El Arenal
contigo siempre
Gobierno Municipal 2016 - 2020

PROTECCIÓN CIVIL
EL ARENAL, HGO.

Estado Libre y Soberano de Hidalgo

ATLAS DE PELIGROS Y RIESGOS DEL MUNICIPIO DE

EL ARENAL, HIDALGO

Atlas de peligros y riesgos del municipio de El Arenal
Primera edición, 2020

Gobierno Municipal de El Arenal 2016-2020
Palacio Municipal, sin número, colonia Centro, El Arenal, Hidalgo,
C. P. 42680

Editorial Elementum
Popocatépetl 118, fraccionamiento La Colonia, Mineral de la Reforma,
Hidalgo, C.P. 42083, México
editorialelementum@gmail.com
www.editorialelementum.com.mx

Directorio Municipal

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo
M.C.E. María Beatriz Peña Reséndiz
Presidenta Municipal Constitucional El Arenal, Hidalgo

Síndico Procurador Ciro Cerón Nieves
Regidora Indira Pagola Pérez
Regidor Rubén Campero Ugalde
Regidor Benigno Vargas Zarrasola
Regidor Guadalupe Valencia Hernández
Regidor Primitivo Hernández Barrera
Regidora Diana Calva Zúñiga
Regidor Juan Hernández Orta
Regidora Daniela Campos Pérez
Regidor Everardo López Pérez
Regidor Jolany de Jesús López Herrera

Lic. Ana Acosta Chavero
Secretaría General Municipal

M.Ed. Minerva Barrera Gálvez
Sistema DIF Municipal

Lic. Rudy Escolano Covarrubias
Órgano Interno de Control

L.L.M. Isaid Daniel Díaz Cano
Tesorería Municipal

L.S.C.A. Saidh Hernández Gutiérrez
Dirección General de Transparencia y Acceso a la Información

Lic. Alonso Ramírez Caballero
Dirección de Recursos Humanos

L.C. Laura Alicia Villeda Sánchez
Dirección General de Control y Evaluación

Ing. Betina Sugey Badillo López
Oficialía Mayor

Comte. Ciro López Rodríguez
Dirección de Seguridad Pública y Tránsito Municipal

L.C. Adriana González Zúñiga
Contadora General

Lic. Judith Anallely Martínez Hernández
Secretaria Particular de la C. Presidenta Municipal

Enf. Miriam Pérez Pérez
Dirección de Salud Municipal

Lic. Genaro Tellezgirón González
Dirección Comunicación Social y Relaciones Públicas

Ing. Alexis Hernández Licona
Dirección de Giras y Logística

Equipo de Trabajo

Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández
Responsable de Proyecto

Arq. Araceli Arce Calderón
Dirección General de Obras Públicas, Desarrollo Urbano y Ecología

T.U.M. Juan Alberto Cervantes Ibarra
Dirección de Protección Civil

M.S.B.C. Edgar Raciel Martínez Pérez
Dirección General de Planeación y Desarrollo Municipal

Apoyo técnico en Sistemas de Información Geográfica

Albalicia Peña Islas
Abigail Juárez Montiel
Jaqueline Vega Garrido

Apoyo en informática

Fernando Esparza Segundo

Equipo editorial

Mayte Romo
Edición

Jovany Cruz
Coordinación de la edición

Enid Carrillo, Gabriela Cruz, Sandra Luna
Corrección de estilo

Ariadna Sánchez, Brandon Ángeles, Galilea Monroy, Griselda Pacheco,
Miguel Cruz
Apoyo administrativo

PRESENTACIÓN

El acelerado crecimiento de los asentamientos humanos tiende a incrementar la vulnerabilidad de los pobladores y sus viviendas frente a las diferentes amenazas de origen natural y antrópico. Las consecuencias negativas de los diferentes peligros naturales y antrópicos resultan más evidentes donde las condiciones socioeconómicas de la población son de alta marginación y se carece de infraestructura y servicios. Estas condiciones combinadas derivan en desastres que afectan seriamente el desarrollo normal de la vida cotidiana de la población y resultan en pérdidas económicas difíciles de valuar.

Una herramienta reconocida en los ámbitos nacional e internacional para enfrentar —y en su caso prevenir y mitigar— los impactos de los fenómenos naturales y antrópicos son los atlas de riesgos. Este instrumento permite identificar las áreas más expuestas a peligros de origen natural, tales como inundaciones, derrumbes, sismos etc., así como de origen antrópico, como explosiones y derrames, entre otros.

El municipio de El Arenal, a través de las direcciones de Planeación, Obras Públicas y Protección Civil, elaboró el *Atlas de peligros y riesgos del municipio de El Arenal*, para lo cual siguió con puntualidad los requerimientos del Centro Nacional de Prevención y Desastres (Cenapred). Esta herramienta será clave para actuar en el plano preventivo y, fundamental en la elaboración de estrategias de autoprotección orientadas a reducir los costos económicos y sociales, así como a disminuir las pérdidas humanas que pudieran ocurrir a consecuencia de algún desastre de gran magnitud. Este documento hará posible, al mismo tiempo, disminuir el plazo requerido para iniciar las labores de apoyo y reconstrucción de daños, con la invaluable colaboración e interacción entre autoridades, damnificados, socorristas y el resto de la sociedad arenalense.

Se trata de una herramienta estratégica que facilitará la integración de información sobre los peligros y riesgos a nivel municipal. Gestionado a través de un Sistema de Información Geográfica, el Atlas permitirá establecer mejores políticas públicas, planes y programas de planeación urbana, ordenamiento territorial sostenible y estrategias de prevención, todo lo cual habrá de mejorar la toma de decisiones para una efectiva planeación y gestión urbana a largo plazo en beneficio de la población de El Arenal.

La ubicación de las zonas de peligro y el nivel de riesgo identificado en las diferentes regiones que conforman El Arenal constituyen un paso más para reforzar el Sistema de Protección Civil y del Proceso de Gestión de Riesgos del municipio.

M.C.E. María Beatriz Peña Reséndiz
Presidenta Municipal Constitucional
El Arenal, Hidalgo

CONTENIDO

Capítulo 1. Introducción, antecedentes y objetivos 15

1.1 Introducción 17
1.2 Antecedentes 17
1.3 Objetivos 18
1.3.1 Objetivo general 18
1.3.2 Objetivos particulares 18
1.4 Estrategia 18
1.5 El uso de los SIG en la caracterización del riesgo 18

Capítulo 2. Determinación del nivel de análisis y representación cartográfica 21

2.1 Localización 23

Capítulo 3. Descripción de los elementos del medio natural 27

3.1 Fisiografía 28
3.2 Geología 28
3.2.1 Basamento mesozoico 28
3.2.2 Vulcanismo del cenozoico 29
3.2.3 Geología de la Sierra de Actopan 29
3.2.4 Rocas volcánicas del Plio-Cuaternario 33
3.2.5 Depósitos cuaternarios 33
3.3 Geomorfología 33
3.4 Edafología 33
3.5 Hidrogeología 37
3.6 Hidrología superficial (cuencas) 39
3.6.1 Subcuenca del río Actopan 39
3.6.2 Subcuenca del río Amajac 39
3.6.3 Parámetros morfométricos de las subcuencas 40
3.7 Clima 43
3.8 Uso de suelo y vegetación 44
3.9 Áreas naturales protegidas 48

Capítulo 4. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos 49

4.1 Elementos demográficos 51
4.1.1 Dinámica demográfica 51
4.1.2 Proyección de la población de 2010 al 2030 51
4.1.3 Distribución y densidad de población 51
4.1.4 Pirámide de edades 54
4.1.5 Natalidad y mortalidad 57
4.2 Características sociales 57
4.2.1 Escolaridad 57
4.2.2 Discapacidad 57
4.2.3 Vivienda 58
4.2.4 Lengua indígena 58
4.2.5 Pobreza 58
4.2.6 Hacinamiento 60
4.2.7 Índice y grado de marginación 60
4.3 Economía municipal 65
4.3.1 Sector primario 65
4.3.2 Sector secundario 65
4.3.3 Población económicamente activa 65
4.4 Equipamiento 66
4.5 Reserva territorial 66

Capítulo 5. Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen natural 67

5.1 Fenómenos de origen geológico 69
5.1.1 Vulcanismo 69
5.1.1.1 Tipos de estructuras volcánicas 69
5.1.1.2 Tipos de erupciones volcánicas 69
5.1.2 Vulcanismo en el estado de Hidalgo 70
5.1.2.1 Campo volcánico Apan-Tepeapulco 73
5.1.2.2 Volcán Jocotitlán (Xocotépetl) 73
5.1.2.3 Vulcanismo de la Sierra Nevada 73
5.1.2.4 Nevado de Toluca 75
5.1.3 Análisis de la peligrosidad volcánica 75
5.1.3.1 Amenaza volcánica para El Arenal 76
5.1.2 Sismos 79
5.1.3 Tsunamis 85
5.1.4 Inestabilidad de laderas 87
5.1.4.1 Análisis de los factores que influyen en la susceptibilidad a movimientos de ladera 87
5.1.4.2 Clasificación de los deslizamientos de ladera 88
5.1.4.3 Caída de rocas 90
5.1.4.4 Hundimiento y subsidencia 91
5.1.4.5 Agrietamientos 91
5.1.5 Erosión 96
5.1.5.1 Erosión hídrica 96
5.1.5.2 Erosión eólica 99
5.1.5.3 Erosión kárstica 102
5.1.5.4 Erosión marina 102
5.2 Fenómenos de origen hidro-meteorológico 102
5.2.1 Ondas gélidas y cálidas 102
5.2.1.1 Ondas gélidas 102
5.2.1.2 Ondas cálidas 110
5.2.2 Sequía 117
5.2.3 Heladas 121
5.2.4 Tormentas de granizo 124
5.2.5 Tormentas de nieve 126
5.2.6 Huracanes 128
5.2.7 Tornados 132
5.2.8 Tormentas de polvo y vientos fuertes 135
5.2.8.1 Vientos 135
5.2.9 Tormentas eléctricas 138
5.2.10 Lluvias extremas 140
5.2.11 Inundaciones 147

Capítulo 6. Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen antrópico..... 151
6.1 El uso de los SIG en la caracterización espacial de los riesgos antrópicos..... 153
6.2 Los riesgos químico-tecnológicos..... 153
6.2.1 Derrame químico..... 154
6.2.2 Incendios industriales y explosiones..... 161
6.2.3 Incendios forestales..... 166
6.2.4 Radiación..... 170
6.2.5 Envenenamiento..... 173
6.3 Los riesgos sanitario-ecológicos..... 175
6.3.1 Plagas..... 175
6.3.1.1 Medidas de control de las plagas..... 176
6.3.2 Contaminación..... 179
6.3.2.1 Contaminación del agua..... 179
6.3.2.2 Contaminación del agua subterránea..... 183
6.3.2.3 Contaminación atmosférica..... 186
6.3.3 Epidemias..... 194
6.3.3.1 Enfermedad por coronavirus (Covid-19)..... 194
6.3.4 Desertificación y erosión del suelo..... 198
6.3.5 Lluvia ácida..... 200
6.4 Los riesgos socio-organizativos..... 202
6.4.1 Terrorismo..... 202
6.4.2 Sabotaje e interrupción de servicios..... 203
6.4.3 Accidentes carreteros..... 206
6.4.4 Concentraciones masivas de población..... 206
6.5 Evaluación de la vulnerabilidad..... 207
6.5.1 Determinación del peligro..... 207
6.5.2 Evaluación de la vulnerabilidad..... 208

Capítulo 7. Propuesta de obras y acciones en el marco de la gestión integral del riesgo de desastres para la planificación del desarrollo..... 211

Glosario de términos..... 217

Referencias..... 220

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Mapa base. 25
Mapa 2. Mapa base urbano (cabecera municipal). 26
Mapa 3. Provincias fisiográficas. 30
Mapa 4. Subprovincias fisiográficas. 31
Mapa 5. Sistema de topoformas. 32
Mapa 6. Edafología. 35
Mapa 7. Geología. 36
Mapa 8. Acuíferos (hidrogeología). 38
Mapa 9. Hidrología superficial (subcuencas). 41
Mapa 10. Hidrología superficial. 42
Mapa 11. Clima. 46
Mapa 12. Uso de suelo y vegetación. 47
Mapa 13. Distribución de población por localidad. 52
Mapa 14. Distribución de población (cabecera municipal). 53
Mapa 15. Discapacidad 55
Mapa 16. Discapacidad en la cabecera municipal 56
Mapa 17. Hacinamiento. 61
Mapa 18. Hacinamiento (cabecera municipal). 62
Mapa 19. Grado de marginación. 63
Mapa 20. Índice de marginación (cabecera municipal) 64
Mapa 21. Vulcanismo en el estado de Hidalgo. 72
Mapa 22. Vulcanismo. Grado de amenaza por flujos de lava, lahares y flujos piroclásticos. 77
Mapa 23. Vulcanismo. Grado de amenaza volcánica del volcán Popocatépetl. 78
Mapa 24. Regionalización sísmica. 80
Mapa 25. Aceleración máxima de sismos (TR actual). 81
Mapa 26. Aceleración máxima de sismos (TR 10 años). 82
Mapa 27. Aceleración máxima de sismos (TR 100 años). 83
Mapa 28. Aceleración máxima de sismos (TR 500 años). 84
Mapa 29. Tsunamis. 86
Mapa 30. Caída de rocas. 93
Mapa 31. Riesgo de deslizamientos. 94
Mapa 32. Hundimientos. 95
Mapa 33. Riesgo de erosión hídrica. 98
Mapa 34. Riesgo de erosión eólica. 101
Mapa 35. Gradiente térmico altitudinal por temperaturas mínimas. 105
Mapa 36. Riesgo por ondas gélidas (TR 5 años). 106
Mapa 37. Riesgo por ondas gélidas (TR 10 años). 107
Mapa 38. Riesgo por ondas gélidas (TR 25 años). 108
Mapa 39. Riesgo por ondas gélidas (TR 50 años). 109
Mapa 40. Gradiente térmico altitudinal por temperaturas máximas. 111
Mapa 41. Riesgo por ondas cálidas (TR 5 años). 112
Mapa 42. Riesgo por ondas cálidas (TR 10 años). 113
Mapa 43. Riesgo por ondas cálidas (TR 25 años). 114
Mapa 44. Riesgo por ondas cálidas (TR 50 años). 115
Mapa 45. Grado de vulnerabilidad a sequías. 119
Mapa 46. Riesgo de sequía. 120
Mapa 47. Índice de riesgo de heladas. 123
Mapa 48. Riesgo de tormenta de granizo. 125
Mapa 49. Riesgo de nevada. 127
Mapa 50. Ciclones que han afectado al estado de Hidalgo. 131
Mapa 51. Tornados. 134
Mapa 52. Vientos fuertes. 137
Mapa 53. Riesgo de tormenta eléctrica. 139
Mapa 54. Riesgo de erosión eólica. 142
Mapa 55. Precipitación máxima (TR 5 años). 143
Mapa 56. Precipitación máxima (TR 10 años). 144
Mapa 57. Precipitación máxima (TR 25 años) 145
Mapa 58. Precipitación máxima (TR 50 años). 146
Mapa 59. Susceptibilidad por inundaciones. 149
Mapa 60. Sustancias químicas. 157
Mapa 61. Sustancias químicas (cabecera municipal). 158
Mapa 62. Riesgo de derrame químico. 159
Mapa 63. Riesgo de derrame químico (cabecera municipal). 160
Mapa 64. Riesgo de explosión. 163
Mapa 65. Riesgo de explosión (cabecera municipal). 164
Mapa 66. Riesgo de explosión en gasolineras. 165
Mapa 67. Riesgo de incendio forestal 169
Mapa 68. Riesgo de radiación. 172
Mapa 69. Riesgo de intoxicación/envenenamiento. 174
Mapa 70. Riesgo de plaga. 178
Mapa 71. Contaminación de aguas superficiales. 181
Mapa 72. Contaminación de aguas superficiales (cabecera municipal). 182
Mapa 73. Contaminación de acuíferos. 185
Mapa 74. Contaminación atmosférica por NO_2. 188
Mapa 75. Contaminación atmosférica por CO_2. 189
Mapa 76. Contaminación atmosférica por O_3. 190
Mapa 77. Contaminación atmosférica por SO_2 191
Mapa 78. Material particulado (PM10) 192
Mapa 79. Material particulado (PM25) 193
Mapa 80. Epidemias (cobertura médica). 196
Mapa 81. Epidemias (incidencia de Covid-19). 197
Mapa 82. Desertificación (degradación del suelo). 199
Mapa 83. Lluvia ácida. 201
Mapa 84. Sabotaje (instalaciones críticas). 204
Mapa 85. Riesgo de accidente vial 205

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del estado de Hidalgo en el contexto nacional..... 23
Figura 2. Depósitos de aluvión en el libramiento a Ixmiquilpan, comunidad de El Jiadi. 23
Figura 3. Los Frailes de Actopan, las elevaciones más prominentes de las sierras con estratovolcanes dentro del municipio..... 28
Figura 4. Aparato volcánico del cerro La Cantera, ubicado al sur del municipio, representa la elevación más prominente de las sierras volcánicas de laderas escarpadas. 28
Figura 5. Paleogeografía de la plataforma Valles-San Luis Potosí (tomado de Carrillo Bravo, 1968) modificado por Carrasco (1970). Se muestra la ubicación actual de El Arenal..... 28
Figura 6. Formas que puede adoptar una cuenca hidrológica. 43
Figura 7. Perfil topográfico longitudinal del cauce del río Actopan con clave de subcuenca (RH26Dr)..... 43
Figura 8. Perfil topográfico longitudinal del cauce del río Amajac con clave de subcuenca (RH26Ds). 43
Figura 9. Pirámide de población del municipio..... 54
Figura 10. Tipos de erupciones volcánicas..... 70
Figura 11. Placas tectónicas de México..... 79
Figura 12. Depósito de avalancha de escombros, comunidad de Las Peñitas. 89
Figura 13. Depósito de flujo de detritos, comunidad de Fray Francisco..... 89
Figura 14. Depósito de desprendimiento de bloques de roca en matriz arenosa, comunidad de San Jerónimo. 89
Figura 15. Bloque de roca semicubierto por suelo, posiblemente producto de volcadura y/o desprendimiento 90
Figura 16. Bloques de roca semicubiertos por vegetación, comunidad de San Jerónimo..... 90
Figura 17. Ladera cubierta por bloques de roca rodados y volcados, comunidad de Santa Rosa. 90
Figura 18. Bloque de roca producto de extensión lateral visiblemente fracturado, comunidad de San Jerónimo. 90
Figura 19. Relación entre la cobertura vegetal y la pérdida de suelo (línea continua) y con la escorrentía (línea discontinua)..... 96
Figura 20. Valores de erosión (líneas) en función de la cobertura vegetal (barras) (media ± desviación estándar) para distintos tipos de vegetación obtenidos a partir de simulaciones de lluvia de intensidad elevada (>100 mm/h)..... 96
Figura 21. Formas de movilidad de las partículas del suelo a causa del transporte eólico. 99
Figura 22. Depósitos de inundación en la comunidad de El Jiadi. 148
Figura 23. Triángulo del fuego (combustible, comburente y energía de activación). 161
Figura 24. Tipos de radiación electromagnética 170
Figura 25. Contaminación del manto freático por filtración. 183
Figura 26. Contaminación del manto freático por un río influente. 183
Figura 27. Contaminación de un acuífero desde la superficie. 183
Figura 28. Contaminación de un acuífero no contaminado por un acuífero contaminado. 183
Figura 29. Contaminación por líquidos no acuosos más o menos densos que el agua. 183
Figura 30. Áreas de la Gestión Integral de Riesgos. 213

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escalas de estudio de los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos. 23
Tabla 2. Escalas de estudio de los fenómenos antrópicos. 24
Tabla 3. Tipos de suelo y su respectiva superficie con base en la clasificación de la FAO. 34
Tabla 4. Aprovechamientos de agua subterránea 39
Tabla 5. Parámetros morfométricos de la subcuenca del río Actopan (RH26Dr). 43
Tabla 6. Parámetros morfométricos de la subcuenca del río Amajac (RH26Ds) 43
Tabla 7. Tipos de clima en El Arenal. 44
Tabla 8. Tipos de uso de suelo y vegetación en El Arenal. 45
Tabla 9. Población de El Arenal con respecto a su ubicación 51
Tabla 10. Proyecciones de población por grupos de edad según su sexo, para el municipio, 2016-2030 51
Tabla 11. Distribución de la población por tamaño de localidades del municipio 51
Tabla 12. Principales localidades del municipio 54
Tabla 13. Datos de población de las Áreas Geoestadísticas Básicas de la cabecera municipal 54
Tabla 14. Mortalidad y natalidad en El Arenal. 57
Tabla 15. Aptitud para leer y escribir en la población 57
Tabla 16. Material de construcción usado en las viviendas de El Arenal. 58
Tabla 17. Población que habla lengua indígena en El Arenal. 58
Tabla 18. Población autoadscrita por sexo y grandes grupos de edad. 58
Tabla 19. Incidencia, número de personas y carencias promedio en los indicadores de pobreza. 59
Tabla 20. Indicadores socioeconómicos e índice y grado de rezago social en el periodo 2000-2015 60
Tabla 21. Viviendas particulares y ocupantes según la clase de vivienda 60
Tabla 22. Indicadores socioeconómicos e índice y grado de marginación 60
Tabla 23. Población total según condición de afiliación a servicios de salud y tipo de institución, 2015. 65
Tabla 24. Unidades económicas de El Arenal 65
Tabla 25. Población de 12 años y más por condición de actividad económica y de ocupación, 2015. 66
Tabla 26. Población ocupada y su distribución porcentual según división ocupacional 66
Tabla 27. Población ocupada y su distribución porcentual según ingreso por trabajo. 66
Tabla 28. Propiedades físicas de los procesos volcánicos 76
Tabla 29. Ubicación relativa del vulcanismo respecto al municipio 76
Tabla 30. Sismos más fuertes que han afectado al Océano Pacífico y producido tsunamis. 85
Tabla 31. Causas y mecanismos que desencadenan los procesos gravitacionales. 87
Tabla 32. Susceptibilidad a movimientos en masa por la inclinación de la pendiente. 88
Tabla 33. Matriz de susceptibilidad de las rocas y resistencia al corte 88
Tabla 34. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad de deslizamientos. 89
Tabla 35. Nivel de riesgo de deslizamientos por localidad 90
Tabla 36. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad a caída de rocas 90
Tabla 37. Nivel de riesgo de caída de rocas por localidad para el municipio 91
Tabla 38. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad de hundimiento y subsidencia. 91
Tabla 39. Nivel de riesgo de hundimiento subsidencia por localidad para el municipio 91
Tabla 40. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad por erosión hídrica 96
Tabla 41. Nivel de riesgo de erosión hídrica por localidad para el municipio 97
Tabla 42. Estaciones climáticas utilizadas para el cálculo del factor de agresividad climática. 100
Tabla 43. Valoración del factor suelo (S) para el municipio 100
Tabla 44. Factor vegetación (V) para el municipio. 100
Tabla 45. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad por erosión eólica. 100
Tabla 46. Nivel de riesgo de erosión eólica por localidad 100
Tabla 47. Relación de estaciones meteorológicas con datos promedio anuales de temperaturas mínimas 103
Tabla 48. Temperaturas mínimas asociadas a diferentes periodos de retorno (°C). 104
Tabla 49. Nivel de riesgo de ondas gélidas por localidad. 104
Tabla 50. Vulnerabilidad por altas temperaturas. 110
Tabla 51. Relación de estaciones meteorológicas con datos promedio anuales de temperaturas máximas. 110
Tabla 52. Nivel de riesgo de ondas cálidas por localidad 116
Tabla 53. Temperaturas máximas asociadas a diferentes periodos de retorno (°C). 117
Tabla 54. Registro mensual de presencia de sequía en el territorio de El Arenal (2014-2020) 118
Tabla 55. Nivel de riesgo de sequías por localidad 118
Tabla 56. Efectos ambientales de las heladas. 121
Tabla 57. Periodo libre de heladas para las estaciones meteorológicas cercanas a El Arenal. 122
Tabla 58. Certidumbre de que la temperatura normal no descienda por debajo de los 0°C 122
Tabla 59. Nivel de riesgo de heladas por localidad. 122
Tabla 60. Peligro por tormentas de granizo. 124
Tabla 61. Localidades con mayor altitud en el municipio 126
Tabla 62. Denominación de los ciclones tropicales dependiendo de su ubicación geográfica. 128

