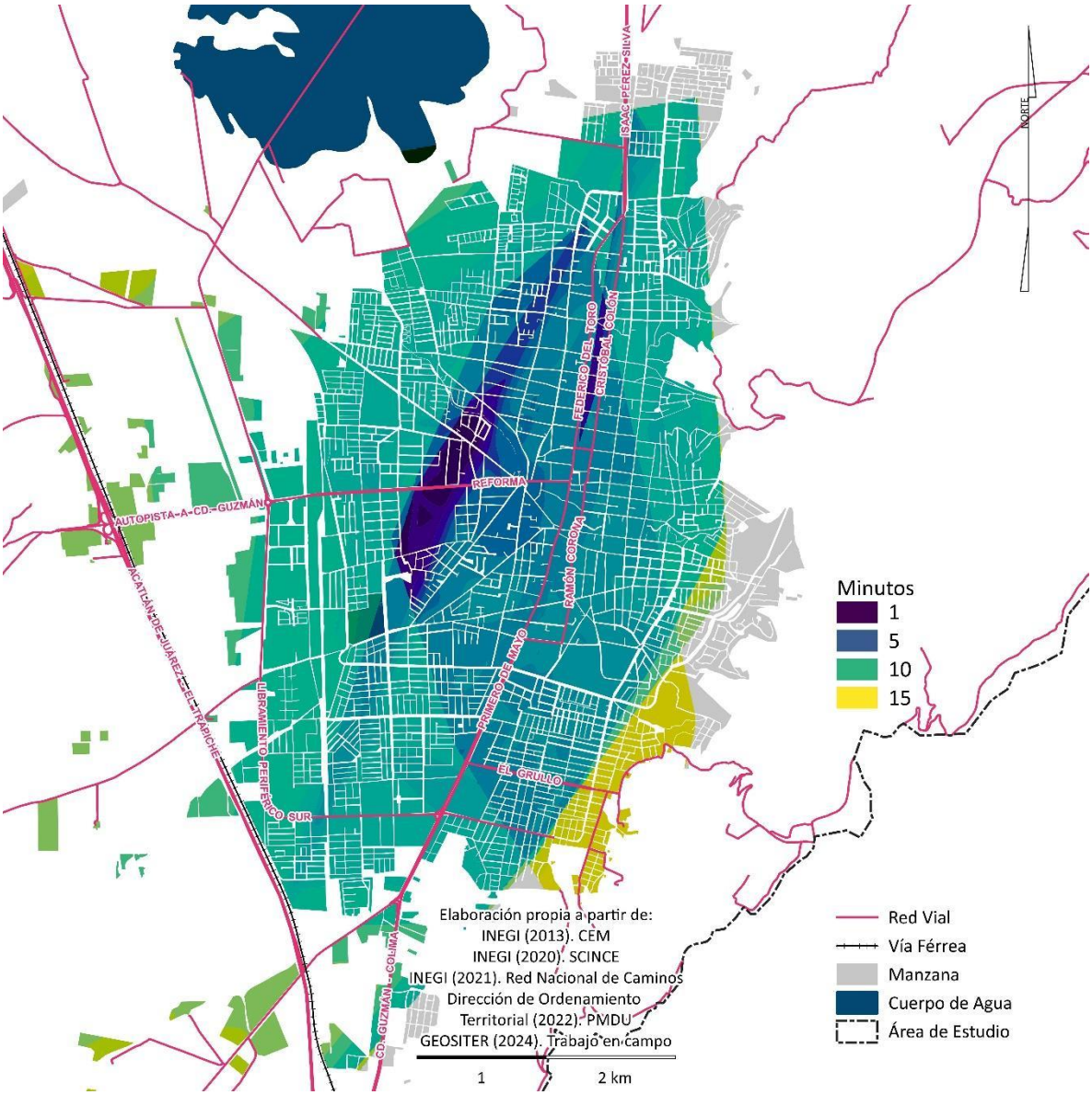
Educación

La educación ofrece una serie de beneficios tanto para los individuos como para la sociedad en su conjunto. En primer lugar, contribuye al desarrollo personal al proporcionar conocimientos, habilidades y valores que permiten a los individuos crecer y alcanzar su máximo potencial. Además, mejora las oportunidades laborales al aumentar la capacitación y la cualificación de las personas, lo que a su vez impulsa el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. Asimismo, la educación promueve el desarrollo económico al fomentar la innovación, la creatividad y el espíritu empresarial, lo que contribuye a la competitividad global y al progreso continuo de la sociedad.

Los elementos utilizados para caracterizar la proximidad a centros educativos abarcan los tres niveles de gobierno, así como los ámbitos públicos y privados. Se observa que, en la zona adyacente a La Merced, tanto al norte como al sur, se encuentra una amplia cobertura de servicios educativos. Al norte de este sitio, y al sur en la zona conocida como La Primavera, se concentran principalmente escuelas del sector básico.



Mapa 118. Equipamiento de cuidado
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 119. Equipamiento de educación
Fuente: Elaboración propia.

Aprovisionamiento

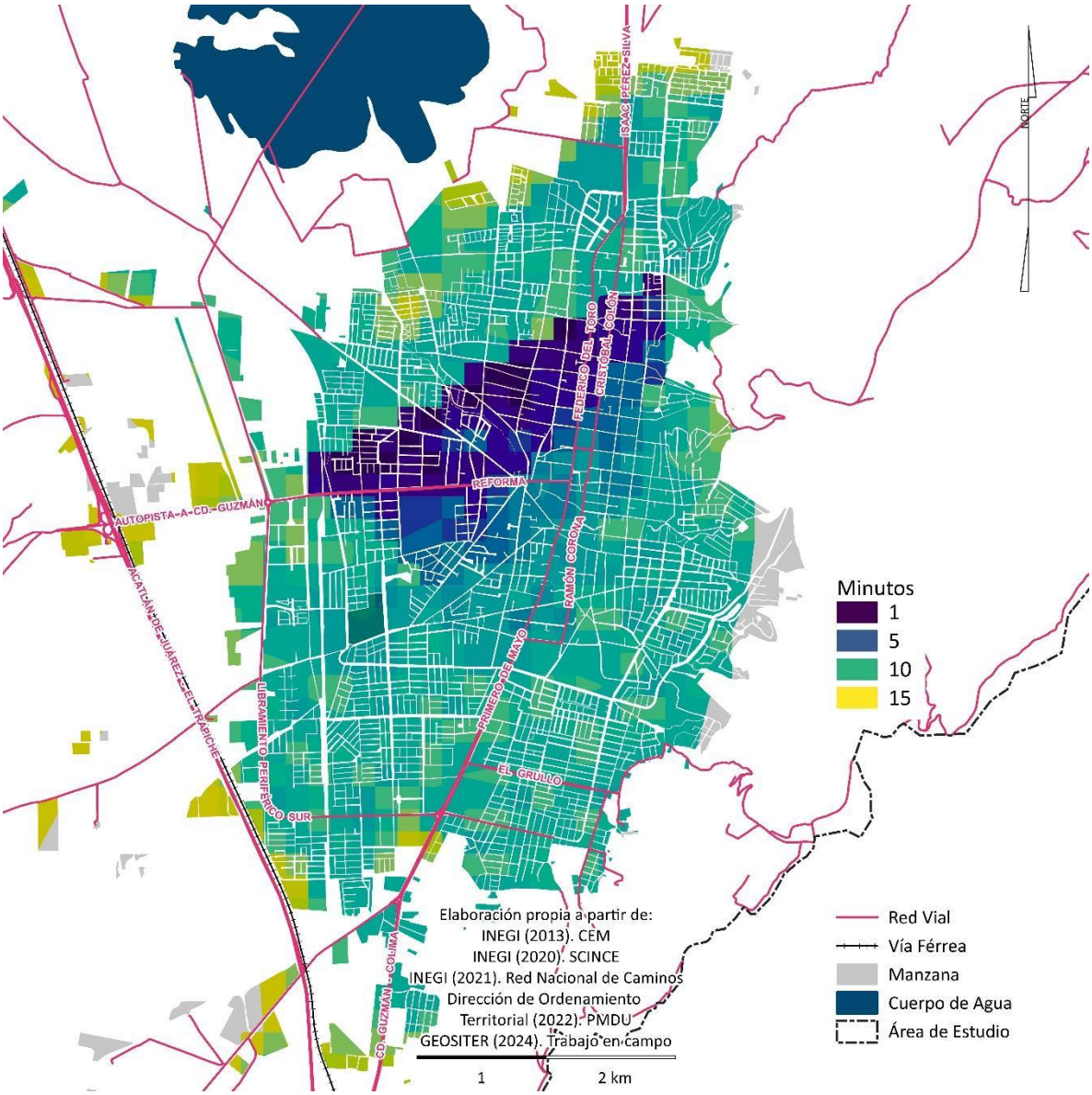
La asociación con esta actividad se manifiesta principalmente en los lugares donde se adquieren productos de primera necesidad, como los tianguis, mercados y la central de abastos. El acceso a mercados mayoristas está estrechamente asociado con áreas de concentración masiva de población, las cuales suelen tener una demanda más alta de bienes y servicios. Esta distribución de bienes es la razón por la que muchas empresas eligen establecerse en áreas urbanas lo que también beneficia a las economías de escala, la variedad de productos y la creación de empleo.

Además, se contempla el comercio al por menor, ya que la demanda de productos y servicios es constante, incluyendo bienes de consumo, esto crea oportunidades para los minoristas, ya que tienen un amplio mercado potencial para atender, entre otros beneficios se encuentra la variedad y especialización, con tiendas que ofrecen productos y servicios adaptados a diferentes grupos demográficos y culturales, la concentración es en el principal cuadro del centro histórico de Ciudad Guzmán.

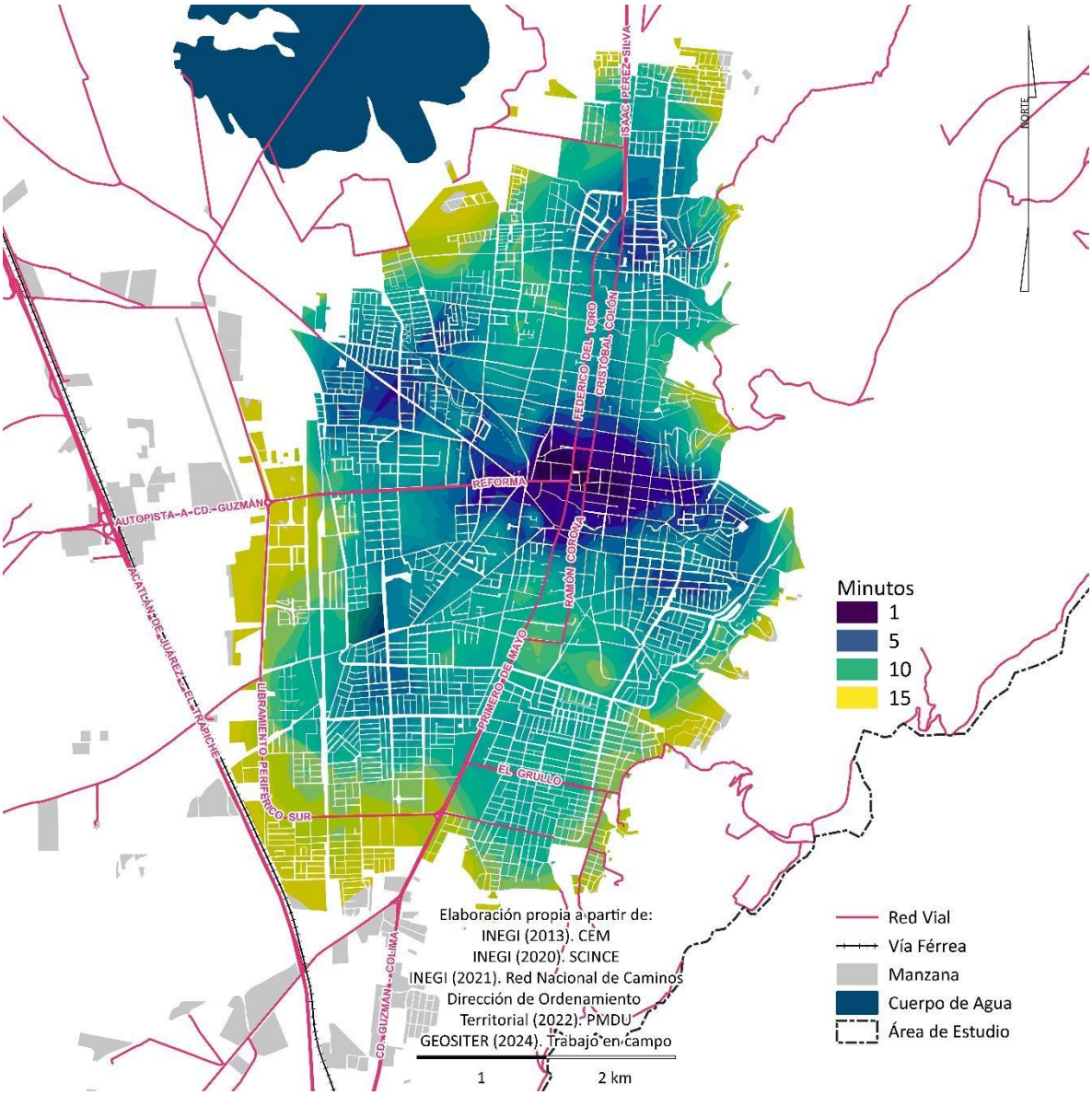
Ocio y cultura

El desarrollo de este indicador implica una variedad de actividades, particularmente relacionadas con el ocio, que a su vez influyen en dos amplios grupos. En primer lugar, se encuentran las actividades de ocio, que incluyen las zonas turísticas, como las áreas naturales protegidas que atraen a visitantes y fomentan la actividad económica a través del turismo, como el Parque Ecológico Las Peñas o el Nevado de Colima. Además, se incluyen los centros donde se realizan espectáculos deportivos, así como los dos estadios ubicados al suroccidente de la zona urbana.

De igual manera, los parques barriales y las áreas verdes agrupan actividades de recreación, lo que conforma el segundo grupo. Este se relaciona con sitios culturales, como las plazas cívicas, bibliotecas y los lugares donde se llevan a cabo actividades gubernamentales o legislativas, distribuidos por toda Ciudad Guzmán. Esto revela las principales aglomeraciones en el centro de la ciudad, conectadas con las partes centro oriente, norte y occidente, lo que demuestra una alta disponibilidad de actividades en toda la ciudad. Es comprensible que la especialización económica del territorio fomente la concentración de negocios o servicios cercanos a las centralidades de la población, las avenidas principales y los sitios que a su vez aglomeran población por otra actividad.



Mapa 120. Equipamiento de aprovisionamiento
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 121. Equipamiento de esparcimiento, ocio y cultura
Fuente: Elaboración propia.

Transporte público y activo

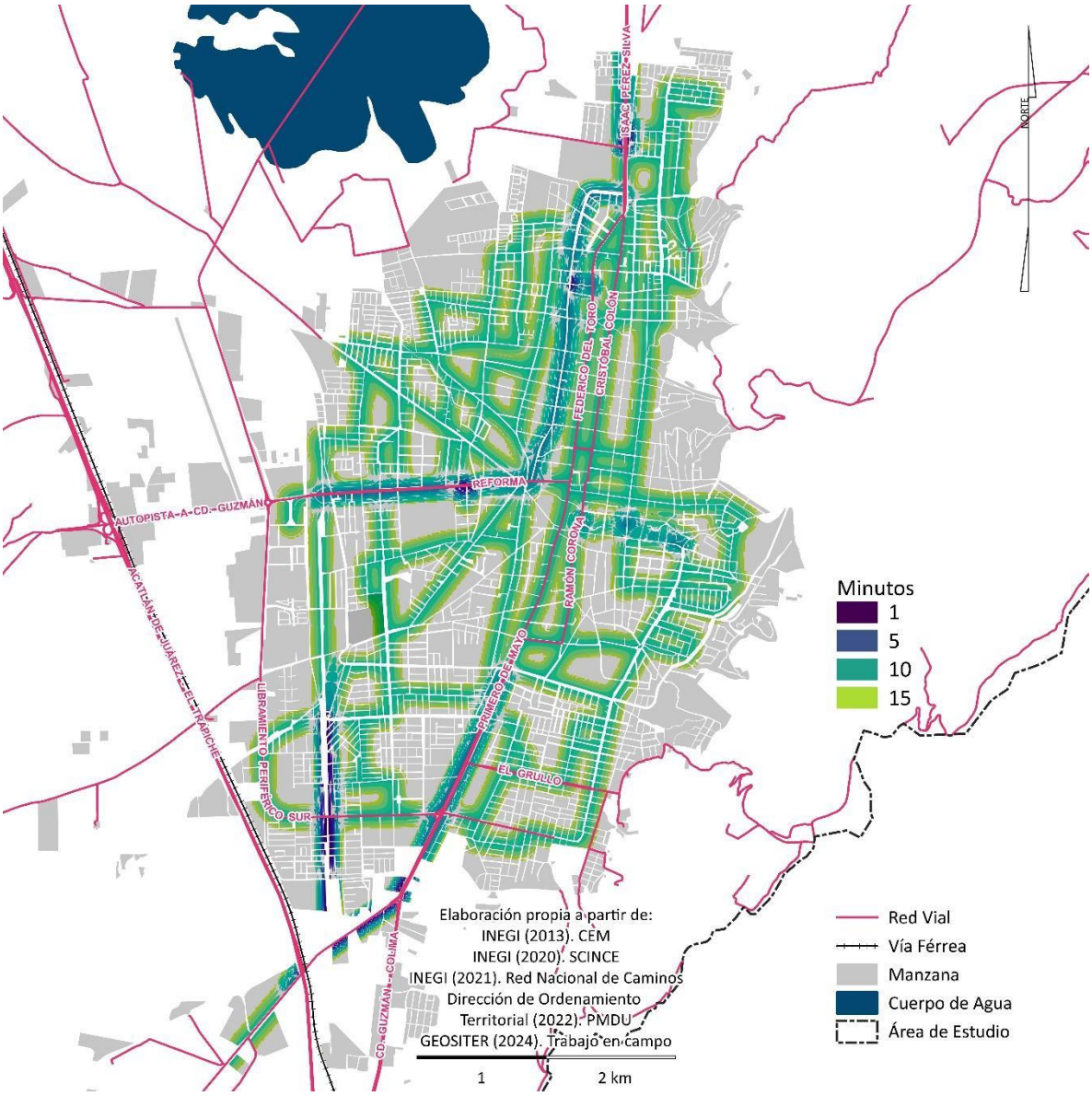
Incluye el uso de transporte público a motor, dentro como fuera de la cabecera municipal, en conjunto a la infraestructura necesaria para promover la movilidad activa.

La bicicleta se utiliza comúnmente para traslados que superan las distancias que se pueden recorrer caminando. Por otro lado, las zonas peatonales se caracterizan por la ausencia de vehículos de motor, lo que brinda beneficios en varios aspectos. Además de reducir la contaminación auditiva, promueven espacios de convivencia que reúnen a distintos grupos de la población.

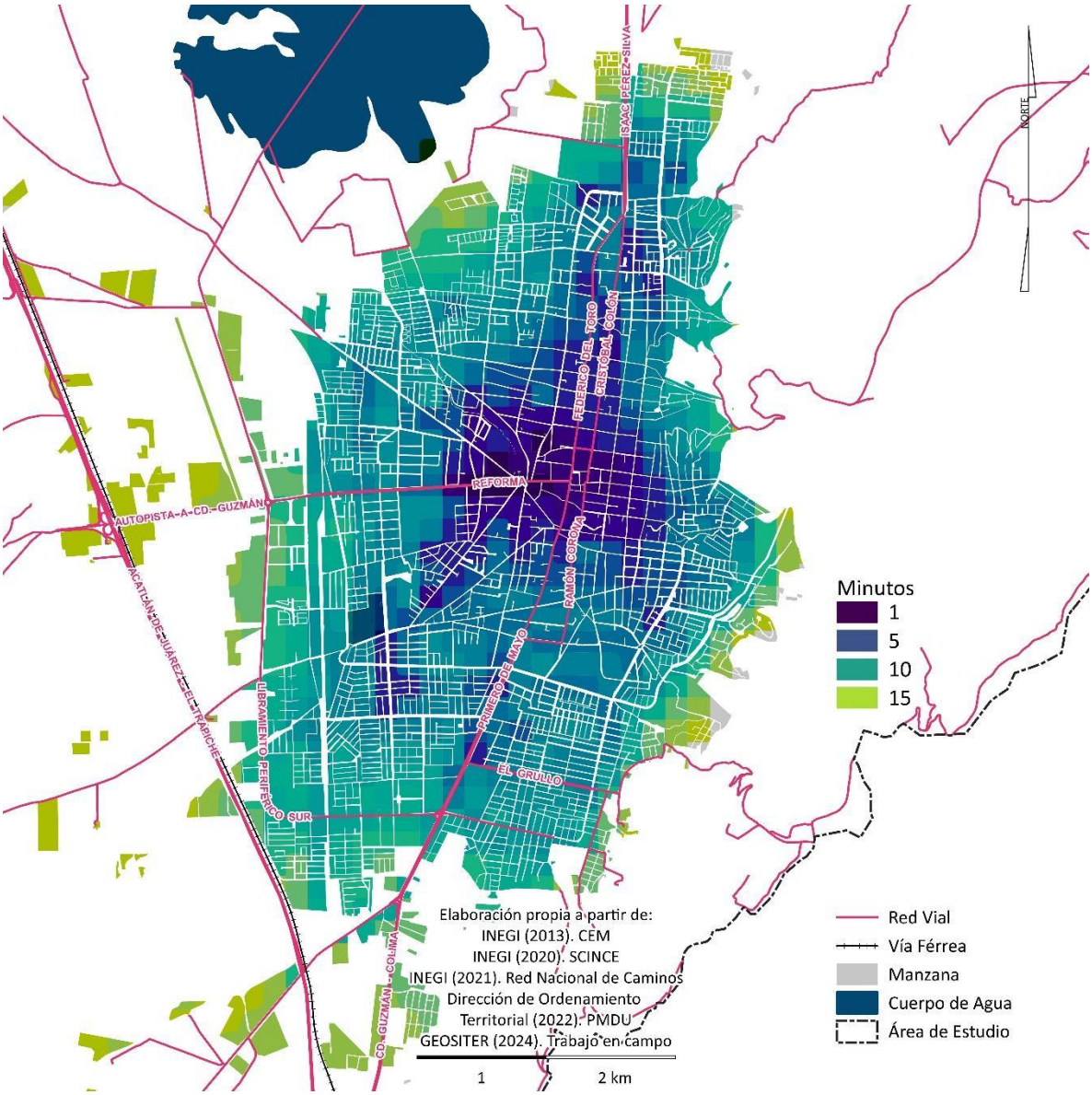
Ciudad de los 15 minutos

La concentración de diversos sitios demuestra la importancia de la accesibilidad en el área urbana principal dentro de un radio de 15 minutos. La representación de este modelo ilustra el desplazamiento a pie como el flujo principal. Por lo que resulta útil para caracterizar la red en la evaluación y gestión de la movilidad y accesibilidad urbana. El principal desafío radica en el acceso al empleo. Las principales vías de transporte están diseñadas para converger hacia este centro, lo que genera un alto grado de dependencia en un solo núcleo económico. Para mejorar la eficiencia urbana y reducir los desplazamientos, como propone Carlos Moreno, es fundamental reestructurar las ciudades hacia un modelo policéntrico, donde propone la creación de múltiples núcleos de actividad. Los conceptos contemporáneos de urbanismo, como la densificación y el uso mixto del suelo, son clave para esta transformación.

La implementación de este modelo lleva a una mayor densidad tanto de población como de servicios, promoviendo la diversidad funcional. Como resultado, las distancias de viaje se reducen, el tráfico motorizado disminuye, y se incrementa el uso de modos de transporte no motorizados. Esto no solo reduce las emisiones y mejora la calidad del aire, sino que también libera espacio público para usos alternativos. Este enfoque está fuertemente influenciado por las ideas de Jane Jacobs sobre la vida barrial y de Luc Gwiazdzinski, quien introduce el concepto de crono-urbanismo, es decir, el urbanismo evaluado en términos de tiempos de traslado y usos temporales. Se ha concluido que las ciudades desarrolladas en la posguerra han tendido hacia la segregación y la especialización, contribuyendo significativamente a la contaminación asociada con los desplazamientos urbanos.



Mapa 122. Equipamiento de transporte público y activo
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 123. Modelo de la Ciudad de los 15 minutos
Fuente: Elaboración propia.

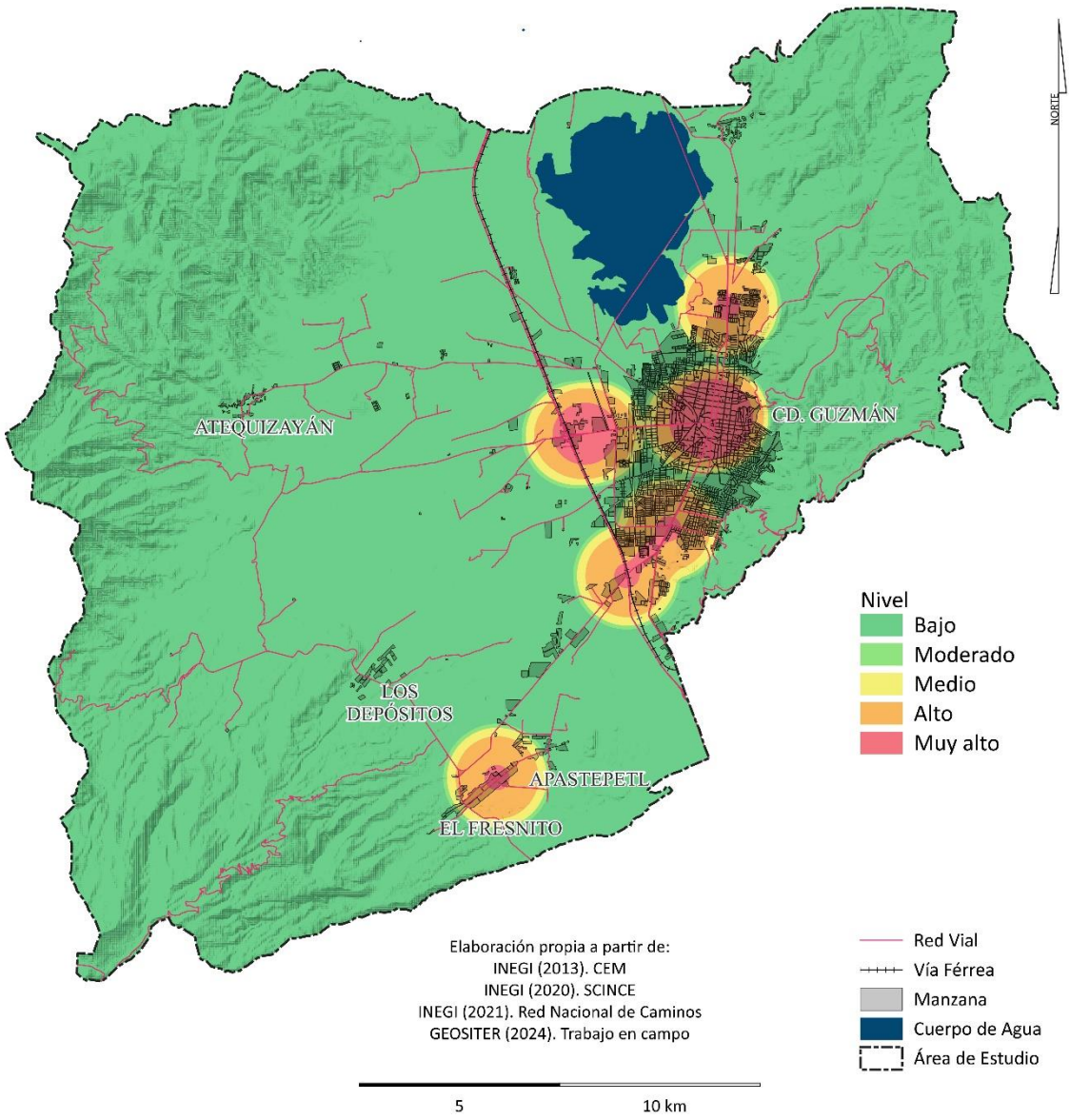
6.6 Demostraciones de inconformidad social

La presencia de grupos de ciudadanos que se congregan para demandar servicios, presentar solicitudes o expresar inconformidades es similar a la concentración masiva de población. Sin embargo, en estos casos, el descontento y el manejo de ideologías pueden ser factores determinantes. Durante la actualización de este atlas de riesgos, se identificaron varias situaciones en las que dichos grupos, como campesinos o habitantes pedían principalmente servicios básicos.

Se identificó que la principal zona de aglomeración en la que se manifiestan inconformidades es el Jardín Principal, ubicado frente a la Presidencia Municipal. Asimismo, se observaron puntos de alta concentración en las entradas de la ciudad, especialmente en la zona carretera y en las avenidas adyacentes a estos nodos de acceso.

De manera similar, se registró en el año 2016 que, un día antes de las manifestaciones públicas relacionadas con el incremento en el cobro del impuesto predial, se emitió una alerta sobre dichas manifestaciones. Con la información recabada a través de trabajo de campo, medios digitales y talleres de participación ciudadana, se georreferenciaron los puntos de manifestaciones de inconformidad social. Mediante interpolación, se calcularon las áreas susceptibles a la ocurrencia de este tipo de fenómenos. Como se observa, las clases de densidad alta y muy alta se correlacionan con los principales puntos de entrada a la ciudad, el centro histórico y la comunidad de El Fresnito al sur del área de estudio.

Como sabemos, este es el módulo de peligros socio-organizativos, y la falta de variables como las psicológicas y datos particulares impide realizar una evaluación completa del riesgo social. Morales y Gutiérrez (2010) sugieren la importancia de "incluir la posibilidad de evaluar nosológicamente los trastornos de personalidad asociados al fenómeno" (p. 309). Esto subraya la necesidad de considerar factores adicionales en el análisis de riesgos, y la falta de estudio de análisis del comportamiento de las masas.



Mapa 124. Áreas susceptibles a demostraciones de inconformidad social
Fuente: Elaboración propia.

6.7 Interrupción o afectación de los servicios básicos o de infraestructura estratégica

Para analizar los elementos y factores que influyen en el fenómeno social en cuestión, es necesario recopilar todas las fuentes disponibles. Una fuente oficial relevante en este contexto es la proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). En este estudio, se calculó la tasa de servicios básicos utilizando datos del año 2020, que abarcan 13 variables específicas por vivienda. Estas variables son:

- Disponibilidad de energía eléctrica.
- Número de focos.
- Número de focos ahorradores.
- Disponibilidad de agua entubada.
- Ámbito de disponibilidad del agua entubada.
- Fuente de abastecimiento del agua entubada.
- Fuente de obtención de agua por acarreo.
- Disponibilidad de sanitario.
- Tipo de sanitario.
- Admisión de agua.
- Uso del sanitario.
- Disponibilidad de drenaje.
- Lugar de desalojo del drenaje.

Estos indicadores proporcionan una evaluación detallada de las condiciones de infraestructura y servicios básicos en las viviendas, permitiendo una comprensión más precisa de los factores que inciden en el fenómeno analizado. Con estos datos, se obtuvo un análisis detallado del uso de servicios básicos en las viviendas. La variable de viviendas totales se dividió entre las viviendas que disponen del servicio, lo que permitió calcular una distribución en tres intervalos de cobertura:

En el intervalo Bajo (0 a 80) representa la mayoría de las viviendas, desde la periferia hasta el centro de la localidad. Refleja una cobertura baja de los servicios básicos. Mientras que el intervalo Medio (80 a 100), se identificaron islas de manzanas ubicadas en el suroeste de la ciudad, así como áreas más pequeñas en el sur y el noroeste. Estas zonas muestran una cobertura media de los servicios básicos.

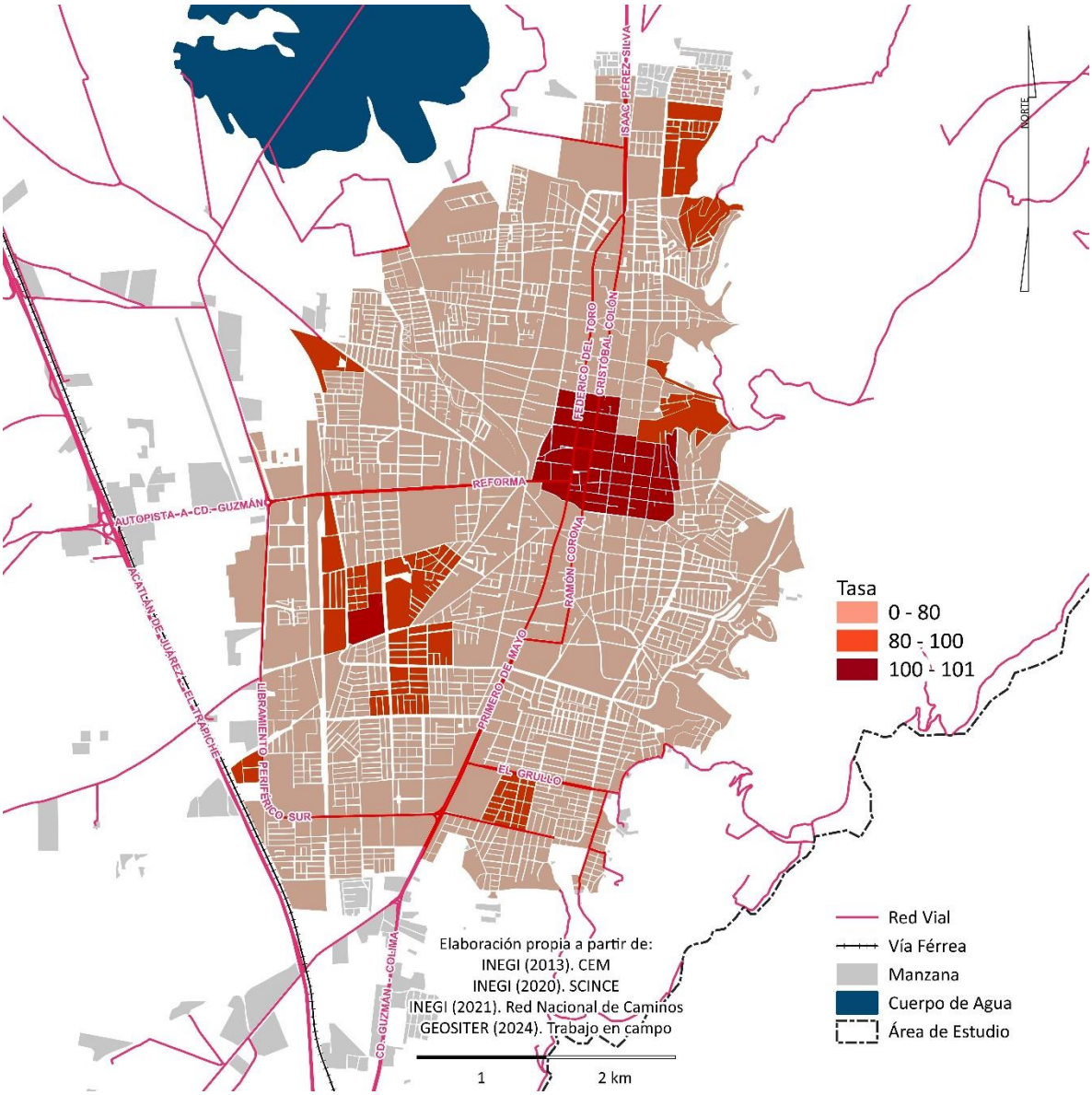
Por último, el intervalo Alto (Más de 100): Este intervalo indica áreas donde la cantidad de viviendas con el servicio supera el promedio, reflejando una alta cobertura en comparación con el total de viviendas. Esta clasificación permite una comprensión precisa de la distribución y cobertura de los servicios básicos en la localidad, facilitando la identificación de áreas con diferentes niveles de acceso a estos servicios.

Se sabe que, al encontrarse en una región vulnerable a fenómenos geológicos y geomorfológicos, la interrupción de servicios como el suministro de agua potable ha sido un problema recurrente. Las fallas en la red de agua potable se deben a la ruptura de las tuberías causada por movimientos tectónicos asociados a la falla o subducción. Estas interrupciones generan afectaciones significativas, requiriendo reparaciones extensas en la infraestructura dañada. Para una comprensión más detallada sobre los efectos de estos fenómenos, se recomienda consultar el módulo de fenómenos geológicos y geomorfológicos.

En la localidad de Los Depósitos, se ha registrado una frecuencia elevada de apagones de energía eléctrica. A diferencia de otras áreas, como la colonia Constitución, donde se han identificado casos de conexión ilegal a la red eléctrica. En Los Depósitos los apagones afectan de manera generalizada. Las interrupciones no están vinculadas a prácticas ilícitas de consumo, sino que son indicativas de problemas de la infraestructura de distribución de energía. Esto causa el fallo en bombas que suministra el agua potable a la localidad.

Otra localidad que experimenta problemas significativos en el suministro de energía eléctrica es El Fresnito. Se ha reportado que, desde las 5 de la mañana, se presentan apagones recurrentes que pueden causar daños en equipos electrodomésticos. Además, la falta de recursos impide a los residentes almacenar agua durante los periodos de tandeo. Esto se suma al malestar social generado por el alto costo del servicio de agua potable y los problemas asociados con su distribución.

Situaciones similares son reportadas por los vecinos de las colonias Antorcha Campesina y La Colmena, quienes enfrentan problemas con la infraestructura de drenaje, así como con el desabasto de energía y agua. Además, la recolección de basura es un problema persistente en todo el municipio.



Mapa 125. Tasa de servicios básicos
Fuente: Elaboración propia.

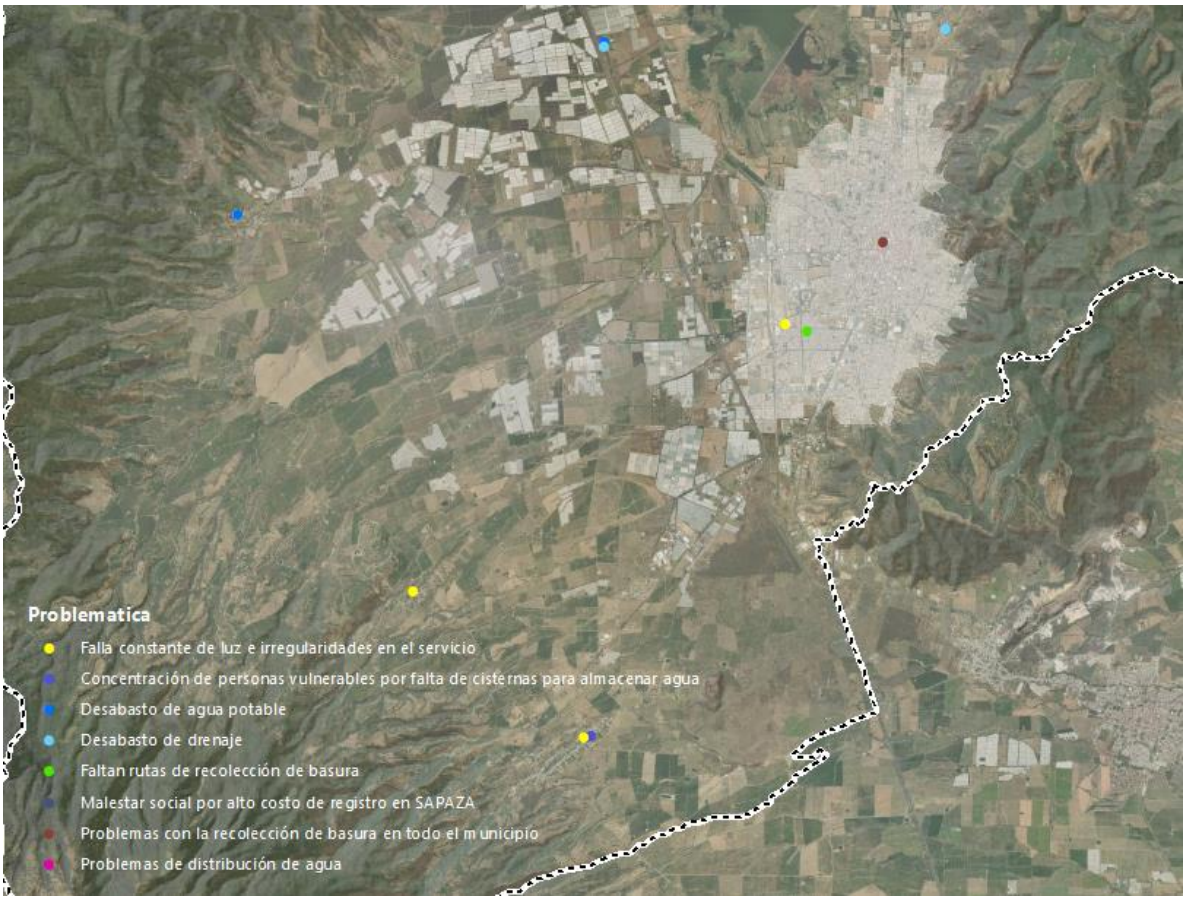


Figura 135. Interrupción de servicios
Fuente: Elaboración propia.