Tabla 63. Escala de Saffir-Simpson. 129
Tabla 64. Tipos de tornados y sus características. 132
Tabla 65. Escala Fujita-Pearson para tornados, basada en los daños causados. 132
Tabla 66. Algunos registros de tornados en el estado de Hidalgo durante los últimos 5 años. 133
Tabla 67. Escala de viento de Beaufort usada en masas continentales. 136
Tabla 68. Velocidades del viento para los diferentes periodos de retorno en las estaciones de la zona de estudio del municipio de El Arenal. 136
Tabla 69. Nivel de riesgo de vientos fuertes por localidad. 136
Tabla 70. Nivel de riesgo de tormentas eléctricas por localidad para El Arenal. 138
Tabla 71. Clasificación de la precipitación. 140
Tabla 72. Relación de estaciones meteorológicas con datos promedio anuales de máxima precipitación. 141
Tabla 73. Precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno (°C). 141
Tabla 74. Nivel de riesgo de lluvias extremas por localidad 141
Tabla 75. Susceptibilidad a inundaciones y la pendiente del terreno. 147
Tabla 76. Susceptibilidad a inundaciones dependiendo del uso de suelo y vegetación. 147
Tabla 77. Matriz de comparación de factores para determinar el riesgo por inundaciones. 147
Tabla 78. Nivel de riesgo de lluvias extremas por localidad. 148
Tabla 79. Actividades económicas 155
Tabla 80. Sustancias químicas usadas en la industria que representan riesgo para la salud por derrame químico. 156
Tabla 81. Principales causas de los incendios y las explosiones industriales. 161
Tabla 82. Diámetro de las ondas expansivas (gas LP). 162
Tabla 83. Gravedad y consecuencias para la vida y la salud por explosión. 162
Tabla 84. Tipo de sustancias utilizadas en la actividad económica. 162
Tabla 85. Principales causas y consecuencias de los incendios forestales. 166
Tabla 86. Daños causados por los incendios forestales 166
Tabla 87. Nivel de riesgo de incendio asignado por tipo de vegetación. 166
Tabla 88. Resumen histórico de incendios forestales (2012-2017). 167
Tabla 89. Medidas de prevención de incendios. 168
Tabla 90. Tipos de radiaciones ionizantes. 170
Tabla 91. Rangos de riesgo para radiación ionizante en las diferentes comunidades. 171
Tabla 92. Sustancias que pueden causar envenenamiento o intoxicación. 173
Tabla 93. Proliferación de plagas. 175
Tabla 94. Control químico de plagas. 177
Tabla 95. Principales contaminantes del agua. 179
Tabla 96. Nivel de riesgo de contaminación de acuíferos por localidad 184
Tabla 97. Tipos de degradación de suelo presentes en El Arenal. 198
Tabla 98. Tipos de degradación del suelo por localidad. 198
Tabla 99. Lugares de alta incidencia de accidentes 206
Tabla 100. Principales celebraciones que dan lugar a concentraciones masivas de población 206
Tabla 101. Medidas de prevención, mitigación y recuperación por fenómenos de origen geológico e hidrometeorológico 215

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Dinámica demográfica de la cabecera municipal..... 51
Gráfica 2. Proyección de población en el municipio de 2016 a 2030. 51
Gráfica 3. Población con discapacidad..... 57
Gráfica 4. Carencia de servicios básicos en la vivienda. 58
Gráfica 5. Carencia de agua entubada en la vivienda..... 58
Gráfica 6. Superficie sembrada en hectáreas y porcentaje de la producción en toneladas de los principales cultivos. 65
Gráfica 7. Producción pecuaria en el municipio. 65
Gráfica 8. Población económicamente activa por nivel de escolaridad 66

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El *Atlas de peligros y riesgos del municipio de El Arenal* ilustra las condiciones de vulnerabilidad en las que se encuentra dicho territorio del estado de Hidalgo, registra los fenómenos perturbadores observados y provocados por fenómenos geológicos e hidrometeorológicos, y la manera en que influyen y causan daños en los asentamientos humanos, medio ambiente, infraestructura y entorno.

La información plasmada en este documento servirá a la Dirección de Protección Civil municipal para realizar acciones preventivas en sitios donde aún no se detectan daños, y a la vez mitigar el peligro en zonas donde ya se han presentado desastres. En caso de alguna emergencia de carácter natural, este documento también ayudará a tomar las decisiones pertinentes para actuar de manera eficaz.

Con la finalidad de cumplir dichos propósitos, en el presente trabajo se presenta un análisis de los fenómenos perturbadores de origen natural registrados con anterioridad y observados mediante visitas al municipio. Asimismo, un mapa de peligro con los puntos de antecedentes y datos obtenidos en campo, correspondiente a cada fenómeno natural. Mediante visitas a campo, fueron delimitadas las zonas o polígonos de peligro, a partir de esto se presentan mapas a detalle que muestran el riesgo y la vulnerabilidad de la zona. Los sitios y polígonos delimitados se integran en un mapa actualizado de riesgos que incluye fenómenos naturales registrados en el municipio, cada uno de los cuales es analizado.

Dentro de los límites territoriales del estado de Hidalgo existen riesgos por sequía, erosión hídrica y eólica, variaciones de temperaturas máximas extremas, así como heladas; además de lluvias extremas, vientos, fallas y fracturas, granizadas, tornados, tormentas eléctricas y vientos fuertes.

Los fenómenos hidrometeorológicos son riesgos que representan un mayor impacto en las actividades humanas desarrolladas cotidianamente en el municipio, y ameritan atención prioritaria en la construcción de escenarios ante el imperante cambio climático que afecta a todo el planeta. Igual de importantes son aquellos fenómenos geológicos detonados por las lluvias copiosas, tales como deslizamientos, derrumbes, y flujos de lodo. Otros fenómenos como sismos y ondas tropicales, son de menor importancia ya que su incidencia es baja. Finalmente, cabe destacar que el peligro asociado a tsunamis y maremotos, erosión marina, tormentas de nieve y huracanes no inciden directamente en el municipio.

Los riesgos antrópicos, también nombrados riesgos sociales, son aquellos cuyo origen está en las acciones de la actividad humana. Algunos prefieren llamarlos tecnológicos porque las actividades de este tipo son sus principales causas, pero este concepto podría no ser suficientemente amplio, pues existen otros peligros provocados por acciones humanas no relacionadas con la tecnología, como pobreza, delincuencia, drogadicción o enfermedades. Si bien es evidente, por los trabajos y la bibliografía existente, que históricamente se ha dado más importancia al estudio de los peligros naturales, en la actualidad los peligros antrópicos o sociales tienen la misma importancia.

1.2 ANTECEDENTES

Los atlas de riesgo tienen su fundamento jurídico en la Ley General de Protección Civil (2012). De acuerdo con el Artículo 19, inciso XXII, "constituyen el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la Gestión Integral del riesgo". También están sustentados por la Ley de Protección Civil del estado de Hidalgo (2011), que fomenta "la elaboración de los atlas estatales y municipales para la prevención y atención de desastres" (Artículo 12, inciso XII), además de "identificar, diagnosticar y prevenir los riesgos a los que esté expuesto el territorio [...] y actualizar periódicamente el atlas de riesgos municipal" (Artículo 16, inciso II) con el objetivo de "elaborar programas municipales [...] correspondientes al Atlas Municipal de Riesgos" (Capítulo III, Artículo 35, inciso II).

Dentro del Plan Estatal de Desarrollo de Hidalgo 2016-2022, en el apartado 4.6 de Protección Civil, se plantea:

> Instrumentar un sistema de protección civil preventivo que priorice la protección de la población a través de la mitigación de riesgos ocasionados por los fenómenos naturales y por aquellos derivados de la acción humana y a su vez cuente con los mecanismos para la reparación oportuna de las afectaciones generadas.

Asimismo, la línea de acción 4.6.1.1 está orientada a la identificación de lugares y condiciones de posible riesgo mediante la observación de campo y participación ciudadana. La línea de acción 4.6.1.3 plantea la necesidad de "contar con un plan anti-contingencias que permita la reubicación de poblaciones en riesgo ante su inminencia" (Gobierno del estado de Hidalgo, 2016). En este sentido, de acuerdo con la línea de acción 4.6.1.4, son necesarios los estudios, inventarios, modelos, así como encuestas de percepción individuales y colectivas, además de sistemas de información geográfica y monitoreo, para la identificación y valoración de los tipos de riesgos a los que está expuesta una población. Con base en lo anterior, en la línea de acción 4.6.1.5 se propone la elaboración de atlas de riesgos municipales.

La atención de los desastres naturales requiere un gran esfuerzo organizativo por parte de la Dirección de Protección Civil Municipal para salvaguardar la integridad de la población. Dentro del Plan Municipal de Desarrollo de El Arenal 2016-2020, enmarcado dentro del Eje 1 Protección Civil, se busca "garantizar seguridad y protección a la ciudadanía, así como a su patrimonio, de los daños causados por situaciones de riesgo o catástrofe natural y por asentamientos humanos". En el apartado de Gestión instruye las siguientes acciones: la 1.7.1 propone el marco normativo de riesgos (protección civil); 1.7.2 determina la instancia responsable de riesgos (protección civil); 1.7.3 propone el diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres; 1.7.4 determina que deben existir recursos humanos capacitados para el manejo de riesgos (protección civil); 1.7.5 enmarca que un indicador importante para la protección civil es que el municipio cuente con el atlas municipal de riesgos, y la acción 1.7.6 enmarca el Programa Municipal de Protección Civil.

Dentro de los niveles de desempeño se mencionan los siguientes indicadores: 1.7.7 Tasa de crecimiento de asentamientos humanos en zonas de riesgo; 1.7.8 Porcentaje de decesos por contingencias, y finalmente el 1.7.9 Personas atendidas en riesgos por desastres naturales y/o ocasionados por la mano humana.

En el Plan de Desarrollo de El Arenal se establece que:

> Los principales incidentes registrados en nuestro municipio son las presas con riesgo de desborde y caminos resbalosos o dañados; con carencia de infraestructura, sistemas de captación pluvial y/o cunetas, afectan a los vecinos en las zonas rurales que transitan por estos caminos o viven cerca de las represas, así como el peligro en el uso agropecuario que ello representa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Identificar las amenazas de origen geológico e hidrometeorológico, químico-tecnológico, sanitario-ecológico y socio-organizativo, con la finalidad de elaborar los mapas que conformen el *Atlas de peligros y riesgos del municipio de El Arenal*, a partir de la detección del tipo y grado de riesgo, para mejorar la toma de decisiones encaminadas a salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y su entorno.

1.3.2 Objetivos particulares

- Identificar y actualizar los sitios de peligros y riesgos, natural y antrópicos, en el municipio de El Arenal, de acuerdo con las Bases para la estandarización de atlas de riesgos, y el Catálogo de datos geográficos para representar el riesgo 2016.
- Analizar y generar información cartográfica en bases de datos acerca de los sitos determinados en riesgo, amenaza y vulnerabilidad.
- Determinar el alcance y el potencial impacto que representará la ocurrencia de peligros de origen geológico, hidrometeorológico, químico-tecnológico, sanitario-ecológico y socio-organizativo en el municipio de El Arenal.
- Contribuir a la elaboración de planes estratégicos de acción y prevención que apoyen la toma de decisiones ante el impacto de riesgos de origen natural y antrópico.
- Visualizar de forma regional y local las zonas de riesgo natural y antrópico en correlación con los asentamientos humanos.

1.4 ESTRATEGIA

La estrategia que marca el apartado 1.7.1.1 del Plan Municipal de Desarrollo 2016-2020 de El Arenal consiste en:

> Estructurar, organizar y capacitar al personal y el equipo para hacer frente a cualquier situación de emergencia o condición de desastre en las localidades [...] el establecimiento de medidas de prevención para los servicios de energía, gas, agua potable, saneamiento, comunicaciones y de atención médica de urgencias para la comunidad y la asistencia temporal necesaria para la preservación de la vida, de los bienes y condiciones esenciales.

Las acciones que se deberán impulsar para alcanzar estos objetivos serán: 1.7.1.1.1 Impulsar campañas de difusión y capacitación orientadas a la ciudadanía, a fin de fomentar la cultura de protección civil; 1.7.1.1.2 Fortalecer la coordinación de acciones con autoridades gubernamentales, en la detección, prevención y atención de riesgos; 1.7.1.1.3 Promover programas de capacitación en materia de protección civil, en comercios, negocios e industrias del municipio; 1.7.1.1.4 Implementar vínculos de colaboración con el Servicio Geológico Mexicano con la finalidad de detectar posibles zonas que por su naturaleza representan algún peligro para los habitantes del municipio; 1.7.1.1.5 Dotar del equipamiento, tecnología e infraestructura necesaria al área de Protección Civil del ayuntamiento, con la finalidad de dar atención rápida y oportuna a la población en caso de que se ponga en riesgo su integridad, y con la acción 1.7.1.1.6 Creación e implementación de un plan de protocolo de evacuación para casos de emergencia en el ayuntamiento.

1.5 EL USO DE LOS SIG EN LA CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

Con el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en la elaboración cartográfica especializada de riesgos, es posible afinar las características espaciales de la zona expuesta a los mismos: forma, gradación de la intensidad del riesgo con la distancia, y la probabilidad de sufrir un accidente, como consecuencia de la organización en el territorio de las actividades humanas peligrosas.

El *Atlas de peligros y riesgos del municipio de El Arenal* pretende definir el área expuesta a los riesgos, mediante el uso de un SIG, a partir de dos supuestos: el primero, establecer las características geométricas de las instalaciones fuentes de riesgo, que pueden ser lineales, puntuales o zonales. El segundo lo representa la definición convencional de los siguientes conceptos: a) la forma se establece a modo de zona de influencia o *buffers* en torno a las instalaciones. La forma del *buffer* en concreto dependerá del hecho de que se trate de instalaciones puntuales (fábricas, rellenos sanitarios, etcétera), lineales (ductos de Pemex, gasoductos) o zonales (aeropuerto), y b) el alcance espacial: es decir, lo que se puede considerar el umbral máximo hasta donde se expanden los efectos peligrosos.

En el caso de los riesgos naturales, la cuestión se resuelve más o menos satisfactoriamente con los registros históricos y la misma caracterización geológica, tectónica y/o meteorológica de la zona. Hay que considerar que el modelo de exposición al riesgo propuesto en este trabajo podría ser calificado como determinista, y en ese sentido, alarmista, porque supone un mismo nivel de accidentabilidad para instalaciones o ubicaciones muy dispares. Se señala que el modelo presentado puede constituir una herramienta útil para aquellos expertos que sí puedan matizar los niveles de peligrosidad de las actividades e instalaciones que aquí se analizan. La necesidad de una aproximación multidisciplinar a este tipo de problemas ambientales debe ser atendida de manera puntual.

Para la determinación de intensidad de una posible exposición al riesgo en cada punto del área de influencia, lo común es asumir que hay una gradación con la distancia hacia la periferia del área de influencia desde el lugar donde se inicia el riesgo. También es posible representar la probabilidad espacial del riesgo, es decir, la menor o mayor posibilidad de que un lugar cualquiera sea afectado por un incidente de origen natural o humano, de consecuencias graves.

Es posible suponer que cuantos más fenómenos geológicos (tales como fallas, fracturas o pendientes); aunque instalaciones peligrosas se sitúen en las inmediaciones de un punto del territorio municipal, es más probable que ese lugar se pueda ver afectado por peligros de esta naturaleza. Sólo en el caso de los riesgos de origen antrópico, y en atención a que son estos los aspectos que aquí se pretenden explorar, y también debido a la pequeña escala del análisis, se ha considerado un medio físico uniforme, de manera que no se tendrá en cuenta la influencia de la topografía, la litología o la red hidrográfica en la delimitación territorial de la exposición ante riesgos químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos y socio-organizativos.

Tampoco se ha tomado en consideración los diferentes patrones espaciales derivados del tipo de accidentes (explosión, incendio, escape, etcétera). El estudio descriptivo de los riesgos naturales y antrópicos trata de reconocer los patrones generales de éstos en el municipio de El Arenal. Se

considera que este documento puede tener un importante valor orientado al ordenamiento territorial en la actual fase de crecimiento urbanístico expansivo, que está afectando su territorio al encontrarse cerca de un núcleo poblacional importante como el municipio de Actopan, el cual posibilita una aproximación de manera inadvertida de la población a las actividades peligrosas (el caso de los nuevos desarrollos urbanísticos tanto en el municipio como en localidades colindantes).

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ANÁLISIS Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

2.1 LOCALIZACIÓN

El municipio de El Arenal se encuentra localizado en el estado de Hidalgo, ubicado geográficamente entre los paralelos 20° 09' 10'' y 20° 17'50'' de latitud norte, y los meridianos 98° 48'13'' y 99° 56'55'' de longitud oeste, a una altitud que oscila entre 2 mil 25 y 2 mil 861 metros sobre el nivel del mar. Pertenece a la región socio-cultural del Valle del Mezquital. Colinda geográficamente al norte y oeste con el municipio de Actopan, al este con Mineral del Chico, y al sur con el municipio de San Agustín Tlaxiaca. Cuenta con una superficie total de 137.60 km², es decir, 0.66 por ciento de la superficie total del estado de Hidalgo (INEGI, 2011). Cuenta con 25 localidades y una población de 18 mil 807 habitantes (Encuesta Intercensal, 2015).

Figura 1. Localización del estado de Hidalgo en el contexto nacional.

La cartografía digital georreferenciada de este proyecto se asienta sobre un mapa base del municipio de El Arenal, constituyendo el vínculo geográfico de las capas temáticas. El mapa base (ÁREA-01.1) cuenta con la información topográfica básica, límites políticos, vías de comunicación, hidrografía, localidades rurales, manzanas y AGEB urbanas, así como principales obras de infraestructura. En el mapa ÁREA-01.1 es posible observar una línea gruesa de color azul que corresponde al límite municipal de El Arenal, en amarillo la zona urbana, en azul se muestran los cuerpos de agua. Asimismo, las líneas de transmisión eléctrica se muestran en color rojo; las curvas de nivel, en gris con etiquetas de las curvas maestras, con equidistancia de cada 100 m, y en línea gris oscuro se tienen las vías primarias.

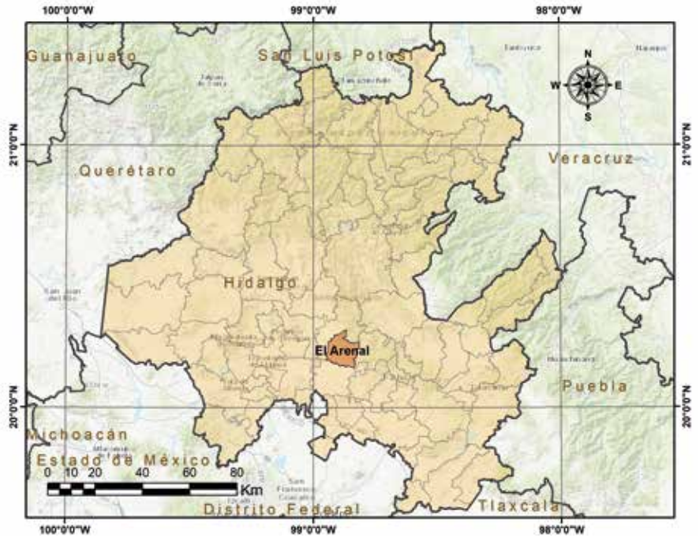


Figura 2. Depósitos de aluvión en el libramiento a Ixmiquilpan, comunidad de El Jiadi.