6.8 Vandalismo

Puede considerarse una expresión de inconformidad o incluso artística. Es sabido que la presencia de consignas o grafitis en barrios populares o en espacios públicos del área central urbana es común debido a la falta de concientización. Estos actos se llevan a cabo aprovechando tanto el tiempo como el espacio disponible.

Durante los recorridos de campo se observaron diversos espacios públicos, como parques y áreas de esparcimiento, que contenían lemas o frases. Al ser una zona urbana, es probable la aparición de este fenómeno.

Al estar presentes en sitios donde ocurren otros fenómenos socio-organizativos, los grafitis y consignas no guardan una relación con otros eventos, sino que se relacionan con los espacios compartidos por la población en general. Las causas de su aparición pueden ser variadas y no necesariamente se puede determinar que la distribución de uno mismo sea en una zona específica o concentren. Además, estos actos suelen ocurrir en ausencia de vigilancia pública, como en altas horas de la noche.

En el área de estudio se realizó un levantamiento de datos tanto en campo como mediante cartografía social y se recopilaron datos sobre zonas delictivas, con un enfoque principal en colonias como, Cruz Blanca, Cristo Rey, Buganvilias, Constituyentes, La Fifa, Ejidal, así como en colonias próximas al núcleo central o primer cuadro de la ciudad. Además, en los núcleos humanos de las zonas rurales se registran sitios o puntos de reunión destinados al consumo de bebidas alcohólicas, lo que frecuentemente desemboca en riñas o altercados, entre jornaleros en estado de ebriedad. Asimismo, en estos puntos es común encontrar desechos dejados por las personas mencionadas. En particular, cerca de Atequizayán, se observan desechos próximos a monumentos que sirven como puntos de reunión. Estos actos, relacionados con la presencia humana, están distribuidos en las zonas de mayor concentración poblacional.

6.9 Susceptibilidad a fenómenos Socio-Organizativos

Susceptibilidad a Accidentes de Tránsito

La disponibilidad de servicios de transporte público por manzana, así como la infraestructura y el mobiliario urbano, tales como paradas de autobús, rampas para sillas de ruedas, semáforos peatonales y semáforos auditivos, constituyen los elementos fundamentales del modelo de movilidad urbana. Estos componentes son esenciales para los distintos modos de transporte utilizados por la población. Además, se consideran los parámetros de movilidad activa dentro del marco del modelo de Movilidad Urbana Sustentable, incluyendo ciclovías y zonas peatonales.

Se incorpora también la distribución de viviendas particulares habitadas que disponen de automóviles, camionetas, motocicletas y bicicletas. Asimismo, se realiza una ponderación del riesgo en el ámbito terrestre, específicamente en relación con los accidentes de transporte, utilizando una interpolación de densidad kernel para identificar las zonas de mayor peligrosidad, el transporte ferroviario y la disponibilidad del área.

Tabla 116. Ponderación de variables para susceptibilidad a accidentes de tránsito

Ámbito	Tópico	Capa	Categoría	Ponderación	Porcentaje
Infraestructura y mobiliario urbano	Vial	Estación de recarga	Kernel de Influencia de 100 mts	2	0.025
		Semáforos	Kernel de Influencia de 300 mts	2	0.025
		Disponibilidad de rampa para silla de ruedas en sus vialidades circundantes	Todas las vialidades	0	0.025
			Alguna vialidad	3	
			Ninguna Vialidad	5	
			Conjunto habitacional	1	
			No aplica	1	
			No especifico	1	
		Disponibilidad de parada de transporte colectivo en sus vialidades circundantes	Todas las vialidades	1	0.025
			Alguna vialidad	3	
			Ninguna Vialidad	5	
			Conjunto habitacional	1	
			No aplica	1	
			No especifico	1	
		Clasificación de las manzanas según disponibilidad de semáforo para peatón en sus vialidades circundantes	Todas las vialidades	1	0.025
			Alguna vialidad	2	
			Ninguna Vialidad	5	
			Conjunto habitacional	1	
			No aplica	1	
			No especifico	1	
			Kernel de Influencia de 300 mts	3	
			Kernel de Influencia de 300 mts	3	
		Clasificación de las manzanas según disponibilidad de semáforo auditivo en sus vialidades circundantes	Alguna vialidad	3	0.025
			Ninguna Vialidad	5	
			Conjunto habitacional	1	
			No aplica	1	
			No especifico	1	
		Red Vial y Transporte de Carga	Carretera y/o Autopista	4	0.05
			Vialidad Principal	4	
			Vialidad Secundaria	3	
			Vialidad Terciaria	2	
Movilidad Urbana Sustentable	Movilidad Activa	Zonas Peatonales	Única	2	0.05
		Ciclovías	Única	2	0.025
		Viviendas particulares habitadas que disponen de bicicleta como medio de transporte	0	0	0.025
			1 a 23	1	
			24 - 96	2	

			97 - 195	3	
			196 - 324	4	
			325 - 652	5	
	Transporte Público	Rutas	Urbanas	2	0.05
			Foráneas	3	
	Transporte Privado	Viviendas particulares habitadas que disponen de automóvil o camioneta	0	0	0.025
			ene-24	1	
			25 -167	2	
			168 - 328	3	
			329 - 544	4	
			545 - 924	5	
		Viviendas particulares habitadas que disponen de motocicleta o motoneta	0	0	0.025
			ene-42	1	
			43 - 66	2	
			67 - 127	3	
			128 - 169	4	
			170 - 289	5	
Peligro	Terrestre	Clústeres de Accidentes (Kernel)	01-mar	3	0.35
			04-oct	4	
			Más de 10	5	
	Ferroviario	NOM-020-SCT2-2017	Buffer de Amortiguamiento (30 metros): Seguridad	5	0.1
		NOM-EM-003-ARTF-2023	Buffer de Precaución (50 metros): Precaución	5	0.1
	Áereo	NOM-002-SCT2-2011	Buffer de 120 metros del Aeródromo	4	0.05

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación por escala de detalle puede parecer demasiado optimista. No obstante, la presencia de accidentes de tránsito en la periferia es relativamente aislada, lo que lleva a una mayor cobertura en esa área. En consecuencia, la periferia de la ciudad presenta un nivel bajo de susceptibilidad.

En contraste, el primer anillo de la ciudad, que se encuentra a nivel medio de susceptibilidad, muestra una distribución moderada. La cobertura de alta susceptibilidad se localiza principalmente en las vialidades principales que se extienden de norte a sur, con concentraciones notables en el noroccidente y el centrooriente de la ciudad. El emplazamiento de los niveles altos de susceptibilidad coincide con las áreas cercanas al sector de La Merced, la Calzada Madero y Carranza, así como el sur-occidente del libramiento periférico sur y las intersecciones de la Avenida Primero de Mayo, entre otras.

Estas zonas presentan vías de mayor jerarquía y velocidad, además de una fácil comunicación y conexión vial. El aumento de la susceptibilidad también está asociado con variables relacionadas con la infraestructura vial y el mobiliario urbano. La prevalencia de automóviles y el espacio limitado destinado a otros modos de transporte comprometen la movilidad sostenible. Este problema no solo incrementa el riesgo de accidentes, sino que también contribuye a la contaminación atmosférica y acústica.

Susceptibilidad a Concentración Masiva de Población y Demostraciones de Inconformidad Social

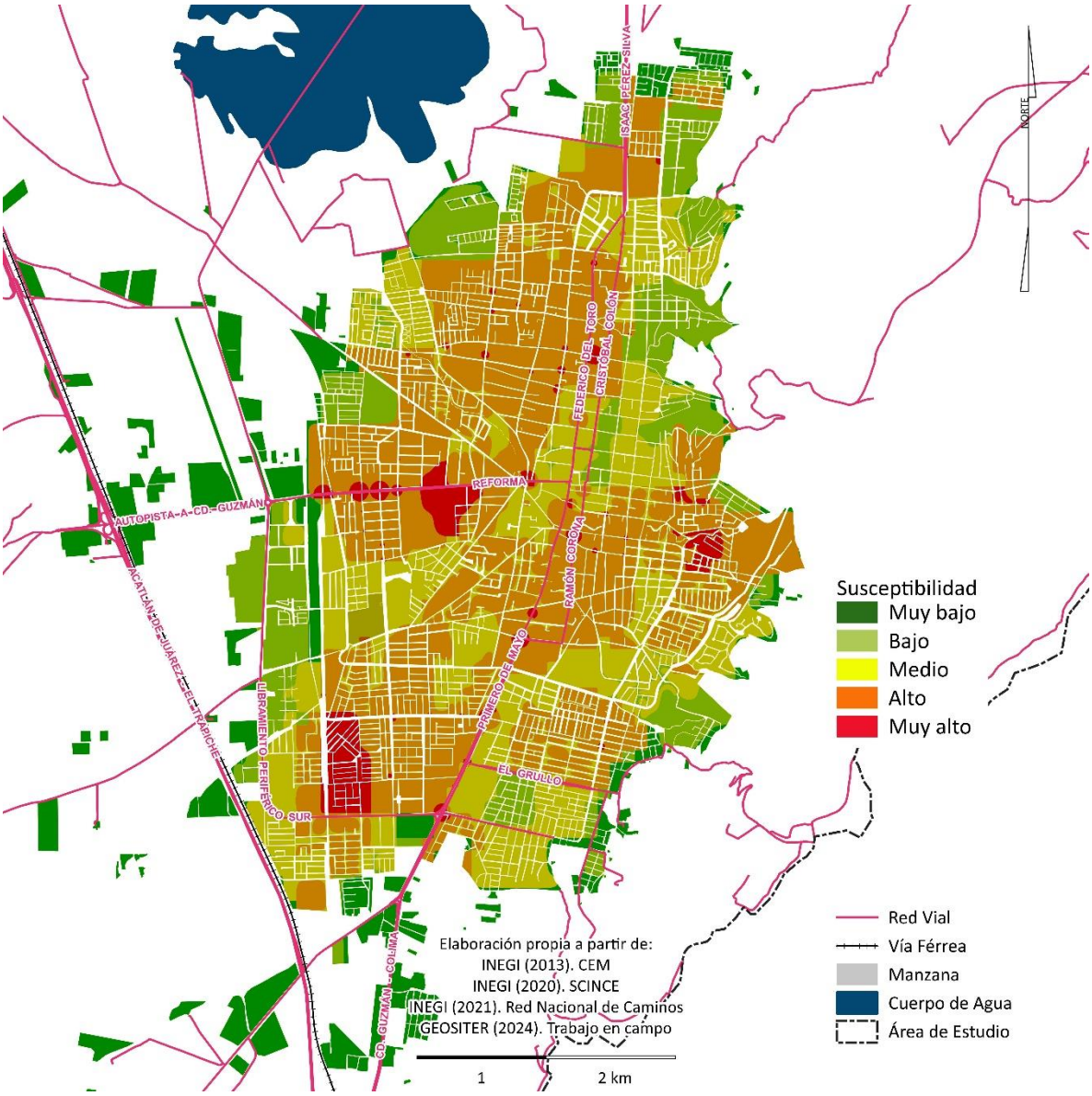
Para calcular este modelo, se emplearon tres modelos previos. El primero es el modelo de la ciudad de 15 minutos, simulado en términos de sostenibilidad urbana. El segundo es el modelo de concentración masiva de población, clasificado en cinco categorías. El tercero es el modelo de demostraciones de inconformidad social.

Se ponderaron los modelos de la siguiente manera: el modelo de la ciudad de 15 minutos recibió una ponderación del 20%, dado que la cobertura de transporte es amplia para el desplazamiento. Los modelos de concentración masiva de población y de demostraciones de inconformidad social se ponderaron con un 40% cada uno.

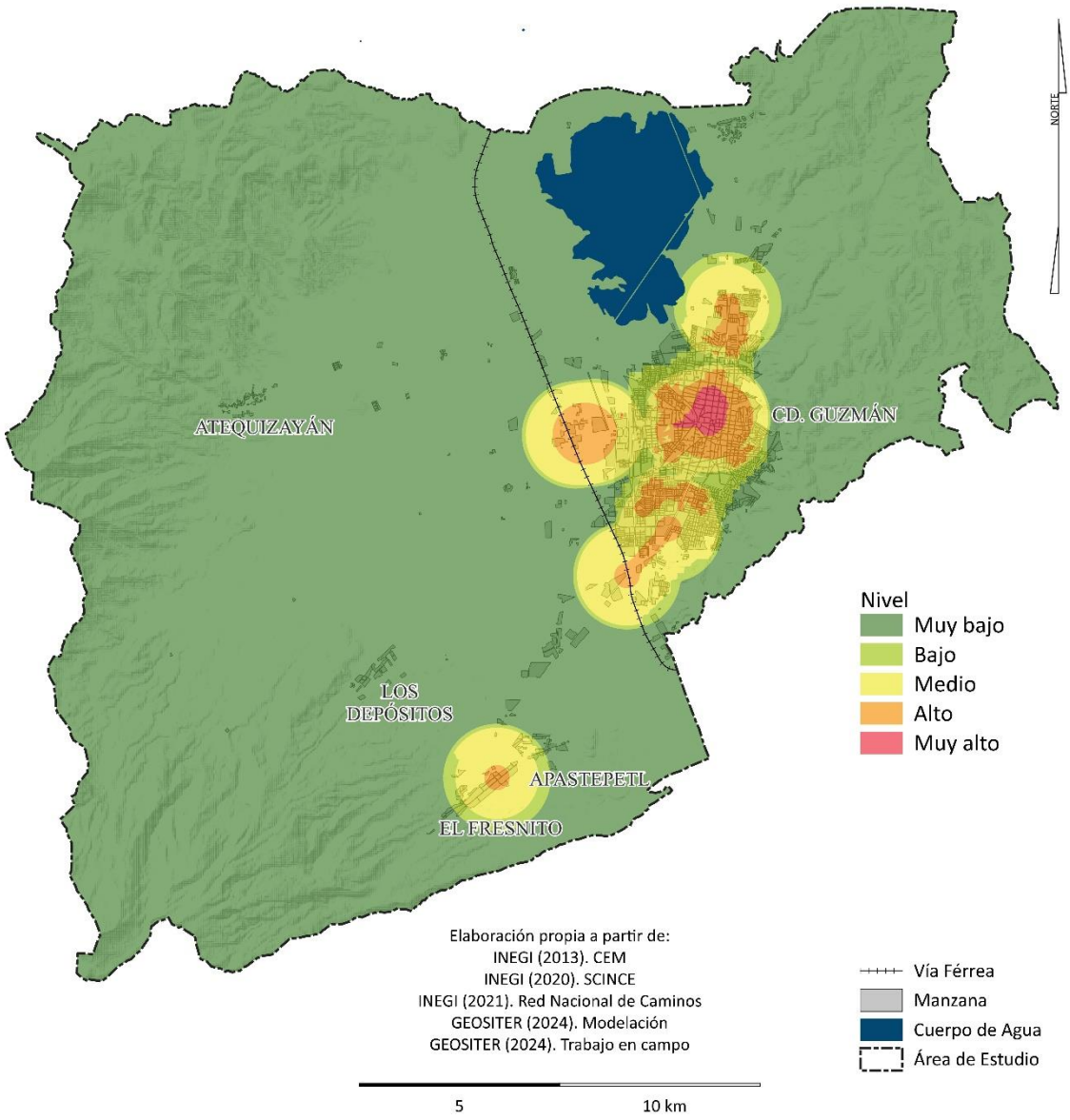
Tabla 117 Ponderación para zonificación de la Susceptibilidad a Concentración Masiva de Población y Demostraciones de Inconformidad Social.

Capa	Clase	Valor	Ponderación
15 minutos	Más de 15	1	0.2
	11 a 15	2	
	6 a 10	3	
	2 a 5	4	
	1	5	
Concentración Masiva de Población	Muy baja	1	0.4
	Baja	2	
	Media	3	
	Alta	4	
	Muy alta	5	
Demostraciones de Inconformidad Social	Muy baja	1	0.4
	Baja	2	
	Media	3	
	Alta	4	
	Muy alta	5	

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 126. Susceptibilidad a Accidentes de Tránsito
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 127. Susceptibilidad a Concentración Masiva de Población y Demostraciones de Inconformidad Social Fuente: Elaboración propia.

Como resultado, se obtuvo una muestra que destaca una zona próxima al Jardín Principal, clasificada con un nivel muy alto. Este nivel indica un sitio de significativa concentración de festejos y de inconformidad por parte de la población.

Adyacente a esta área de nivel muy alto, se encuentra un anillo de nivel alto, que también se identifica en cinco islas distribuidas en el municipio, incluyendo áreas como las entradas a la ciudad, la cercanía a la Feria de Zapotlán, la zona de El Fresnito, y la parte sur del Libramiento Periférico Sur. Algunas de estas zonas, debido a su conexión vial con el área central, permiten a los habitantes del interior del municipio acceder a la cabecera municipal utilizando distintos modos de transporte.

El nivel medio de susceptibilidad se concentra principalmente en el límite periférico de las localidades principales del municipio, circundado por un nivel bajo que cubre aproximadamente el 2.10% de la superficie del área de estudio. El resto del área presenta niveles de susceptibilidad muy bajos.

6.10 Peligro Socio-Organizativo

Para el desarrollo del peligro Socio-Organizativo se tomó en cuenta las siguientes variables:

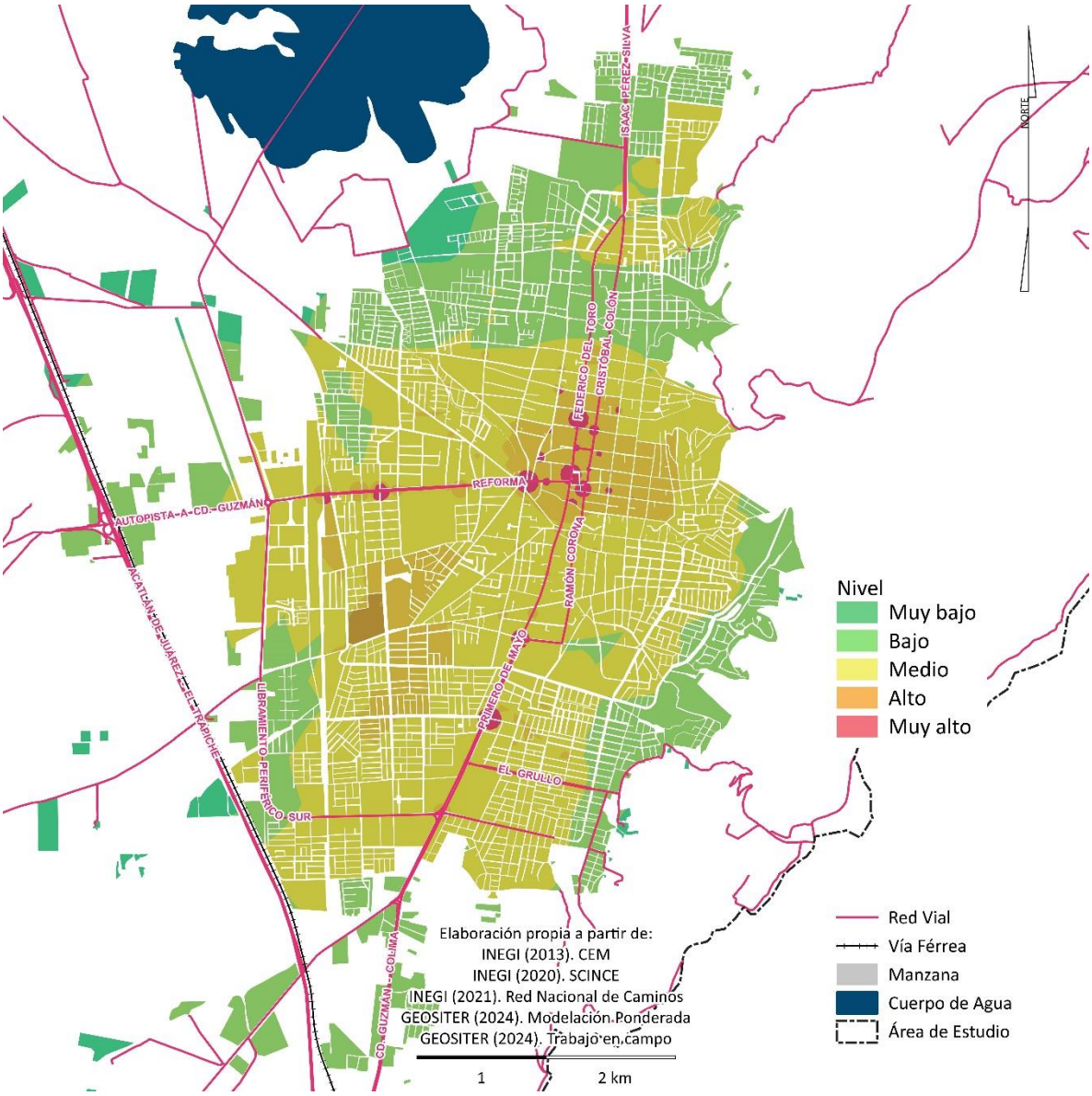
Las tres primeras variables ya habían sido graficadas previamente. Se realizó la interpolación de los puntos correspondientes a actividades relacionadas con actos de vandalismo, clasificándolos en cinco rangos de concentración mediante intervalos geométricos, que van desde muy bajo hasta muy alto. Esta concentración se ponderó al 20% dentro del modelo, al igual que la variable de la tasa de servicios básicos. Dado que se dispone de una mayor cantidad de datos y una mayor frecuencia de ocurrencia para los primeros dos fenómenos, se le asignó una ponderación del 30% del modelo a cada uno.

Los valores bajos se encuentran predominantemente en las periferias posiblemente en zonas de transición entre lo urbano y lo rural. El nivel medio se concentra en el centro, reflejando áreas urbanas con actividad moderada. Además, este nivel está presente en áreas céntricas, denotando una mayor densidad poblacional y actividad económica. Los valores muy altos se localizan en el centro de la ciudad, sugiriendo áreas de mayor riesgo socio-organizativo debido a la alta concentración de población y actividades.

Tabla 118. Ponderación Peligro Socio-Organizativo

Peligro	Clase/Distancia	Valor	Ponderación
Accidentes de Tránsito (Clúster)	1 a 3	1	**0.3**
	4 a 7	2	
	8 a 11	3	
	12 a 16	4	
	17 a 23	5	
Susceptibilidad a Concentración Masiva de Población & Demostraciones de Inconformidad Social	Muy baja	1	**0.3**
	Baja	2	
	Media	3	
	Alta	4	
	Muy alta	5	
Tasa de Servicios Básicos (Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje)	0	1	**0.2**
	80 - 90	2	
	90 - 99	3	
	100 - 100.3	4	
	100.3 - 100.826446	5	
Zonas de con Presencia de Vandalismo	Muy baja	1	**0.2**
	Baja	2	
	Media	3	
	Alta	4	
	Muy alta	5	

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 128. Peligro Socio-Organizativo
Fuente: Elaboración propia.

Determinación de exposición y vulnerabilidad

7.1 Introducción

El análisis de peligros y susceptibilidad no puede llegar a generar un indicador de riesgo si no se consideran las variables de exposición y vulnerabilidad, como lo indica la fórmula general del riesgo. En muchos Atlas de Riesgos Municipales, el alcance a estas variables no se logra debido a la cantidad de problemas que existen para recuperar esta información a escala de manzana, sobre todo si no se exploran vías alternas a las sugeridas por metodologías generales.

La vulnerabilidad se manifiesta como la fragilidad inherente de ciertas áreas y poblaciones ante posibles amenazas, dadas sus características económicas, educativas o acceso a servicios de emergencia determinan su predisposición a sufrir daño.

La vulnerabilidad es, en esencia, la medida de cuánto puede sufrir un sistema ante un evento adverso, dependiendo de su capacidad para resistir, adaptarse y recuperarse. En un SIG, esta fragilidad se revela a través de capas que ilustran, por ejemplo, la calidad de las construcciones, la densidad poblacional, o el acceso a recursos críticos como el agua o la asistencia médica.

Por otro lado, la exposición es el escenario donde esta vulnerabilidad se pone a prueba; la relación directa que tienen los elementos con la amenaza en cuestión. Si la vulnerabilidad es la predisposición, la exposición es la proximidad a un riesgo tangible: el barrio ubicado al pie de un volcán, la ciudad costera que mira de frente al océano amenazado por tormentas, o la granja en una llanura propensa a inundaciones.

En un SIG, no solo muestra dónde están los puntos críticos, sino que también permite prever escenarios, simular impactos y, en última instancia, orientar la toma de decisiones hacia la reducción de riesgos. Los mapas permiten desplegar ante nuestros ojos un vasto tablero de juego, donde cada ficha representa un elemento que puede estar en riesgo, y cada movimiento estratégico puede significar la diferencia entre la seguridad y la catástrofe.

En el siguiente aparto se desarrollan las variables que complementarán la ecuación del riesgo para todos los tipos de fenómenos. En el caso de la exposición, se identificaron los sistemas considerados como críticos para el funcionamiento social; mientras que en vulnerabilidad se despejan aspectos clave de la población para clasificarla en diferentes niveles. Los resultados pueden ser considerados indicadores puesto que, a través de la intervención por medio de medidas de mitigación estructurales y no estructurales, ambas variables pueden disminuir o en su defecto aumentar, resultado que repercute directamente en el nivel de riesgo.

7.2 Zonificación de exposición

En términos de la ecuación general de riesgo, la exposición se refiere a la presencia y cantidad de personas, bienes, infraestructura, servicios y sistemas económicos, sociales y ambientales que pueden verse afectados por un evento peligroso. Es una medida de cuántos elementos valiosos están presentes en la zona de impacto de un peligro.

A través de la consulta de diversas fuentes y su contrastación por reconocimiento visual en ortofotos, se trazaron polígonos aproximados donde se emplazan los bienes, mismos que se clasifican según su naturaleza o funcionamiento a manera de sistemas, noción que nos permite considerar las partes dentro de un todo.

Sistemas expuestos

Desde una perspectiva espacial, los bienes expuestos pertenecen a sistemas sociales por lo que pueden ser clasificados conforme a su funcionalidad. De este modo, para la identificación de esta variable, se capturaron los de mayor importancia para el funcionamiento social en el área de estudio, así como aquellos elementos clave para la gobernanza.

Sistemas seleccionados:

- **Emplazamiento humano**: Todas las manzanas del área de estudio clasificadas por número de habitantes, considerando con mayor exposición las más habitadas.
- **Servicios educativos**: Localización de instalaciones públicas y privadas destinadas a la educación desde preescolar hasta postgrados. La información parte de los datos presentados por IIEG, la SEP Jalisco y el reconocimiento por teledetección. Los polígonos se componen de recortes estimados a partir de las manzanas del SCINCE 2020 (INEGI).
- **Servicios de Salud**: Localización de las instalaciones públicas y privadas destinadas a la atención de la salud con servicios hospitalarios. Su localización parte de CLUES Jalisco.
- **Servicios para el Abasto de Víveres**: Localización de las principales instalaciones públicas y privadas destinadas a la venta de artículos de la casta básica y/o alimentos empaquetados o sin procesar. Se contemplaron los grandes almacenes con infraestructura dedicada a este giro por lo que no se contemplaron pequeños locales de venta al por menor.
- **Servicios Culturales**: Localización de instalaciones públicas y privadas destinada a actividades deportivas, de culto o de espectáculos no digitales. Se seleccionaron espacios donde existen edificios dedicados a estos fines y donde exista una concentración masiva de personas.
- **Servicios de Gobierno**: Localización de instalaciones públicas destinadas al ejercicio de la gobernanza municipal, así como instalaciones de instituciones estatales y federales para la gestión de recursos nacionales.
- **Servicio de Industriales**: Localización de las principales naves o parques industriales de iniciativa privada. Se identificaron a través de teledetección y trabajo en campo.
- **Infraestructura**: Principales vialidades urbanas principales y red de caminos regional, gasolineras y gaseras; pozos y tanques de almacenamiento de agua potable

públicos, PTARs, subestaciones eléctricas regionales y antenas de telecomunicaciones.

- **Tierras comunales**: Las extensiones de tierra comunal conforme a los ejidos, con base en el RAN.
- **Tierras Ejidales**: Las extensiones de tierra ejidal destinada principalmente a la producción agrícola, con base al RAN.
- **Cultivos de Aguacate**: Las extensiones de tierra destinada a la agricultura intensiva de aguacate.
- **Cultivos Protegidos**: Extensiones de tierra destinada a la agricultura intensiva protegida.
- **Áreas Naturales Protegidas**: Polígonos establecidos como área natural protegida por un orden de gobierno.
- **Cuerpo de Agua**: Principal cuerpo de agua en el municipio.

Es importante señalar que, para dar tratamiento cartográfico, cada elemento fue trazado de forma de punto y posteriormente en polígono; exceptuando aquellos que por su extensión únicamente pueden ser representados en forma de polígono. Posteriormente, se les realizó un búfer de 15 metros a todas las geometrías para que mantuvieran representatividad en los modelos ponderados de riesgo dado el tamaño de pixel.

El Inventario de bienes expuestos, se complementa con la determinación del nivel de riesgo en el siguiente apartado, para lo cual los polígonos, exceptuando las vialidades y superficies mayores como las ANP y el vertedero municipal, se trabajaron como puntos a partir de sus respectivos centroides.

Determinación de nivel de exposición

Las capas vectoriales de los respectivos sistemas, fueron procesadas en un modelo ponderado como en anteriores ocasiones, para el cual se consideraron los siguientes valores en jerarquía de importancia para la supervivencia humana y funcionamiento de servicios básicos.

Tabla 119. Valores de ponderación de sistemas expuestos

Tipo	Variable	Valor	%
Urbano	Servicios Educativos	3	10.0%
	Servicios de Salud	5	10.0%
	Servicios de Gobierno	5	10.0%

	Infraestructura	5	10.0%
	Servicios para el Abasto de Víveres	4	5.0%
	Servicios Culturales	2	2.5%
	Servicios Industriales	1	2.5%
Demográfico	Emplazamiento Humano (Densidad)	-	10.0%
	Baja	2	
	Media	3	
	Alta	4	
	Muy Alta	5	
	Sin Dato	1	
Ambiental	Cuerpo de Agua	5	10.0%
	ANP	5	10.0%
Rural	Tierras Comunales	1	5.0%
	Tierras Ejidales	1	5.0%
	Cultivo de Aguacate	1	5.0%
	Cultivos Protegidos	1	5.0%
Total			**100%**

Fuente: Elaboración propia.

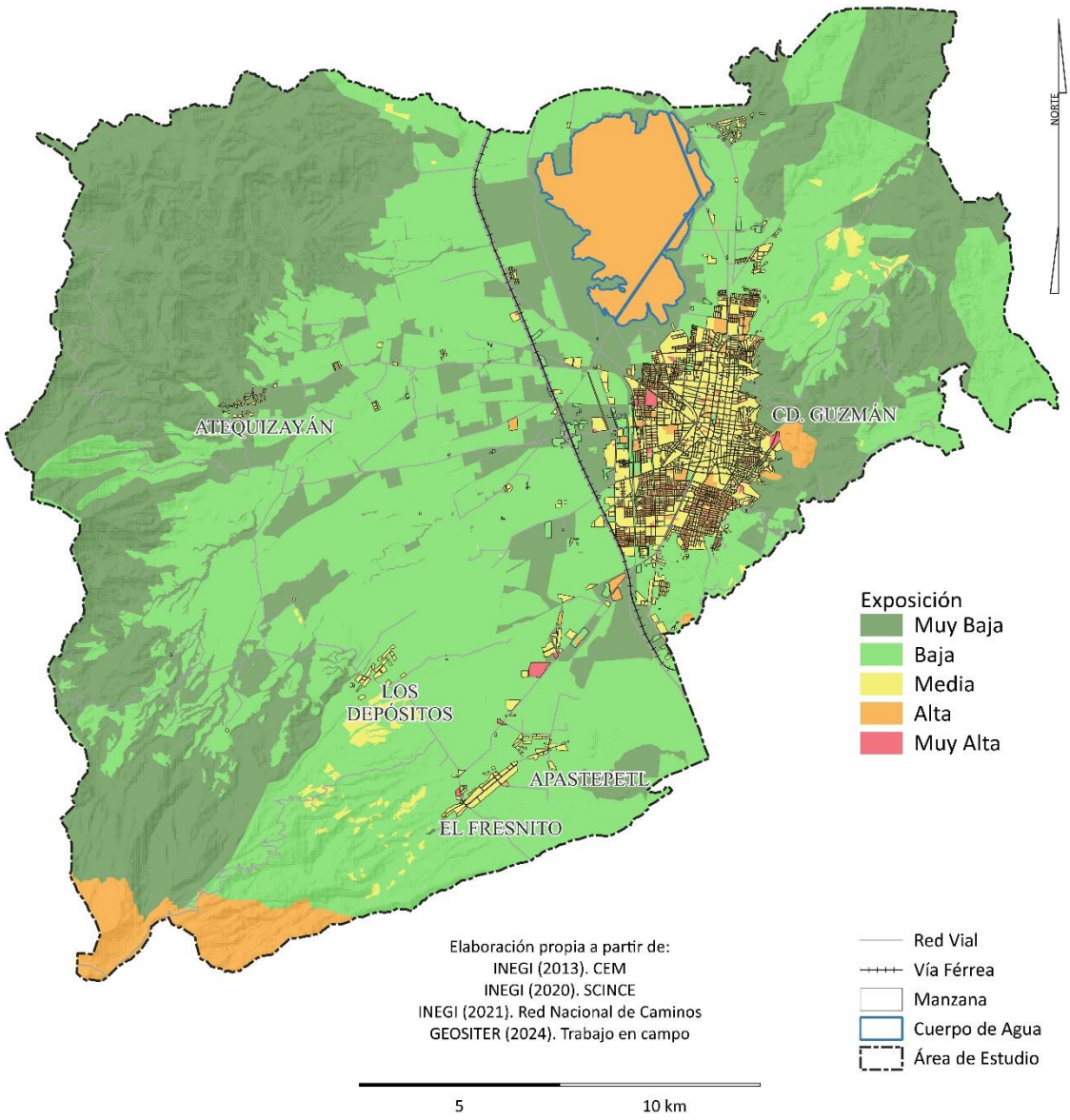
A nivel municipal, destacan sitios de interés ecológico como la Laguna de Zapotlán y las ANP´s con un nivel Alto, así como varias manzanas dispersas debido a la concentración de infraestructura. En general, los asentamientos humanos mantienen un nivel Medio mientras que las parcelas agrarias oscilan entre Bajo y Muy Bajo.

Particularmente el nivel Muy Alto tiene poca presencia en el área de estudio, con apenas 67 hectáreas dispersas en manzanas dentro de las zonas urbanizadas. Esto permite entender que los escenarios de siniestros tienen pocas probabilidades de desencadenar escenarios catastróficos donde existan repercusiones graves en la infraestructura de servicios.

Tabla 120. Cobertura por nivel de exposición

Exposición	Superficie en hectáreas	Porcentaje de superficie
Muy Baja	16,312.50	41.39
Baja	18,548.33	47.06
Media	1,715.08	4.35
Alta	2,772.45	7.03
Muy Alta	67.50	0.17

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 129. Exposición
Fuente: Elaboración propia.

7.3 Vulnerabilidad

Para el cálculo de la vulnerabilidad social y física, es necesario contar con una descripción estadística con escala de precisión a nivel manzana, par lo que se requiere que existan fuentes que aseguren esta información.

Para la unidad espacial de estudio seleccionada, no existen instituciones públicas a nivel estatal o federal de datos abiertos que genere esta información. Únicamente en el SCINCE 2020 de INEGI, existen datos geoestadísticos a nivel manzana con descripciones demográficas y de vivienda; sin embargo, la escala a la que se perfiló esta información es a nivel AGEB, por lo que existe un amplio margen de error estadística e incluso geométrico.

Por otro lado, en el municipio no se cuentan con bases de datos que permitan suplir esta información o complementarla. Por lo que los cálculos de la vulnerabilidad social y física convencionales cuentan con rezagos metodológicos que podrán ser resanados únicamente con el levantamiento de información vivienda por vivienda en toda el área de estudio, alcance que no se consideró para el presente proyecto.

Sin embargo, para complementar la metodología descrita por CENAPRED en virtud de llegar a los mejores resultados posibles con las herramientas disponibles, hemos desarrollado el cálculo de un tercer tipo de vulnerabilidad a partir de los resultados obtenidos en el Atlas de Ixtlahuacán de los Membrillos (Geositer, 2022) y de los modelos de accesibilidad del Atlas de Tepatitlán de Morelos (Geositer, 2021).

La vulnerabilidad espacial se presenta a partir del cálculo de isócronas para generar indicadores espaciales que permitan identificar un nivel de vulnerabilidad a partir de una variable ausente en la metodología de CENAPRED: el tiempo-espacio; como se describirá más adelante.

De este modo, este módulo concentra la información rescatada de las mejores fuentes públicas disponibles, el trabajo en campo, el trabajo con la sociedad a través de los talleres participativos y modelos ponderados en sistemas de información geográfica.

Vulnerabilidad social

Para este cálculo se utiliza la siguiente fórmula indicada por SSYPC (2006: 142) aplicada por localidad, conforme a las tablas de valores señaladas en el mismo documento, como se muestra a continuación:

$$GVS = (R1*.50) + (R2*.25) + (R3*.25)$$

Donde el Grado de Vulnerabilidad Social (GSV) se obtiene a partir de la ponderación al 50% del Resultado de Indicadores Socioeconómicos (R1); más la ponderación al 25% del Resultado del cuestionario de capacidad de prevención y respuesta (R2); así como del 25% restante para el Resultado del cuestionario de la percepción local del riesgo (R3).

El valor de R1 se obtuvo a partir de a reclasificación de los niveles socioeconómicos descritos en el Caracterización Social. Para el caso de Zapotlán el Grande, R2 se considera todo lo que comprende la cobertura de servicios de la UMPCYB, una vez aplicado el cuestionario, con reconocimiento de evidencias, se tiene una Capacidad de prevención y respuesta Muy Alta, lo que significa un valor asignado igual a 0.

La aplicación de la encuesta para la percepción local de peligros, el valor R3, implica dificultades que exceden los alcances del estudio e incluso a las propias capacidades del municipio de convocatoria y consulta de la ciudadanía en general. Por lo que, aunque se generó un formato digital para facilitar su difusión y aplicación, este no obtuvo respuestas satisfactorias con las que se pueda identificar un grado de representatividad a escala de localidad.

Se obtuvieron 73 respuestas donde el 78% eran de la cabera municipal, el 9.6% de Atequizayán con una muy baja participación de El Fresnito. Sin embargo, al desglosar los resultados por cuestionario, solamente 56 contienen información de calidad. Por lo que, para sustituir este indicador, se optó por utilizar los resultados de los Talleres de cartografía participativa como medida de identificación de fenómenos peligrosos por localidad.

De esta forma, se logró identificar la vulnerabilidad social por tipos de fenómeno y de manera general para toda el área de estudio, logrando una diferenciación categórica a nivel de manzana, como se observa a continuación. Los resultados se mantuvieron relativamente bajos dada la concientización de incidencia de fenómenos perturbadores y al nivel de preparación de la UMPCyB respecto a los planes preventivos y reactivos.

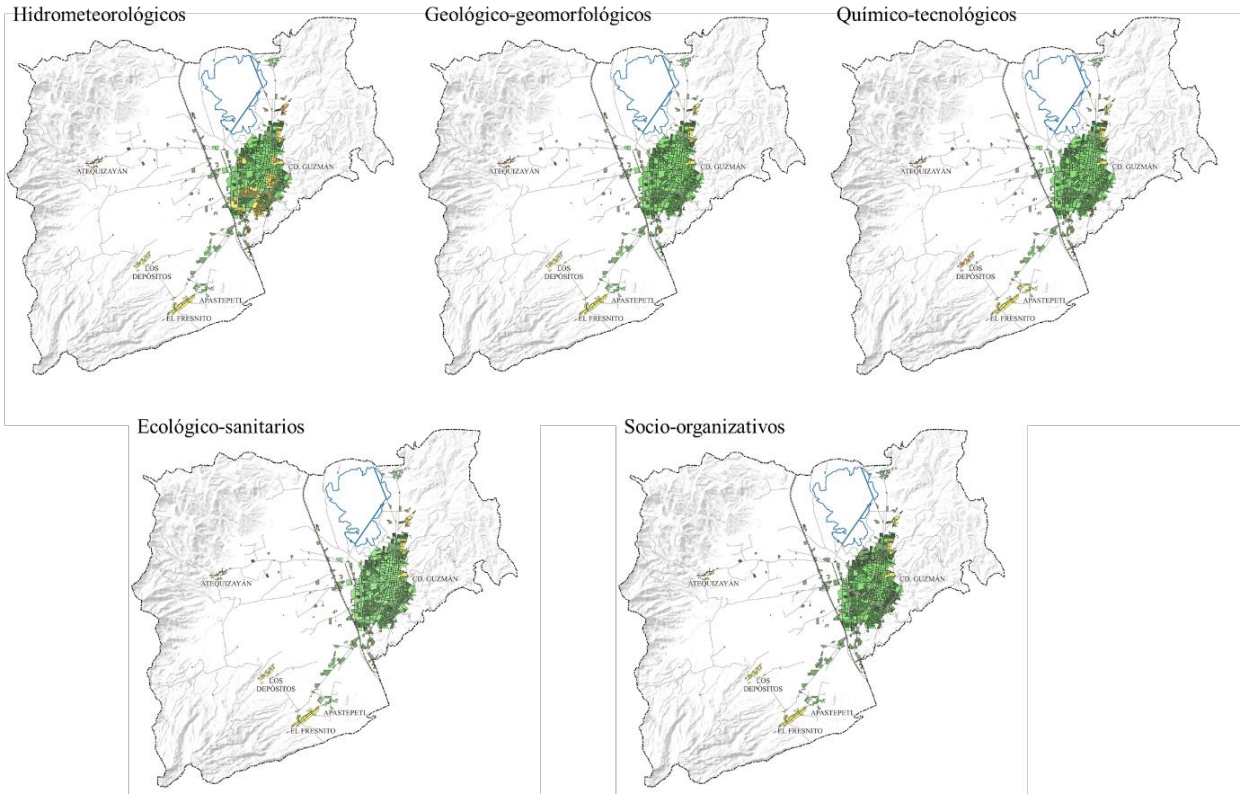
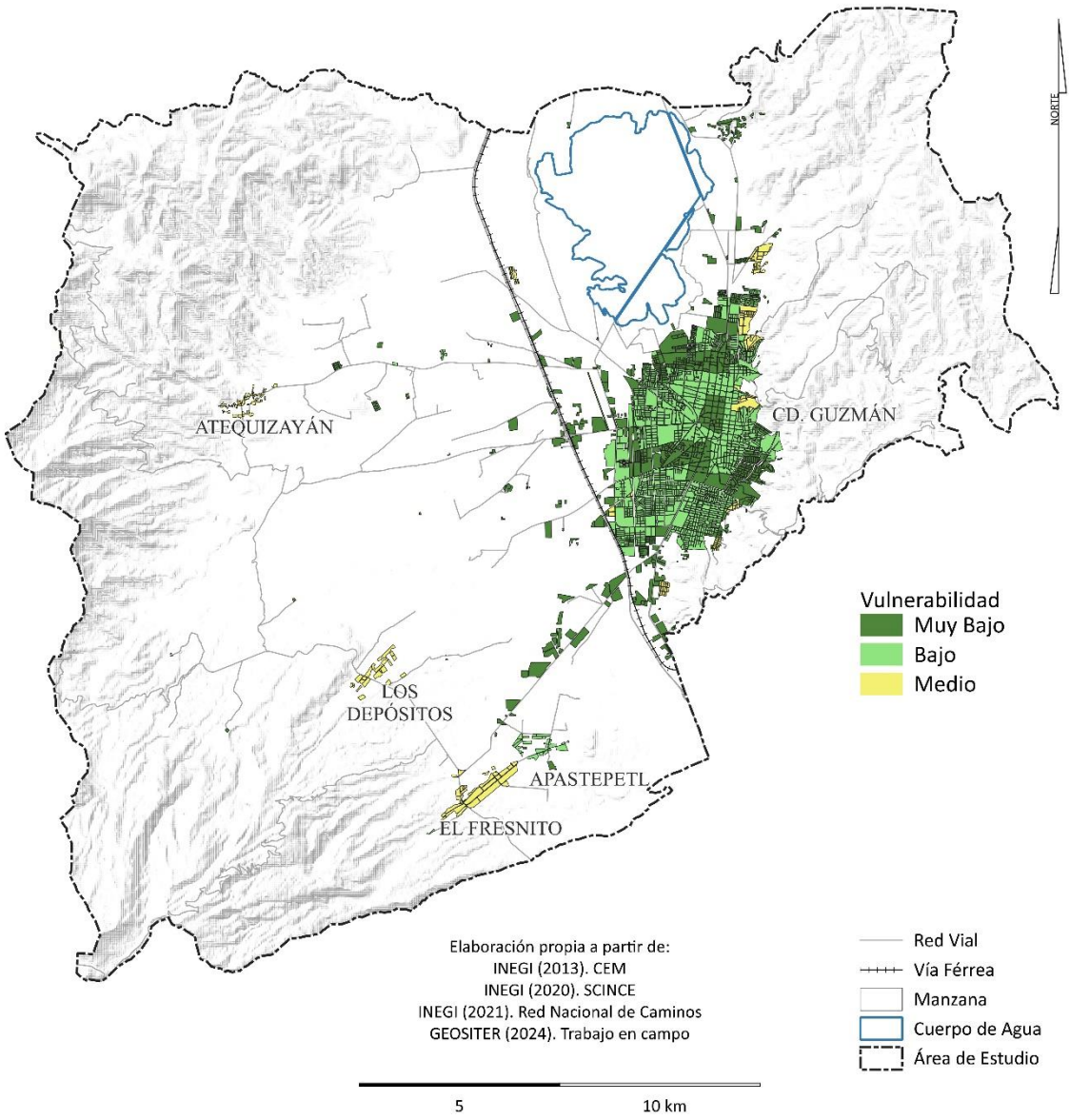


Figura 136. Vulnerabilidad social por tipo de fenómeno
Fuente: Elaboración propia.

Como nota aclaratoria, el cálculo de la vulnerabilidad física, como es referido en la Guía de Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social (SSPC, 2006), no se ha logrado desarrollar debido a la falta de datos estructurales a nivel manzana en todo el municipio. Por lo que este alcance queda fuera del proyecto al considerar los costos de tiempo y recursos que un levantamiento de este tipo implica.

Por otro lado, los materiales de construcción en las áreas urbanas y rurales mantienen cierta semejanza, por lo que, dentro del área de estudio, no se observaron viviendas de materiales endebles como lámina o cartón. Independientemente del nivel económico, el sistema constructivo se basa en la utilización de tabique, cemento y varillas confinadas, hecho que hace que se reduzcan las vulnerabilidades a sismos y rachas de viento o tormenta. Como lo mencionaron las personas de los talleres, desde el temblor de 1985 no se han dado casos donde edificios se vean severamente dañados por sismos.



Mapa 130. Vulnerabilidad social
Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad espacial

El factor de la distribución espacial de los servicios es determinante para los tiempos de repuesta y, por lo tanto, una accesibilidad real en casos de desastre. Este factor pasa desapercibido en las guías de contenidos mínimos de Atlas de Riesgo, por lo que su incorporación al modelo es a manera de propuesta propia del equipo de trabajo. Para el cálculo de esta variable se realizó a través de la generación de cronopletas, las cuales, son líneas cartográficas que une todos los puntos que pueden alcanzarse en el mismo periodo de tiempo desde un punto de origen determinado.

Esto permite visualizar la accesibilidad temporal, facilitando la evaluación de la eficiencia y cobertura de los servicios de emergencia, de salud y de la infraestructura que conecta el interior del municipio. Para el cálculo se implementó el plug-in TravelTime de Qgis, con una configuración orientada a presentar el horario de tráfico vial más congestionado estimado: un día viernes laboral a las 18 hrs.

Se generaron polígonos de 5, 10 y 30 minutos entorno a los servicios de salud públicos y privados con capacidad de atención hospitalaria y sala de emergencias; servicios de rescate; servicios de seguridad pública y en los principales entronques con las vialidades regionales.

Se observa que los servicios de salud y entronque vial son los que tienen mayor cobertura en una cronopleta de 5 minutos, mientras que los de seguridad son los peor calificados considerando su base como punto de salida. Por otro lado, todos los servicios cubren las principales localidades del área de estudio en un tiempo aproximado de 30 minutos de respuesta. Estos valores, conforme se mejore la infraestructura vial y los sitios de servicio, mejorarán para lograr aminorar los tiempos de respuesta.

Tabla 121. Cobertura espacial de los servicios

Servicios de Salud		**Servicios de Rescate**	
Min	**Superficie (ha)**	**Min**	**Superficie (ha)**
5	2,531.25	5	1,731.70
10	5,474.25	10	4,404.43
30	20,045.86	30	20,154.64
Servicios de Seguridad		**Entronque vial**	
Min	**Superficie (ha)**	**Min**	**Superficie (ha)**
5	510.66	5	2,442.48
10	3,413.58	10	5,752.61
30	21,393.86	30	19,191.43

Fuente: Elaboración propia.

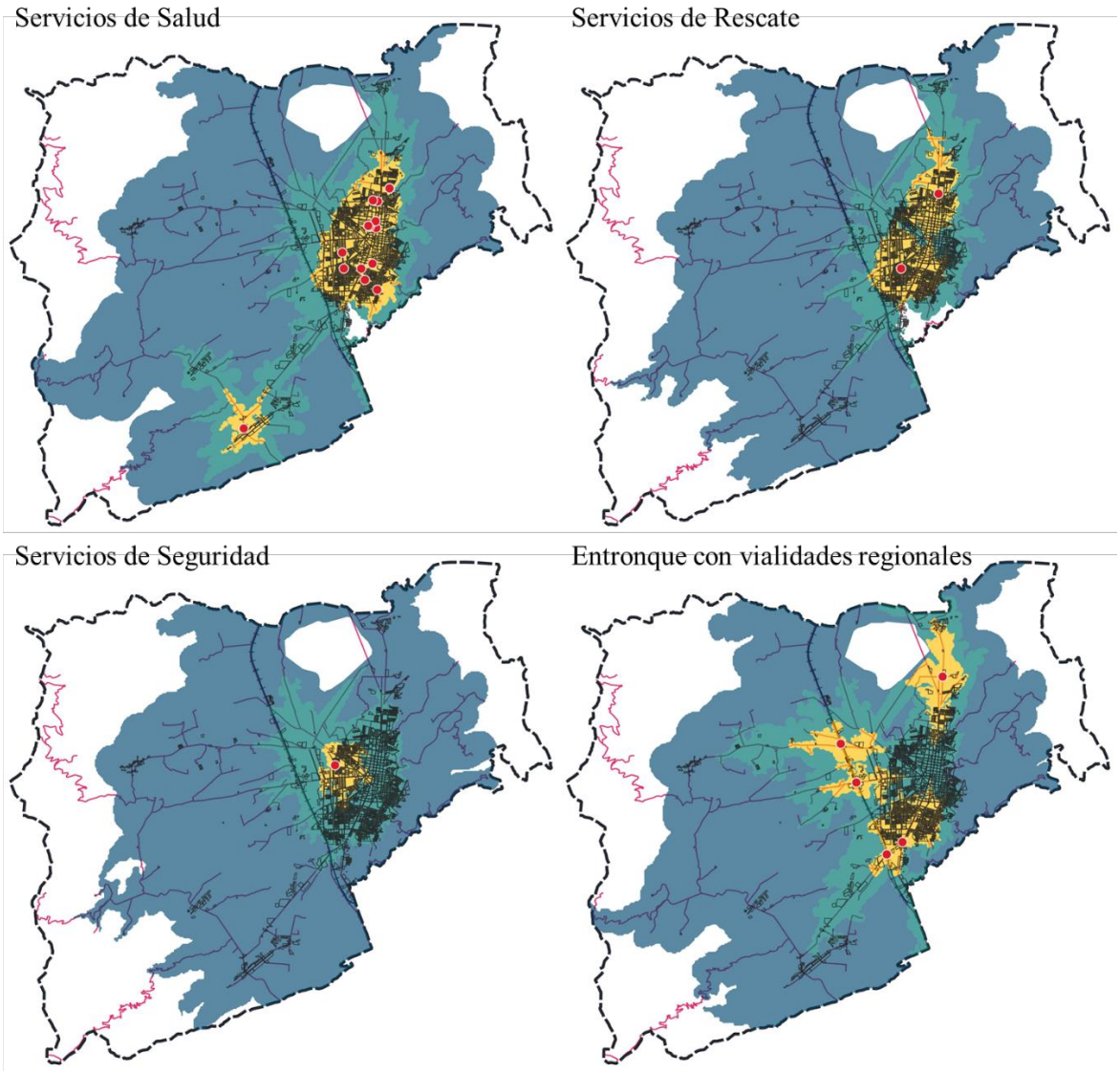


Figura 137. Cronopletas de accesibilidad por servicio
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, estas variables se conjuntaron en un modelo ponderado con los siguientes valores:

Tabla 122. Valores del modelo de vulnerabilidad espacial

Cronopleta	Valor	%
Servicios de Salud		25
Cronopleta 5 min	5	
Cronopleta 10 min	4	
Cronopleta 30 min	1	
Servicios de Rescate		25
Cronopleta 5 min	5	
Cronopleta 10 min	4	
Cronopleta 30 min	1	
Servicios de Seguridad		25
Cronopleta 5 min	5	
Cronopleta 10 min	4	
Cronopleta 30 min	1	
Entronque de Vialidades		25
Cronopleta 5 min	5	
Cronopleta 10 min	4	
Cronopleta 30 min	1	

Fuente: Elaboración propia.

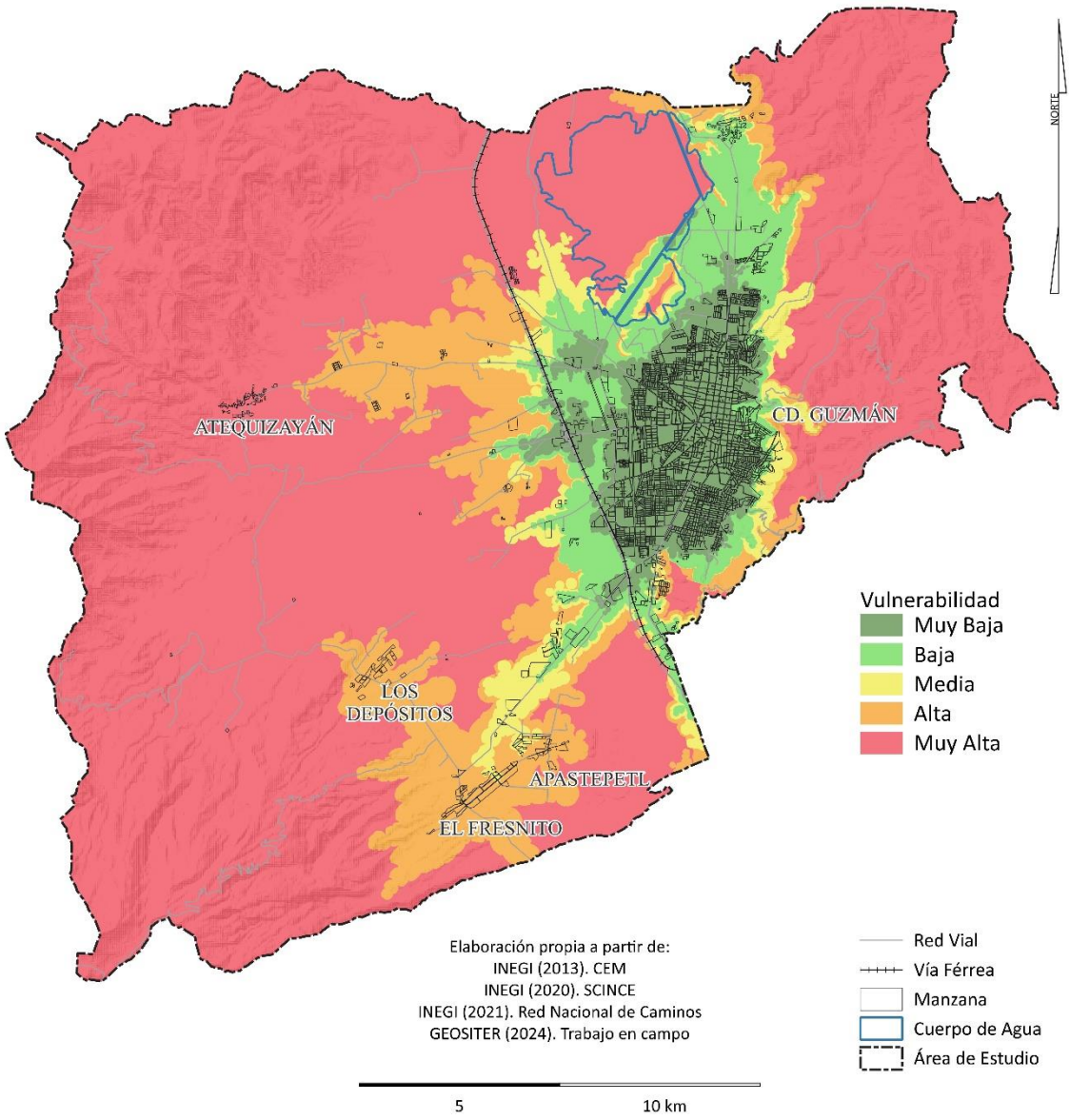
De esta forma, este fenómeno se comporta de manera inversa a los resultados del nivel de exposición, es decir, a medida de menor infraestructura y servicios, se tiene un aumento de la vulnerabilidad espacial.

Se observa que Ciudad Guzmán es la única localidad que en su totalidad goza de un buen nivel de atención, caso contrario a Atequizayán donde se presenta el valor Muy Alto. Mientras que, para Los Depósitos, El Fresnito y Apastépetl se encuentran en Alto. Esta información se corroboró en campo, donde los habitantes señalaron que brigadistas voluntarios de cada localidad, suelen ser los primeros en responder emergencias.

Tabla 123. Cobertura por nivel de vulnerabilidad espacial

Vulnerabilidad	Superficie en hectáreas	Porcentaje de superficie
Muy Baja	2,600.53	6.60
Baja	2,369.76	6.01
Media	1,424.49	3.61
Alta	4,469.47	11.34
Muy Alta	28,551.53	72.44

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 131. Vulnerabilidad espacial
Fuente: Elaboración propia.

Determinación y cuantificación del riesgo

8.1 Introducción

Como se aludió en el capítulo de caracterización, el riesgo se evalúa considerando la probabilidad de que ocurra un desastre cuyas afectaciones pueden ser cuantificadas en pérdidas humanas, de infraestructura y/o económicas. La determinación y zonificación del riesgo es indispensable para la elaboración de planes de emergencia, y para una óptima proyección de desarrollo u ordenamiento territorial.

El riesgo se calcula mediante la utilización de 3 variables, las cuales pueden componerse de varias capas cada una:

Riesgo = Peligro × Exposición × Vulnerabilidad[8]

Hablando en términos generales, la mayoría de los Atlas de Riesgos en México no llegan a calcular el nivel de riesgo; solamente presentan el inventario de peligros sin abordar propiamente la zonificación y cuantificación del peligro, la vulnerabilidad, ni la exposición.

Para este trabajo de investigación, la variable Peligro se tomó en cuenta a través de los diversos modelos ponderados de zonificación de peligro (véanse los 5 módulos de peligro), los cuales fueron sujetos a este tratamiento por considerarse los fenómenos más significativos en el municipio. Por su parte, para la variable Exposición, se consideraron los sistemas expuestos; mientras que para la Vulnerabilidad se emplearon los modelos de vulnerabilidad espacial y los 5 temáticos de vulnerabilidad social (véase el módulo anterior: Exposición y Vulnerabilidad).

Al igual que los modelos ponderados de capítulos anteriores, los resultados se clasificaron en 5 estratos cualitativos: de Muy Bajo a Muy Alto, con el objeto de que su lectura fuera de mayor utilidad en la planeación territorial. No obstante, si se requiere una lectura más detallada, se incluyen los modelos raster previos a su clasificación en intervalos cualitativos, en el anexo SIG de este proyecto.

De manera preambular, cabe señalar el patrón espacial donde se denota la carencia de servicios de atención e infraestructura fuera de Ciudad Guzmán. Asimismo, resaltan en prácticamente todos los modelos por su importancia ambiental la Laguna de Zapotlán y el Área Natural Protegida al sur del municipio: el “Bosque Mesófilo Nevado de Colima”, dictaminado como ANP por SEMADES-SEDER, 2009.

Ello no significa que en estas zonas se presente cierto fenómeno específico, para tal comportamiento es preciso referirse a los modelos de peligro expuestos en los capítulos previos; lo que la zonificación de riesgo representa son las áreas que resultarían afectadas midiendo tal magnitud por la confluencia de la susceptibilidad o probabilidad de ocurrencia del fenómeno, en conjunto con la presencia de sistemas o elementos que pueden afectarse si

[8] Ecuación general del riesgo

el fenómeno ocurre, además de qué tan vulnerable es el espacio analizado, una vez que el percance se presenta.

Lo anterior se traduce, por ejemplo, en que, si un fenómeno peligroso llegara a afectar la localidad de Atequizayán, a pesar de ser poco probable de ocurrir de acuerdo a la determinación de la peligrosidad, éste causaría grandes estragos, ya que tal emplazamiento tiene poca capacidad de respuesta ante el embate de dicho fenómeno.

De esta forma, se presentan a continuación 12 modelos de riesgos: 8 por un fenómeno peligroso específico; 3 que conjuntan un sistema de fenómenos interrelacionados; y 1 de riesgo total, que engloba los otros 11 modelos. Para cada uno, se desglosan las capas usadas en su construcción, se expone el mapa que muestra su zonificación en los estratos cualitativos mencionados previamente, y se muestra el resultado cuantitativo de esta zonificación en valores absolutos y relativos.

Cada variable de la ecuación del riesgo representa la tercera parte de la explicación del fenómeno; al tener dos tipos de vulnerabilidad, cada una aporta la mitad de este porcentaje. Teniendo así, que el peligro aporta la tercera parte; los sistemas expuestos otro 33.33%; y el resto se divide equitativamente entre la vulnerabilidad social temática y la vulnerabilidad espacial.

8.2 Riesgo por tipo de fenómeno

Riesgo meteorológico

Debido al modelo empleado en la construcción del peligro meteorológico, éste es nulo en la zona de la Laguna Zapotlán, por lo que el riesgo meteorológico es uno de los pocos tópicos donde este cuerpo de agua presenta Riesgo Bajo.

Del mismo modo se aprecia la tendencia de Riesgo Bajo y Muy Bajo en zonas con poca pendiente destinadas al cultivo al centro del municipio, así como en la parte occidental de la cabecera. La parte sur del municipio, por el contrario, es donde se concentran las superficies de Riesgo Alto y Muy Alto, resaltan también algunos parches de estas clases al nororiente del territorio.

Tabla 124. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo meteorológico

Variable	Peso (%)
Peligro Meteorológico	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Hidrometeorológica	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 125. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo meteorológico

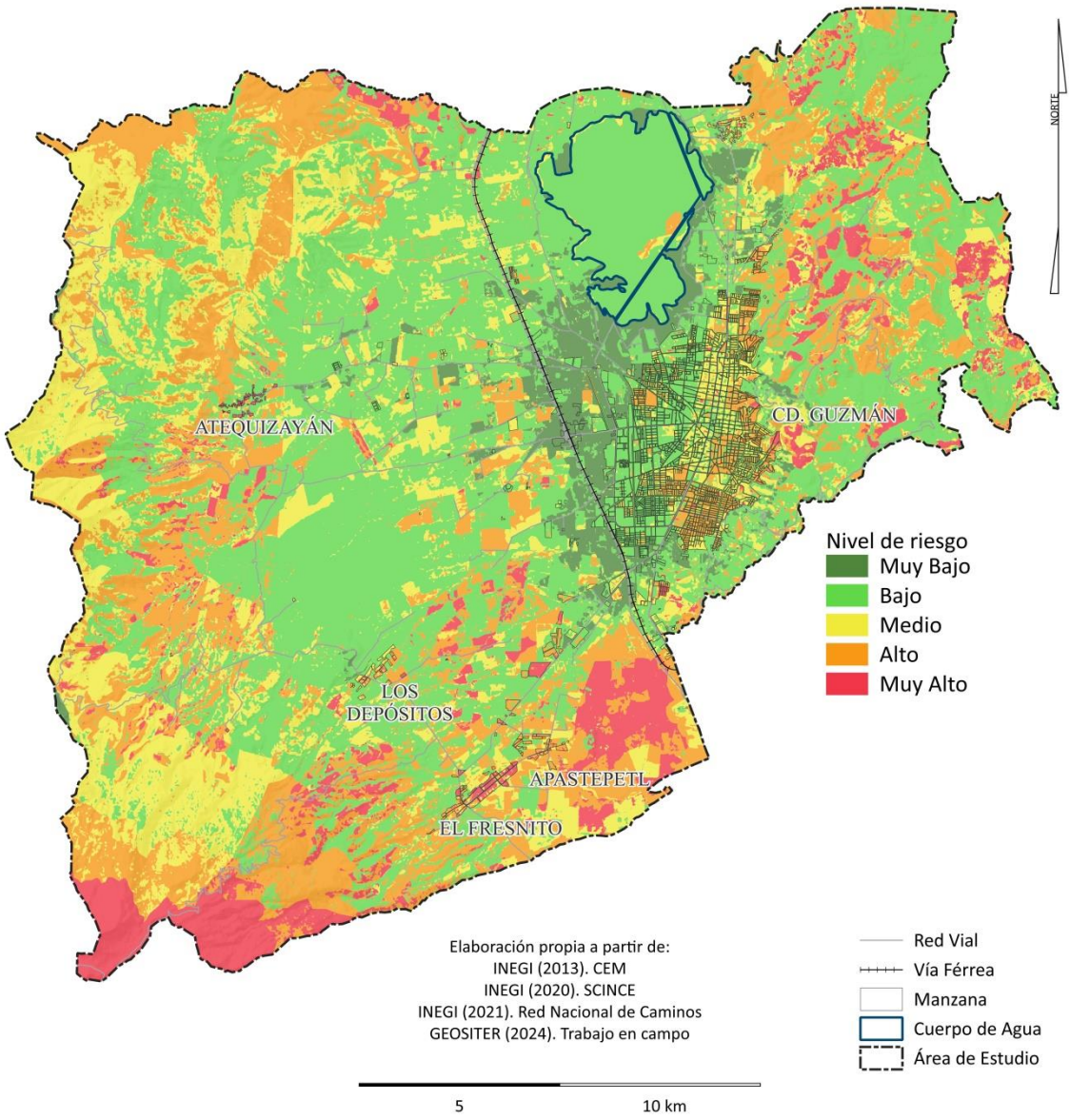
Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	2,089.16	5.30
Bajo	18,083.16	45.88
Medio	7,339.71	18.62
Alto	8,916.88	22.62
Muy Alto	2,986.87	7.58

Fuente: Elaboración propia.

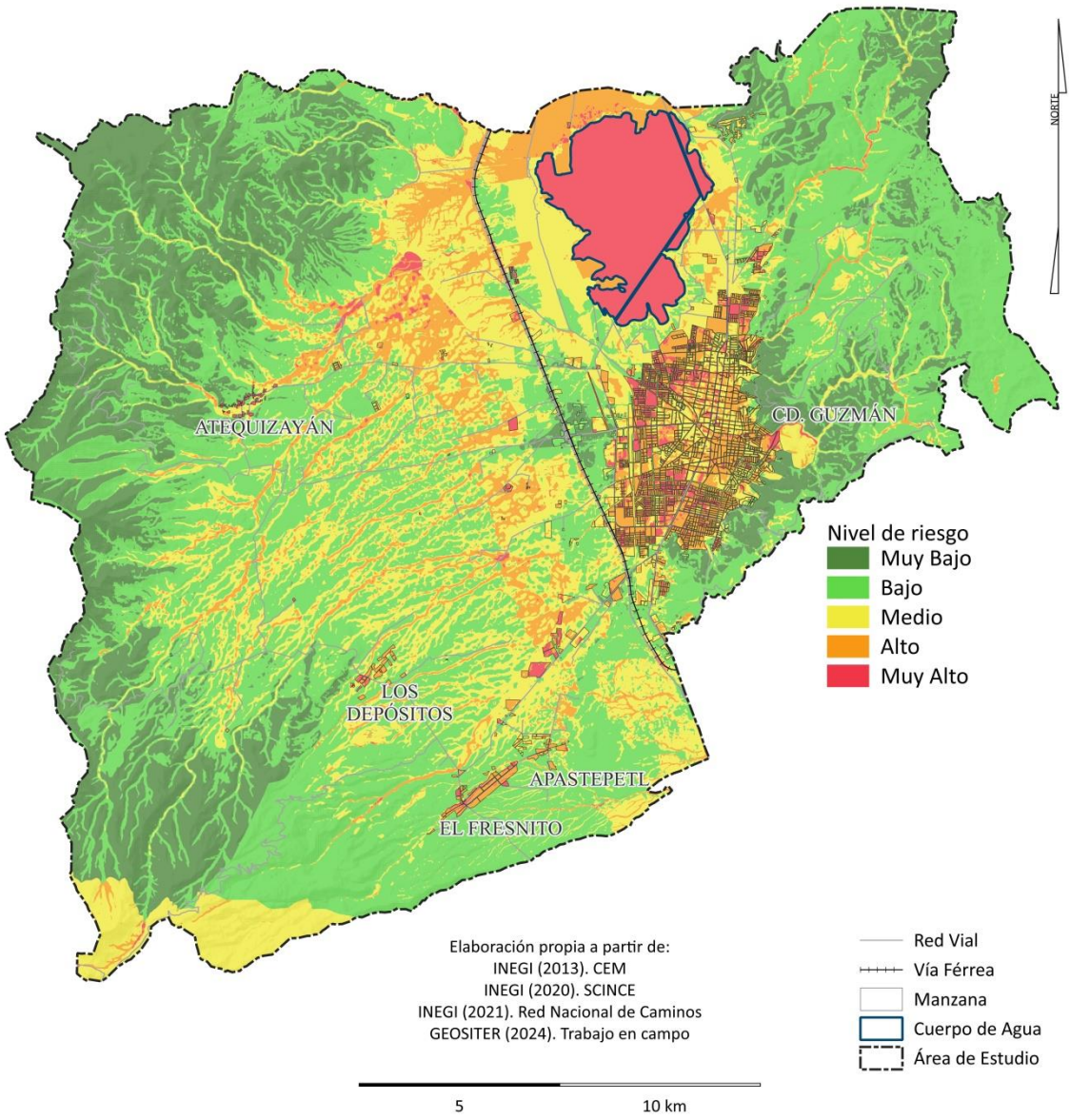
Riesgo por inundaciones

Se denota el patrón generado por la escorrentía laminar en las partes de generación y transporte de la red hidrológica como zonas de Riesgo y Alto; no obstante, éstas no alcanzan valores Muy Altos al no intersectarse con sistemas expuestos. Tal categoría en este modelo aparece en algunas superficies cóncavas relativamente pequeñas en la parte central del municipio, donde comienzan los procesos de depositación del flujo superficial, así como en la Laguna Zapotlán, por la naturaleza de la misma como cuerpo de agua.

Además, la clase de Riesgo Muy Alto se presenta en asentamientos humanos, tanto en partes vulnerables de la cabecera, como en las localidades del interior del municipio. Al ser el riesgo por inundaciones, uno de los rubros más importantes por las características del territorio en cuestión, se recomienda consultar el SIG anexo para observar los detalles de la zonificación cualitativa; lo que ayudará a determinar con exactitud las zonas a intervenir por parte de las autoridades pertinentes.



Mapa 132. Zonificación de riesgo meteorológico
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 133. Zonificación de riesgo por inundaciones
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 126. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo por inundaciones

Variable	Peso (%)
Peligro por Inundaciones	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Hidrometeorológica	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 127. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo por inundaciones

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	8,114.05	20.59
Bajo	17,180.88	43.59
Medio	8,389.13	21.28
Alto	3,792.13	9.62
Muy Alto	1,939.59	4.92

Fuente: Elaboración propia.

Riesgo por deslizamientos

Este tipo de riesgo presenta las clases más altas en zonas donde el relieve es escarpado, como es el caso al noroeste de la cabecera, además de las superficies con alto valor medioambiental como el caso del Parque Ecológico Las Peñas, aledaño al oriente de la cabecera, el ANP al sur del municipio y la Laguna Zapotlán. Al igual que en varios otros modelos, se aprecia riesgo Alto y Muy Alto en las 4 localidades del interior municipal.

Tabla 128. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo por deslizamientos

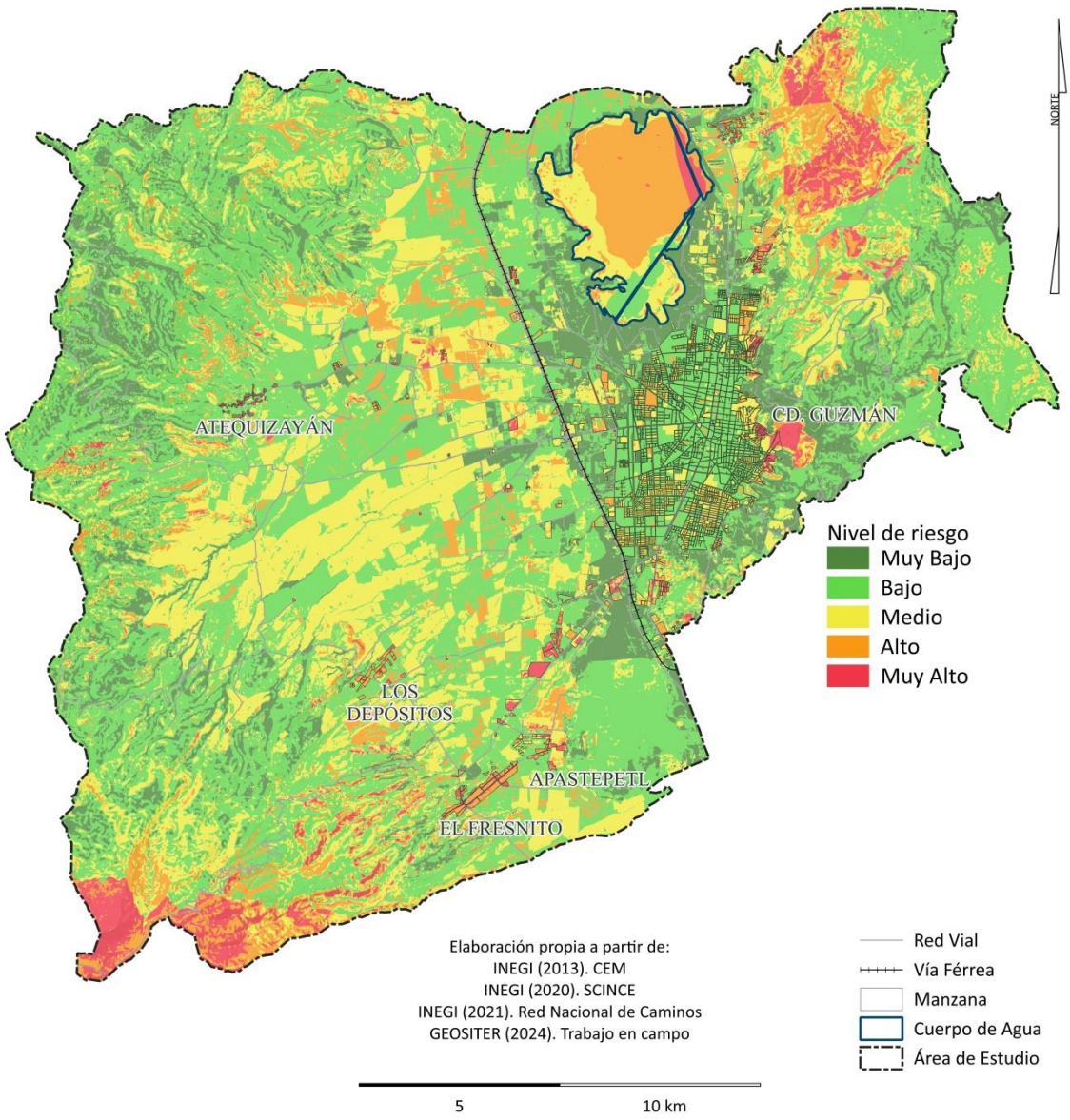
Variable	Peso (%)
Peligro por deslizamientos	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Geológica-geomorfológica	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 129. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo por deslizamientos

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	5,713.59	14.50
Bajo	18,766.09	47.61
Medio	9,257.33	23.49
Alto	4,253.82	10.79
Muy Alto	1,424.78	3.61

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 134. Zonificación de riesgo por deslizamientos
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo por flujos por procesos gravitacionales

Esta tipología, cuya incepción está asociada a los cauces de orden medio de la red hidrográfica, es decir, aquellos encargados del transporte de la escorrentía y sedimentación fluvial, denota la presencia de Niveles de Riesgo elevados primordialmente en tales superficies, por lo que las clases de riesgo Alto y Muy Alto, sólo cubren el 10% del total del municipio. Complementando dichas zonas, el riesgo elevado se muestra también en las superficies donde intersectan sistemas expuestos de alto valor ambiental con vegetación densa.

Como se explicó en su respectivo apartado de peligros, el desborde de estos cauces, por procesos de insuficiencia pluvial, es exacerbado en la zona de estudio por la presencia generalizada de ollas captadoras; así, a pesar de no ser un riesgo muy prolífico en el contexto de extensión territorial, sí tiene una presencia significativa en el territorio municipal debido a las características señaladas, que permean en Zapotlán El Grande.

Tabla 130. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo por flujos por procesos gravitacionales

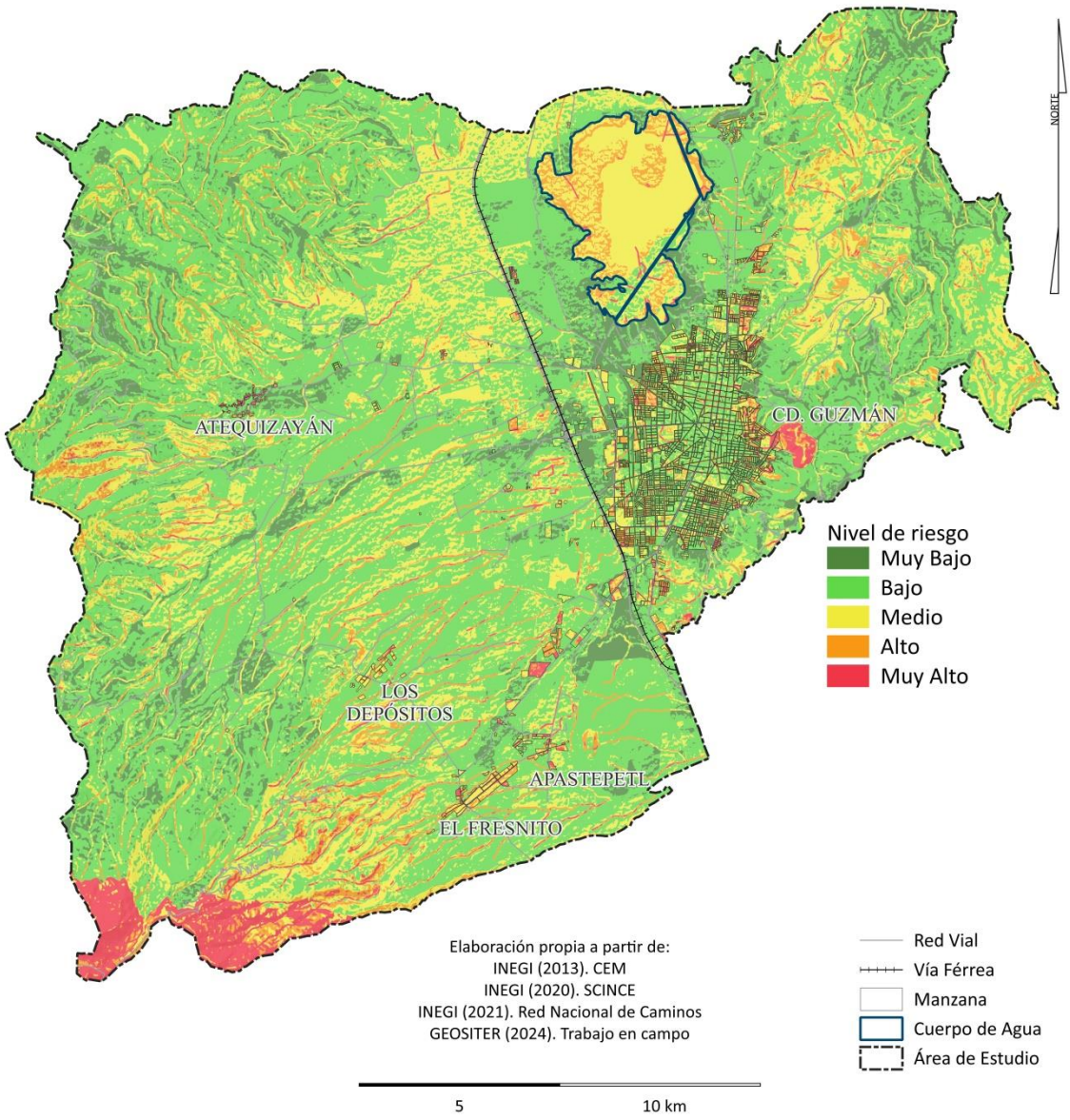
Variable	Peso (%)
Peligro por flujos por procesos gravitacionales	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Geológica-geomorfológica	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 131. Zonificación de riesgo por flujos por procesos gravitacionales

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	4,445.35	11.28
Bajo	22,301.63	56.58
Medio	8,671.94	22.00
Alto	2,706.58	6.87
Muy Alto	1,290.11	3.27

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 135. Zonificación de riesgo por flujos por procesos gravitacionales
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo por caídos y derrumbes

Como su nombre alude, el fenómeno de derrumbes está asociado a la caída de material sólido de zonas que poseen una pendiente pronunciada, por catalizadores muy particulares como la saturación del suelo, sismicidad y fallamiento.