Fenómeno		Análisis[1]	
		Nivel	Escala
Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos de origen natural	**Geológicos**		
	Vulcanismo	1 de 1	Regional
	Sismos	1 de 1	Regional
	Tsunamis	No aplica	No aplica
	Inestabilidad de laderas	3 de 3	Local
	Flujos	2 de 2	Local
	Caídos o derrumbes	2 de 2	Local
	Hundimientos	1 de 1	Regional
	Subsidencia	2 de 2	Local
	Agrietamientos y fracturamiento	1 de 1	Regional
	Erosión hídrica	1 de 1	Regional
	Erosión eólica	1 de 1	Regional
	Erosión marina	No aplica	No aplica
	Erosión kárstica	No aplica	No aplica
	Hidrometeorológicos		
	Sequías	1 de 1	Regional
	Heladas	1 de 1	Regional
	Granizadas	1 de 1	Regional
	Tormenta de nieve	1 de 1	Regional
	Ciclones tropicales	1 de 1	Regional
	Tonados	1 de 1	Regional
	Tormentas de polvo	1 de 1	Regional
	Tormentas eléctricas	1 de 1	Regional
	Lluvias extremas	1 de 1	Regional
	Inundaciones	1 de 1	Regional

Tabla 1. Escalas de estudio de los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos.[1]

La modelación e interpretación de los fenómenos de origen natural y antrópico que ocurren en El Arenal se realiza con base en las características físicas del municipio (variables relacionadas con el suelo, la atmósfera, el agua y variables geomorfológicas) así como las condiciones socioeconómicas actuales de los habitantes. De tal manera, la descripción de las características físicas que condicionan la cinemática de los fenómenos presentados en el territorio municipal, determina el nivel de peligro. En tanto, la descripción de las condiciones socioeconómicas determinan la vulnerabilidad física (infraestructura) y social (nivel de organización y capacidad de prevención respuesta). Además, la interacción del peligro y la

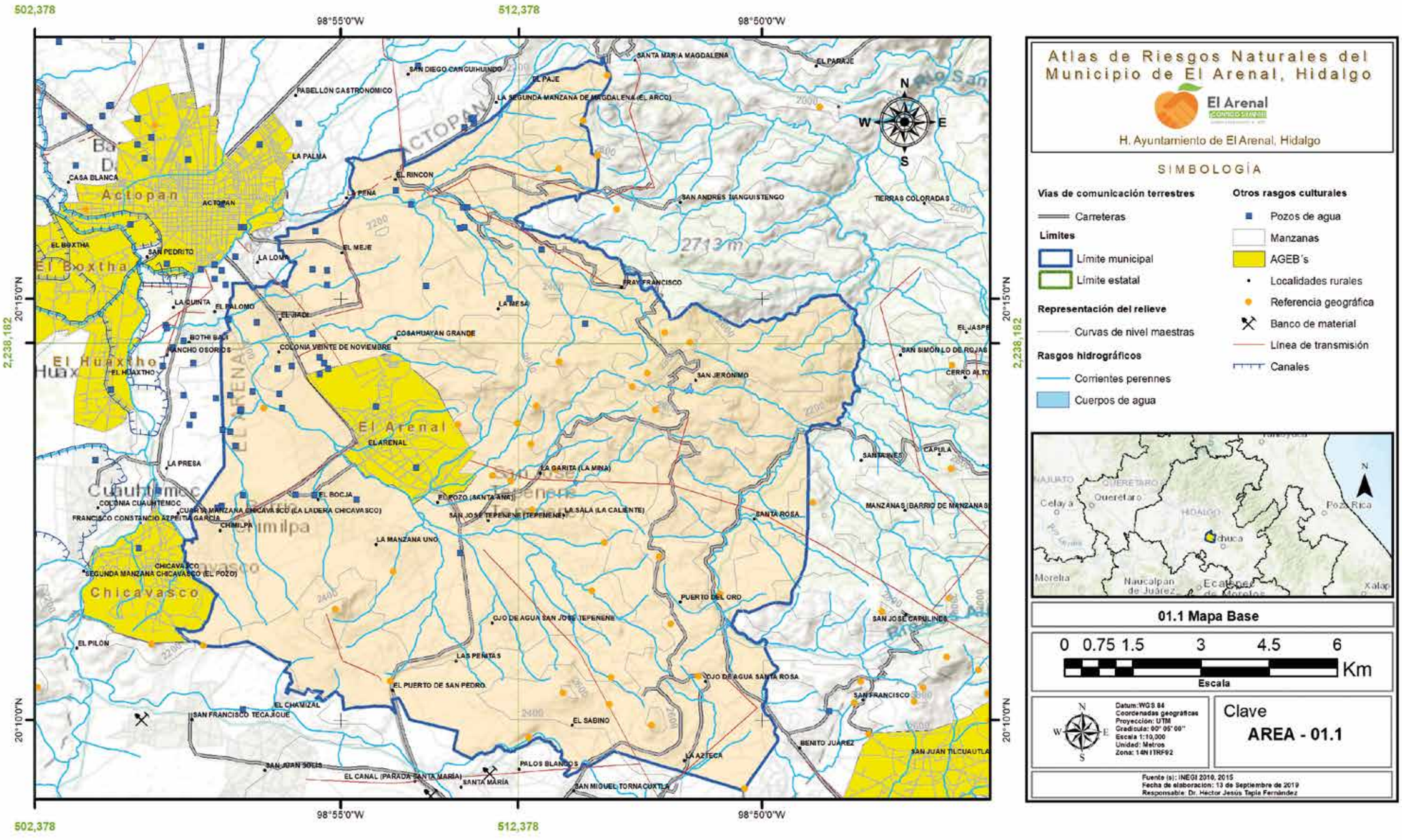
1 De acuerdo con las Bases para la estandarización de atlas de riesgos y Catálogo de datos geográficos para representar el riesgo 2016, las inundaciones se clasifican en aluviales, fluviales, costeras y lacustres.

vulnerabilidad determinan el grado de riesgo de desastre ante la exposición de un fenómeno antrópico en las áreas urbanas y rurales del municipio.

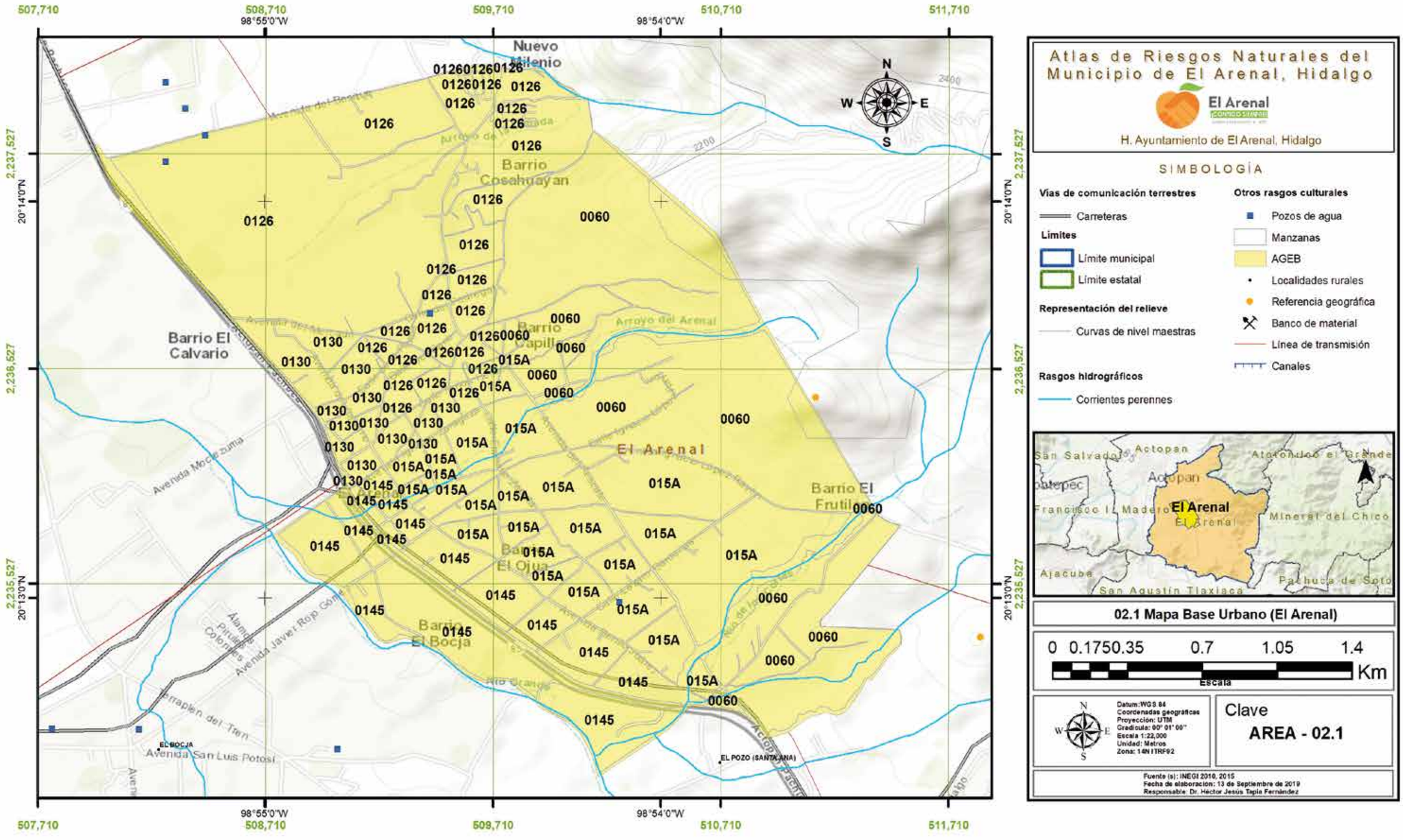
Fenómeno			Análisis[1]	
			Nivel	Escala
Identificación de amenazas, peligros, vulnerabilidad y riesgos de origen antrópico	Químico-tecnológicos	Derrames químicos	1 de 2	Local
		Incendio forestal	1 de 1	Regional
		Incendio urbano	3 de 3	Local
		Envenenamiento	3 de 3	Local
		Explosiones	3 de 3	Local
		Radiación	1 de 1	Regional
	Sanitario-ecológicos	Plagas	1 de 1	Regional
		Contaminación	3 de 3	Local
		Desertificación	1 de 1	Regional
		Epidemias	3 de 3	Local
		Lluvia ácida	1 de 1	Regional
	Socio-organizativos	Terrorismo	1 de 1	Local
		Accidentes terrestres	3 de 3	Local
		Interrupción de servicios	3 de 3	Local
		Sabotaje (hidrocarburos)	1 de 1	Regional
		Concentraciones masivas de población	3 de 3	Local

Tabla 2. Escalas de estudio de los fenómenos antrópicos.[2]

2 De acuerdo con las Bases para la estandarización de atlas de riesgos y Catálogo de datos geográficos para representar el riesgo 2016, cabe destacar que los fenómenos de tipo antrópico no están considerados de manera amplia en dichas bases.



Mapa 1. Mapa base.



Mapa 2. Mapa base urbano (cabecera municipal).

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL

3.1 FISIOGRAFÍA

Aproximadamente 99 por ciento de la superficie del municipio de El Arenal se encuentra dentro del sector oriental de la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Trans-mexicana (FVTM). Esta consiste en un arco volcánico construido sobre el margen meridional de la placa norteamericana, causado por la subducción de la placa de Cocos. Presenta características peculiares, tal como una gran variabilidad del estilo volcánico y de la composición geoquímica de sus productos, la oblicuidad de su parte central y oriental con la trinchera, y la notable variación del ancho del arco. Su anchura es de casi 200 km dentro del campo volcánico Michoacán-Guanajuato, hasta menos de 70 en el campo volcánico de Palma Sola (Ferrari, 2000).

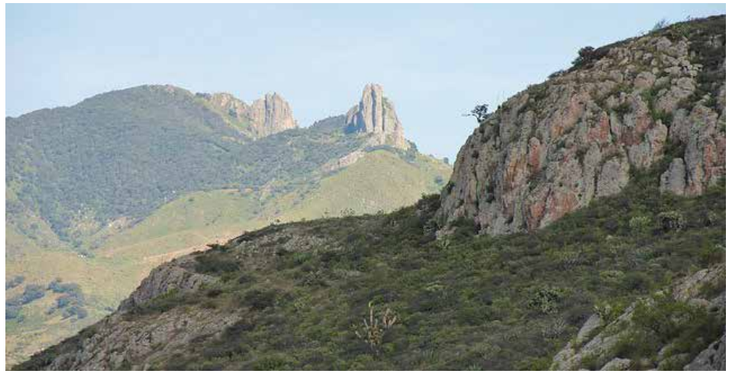


Figura 3. Los Frailes de Actopan, las elevaciones más prominentes de las sierras con estratovolcanes dentro del municipio.

Dentro del territorio municipal de El Arenal, el sistema de geoformas predominante dentro de esta provincia se encuentra conformado hacia el noreste por serranías de origen volcánico (sierras de Pachuca y Actopan). Se trata de sierras con estratovolcanes y estratovolcanes aislados, siendo las elevaciones más prominentes los picos rocosos denominados los Frailes de Actopan, los cuales superan los 2 mil 800 m sobre el nivel del mar. Rumbo al sur predominan las sierras volcánicas de laderas tendidas y sierras volcánicas de laderas escarpadas, donde resaltan los cerros de El Picacho, El Gordo (Las Peñitas) y La Cantera, que superan los 2 mil 500 m sobre el nivel del mar (INEGI, 2011). Finalmente, hacia el noroeste predominan los valles fluviales y laderas de poca pendiente.

Figura 4. Aparato volcánico del cerro La Cantera, ubicado al sur del municipio, representa la elevación más prominente de las sierras volcánicas de laderas escarpadas.

Sólo uno por ciento del territorio municipal de El Arenal corresponde a la Sierra Madre Oriental, la cual abarca la porción nororiental del estado de Hidalgo. Consiste en una sucesión de rocas detríticas y carbonatadas de edad Mesozoica, deformada y plegada durante la orogenia Laramide (Cerca-Martínez *et al.*, 2004). En el centro y sur de México, la edad de inicio de la deformación de la Sierra Madre Oriental se ha ligado al cambio abrupto entre la sedimentación carbonatada y siliciclástica (Formaciones El Doctor y Soyatal y/o Morelos y Mexcala) que ocurrió hace alrededor de 93 millones de años. Dentro del territorio del estado de Hidalgo se encuentra conformando el relieve abrupto de las sierras Gorda, Alta, Baja y la Otomí-Tepehua.

3.2 GEOLOGÍA

3.2.1 Basamento mesozoico

El basamento geológico del municipio de El Arenal lo conforma la plataforma de Actopan, que se localiza en el extremo sureste de la gran plataforma de Valles-San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1968, modificada por Carrasco, 1970), como se muestra en la figura 3.

La plataforma Valles-San Luis Potosí tiene una longitud de noroeste a sureste de aproximadamente 450 km, y una anchura máxima de casi 200 km. Carrillo-Bravo (1971) menciona que tiene una superficie de más de 48 mil km cuadrados, describiéndola como un elemento paleogeográfico del Mesozoico, característico del noreste de México, formado durante la Orogenia Permo-Triásica e integrado por un gran segmento de rocas precámbricas, paleozoicas y triásicas, plegadas y falladas.

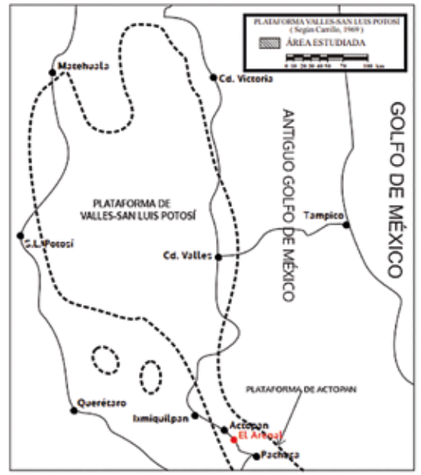


Figura 5. Paleogeografía de la plataforma Valles-San Luis Potosí (tomado de Carrillo Bravo, 1968) modificado por Carrasco (1970). Se muestra la ubicación actual de El Arenal.

La plataforma de Actopan se encuentra ubicada entre las cuencas de Zimapán al oeste y Metztitlán al este, aunque dentro de El Arenal la mayor parte de esta paleogeografía se encuentra cubierta por material volcánico. Carrillo-Bravo (1971) considera que la plataforma de Actopan fue una unidad paleogeográfica que persistió desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico. Carrillo-Bravo (1971) cita como evidencias para postular la plataforma Valles-San Luis Potosí, la presencia de secciones delgadas de sedimentos clásticos y evaporíticos del Jurásico Superior que cubren discordantemente a rocas más antiguas, la ocurrencia de otra sección evaporítica de plataforma de edad Cretácico Inferior, y el desarrollo de un complejo calcáreo de tipo arrecifal y postarrecifal durante el Cretácico medio y superior que son parte de la plataforma. Carrasco (1970), junto con geólogos de Petróleos Mexicanos (Pemex), midió en la plataforma Valles-San Luis Potosí muchas de las secciones estratigráficas expuestas de rocas carbonatadas de plataforma y de margen, encontrando que la sedimentación

en esta gran plataforma no era uniforme en sus litofacies, por lo que se propuso que la porción de la plataforma situada al sur de Zimapán y hasta los alrededores de Actopan, fuera denominada plataforma de Actopan. En los alrededores de dicho municipio (Dengandhó), es notable la transición entre las formaciones El Abra, Tamabra y Tamaulipas Superior.

Formación El Abra. La edad de la Formación El Abra ha sido tradicionalmente considerada del Albiano-Cenomaniano. Conforma la estructura principal de la plataforma de Actopan, y consiste en bancos de caliza biogénica, dolomía y evaporitas (yesos) con un espesor aproximado de entre 1 mil 500 a 2 mil m.

Formación Tamabra. Se usa este nombre para designar al conjunto de facies de transición que aflora a lo largo del borde oriental de la plataforma de Actopan. En la actualidad se utiliza este término para designar a los depósitos de talud de esta plataforma. Suter (1980) reporta que esta unidad se encuentra conformada por brechas sedimentarias y bloques exóticos derivados del borde como del interior de la plataforma. El talud externo consiste de caliza bioclástica, en ocasiones con estratificación gradada, interestratificada con micrita pelágica. Esta formación tiene espesores de hasta 1 mil 500 m cerca de la plataforma de Actopan, y adelgaza hacia el oriente cambiando a facies de la formación Tamaulipas Superior.

Formación Tamaulipas Superior. Esta formación es de caliza de grano fino (mudstone y wackestone), con buena estratificación e intercalaciones de lutita bentónica. En la zona cercana a la plataforma de Actopan se acuña e interdigita con las facies de talud (Formación Tamabra). Su espesor es de aproximadamente 400 m.

3.2.2 Vulcanismo del cenozoico

El vulcanismo presente en el Paleógeno, Neógeno y Cuaternario ha obedecido a diferentes regímenes tectónicos, uno compresivo hacia el Pacífico y distensivo hacia el Golfo de México, dango origen a dos provincias magmáticas diferentes: la calco-alcalina del altiplano (Valle del Mezquital) en su mayoría andesítica y la provincia alcalina oriental (Robin, 1976; Cantagrel y Robin, 1979). En la porción sureste del estado de Hidalgo se traslapan ambas provincias dando lugar a rocas volcánicas de composición intermedia, alcalina y toleítica. Silva (1989) estima que en los episodios volcánicos del altiplano de Hidalgo es posible reconocer cuatro ciclos. El más antiguo se encuentra regido por la subducción de la placa de Farallón, anterior a la actual subducción pacífica, que ocurrió durante el Eoceno tardío-Oligoceno. El segundo emplazó rocas andesíticas y riolíticas, es parte de un evento del Oligoceno tardío-Mioceno temprano, coincide en parte con el primero y, posiblemente, representa la manifestación tardía del mismo. El tercer evento, del Mioceno tardío, corresponde al reacomodo litosférico que produjo los elementos dinámicos actuales (Placa de Cocos; Demant, 1978, 1981) y se encuentra caracterizado por andesitas basálticas, basaltos y riolitas. Finalmente, un evento Plio-Cuaternario dio lugar a basaltos, andesitas básicas y complejos dómicos.

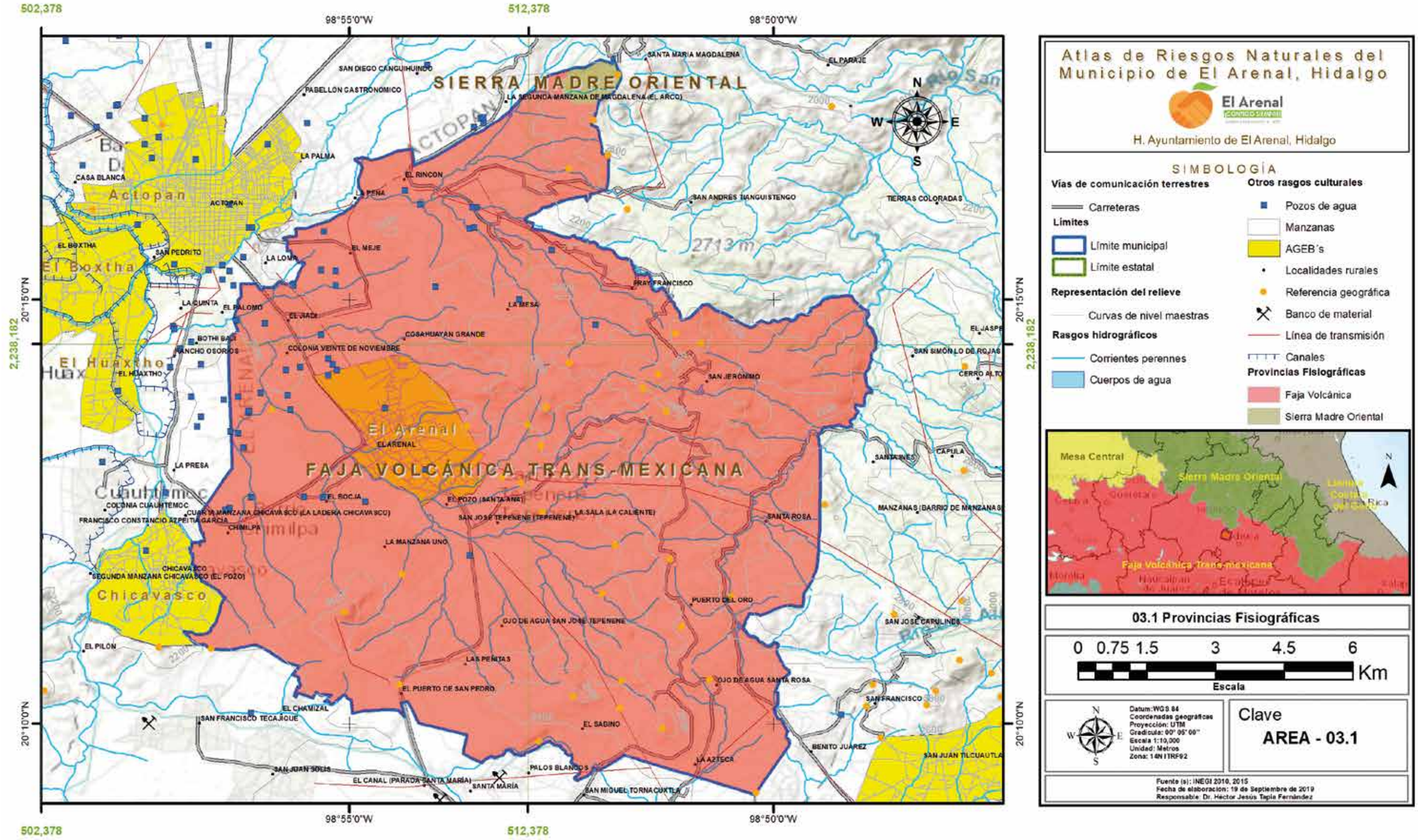
Durante el primer ciclo comenzó la formación del Grupo Pachuca (Fries, 1962) y de otras formaciones volcánicas del estado de Hidalgo. El segundo evento se encuentra escasamente representado en la geología de Hidalgo. Durante el tercer evento, el vulcanismo andesítico predominó en el altiplano y en su borde oriental, el basáltico e ingimbrítico. Corresponden con el último evento las lavas andesíticas derivadas de pequeños conos cineríticos que se alinean preferentemente en dirección NE-SW, algunos domos riolíticos calco-alcalinos que se dispersan en la porción centro-sur de la Faja Volcánica Trans-mexicana (Cantagrel y Robin, 1979). Estas rocas, con edades entre los dos millones de años, se encuentran a menudo interestratificadas con las formaciones terrígenas depositadas en los valles fluviales. Durante este evento se produjo fallamiento normal (formación de fosas tectónicas) que favoreció la emisión de lavas basálticas a lo largo de estas fallas, que en general caracterizan a la Faja Volcánica Trans-mexicana (Robin, 1982). En el siguiente apartado se expone respecto de las unidades volcánicas que afloran en el municipio de El Arenal .