Las extensiones municipales que, por sus características, más se ven afectadas por estos procesos, se localizan al oeste y noreste del territorio, siendo así las que destacan en este modelo como las zonas de mayor riesgo. En términos cuantitativos, resalta que más del 80 % de la superficie de estudio, tiene un Riesgo Bajo y Muy Bajo a este tipo de fenómeno.

El Riesgo Alto y Muy Alto tiene poca presencia en la cabecera, a pesar de presentarse en las localidades del interior del municipio debido, como ya se ha mencionado, a la alta vulnerabilidad existente en estos asentamientos.

Tabla 132. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo por caídos y derrumbes

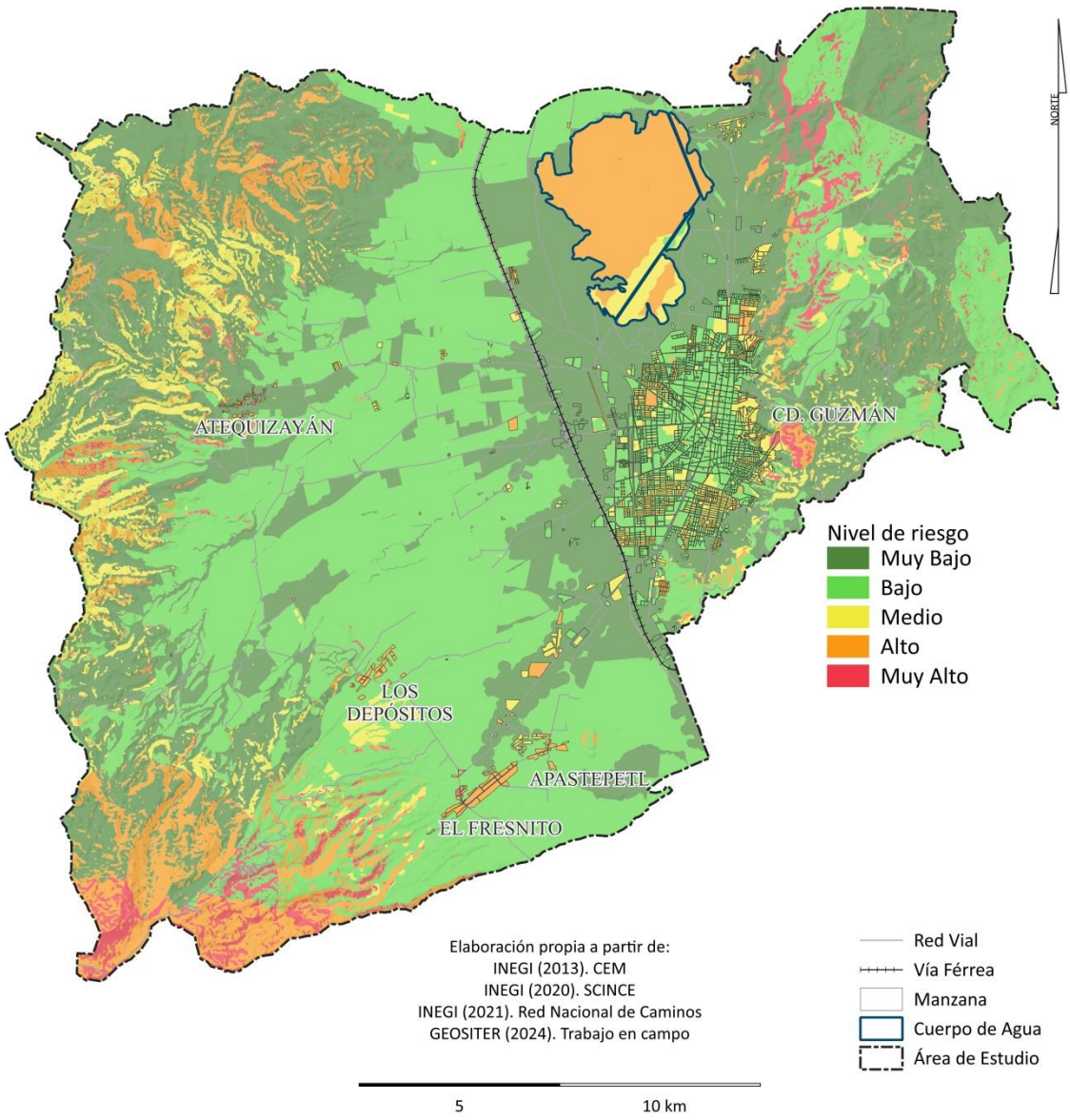
Variable	Peso (%)
Peligro por caídos y derrumbes	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Geológica-geomorfológica	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 133. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo por caídos y derrumbes

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	15,500.48	39.33
Bajo	16,078.89	40.80
Medio	2,622.81	6.65
Alto	4,138.04	10.50
Muy Alto	1,072.88	2.72

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 136. Zonificación de riesgo por caídos y derrumbes
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo por fallas y fracturas

Este es uno de los modelos de riesgo con mayor definición entre las zonas de Riesgo y aquellas donde no se presenta; así, a pesar de conjuntarse con la exposición y vulnerabilidad, la zonificación del peligro por las fallas y fracturas está tan marcada que el riesgo Alto y Muy Alto prácticamente se comporta del mismo modo que en el modelo de peligro.

Discrepa del referido modelo, la localidad de Atequizayán, en donde, a pesar de no haberse registrado el fenómeno, presenta tanta vulnerabilidad, que, si se llegase a presentar, el desastre sería muy significativo. También destacan en este sentido los ya aludidos elementos de alto valor ambiental, que aquí aparecen con Riesgo Medio.

Tabla 134. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo por fallas y fracturas

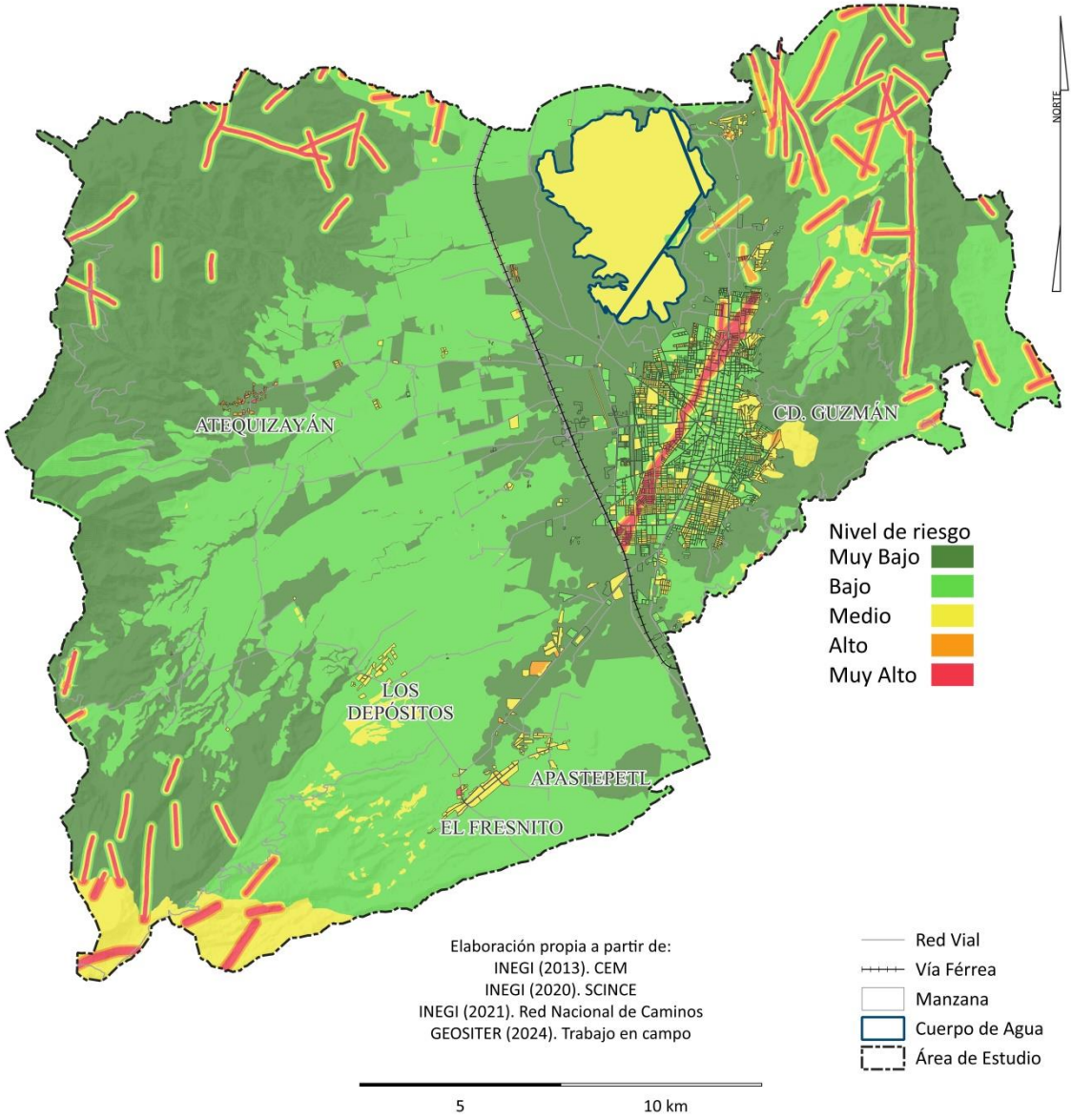
Variable	Peso (%)
Peligro por fallas y fracturas	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Geológica-geomorfológica	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 135. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo por fallas y fracturas

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	17,106.26	43.40
Bajo	16,885.42	42.84
Medio	3,965.73	10.06
Alto	434.25	1.10
Muy Alto	1023.94	2.60

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 137. Zonificación de riesgo por fallas y fracturas
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo químico-tecnológico

Este modelo es condicionado notablemente por las superficies donde se desarrollan actividades antrópicas, específicamente de corte industrial, los emplazamientos de la Carretera El Grullo-Ciudad Guzmán, a la altura de Apastépetl generan un área de Riesgo de nivel Medio a Muy Alto debido al gran volumen de sustancias explosivas almacenadas, especialmente en la empresa Gas Tomza (véase Módulo de Peligro Químico-Tecnológico).

Destaca también el gasoducto y las vías férreas como elementos lineales de transporte de sustancias, así como la zona de Riesgo Muy Alto, que cubre prácticamente todo el norponiente de la cabecera, delimitada al oriente por la superficie del mismo valor que cruza toda la localidad, definida por la falla que abona sobremanera al nivel de peligro químico.

La Laguna Zapotlán y los parques ecológicos al este de Ciudad Guzmán, reciben niveles de Riesgo Químico Alto y Muy Alto, a la vez que el ANP se muestra con valor Alto, lo anterior una vez más explicado por la importancia medioambiental de estos elementos.

Tabla 136. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo químico-tecnológico

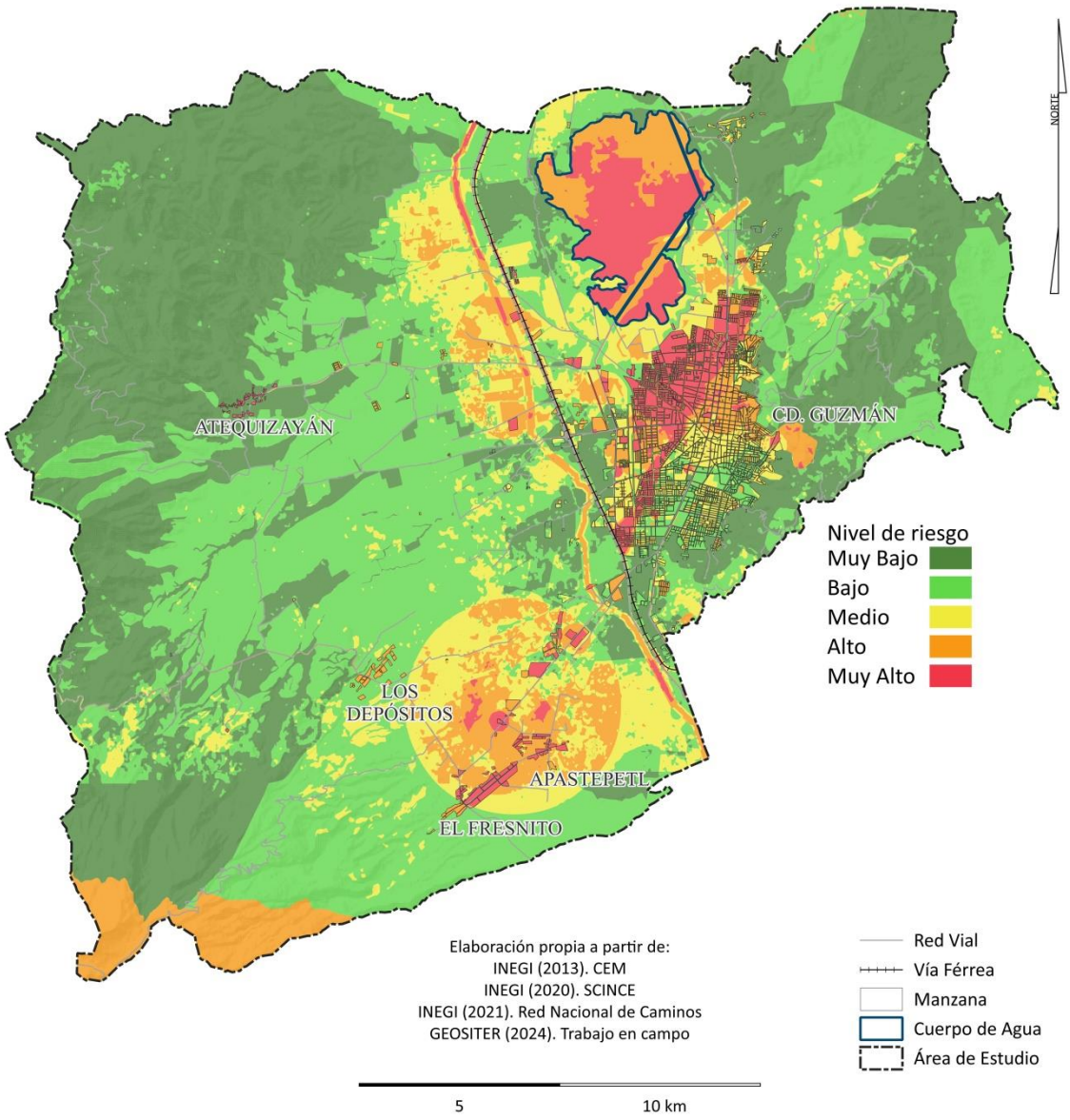
Variable	Peso (%)
Peligro Químico-Tecnológico	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Química-Tecnológica	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 137. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo químico-tecnológico

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	15,178.11	38.51
Bajo	14,485.36	36.75
Medio	4,336.00	11.00
Alto	3,630.48	9.21
Muy Alto	1,785.82	4.53

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 138. Zonificación de riesgo químico-tecnológico
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo por incendios forestales

Inversamente a otros modelos aquí expuestos, el Riesgo por Incendios Forestales está casi ausente en la cabecera municipal, por razones obvias; presentándose mayoritariamente en zonas con vegetación natural o secundaria de sucesión vegetal.

Este modelo es un buen ejemplo de cómo no debe confundirse el Peligro con el Riesgo; ya que si bien es poco probable que un incendio se dé en la Laguna (aunque no imposible, ya que sí posee bastante presencia vegetal), las afectaciones indirectas de un incendio forestal en las inmediaciones pudiesen afectar el ecosistema del cuerpo de agua, de ahí su Nivel de Riesgo Medio.

La superficie en la esquina noroeste del área de estudio se muestra con valor Muy Bajo debido a que en esta zona no se obtuvieron datos para correr el modelo de Susceptibilidad a Incendios (véase módulo de fenómenos ecológico-sanitarios). No obstante, se optó por no recortar el área geográfica del análisis de riesgo para que todos los modelos estuvieran homogeneizados en tal aspecto, y como tal pudieran ser abonados al de Riesgo Total.

Tabla 138. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo por incendios forestales

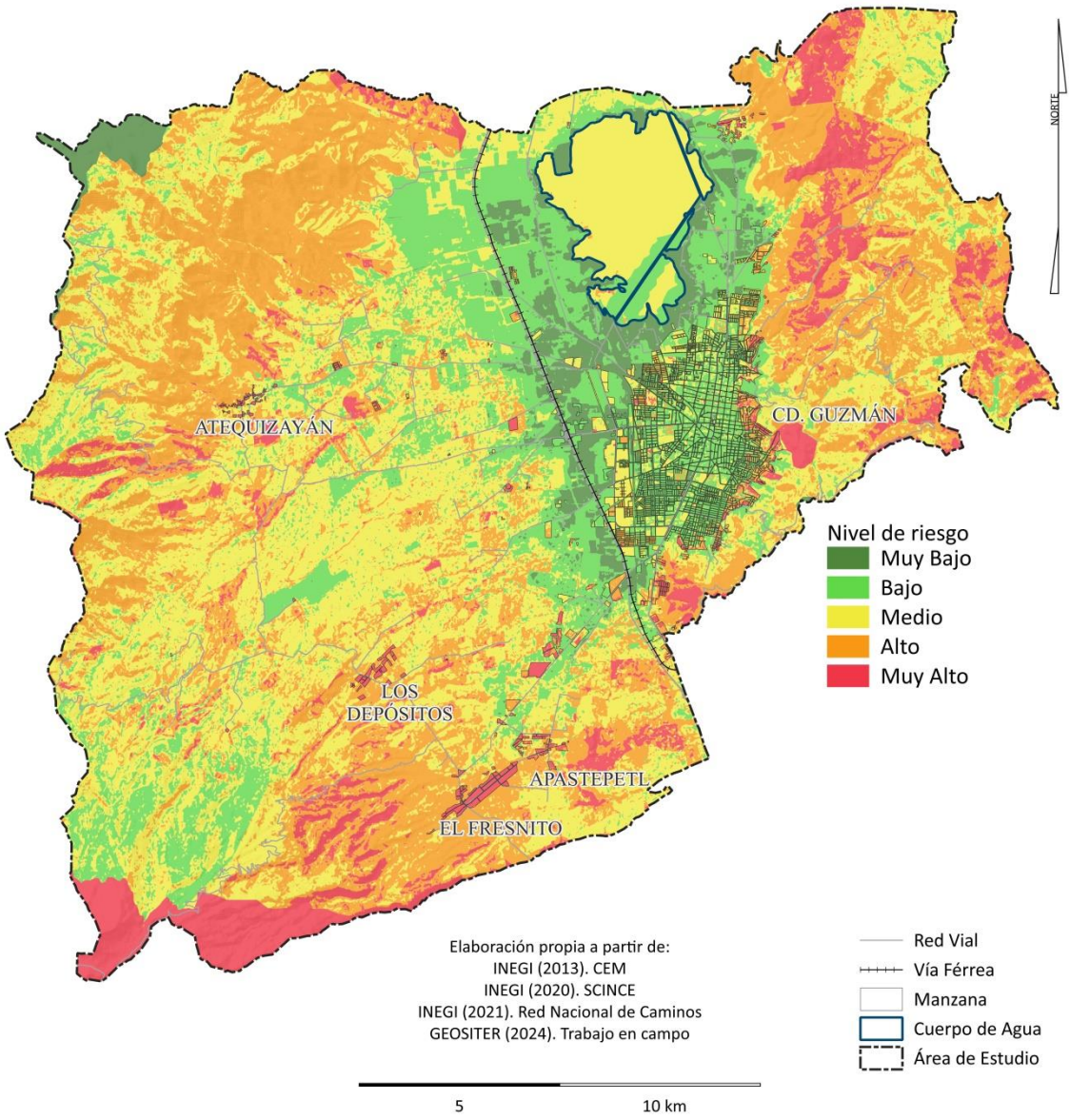
Variable	Peso (%)
Peligro por incendios forestales	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Ecológica-sanitaria	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 139. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo por incendios forestales

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	2,073.87	5.26
Bajo	7,177.02	18.21
Medio	14,778.99	37.50
Alto	11,892.66	30.17
Muy Alto	3,493.24	8.86

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 139. Zonificación de riesgo por incendios forestales
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo por contaminación de agua subterránea

Este es el único riesgo temático donde se emplearon dos capas distintas de peligro, teniendo de tal forma que entre ambas aportan equitativamente a explicar la tercera parte del riesgo (para una descripción de los modelos de peligro por contaminación de agua subterránea, véase el apartado correspondiente en el Módulo de Peligros Ecológico-Sanitarios).

La confluencia espacial de estas 5 variables, arroja que los asentamientos humanos, las extensiones dedicadas a cultivos y los hitos ecológicos (Parques, Laguna y ANP), tengan casi en su totalidad un Nivel de Riesgo Medio a Muy Alto. De hecho, la extensión de estas 3 categorías cubre más de la mitad del territorio municipal; por el contrario, la superficie con Riesgo Muy Bajo es bastante escasa. Las implicaciones ecológicas de dicho patrón se explican en el módulo de Peligros referido en el párrafo anterior.

Tabla 140. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo por contaminación de agua subterránea

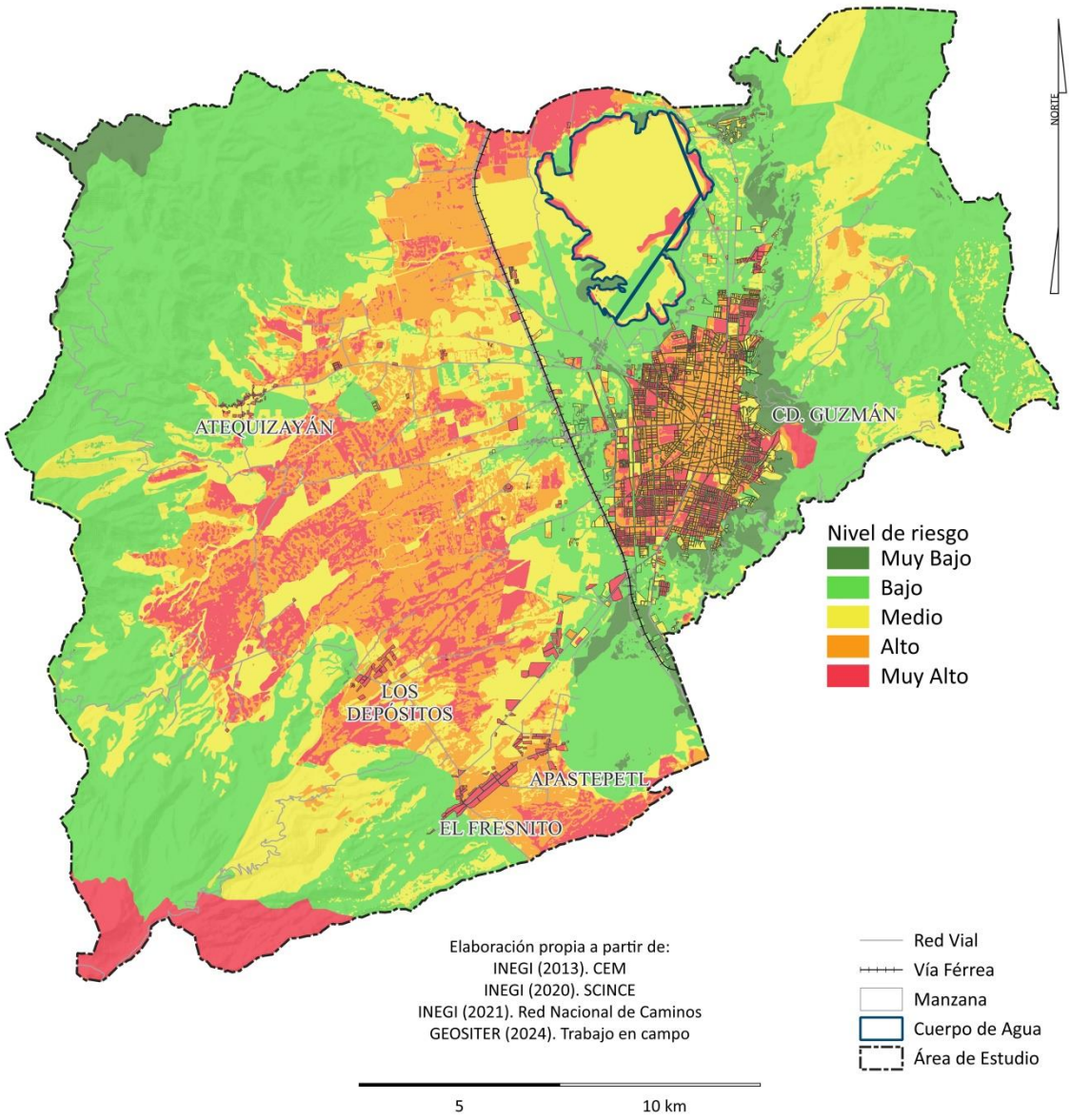
Variable	Peso (%)
Peligro Modelo GOD	16.66
Peligro Modelo DRASTIC-L	16.66
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Ecológica-sanitaria	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 141. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo por contaminación de agua subterránea

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	1,658.16	4.21
Bajo	17,864.65	45.32
Medio	9,299.97	23.59
Alto	5,809.48	14.74
Muy Alto	4,783.52	12.14

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 140. Zonificación de riesgo por contaminación de agua subterránea
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo por contaminación de suelo intrínseca

Se aprecia la relación de la contaminación del suelo con la contaminación de agua subterránea, ya que este modelo posee un patrón espacial similar al anterior. El riesgo por contaminación de suelo se presenta principalmente en las zonas de cultivos, cuya práctica contribuye significativamente al fenómeno; así como en los asentamientos humanos y los mencionados hitos ecológicos.

La diferencia radica en la magnitud del riesgo, ya que en este caso, las zonas de Riesgo Muy Alto son muy escasas, a su vez que el riesgo medio es más generalizado, cubriendo más de la tercera parte del territorio, y el Riesgo Muy Bajo alcanza más del 22% de la superficie total.

De tal manera, se puede considerar un tipo de riesgo, si bien importante, no tal álgido como la contaminación del agua subterránea, aunque, como se mencionó, ambos deberán contemplarse en tándem al momento de mitigar el riesgo que cada fenómeno peligroso genera.

Tabla 142. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo por contaminación de suelo intrínseca

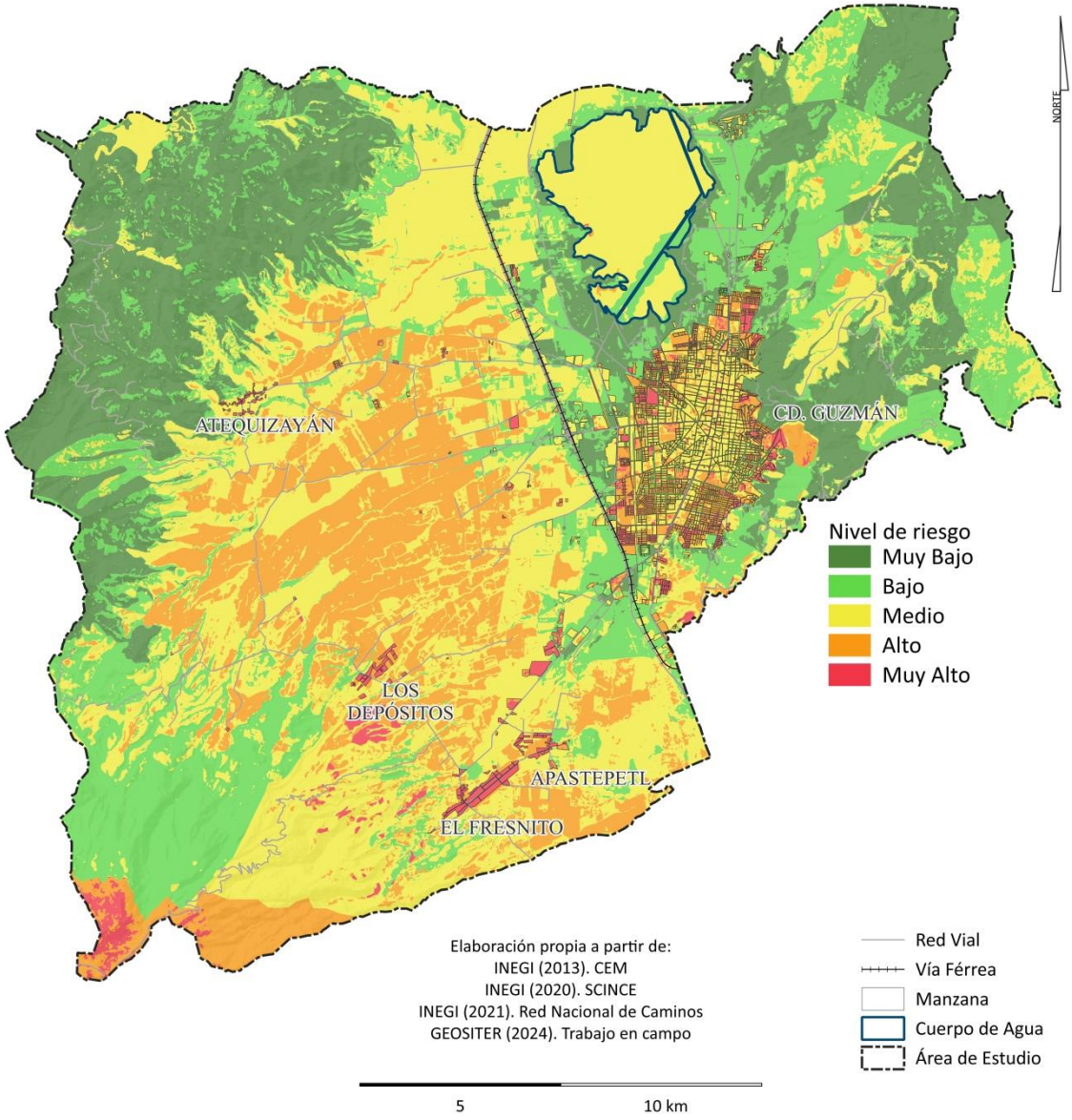
Variable	Peso (%)
Peligro por contaminación de suelo intrínseca	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Ecológica-sanitaria	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 143. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo por contaminación de suelo intrínseca

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	8,806.84	22.34
Bajo	9,075.76	23.03
Medio	13,673.99	34.69
Alto	6,934.71	17.59
Muy Alto	924.49	2.35

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 141. Zonificación de riesgo por contaminación de suelo intrínseca
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo socio-organizativo

Todavía más marcado por la distribución de las actividades antropogénicas que el riesgo químico, el riesgo socio-organizativo se observa en los asentamientos humanos y sus inmediaciones. La influencia de la industria también genera suficiente influencia para marcar algunas zonas aledañas a éstas con nivel Medio.

Resalta la enorme cantidad de espacios con nivel Bajo, por encima de tres cuartas partes de la extensión municipal total; el nivel Muy Bajo, por su parte se concentra en zonas cercanas, pero fuera de las manchas urbanas, donde la Vulnerabilidad Espacial es escasa.

Las zonas de valores Muy Altos están reservadas casi en su totalidad por Atequizayán, El Fresnito y algunas manzanas de la cabecera, como la colonia La Primavera, al suroeste de la metrópoli, superficies que tienen en común gran Vulnerabilidad Social; estas zonas, empero su importancia, apenas superan el 1% del total municipal.

Tabla 144. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo socio-organizativo

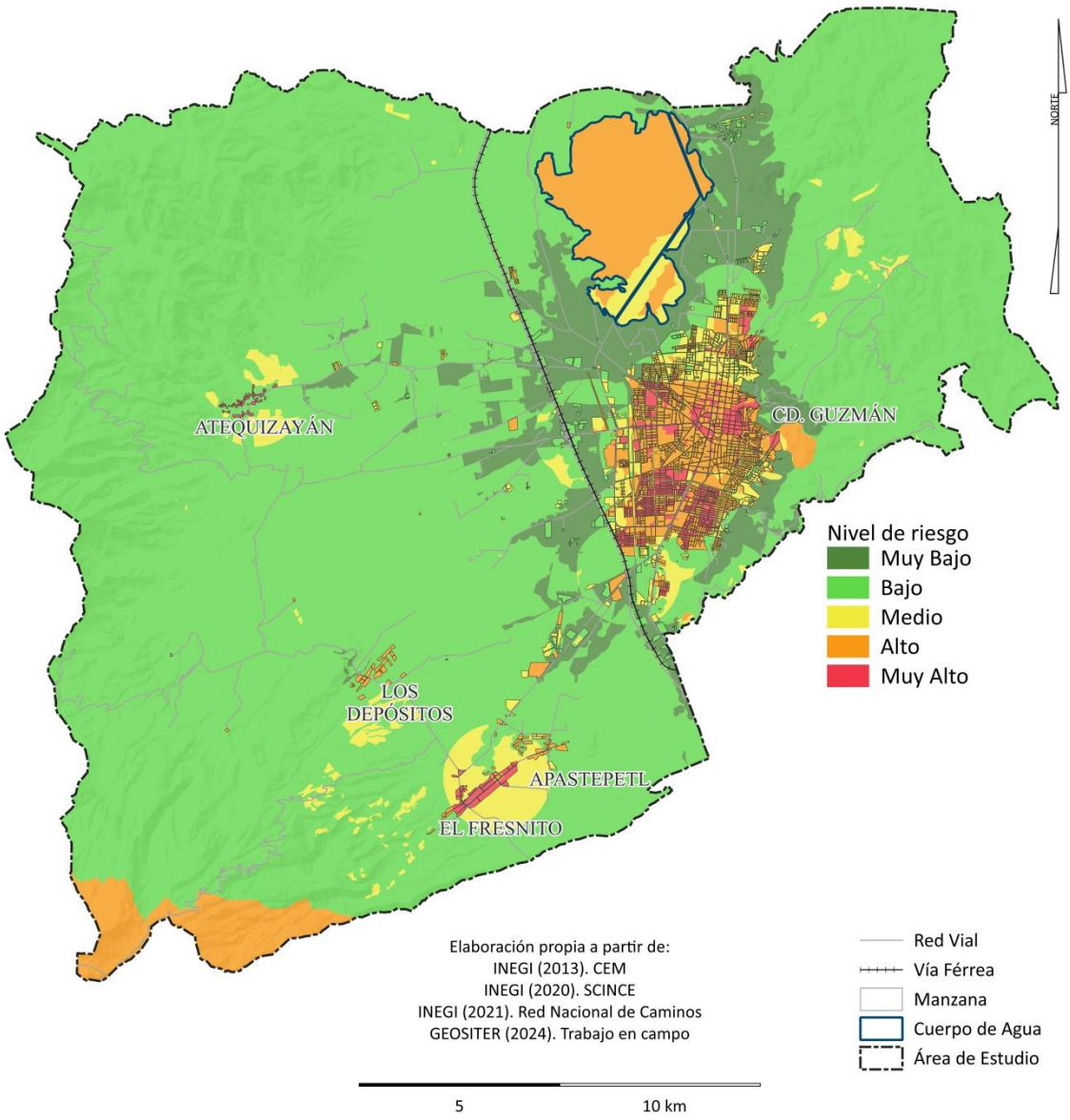
Variable	Peso (%)
Peligro Socio-organizativo	33.33
Sistemas Expuestos	33.33
Vulnerabilidad Social Socio-organizativa	16.66
Vulnerabilidad Espacial	16.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 145. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo socio-organizativo

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	3,287.97	8.34
Bajo	30,841.39	78.25
Medio	1,851.99	4.70
Alto	3,034.02	7.70
Muy Alto	400.40	1.02

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 142. Zonificación de riesgo socio-organizativo
Fuente: Elaboración propia.

8.3 Riesgo total

Como síntesis de todos los riesgos temáticos tratados en este capítulo, se establece un modelo final, con el nombre "Riesgo Total", término elegido debido a que éste sugiere una consideración completa y holística de todos los riesgos considerados por CENAPRED y a través de este documento.

Así, este producto contempla los 11 modelos previos, donde cada uno aporta un porcentaje específico de acuerdo a lo que se consideró su nivel de influencia en el contexto del peligro municipal; no obstante, con la finalidad de establecer la importancia de todos los fenómenos peligrosos analizados, se buscó no acentuar o minimizar demasiado ningún tipo de riesgo, por lo que no se le asignó a ninguno valores inferiores a 5% o superiores a 15%.

Debido a su importancia en el contexto municipal, destacan los trazos de las fallas, que alcanzan a aparecer con valor de Riesgo Medio en las superficies externas a asentamientos humanos, mientras que donde tal fenómeno intersecta con estos, como es el caso de la falla de Ciudad Guzmán, el riesgo se incrementa a Alto, mitigado un poco por la escasa Vulnerabilidad Espacial, producto de la centralización de los servicios de respuesta en la cabecera; también cabe señalar que en las superficies urbanas, el riesgo siempre es Medio o superior.

Es notable también el decremento de riesgo, de Alto a Medio en las zonas de la Laguna cubiertas por los antes referidos servicios de respuesta (véase isócronas del modelo de Vulnerabilidad Espacial).

Por su parte, las zonas con menor cantidad de sistemas expuestos, en las periferias; así como aquellas que además poseen baja Vulnerabilidad Espacial, alrededor de la cabecera municipal, presentan niveles de riesgo Bajo y Muy Bajo. En contraste, se repite la característica señalada en varios de los modelos temáticos previos: las zonas de alto valor medioambiental y las localidades del interior del municipio poseen Riesgo Alto y Muy Alto.

Tabla 146. Variables usadas en la construcción del modelo de riesgo total

Variable	Peso (%)
Riesgo meteorológico	5
Riesgo por inundaciones	15
Riesgo por deslizamientos	10
Riesgo por flujos por procesos gravitacionales	10
Riesgo por caídos y derrumbes	10
Riesgo por fallas y fracturas	15
Riesgo químico-tecnológico	10
Riesgo por incendios forestales	10
Riesgo por contaminación de agua subterránea	5
Riesgo por contaminación de suelo intrínseca	5
Riesgo socio-organizativo	5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 147. Superficies absolutas y relativas por nivel de riesgo total

Nivel de Riesgo	Superficie en hectáreas	Porcentaje
Muy Bajo	12,746.33	32.34
Bajo	9,228.07	23.41
Medio	13,343.37	33.86
Alto	2,637.52	6.69
Muy Alto	1,457.84	3.70

Fuente: Elaboración propia.

Riesgo en zonas de expansión urbana

La evaluación del nivel de riesgo en zonas susceptibles a ser urbanizadas o en proceso de urbanización, es un tópico esencial en la seguridad, sostenibilidad y desarrollo ordenado de las ciudades. De tal suerte, se intersectó la zonificación del riesgo total con las reservas urbanas y zonas de expansión del POET 2021 del municipio, logrando así, analizar la localización y cuantificación de estas áreas por nivel de riesgo.

Se detallan algunos factores por las que esta evaluación es importante:

Seguridad de los Habitantes:

- Prevención de Desastres: Evaluar los riesgos permite identificar áreas susceptibles a desastres naturales y otros peligros. Esto ayuda a prevenir tragedias humanas y pérdidas materiales.

- Mitigación de Peligros: Conocer los riesgos permite implementar medidas de mitigación antes de la urbanización, como la construcción de infraestructuras resistentes a terremotos o la creación de sistemas de drenaje para evitar inundaciones.

Planificación Urbana Sostenible:

- Uso Eficiente del Territorio: Identificar áreas de alto riesgo ayuda a planificar el uso del suelo de manera más eficiente, destinando las zonas seguras para la urbanización y preservando las áreas de riesgo para otros usos, como parques o zonas verdes.
- Desarrollo Responsable: Promueve un desarrollo urbano que considere la sostenibilidad a largo plazo, evitando la construcción en áreas que puedan requerir costosas intervenciones futuras debido a su vulnerabilidad.

Optimización de Recursos Públicos:

- Reducción de Costos: La urbanización en zonas de riesgo puede resultar en elevados costos de reparación y reconstrucción tras desastres. La evaluación de riesgos permite evitar estos gastos innecesarios.
- Asignación de Recursos: Facilita una mejor asignación de recursos para infraestructuras y servicios, dirigiéndolos a áreas menos vulnerables y más adecuadas para el crecimiento urbano.

Protección del Medio Ambiente:

- Conservación de Ecosistemas: Al identificar áreas de riesgo, se pueden proteger ecosistemas sensibles que de otro modo podrían ser dañados por la urbanización. Esto es particularmente relevante en zonas propensas a inundaciones o deslizamientos de tierra.
- Prevención de Contaminación: Evaluar riesgos químicos y sanitarios ayuda a prevenir la contaminación del suelo y del agua, protegiendo la salud pública y el medio ambiente.

Cumplimiento de Normativas y Regulaciones:

- Normativas de Construcción: Asegura que la urbanización se realice conforme a las normativas de construcción y zonificación, que suelen exigir evaluaciones de riesgo para nuevas áreas urbanas.

- Responsabilidad Legal: Ayuda a las autoridades locales y desarrolladores a cumplir con sus responsabilidades legales, evitando posibles litigios por daños causados por la urbanización en áreas de riesgo.

Determinar el nivel de riesgo en estas zonas es crucial para mejorar la planeación urbana, minimizar la pérdida de infraestructura, salvaguardar vidas humanas, optimizar el uso de recursos y proteger el medio ambiente. Este enfoque proactivo no solo previene desastres y pérdidas económicas, sino que también contribuye a la creación de emplazamientos humanos más seguros, sostenibles y habitables.

Al poseer estas zonas límites discretos; es decir, no tienen una continuidad espacial clara, se observa una distribución heterogénea en el nivel de riesgo, pero que asoma un patrón de riesgo menor hacia las periferias, coincidiendo con las reservas urbanas; especialmente las de mediano plazo, donde más del 71% de la superficie cubierta por esta tipología, presenta riesgo bajo o muy bajo. En estas áreas, emplazadas primordialmente al norte de la ciudad, la exposición actual es escasa, y la vulnerabilidad espacial es poca; no obstante, sí confluyen una variedad de peligros, como los de índole geológico-geomorfológica que imbuyen el extremo oriente de la cabecera, en las superficies de relieve más pronunciado, de peligro Alto y Muy Alto. Se recomienda minimizar la construcción de asentamientos en esta zona.

Tabla 148. Superficies absolutas de zonas en expansión urbana por nivel de riesgo total

Valores absolutos (hectáreas)						
Clasificación de área	**Nivel de Riesgo**					
	Muy Bajo	**Bajo**	**Medio**	**Alto**	**Muy Alto**	**Total**
Área de Urbanización Progresiva	1.09	0.14	0.27	1.82	0.79	4.11
Área Incorporada	27.07	27.31	83.06	98.83	52.55	288.81
Reserva Urbana a Corto Plazo	70.05	27.75	119.87	62.38	6.43	286.48
Reserva Urbana a Mediano Plazo	41.48	28.50	15.16	8.36	4.55	56.57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 149. Superficies relativas de zonas en expansión urbana por nivel de riesgo total

Valores relativos (porcentaje)						
Clasificación de área	**Nivel de Riesgo**					
	Muy Bajo	**Bajo**	**Medio**	**Alto**	**Muy Alto**	**Total**
Área de Urbanización Progresiva	26.60	3.37	6.53	44.31	19.19	100.00
Área Incorporada	9.37	9.45	28.76	34.22	18.19	100.00
Reserva Urbana a Corto Plazo	24.45	9.69	41.84	21.77	2.24	100.00
Reserva Urbana a Mediano Plazo	42.31	29.07	15.47	8.52	4.64	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Riesgo en Polígonos de Contención Urbana

De manera análoga al apartado anterior, para aterrizar más el análisis de riesgo urbano, se consideró pertinente cruzar las variables de zonificación del riesgo total con los Polígonos de Contención Urbana de Ciudad Guzmán encontrados en el Sistema nacional de información e indicadores de vivienda (SNIIV, 2018). Se observa la mancha urbana consolidada dentro de los polígonos Intraurbano y Primer contorno, mientras que las zonas periurbanas se localizan en el Segundo contorno.

Es preciso señalar que estos Polígonos de contención no abarcan todas las zonas de reserva urbana mostradas previamente; buena parte de las reservas urbanas a mediano plazo, al norte, se excluyen de esta cobertura de contención, teniendo así una instancia de fuentes discrepantes.

Debido a la relativa escasez de elementos expuestos y a su cercanía con sistemas de respuesta (baja vulnerabilidad espacial), el Segundo contorno arroja a nivel general un riesgo Bajo y Muy Bajo, teniendo más del 80% de su superficie cubierta por estos dos niveles de riesgo. Lo anterior se puede interpretar como un aliciente para expandir la urbe, no obstante, debe señalarse que, al realizar tal acción, se estarán introduciendo sistemas sociales que intrínsecamente aumentarán la exposición, y por ende, el riesgo.

Desde este contexto, a pesar de que no toda esta superficie es considerada por las instancias municipales como reserva urbana, se aprecia un potencial de expansión razonablemente amplio, siempre y cuando se crezca de manera ordenada, observando los instrumentos de planeación, las normativas aplicables en materia de ordenamiento urbano y las limitantes impuestas por los recursos medioambientales disponibles.

Tabla 150. Superficies absolutas de polígonos de contención urbana por nivel de riesgo total

Valores absolutos (hectáreas)						
Polígonos de contención urbana	Nivel de Riesgo					
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Total
Intraurbano	92.78	39.10	340.96	124.15	23.07	620.06
Primer Contorno	198.40	84.39	390.42	323.81	106.61	1,103.63
Segundo Contorno	1069.49	277.19	153.11	73.88	71.61	1,645.29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 151. Superficies relativas de polígonos de contención urbana por nivel de riesgo total

Valores relativos (porcentaje)						
Polígonos de contención urbana	**Nivel de Riesgo**					
	Muy Bajo	**Bajo**	**Medio**	**Alto**	**Muy Alto**	**Total**
Intraurbano	14.96	6.31	54.99	20.02	3.72	100.00
Primer Contorno	17.98	7.65	35.38	29.34	9.66	100.00
Segundo Contorno	65.00	16.85	9.31	4.49	4.35	100.00

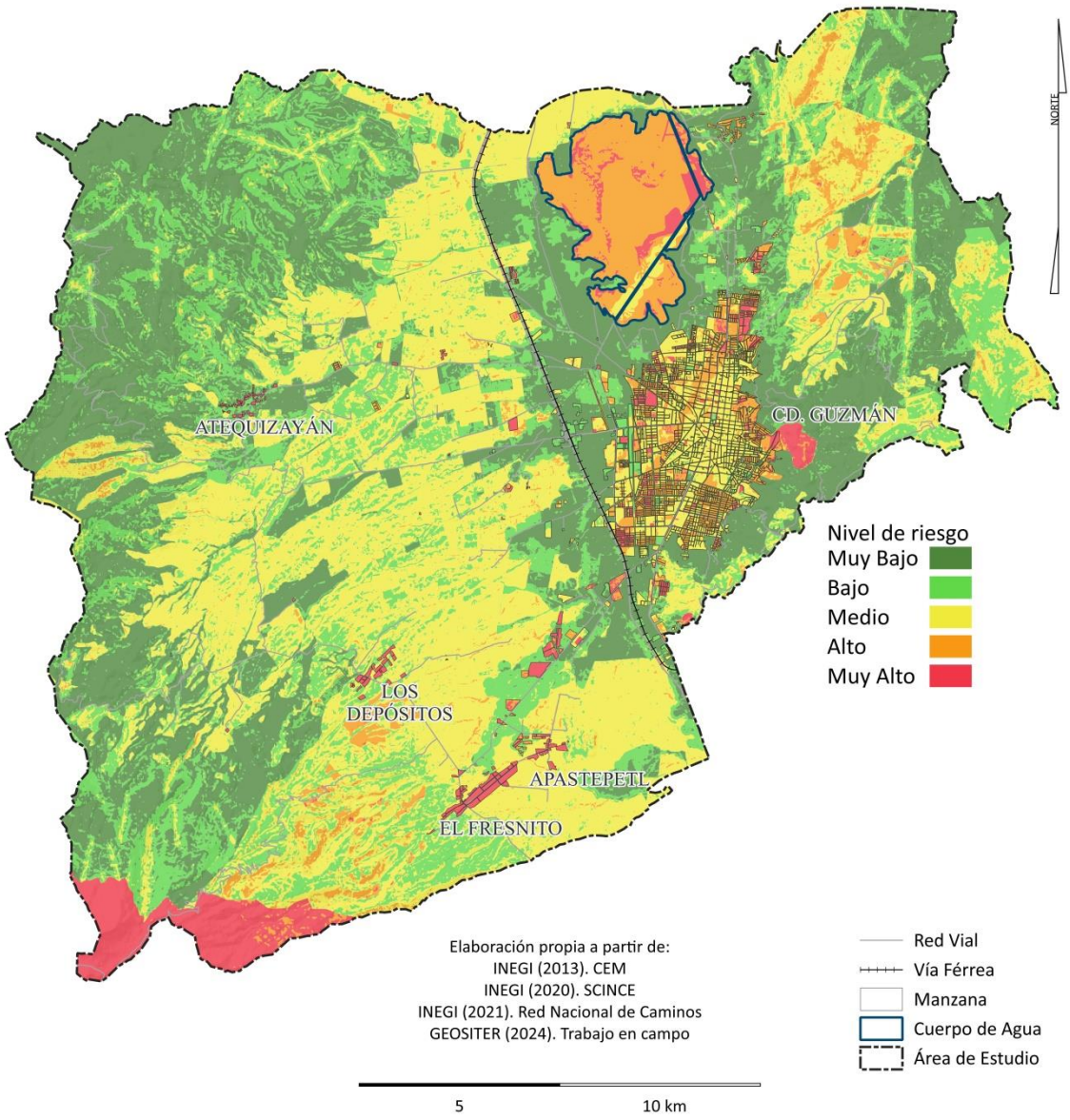
Fuente: Elaboración propia.

La mayor parte de las superficies de riesgo Alto y Muy Alto se localizan en el Primer contorno, con más de 430 hectáreas dentro de este criterio. Esto se debe a varios factores, destacando la elevada vulnerabilidad social, además del peligro marcadamente superior que cruza de noreste a suroeste la localidad, detonado principalmente por la grieta que atraviesa Ciudad Guzmán.

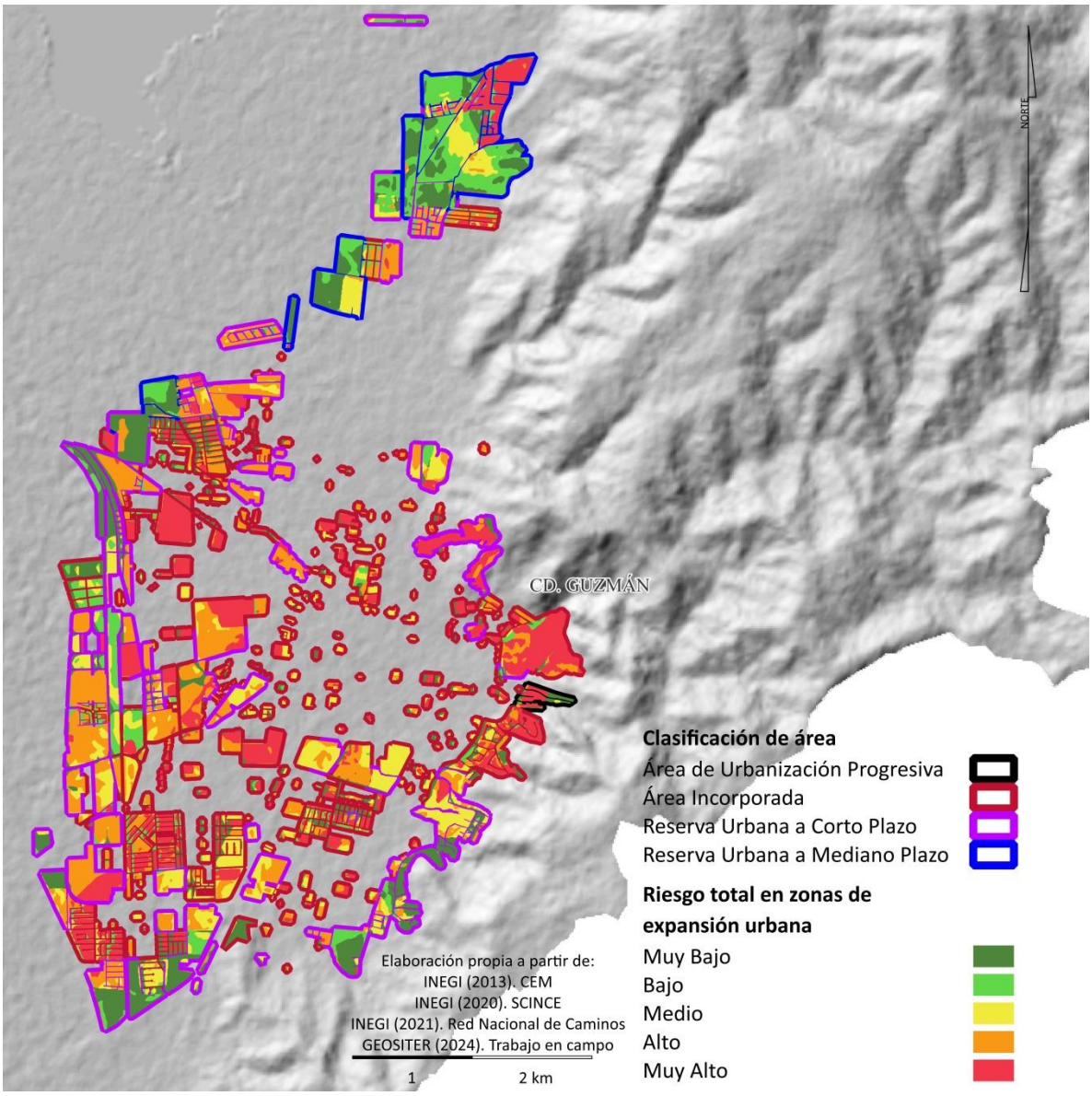
A pesar de lo anterior, en términos absolutos, en las zonas Intraurbanas y del Primer Contorno, predomina el Riesgo Medio; es decir, existe la confluencia de Peligro, Exposición y cierto grado de Vulnerabilidad Social, pero mitigado por la centralización de servicios mencionada previamente con que cuenta la cabecera.

De tal forma, menos del 22% del área intraurbana presenta Riesgo Bajo o Muy Bajo; mientras que en el Primer Contorno estas áreas alcanzan solamente la cuarta parte de su extensión total. Esto denota que el riesgo se encuentra presente de manera generalizada en la zona urbana de Ciudad Guzmán, por lo que es preciso el monitoreo constante de los fenómenos perturbadores que aquejan al municipio, especialmente en la zona consolidada de la ciudad, donde se concentran la mayor cantidad de población e infraestructura.

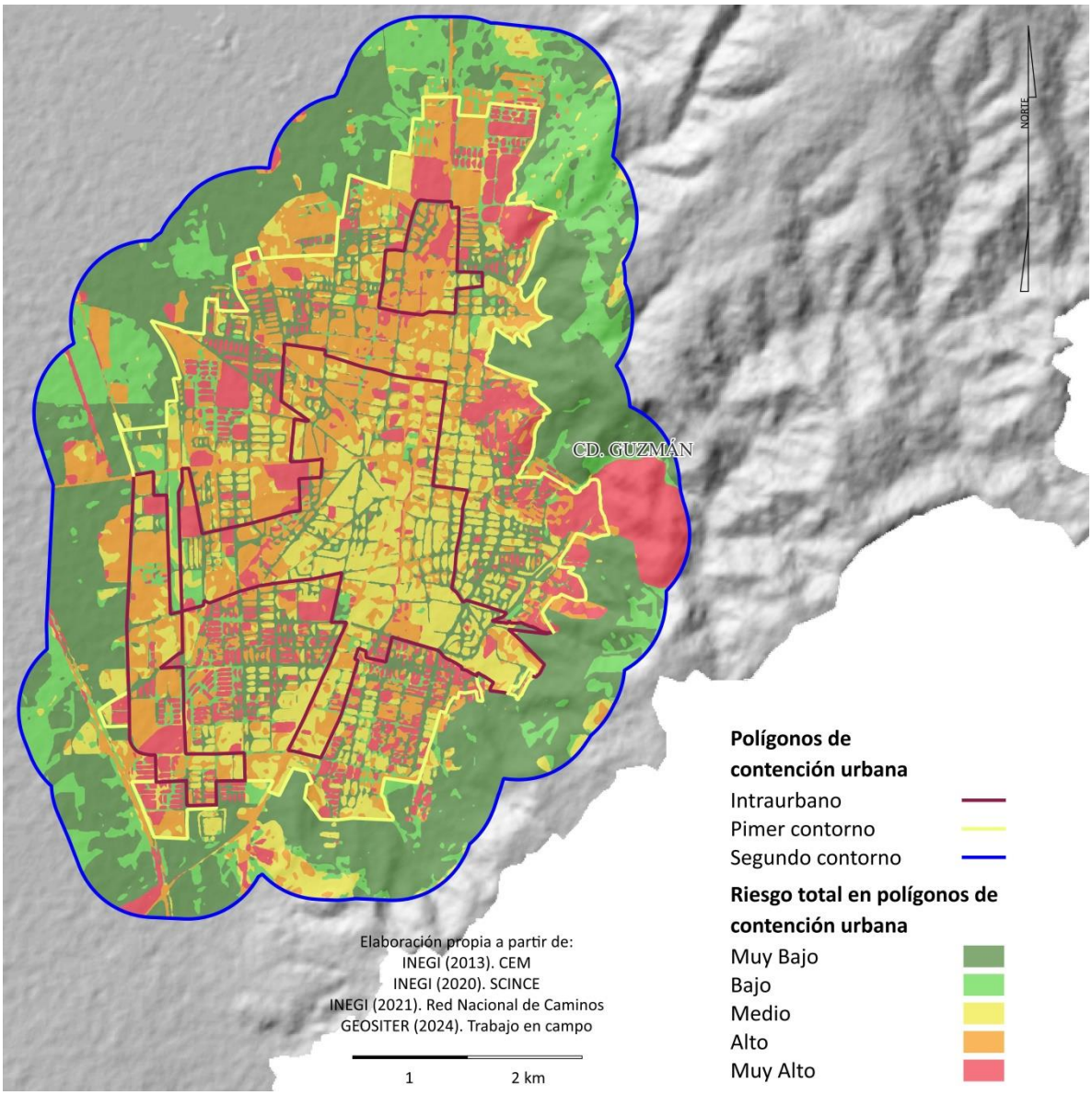
En cuanto al Segundo Contorno, destaca la zona de Riesgo Muy Alto al oriente, valor otorgado en gran medida gracias al peligro geológico presente en la zona y a la importancia medioambiental del Parque Ecológico Las Peñas.



Mapa 143. Zonificación de riesgo total
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 144. Zonas en expansión urbana por nivel de riesgo total
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 145. Polígonos de contención urbana por nivel de riesgo total
Fuente: Elaboración propia.

Riesgo en infraestructura / servicios urbanos

Tal como se comentó previamente, este mapa muestra la concentración en zonas urbanas de los servicios e infraestructura, es en estas zonas donde se localizan zonas de riesgo debido a la conjunción de las variables que componen la ecuación general del riesgo. Para un desglose mayor de la tipología y descripción de estos servicios, referirse al Módulo anterior, en el apartado de Exposición.

El análisis cuantitativo de este inventario arroja un incremento en el número de elementos en cada estrato de riesgo; con 160 servicios ubicados en zonas de Riesgo Muy Alto, mientras que sólo 13 se emplazan en zonas de Riesgo Bajo o Muy Bajo.

Los servicios educativos, conformados primordialmente por escuelas de diversos niveles, son por mucho los más numerosos, contabilizando casi la mitad (44.7%) del total del inventario de servicios. De estos, sólo 9 se encuentran fuera de zonas de riesgo Alto o Muy Alto.

Desde la perspectiva de esta batería de servicios, también se hace evidente la relación espacial entre las zonas de mayor riesgo y las que concentran la infraestructura municipal.

Tabla 152. Cantidad de servicios expuestos por nivel de riesgo total

Tipo de Servicio	Nivel de Riesgo					
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Total
Abasto de víveres	0	1	4	1	2	8
Antena de telecomunicaciones	1	3	9	11	15	39
Atención hospitalaria	1	0	1	1	13	16
Combustible	0	0	2	1	23	26
Cultural	0	0	15	10	7	32
Educativo	1	0	8	102	55	166
Gobierno	0	1	3	3	7	14
Industrial	1	2	1	4	5	13
Infraestructura	2	0	4	4	5	15
Pozo de agua	0	0	2	4	15	21
Protección civil	0	0	0	1	1	2
PTAR	0	0	1	1	1	3
Seguridad pública	0	0	0	0	1	1
Tanque de almacenamiento de agua	0	0	4	1	10	15
Total	**6**	**7**	**54**	**144**	**160**	**371**

Fuente: Elaboración propia.

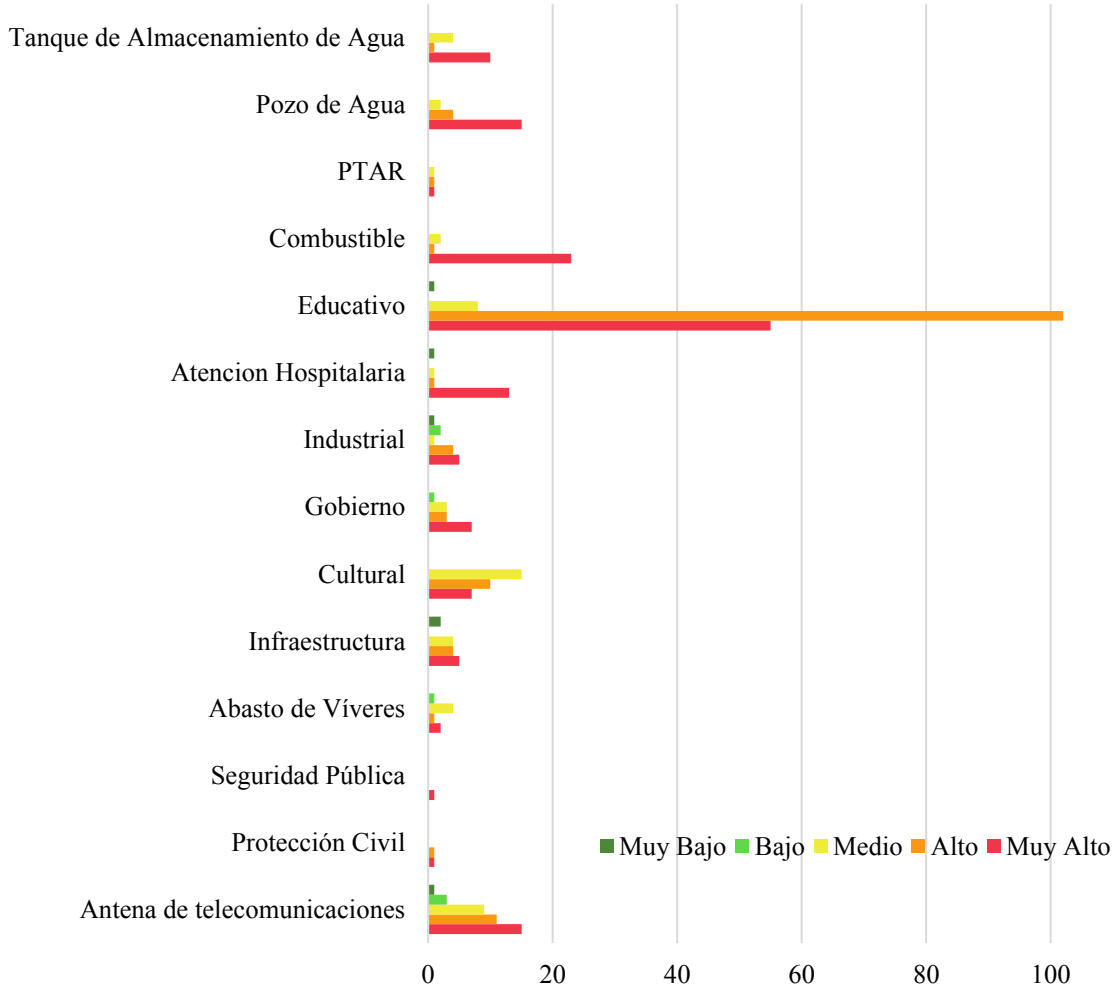


Figura 138. Gráfica del inventario de servicios expuestos por nivel de riesgo total
Fuente: Elaboración propia.

8.4 Conclusiones

A nivel general, el análisis arroja la necesidad de descentralizar los servicios de atención municipales, ya que estos se concentran exclusivamente en la cabecera, descuidando sobremanera al resto del territorio, donde se tienen sistemas expuestos altamente importantes, tanto en el ámbito social/antropogénico, como lo son las localidades de Atequizayán, Los Depósitos, El Fresnito y Apastepetl; como en el rubro medioambiental, entiéndase el ANP y la Laguna Zapotlán.

Es pertinente concluir que la zonificación del riesgo será el insumo fundamental para establecer políticas territoriales, empero no debe confundirse como la espacialización de la ocurrencia del fenómeno peligroso. Para establecer zonas de restricción de un fenómeno específico, se recomienda referirse al apartado de peligro correspondiente.

En caso de llegar a ocurrir un desastre, el riesgo establece su magnitud, de ahí que se contemple la vulnerabilidad del espacio, y si existe algún elemento expuesto en tal lugar. Subsecuentemente, se recomienda que este producto sea el basamento para las dictaminaciones peritales de fincas o predios específicos, ya que serán éstas las que determinarán las pérdidas económicas considerando las zonas de riesgo, la valoración intrínseca del inmueble y su nivel socio-económico.

Refiriendo un patrón espacial destacable, se encuentra la zona de Riesgo delimitada por la falla de Ciudad Guzmán, no solamente en el Riesgo por fallas y fracturas, sino en el Riesgo Total, donde a pesar de combinarse con los demás tipos de Riesgo, esta zona alcanza un nivel más alto que las superficies que le rodean.

La mayoría de servicios se encuentran en zonas de riesgo alto y muy alto, al centralizarse en la cabecera municipal. Gracias a la baja vulnerabilidad espacial y a su poco valor ecológico las zonas periurbanas de la cabecera no presentan alto riesgo.

De manera generalizada, elementos de alto valor ambiental como la Laguna, los Parques Ecológicos y el Área Natural Protegida tienen riesgo medio a muy alto; debido justamente a su importancia ecológica y a la falta de infraestructura o políticas de control/mitigación del riesgo. En la mayor parte de las superficies cubiertas por asentamientos humanos, se presenta riesgo medio a muy alto, ya que aquí se concentran sistemas expuestos de valor significativo, y en ciertas zonas, vulnerabilidad social. Además, la alta vulnerabilidad espacial les confiere a las localidades del interior del municipio, valores de riesgo alto a muy alto.

Medidas de Mitigación

9.1 Introducción

> “La humanidad, como parte de la biodiversidad, tiene la responsabilidad de saber cómo funcionan los sistemas naturales y cómo nuestras elecciones impactan a esos sistemas. Cada persona tiene la responsabilidad de ser consciente de las consecuencias de su comportamiento.”
>
> H. Anguiano

En las últimas décadas, los fenómenos naturales en México han dejado daños con un costo promedio anual de 100 vidas humanas y cerca de 700 millones de dólares (CENAPRED, 2001). La agenda de protección civil ha tomado relevancia al tener una diversidad de fenómenos que pueden causar desastres en el territorio. Para hacer frente a las adversidades

se da la importancia de establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos, y no sólo focalizar recursos para la atención de las emergencias y su resiliencia.

Según Sceffer (2009) y Folke et al. (2010) se define a la resiliencia evolutiva o socio-ecológica como la habilidad que tienen los sistemas socioambientales complejos, para cambiar, adaptarse y crucialmente transformarse en respuesta a eventos estresores, tomando la crisis como oportunidad continua de cambio por medio de acciones concretas a corto y largo plazo.

Para la correcta zonificación de los sitios vulnerables y de peligro, es necesario el análisis de sus parámetros, la interrelación de factores y su aplicación de jerarquías dentro de ellas. Los resultados van dirigidos a los tomadores de decisión para su implementación y mejoramiento de los servicios ecosistémicos y de calidad de vida.

La mitigación es uno de los elementos clave de la Gestión Integral de Riesgos y se define como "toda acción orientada a disminuir el impacto o daños ante la presencia de un agente perturbador sobre un agente afectable" (LGPC, Art 2, Fracción XXXVI). Las medidas de mitigación incluyen técnicas de ingeniería y construcciones resistentes a las amenazas, así como mejores políticas ambientales y una mayor sensibilización pública y social. Es decir, se trata de evitar daños sobre las personas o sus bienes mediante un análisis previo del fenómeno perturbador y el diseño de una estrategia que derive en medidas de mitigación estructurales y no estructurales.

Las medidas estructurales implican acciones como construcciones arquitectónicas o intervenciones ingenieriles para mejorar la resistencia y resiliencia física de los sistemas expuestos a las amenazas. Esto incluye cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o sistemas frente a las amenazas (UNISDR-20-2009-Geneva).

Por su parte, las medidas no estructurales se refieren a prácticas y acuerdos que reducen los riesgos desde la política pública. Es decir, se enfocan en la organización ciudadana para evitar la exposición a riesgos. Estas acciones son más fáciles de implementar en fenómenos socio-organizativos y sanitario-ecológicos de origen antropogénico. Incluyen cualquier medida que no implique una construcción física y que utilice el conocimiento, prácticas o acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, capacitación y educación (UNISDR-20-2009-Geneva).

La implementación de estas medidas es fundamental para fortalecer la resiliencia de las comunidades y asegurar un desarrollo sostenible. Esto nos lleva a la necesidad de entender cómo los procesos interrelacionados en los ecosistemas pueden influir en la eficacia de estas medidas. El ecosistema en el que los seres humanos viven y del cual forman parte, está compuesto por una compleja interrelación de procesos que determina la salud y funcionalidad de los sistemas naturales y humanos. Cada componente del ecosistema, desde el microorganismo más pequeño hasta los grandes sistemas climáticos, interactúa de manera dinámica y continua. Esta interdependencia significa que cualquier alteración en un componente puede tener repercusiones significativas en otros, tanto a nivel local (micro) como global (macro).

Comprender esta interrelación es fundamental para desarrollar estrategias efectivas de conservación y manejo sostenible de los recursos. En el contexto de la mitigación y adaptación al cambio climático, esta comprensión nos permite diseñar intervenciones que no solo aborden los síntomas inmediatos de los fenómenos naturales, sino también las causas subyacentes y las conexiones sistémicas que los impulsan. Al reconocer y actuar sobre estas interdependencias, podemos mejorar la resiliencia de los ecosistemas y las comunidades humanas, asegurando así la sostenibilidad y la calidad de vida a largo plazo.

Los escenarios del cambio climático plantean desafíos significativos para la estabilidad de los ecosistemas y las sociedades que dependen de ellos. El aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación pueden llevar a una mayor frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos, poniendo en peligro la disponibilidad de recursos hídricos y afectando la producción de una amplia gama de cultivos. Esto, a su vez, puede desestabilizar diversos procesos económicos**.**

9.2 Medidas de mitigación generales

Gobierno digital

Gestionar el territorio implica una serie de actividades e instrumentos orientados a buscar orden, la planificación responsable y la administración del uso de suelo y recursos en el municipio. El gobierno digital y la digitalización de herramientas como catastro a través de sistemas de información geográfica (SIG), los visores urbanos juegan un papel crucial para mejorar la eficiencia, transparencia y efectividad de las actividades de la gestión territorial, como la gestión de datos de manera coordinada.

La transformación digital se realiza a través de la implementación de tecnologías funcionales que facilitan la integración de información y consecuentemente, la toma de decisiones. Por otro lado, el gobierno digital permite la participación ciudadana, desde cuestiones como la fiscalización del uso de suelo, la realización de trámites de manera eficiente y en la toma de decisiones. De este modo, se sugieren las siguientes acciones que pueden clasificarse como medidas de mitigación estructural.

1. Digitalización del catastro en un Visor Urbano

Con un catastro digital los gobiernos pueden planificar de mejor manera el uso de suelo y la recaudación de impuestos de manera eficiente y resolver disputas de propiedad con mayor agilidad. Si esta información se monta en un visor urbano en un servidor web, es posible integrar datos de instrumentos como el POEL o Planes Parciales, así como el Atlas de Riesgos para la consulta pública.

2. Bases de datos georreferenciadas por parte de las dependencias

El registro de incidencias georreferenciadas de dependencias como Seguridad Pública, Servicios de Salud y la Unidad Municipal de Protección Civil, es crucial para consolidad bases de datos, misma que debe considerarse como objeto de evolución. Esta información aporta una base estadística y geográfica para la actualización y perfeccionamiento de instrumentos como los Atlas de Riesgos.

Reducción de la vulnerabilidad espacial

Con el objetivo de mejorar este indicador, se considera necesario mejorar la infraestructura a través de dos ejes:

1. Intervención vial

Rediseño y repavimentación de las vialidades que comunican Ciudad Guzmán y Atequizayán, con el objetivo de agilizar el tránsito seguro de las unidades de emergencia.

2. Distribución de servicios de emergencia

Establecimiento de bases satelitales a las localizadas en Ciudad Guzmán, para aminorar los tiempos de respuesta principalmente para Atequizayán y El Fresnito. Esto también implica incrementar el número de efectivos activos por turno y de unidades de transporte para las corporaciones señaladas. Con ello se busca ampliar el rango de la cobertura de los servicios de salud, de seguridad pública y de rescate en un rango de 5 minutos.

9.3 Medidas de fenómenos hidrometeorológicos

Los ecosistemas son entornos naturales que están en constante cambio y evolución. Pueden o no estar en equilibrio ecológico debido a causas naturales, como el desgaste de las rocas y los movimientos geológicos, o a causas humanas. Cuando los ecosistemas se deterioran, comienzan a presentar problemas o cambios, como la pérdida de vegetación y de ecosistemas, la erosión del suelo, inundaciones, sequías, entre otros.

La intervención de origen antrópico ha fragmentado la red hidrográfica, esto para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua de las poblaciones. El municipio, siendo una zona de alta actividad agrícola, se ve afectado por el establecimiento de parcelas agrícolas sobre la zona funcional media de la cuenca de la Laguna de Zapotlán. Estas parcelas a veces se encuentran muy cercanas o prácticamente encima de estos cauces, ya sea para aprovechar el agua que escurre en una olla de captación o simplemente para desviar agua a sus cultivos. Cualquier método de aprovechamiento superficial que involucre un encausamiento del recurso son ejemplos de las modificaciones antrópicas que se viven en el municipio.

La construcción de estas ollas ha ido creciendo exponencialmente en el municipio, acompañadas de las inundaciones que se generan cuando estas se truenan. Esta modificación al sistema hidrológico tiene ciertas implicaciones en la cuenca de la Laguna de Zapotlán. Para empezar, el municipio se encuentra en una cuenca en la que por su morfometría no representa gran riesgo para que se generen problemas de encharcamientos o inundaciones ya que su mismo relieve permite que los escurrimientos se distribuyan de manera uniforme desde las laderas hasta su punto final que es la Laguna. Sin embargo, al tratarse de una cuenca endorreica, la cual implica un sistema cerrado, se tienen límites geográficos más definidos que una abierta, hecho que otorga la ventaja de poder identificar más claramente los actores que inciden en la degradación de los ecosistemas. Explicado lo anterior, una cuenca endorreica tiene la desventaja de concentrar la contaminación en un territorio cerrado, lo que se traduce en que cada afectación ambiental es más intensa en comparación de una cuenca abierta.

El funcionamiento natural de la cuenca depende de que otras variables del ciclo hidrológico como la infiltración y la evaporación se mantengan como era antes de que hubiera suelo urbanizado y cambio de uso de suelo forestal a agricultura de riego y de temporal. Estas modificaciones al suelo, junto con las modificaciones a la red hidrográfica han traído consigo cierto riesgo asociado a eventos que antes no representaban ningún riesgo, pero ahora debido

a las modificaciones antropogénicas, el territorio se vuelve más susceptible a las inundaciones.

Es el caso de las incidencias que se mapearon en los talleres de participación ciudadana donde se reportaron varias inundaciones y arrastre de sedimentos debido a ruptura de ollas de captación de las aguacateras. Este tipo de incidencias son exactamente el ejemplo de lo que puede suceder al tener una cuenca que se ha visto modificada fuertemente por las actividades antropogénicas, como se comentó anteriormente. Dependiendo de su origen, las inundaciones pueden ser pluviales/fluviales o costeras, siendo la principal causa, el exceso de precipitaciones que aumenta el nivel de los ríos sobrepasando la capacidad de almacenamiento. Sin embargo, los asentamientos humanos y otras intervenciones de carácter destructivo a los ecosistemas, incrementa la exposición a la amenaza de inundación y favorecen la intensificación de estos eventos. Las inundaciones pueden ser naturales, antrópicas y socio-naturales.

En cuanto a la Laguna de Zapotlán, en el Programa de Ordenamiento Ecológico Local y El Plan Maestro de la Subcuenca de Zapotlán se presenta evidencia observable y un análisis de la información diagnóstica de estudios realizados en el 2021 donde se establece la problemática que sufre la laguna y los actores clave que se encuentran a sus alrededores.

Debido al depósito de grandes cantidades de azolve en la Laguna de Zapotlán, aunado al abundante temporal de lluvias 2021, al día de hoy aproximadamente 300 productores agrícolas y pecuarios en una superficie que suma alrededor de 1000 hectáreas (maíz, alfalfa, hortalizas, en menor grado aguacate y berries, producción de cerdos, bovinos, ovinos) quienes se encuentran afectados parcial o totalmente por la inundación de sus unidades de producción y que en muchos casos era su única fuente de ingreso, esto en torno a la Laguna de Zapotlán, debido al crecimiento del espejo de agua y su zona de influencia y el inminente riesgo de inundación de colonias en la zona urbana de Ciudad Guzmán, así como la inundación de la infraestructura carretera del libramiento norte de Ciudad Guzmán, actualmente inutilizado, lo que obliga a que ese flujo vehicular transite por la zona urbana, causando el deterioro de la infraestructura de vialidades, redes hidráulicas, incidentes de tránsito, congestión vial y contaminación atmosférica (Gobierno Municipal Zapotlán el Grande, 2023).