3.2.3 Geología de la Sierra de Actopan

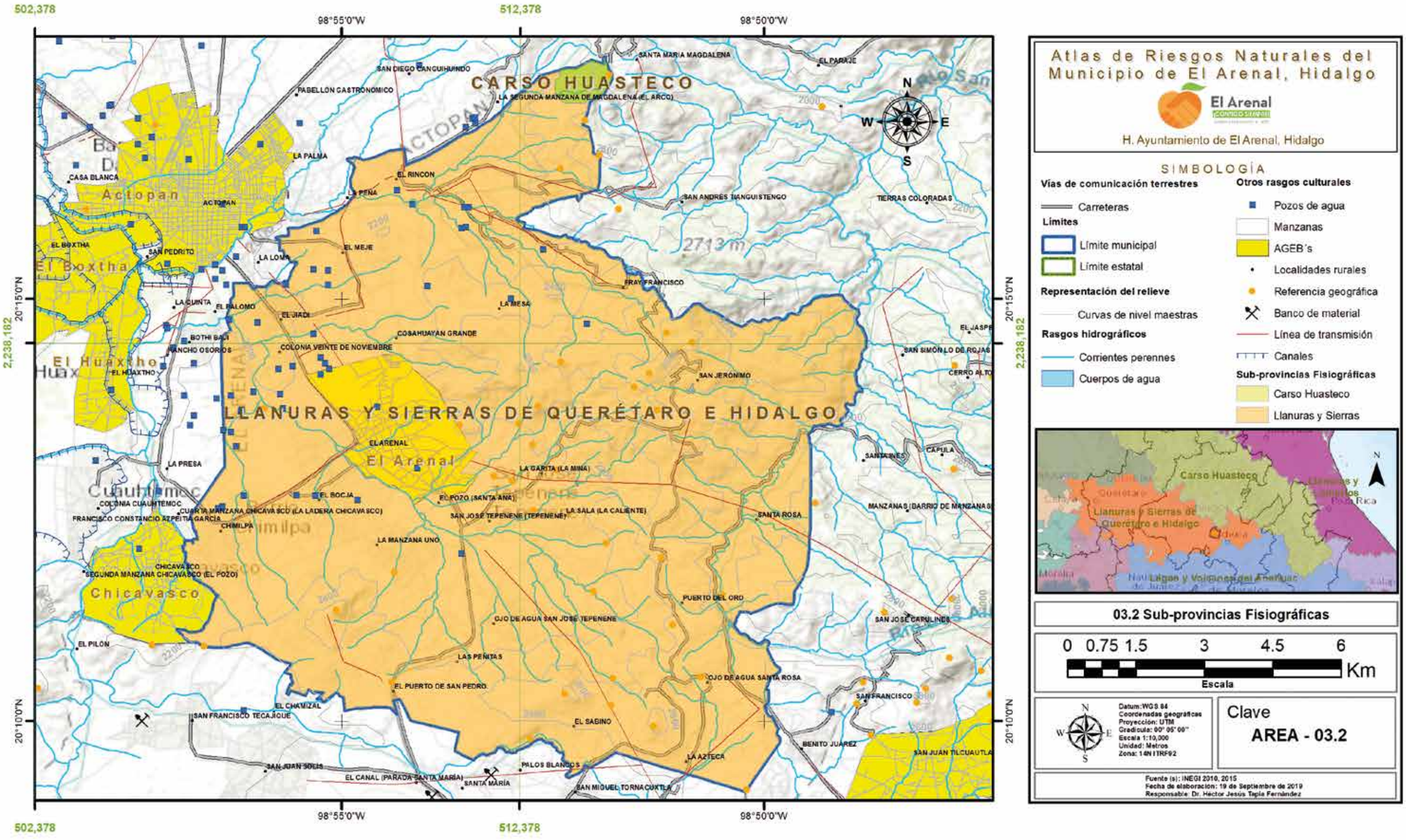
Grupo Pachuca (Eoceno-Oligoceno). El nombre de Grupo Pachuca fue propuesto por Segestrom (1961) para definir a las rocas volcánicas que descansan en discordancia erosional sobre las rocas de edad cretácica. La secuencia más completa de estas rocas se encuentra en la sierras de Pachuca y Actopan, donde presenta un espesor aproximado de dos mil metros.

Su estudio detallado fue realizado por Geyne (*et al.*, 1963) en el distrito minero de Real del Monte-Pachuca, donde fue definido formalmente como grupo. Consta de ocho formaciones, de la base a la cima, que son: Formación Santiago, Corteza, Pachuca, Real del Monte, Santa Gertrudis, Vizcaína, Cerezo y Tezuantla. Todas estas formaciones geológicas son lenticulares y están constituidas por derrames de lava, brecha volcánica, aglomerado volcánico, toba e ignimbrita, interestratificadas en proporciones variables, tanto lateral como verticalmente. La mayor parte del material clástico fue depositado por corrientes de agua, con pocas intercalaciones de ceniza depositada por aire. La unidad basal se encuentra constituida por la Formación Santiago, formada por riolita con algunos derrames de composición dacítica y andesítica. Se desconoce su base y está separada de la Formación Corteza por un contacto erosional. La Formación Corteza presenta tonalidades oscuras y consiste principalmente de derrames andesíticos. También su cima está marcada por una superficie de erosión. La Formación Pachuca comprende derrames andesíticos y algunas intercalaciones de dacita. Cerca de Pachuca, la parte inferior de esta formación comprende capas lacustres de arcilla y marga con ostrácodos y plantas fósiles. La Formación Real del Monte que la sigue, incluye principalmente brechas. La cubre la Formación Santa Gertrudis, de composición andesítica, con intercalaciones de dacita. Esta unidad muestra predominancia de derrames de lava con fenocristales de feldespato potásico. Le sigue un hiato erosional muy prolongado que en algunos lugares alcanzó a remover por completo a toda la formación. Suprayacente se encuentra la Formación Vizcaína, conformada por conglomerado arenáceo y tobas, seguido por derrames andesíticos y dacíticos. Finalmente, sobre la Formación Vizcaína descansa la Formación Cerezo, de composición riolítica y riodacítica. En algunas localidades esta formación, representada por arenisca y limolita tobácea se encuentran impresiones de hojas.

Según Fries (1962), las edades del Grupo Pachuca quedan delimitadas entre el Oligoceno temprano, debido a su contacto erosional con el grupo El Morro, y el Plioceno tardío representado por la Formación Zumate. Los restos fósiles encontrados en la parte inferior de la Formación Pachuca parecen pertenecer al Oligoceno. Por otra parte, las hojas fósiles encontradas en la Formación Cerezo indican una edad del Plioceno temprano. Sin embargo, un estudio isotópico K/Ar llevado a cabo en la Sierra de Actopan proporcionó una edad del Plioceno tardío (2.38 millones de años), lo cual indica que estas sierras se formaron por erupciones múltiples, durante largos periodos de tiempo.



Mapa 3. Provincias fisiográficas.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Otros rasgos culturales
- Pozos de agua
- Manzanas
- AGEB´s
- Localidades rurales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Línea de transmisión
- Canales

Sub-provincias Fisiográficas
- Carso Huasteco
- Llanuras y Sierras

03.2 Sub-provincias Fisiográficas

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

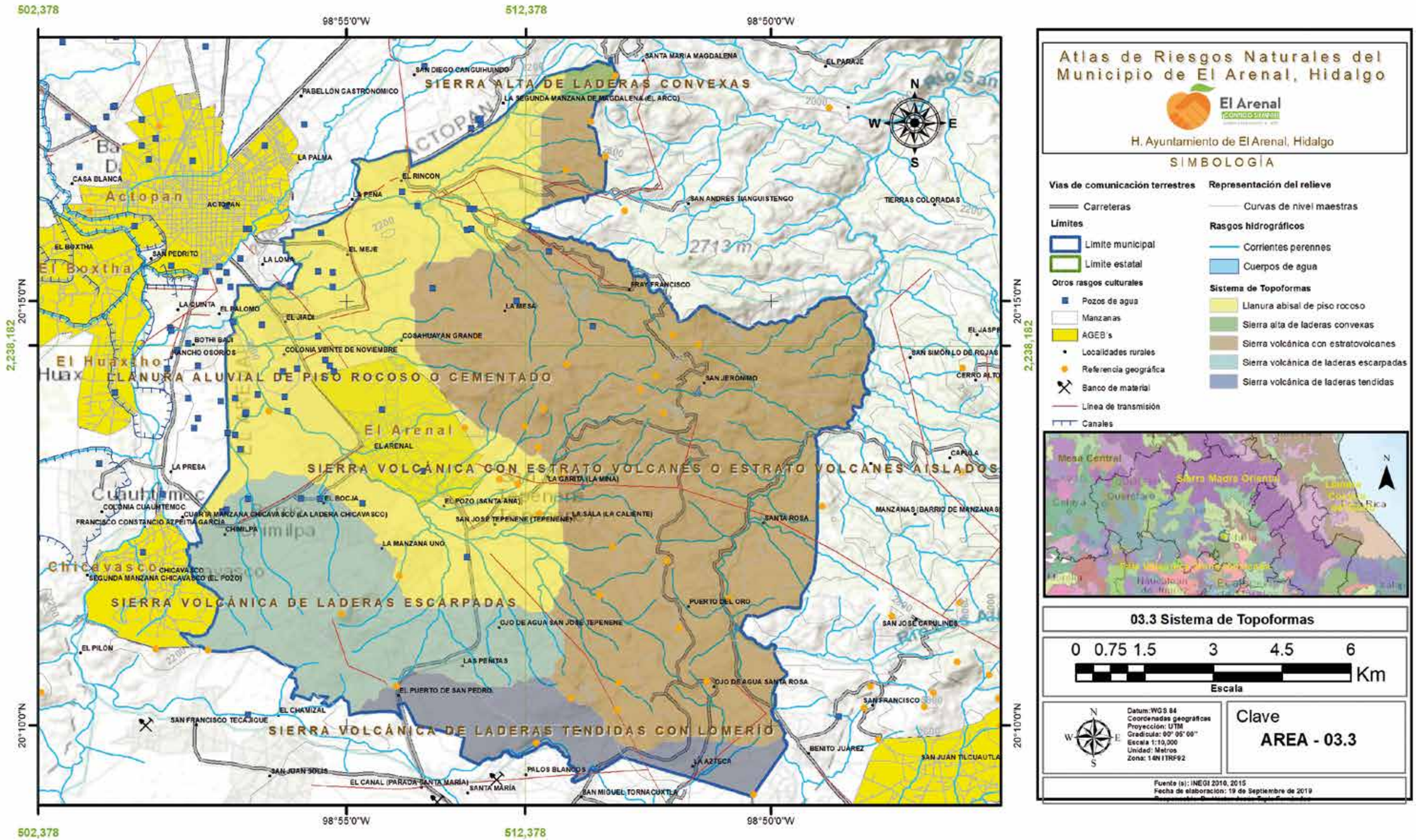
Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave

AREA - 03.2

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 19 de Septiembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Mapa 4. Subprovincias fisiográficas.



Mapa 5. Sistema de topoformas.

Formación Zumate. En la parte más elevada de la sierra de Actopan se presenta una secuencia de rocas andesíticas y dacíticas, formadas por interestratificación de derrames de lava, brechas y lahares, nombre derivado del cerro Zumate, situado a 3 km al norte de Real del Monte. Esta formación es notable por la fábrica porfídica excepcionalmente gruesa de sus lavas, y por sus formas erosionales en pináculos (Los Frailes en El Arenal). Su espesor aproximado es de unos 360 m. La Formación Zumate parece haberse formado después de la época de mineralización del distrito minero Real del Monte-Pachuca. Su edad corresponde al Plioceno medio.

En gran parte del estado de Hidalgo se encuentran sedimentos clásticos depositados por cauces fluviales, que en diversas localidades se encuentran interestratificados con derrames de lava.

Formación Tarango. En la cuenca del río Tula, a la cual pertenece la subcuenca del río Actopan, esta formación constituye el relleno de los valles erosionados en los paleorrelieves, conformando abanicos aluviales y depósitos de llanura de inundación. Esta unidad geológica la conforma grava, arena limosa y arcilla, con intercalaciones de toba y localmente algunos depósitos lacustres, como marga, arcilla y diatomita. En algunos lugares se encuentran travertinos (asociados a manantiales hidrotermales). La edad de la Formación Tarango es deducida a partir del hallazgo de restos de mastodonte hacia la cima de esta formación.

3.2.4 Rocas volcánicas del Plio-Cuaternario

En el extremo sur del municipio de El Arenal, donde comienza el altiplano predominan los derrames de lava (Cerro Gordo), domos (El Picacho) y conos de escoria (Cerro La Cantera) de composición basáltica. Estos últimos se caracterizan por conservar su morfología original, además de que se conformaron posteriormente al depósito de la Formación Tarango. Los conos de escoria parecen haberse extravasado a través de grandes fisuras con orientación NE-SW, los derrames de lava se encuentran desde El Sabino hasta Chimilpa.

3.2.5 Depósitos cuaternarios

Cerca de la cabecera municipal de El Arenal, a lo largo del río Grande, predominan los depósitos cuaternarios, como caliche, suelos rojos residuales y conglomerados fluviales (Suter, 1990). El caliche se forma principalmente sobre las calizas de la plataforma Valles-San Luis Potosí, cerca de las comunidades de El Jiadi y Colonia 20 de noviembre. Hacia el norte del municipio de El Arenal (El Rincón) existen escasas acumulaciones importantes de aluvión y material clástico de edad cuaternaria, fuera de lo que se encuentra en los lechos de los arroyos actuales y que no excede de unos cuantos metros de espesor. Otros depósitos importantes de aluvión se encuentran en el valle del río Actopan. Fries (1962) menciona que el valle debió tener originalmente un relleno formado por la Formación Tarango. Al erosionarse esta formación, el río comenzó a fluir sobre caliza cretácica y cortó en ella su estrecho cause actual. Cerca de Actopan, en estratos del Pleistoceno y reciente se han encontrado restos fósiles de vertebrados (Priego-Vargas y Bravo Cuevas, 2016). También se han reportado vertebrados fósiles en la cercanía de la hacienda Chicavasco, a unos 8 km al sur de Actopan, y los restos de un gliptodonte cerca de la hacienda La Concepción a 8 km al oeste de Pachuca.

3.3 GEOMORFOLOGÍA

En el estado de Hidalgo se sitúa, en tres de las grandes provincias geomorfológicas del centro de México: la Sierra Madre Oriental, la Mesa Central y el Cinturón Volcánico Transversal (Lugo y Córdova, 1990). La primera comprende la subprovincia Llanuras y sierras de Hidalgo y Querétaro, compuesta por montañas plegadas y valles intermontanos. La segunda la conforman planicies y sierras volcánicas, y finalmente la Faja Volcánica Trans-mexicana imprime sus rasgos definitivos sobre el relieve.

La cuenca del río Tula comprende un sistema de valles interconectados cuyo conjunto es conocido como Valle del Mezquital, que es donde se ubica el municipio de El Arenal. Esta región fue probablemente una cuenca cerrada durante el Plioceno, empezó a drenar hacia la cuenca del Pánuco durante el Pleistoceno, siendo erosionada activamente por los afluentes del río Tula. Hacia el sur, cerca de Actopan, la cubierta sedimentaria no se encuentra tan profundamente erosionada. La geomorfología de El Arenal se caracteriza por fuertes contrastes geomorfológicos. Las laderas se encuentran surcadas por profundas barrancas, debido a la activa erosión y fuerte pendiente de los lechos fluviales. Las elevaciones principales corresponden a la sierra de Pachuca, que tiene rumbo NW-SE, y continúa hacia el noreste con la sierra de Actopan, además de encontrarse un pequeño ramal de la Sierra Madre Oriental. Su altura se encuentra comprendida entre los 2 mil 300 y 3 mil 300 metros sobre el nivel del mar. Las cimas principales son la de Las Ventanas y la del cerro de Los Frailes (u Órganos de Actopan). Esta sierra muestra formas abruptas, frecuentes picachos, acantilados y fuertes declives, debido a que la sierra de Actopan se encuentra conformada por derrames lávicos, brechas, aglomerados y lahares de composición dacítica, la cual es resistente a la erosión y forma pináculos espectaculares como Las Ventanas, Las Monjas y Los Frailes. En esta región se encuentra ubicado el Parque Nacional de El Chico, el cual es una región de rocas espectaculares e imponentes.

Hacia el norte de El Arenal, con dirección al municipio de Actopan, existen terrenos calizos que presentan fenómenos cársticos, como pérdida y resurgencia de ríos y formación de cavernas subterráneas (Grutas de Xoxafi). Todas las partes planas y las laderas de los cerros se encuentran cubiertas por formaciones vulcanoclásticas. Potentes depósitos de pumicita que bordean al valle de Actopan.

3.4 EDAFOLOGÍA

Los elementos geomorfológicos con las distintas condiciones climáticas y la diversidad de rocas presentes en la región, condicionan la distribución de suelos. Estos también han sido afectados por degradación, debida en parte a fenómenos naturales y en parte a la actividad humana. Para describir la diversidad de suelos en el municipio de El Arenal, se han utilizado los datos vectoriales 1:1,000.000 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).

Se ha observado que los suelos más importantes, por su extensión dentro del municipio son:

1. Aquellos condicionados por la composición de la roca madre (Litosol).
2. Los suelos de degradación (Regosol dístrico).
3. Los suelos que dependen, en el curso de su formación, de la presencia de materia orgánica y otros compuestos y/o determinadas condiciones climáticas (Feozem háplico y calcárico).
4. Los suelos recientes (Cambisol húmico).

Los diferentes tipos de suelo presentes en el municipio de El Arenal se clasifican con base en el Sistema Internacional Base de Referencia Mundial

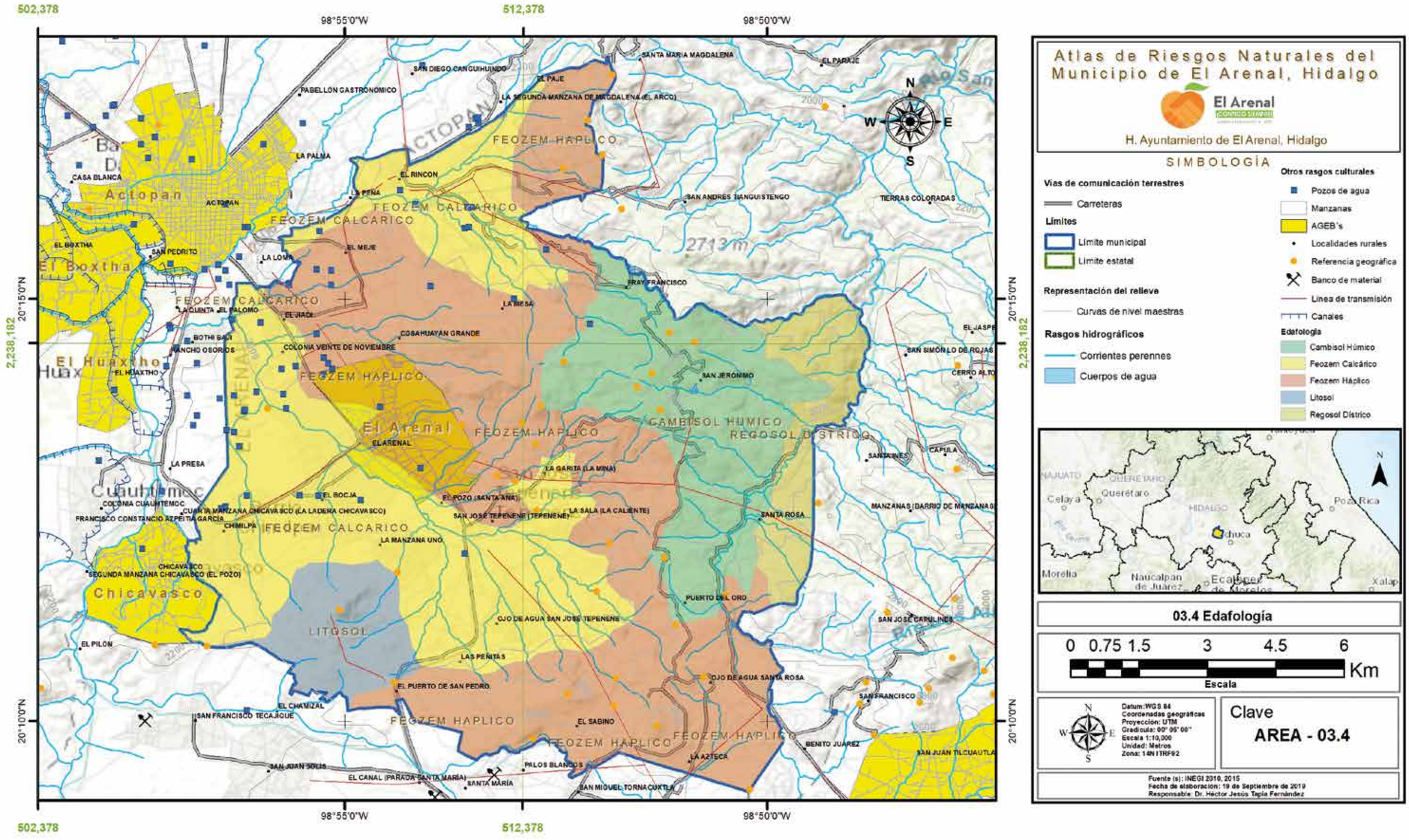
(WRB), y se han formado a partir de las rocas existentes en la región, tales como andesita, basaltos, tobas basálticas, además de material de origen orgánico procedente de los diferentes organismos presentes en los ecosistemas del municipio.