Anteriormente, en los años 1960s las obras ingenieriles tenían como objetivo drenar lo más rápido posible los escurrimientos o trasladarlos lo más eficientemente posible a cuerpos receptores, fuera de la vista o del límite territorial al que se pertenecía. Entendiendo esto y

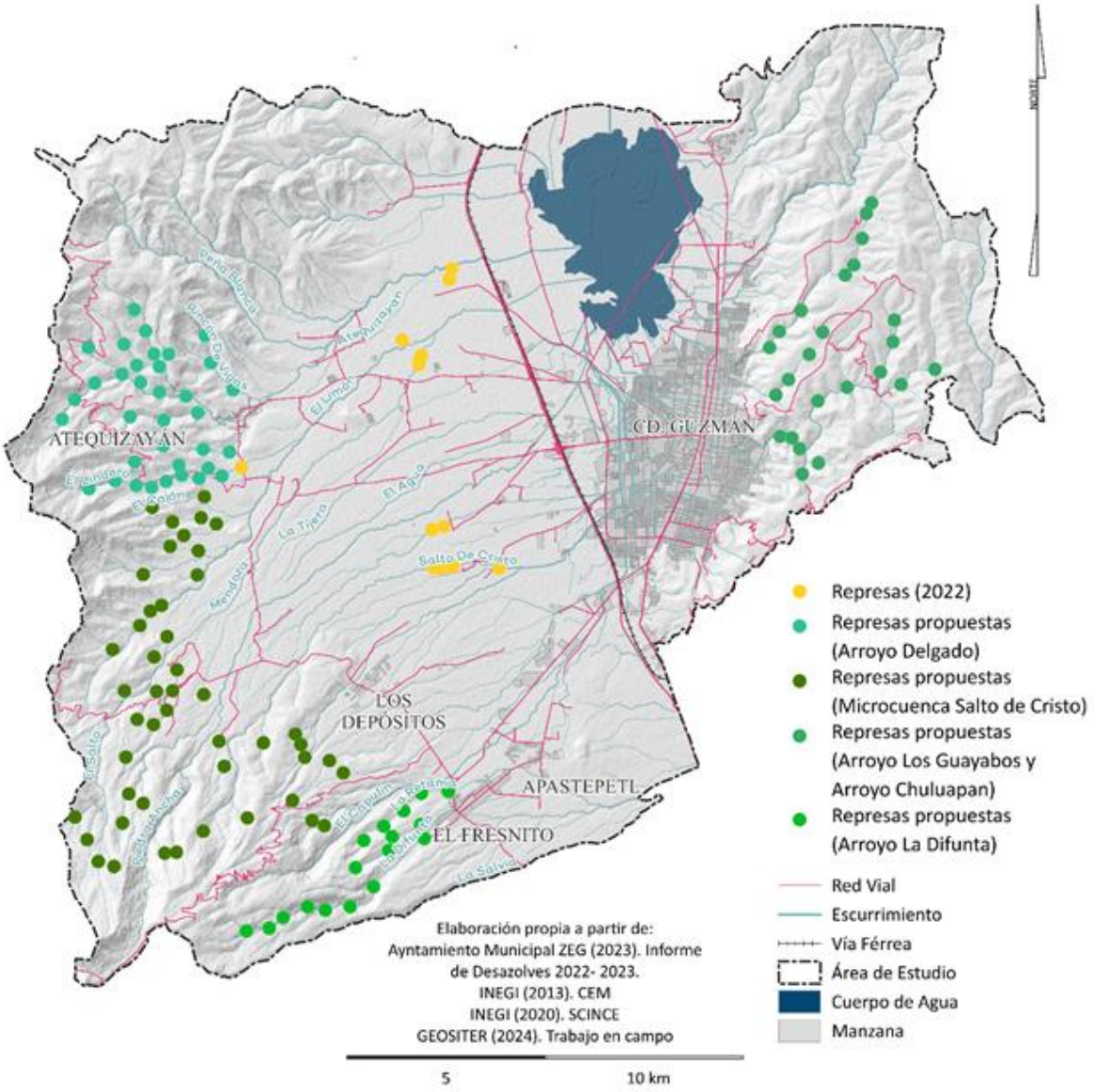
sumando más factores como el crecimiento demográfico, los crecimientos desordenados, los cambios de uso de suelo, las modificaciones de los cauces naturales, de la geomorfología, del espacio físico, fenómenos hidrométricos, entre otros, han hecho que las obras se vean superadas y se tenga en la necesidad de ser observadas y realizar un enfoque integral, en el que los límites territoriales no sean un impedimento de la visión del sistema como un todo, implementar alternativas según su origen y su naturaleza. En Zapotlán el Grande se han tenido registros de eventos de inundación que han generado estragos catastróficos. Ha habido interés anteriormente por parte del Ayuntamiento Municipal en conjunto con los distintos sectores, organizaciones y dependencias con influencia en el territorio: Ciudadanos y Productores Agroalimentarios Unidos por la Laguna de Zapotlán A. C.", Patronato del Nevado de Colima y Cuencas Adyacentes, Junta Intermunicipal del Río Coahuayana (JIRCO) para las obras de mitigación y se realizó en el año 2022 la "Estrategia municipal para la rehabilitación ambiental de la subcuenca Laguna de Zapotlán".

El objetivo principal de la estrategia es establecer un plan de gestión forestal y de manejo de suelos productivos, tanto agrícolas como ganaderos, así como de la infraestructura urbana del municipio. Este plan busca detener y revertir la degradación de los ecosistemas naturales, prevenir la pérdida de suelos y el azolve de la Laguna de Zapotlán, y recuperar gradualmente los servicios ambientales, especialmente la capacidad de infiltración de agua y la recarga del acuífero.

Tabla 153. Acciones derivadas de la Estrategia municipal para la rehabilitación ambiental de la subcuenca Laguna de Zapotlán

Tiempo/Plazo	Acción
Inmediato	Desazolve de cauces
Corto - mediano	Obras de retención de suelo e infiltración de agua
	Gestión para la rehabilitación de camino vecinal de uso común como vía alterna del libramiento norte
	Reforestación intensiva a través de islas y corredores biológicos
	Ampliar capacidad de tratamiento de aguas urbanas
	Conservación de suelo
	Análisis de viabilidad de dragado de emergencia, canales advenimiento.
	Análisis de viabilidad de pozos de absorción.
	Rehabilitación de cauces.
	Construcción de carretera tipo "C" libramiento Arco Norte, como vía de comunicación fuera del espejo de agua de la Laguna.
	Reutilización de agua tratada para riego de caminos.
	Captación y reutilización de agua de lluvia.
Mediano - largo	Sistemas sintrópicos agroecológicos y esquemas de agricultura regenerativa.

Fuente: Elaboración propia con información del Gobierno Municipal Zapotlán el Grande.



Mapa 146. Represas de azolve para retención de sedimento
Fuente: Elaboración propia.

Medidas Estructurales:

1. Represas de azolve

Según el Informe "Desazolve de cauces 2022- 2023" del Gobierno Municipal Zapotlán el Grande, en el año 2022 se realizó el Proyecto asistencia técnica y supervisión para la construcción de ecotecnias de retención de suelo e infiltración de agua, programa para rehabilitación de la microcuenca salto de cristo y la implementación de la primera etapa de dicho programa, en el municipio de Zapotlán El Grande, Jalisco. Este proyecto implicó la construcción de 16 bordos de retención de suelo e infiltración de agua, equivalentes a 73, 456 m2 y una capacidad de retención de 203,364 m^3. La Asociación de Ciudadanos y Productores Agroalimentarios Unidos por la Laguna de Zapotlán gestionaron la maquinaria de la SADER Jalisco y la inversión para el pago de combustibles y viáticos de los operadores de máquina fue realizada por parte de los productores beneficiados.

En el mapa anterior se muestran en amarillo las 16 represas construidas en el año 2022. Con el objetivo de abonar a la estrategia de rehabilitación de la cuenca, se proponen nuevos sitios para la construcción de represas (puntos en tonos verdes) con base a los modelos de peligro meteorológico y peligro por inundación que indican que se debe intervenir las zonas altas de la cuenca para prevenir arrastre de sedimento en la cuenca media, donde se ubican la mayoría de los agricultores y prevenir inundaciones en la cuenca baja, donde se ubican más zonas de cultivo y la urbanización de Ciudad Guzmán. El análisis hidrológico a través de una serie de modelos de escurrimiento superficial, validado por incidencias históricas, determina que existe riesgo por inundación muy alto, específicamente en tres zonas dentro del municipio Zapotlán el Grande:

- Arroyo Delgado a la altura de la localidad Atequizayan.
- Arroyo Los Guayabos y Arroyo Chuluapan a la altura de la Cabecera municipal, colonias cercanas a la Laguna de Zapotlán y colonias cercanas a las faldas de la Sierra del Tigre.
- Arroyo la Difunta a la altura de la localidad Los Fresnitos.

Explicado esto, en el mapa anterior se muestran en diferentes tonos de verde los sitios propuestos para la construcción de represas con base al arroyo donde se pretenden desarrollar dichas obras. A continuación, se muestran vistas 3D donde se observa la ubicación de las represas en el territorio y así mismo se presenta el modelo de altura de tirante del escurrimiento superficial junto con las incidencias reportadas en campo para entender que es lo que se pretende desarrollar en la zona funcional alta de la cuenca de la laguna de Zapotlán.

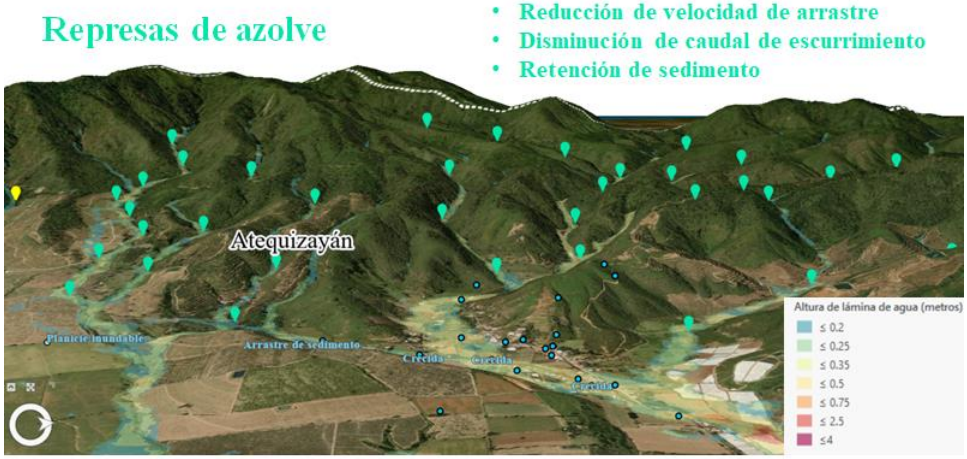


Figura 139. Represas de azolve propuestas en Arroyo Delgado.
Fuente: Elaboración propia.

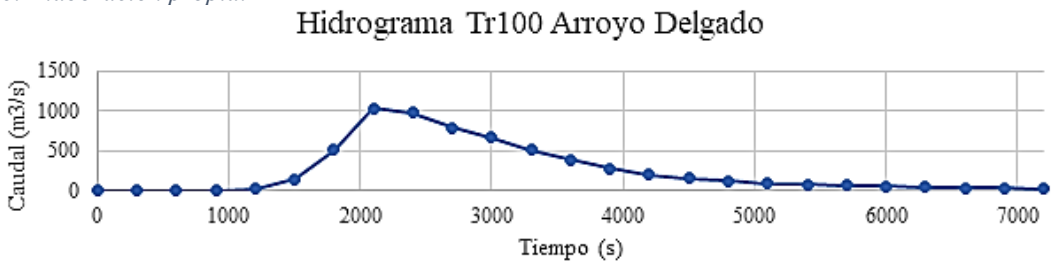


Figura 140. Hidrograma de una lluvia diseño de periodo de retorno Tr100 en Arroyo Delgado
Fuente: Elaboración propia.

Figura 141. Represas de azolve propuestas en Arroyo Los Guayabos y Arroyo Chuluapam
Fuente: Elaboración propia.

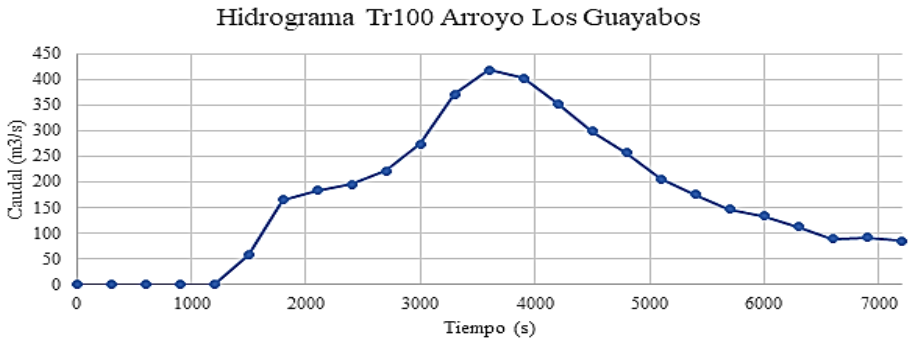


Figura 142. Hidrograma de una lluvia diseño de periodo de retorno Tr100 en Arroyo Los Guayabos
Fuente: Elaboración propia.

Las presas de azolve tienen como objetivo disminuir el aporte de sedimentos cuenca abajo, estabilizar, reducir la velocidad de arrastre, disminuir el caudal de escurrimiento, y también sirven para retener e infiltrar el agua. Todo esto se realiza mediante obras que involucran la protección de suelos, el control de laderas, reforestación y obras de drenaje para estabilización de taludes. Para el caso de las presas de azolve, se presentan en forma de una serie de pequeñas presas escalonadas que se construyen en los tributarios y a lo largo del cauce principal, con el propósito de estabilizar las pendientes de los cauces y laderas, reduciendo la energía del flujo para transportar los sedimentos.

Estas presas pueden estar hechas de varios materiales y cada uno puede llegar a tener sus limitantes en cuanto a sus alcances con variables como los costos, el tiempo de ejecución, el grado de cálculos necesarios para realizarlas. A continuación, los métodos más comunes para la elaboración de represas por tipo de material y sus características.

Tipo	Cárcava	Altura máxima (m)	Propósito	Costo	Otras características
Ramas	Pequeña	1	Detener azolve	Bajo si hay vegetación en la zona	Fácil de construir, poco durable.
Morillos	Pequeñas y angostas	3	Detener azolve	Bajo en áreas forestales	Apropiado para zonas forestales.
Malla de alambre	Pequeñas y angostas	1.5	Detener azolve	Relativamente bajo	Fácil de transportar y construir
Piedra acomodada	Pequeñas y angostas	2	Detener azolve	Moderado	Recomendable donde hay piedra
Gaviones	Cualquier tamaño	>2	Detener azolve	Alto	Alta durabilidad y eficiencia (requieren cálculo ingenieril)
Mampostería	Cualquier tamaño	>2	Detener azolve y captar agua	Muy alto	Alta durabilidad y eficiencia (requieren cálculo de ingenierías)

Figura 143. Características de presas según el material
Fuente: CONAFOR, 2004.

Al hacer supervisión satelital se encontró que la mayoría de las parcelas agrícolas productivas tienen bordos construidos que funcionan como vasos reguladores ya que se encuentran posicionados en las zonas donde los escurrimientos se concentran, las represas se pretenden implementar a lo largo de los escurrimientos que atraviesan las laderas de los cerros que drenan a la Laguna de Zapotlán.

Algunas de las obras se encuentran en áreas naturales protegidas por lo que se deberán construir con base en las leyes vigentes en cuanto a su construcción, materiales y los métodos empleados. Para estas zonas se pueden emplear algunos de los métodos como las presas de malla de alambre electrosoldada o ciclónica, presas de morillos, de ramas, de piedra acomodada, de geo costales, de llantas, de gaviones y de mampostería. Y se establecerá el sistema de construcción según la ubicación, el presupuesto, la mano de obra, los materiales disponibles y la durabilidad de los sistemas. Este tipo de represas se construyen en cárcavas pequeñas para detener su crecimiento y estabilizarlas.

Para alcanzar los mejores resultados se sugiere que se acompañen de otras prácticas de conservación de suelos como reforestación, zanjas derivadoras de escorrentía, aterrazamientos, entre otros. En los casos de encontrarse en zonas de protección como las ANP se tendrán que tomar en cuenta las especificaciones en cuanto a su construcción y uso de materiales. Como es el caso de la construcción de las presas de madera. Estas deberán de proceder de residuos de incendios, podas o material vegetal muerto y no de la tala de árboles.

2. Desazolve de escurrimientos

Siguiendo con el informe de desazolves comentado anteriormente, en este mismo se presentan los esfuerzos realizados por parte de la Dirección de Medio Ambiente, SAPAZA y el apoyo de SADER Jalisco, para el desazolve de arroyos y canales a partir de su desembocadura en la laguna y aguas arriba para prevenir su desbordamiento. A partir de los acuerdos establecidos en la estrategia de rehabilitación de la cuenca de la Laguna de Zapotlán, en los años 2022 y 2023 y desazolvaron un total de 33.4 kilómetros lineales de cauces y canales en el municipio:

Tabla 154. Resumen de desazolves realizados en Zapotlán el Grande durante los años 2022 y 2023

Año	Metros lineales intervenidos	Metros cúbicos desazolvados
2022	15,000	220,530
2023	18,396	120,745
Total	33,396	341,275

Fuente: Informe de Desazolves 2022 – 2023, Ayuntamiento Municipal Zapotlán el Grande.

En el plan de estrategia para la rehabilitación de la cuenca de la Laguna de Zapotlán se presenta la acción de transición a esquemas de agricultura regenerativa y sistemas agroecológicos sintrópicos. Más adelante, en el análisis de las medidas de mitigación de los fenómenos ecológico-sanitarios se presentan estos sistemas de cultivo que demuestran una gestión integral de los recursos mientras que al mismo tiempo ayudan a mitigar la pérdida y erosión del suelo y disminuyen los problemas relacionados a las avenidas máximas.

Figura 144. Resumen de tramos desazolvados 2022-2023
Fuente: Elaboración propia.

Medidas no estructurales.

3. Monitoreo climatológico e hidrográfico

En términos de medidas de mitigación no estructurales para los fenómenos hidrometeorológicos, se hace hincapié que lo más importante es contar con un sistema de monitoreo y generación de datos climatológicos e hidrográficos. La implementación de un sistema de monitoreo de datos climatológicos e hidrográficos en el área de estudio es crucial

para la calibración de los modelos hidrológicos. Medir variables clave como temperatura, humedad, precipitación y caudal de ríos permite comprender mejor el comportamiento hidrológico de la zona. Además, la tecnificación y la implementación de bitácoras detalladas de las dinámicas de cultivo proporcionarán una línea base para evaluar y mejorar las prácticas agrícolas, optimizando el uso del agua.

Para llevar a cabo el sistema de monitoreo se realizará un plan, se describen las etapas y los componentes enseguida.

Tabla 155. Plan de monitoreo de datos climatológicos e hidrográficos

Componentes	Objetivo	Caracteristicas	Parametros medidos	Indicadores
Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs)	Generación y recopilación de datos climatológicos para calibración y modelaciones	-Puntos estratégicos dentro de las microcuencas.	Temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento, radiación solar.	Cobertura de Monitoreo: Porcentaje de área de estudio cubierto por estaciones y sensores
		-Datos en tiempo real con almacenamiento y transmisión diaria		
Estaciones Hidrométricas	Medición de flujos de agua superficial en escurrimientos principales	-Puntos representativos en los cauces de los ríos y arroyos principales.	Nivel del agua, caudal, calidad del agua (pH, conductividad, turbidez).	Calidad de Datos: Precisión y consistencia de los datos recogidos
		-Datos en tiempo real con almacenamiento y transmisión diaria.		
Medición de niveles del agua subterránea y calidad de agua	Medición de flujos de agua superficial y de calidad de agua	-Pozos operados por SAPAZA municipales	Nivel del agua, caudal, calidad del agua (pH, conductividad, turbidez…).	Uso de Tecnología: Nivel de adopción y uso de dispositivos móviles y aplicaciones de gestión agrícola por parte de los agricultores.
		-Datos en tiempo real con almacenamiento y transmisión diaria.		

Sensores de Suelo	Monitoreo de la humedad y temperatura del suelo para optimizar el riego	Parcelas seleccionadas dentro del sistema de los sistemas de riego	Humedad del suelo a diferentes profundidades, temperatura del suelo.	Mejora en Prácticas de Riego: Reducción en el uso de agua, optimización de tiempos y volúmenes de riego.
Bitácoras de Uso de Riego	Registro detallado de usos, volúmenes y tiempos de riego por parcelas	Datos en tiempo real con almacenamiento y transmisión diaria	Fecha y hora de inicio y fin del riego, volumen de agua aplicado, método de riego, fuente de agua.	

Fuente: Elaboración propia.

Además del plan de monitoreo descrito anteriormente, se proponen las siguientes medidas no estructurales concretas para combatir el riesgo asociado a los fenómenos hidrometeorológicos:

4. Reformas políticas

Que el Ayuntamiento municipal en conjunto con el nivel estatal y el federal genere políticas para evitar la deforestación y la expansión agrícola con objeto de mantener o incrementar la infiltración, así como disminuir las crecidas.

5. Trabajo social

En cuanto a los dueños o usufructuarios de áreas propensas al riesgo, será indispensable el trabajo en conjunto para la gestión de recursos para la prevención (capacitación), protección y restauración de zonas vulnerables.

De este modo, se busca evitar las acciones que modifiquen los caudales de arroyos principalmente cercanos a zonas urbanas y localidades, lo cual aumenta el riesgo de pérdidas humanas.

6. Campañas de reforestación

Incrementar la rugosidad del terreno, mediante la propagación y establecimiento de especies que favorezcan la retención del suelo, especialmente en zonas desprovistas de cobertura vegetal.

7. Campañas de orientación de actividades agrícolas

Realizar programas de mejores prácticas agrícolas, a fin de reducir la contaminación y degradación de suelos agrícolas.

9.4 Medidas de fenómenos geológico-geomorfológicos

Deslizamiento de laderas

Medidas no estructurales

1. Reforestación y Plantación de Cobertura Vegetal

Implementar programas de reforestación y mantenimiento de la cobertura vegetal para estabilizar el suelo y reducir la erosión. Las raíces de las plantas ayudan a mantener la cohesión del suelo y disminuyen el riesgo de deslizamientos (CONAFOR, 2016).

2. Campañas de difusión y concientización

Sobre cómo actividades como la deforestación, modificaciones de escurrimientos, malas prácticas de construcción, y fugas de agua afectan la estabilidad de laderas.

Medidas estructurales

3. Muros de Contención y Anclajes

Construir muros de contención, sistemas de anclajes y pilotes para estabilizar laderas en áreas críticas. Estos pueden ayudar a prevenir deslizamientos y derrumbes.

4. Inspecciones Periódicas

Realizar inspecciones regulares de las laderas, especialmente después de eventos de lluvia intensa o terremotos, para identificar signos de inestabilidad (Jaimes et al., 2013).

Sismos

Medidas no estructurales

1. Zonificación y Planificación Urbana

Apoyar iniciativas como la del Centro de Estudios de la Tierra del Centro Universitario del Sur, para así contar con información más acertada sobre los efectos de los sismos en la cuenca de Zapotlán.

2. Simulacros y Preparación Comunitaria

Realización de simulacros regulares y formación de brigadas comunitarias para la respuesta rápida ante emergencias. Desarrollo de planes de emergencia y evacuación para la población.

Medidas estructurales

3. Refuerzo de Infraestructura

Reforzar la infraestructura existente, como casas, edificios, y carreteras, para resistir sismos y otros fenómenos geológicos. Esto incluye el uso de materiales y técnicas de construcción sismorresistentes. Transitar a este tipo de edificación.

4. Reforestación y Cobertura Vegetal

Programas de reforestación y plantación de vegetación para estabilizar el suelo y reducir la erosión en laderas vulnerables a consecuencia de sismos.

Vulcanismo

Medidas no estructurales

1. Seguir el plan de emergencia desarrollado por CENAPRED y la Organización Mundial de la Salud

En el cual se hace énfasis en el cuidado de piel, ojos y vías respiratorias. Incluso se han generado una serie de infografías que contienen información resumida y accesible para conocer más acerca de los fenómenos y sus medidas de prevención. Para consultar las infografías y el programa sobre protección ante caída de ceniza, se recomienda acceder al siguiente sitio: http://www.cenapred.gob.mx/PublicacionesWebGobMX/buscaindex .

Medidas estructurales

2. Refuerzos estructurales

Asegurar que los techos y otras estructuras sean lo suficientemente fuertes para soportar el peso de la ceniza acumulada.

Hundimientos subsidencia y agrietamiento

Medidas no estructurales

Para abordar la susceptibilidad a la licuefacción de suelos en Zapotlán el Grande, se recomienda implementar una metodología precisa y rigurosa que permita obtener resultados confiables. Esta medida incluye la realización de estudios geotécnicos y geofísicos avanzados, utilizando tecnologías y técnicas específicas.

1. Caracterización del Suelo

Realizar estudios detallados de los tipos de materiales geológicos presentes, la profundidad de los estratos saturados, y las propiedades dinámicas del suelo. Emplear ensayos de penetración estándar (SPT) y ensayos de penetración con cono (CPT) para evaluar la resistencia del suelo.

2. Evaluación Geofísica

Utilizar el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) para determinar la velocidad media de las ondas de corte en los primeros treinta metros del suelo (Vs30). Esta técnica ayuda a identificar la respuesta del sitio y el factor de amplificación del movimiento del suelo durante sismos.

3. Medición de Aceleración Sísmica

Instalar acelerómetros en la zona de estudio para registrar los valores de aceleración máxima.

4. Recursos Disponibles

El laboratorio de geofísica del Centro Universitario del Sur (CUSur) cuenta con los instrumentos necesarios para llevar a cabo estos estudios. Los equipos disponibles permiten realizar ensayos geotécnicos y geofísicos con alta precisión, proporcionando una base sólida para la evaluación de la susceptibilidad a la licuefacción.

Medidas estructurales

5. La instalación de las columnas de grava

Para la mejora al terreno de forma tal que se densifica el terreno, disminuyen los tiempos de consolidación, aumenta la capacidad portante y reducen los asentamientos (Gil, 2016).

6. La compactación dinámica

Es una técnica de mejora del terreno aumenta la capacidad de carga de rellenos o suelos granulares y sueltos.

9.5 Medidas de fenómenos químico-tecnológicos

Esta sección proporciona una serie de directrices diseñadas para gestionar situaciones de peligro mediante una planificación adecuada para diversas situaciones de riesgo. Las propuestas aquí presentadas se basan en un enfoque constructivo de recopilación de datos y mejoras continuas, en coordinación con la unidad de protección civil, encargada de implementar todas las medidas preventivas necesarias. Estas recomendaciones están fundamentadas en la información recopilada durante visitas de campo y talleres participativos en diferentes localidades del municipio, lo que ha permitido obtener una visión integral y propuestas de mejora directamente de los residentes que enfrentan estos riesgos. Basándose en evaluaciones preliminares de riesgo y en la colaboración con industrias locales, se han incorporado medidas de mitigación destinadas a proteger los bienes físicos, biológicos y humanos en el entorno.

Medidas no estructurales

1. Planificación y Regulación

- Zonificación de Uso de Suelo: Actualizar y aplicar regulaciones de zonificación que restrinjan la ubicación de nuevas instalaciones industriales en áreas cercanas a zonas residenciales. Establecer zonas de amortiguamiento adecuadas alrededor de instalaciones que manejen sustancias peligrosas.
- Evaluación de Impacto Ambiental: Requerir evaluaciones de impacto ambiental rigurosas para todas las nuevas instalaciones industriales y actividades que impliquen el manejo de sustancias peligrosas.

2. Capacitación y Concientización

- Programas de Capacitación: Desarrollar programas de capacitación continua para el personal de las industrias que manejan sustancias peligrosas, así como para los equipos de respuesta a emergencias. Estos programas deben incluir simulacros regulares y entrenamientos en el manejo de emergencias.

- Campañas de Concientización: Implementar campañas de concientización para la comunidad sobre los riesgos asociados con las sustancias peligrosas y las medidas de autoprotección que deben tomarse en caso de una emergencia.

3. Planes de Emergencia y Respuesta

- Planes de Emergencia: Desarrollar y actualizar planes de emergencia específicos para incidentes químicos-tecnológicos, que incluyan procedimientos claros de evacuación, refugio y primeros auxilios. Estos planes deben ser coordinados con las autoridades locales y las entidades de protección civil.
- Sistemas de Alerta Temprana: Implementar sistemas de alerta temprana que informen a la población y a las autoridades sobre cualquier incidente químico-tecnológico de manera oportuna, permitiendo una respuesta rápida y efectiva.

4. Inspección y Mantenimiento

- Programas de Inspección: Establecer programas regulares de inspección y mantenimiento para todas las instalaciones que manejen sustancias peligrosas, asegurando que todos los equipos y sistemas de seguridad estén en óptimas condiciones.
- Auditorías de Seguridad: Realizar auditorías de seguridad periódicas para identificar y corregir posibles vulnerabilidades en las instalaciones industriales y comerciales.

5. Colaboración y Coordinación

- Redes de Comunicación: Establecer redes de comunicación efectivas entre las empresas, las autoridades locales y las entidades de protección civil para coordinar las acciones de respuesta y mitigación en caso de emergencia.
- Acuerdos Interinstitucionales: Fomentar acuerdos de colaboración interinstitucional para compartir recursos y conocimientos, mejorando la capacidad de respuesta ante incidentes químicos-tecnológicos.

6. Mantener un monitoreo continuo

Implementar sistemas de detección temprana para identificar y responder rápidamente a cualquier señal de contaminación. Este enfoque se centra en la vigilancia y el control constante, permitiendo una respuesta rápida y eficaz ante cualquier incidente de derrame.

7. Capacitar continuamente al personal

Asegurar que todos los empleados estén bien entrenados en prácticas de manejo seguro y respuesta a emergencias. La formación y educación del personal son cruciales para garantizar que los procedimientos de seguridad se sigan correctamente y que las respuestas a emergencias sean eficientes y efectivas.

Medidas estructurales

1. Diseño y Construcción de Infraestructura Resiliente

- Refuerzos Estructurales: Fortalecer las estructuras industriales y comerciales que manejan sustancias químicas peligrosas para resistir sismos y explosiones. Utilizar materiales de alta resistencia y técnicas de construcción adecuadas para minimizar daños estructurales en caso de eventos naturales o tecnológicos.
- Sistemas de Contención: Implementar sistemas de contención secundaria, como diques de contención y barreras físicas, alrededor de tanques de almacenamiento y áreas de manejo de sustancias peligrosas para evitar derrames y fugas en caso de accidentes.
- Monitoreo y Detección de Fugas: Implementar sistemas de monitoreo continuo para la detección temprana de fugas de sustancias peligrosas. Utilizar sensores y alarmas que permitan una respuesta rápida ante cualquier incidente.
- Válvulas de Cierre Automático: Instalar válvulas de cierre automático en tuberías y sistemas de transporte de sustancias peligrosas para limitar la liberación de sustancias en caso de emergencia.

2. Infraestructura Vial y Transporte

- Rutas Seguras: Establecer y mantener rutas de transporte seguras y bien señalizadas para el traslado de sustancias peligrosas, minimizando el tránsito por áreas densamente pobladas.
- Áreas de Descanso y Control: Implementar áreas de descanso y control para vehículos que transporten sustancias peligrosas, equipadas con sistemas de detección y respuesta a emergencias.

3. Protección contra Eventos Naturales

- Diseño Resistente a Sismos: Asegurar que todas las instalaciones industriales que manejan sustancias químicas peligrosas sean diseñadas y reforzadas para resistir

eventos sísmicos, utilizando materiales y técnicas de construcción antisísmica especificadas en normativas como las del Instituto Nacional de Sismología.

- Protección contra Hundimientos: Instalar sistemas de monitoreo geotécnico para detectar movimientos del suelo que puedan indicar hundimientos o subsidencia, y tomar medidas preventivas para estabilizar las áreas afectadas.
- Protección contra Erupciones Volcánicas: Instalar sistemas de filtración de aire en las instalaciones industriales para proteger a los equipos y al personal de la ceniza volcánica y otros materiales emitidos durante una erupción.

4. Mejorar los materiales de construcción

Utilizar concretos y selladores más avanzados que sean más resistentes a la permeabilidad. Esta medida implica la utilización de materiales especializados y técnicas de construcción que proporcionen una mayor resistencia y durabilidad, lo cual es fundamental para prevenir la infiltración de hidrocarburos en caso de derrame.

5. Implementar tecnologías adicionales de contención

Utilizar barreras secundarias y terciarias para capturar cualquier fuga antes de que alcance el subsuelo. Estas barreras físicas actúan como una defensa adicional para evitar que los contaminantes se dispersen y alcancen áreas vulnerables, protegiendo así el medio ambiente y los recursos hídricos subterráneos.

9.6 Medidas de fenómenos ecológico-sanitarios

Frente a los crecientes desafíos ambientales y sanitarios, es crucial implementar estrategias efectivas que mitiguen los impactos negativos en los ecosistemas y las comunidades humanas. Las medidas de mitigación de los fenómenos ecológico-sanitarios buscan abordar estos problemas mediante un enfoque integral y multidisciplinario, promoviendo la regeneración de suelos, la propagación forestal, el manejo sostenible del arbolado urbano, la reforestación estratégica, la conversión de residuos y la transición hacia prácticas agrícolas regenerativas.

Estas iniciativas abarcan desde la restauración de áreas degradadas y la creación de invernaderos municipales para la propagación de plantas nativas, hasta la implementación de planes integrales de manejo de arbolado urbano y programas de reforestación en áreas críticas. Además, se incluyen proyectos para el tratamiento y aprovechamiento de residuos

derivados de plantas de tratamiento y desazolves del sistema de alcantarillado, así como la promoción de la agricultura regenerativa.

La combinación de estas estrategias no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también mejora la calidad de vida de las comunidades, aumenta la biodiversidad y fortalece la resiliencia frente a los cambios climáticos y sanitarios. A continuación, se detallan las principales medidas propuestas para mitigar los fenómenos ecológico-sanitarios, destacando su importancia y beneficios.

Regeneración de Áreas Propensas a la Pérdida del Suelo

La regeneración de áreas propensas a la pérdida del suelo es una estrategia enfocada en restaurar la salud y la productividad de suelos degradados. Esta iniciativa abarca prácticas como la reforestación, la implementación de barreras vegetativas y la restauración de la cobertura vegetal nativa. El objetivo es reducir la erosión, mejorar la retención de agua y aumentar la fertilidad del suelo, contribuyendo así a la sostenibilidad de los ecosistemas y la seguridad alimentaria. Además, estas acciones ayudan a mitigar el cambio climático al aumentar la captura de carbono, mejorar la biodiversidad y estabilizar el paisaje frente a eventos climáticos extremos.

1. Construcción de terrazas

Implementar terrazas en pendientes pronunciadas para reducir la velocidad del agua de escorrentía y minimizar la erosión. Estas terrazas pueden ser de piedra, vegetativas o materiales de la zona, y ayudan a reducir la pérdida de suelo y mejorar la infiltración del agua.

2. Coberturas vegetativas

Plantar vegetación de cobertura, como pastos y leguminosas, en áreas propensas a la erosión para estabilizar el suelo y mejorar su estructura.

3. Construcción de presas de azolve en escurrimientos

Construir pequeñas presas para capturar sedimentos y reducir la carga de sedimentos en corrientes de agua. Las presas de gavión son una opción viable en canales y barrancos.

4. Capacitación en escuelas de campo

Implementar programas educativos que enseñen prácticas de agricultura regenerativa a agricultores y técnicos, fomentando la adopción de técnicas sostenibles. Estos programas pueden incluir talleres sobre compostaje, rotación de cultivos y uso de biofertilizantes.

5. Promoción de parcelas demostrativas

Establecer parcelas de demostración en cultivos de aguacate y berries para mostrar prácticas regenerativas activas, destacando los beneficios prácticos y los resultados reales de estas técnicas.

Plan integral de manejo de residuos sólidos urbanos

El Plan Integral de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (PIMRSU) es una estrategia destinada a la gestión integral y eficiente de los residuos en áreas urbanas. Este plan abarca desde la implementación de programas de reciclaje y el desarrollo de infraestructuras de gestión de residuos hasta la creación de incentivos para la gestión integral. Su objetivo es reducir la generación de residuos sólidos urbanos, mejorar su manejo, incrementar la participación activa de la ciudadanía y fomentar la economía circular. Este plan incluye la separación de residuos en origen, la recolección eficiente y la participación activa de la comunidad, sector privado, industrial, agropecuario, universidades y gobierno.

La transición hacia una gestión integral de residuos debe ser un proceso gradual y participativo, asegurando la colaboración de todos los sectores y la adaptación progresiva de la comunidad. Este proyecto requiere la colaboración de todos: la participación ciudadana es crucial desde la creación hasta la implementación del plan; las empresas y negocios del sector privado deben ser incentivados para adoptar prácticas sostenibles; los sectores industrial y agropecuario deben implementar estrategias de gestión de residuos; las universidades deben contribuir con investigación y desarrollo de tecnologías accesibles; y el gobierno debe proveer el marco legal y financiero necesario para la implementación del plan. Los cambios pueden ser progresivos, dependiendo de las necesidades y capacidades locales.

1. Incentivos para la Gestión Sostenible de Residuos

Para fomentar la gestión sostenible de residuos orgánicos, se propone ofrecer incentivos económicos y fiscales. Las acciones específicas incluyen:

- Subsidios para Compostadores y Biodigestores Domésticos: Proveer subsidios para la compra de compostadores domésticos para reducir la cantidad de residuos orgánicos que llegan a los vertederos. Siendo aproximadamente un 64% del residuo generado per cápita.
- Programas de Apoyo Financiero para Proyectos de Gestión de Residuos: Crear programas de apoyo financiero para proyectos comunitarios y empresariales que contribuyan a la gestión de residuos orgánicos.

En ciertas comunidades, se ha implementado un sistema de separación de residuos desde la fuente, en el cual el municipio proporciona tres botes de basura a cada residente. Las construcciones que se encuentren en conformidad con las normativas del plan de ordenamiento municipal y al día con los pagos del predial podrán recibir beneficios como:

- Bote para Residuos Orgánicos: Exclusivo para desechos orgánicos, facilitando la producción de compost y reduciendo olores.
- Bote para Residuos Valorizables: Destinado a materiales reciclables, promoviendo la economía circular.
- Bote para Residuos No Separables: Para aquellos residuos que no pueden ser reciclados ni compostados.

2. Implementación de Programas de Reciclaje

Esta sección del PIMRSU se centra en la implementación de sistemas de recolección selectiva de residuos reciclables, como papel, plástico, vidrio y metales, en áreas urbanas. Incluye la creación de puntos de recolección diferenciados, la organización de campañas educativas sobre reciclaje y la colaboración con empresas de reciclaje para asegurar la correcta disposición de los materiales. Los beneficios esperados son la reducción del volumen de residuos enviados a los vertederos, la conservación de recursos naturales y la generación de empleo en la industria del reciclaje.

3. Desarrollo de Infraestructuras de Gestión de Residuos

Esta parte del plan se enfoca en construir y mejorar las instalaciones necesarias para la clasificación y reciclaje de residuos sólidos urbanos. Las acciones específicas incluyen el establecimiento de plantas de separación y clasificación de residuos y la mejora de las instalaciones existentes para aumentar su capacidad y eficiencia. Los beneficios incluyen la mejora de la eficiencia en la gestión de residuos, el aumento de la recuperación de materiales reciclables y la reducción de la contaminación ambiental.

4. Campañas o Programas de Concientización y Educación

Esta sección aborda la necesidad de realizar campañas educativas para sensibilizar a la población sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar. Las acciones incluyen el desarrollo de programas educativos en escuelas, el uso de medios de comunicación y redes sociales para difundir información y la organización de talleres y charlas comunitarias. Los beneficios son el aumento de la participación ciudadana en la gestión de residuos, la creación de una cultura de sostenibilidad y la disminución de la cantidad de residuos que llegan a las calles y sistemas de drenaje, evitando problemas como el taponamiento de coladeras y escurrimientos.

5. Regulaciones y Políticas de Reducción de Residuos

Aquí se establece la importancia de crear normativas que fomenten la reducción y separación de residuos desde la fuente.

6. Implementación de Programas de Compostaje Comunitario

Esta sección se dedica a establecer sitios de compostaje en áreas urbanas y rurales para el manejo de residuos orgánicos. Las acciones incluyen la instalación de compostadores comunitarios, la promoción del vermicompostaje en barrios, escuelas, y la oferta de formación sobre técnicas de compostaje. Los beneficios incluyen la producción de compost para mejorar la fertilidad del suelo, concientizar por medio de la acción, la reducción de residuos orgánicos en vertederos.

7. Instalación de Plantas de Biodigestión

Esta parte del plan se enfoca en construir plantas de biodigestión para convertir residuos orgánicos en biogás y fertilizantes orgánicos ya sea a escala municipal o generar las calificaciones necesarias para el monitoreo e implementación en la industria agropecuaria. Las acciones incluyen identificar ubicaciones adecuadas para las plantas, desarrollar la infraestructura necesaria y establecer procesos de recolección y tratamiento de residuos orgánicos. Los beneficios esperados son la producción de biogás, la reducción de residuos orgánicos y gases de efecto invernadero así también como la generación de fertilizantes orgánicos.