			Superficie	
Clave	**Tipo de suelo**	**Descripción**	**km²**	**Porcentaje**
Hc	Feozem calcárico	Dúrica profunda	43.98	32
Hh	Feozem háplico	Petrocálcica	58.29	42
Rd	Regosol dístrico	Lítica	7.13	5
I	Litosol	Gravosa	7.22	5
Bh	Cambisol húmico	No descrita	20.86	15

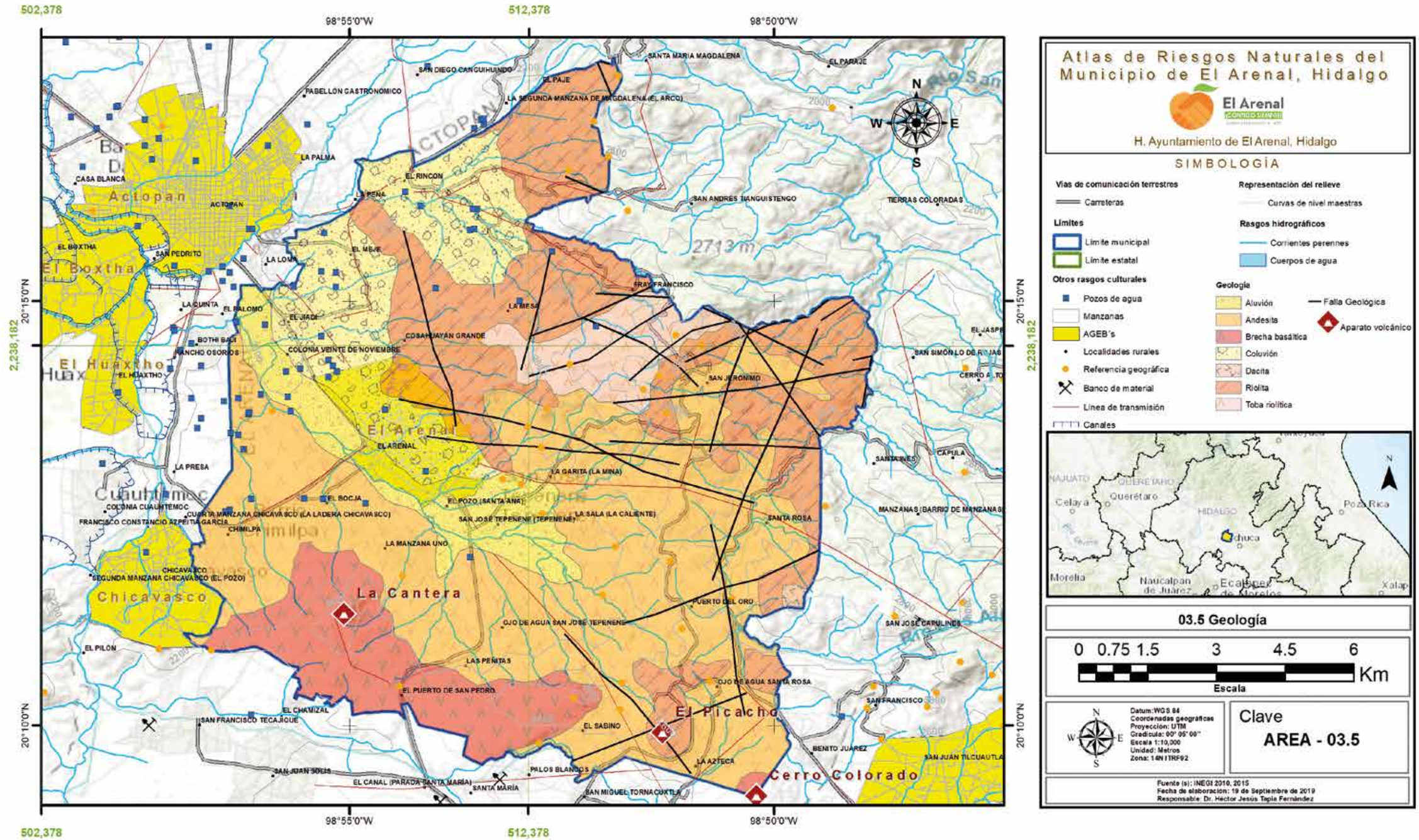
Tabla 3. Tipos de suelo y su respectiva superficie en el municipio, con base en la clasificación de la FAO.
Fuente: Conabio, 2008.

Feozem. Este término deriva del vocablo griego *phaios* que significa oscuro, y del ruso *zemlja* que significa tierra, haciendo alusión al color oscuro del horizonte más superficial. El material parental lo constituye un amplio rango de materiales no consolidados, saturados en materiales alcalinos. Se asocian a regiones con un clima suficientemente húmedo, pero con estación seca para que exista lavado desde los horizontes superiores. El clima puede ir de cálido a frío, y existen desde la zona templada hasta las tierras altas tropicales. El relieve que se presenta debe ser llano o suavemente ondulado, y la vegetación de matorral tipo estepa o de bosque. Son suelos carbonatados ricos en materia orgánica que a menudo presentan caliche y horizontes oscuros. Son suelos que presentan poca erosión, abundantes en las zonas semiáridas y áridas de El Arenal. Dan sustento a pastizales y cuando son lo suficientemente profundos tienen un buen potencial agrícola. Tienen una amplia distribución, principalmente en el valle de Actopan.

Los Feozems vírgenes soportan una vegetación desde matorrales a bosques. Sus principales limitaciones son las inundaciones y la erosión que este proceso causa sobre su estructura. Son suelos con igual o mayor fertilidad que los vertisoles, ricos en materia orgánica, textura media, buen drenaje y ventilación. En general son poco profundos, casi siempre pedregosos y muy inestables, restringiendo por ello su uso en la agricultura permanente, pudiéndose utilizar en el cultivo de pastos, aunque se recomienda mantenerlos con vegetación permanente (FAO, 1988). El Feozem háplico representa un suelos simple, de color oscuro y de textura media, limitados por una fase física, aflora sobre todo en las laderas de la sierra de Actopan, desde El Meje, Cosahuayán Grande, La Mesa, pasando por la cabecera municipal hasta Ojo de Agua Santa Rosa, La Azteca, El Sabino y Puerto de San Pedro. Mientras que el Feozem calcárico es un suelo muy oscuro y profundo, con presencia de carbonato de calcio en sus horizontes, ambos tipos de suelo se encuentran asociados a las zonas serranas. Este suelo se encuentra aflorando a lo largo de la porción suroeste del municipio desde Chimilpa hasta San José Tepenené y hacia el norte cerca de la comunidad de El Rincón.



Mapa 6. Edafología.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
CONTIGO SIEMPRE

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Pozos de agua
- Manzanas
- AGEB´s
- Localidades rurales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Línea de transmisión
- Canales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Geología
- Aluvión
- Andesita
- Brecha basáltica
- Coluvión
- Dacita
- Riolita
- Toba riolítica
- Falla Geológica
- Aparato volcánico

03.5 Geología

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave

AREA - 03.5

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 19 de Septiembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Mapa 7. Geología.

Cambisol. Son suelos poco desarrollados que se pueden formar a partir de cualquier tipo de roca que no sea calcárea (caliza). Son suelos típicamente forestales. En el llano, cuando son arcillosos, pueden tener un buen potencial agrícola. En el municipio de El Arenal afloran en la vertiente oriental del municipio en la sierra de Actopan, a lo largo del camino que comunica Puerto del Oro con San Jerónimo.

Litosol. Son un tipo de suelo que suele aparecer en escarpes y afloramientos rocosos. Su espesor siempre es menor a 10 cm y sostiene una vegetación escasa con predominio de materia orgánica, fertilidad de media a baja. Representan suelos no evolucionados, como resultado de fenómenos erosivos que han afectado directamente sobre la roca madre. Constituyen las primeras etapas de formación del suelo (edafogénesis). Además, estos suelos someros son muy erosionables y cubren terrenos de fuertes pendientes. Derivan probablemente de suelos forestales degradados por la tala de los bosques. No tienen ningún uso agrícola, solamente una aptitud silvícola no maderable. Se observan en la porción suroccidental del municipio cerca de la comunidad de El Puerto de San Pedro y en el Cerro La Cantera.

Regosol. Este término deriva del vocablo griego *rhegos* que significa sábana. Hace alusión al manto de alteración que cubre la superficie. Se trata de suelos que se desarrollan sobre materiales no consolidados, sumamente alterados y con textura fina, en lugares con pendientes importantes y que presentan una escasa evolución. Se generan a partir de aportes recientes y se localizan en zonas con fuertes procesos erosivos que provocan un continuo rejuvenecimiento del suelo. Estos suelos presentan una capacidad agrícola limitada. Además, son suelos minerales no estructurados, sueltos (regolito), y muy erosionables. Probablemente relictos de una fuerte erosión que destruyó los horizontes superiores del perfil. Su potencial es únicamente silvícola no maderable. Se presentan formando una franja en la porción más oriental de El Arenal sobre la sierra de Actopan cerca de Santa Rosa.

3.5 HIDROGEOLOGÍA

Los recursos hídricos subterráneos del municipio conforman los acuíferos que confluyen en la zona. Estos son mencionados a continuación:

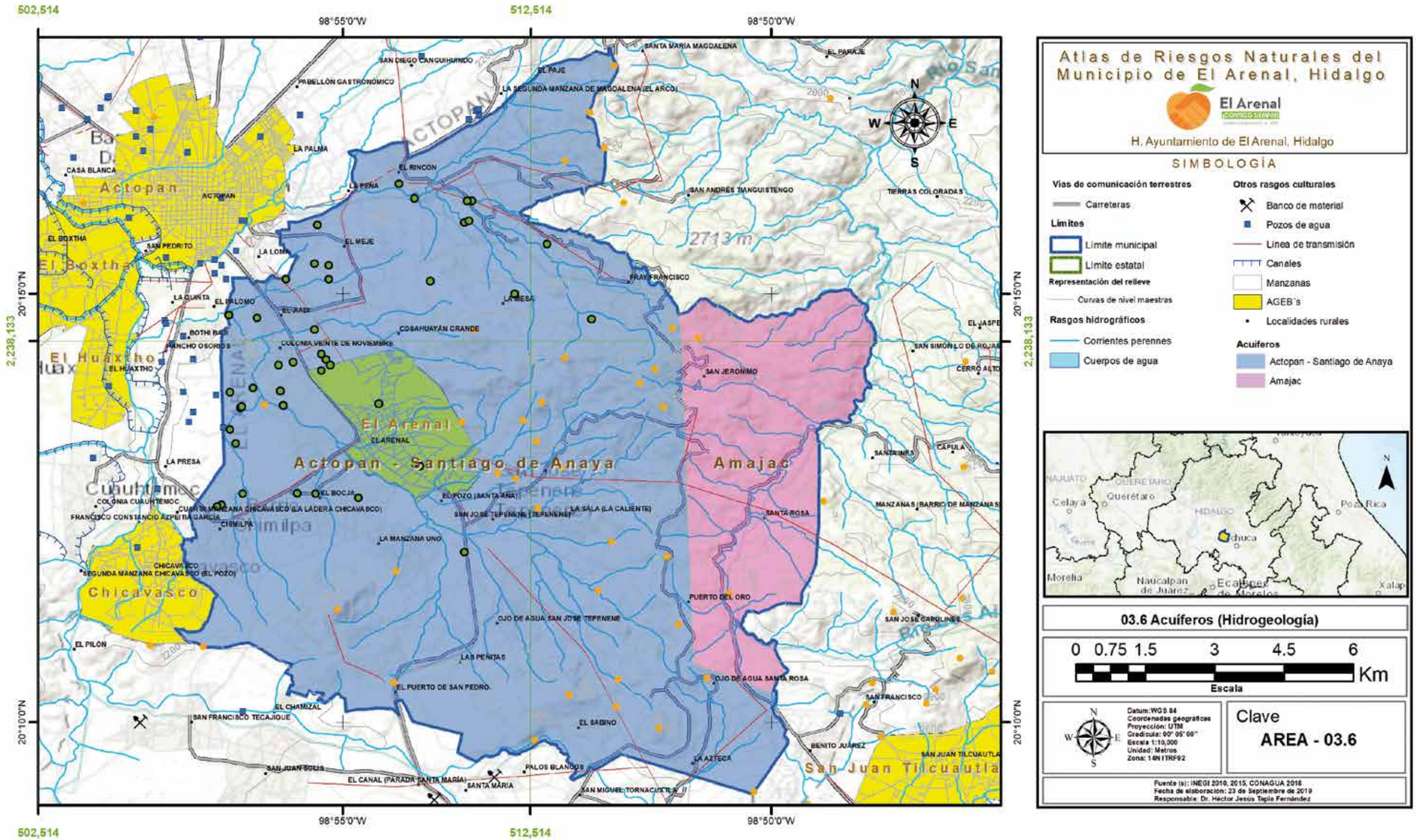
Acuífero Actopan-Santiago de Anaya. Definido con la clave 1313 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Agua Subterránea (Sigmas) de la Comisión Nacional del Agua (Conagua). Se localiza en la porción sur del estado de Hidalgo, entre los paralelos 20° 02’ y 20° 29’ de latitud norte y los meridianos 98° 44’ y 99° 09’ de longitud oeste. Abarca una superficie aproximada de 1 mil 65 km².

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten definir al acuífero Actopan-Santiago de Anaya como libre superficialmente que grada a semiconfinado a profundidad (Conagua, 2015). Resulta ser heterogéneo y anisótropo en su porción superior, conformado por una alternancia de material aluvial, rocas volcánicas porosas (tobas basálticas y basaltos fracturados) y material vulcanosedimentario, con intercalaciones de tobas de menor permeabilidad que funcionan como acuífero semiconfinado. Este conjunto hidrogeológico presenta permeabilidad media y un espesor promedio aproximado de 400 m, permitiendo la infiltración, circulación y almacenamiento de agua subterránea. La porción inferior se encuentra conformada por rocas volcánicas de composición basáltica que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. El flujo subterráneo y el basamento hidrogeológico se encuentran conformados por las mismas rocas volcánicas. A profundidad, el fracturamiento desaparece con el contacto litológico con rocas volcánicas del Mioceno, como la riolita Don Guinyó, que aflora hacia el occidente del acuífero, y las andesitas del Grupo Pachuca y la Formación El Morro hacia el oriente, cerca de las estribaciones de las sierras de Actopan y Pachuca. A mayor profundidad, la secuencia de rocas cretácicas conformadas de lutitas, limolitas y areniscas que constituyen las formaciones Mezcala, Soyatal y El Abra, marcan las fronteras de este acuífero. A mayor profundidad, las rocas calizas cretácicas parecen alojar un acuífero confinado por lutitas, como lo demuestra el artesianismo que se presenta en la porción central del acuífero. La recarga del acuífero más profundo se produce de manera vertical, a través de estratos semiconfinantes y piedemonte, incluso desde las calizas. La descarga se lleva a cabo por medio de pozos profundos, manantiales y pozos artesianos.

Acuífero Amajac. Definido con la clave 1321 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (Sigmas) de la Conagua, se localiza en la porción central del estado de Hidalgo, entre los paralelos 20º 07” y 20º 44” de latitud norte y entre los meridianos 98º 37” y 99º 11” de longitud oeste, cubre una superficie aproximada de 1 mil 411 km². Limita al norte con el acuífero Orizatlán, al este con los acuíferos Metztitlán y Huasca-Zoquital, al sur con el Cuautitlán-Pachuca, al sursuroeste con el acuífero Actopan-Santiago de Anaya y al oeste con el acuífero Ixmiquilpan.

De acuerdo con la información geológica e hidrogeológica recabada en el acuífero, y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra conformado en su porción superior por sedimentos fluviales que constituyen el lecho y la llanura de inundación del río Amajac y sus arroyos tributarios. En su porción inferior, se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias calcáreas y terrígenas (calizas y areniscas y lutitas), así como volcánicas (tobas, brechas y basaltos) del Grupo Pachuca y formaciones Plio-Cuaternarias que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas de las formaciones Tamaulipas Superior, Tamabra y el Abra, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento hidrogeológico del acuífero están representadas por las mismas rocas sedimentarias y volcánicas al desaparecer el fracturamiento, y por las lutitas, limolitas y areniscas compactas que afloran a lo largo del acuífero.

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero tipo libre heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido vertical como horizontal, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría diversa, de espesor reducido que no sobrepasa los 10 m, debido a que están subyacidos por lutitas. Este es el acuífero que actualmente puede explotarse en los valles intermontanos, principalmente mediante norias y arroyos que sólo satisfacen las necesidades del uso doméstico. Las calizas y areniscas representan una fuente potencial de agua subterránea que aún no ha sido explorada. Debido a la topografía accidentada y al carácter general impermeable de la zona serrana, los escurrimientos fluyen de manera rápida sin permitir su infiltración. Solo en la porción baja es posible la acumulación de agua, conformando un acuífero de reducidas dimensiones y de baja capacidad de almacenamiento que presenta permeabilidad media. En las porciones sur y centro del acuífero es común la existencia de pequeños manantiales que en forma de “lloraderos” descargan localmente la infiltración del agua a través de las fracturas o por el contacto con rocas impermeables.



Mapa 8. Acuíferos (hidrogeología).

Los aprovechamientos de aguas subterráneas presentes en el municipio están constituidos por 28 pozos, tres de los cuales están destinados para el uso público urbano, uno para usos múltiples y 24 son agrícolas (tabla 4).

Título de concesión	Localidad	Acuífero	Uso del agua	Volumen (m^3)
13HGO102155/26APDL08	El Rincón	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	1,080
13HGO102015/26IPGE97	Cosahuayán Grande	Actopan-Santiago de Anaya	Múltiple	100,000
5HGO100050/26AMGE94	San José Tepenené	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	90,000
13HGO102157/26APGE97	Fray Francisco	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	216
5HGO101714/26AMGE96	El Bocja	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	84,000
13HGO105404/26AMGE00	El Jiadi	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	9,000
13HGO100043/26AMDL08	El Meje	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	400,000
13HGO100040/26AMDL09	El Meje	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	90,000
13HGO100042/26AMDL08	El Meje	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	330,000
13HGO102307/26APGE98	La Mesa	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	2,880
13HGO102547/26APGE98	El Rincón	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	3,600
13HGO154965/26AMDL17	San José Tepenené	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	146,080
5HGO100095/26AMGE94	EL Jiaji	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	88,180
5HGO100028/26AMGE94	El Bocja	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	259,200
13HGO101752/26HMDL08	El Bocja	Actopan-Santiago de Anaya	Público Urbano	82,125
13HGO102250/26APGE98	El Rincón	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	3,000
5HGO100003/26AMGE94	Chimilpa	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	500,000
13HGO100047/26AMDL18	20 de Noviembre	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	520,000
13HGO102191/26AMDL08	El Arenal	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	139,968
13HGO100040/26AMDL09	El Arenal	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	90,000
13HGO100039/26AMGE94	20 de Noviembre	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	42,000
13HGO105639/26AMGE02	Chimilpa	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	345,000
13HGO100885/26AMDL15	El Meje	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	300,000
5HGO100948/26AMGE95	20 de Noviembre	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	42,000
13HGO102191/26AMDL08	El Arenal	Actopan-Santiago de Anaya	Agrícola	120,000
13HGO103952/26HMGE99	El Arenal	Actopan-Santiago de Anaya	Público Urbano	94,698
13HGO105229/26HMGE99	El Arenal	Actopan-Santiago de Anaya	Público Urbano	78,840

Tabla 4. Aprovechamientos de agua subterránea.
Fuente: Registro Público de Derechos de Agua (Conagua, 2019).

3.6 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL (CUENCAS)

La mayor parte de la superficie del municipio de El Arenal pertenece a la Región Hidrológica Administrativa del Pánuco (RH26), cuya extensión territorial ocupa aproximadamente 96 mil 989 km y se encuentra conformada por 77 subcuentas hidrológicas (Conagua, 2012). A nivel de subcuenca el municipio se ubica dentro de la subcuenca del río Moctezuma (RH26D), limita al sur con la cuenca del Balsas, al este con las de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla, al oeste con la del río Lerma y al norte con la de los ríos Tempoal y Pánuco.

3.6.1 Subcuenca del río Actopan

La subcuenca del río Actopan pertenece al sistema hidrológico del río San Juan-Tula. El drenaje superficial está conformado por el río Actopan (RH26Dr) y arroyos intermitentes. En cuanto a longitud y superficie drenada, el escurrimiento más importante es el río Actopan o Chicavasco, que se une al río Tula en las cercanías de Ixmiquilpan, a la altura de la comunidad El Sabino. Sirve como límite natural entre El Arenal y San Agustín Tlaxiaca. A partir de la confluencia del río Tula con el río San Juan, cambia de nombre por río Moctezuma (RH26D), que es uno de los afluentes principales de la cuenca del río Pánuco (RH26). El río Actopan o Chicavasco es uno de los tributarios del río Tula. Tiene su origen en el parteaguas común con la cuenca del río de Las Avenidas y el río Amajac, unos 9 km al nororiente de la ciudad de Pachuca. Está controlado en sus primeros desarrollos por pequeños almacenamientos como la presa La Estanzuela y por la presa El Durazno. Entra al valle de Actopan y pasa por esta población, en donde adopta su nombre y cambia de dirección hacia el noroeste, bordea al cerro de San Miguel que divide a los valles de Actopan e Ixmiquilpan. Posteriormente, se adentra al Valle del Mezquital y poco antes de la población de Ixmiquilpan, a unos 3 km, descarga al colector general de la región, que es el río Tula. El área drenada hasta este sitio es de 1 mil 311 km^2.

3.6.2 Subcuenca del río Amajac

La subcuenca del río Amajac (RH26Ds) pertenece a la RH26 río Pánuco, y a la cuenca del río Moctezuma (RH26D). Morfológicamente, la cuenca del río Amajac se encuentra en una zona serrana, constituida al sur por

materiales volcánicos de las sierras de Actopan y Pachuca, y sedimentarios dentro de la Sierra Madre Oriental.

El patrón de drenaje formado es de tres tipos, dendrítico, radial y rectangular. El segundo y tercer tipos están ampliamente regulados por la geología estructural preponderante. En el caso del drenaje radial, se presenta en conos volcánicos aislados, y el rectangular, por la presencia de fracturas y fallas que transcurren en dirección NW-SE.

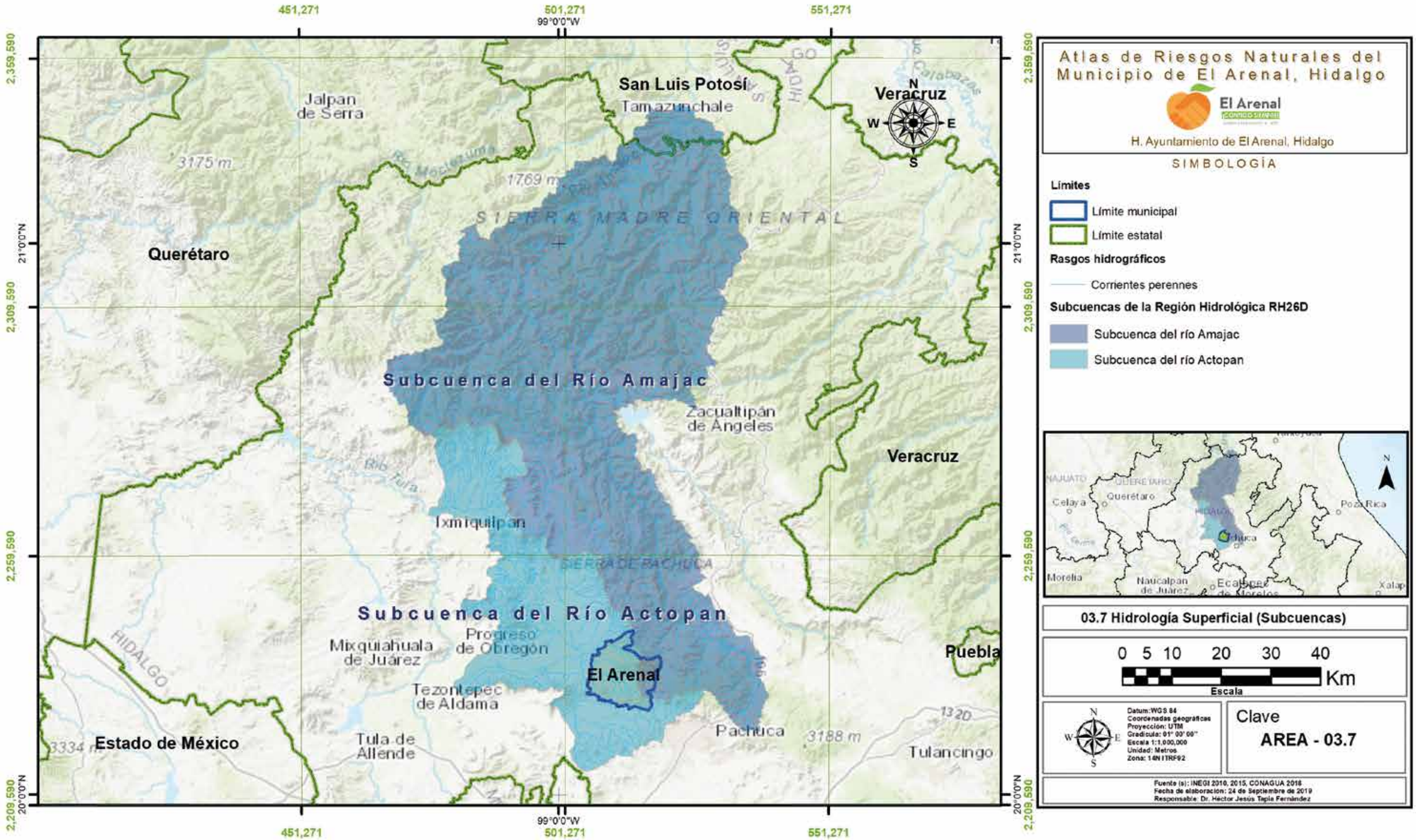
La densidad de drenaje es variada: predominantemente alta en donde afloran las intercalaciones de rocas de poca competencia, como lutitas con areniscas, y moderada a baja en las porciones donde dominan las rocas volcánicas. La mayoría de los escurrimientos son de régimen intermitente, todos afluentes del río Amajac.

En el inicio y final de su recorrido, este río tiende a ser perenne, debido a la presencia de manantiales que aportan agua durante todo el año. En temporada de estiaje, el río desaparece en la porción central de la cuenca, donde los depósitos aluviales presentan mayor espesor y causa influencia con el acuífero de Amajac. Corre de sureste a noroeste por la porción central del estado de Hidalgo, corta las secuencias mesozoicas y terciarias que integran las sierras circundantes, nace en las sierras de Pachuca y Actopan.

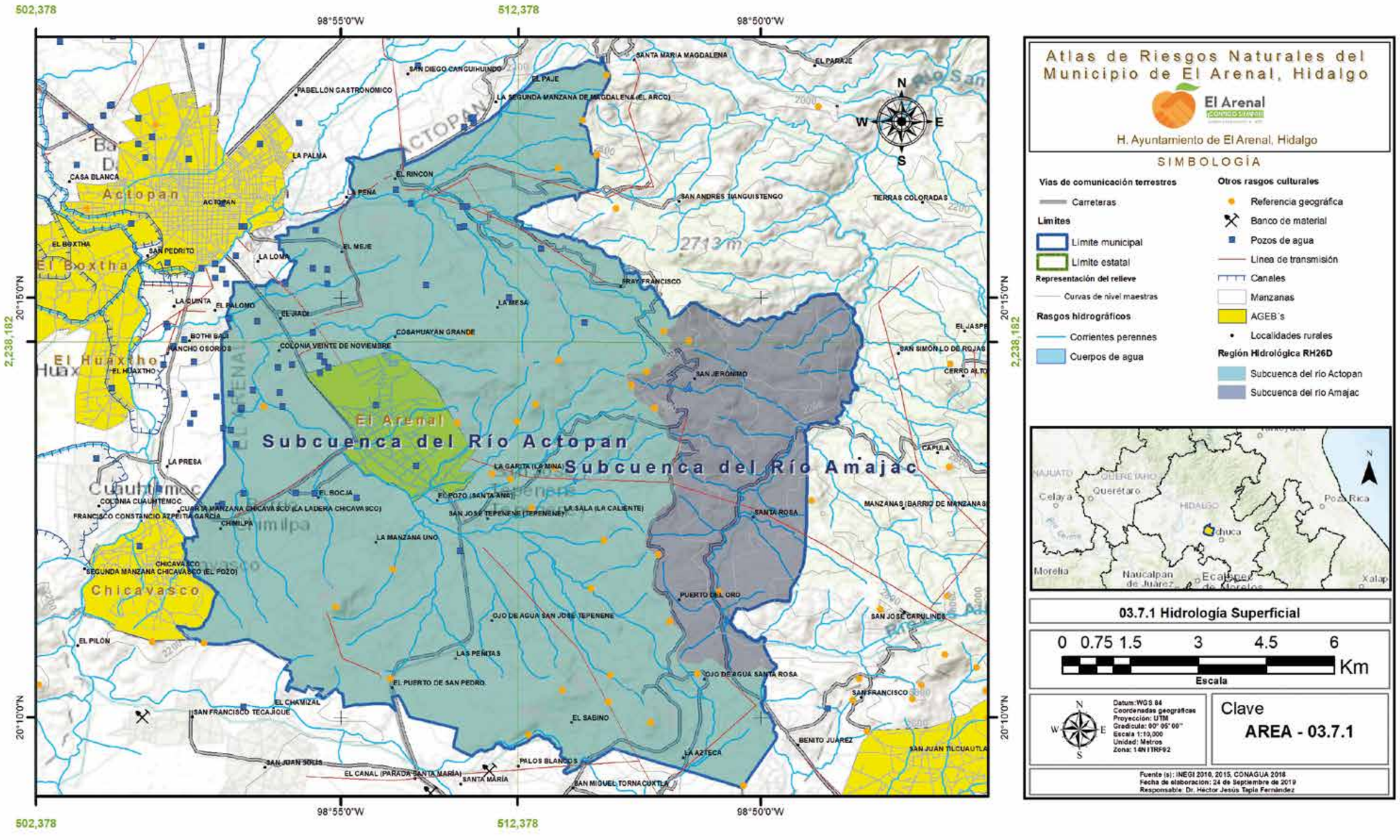
Dentro del municipio de El Arenal corre el arroyo Los Ailes, que nace en la comunidad de San José Capulines (Mineral del Chico) y atraviesa la porción noreste del municipio de El Arenal, por las localidades de Ojo de Agua Santa Rosa, Puerto del Oro y Santa Rosa. Además, se alimenta de los arroyos Bandola, General y Aguacate. Al final confluye con el río Metztitlán, en el extremo norte del de la subcuenca, después de haber recorrido poco más de 60 km. Sus principales afluentes por la margen izquierda se conocen como arroyo Bandola, río General, río Aguacate, río Ocotillos, arroyo El Chico y Magdalena, arroyo Gualulo, arroyo Milpitas, río San Nicolás, arroyo El Senthe, río Carrizal y el río Tolantongo. Por la margen derecha, provenientes de la meseta de Huasca-Zoquital, los arroyos intermitentes de La Luna y Xhate. En el extremo norte de la subcuenca existen dos estaciones hidrometeorológicas, actualmente inactivas, que medían el caudal proveniente del lago de Metztitlán. Dentro de la subcuenca del río Amajac, no existe infraestructura hidráulica para el almacenamiento de las corrientes superficiales.

3.6.3 Parámetros morfométricos de las subcuencas

Es el estudio cuantitativo de las particularidades físicas de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. Dentro de este contexto, es importante señalar que las mediciones deben ser realizadas sobre un mapa con suficiente información hidrográfica y topográfica. La morfometría particular de cada cuenca es proporcional a su respuesta hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como será la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran.



Mapa 9. Hidrología superficial (subcuencas).



Mapa 10. Hidrología superficial.

Los parámetros morfométricos que caracterizan a una cuenta hidrográfica son los siguientes:

1. **Longitud de la cuenca (**LC**)**. Representa la distancia en línea recta, medida desde la salida de la cuenca (o su conexión con otro cause más grande) hasta el punto de nacimiento del canal principal.
2. **Ancho de la cuenca (**AC**)**. Anchura promedio de la cuenca determinada que divide el área (A) entre la longitud de la cuenca (LC).
3. **Perímetro de la cuenca (**PC**)**. Longitud de la línea que define la superficie de la cuenca.
4. **Diámetro de la cuenca (**DC**)**. Representa el diámetro del círculo más pequeño que comprendería toda la cuenca.
5. **Longitud del canal principal (**LCP**)**. La longitud del canal principal se calcula desde la boca de la cuenca hasta donde se encuentra el parteaguas. Sigue el curso del río principal de la cuenca incluyendo meandros.
6. **Tasa de sinuosidad (**TS**)**. Es el cociente de la longitud del canal principal (LCP) entre la longitud de la cuenca (LC).
7. **Forma de la cuenca (**FC**).** Es una medida de la forma (de la elongación) de la cuenca calculada como el cociente del ancho promedio entre la longitud de la cuenca.

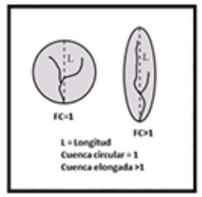


Figura 6. Formas que puede adoptar una cuenca hidrológica.

Parámetro morfométrico	Valor en km
Longitud de la Cuenca	62.53 km
Longitud del canal principal	94.34 km
Ancho de la cuenca	21.09 km
Diámetro de la cuenca	21.68 km
Perímetro de la cuenca	296.74 km
Área de la cuenca	1319.24 km^2
Forma de la cuenca	0.33 = Elongada
Tasa de sinuosidad	1.53 = Muy sinuoso

Tabla 5. Parámetros morfométricos de la subcuenca del río Actopan (RH26Dr).

Parámetro morfométrico	Valor en km
Longitud de la Cuenca	126.24 km
Longitud del canal principal	327.12 km
Ancho de la cuenca	32.17 km
Diámetro de la cuenca	42.38 km
Perímetro de la cuenca	487.80 km
Área de la cuenca	4062.01 km^2
Forma de la cuenca	0.25 = Elongada
Tasa de sinuosidad	2.59 = Muy sinuoso

Tabla 6. Parámetros morfométricos de la subcuenca del río Amajac (RH26Ds).

Perfil topográfico longitudinal del cauce principal. Las variaciones de altitud sobre el nivel del mar al interior de la cuenca, así como su altitud media, son datos esenciales para el estudio de la temperatura y la precipitación. En este sentido, las diferencias de temperatura que se producen como consecuencia de las variaciones de altitud, tienen un efecto importante sobre las pérdidas de agua por evapo-transpiración. El perfil longitudinal de cauce fluvial también proporciona información valiosa sobre la ubicación de nuestra zona de interés, dado que en las partes bajas de la cuenca suceden procesos de depósito de sedimentos y desbordamiento de ríos. En el caso del municipio de El Arenal, la mayor parte de su territorio se encuentra en las partes altas de las subcuencas de los ríos Amajac y Actopan.

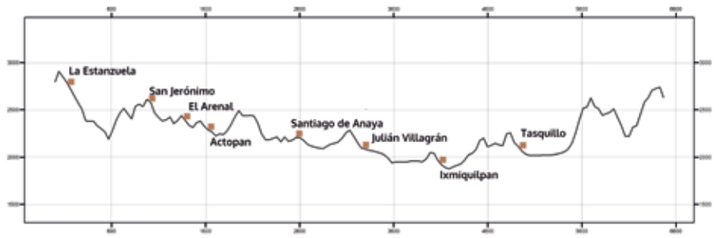


Figura 7. Perfil topográfico longitudinal del cauce del río Actopan con clave de subcuenca (RH26Dr).

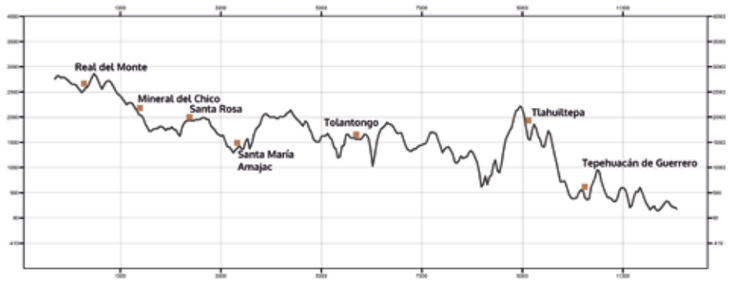


Figura 8. Perfil topográfico longitudinal del cauce del río Amajac con clave de subcuenca (RH26Ds).

3.7 CLIMA

El clima representa el promedio del tiempo atmosférico, normalmente sobre un intervalo de 30 años. Se mide al evaluar los patrones de variación en distintos valores como temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, precipitación, cuenta de partícula atmosférica y otras variables meteorológicas en una región dada sobre periodos largos. El clima difiere del tiempo en que éste último solo describe las condiciones de corto plazo de tales variables en una región dada.

Los tipos de clima presentes en el municipio de El Arenal son:

BS1kw. Representa un clima semiárido-templado, con una temperatura media anual entre 12 y 18 grados Celsius. La temperatura del mes más frío oscila entre menos tres y 18 grados Celsius, mientras que la del mes más caliente es menor de 22 grados Celsius. Las lluvias se presentan en verano y van de cinco por ciento a 10.2 por ciento anual. Este clima se presenta en las partes bajas y valles del municipio de El Arenal, sobre todo en la cabecera municipal y las localidades El Rincón, El Meje, El Jiadi, Chimilpa y El Bocja. Ocupa la porción occidental del municipio, es una superficie de 50.8 km^2, la cual representa 37 por ciento de la superficie municipal.

C(wo). Se encuentra representando un clima templado, con una temperatura media anual entre 12 y 18 grados Celsius. La temperatura del mes más frío se encuentra entre menos tres y 18 grados Celsius, y la temperatura del mes más caliente bajo los 22 grados Celsius. El subtipo de clima es subhúmedo, la precipitación anual se encuentra en rangos de 200 a

1 mil 800 milímetros y la precipitación en el mes más seco solo es de 0 a 40 milímetros; las lluvias de verano representan del cinco por ciento a 10.2 por ciento anual. Este clima es predominante en las estribaciones de la sierra de Actopan, en las localidades de La Mesa, Fray Francisco, San José Tepenené, Las Peñitas, Puerto del Oro y La Azteca. Se encuentra ocupando la mayor parte de la superficie territorial de El Arenal con un área de aproximadamente 76.1 km², lo cual representa el 56 por ciento de la superficie municipal.

C(w1) y C(w2). Se encuentran representando un clima templado, con una temperatura media anual entre 12 y 18 grados Celsius. La temperatura del mes más frío se encuentra entre menos tres y 18 grados Celsius, y la del mes más caliente bajo los 22 grados Celsius. El subtipo de clima es subhúmedo, la precipitación anual se encuentra en rangos de 200 a 1 mil 800 milímetros y la precipitación en el mes más seco es de cero a 40 milímetros. Las lluvias de verano representan de cinco a 10.2 por ciento anual. Estos dos tipos de clima solo se presentan en las partes altas de la sierra de Actopan, en las localidades de San Jerónimo y Santa Rosa. Los tipos de clima templado C(w1) y C(w2) ocupan en su conjunto 9.6 km² del área municipal, lo que representa siete por ciento de la superficie de El Arenal.

Tipo de clima	Subtipo	Área (km²)	Porcentaje
BS	BS1Kw	50.8	56
C	C(w0)	76.1	37
C	C(w1)	7.3	5
C	C(w2)	2.3	2

Tabla 7. Tipos de clima en El Arenal.
Fuente: Conabio, 2008.

3.8 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

El tipo de vegetación predominante en el municipio de El Arenal es propia de la región geo-cultural del Valle del Mezquital: árboles de pirul, mezquites, fresnos y huizaches, en menor proporción, pino y encino. De igual manera se presenta vegetación xerófita, como nopales, cardones, órganos y lechuguillas. Sin embargo, las actividades agrícolas y pastizales inducidos son predominantes en el territorio del municipio.

Los diferentes ecosistemas agrupados de acuerdo con el sistema de clasificación de vegetación de Conabio, presentan características particulares por afinidad ecológica y fisonómica, las cuales se describen para cada tipo de vegetación y uso de suelo presente en el municipio.

Bosque de Encino. También se le conoce como bosque templado porque se presenta dentro de un clima templado o semifrío propio de las montañas. El bosque Encino se localiza en la porción noreste del municipio de El Arenal, en las localidades de Fray Francisco y San Jerónimo, y está formado principalmente por Encino (*Quercus spp.*) y Pino (*Pinus spp.*), aunque son comunes otras especies como *Juniperus spp.*, *Cornus spp.*, y *Arbutus xalapensis*, entre otros (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

Matorral crasicaule. Se caracteriza por la presencia de cactáceas de tallos suculentos. Es un matorral abierto dominado por especies crasicaules mezcladas con especies arbustivas, sufrutecentes y herbáceas, a menudo espinosas. Su altura varía en función de las especies que constituyen el estrato principal: de 4 a 6 m con *Cephalocereus senilis, Lemairocereus dumortieri, Pachycereus sp.* y *Yucca filifera*; de 1.5 a 4 m con Myrtillocactus geometrizans, lemairocereus dumortieri, Opuntia streptacantha, *Opuntia leucotricha*. Entre las demás especies están *Acacia sp*, Brogniartia intermeia, *Bursera fagaroides, Cassia wislizeni, Celtis pallida, Condalia mexicana, Dasylirion acrotiche, Forestiera angustifolia, Fouquieria splendens, Mimosa spp., Parkinsonia aculeata* (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

Este tipo de vegetación se encuentra presente en el valle del río Los Ailes, en su paso por la sierra de Actopan, en las comunidades de Puerto del Oro y Ojo de Agua (Santa Rosa), además de una pequeña porción occidental del cerro La Cantera cerca de Chimilpa.