8. Gestión de Residuos de Construcción y Prevención de Tiraderos Clandestinos de Escombros

El objetivo del plan es implementar una gestión integral y eficiente de los residuos de construcción y demolición, reduciendo la incidencia de tiraderos clandestinos y promoviendo prácticas sostenibles de manejo de escombros.

- Identificación y Regulación de Generadores: Registrar y regular a los generadores de residuos de construcción y demolición para asegurar que manejen adecuadamente sus escombros. Número de generadores registrados y regulados.
- Monitoreo y Sanción de Tiraderos Clandestinos: Implementar un sistema de monitoreo para detectar y clausurar tiraderos clandestinos de escombros. Número de tiraderos clandestinos detectados y clausurados.
- Desarrollo de Infraestructuras y Reciclaje: Construir y mejorar instalaciones para el reciclaje de residuos de construcción y demolición.
- Incentivos para la Reutilización y Reciclaje: En Querétaro, se ofrecen incentivos fiscales a empresas que reciclan materiales de construcción, promoviendo la economía circular.

Transición hacia la agricultura regenerativa

A continuación, se detallan proyectos específicos. Para información adicional, consulte el anexo de agricultura regenerativa. En un escenario ideal, estos proyectos se implementarán y expandirán progresivamente, hasta lograr una adopción generalizada y exponencial de la agricultura regenerativa. Con resultados positivos, la adopción de estas prácticas será más orgánica y se impulsará por el convencimiento y las acciones de los propios productores.

1. Establecimiento de parcelas demostrativas

Crear parcelas demostrativas que utilicen prácticas de agricultura regenerativa para la demostración de los beneficios de las prácticas regenerativas y fomento de su adopción por parte de otros agricultores. Ejemplos como la implementación de cultivos de cobertura, sistemas de agricultura regenerativa como agroforestería, sistemas agrosilvopastoriles entre otros.

2. Implementación de escuelas de campo

El establecimiento de Escuelas de Campo es una iniciativa destinada a proporcionar educación práctica y teórica sobre técnicas agrícolas sostenibles y manejo de recursos naturales. Estas escuelas ofrecen formación directa a agricultores, tanto empíricos como profesionales, y miembros de la comunidad, promoviendo prácticas agroecológicas que mejoran la productividad y la resiliencia de los sistemas agrícolas. El objetivo es empoderar a los participantes con conocimientos y habilidades que les permitan optimizar el uso de sus recursos, incrementar sus ingresos y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Además, las Escuelas de Campo fomentan el intercambio de conocimientos entre agricultores, fortaleciendo las redes comunitarias y promoviendo la adopción de innovaciones sostenibles. También se promoverá la reintegración de recursos mediante el uso de residuos orgánicos y subproductos industriales, como lodos de plantas de tratamiento, residuos de melaza, polvos de roca y residuos orgánicos, como insumos para la agricultura. Los cursos incluirán prácticas dentro de parcelas demostrativas y visitas a distintas zonas productivas para fomentar la adopción gradual de mejores prácticas.

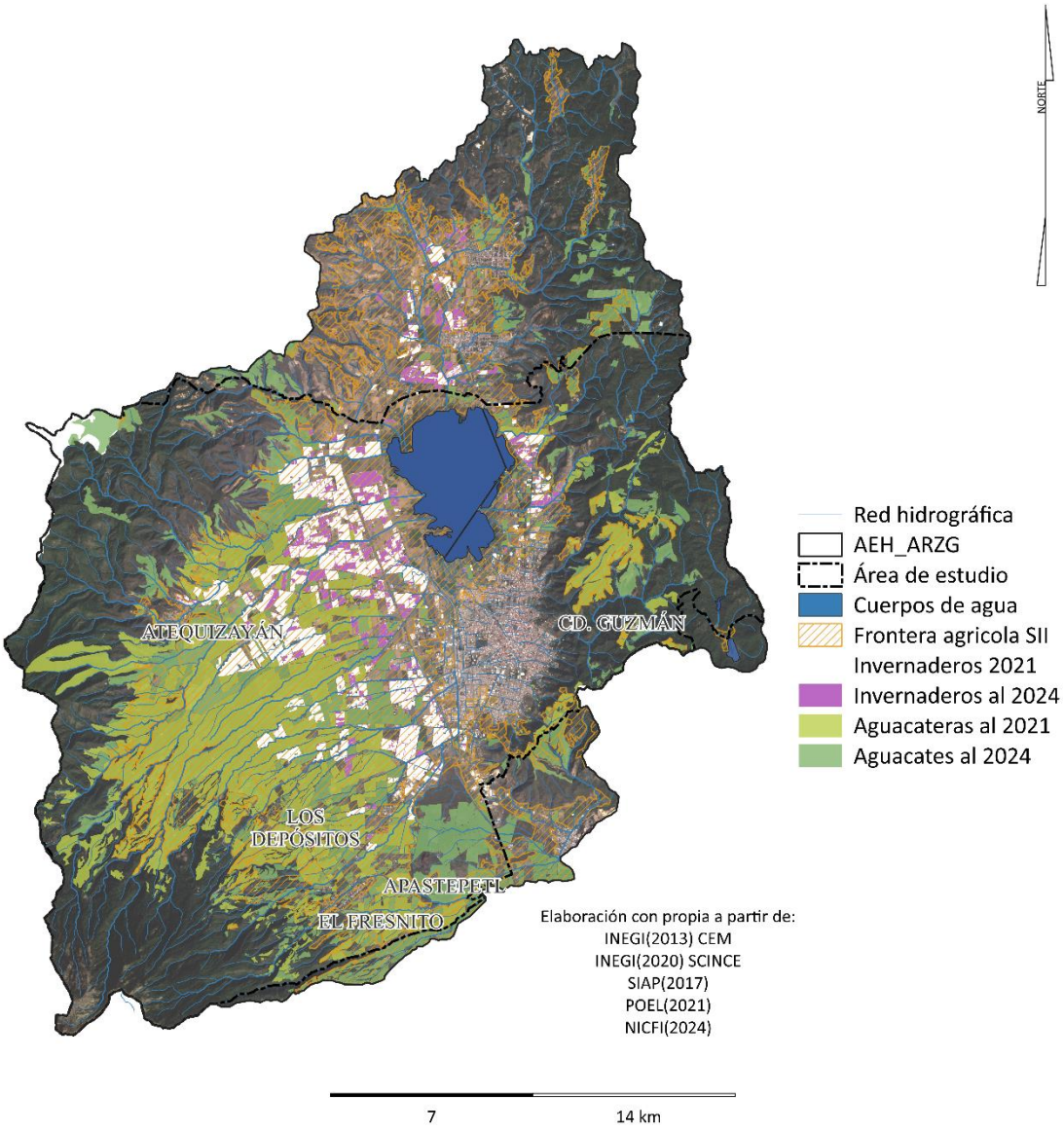
Este enfoque permitirá un aprendizaje mutuo, asegurando que tanto el conocimiento tradicional de generaciones anteriores como las nuevas técnicas agrícolas evolucionen conjuntamente, beneficiando a todos los sectores involucrados y garantizando que la información no se pierda, sino que continúe desarrollándose y adaptándose a las necesidades contemporáneas.

3. Fomento de monitoreo y análisis de suelos periódicos

Promover y facilitar la realización de muestreos de suelos es esencial para una gestión agrícola eficiente y sostenible. Esto implica capacitar al personal para llevar a cabo estos muestreos y asegurar la disponibilidad de laboratorios que brinden el servicio. Con análisis de suelos periódicos, es posible diseñar planes de fertilización ajustados a las necesidades reales de los cultivos, optimizando el uso de recursos económicos, mano de obra e insumos.

4. Fomento de la producción y uso de biofertilizantes

Promover la producción y uso de biofertilizantes generados a partir de residuos orgánicos y de otros procesos productivos para la mejora de la fertilidad del suelo y reducción del uso de fertilizantes sintéticos. El uso de compost, té de compost y biofertilizantes líquidos tanto dentro de las mismas parcelas como su producción específica en biofábricas.



Mapa 147. Tipos de cultivo en el Área de Estudio Hidrológico
Fuente: Elaboración propia.

5. Incorporación de técnicas de pastoreo rotativo y manejo holístico del ganado

La incorporación de técnicas de pastoreo rotativo y manejo holístico del ganado es fundamental para el manejo sostenible de las "malas hierbas" y la regeneración de los suelos. Estas prácticas no solo incrementan la biodiversidad y mejoran la salud del ganado, sino que también diversifican los productos obtenidos de las explotaciones agrícolas. Además, permiten una significativa reducción en el uso de herbicidas y fertilizantes sintéticos y mejoran la retención de humedad en el suelo. Implementar sistemas agrosilvopastoriles que combinan pastoreo rotativo y el uso de cercas eléctricas móviles facilita una gestión más eficiente y sostenible del ganado, promoviendo la salud del ecosistema y optimizando los recursos disponibles.

6. Diseño y trazo del sistema Keyline

Implementar el diseño Keyline o línea clave en las plantaciones para optimizar el manejo del agua, para una distribución uniforme, la regeneración del suelo para la mejora de la retención de agua y reducción de la erosión del suelo.

Teniendo en cuenta los fundamentos de la agricultura regenerativa y el manejo holístico, se presenta una propuesta hacia la transición a la agricultura regenerativa del aguacate. Esta propuesta busca implementar prácticas sostenibles que restauren la salud del suelo, que aumenten la biodiversidad y mejoren la resiliencia del ecosistema agrícola. Además, se enfoca en el bienestar de las comunidades agrícolas y los individuos involucrados, promoviendo un desarrollo integral y regenerativo.

Un aspecto clave de esta propuesta es la trazabilidad de los productos a lo largo de toda la cadena de producción, lo que mejora la transparencia y la confianza en los productos regenerativos. Al garantizar que cada etapa del proceso pueda ser monitoreada y verificada, se promueve una cadena de valor basada en buenas prácticas agrícolas. Esta trazabilidad no sólo refuerza la confianza de los consumidores, sino que también destaca los beneficios ambientales y sociales de la agricultura regenerativa, generando un valor añadido significativo para los productos.

Además, según estudios realizados por el NRCS y USDA se ha determinado que cada incremento del 1% de materia orgánica en el suelo permite almacenar aproximadamente 1.5 mm adicionales de agua por cada 30 cm de profundidad del suelo. (NRCS, USDA, 2018). Esto se traduce en que, por cada hectárea de suelo, un incremento del 1% en la materia orgánica permite retener hasta 186,700 litros adicionales de agua.

La transición a la agricultura regenerativa en los cultivos de aguacate y de cultivos de temporal no solo mejorará la productividad y la resiliencia del sistema agrícola, sino que también contribuirá a la regeneración del ecosistema y al bienestar de las comunidades agrícolas. Implementando un enfoque holístico y adaptando prácticas regenerativas específicas, es posible crear un sistema agrícola resiliente, eficiente y beneficioso para el medio ambiente y la sociedad.

Para garantizar el éxito de la transición a la agricultura regenerativa del municipio, se ha diseñado un plan de monitoreo integral que cubre diversas etapas del proceso. Este plan permite evaluar y ajustar las prácticas implementadas, asegurando que se cumplan los objetivos de sostenibilidad, productividad y bienestar comunitario. A continuación, se detallan las etapas clave del plan de monitoreo:

Tabla 156. Plan de monitoreo integral

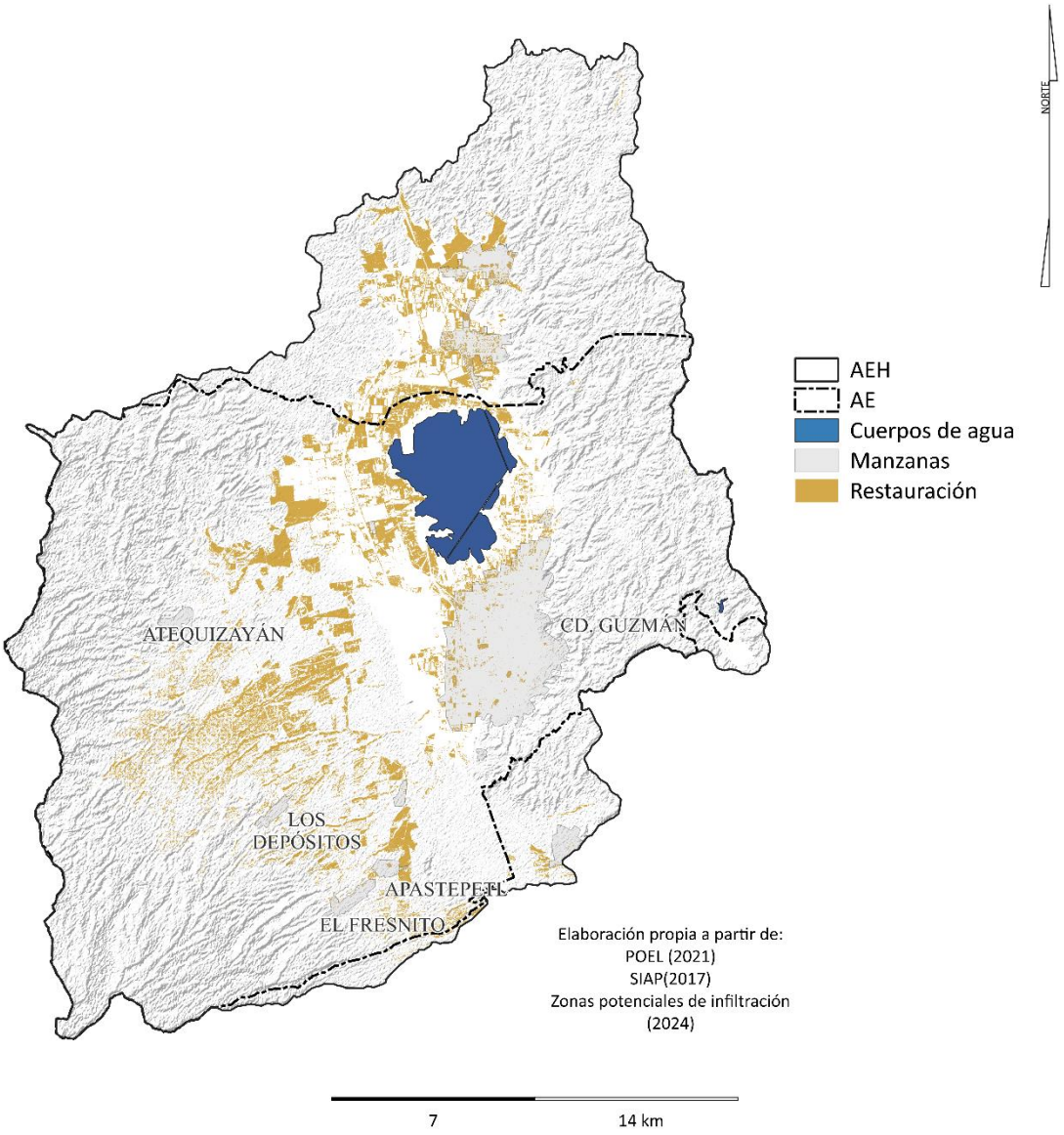
Acción/Componente	Objetivo	Características	Parámetros Medidos	Indicadores	Temporalidad
Evaluación Inicial y Planificación	Diagnóstico del suelo y ecosistema	Análisis de suelo, biodiversidad y salud del ecosistema	pH del suelo, niveles de nutrientes, biodiversidad	Resultados del análisis de suelo, diversidad de especies	Inicial (3 meses)
Cobertura del Suelo y Cultivos de Cobertura	Mejorar la fertilidad del suelo y reducir la erosión	Plantación de leguminosas, uso de mulch	Materia orgánica, cobertura del suelo	Incremento en la materia orgánica, reducción de erosión	Permanente
Agroforestería y Policultivos	Aumentar la biodiversidad y crear un microclima favorable	Integración de frutales, plantas medicinales y cultivos anuales	Diversidad de especies, crecimiento de plantas	Número de especies introducidas, tasa de supervivencia	Progresiva (1-2 años)
Biofertilizantes y Compost	Enriquecer el suelo con nutrientes y microorganismos	Producción y aplicación de compost, bioles y bioinsumos.	Nutrientes del suelo, actividad microbiana	Incremento en nutrientes y actividad microbiana	Permanente
Silvopastoreo y Pastoreo Rotativo	Mejorar la fertilidad del suelo y manejar la vegetación	Integración de ganado, uso de cercos eléctricos portátiles	Fertilidad del suelo, crecimiento de pastos	Incremento en materia orgánica, salud del pasto	Permanente
Sistema de Monitoreo Continuo	Evaluar la salud del suelo y la biodiversidad	Registro de datos de riego, fertilización y manejo del ganado	Datos de humedad, niveles de nutrientes	Datos registrados y analizados regularmente	Permanente
Capacitación del Personal	Formación en prácticas regenerativas	Cursos y talleres continuos	Participación en capacitaciones, aplicación práctica	Número de capacitaciones, adopción de prácticas	Regular (semestral)

Involucramiento Comunitario	Promover la colaboración y el intercambio de conocimientos	Participación de la comunidad en la transición	Participación comunitaria, intercambio de conocimientos	Número de participantes, colaboración efectiva	Regular (trimestral)
Trazabilidad	Asegurar la transparencia y confianza de los consumidores	Obtener certificaciones, desarrollar sistemas de trazabilidad	Proceso de certificación, trazabilidad de productos	Certificación obtenida, sistema de trazabilidad implementado	Inicial y permanente
Marketing y Ventas	Promover productos regenerativos y aumentar el valor añadido	Estrategias de marketing enfocadas en beneficios ambientales y sociales	Ventas, valor añadido de productos	Incremento en ventas, reconocimiento de productos	Progresiva (anual)

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan imágenes de una parcela aplicada con el sistema Keyline, acompañado de un modelo representativo en 3D.

Figura 145. Modelo representativo del diseño keyline y configuración en Zapotlán el Grande
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 148. Sitios prioritarios de restauración hidrológica en zonas que se encuentran dentro la frontera agrícola
Fuente: Elaboración propia.

Para comenzar con tareas de priorización una zonificación y concentrar esfuerzos, teniendo en cuenta la importancia de la infiltración vertical hacia el subsuelo se realizó un modelo ponderado de los sitios prioritarios de restauración hidrológica se visualiza mediante un archivo espacial del área de estudio hidrológica en su totalidad, cuyas celdas contienen valores entre los siguientes parámetros:

- 1: Zonas de recarga alta y muy alta y con usos de suelo de: Zonas agrícolas, matorrales, pastizales inducidos
- 0: Zonas dentro del territorio del área de estudio en donde por sus características fisiográficas son de menor prioridad.

De tal manera que se obtiene una zonificación de los sitios que se deben proteger por su relevancia hidrológica y ecológica. Estos sitios al ser de uso agrícola principalmente, se deberá potencializar la implementación de prácticas de agricultura regenerativa, así como la cobertura de los suelos durante el año dentro y en las zonas colindantes. Manteniendo la cobertura del suelo como mínimo y deben estar en constante monitoreo con el objetivo de detener las alteraciones en los patrones naturales del ciclo hidrológico.

Calidad del agua

Para mejorar la calidad del agua en ríos y lagos y reducir la contaminación causada por descargas de aguas residuales y prácticas agrícolas inadecuadas, es fundamental implementar una serie de medidas integrales y coordinadas. Estas medidas se enfocan en la construcción de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs), el mantenimiento y monitoreo de las instalaciones existentes, la regulación y cumplimiento de normativas, el tratamiento en origen, la promoción de buenas prácticas agrícolas, la colaboración interinstitucional y el uso de baños secos en localidades rurales.

1. Construcción de nuevas PTARs

La construcción de nuevas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) en localidades rurales es crucial para abordar la demanda no atendida y mitigar las descargas directas de aguas residuales sin tratamiento. Estas instalaciones deben diseñarse para manejar volúmenes específicos de aguas residuales, considerando tanto las cifras actuales como la proyección de crecimiento demográfico de las comunidades rurales. Además, es esencial garantizar que el efluente tratado cumpla con los estándares ambientales establecidos,

2. Mantenimiento y monitoreo

Asegurar el mantenimiento regular y la operación eficiente de todas las plantas de tratamiento es crucial para su desempeño óptimo. Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real y descentralizado para verificar la calidad de los efluentes tratados, así como en los distintos puntos de muestreo propuestos en escurrimientos específicos y en la Laguna de Zapotlán, permitirá una gestión proactiva y la identificación rápida de problemas. Este monitoreo debe incluir parámetros clave como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Coliformes Fecales (CF) y Escherichia coli (E. coli). Estos sistemas permitirán una respuesta inmediata a cualquier desviación de los estándares de calidad del agua, asegurando que se tomen medidas correctivas rápidamente para proteger la salud de los ecosistemas acuáticos y las comunidades locales. Se plantea seguir con el monitoreo periódico según los puntos de muestreo propuestos en el Plan Maestro de la Cuenca endorreica de Zapotlán el Grande. Obtenido a partir de solicitud de insumos municipales. CIESAS. (2021)

3. Regulación y cumplimiento

Implementar y hacer cumplir normativas estrictas para el manejo de aguas residuales, asegurando que todas las descargas cumplan con la NOM-001-SEMARNAT-1996, es esencial para mantener la calidad del agua. Las autoridades deben realizar inspecciones regulares de los puntos de descarga y aplicar sanciones en caso de incumplimiento. Esto incluye tanto las descargas públicas urbanas como las agropecuarias.

4. Tratamiento en origen

Promover el uso de sistemas de tratamiento descentralizados en granjas y establecimientos pecuarios para tratar las aguas residuales antes de su descarga es una medida efectiva para reducir la contaminación. Sistemas como biodigestores y humedales artificiales pueden ser implementados para tratar las aguas residuales en el lugar de generación, minimizando el impacto en los cuerpos de agua cercanos.

5. Inspecciones regulares

Realizar inspecciones periódicas de los puntos de descarga para asegurar el cumplimiento de las normativas es fundamental. Estas inspecciones deben ser sistemáticas y cubrir todas las concesiones de descarga, tanto urbanas como pecuarias. La implementación de sanciones efectivas para los incumplimientos ayudará a disuadir las prácticas inadecuadas y a mantener la calidad del agua.

6. Buenas prácticas agrícolas

Fomentar la adopción de prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la erosión y la escorrentía de contaminantes hacia los cuerpos de agua es crucial. Esto incluye el uso de biofertilizantes y compost en lugar de fertilizantes sintéticos, la implementación de técnicas de manejo integrado de plagas y la creación de zonas de amortiguamiento vegetativas alrededor de cuerpos de agua. Estas prácticas ayudan a mejorar la salud del suelo y a reducir la contaminación del agua por escorrentía agrícola.

7. Colaboración Interinstitucional

Fomentar la colaboración entre diferentes instituciones y actores es esencial para maximizar los recursos y conocimientos disponibles. La cooperación entre agencias gubernamentales locales, regionales y nacionales, el sector privado, organizaciones no gubernamentales y académicas permitirá una gestión coordinada y eficiente de los recursos hídricos. Esta colaboración puede incluir proyectos conjuntos de monitoreo, investigación y desarrollo de tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales y la conservación del agua.

8. Baños secos en localidades

En las localidades rurales, donde la construcción de PTARs puede no ser viable, promover el uso de baños secos es una solución efectiva para reducir la contaminación del agua. Los baños secos no requieren agua para la eliminación de desechos, lo que reduce significativamente la cantidad de aguas residuales generadas. Además, los desechos sólidos pueden ser tratados y utilizados como fertilizante, cerrando el ciclo de nutrientes y contribuyendo a la sostenibilidad agrícola.

Calidad del aire

La contaminación del aire representa un grave problema ambiental, afectando la salud pública y el medio ambiente. Para abordar este desafío, es crucial implementar medidas de mitigación efectivas que permitan un monitoreo preciso y una gestión adecuada de la calidad del aire. Este plan propone la instalación de sensores de calidad del aire que proporcionen información en tiempo real, junto con un análisis integral de las fuentes de contaminación. La recopilación de datos en tiempo real permitirá identificar niveles de contaminación y sus fuentes principales, facilitando la generación de informes periódicos y alertas a la población. Complementariamente, se detalla la implementación del Plan Integral de Manejo de Arbolado Urbano (PIMA), que contribuirá significativamente a la solución al incrementar la

biodiversidad, mejorar la calidad del aire y mitigar los efectos del cambio climático en las áreas urbanas.

1. Instalación de Sensores

- Colocación de sensores de calidad del aire en puntos estratégicos de la cabecera municipal para medir contaminantes criterio y poder generar modelos precisos.
- Sensores con capacidad de transmitir datos en tiempo real a un centro de monitoreo centralizado. Existen diversos sensores que pueden transmitir de manera descentralizada la información en tiempo real. Ya sea por wifi, 4G o por LoRAWAN.

2. Monitoreo y Análisis

Recopilación y análisis de datos en tiempo real para identificar niveles de contaminación y fuentes principales.

- Uso de datos para generar informes periódicos y alertas a la población sobre la calidad del aire.

3. Plataforma de Información en Tiempo Real

- Desarrollo de una plataforma accesible para el público donde se muestre el Índice de Calidad del Aire (AQI) y recomendaciones de salud basadas en los niveles de contaminación.

4. Invernaderos Municipales y Propagación Forestal

Los invernaderos municipales y la propagación forestal son componentes esenciales para la conservación y restauración de los ecosistemas locales. La construcción de invernaderos municipales permite la propagación controlada de plantas nativas, regionales o productivas, produciendo especies resistentes a plagas y condiciones climáticas adversas. Estos invernaderos no solo facilitan la producción de plántulas en condiciones óptimas, sino que también aseguran la disponibilidad continua de plantas para los programas de reforestación y restauración ambiental.

- Construcción de invernaderos: Establecer invernaderos municipales para la propagación de plantas nativas, produciendo de manera controlada plantas resistentes a plagas y condiciones climáticas adversas.

- Establecimiento de centros de recolección de semillas: Generar espacios, brigadas y equipos interdisciplinarios para recolectar y almacenar semillas locales, preservando la diversidad genética y asegurando un suministro continuo de semillas.
- Programas de capacitación: Ofrecer formación sobre técnicas de recolección, propagación de especies nativas y zonificación y monitoreo para mejorar la eficiencia y efectividad de los programas de reforestación.
- Promoción de la diversidad genética: Fomentar la plantación de una amplia variedad de especies nativas, incrementando la resiliencia de los ecosistemas ante el cambio climático y plagas.

5. Plan integral de manejo de arbolado urbano (PIMA)

El Plan Integral de Manejo de Arbolado Urbano (PIMA) es una estrategia destinada a la gestión sostenible y eficiente del arbolado en áreas urbanas. Este plan abarca desde la evaluación y diagnóstico del arbolado existente hasta la implementación de programas de mantenimiento y reposición. Su objetivo es mejorar la calidad de vida de los habitantes, incrementar la biodiversidad y mitigar los efectos del cambio climático en las ciudades. Además, el PIMA se enfoca en mejorar la calidad del aire, reducir los picos de escurrimiento durante lluvias, y mitigar las islas de calor derivadas de la urbanización.

- Censo de arbolado urbano: Un censo de arbolado urbano es la primera etapa fundamental del PIMA. Consiste en la evaluación y diagnóstico del arbolado existente en una determinada área urbana. Este proceso incluye la identificación y registro de cada árbol, documentando su especie, edad, estado de salud y ubicación. Esta información es crucial para desarrollar estrategias de manejo adecuadas y tomar decisiones informadas sobre el cuidado y la gestión del arbolado urbano.
- Plan integral de manejo de arbolado urbano: El PIMA se basa en los datos obtenidos del censo de arbolado urbano y establece un marco de acción para la gestión sostenible del arbolado. Este plan incluye directrices para la selección de especies adecuadas, la plantación y el mantenimiento de árboles, así como la remoción de aquellos que representen un riesgo. Además, el PIMA promueve la participación comunitaria y la educación sobre la importancia del arbolado urbano.
- Programas de mantenimiento: Los programas de mantenimiento son una parte esencial del PIMA y aseguran la salud y longevidad del arbolado urbano. Estos programas incluyen actividades como la poda regular, el riego, la fertilización y el control de plagas y enfermedades. El mantenimiento adecuado no solo mejora la

estética de las áreas urbanas, sino que también garantiza la seguridad de los ciudadanos al reducir el riesgo de caída de ramas o árboles enfermos.

- Plantaciones y reposición: La plantación y reposición de árboles son actividades continuas dentro del PIMA. Este proceso asegura que el arbolado urbano se mantenga denso y saludable a lo largo del tiempo. Las plantaciones incluyen la introducción de nuevas especies nativas y adaptadas al entorno urbano, mientras que la reposición se enfoca en reemplazar árboles muertos o dañados. Esto contribuye a mantener la biodiversidad y la cobertura verde en las ciudades.
- Aumento de densidad en las áreas verdes en la cabecera y localidades: El aumento de la densidad de árboles en las áreas verdes, tanto en la cabecera municipal como en las localidades, es una estrategia clave del PIMA. Incrementar la densidad arbórea en parques, plazas y otros espacios públicos mejora la calidad del aire, proporciona sombra y reduce la temperatura, creando ambientes más agradables y saludables para los habitantes. Además, áreas verdes densamente arboladas pueden servir como hábitats para la fauna urbana y mejorar la conectividad ecológica en las ciudades.

6. Programas de Reforestación Estratégica

Los Programas de Reforestación Estratégica son iniciativas clave para la restauración de la cobertura forestal y la mejora de los servicios ecosistémicos en áreas críticas. Estos programas planifican y ejecutan reforestaciones en cuencas altas y zonas riparias, donde la restauración forestal es vital para la salud del ecosistema.

- Plantaciones estratégicas: Planificar y ejecutar reforestaciones en áreas críticas para la restauración de la cobertura forestal y la mejora de los servicios ecosistémicos. Esto incluye la reforestación en cuencas altas y zonas riparias.
- Instalación de sistemas de riego para reforestación: Implementar sistemas de riego por goteo en áreas reforestadas para asegurar el éxito de las plantaciones en áreas áridas, aumentando la tasa de supervivencia de las plántulas.
- Desarrollo de guías y manuales: Crear materiales educativos sobre la identificación y propagación de especies nativas, proveyendo información accesible y práctica para las iniciativas de reforestación.
- Capacitación y formación: Proveer formación continua sobre técnicas de reforestación y manejo de especies nativas, aumentando la capacidad técnica de los participantes.

- Colaboración interinstitucional: Fomentar la colaboración entre diversas instituciones (e.g., INIFAP, APEAJAL, CONAFOR, SEMADET) para aprovechar su conocimiento y recursos, creando sinergias y optimizando esfuerzos. Esto puede incluir proyectos conjuntos entre agencias gubernamentales, sector privado, academia y ONGs.
- Monitoreo y Seguimiento: se implementará un sistema de seguimiento y evaluación continua. Esto incluirá la monitorización regular del crecimiento de las plántulas, la salud del ecosistema reforestado y la efectividad de los sistemas de riego. Los datos recolectados permitirán ajustes oportunos en las estrategias de reforestación y el manejo adaptativo de los recursos. Este seguimiento garantizará que las iniciativas de reforestación no solo alcancen sus objetivos inmediatos, sino que también contribuyan al bienestar ambiental y comunitario a largo plazo.

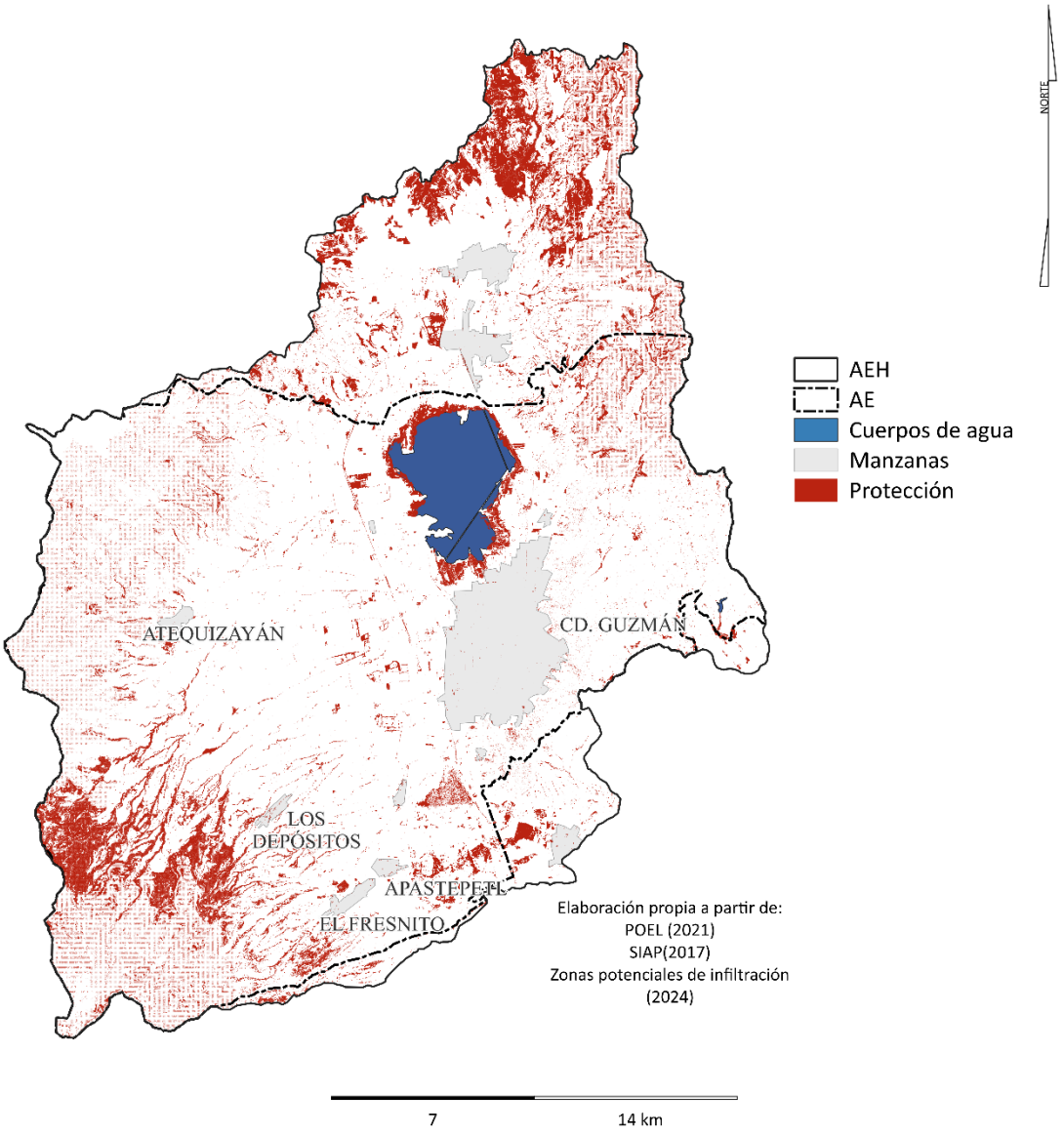
7. Sitios prioritarios de protección hidrológica

El resultado del modelo ponderado de los sitios prioritarios de protección hidrológica se visualiza mediante un archivo espacial del área de estudio hidrológica en su totalidad, cuyas celdas contienen valores entre 0 y 1. Siendo 1 el cálculo de la ponderación de las siguientes

1: Zonas de recarga alta y muy alta y con usos de suelo de: Bosques, pastizales naturales, ecosistemas acuáticos y subacuáticos

0: Zonas dentro del territorio del área de estudio en donde por sus sus características fisiográficas son de menor prioridad.

De tal manera que se obtiene una zonificación de los sitios que se deben proteger y hacer acciones de regeneración por su relevancia hidrológica y ecológica. Las zonas riparias representan los escurrimientos naturales y los canales junto con un buffer al margen de estos mismos para delimitar estas zonas por donde pasa el agua como sitios protegidos al cambio de uso de suelo y la implementación de buenas prácticas en las zonas colindantes. Estos sitios deben mantener su vegetación natural como mínimo y deben estar en constante monitoreo con el objetivo de prevenir alguna alteración en los patrones naturales del ciclo hidrológico.



Mapa 149. Sitios prioritarios de protección hidrológica
Fuente: Elaboración propia.

Programas de la conversión de residuos derivados de las plantas de tratamiento y desazolves del sistema de alcantarillado municipal

En el contexto específico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) #1, durante la visita en campo se observó una gran cantidad de área disponible en desuso y con muchos aspectos susceptibles de mejora. Se ha propuesto una solución integral para el coprocesamiento de estos residuos, orientada hacia el compostaje municipal. Esta estrategia no solo busca la disposición segura de los lodos, sino que también tiene como objetivo transformar estos residuos en recursos valiosos como compost, vermicompost, biol o algún otro bioproducto. Estos productos pueden ser utilizados para mejorar la calidad del suelo en áreas agrícolas y urbanas, reduciendo así la dependencia de fertilizantes sintéticos.

La propuesta de zonificación en la PTAR #1 identifica áreas específicas para diferentes etapas del proceso de compostaje, incluyendo la recepción y manejo de los lodos, el estacionamiento de equipos y vehículos, y la zona de composteo propiamente dicha. Estas zonas están diseñadas para optimizar el espacio y garantizar un flujo eficiente de operaciones, desde la recepción del lodo hasta la producción del compost final.

Además de transformar un residuo con alto potencial de aprovechamiento, se reducirían los costos de traslado, ya que actualmente estos lodos se llevan al relleno sanitario del municipio o, en algunas ocasiones, productores agrícolas pagan por el traslado para mejorar sus suelos. Este es un tema de gran importancia, ya que, si se utilizan los lodos sin ningún proceso previo, pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente debido a la posible presencia de metales pesados, patógenos y antibióticos.

El proceso de compostaje debe cumplir con las leyes y normativas vigentes. La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos provenientes de sistemas de alcantarillado urbano o municipal, plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento de aguas residuales. Este proyecto tiene como objetivo implementar un sistema de procesamiento de sólidos en el municipio, cumpliendo con dicha normativa para garantizar el aprovechamiento seguro de los biosólidos y proteger el medio ambiente y la salud pública.

Tabla 157. Resumen de lo establecido por la NOM-004-SEMARNAT-2002

Aspecto	Descripción
Objetivo	Implementar un sistema de procesamiento de sólidos en el municipio conforme a la NOM-004-SEMARNAT-2002.
Etapas del Proceso	1. Recolección de Muestras
	2. Preparación de Muestras
	3. Transporte de Muestras
	4. Análisis de Patógenos
	5. Análisis Físico-Químico
	6. Clasificación de Biosólidos
	7. Aplicación o Disposición Final
Límites Permisibles	Metales Pesados: Valores específicos para cada tipo de biosólido (excelente y bueno).
	Patógenos: Clasificación en A, B y C con criterios específicos para coliformes fecales, Salmonella spp., y huevos de helmintos.

Fuente: Elaboración propia a partir de NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tabla 158. Clasificación de biosólidos según resultados de análisis

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
Excelente	A	— Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación — Los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	— Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación — Los establecidos para clase C
Excelente o bueno	C	— Usos forestales — Mejoramientos de suelos
		— Usos agrícolas

Fuente: Elaboración propia a partir de NOM-004-SEMARNAT-2002,

Implementar un sistema de compostaje municipal para los lodos de las PTARs representa una oportunidad significativa para mejorar la gestión de los residuos de manejo especial y convertirlos en un bioinsumo estable y altamente nutritivo. Además, esta práctica promueve la economía circular, donde los desechos se reintegran al ciclo productivo, disminuyendo el impacto ambiental y fomentando prácticas agrícolas más sostenibles de la región.

Figura 146. Zonificación de coprocesamiento de biosólidos en la planta de tratamiento #1
Fuente: Elaboración propia.

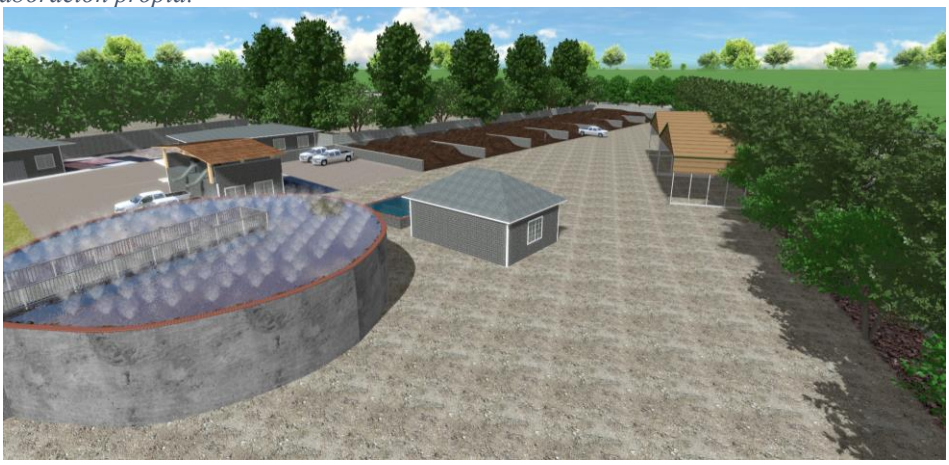


Figura 147. Modelo de coprocesamiento de biosólidos en la planta de tratamiento #1
Fuente: Elaboración propia.