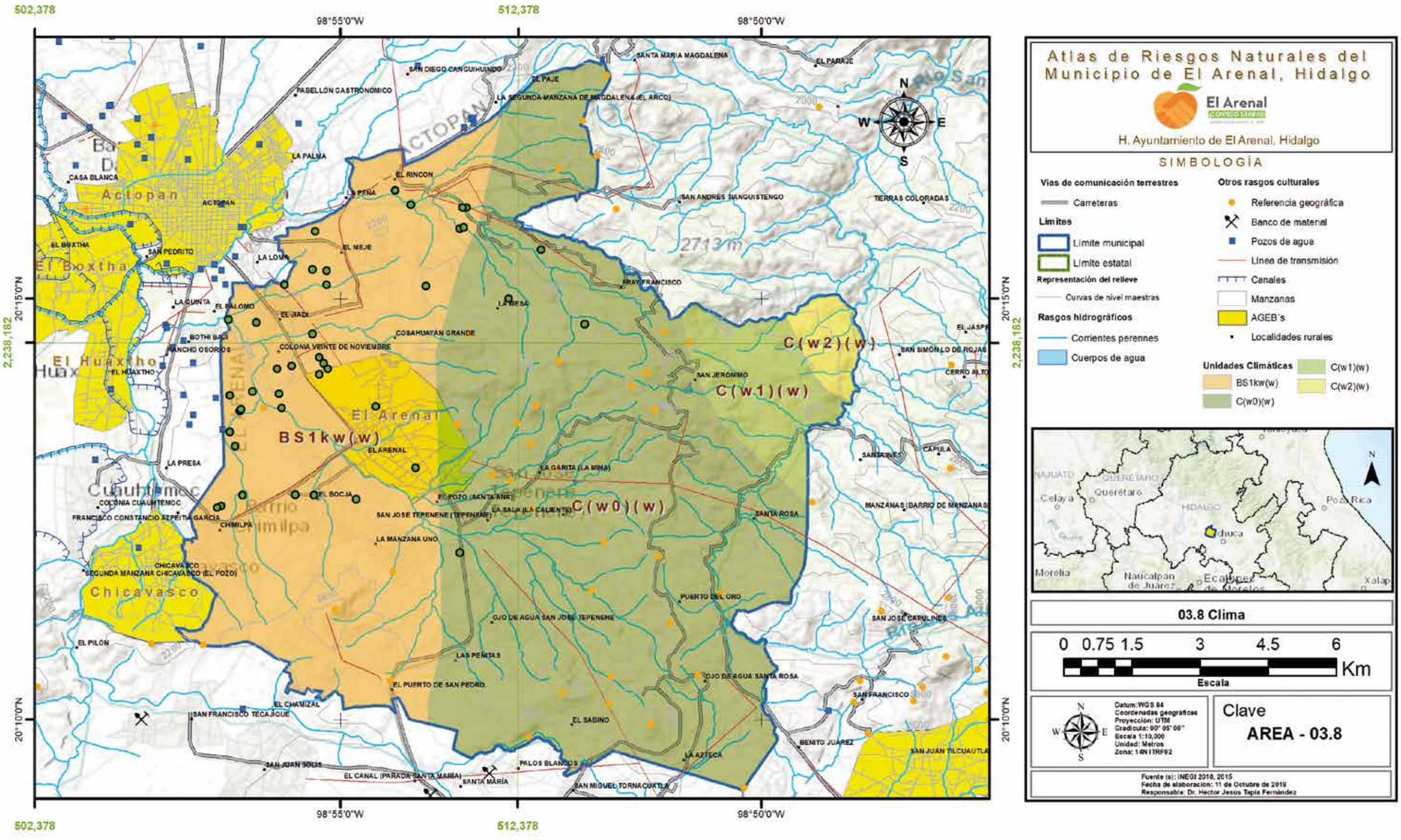
Matorral rosetófilo. Representa una vegetación semiarbustiva que se desarrolla en áreas muy restringidas en cuanto a humedad y suelos someros, por lo general de origen aluvial. Sin embargo, los que se desarrollan en El Arenal son de los pocos matorrales que se llegan a encontrar sobre material de origen volcánico, cerca de puerto de San Pedro en el cerro La Cantera. Las plantas que constituyen el matorral desértico rosetófilo se caracterizan por tener hojas alargadas de punta fibrosa y tienen forma de roseta, las especies más comunes son la lechuguilla (Agave lechuguilla), espadín (Dasylirion acrotiche) y algunas cactáceas. Este tipo de vegetación se encuentra perturbado por desmonte o por ramoneo, lo que conlleva a la presencia de procesos erosivos (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

Pastizal inducido. Los pastizales son una asociación vegetal constituida por gramíneas que pueden coexistir por diferentes causas. Los inducidos en este caso crecen en áreas en donde el hombre ha tenido intervención, en terrenos agrícolas abandonados y/o quemados, o bosques talados. El pastizal inducido se adapta fácilmente a las diversas condiciones climáticas y edáficas. Está constituido por el pasto Hilaria Cenchroides. Los pastizales inducidos se emplean para alimentar al ganado, y la pérdida de la vegetación endémica favorece su desarrollo y propagación. El pastizal inducido es abundante cerca de las localidades El Sabino, Santa Rosa y La Mesa.

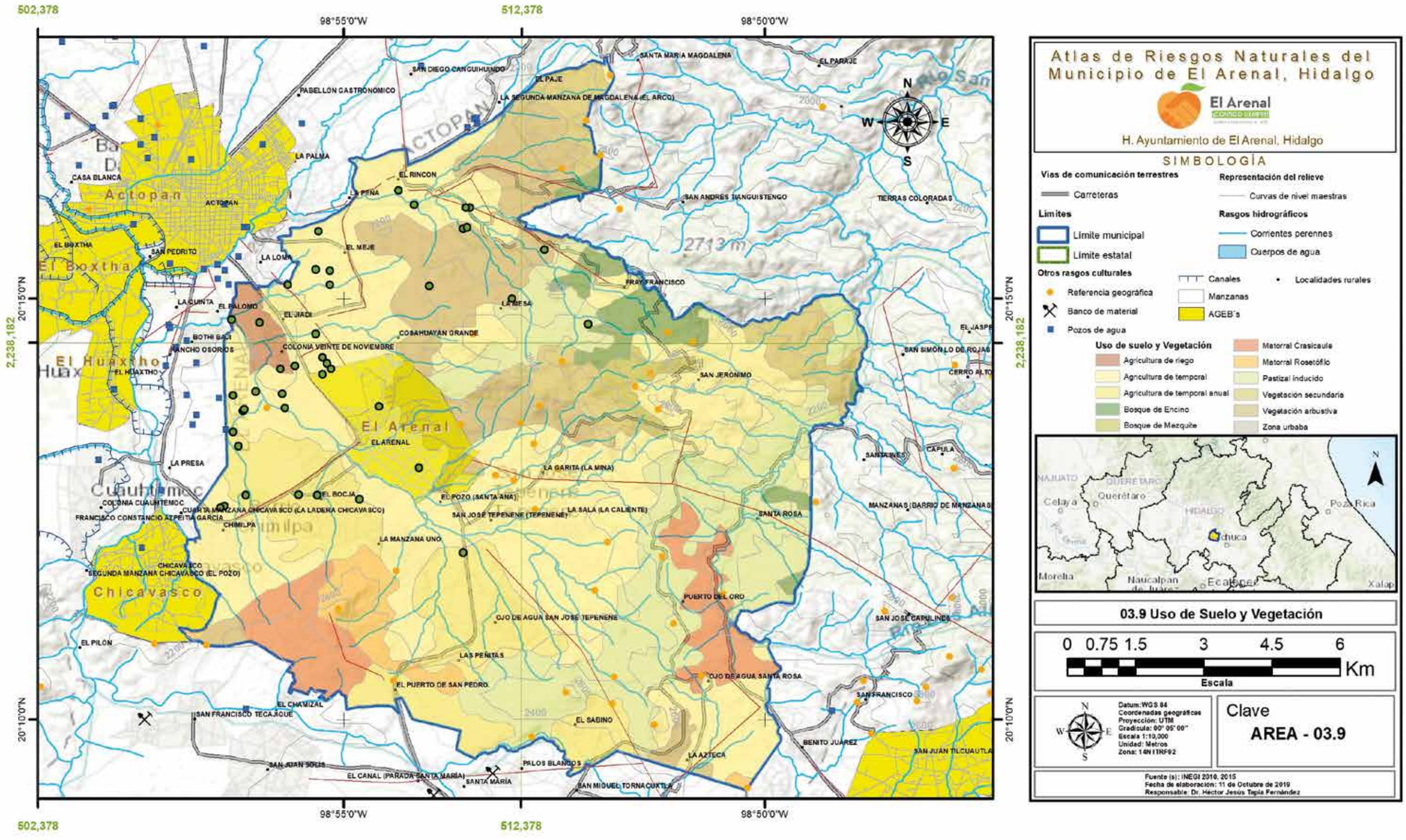
Agricultura de temporal. Se clasifica como tal al tipo de agricultura de los terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende casi en su totalidad del agua de lluvia, sea independiente del tiempo que dura el cultivo en el suelo, un año o más de diez como los frutales (cultivo perenne). O bien son por periodos dentro de un año (cultivo anual). Un aproximado de 52 por ciento del territorio del municipio está destinado al uso agrícola, el cual se distribuye sobre todo en la porción occidental del municipio, en donde se ubican las zonas de planicie como La Azteca, San José Tepenené, Ojo de Agua, Chimilpa, El Bocja, El Arenal, El Jiadi, El Meje, El Rincón y Colonia 20 de noviembre. Los principales cultivos que se cosechan son: maíz, con una producción de 6 mil 625 toneladas, entre estas el frijol, con 121 toneladas, y alfalfa verde con 7 mil 365 toneladas. Además, existe la producción doméstica de higo, granada, nuez, durazno y aguacate (Sistema Integral de Información de Información del Estado de Hidalgo, 2015).

Uso de suelo y vegetación	Superficie	
	Km²	Porcentaje
Bosque de Encino	4.1	3
Matorral Crasicaule	7.9	6
Matorral Rosetófilo	3.5	3
Bosque de Mezquite	1.6	1
Pastizal Inducido	24.2	18
Agricultura de riego	1.41	1
Agricultura de temporal	54.3	39
Agricultura de temporal anual	17.1	12
Vegetación secundaria	6.8	5
Vegetación arbustiva	16.6	12
Zona Urbana	0.01	0
Total	137.6	100

Tabla 8. Tipos de uso de suelo y vegetación en El Arenal.
Fuente: Inegi, 2013.



Mapa 11. Clima.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Uso de suelo y Vegetación
- Agricultura de riego
- Agricultura de temporal
- Agricultura de temporal anual
- Bosque de Encino
- Bosque de Mezquite
- Matorral Crasicaule
- Matorral Rosetófilo
- Pastizal inducido
- Vegetación secundaria
- Vegetación arbustiva
- Zona urbaba

03.9 Uso de Suelo y Vegetación

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave

AREA - 03.9

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 11 de Octubre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Mapa 12. Uso de suelo y vegetación.

3.9 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Dadas sus características fisiográficas, edafológicas, geológicas, hidrológicas, climáticas y forestales, entre otras, Hidalgo reúne las características para integrar regiones prioritarias para la conservación que, en términos de legislación local, se han establecido como áreas naturales protegidas. Asimismo, la legislación estatal permite a los municipios establecer zonas de preservación ecológica para los centros de población. Aunque algunas de las áreas declaradas no cumplan estrictamente con las características que se les atribuyen, se podrían realizar acciones de conservación y restauración para dotar a las localidades de espacios recreativos (GEH, 2001). Sin embargo, por el momento no se encuentran disponibles registros que acrediten la constitución o decreto de áreas naturales protegidas por el Gobierno del estado de Hidalgo en el municipio de El Arenal.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS

4.1 ELEMENTOS DEMOGRÁFICOS

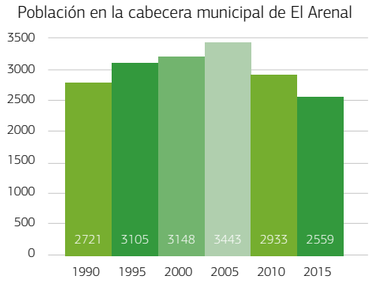
4.1.1 Dinámica demográfica

En el municipio de El Arenal, la tasa de crecimiento de población media anual es de 1.69 por ciento al año, lo que representa un incremento de 6 mil 157 habitantes en un periodo de 25 años (Conapo, 1990-2015). Se tiene como referencia la tasa media de crecimiento anual estatal (1.49 por ciento) (Coespo, 2019). En 2015, la población ascendía a 18 mil 807 habitantes, estaba integrada por 8 mil 951 hombres y 9 mil 856 mujeres (Encuesta Intercensal Inegi, 2015). El municipio forma parte del Valle del Mezquital (964 mil 089 habitantes) y aporta a la misma región 1.95 por ciento de la población. Para Hidalgo, el municipio de El Arenal aporta 0.66 por ciento de la población total estatal (2 millones 858 mil 359).

Zona	Habitantes	Porcentaje de población en Hidalgo	Porcentaje de población en El Arenal
Hidalgo	2, 858,359	100	0.66
Valle del Mezquital	964,089	33.72	1.95

Tabla 9. Población de El Arenal con respecto a su ubicación.
Fuente: Encuesta Intercensal (Inegi, 2015).

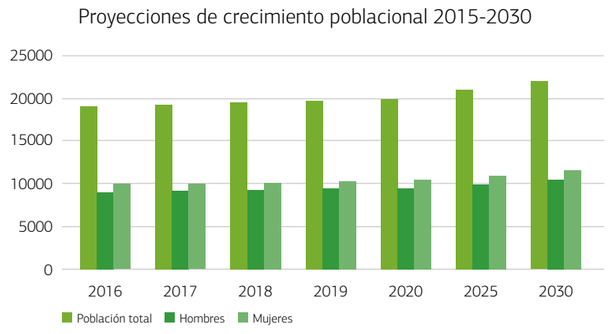
En la cabecera municipal de El Arenal se presentó un incremento de población en el periodo 1990-2005, de 2 mil 721 a 3 mil 443 habitantes. Posteriormente, se registró un decremento en el periodo 2005-2010, al bajar a 2 mil 933 habitantes (Conapo, 1990-2015). En 2015, la proyección para la población de la cabecera municipal registró una disminución a 2 mil 559 habitantes. El próximo año se actualizarán los datos del ITER por localidad, durante el Censo de Población y Vivienda 2020.



Gráfica 1. Dinámica demográfica de la cabecera municipal.
Fuente: Censos Generales de Población y Vivienda (1990-2015).

4.1.2 Proyección de la población de 2010 al 2030

De acuerdo con los datos de proyección, en 2020 El Arenal tendrá una población que se aproximará a los 19 mil 925 habitantes y en el año 2030 ascenderá a 22 mil 36 habitantes (gráfica 2).



Gráfica 2. Proyección de población en el municipio de 2016 a 2030.
Fuente: Conapo, 2015. Proyecciones de población.

Año	Proyecciones de población a mitad de año por sexo y edad											
	Total				Hombres				Mujeres			
	Total	0-14 años	15-64 años	65 años y más	Total	0-14 años	15-64 años	65 años y más	Total	0-14 años	15-64 años	65 años y más
2016	19,009	5,540	12,200	1,270	9,082	2,777	5,732	574	9,928	2,763	6,468	696
2017	19,242	5,537	12,394	1,310	9,192	2,784	5,817	590	10,050	2,753	6,577	720
2018	19,472	5,534	12,584	1,354	9,301	2,792	5,901	608	10,171	2,742	6,683	746
2019	19,700	5,529	12,770	1,402	9,409	2,799	5,983	627	10,292	2,730	6,787	775
2020	19,925	5,520	12,954	1,452	9,514	2,803	6,064	646	10,411	2,717	6,889	805
2025	21,019	5,402	13,878	1,739	10,028	2,773	6,495	760	10,991	2,629	7,383	979
2030	22,036	5,423	14,533	2,080	10,505	2,787	6,813	905	11,531	2,637	7,720	1,175

Tabla 10. Proyecciones de población por grupos de edad según su sexo, para el municipio, 2016-2030.
Fuente: Perfiles Sociodemográficos Municipales. Cálculos propios con base en las Proyecciones de la Población de México, 2010-2050 (Conapo, 2019).

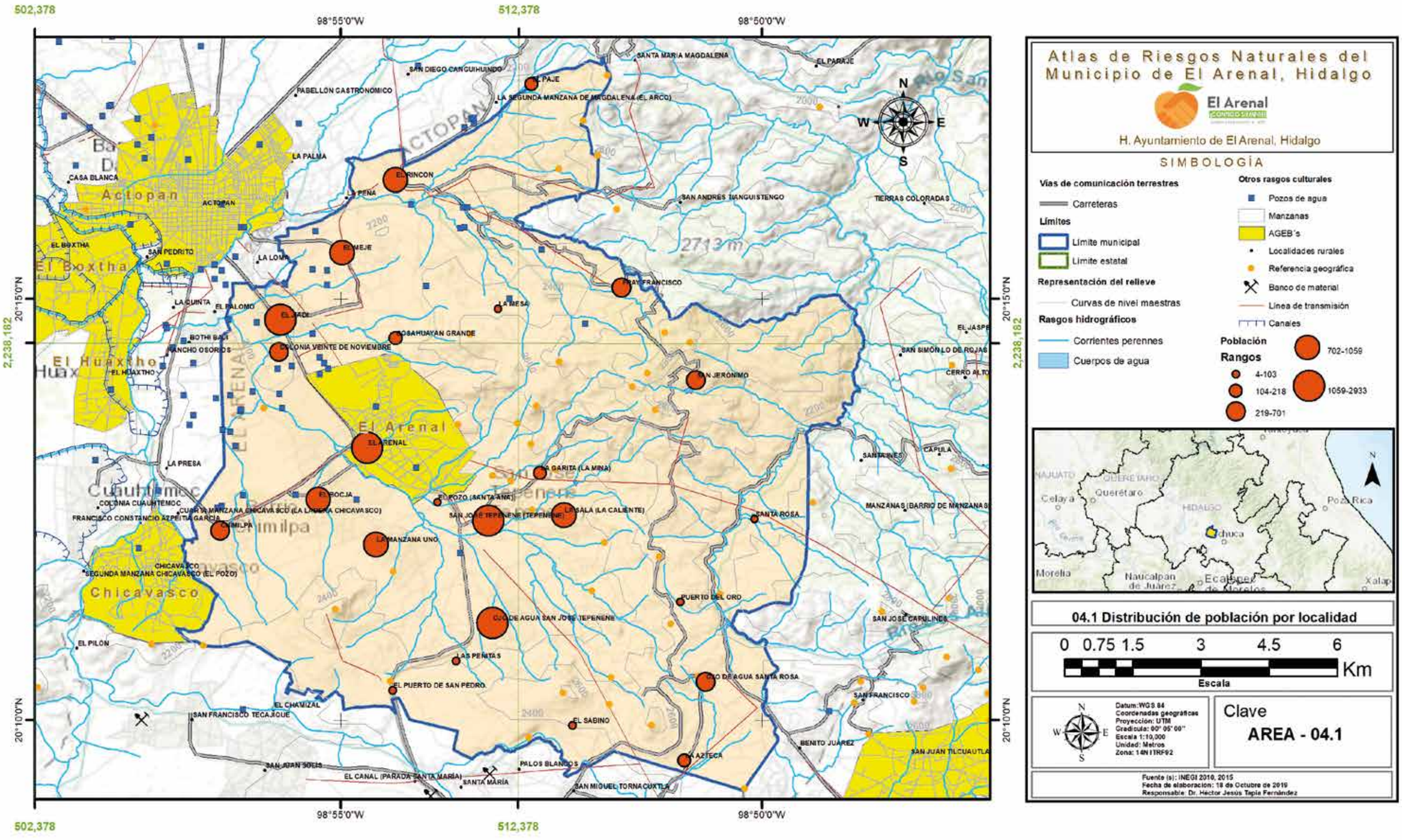
4.1.3 Distribución y densidad de población

El municipio de El Arenal cuenta con 24 localidades netamente rurales (menos de 2 mil 500 habitantes). Aunque no cumple con el número de población para serlo, la cabecera municipal es considerada una localidad urbana.

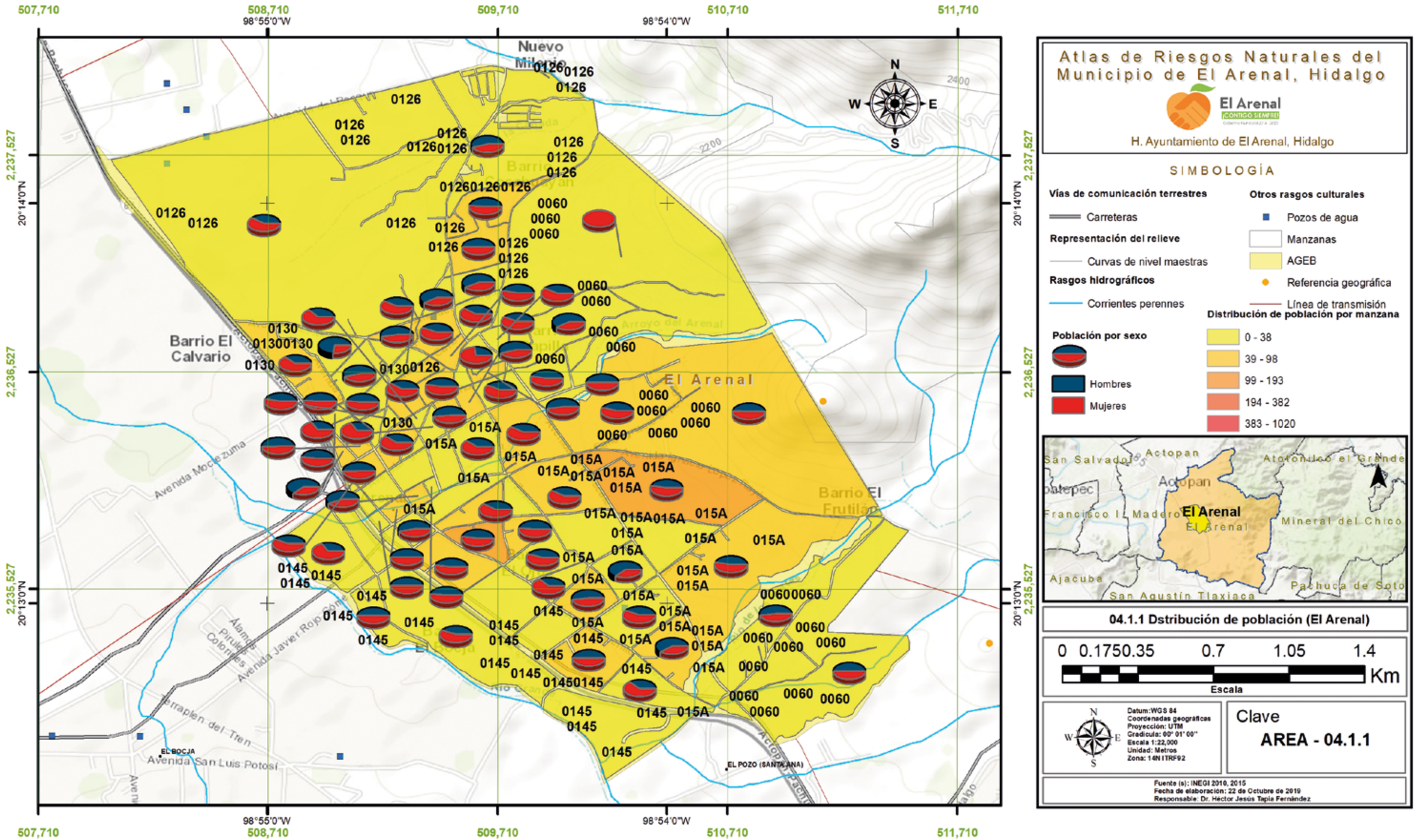
Las localidades rurales con población de 500 a 2 mil 499 habitantes, son El Bocja, El Jiadi, El Meje, Ojo de Agua (San José Tepenené), El Rincón, San Jerónimo, San José Tepenené, Colonia 20 de noviembre, La Sala (La Caliente) y La Manzana Uno. Las localidades con menos de 500 habitantes son Chimilpa, Fray Francisco, Santa Rosa, Ojo de Agua (Santa Rosa), Cosahuayán Grande, La Mesa, La Garita (La Mina), El Pozo (Santa Ana), Puerto del Oro, Las Peñitas, El Paje, Puerto de San Pedro, La Azteca y El Sabino.