Figura 148. Modelo de coprocesamiento de biosólidos en la planta de tratamiento #1
Fuente: Elaboración propia.

9.7 Medidas de fenómenos socio-organizativos

Los fenómenos socio-organizativos son situaciones o procesos que ocurren dentro de las organizaciones y que afectan la manera en que las personas interactúan y trabajan juntas. Estos fenómenos incluyen aspectos como la comunicación, la estructura organizativa, la cultura organizacional, y el conflicto, es por ello que se abordan las propuestas ante el análisis y la evaluación realizados previamente, se sugiere implementar medidas para mitigar las causas y efectos de los fenómenos socio-organizativos.

Medidas no estructurales

1. Movilidad urbana sostenible

Fomentar el uso de alternativas como la movilidad activa como la Concienciación: como el uso de la bicicleta, a través de rodadas ciclistas, actividades de caminata o promoción al Transporte Público mediante Políticas y Campañas de concientización

2. Educación Vial

Realizar campañas educativas para promover el respeto a las normas de tránsito y la concienciación sobre la seguridad vial.

3. Rediseño del tráfico

Puente la herradura: construcción de un puente adicional: evaluar la viabilidad de construir un puente adicional paralelo al existente para acomodar el tráfico en el sentido opuesto. Adicionalmente se proponen campañas de concienciación, señales de tránsito claras, señalización vertical y horizontal con cámaras de vigilancia para monitorear el tráfico y garantizar el cumplimiento de las nuevas reglas de tránsito.

4. Planificación y Organización de Eventos

Desarrollar planes detallados para la gestión de concentraciones masivas, incluyendo rutas de evacuación, puntos de reunión seguros y personal capacitado en manejo de multitudes.

5. Programas de Rehabilitación Comunitaria

Involucrar a la comunidad, escuelas de todos los niveles educativos en programas de arte urbano que transformen las zonas afectadas por graffiti en espacios artísticos y culturales.

6. Mejorar la Vigilancia y Seguridad

La creación de un fuerte tejido social es fundamental para la prevención del vandalismo. Los eventos comunitarios pueden desempeñar un papel vital en este aspecto. Organizar actividades donde los vecinos puedan conocerse y establecer vínculos contribuye a una mayor cohesión social. Estos eventos pueden incluir ferias de barrio, reuniones de vecindario, talleres y actividades recreativas.

- Ferias: Espacios donde los residentes pueden vender productos locales, compartir comida y participar en actividades recreativas.
- Reuniones de Vecindario: Encuentros regulares donde los vecinos discuten temas de interés común, problemas locales y soluciones colaborativas.
- Talleres de Seguridad: Capacitaciones sobre prevención del delito, primeros auxilios y cómo actuar en situaciones de emergencia.
- Actividades Recreativas: Deportes, concursos y juegos que fomenten la interacción y el trabajo en equipo entre los residentes.

Incrementar la vigilancia en las áreas vulnerables al vandalismo mediante la instalación de cámaras de seguridad y patrullajes regulares.

Medidas estructurales

1. Diversificación de Fuentes de Agua y Energía

Fomentar el uso de fuentes alternativas y sostenibles de agua y energía, como la recolección de agua de lluvia y la energía solar. e infraestructura para almacenamiento, una campaña que entregue tinacos a población que más lo necesite

2. Mantenimiento y Mejora de Infraestructura

Realizar mantenimientos regulares y mejoras en la infraestructura existente para prevenir fallos en el suministro de agua y energía.

3. Zona del Santuario

La avenida Reforma y la Calzada Madero y Carranza presentan una alta ocurrencia de accidentes viales. Es necesario rediseñar las intersecciones peligrosas con mejores señalizaciones e implementar medidas de calma de tráfico, como reductores de velocidad. Aunque esta zona no ha registrado defunciones debido a estos accidentes, sí ha habido personas heridas.

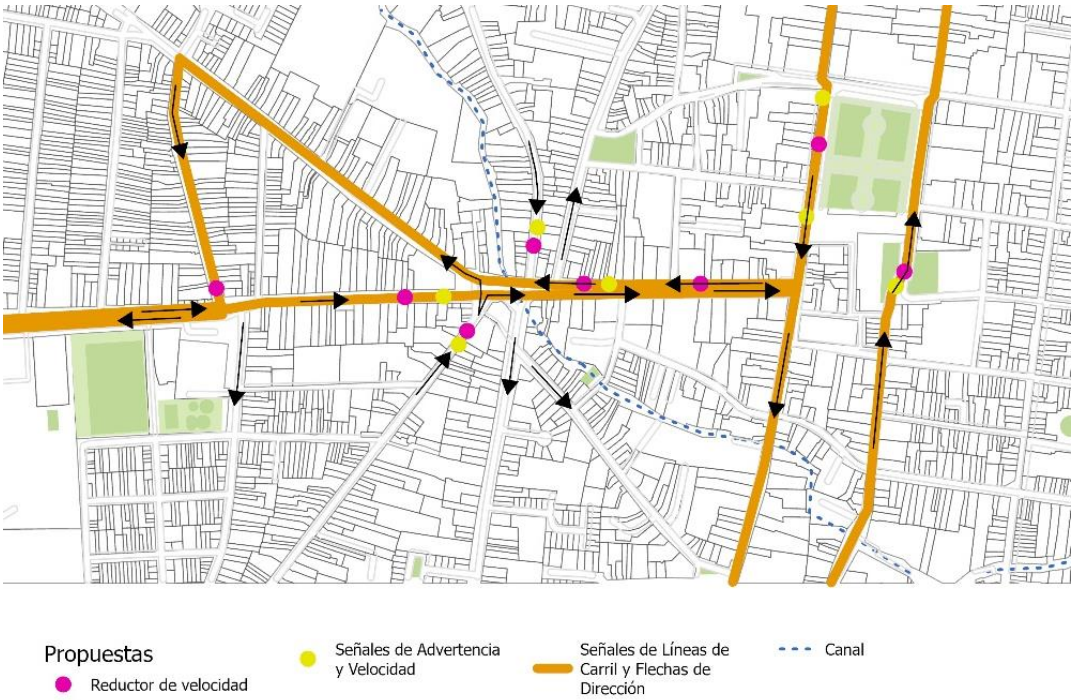


Figura 149. Propuesta de infraestructura vial urbana
Fuente: Elaboración propia.

4. Obras de integración vial para los accesos de El Fresnito y Atequizayán

Diseño y colocación de señalética indicativa y enunciativa de la proximidad e ingreso de las respectivas localidades sobre la carretera. Así como reductores de velocidad y sus respectivas advertencias visuales.

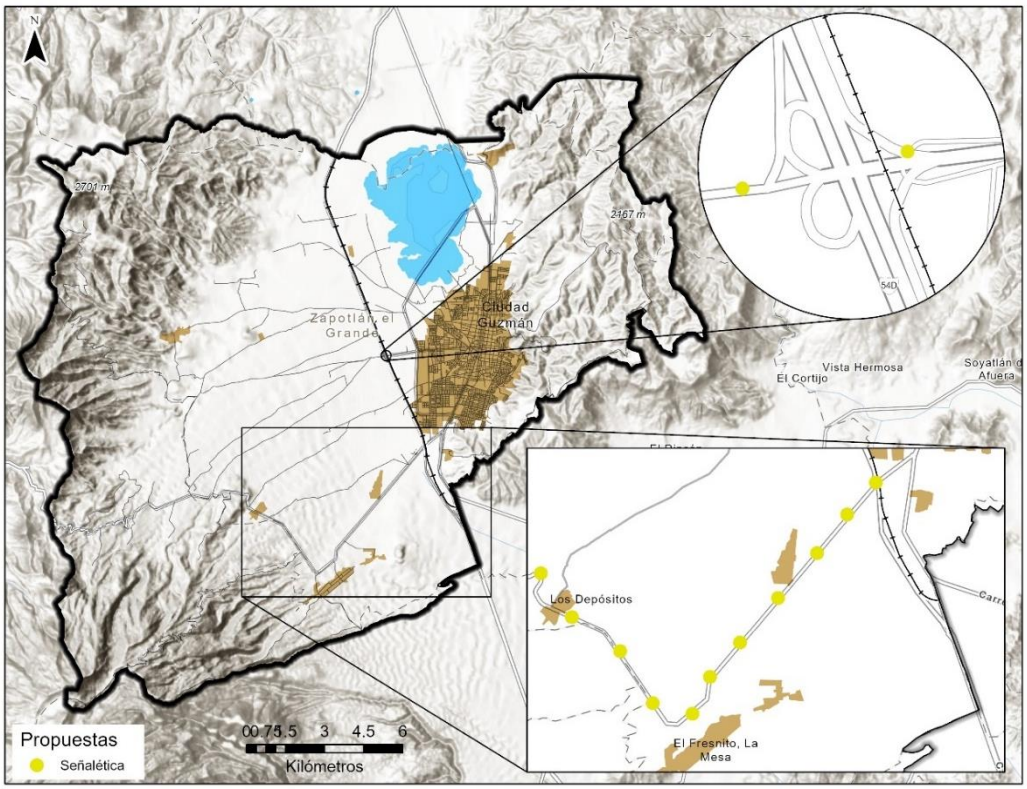
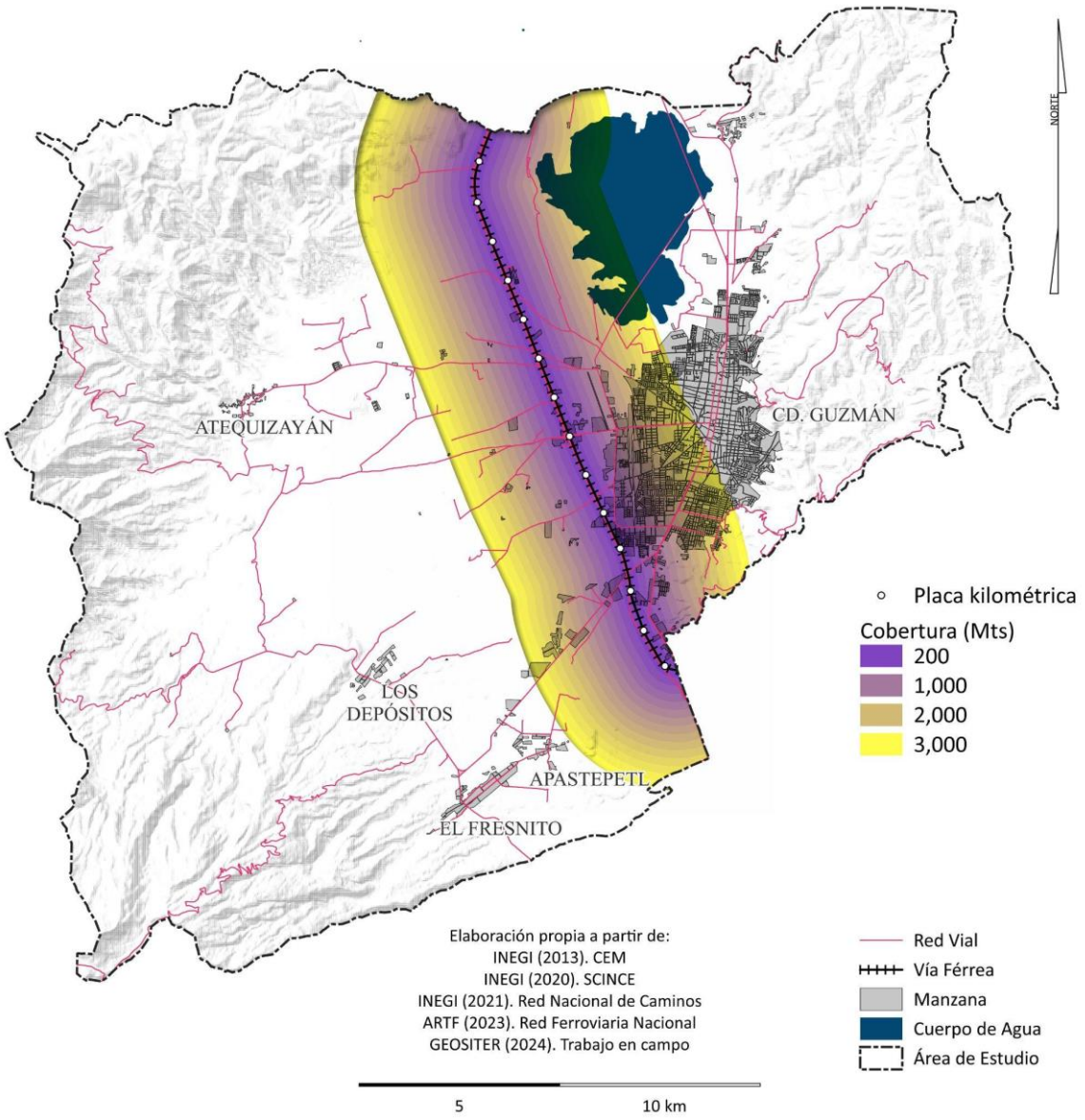


Figura 150. Propuesta de infraestructura vial para localidades rurales
Fuente: Elaboración propia.

5. Implementar barreras acústicas

En viviendas afectadas por el sonido del ferrocarril, los materiales pueden ajustarse a presupuesto, los más comunes son: lana mineral, fibra de vidrio, o espuma acústica o de materiales duros como metal o concreto, que reflejan el sonido lejos de las viviendas, así mismo una combinación, también los de vegetación densa, como las filas de árboles y arbustos pueden reducir el ruido, aunque son menos efectivas que las barreras sólidas, de la misma manera los muros verdes que son muros cubiertos de plantas trepadoras pueden combinar estética y funcionalidad acústica. Esto de barrera a las viviendas afectadas en suroccidente de la cabecera municipal.



Mapa 150. Cobertura acústica del ferrocarril
Fuente: Elaboración propia.

Referencias bibliográficas

Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR). (n.d.). Estándares para el transporte de materiales peligrosos por carretera. Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas.

American Petroleum Institute (API). (n.d.). API Standards.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (n.d.). ASME Standards.

API 1104. (n.d.). Soldadura de Tuberías y Equipos Relacionados. American Petroleum Institute.

API 579-1/ASME FFS-1. (n.d.). Evaluación de Integridad y Aptitud para el Servicio. American Petroleum Institute y American Society of Mechanical Engineers.

ArcGIS. (2023). Investigate pollution patterns with space-time analysis. https://learn.arcgis.com/es/projects/investigate-pollution-patterns-with-space-time-analysis/

Brunori, C. A., Bignami, C., Albano, M., Zucca, F., Samsonov, S., Groppelli, G., Norini, G., Saroli, M., & Stramondo, S. (2015). Land subsidence, Ground Fissures and Buried Faults: InSAR Monitoring of

Ciudad Guzmán (Jalisco, Mexico). Remote Sensing, 7(7), 8610-8630. https://doi.org/10.3390/rs70708610

Carmona Lara, C., Carrillo Rivera, J. J., Hatch Kuri, G., Huizar Álvarez, R., & Ortega Guerrero, M. A. (2017). Ley del Agua Subterránea: una propuesta. In Instituto de Geografía. https://doi.org/10.14350/sc.04

Carrillo-Rivera, J., Peñuela-Arévalo, L. A., Huizar Álvarez, R., Cardona Benavídez, A., Ortega Guerrero, M. A., Vallejo Barba, J., & Hatch Kuri, G. (2016). Conflictos por el agua subterránea. In O. Moncada Maya & Á. López López (Eds.), Geografía de México: Una reflexión espacial contemporánea. https://doi.org/10.14350/sc.01

Centro Nacional de Control del Gas Natural. (2016). Sistema de Transporte de Gas Natural de Manzanillo.

CENAPRED (2001). Listado de actividades altamente riesgosas.

CENAPRED. (2020). Actualización del mapa de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas como instrumento preventivo en el marco de la GIRD. Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CENAPRED. (2020). Identificación de peligro sísmico a nivel municipal. Disponible en: www1.cenapred.unam.mx/DIR_INVESTIGACION/2021/1er_Trimestre/FRACCION_XLI/RS/210420_Informe_RS_CaracteristicasCFE2015.pdf

Clasificación que corresponde a las características de corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico-infeccioso. La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. SEMANED. 1998.

Código de Seguridad para la Prevención de Accidentes Mayores (Seveso III). (n.d.). Estándares europeos para la gestión de riesgos industriales. Comisión Europea.

Código IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code). (n.d.). Estándares internacionales para el embalaje y transporte de mercancías peligrosas. Organización Marítima Internacional.

Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. NORMA Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008. Diario Oficial de la Federación, 25 de noviembre de 2018.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2016). Programa Nacional de Reforestación y Restauración de Suelos. CONAFOR.

CONAGUA. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el Acuífero Ciudad Guzmán (1406), Estado de Jalisco.

CONAGUA. (15 de 03 de 2024). SINA. Recuperado de Acuíferos: http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&ver=mapa

Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. NORMA Oficial Mexicana NOM-002-STPS-2010. Diario Oficial de la Federación, 09 de agosto de 2010.

Cornú, F. J. N. (1970). Peligro Sísmico en el Bloque de Jalisco, México. Física de la Tierra, 23(0). https://doi.org/10.5209/rev_fite.2011.v23.36919

Costa Rica. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. Metodología de análisis de amenazas naturales para proyectos de inversión pública en etapa de perfil / Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica; Ministerio de Agricultura y Ganadería y Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. -- San José, CR : MIDEPLAN, 2014. Pg 29 -32

Das, B. M. (2018). Principles of Foundation Engineering. Cengage Learning.

De-la Cruz-Reyna, S., 1993, Random patterns of occurrence of explosive eruptions at Colima volcano, México: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 55, 51-68.

Determinación de zonas susceptibles de inundación mediante el uso de herramientas de sig en el área de influencia del río cravo sur, ubicado en el municipio de Yopal, departamento de Casanare, Liliana Lisbeth Calixto Ramon, 2017.

Diario Libre. (2016). Reporte de accidentes de transporte de químicos peligrosos.

Diseño, construcción, operación y mantenimiento de Estaciones de Servicio para almacenamiento y expendio de diésel y gasolinas. NORMA Oficial Mexicana NOM-005-ASEA-2016. Diario Oficial de la Federación, 07 de noviembre de 2016.

DOF (21 diciembre 2016). ACUERDO por el que se emite la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos. Tomo DCCLIX, no. 15. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.

El Informador. (2022, junio 22). Suman 60 casas afectadas por falla geológica en Ciudad Guzmán Jalisco. https://www.elfinanciero.com.mx/estados/2022/06/22/suman-60-casas-afectadas-por-falla-geologica-en-ciudad-guzman-jalisco/

Eslava M., H., Jiménez E., M., Salas S., M., García J., F., Vázquez C., M., Baeza R., C., & Mendoza E., D. (2021). I. Elaboración de mapas de riesgo por inundaciones y avenidas súbitas en zonas rurales. Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos.

Especificaciones y criterios técnicos de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente para el Diseño, Construcción, Pre-Arranque, Operación y Mantenimiento de las instalaciones terrestres de Almacenamiento de Petrolíferos, excepto para Gas Licuado de Petróleo. NORMA Oficial Mexicana NOM-EM-003-ASEA-2016. Diario Oficial de la Federación, 24 de noviembre de 2016.

Environmental Protection Agency (EPA). (2023). EPA Cumulative Risk Assessment Principles.

Environmental Protection Agency (EPA). (2023). EPA Guidelines for Human Exposure Assessment.

Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). Spill Prevention, Control, and Countermeasure (SPCC) Regulations.

FAO (2016). Base referencial mundial del recurso suelo. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Roma.

FAO (2016). Global Diagnostic on Groundwater Governance. 210. Retrieved from http://www.fao.org/3/a-i5706e.pdf

Fenómenos hidrometeorológicos. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

Foster, S.; Hirata, R. (1988), Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO-CEPIS Technical Report. Lima, Perú. 73 pp.

Francis, P. (1993). Volcanoes. A planetary perspective. Ed. Oxford University Press, 443 p.

Galloway, D., & Burbey, T. J. (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. Hydrogeology Journal, 19(8), 1459-1486.

García, M. T., & Lugo, J. (2003). El relieve mexicano en mapas topográficos. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Gèze, B. (1964). Sur le classification des dynamismes volcaniques. Bulletin Volcanologique, 27, 237-257.

Gidahatari. (2023). Línea base y software para el modelamiento de derrame de hidrocarburos. https://gidahatari.com/ih-es/lnea-base-y-software-para-el-modelamiento-de-derrame-de-hidrocarburos

Gutiérrez-Martínez, C., & Franco- Sánchez, M. (2014). Análisis de «efecto de sitio» en Ciudad Guzmán, Jalisco, México.

Housni, F. (2024). CARACTERIZACION DEL SUBSUELO DE LAS COLONIAS PRIMAVERAS I Y II MEDIANTE MODELOS DE TOMOGRAFIA ELECTRICA 2D. REPORTE TÉCNICO.

IAIA. (n.d.). Risk assessment in EIA. Disponible en https://www.iaia.org/wiki-details.php?ID=22

IIEG. (2015). Cartas Edafológicas Vectorizadas, Escala 1:50,000. Unidades de suelo [Capa vectorial]. Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco.

IMTA (2015) Plantas de tratamiento de aguas residuales como fuentes potenciales de energías renovables para el INERE César G. Calderón Mólgora Subcoordinador de Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. México 2015.

INEGI (1979 - 1981). Conjunto de datos vectoriales de la carta de Aguas subterráneas F13-11 (Jalisco) escala 1:250 000 serie I, Recuperado de https://www.datos.gob.mx/busca/dataset/conjunto-de-datos-vectoriales-de-la-carta-de-aguas-subterraneas-escala-1-250-000-serie-i-jalisc/resource/bc3c5010-34a5-47a2-98dd-684b55cab03d?inner_span=True

INEGI. (2001). Provincias Fisiográficas de la República Mexicana. Datos vectoriales.

INEGI. (2004). Guías para la interpretación de cartografía. Edafología. Aguascalientes, México.

INEGI. (2005). Guías para la interpretación de cartografía. Geología. Aguascalientes, México.

INEGI. (2014). Guía para la interpretación de la cartografía: Edafología. Escala 1:250,000. Serie III. (p. 60). Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

INEGI (2018). Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica 1:50 000. ANTARES.INEGI. Recuperado 27 de septiembre de 2022, de http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro

INEGI (2018). Estadísticas de derrames de diesel en carreteras. INEGI.

INEGI (2020). Reporte de accidentes en carreteras federales. INEGI.

International Organization for Standardization (ISO). (n.d.). ISO Standards.

IPN. (2020). Fenómeno de agrietamientos. Instituto Politécnico Nacional. https://www.esiatic.ipn.mx/geofenomenos/agrietamientos/agrietamientos.html

Issuu. (2016). Accidentes de transporte de productos químicos.

IVHHN. (s. f.). Volcanic Ash Information. The International Volcanic Health Hazard Network. https://www.ivhhn.org/index.php/information#ash

Jaimes, M. A., Niño, M., & Reinoso, E. (2013). Una aproximación para la obtención de mapas de desplazamiento traslacional de laderas a nivel regional inducido por sismos. Ingeniería Sísmica, 89, 01-24.

Knighton, D. (1998). Fluvial Forms and Processes: A New Perspective. Hodder Education.

Lazcano, S., (2001). Sismicidad histórica de Guadalajara, Jal. Memorias del XIII Congreso Nacional de Ing. Sísmica, Guadalajara, Jalisco.

Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal (LCFPAF). (n.d.). Regulación del autotransporte federal de carga. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Ley de Protección Civil. (n.d.). Establecimiento de lineamientos para la gestión integral de riesgos. Secretaría de Gobernación.

Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario. (n.d.). Regulación del transporte ferroviario de materiales peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Listado de las substancias y materiales peligrosos más usualmente transportados. NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SCT/2011. Diario Oficial de la Federación, 27 de enero de 2012.

Lugo Hubp, J., Martín del Pozzo, A. L., & Vazquez Selem, L. (1993). Estudio geomorfológico del complejo volcánico de Colima. Geofísica Internacional, 32(4), 633–641. https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1993.32.4.608

Lurh, J.F. 1981. History and Cyclity of Eruptions of Colima Volcano. Volcano News. 7:1-3.

Macías Vázquez, J. L. (s. f.). Vulcanismo activo en México: Carencias y perspectivas. Isla, 31, 28.

Matus, M; Faustino, J., & Jiménez, F. (2007). Metodología para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. Recursos Naturales y Ambiente, 55, 74–82.

Martin Del Pozzo, A. L., Sheridan, M., Barrera, D., Lugo Hubp, J., & Vázquez Selem, L. (1995). Potential hazards from Colima volcano, Mexico. Geofísica Internacional, 34(4), 363–376. https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1995.34.4.1422

Marzialetti, P. (2009). Análisis de contaminación por derrames de hidrocarburos. https://ig.conae.unc.edu.ar/wp-content/uploads/sites/68/2017/08/2009_Marzialetti-Pablo.pdf

Mendoza, M., & Dominguez, L. (2010). ESTIMACIÓN DEL PELIGRO Y EL RIESGO DE DESLIZAMIENTOS EN LADERAS. Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Montgomery, D. R., & Dietrich, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. Water Resources Research, 30(4), 1153-1171.

Murgia, F., Bignami, C., Brunori, C. A., Tolomei, C., & Pizzimenti, L. (2019). Ground Deformations Controlled by Hidden Faults: Multi-Frequency and Multitemporal InSAR Techniques for Urban Hazard Monitoring. Remote Sensing (Basel), 11(19), 2246. https://doi.org/10.3390/rs11192246

National Fire Protection Association (NFPA). (n.d.). NFPA Standards.

New Approach Methodologies (NAMs). (n.d.). Integrating Data for Chemical Risk Assessment.

NOM-002-SCT/2011. (2011). Características de las etiquetas, envases y embalajes para el transporte de materiales y residuos peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

NOM-002-STPS-2010. (2010). Condiciones de seguridad - Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

NOM-003-ASEA-2016. (2016). Diseño, construcción, operación y mantenimiento de estaciones de servicio para almacenamiento y expendio de diésel y gasolinas. Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente.

NOM-003-SCT/2008. (2008). Especificaciones de los recipientes y embalajes para el transporte de materiales y residuos peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

NOM-003-SEGOB-2011. (2011). Requisitos para la seguridad de instalaciones destinadas al almacenamiento, transporte y distribución de gas LP. Secretaría de Gobernación.

NOM-004-SCT/2008. (2008). Características y especificaciones de las unidades destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

NOM-005-SCT/2011. (2011). Procedimientos de operación de los vehículos destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

NOM-008-ASEA-2019. (2019). Diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de gas LP en recipientes sujetos a presión. Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente.

NOM-010-STPS-2014. (2014). Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral – Reconocimiento, evaluación y control. Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

NOM-018-STPS-2015. (2015). Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

NOM-020-SCT2/2010. (2010). Requisitos para el transporte de materiales y residuos peligrosos por ferrocarril. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

NOM-028-STPS-2012. (2012). Sistema para la administración del trabajo seguro en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas. Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

NOM-047-SEMARNAT-2014. (2014). Residuos peligrosos – Caracterización de residuos peligrosos mediante extracción con fluido supercrítico. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Noriega, I. (2022). CARACTERIZACIÓN DE LA FALLA GEOLÓGICA DE CIUDAD GUZMÁN, JALISCO MEDIANTE TOMOGRAFÍAS GEOELÉCTRICAS.

NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SCT/2008, Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de substancias, materiales y residuos peligrosos. 18 de agosto de 2008.

NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SCT/2011, Listado de las substancias y materiales peligrosos más usualmente transportados. 27 de enero de 2012.

NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-003-ASEA-2016, Especificaciones y criterios técnicos de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente para el Diseño, Construcción, Pre-Arranque, Operación y Mantenimiento de las instalaciones terrestres de Almacenamiento de Petrolíferos, excepto para Gas Licuado de Petróleo. NOM-003-ASEA-2016. 24 de noviembre de 2016.

Normativas de la Asociación Americana de Ferrocarriles (AAR). (n.d.). Estándares de seguridad para el transporte de materiales peligrosos por ferrocarril.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (n.d.). OSHA Regulations.

OPS. (2017). Erupciones volcánicas. Organización Panamericana de la Salud. https://www.paho.org/es/temas/erupciones-volcanicas

Ordóñez Gutiérrez, Pablo (s.d.) Análisis GIS de patrones de contaminación en un derrame de petróleo en el oriente ecuatoriano. Disponible en: https://www.academia.edu/7300871/An%C3%A1lisis_GIS_de_patrones_de_contaminaci%C3%B3n_en_un_derrame_de_petr%C3%B3leo_en_el_oriente_ecuatoriano

Parizi, E., Mossa Hosseini, S., Ataie-Ashtiani, B., & Simmons, C. T. (2019). Representative pumping wells network to estimate groundwater withdrawal from aquifers: Lessons from a developing country, Iran. Journal of Hydrology, 578, 124090. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124090

Piscopo, G. (2001) Groundwater vulnerability map explanatory notes- Castlereagh Catchment. Centre for Natural Resources of New SW Department of Land and Water Conservation. Nuevaa Gales del Sur, Australia. 18 pp.

Pérez-Torrado, F., & Rodriguez-González, A. (2015). ¿Cómo se miden las erupciones volcánicas? El índice de explosividad volcánica. Enseñanza de las ciencias de la tierra, 23, 24-32.

Programas de Protección Civil. (2019). Registros de fallos en sistemas de refrigeración industrial. Programas de Protección Civil.

Ramsar. 2005. Ficha informativa de los humedales de Ramsar, Laguna de Zapotlán. Consultado en: https://rsis.ramsar.org/es/ris/1466

Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. NORMA Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998. Diario Oficial de la Federación, 02 de febrero de 1999.

Reglamento de la IATA (International Air Transport Association) para Mercancías Peligrosas. (n.d.). Normas para el transporte aéreo de materiales peligrosos. Asociación Internacional de Transporte Aéreo.

Reglamento de Seguridad Higiene y Medio Ambiente en el Trabajo. (n.d.). Medidas de seguridad y salud en los centros de trabajo. Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Reglamento del Servicio Ferroviario. (n.d.). Condiciones y requisitos para el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Reglamento Modelo de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas (Orange Book). (n.d.). Marco global para la regulación del transporte de mercancías peligrosas. Naciones Unidas.

Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (RTTMYP). (n.d.). Condiciones de embalaje, etiquetado y señalización para el transporte de materiales peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Reglamentos para el Transporte de Mercancías Peligrosas de Canadá (TDG). (n.d.). Normas para el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril en Canadá. Transport Canada.

Rizo Decelis, L. D. (2017). Consideraciones sobre la calidad del agua del río Santiago (México) y cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos en su cuenca, para una adecuada gestión y planificación hídrica (UMA Editorial). Retrieved from https://hdl.handle.net/10630/16434

Rizo-Decelis, D., Marin, A. I., & Andreo, B. (2016). Groundwater vulnerability mapping in Guadalajara aquifers system (Western Mexico). EGU General Assembly 2016 Conference Abstracts, 18, EPSC2016-16684. https://doi.org/EPSC2016-16684

Rodríguez Elizarrarás, S. (1995). Estratigrafía y estructura del Volcán de Colima, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 12(1), 22-46

Rosas, P. A. (2016). Modelo Geofísico- Estructural de la Porción Norte del Graben de Colima. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.

Rosenblueth, E. (1992). Sismos y sismicidad en México. E. Rosenblueth, V. García Acosta, T. Rojas Rabiela, FJ Núñez de la Peña y J. Orozco Castellanos, Macrosismos: aspectos físicos, sociales, económicos y políticos, 11-24.

Saucedo, R., Macías, J.L., Sheridan, M.F., Bursik, M.I., Komorowski, J.C., 2004b, Modeling of pyroclastic flows of Colima Volcano, México: implications for hazard assessment: Journal of Volcanology and Geothermal Research, 139, 103-115.

SAGREDO, J. (1972). Geología y Mineralogía, Diccionario, Diccionarios Rioduero, Madrid.

ScienceDaily. (2014). Soil contamination detection and analysis. https://www.sciencedaily.com/releases/2014/10/141007103102.htm

SCT (2018). Datos sobre accidentes de camiones cisterna. SCT.

SCT. (2020). Informe anual de incidentes en carreteras federales. SCT.

SEDESOL. (2003). Guía metodolófica para la elaboración de Atlas de Peligros Naturales a Nivel de Ciudad (Identificación y zonificación). Secretaría de Desarrollo Social.

SEMADET (2021). Programa Estatal de Áreas Naturales Protegidas y Otros Instrumentos de Conservación 2020-2030. Jalisco.

SEMARNAT (n.d.). Guía para la Elaboración del Estudio de Riesgo Ambiental.

SEMARNAT (2021) Humedales mexicanos inscritos en la Convención de Ramsar, 2021, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT Disponible en http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIV01_06&IBIC_userdgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*&NOMBREANIO=*

Selby, M. J. (1993). Hillslope Materials and Processes. Oxford University Press.

Sempra Infraestructura. (n.d.). Especificaciones de seguridad del gasoducto.

Sepúlveda, A., Patiño, J., & Rodríguez, C. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: Caso Útica, Cundinamarca, Colombia. Obras y Proyectos, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, 20, 31-43.

SGM. (2017). Escalas de los sismos. Servicio Geológico Mexicano. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/Escalas-sismos.html

SISPLADE. (2020). Peligros de origen geológico y localización de zonas vulnerables. Sistema de Información para la Planeación del Desarrollo de Oaxaca.

Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. NORMA Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015. Diario Oficial de la Federación, 09 de octubre de 2015.

Sistemas de recuperación de vapores de gasolinas para el control de emisiones en estaciones de servicio para expendio al público de gasolinas-Métodos de prueba para determinar la eficiencia, mantenimiento y los parámetros para la operación. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-ASEA-2017. Diario Oficial de la Federación, 23 de febrero de 2018.

Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de substancias, materiales y residuos peligrosos. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SCT/2008. Diario Oficial de la Federación, 18 de agosto de 2008.

Subcomité técnico de normalización de PEMEX refinación identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento NRF-009-PEMEX-2001. Diario Oficial de la Federación, 27 de enero 2001.

SSPC (2006). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. Ciudad de México: CENAPRED.

Tarbuck, E.J. & Lutgens, F.K. (2005). Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología física. 8ª ed. 710 pp. Pearson Prentice Hall.

TC Energía. (n.d.). Documentación técnica del gasoducto.

Título 49 del Código de Regulaciones Federales (CFR). (n.d.). Regulaciones para el transporte ferroviario de materiales peligrosos. Administración Federal de Ferrocarriles de los Estados Unidos.

Tomás, R., Herrera, G., Delgado, J., & Peña, F. (2009). Ground subsidence. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 17, 295-302.

Transporte de gas natural, etano y gas asociado al carbón mineral por medio de ductos. NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ASEA-2016. Diario Oficial de la Federación, 05 de marzo de 2018.

UEPCyBJ. (2017). Inventario de peligros [Mapa]. Unidad Estatal de Protección Civil y Bomberos Jalisco.

UNIMINUTO Repository. (2019). Informe sobre incidentes en plantas industriales.

Universidad Nacional Autónoma de México, I. d. G., Servicio Sismológico Nacional. (2024). Catálogo de sismos. Extraído de http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/

Valdivia, O. L., & Castillo, A. M. R. (2001). Las regiones geomorfológicas del estado de Jalisco. Geocalli. Año 2, Núm.3.

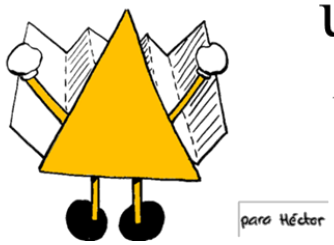
Valdivia, O. L., & Castillo, A. M. R. (2014). Los peligros naturales en Jalisco. Estudios Histórico de sus impactos territoriales. Universidad de Guadalajara.

Yoko, S., Elizabeth, Z., Carmen, P., & Shigeru, K. (2010). EL DESARROLLO DE UN ASENTAMIENTO LACUSTRE EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA: EL CASO DE SANTA CRUZ ATIZAPÁN, MÉXICO CENTRAL (The development of a lake settlement in the upper basin of the Lerma river). Arqueología Iberoamericana, 05.

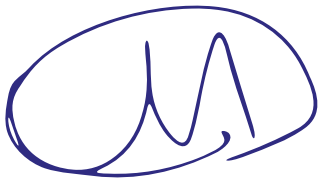
Zambrana Areas, X. E. (2020). Peligro Sísmico por Efecto de Sitio en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua. Nicaragua. Revista Científica de FAREM-Estelí, 32, 84-93. https://doi.org/10.5377/farem.v0i32.9233

“Para alcanzar la tierra de nuestro futuro, primero debemos trazar un mapa”

Hirohiko Araki



Para publicación y observancia, Promulgo el documento que contiene la “Actualización del Atlas Municipal de Peligros y Riesgos Naturales de Zapotlán el Grande, Jalisco - 2024”, a los 03 tres días del mes de octubre de 2024.



LIC. MAGALI CASILLAS CONTRERAS
Presidenta Municipal

MTRA. KARLA CISNEROS TORRES
Secretaria de Ayuntamiento

Regidor C. Regidor Miguel Marentes: rúbrica. **C. Regidor Adrián Briseño Esparza**: rúbrica. **C. Regidora Dunia Catalina Cruz Moreno**: rúbrica. **C. Regidora Miriam Salomé Torres Lares**: rúbrica. **C. Regidora Yuliana Livier Vargas De la Torre**: rúbrica. **C. Regidor José Bertín Chávez Vargas**: rúbrica. **C. Regidora Marisol Mendoza Pinto**: rúbrica. **C. Regidor Ernesto Sánchez Sánchez**: rúbrica. **C. Regidor Oscar Murguía Torres**: rúbrica. **C. Regidora Bertha Silvia Gómez Ramos**: rúbrica. **C. Regidor Higinio Del Toro Pérez**: rúbrica. **C. Regidora María Olga García Ayala**: rúbrica. **C. Regidor Gustavo López Sandoval**: rúbrica. **C. Regidora Aurora Cecilia Araujo Álvarez**: rúbrica. **C. Síndica Claudia Margarita Robles Gómez**: rúbrica. -

La que suscribe MTRA. KARLA CISNEROS TORRES, Secretaria de Ayuntamiento del Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, con las facultades que me confiere el artículo 63 de la Ley de Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco, por el presente hago constar y ----------CERTIFICO----------

Que con fecha 03 de octubre del 2024, fue oficialmente publicado en la Gaceta Municipal de Zapotlán, órgano oficial informativo del Ayuntamiento; el documento que contiene la "Actualización del Atlas Municipal de Peligros y Riesgos Naturales de Zapotlán el Grande, Jalisco - 2024", para que de conformidad con lo que establece el cuarto resolutivo, se levanta la presente certificación para los efectos legales a que haya lugar. - - - -

A T E N T A M E N T E
"2024, AÑO DEL 85 ANIVERSARIO DE LA ESCUELA SECUNDARIA FEDERAL BENITO JUÁREZ"
"2024, BICENTENARIO EN QUE SE OTORGA EL TÍTULO DE "CIUDAD" A LA ANTIGUA ZAPOTLÁN EL GRANDE"
Ciudad Guzmán, Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, a 03 de octubre de 2024

MTRA. KARLA CISNEROS TORRES
Secretaria de Ayuntamiento

ZAPOTLÁN EL GRANDE
GOBIERNO MUNICIPAL 2024-2027
"CAMBIO Y TRANSFORMACIÓN"

La presente fue publicada en la Gaceta Municipal de Zapotlán el Grande.
Correspondiente al día 03 de octubre de 2024
En Ciudad Guzmán, municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco.

El presente ejemplar fue publicado con un tiraje de 20 ejemplares, el día 03 de octubre de 2024, por el área de Diseño Gráfico, adjunto a la Dirección de Comunicación Social del H. Ayuntamiento de Zapotlán el Grande, Jalisco; y fueron entregados para su distribución a la Oficina de Secretaría de Ayuntamiento
---