Localidades			Población	
Tipo	Tamaño	Número	Total	Porcentaje
Rural	1-249 habitantes	11	1089	6.27
	250-499 habitantes	3	1282	7.38
	500-999 habitantes	5	4176	24.04
	1,000-2,499 habitantes	5	7894	45.44
Semiurbana	2,500-9,999 habitantes	1	2933	16.88
	Total	25	17374	100.00

Tabla 11. Distribución de la población por tamaño de localidades del municipio.
Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2010.



Mapa 13. Distribución de población por localidad.



Mapa 14. Distribución de población (cabecera municipal).

Las localidades más pobladas son: El Arenal con 2 mil 933 (16.88 por ciento) habitantes, El Jiadi con 2 mil 329 (13.41 por ciento), San José Tepenené con 1 mil 738 (10.0 por ciento), Ojo de Agua (San José Tepenené) con 1 mil 732 (9.97 por ciento), La Sala (La Caliente) con 1 mil 59 (6.10 por ciento) y finalmente El Rincón con 1 mil 36 (5.96 por ciento). Las menos habitadas son: El Sabino con 103 habitantes (0.59 por ciento), La Mesa con 72 (0.41 por ciento), Santa Rosa con 68 (0.39 por ciento), Puerto del Oro con 49 (0.28 por ciento), El Pozo (Santa Ana) con 26 (0.15 por ciento), y Puerto de San Pedro con solamente 4 habitantes (0.02 por ciento). El municipio presenta una densidad de población baja (136.7 habitantes por kilómetro cuadrado) (Inegi, 2010) con base en la densidad de población estatal (137 habitantes por kilómetro cuadrado) (Inegi, 2015).

Localidad	Población	Porcentaje	Grado de marginación
Chimilpa	428	2.46	Medio
Colonia 20 de noviembre	701	4.03	Medio
Cosahuayán grande	200	1.15	Alto
El Arenal	2,933	16.88	Medio
El Bocja	991	5.70	Medio
El Jiadi	2,329	13.41	Bajo
El Meje	955	5.50	Medio
El Paje	218	1.25	Alto
El Pozo (Santa Ana)	26	0.15	Bajo
El Puerto de San Pedro	4	0.02	Sin Datos
El Rincón	1,036	5.96	Medio
El Sabino	103	0.59	Alto
Fray Francisco	389	2.24	Alto
La Azteca	156	0.90	Alto
La Garita (La Mina)	138	0.79	Alto
La Manzana Uno	888	5.11	Alto
La Mesa	72	0.41	Alto
La Sala (La Caliente)	1,059	6.10	Alto
Las Peñitas	55	0.32	Alto
Ojo de Agua (San José Tepenené)	1,732	9.97	Alto
Ojo de Agua (Santa Rosa)	465	2.68	Medio
Puerto del Oro	49	0.28	Alto
San Jerónimo	641	3.69	Alto
San José Tepenené	1,738	10.00	Bajo
Santa Rosa	68	0.39	Muy alto
Total	17,374	100.0	

Tabla 12. Principales localidades del municipio.
Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010.

El municipio cuenta con solo cinco Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) conformadas por un conjunto de manzanas delimitadas por calles, avenidas, andadores, entre otras características, todas ubicadas en la cabecera municipal (El Arenal). La AGEB más poblada es la 015A con 974 habitantes (33.21 por ciento), la 126 con 705 habitantes (24.04 por ciento), la 130 con 598 habitantes (18.68 por ciento), la 145 con 370 habitantes (12.62 por ciento) y finalmente la 60 con 336 habitantes (11.46 por ciento).

AGEB	Clave	Población total	Hombres	Mujeres
60	1300900010060022	336	149	165
126	1300900010126048	705	322	363
130	1300900010130007	548	257	284
145	1300900010145041	370	168	182
15A	130090001015A009	974	444	497
Total		2,933	1,340	1,491

Tabla 13. Datos de población de las Áreas Geoestadísticas Básicas de la cabecera municipal.
Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010.

4.1.4 Pirámide de edades

La población del municipio se encuentra conformada en su mayoría por personas jóvenes y adultas (62.61 por ciento), seguido de niñas y niños (31.12 por ciento) y en menor proporción de personas adultas mayores (6.26 por ciento) (gráfica 3).

Las localidades donde se concentra la mayor cantidad de infantes del municipio son: El Arenal (17.51 por ciento), El Jiadi (13.16 por ciento), San José Tepenené (10.58 por ciento) y Ojo de Agua San José Tepenené (10.55 por ciento). Las que concentran la mayor cantidad de personas adultas mayores: El Arenal (20.14 por ciento), El Bocja (2.95 por ciento), El Meje (2.36 por ciento), Colonia 20 de noviembre (1.84 por ciento) y El Rincón (1.86 por ciento).

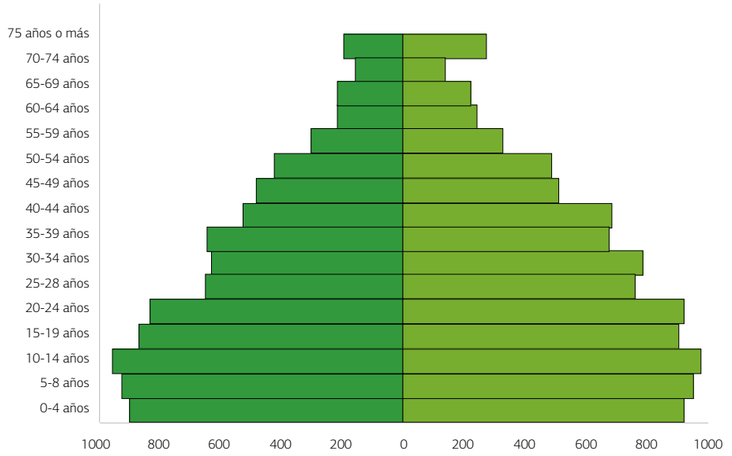
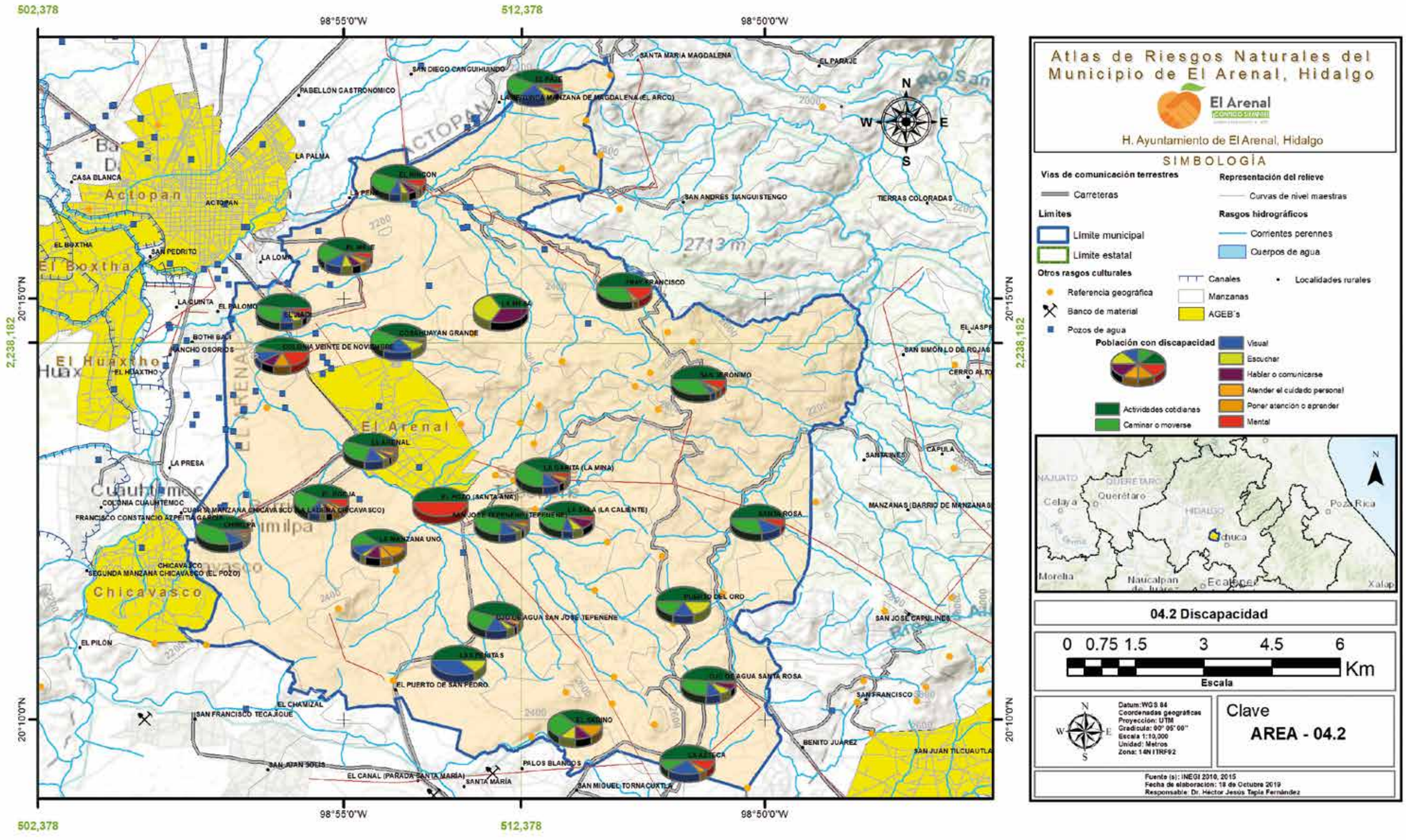
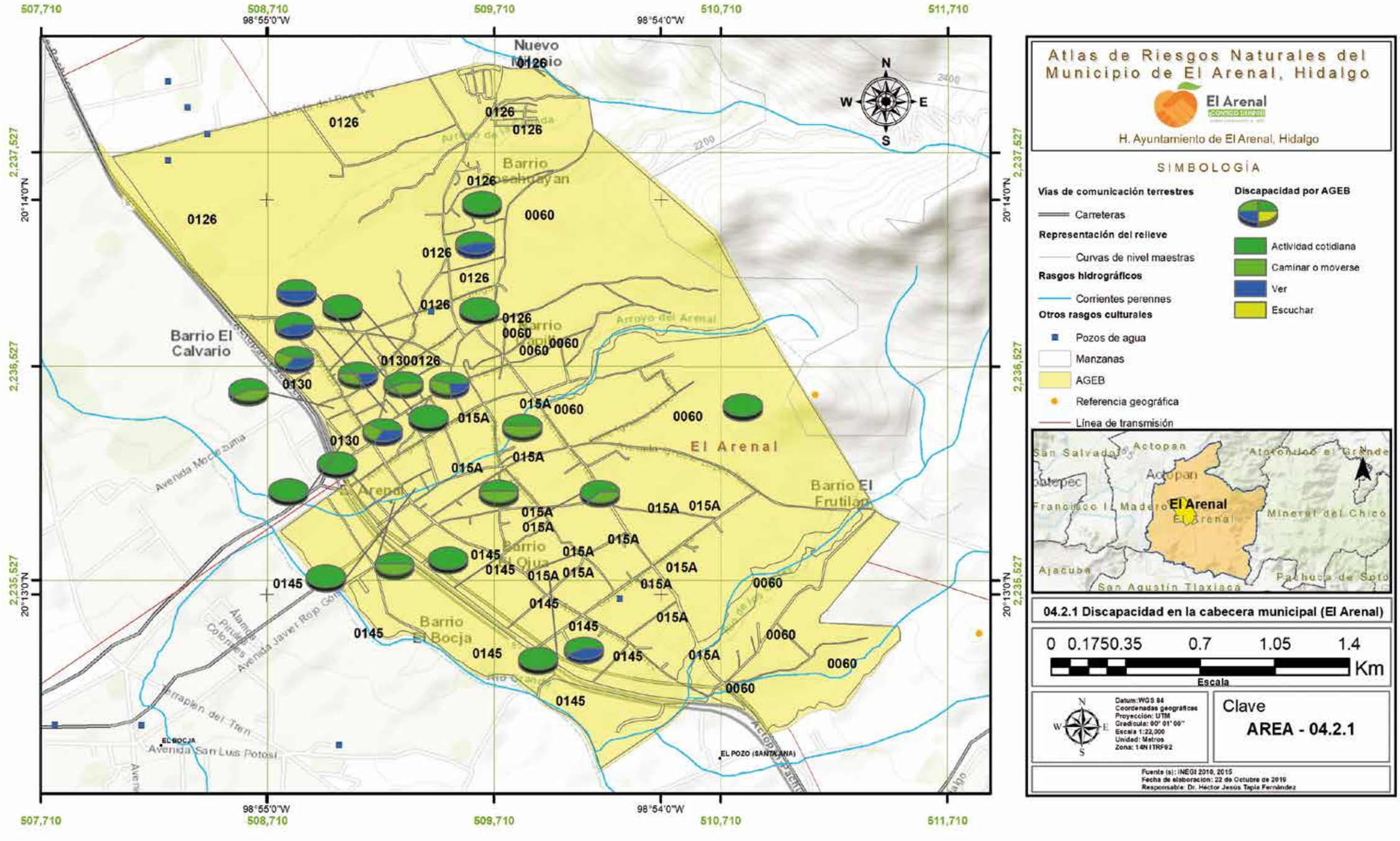


Figura 9. Pirámide de población del municipio.
Fuente: Perfiles sociodemográficos municipales (Coespo, 2015)

Del total de población infantil a nivel de las cinco AGEB de la cabecera municipal (943), el porcentaje de niñas y niños son: AGEB 060 (58.6 por ciento), 126 (33.3 por ciento), 130 (31,8 por ciento), 145 (30.0 por ciento) y la 015A (31.7 por ciento); mientras que la población de adulta mayor (159 personas) está presente en las siguientes proporciones: AGEB 060 (6.8 por ciento), 126 (5.1 por ciento), 130 (6,0 por ciento), 145 (6.5 por ciento) y la 015A (4.4 por ciento).


Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo
El Arenal
H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo
SIMBOLOGÍA
Vías de comunicación terrestres
Carreteras
Representación del relieve
Curvas de nivel maestras
Límites
Límite municipal
Límite estatal
Rasgos hidrográficos
Corrientes perennes
Cuerpos de agua
Otros rasgos culturales
Referencia geográfica
Banco de material
Pozos de agua
Canales
Manzanas
AGEB´s
Localidades rurales
Población con discapacidad
Visual
Escuchar
Hablar o comunicarse
Atender el cuidado personal
Poner atención o aprender
Mental
Actividades cotidianas
Caminar o moverse
04.2 Discapacidad
0 0.75 1.5 3 4.5 6
Km
Escala
Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92
Clave
AREA - 04.2
Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 18 de Octubre 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández
502,378
512,378
98°55'0"W
98°50'0"W
20°15'0"N
20°10'0"N
2,238,182
Actopan
El Arenal
Chicavasco
El Huaxtho
Cuauhtémoc
Querétaro
Celaya
Morelia
Xalapa
Poza Rica
Naucalpan de Juárez
Ecatepec
Ixtaczoquitlán
Córdoba
Orizaba
Coatzacoalcos
Minatitlán
Tuxtla Gutiérrez
Tapachula
Oaxaca de Juárez
Puebla
Tlaxcala
Pachuca
Tulancingo
Tula de Allende
Tepeji del Río de Ocampo
Ixmiquilpan
Huejutla de Reyes
Tulancingo de Bravo
Apan
Tizayuca
Tepeapulco
Actopan
Mineral de la Reforma
Zempoala
Mineral del Monte
Huasca de Ocampo
Epazoyucan
Singuilucan
Almoloya
Acaxochitlán
Metepec
Tenango de Doria
Huehuetla
Tlahuelilpan
Atotonilco de Tula
Tlaxcoapan
Tepetitlán
Progreso de Obregón
Cardonal
Nicolás Flores
Jacala de Ledezma
Pisaflores
Tlanchinol
Huautla
Chapulhuacán
Jaltocán
Xochiatipan
Eloxochitlán
Tenango de Doria
Molango de Escamilla
Lolotla
Xochicoatlán
Juárez Hidalgo
Zimapán
Nicolás Flores
Pacula
Tecozautla
Huichapan
Alfajayucan
Tasquillo
Ixmiquilpan



Mapa 16. Discapacidad en la cabecera municipal.

4.1.5 Natalidad y mortalidad

La mortalidad para el municipio en 2015 era de 107 defunciones generales, 54 hombres y 53 mujeres; seis defunciones de personas menores de un año, dos hombres y 4 mujeres. En el mismo año se registraron 335 nacimientos (51.3 por ciento hombres y 48.7 por ciento mujeres). La tasa de mortalidad infantil para el municipio es baja (15.09 por ciento) con base en la reportada para el estado de Hidalgo (12.6 por ciento) (Inegi, 2015) (tabla 14).

	Indicador	Valor asignado	Porcentaje
Mortalidad (defunciones)	Total	107	100
	Hombres	54	50.5
	Mujeres	53	49.5
	Menores de un año	6	100
	Menores de un año hombres	2	33.3
	Menores de un año mujeres	4	66.7
	Tasa de mortalidad infantil	15.09	
Natalidad (nacimiento)	Total	335	100
	Hombres	172	51.3
	Mujeres	163	48.7

Tabla 14. Mortalidad y natalidad en El Arenal.
Fuente: Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo (2017).

4.2 CARACTERÍSTICAS SOCIALES

4.2.1 Escolaridad

En el municipio de El Arenal, de la población total en 2015, saben leer y escribir 15 mil 571 habitantes (82.79 por ciento), 7 mil 431 son hombres y 8 mil 140 mujeres. Las personas que no saben leer y escribir son 800 (4.25 por ciento), 481 mujeres y 309 hombres.

Indicador	Población de 6 a 14 años			Población de 15 años y más		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Sabe leer y escribir	3,078	1,509	1,569	12,493	5,922	6,571
No sabe leer y escribir	216	110	106	584	209	375
No especificado	100	N/A	N/A	79	N/A	N/A
Total	3,394			13,156		

Tabla 15. Aptitud para leer y escribir en la población.
Fuente: Encuesta Intercensal 2015.

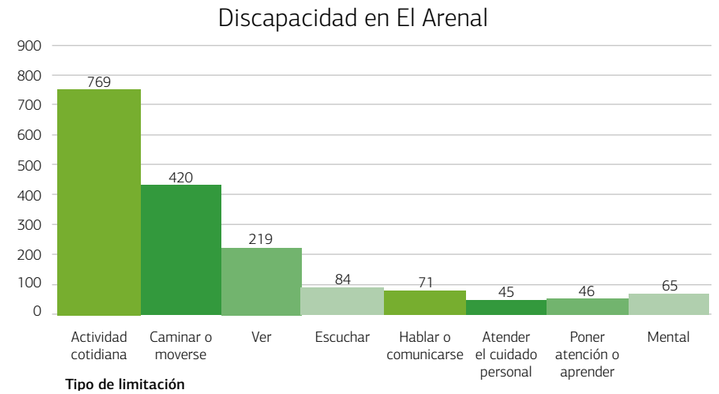
En términos de asistencia escolar, de acuerdo con el nivel educativo, los más altos porcentajes de inasistencia se presentan en el nivel preescolar con 491 infantes (85.10 por ciento), primaria con 34 (5.89 por ciento) y educación secundaria con 52 jóvenes (9.01 por ciento).

Del total de analfabetas que existen en el municipio, resaltan las localidades de El Arenal (2.38 por ciento), El Jiadi (1.36 por ciento), Ojo de Agua San José Tepenené (2.19 por ciento) y San Jerónimo (1.47 por ciento), con base en indicadores del Censo de Población y Vivienda 2010.

4.2.2 Discapacidad

La población con discapacidad en el municipio es de 1 mil 719 habitantes (9.89 por ciento). Para 769 habitantes (4.42 por ciento) la principal limitación se presenta en tareas de la vida cotidiana, 420 habitantes (2.41 por ciento) tienen dificultad para caminar o moverse, subir o bajar, y a 219 personas (1.26 por ciento) se les dificulta ver. Las localidades que albergan a la mayor cantidad de población con discapacidad son: El Arenal (342 habitantes), El Bocja (108 habitantes), El Jiadi (194 habitantes), Ojo de Agua San José Tepenené (135 habitantes), San José Tepenené (205 habitantes) y La Sala (121 habitantes).

Las localidades que podrían representar mayor vulnerabilidad, por concentrarse en la zona serrana de la cabecera municipal, debido a la dificultad de acceder a los servicios de emergencia y protección civil, son: Fray Francisco (22 habitantes), San Jerónimo (52 habitantes), Santa Rosa (14 habitantes), Puerto del Oro (seis habitantes), La Azteca (20 habitantes) y El Sabino (ocho habitantes).

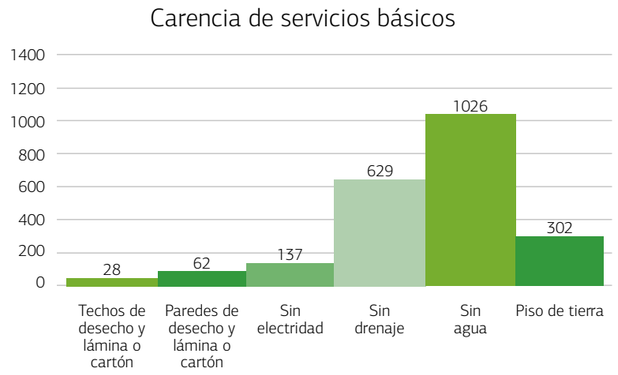


Gráfica 3. Población con discapacidad.
Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010.

A nivel AGEB urbanas de la cabecera municipal de El Arenal, la población con discapacidad es de 671 habitantes (0.22 por ciento del total de las AGEB), la 060 (50.97 por ciento) es la de mayor porcentaje, seguida de la 130 (15.80 por ciento), 015A (13.71 por ciento), 126 (11.33 por ciento) y finalmente la 145 (8.20 por ciento).

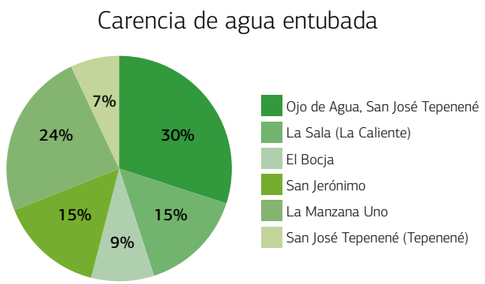
4.2.3 Vivienda

Un indicador más de la susceptibilidad y el grado de exposición de la población ante desastres naturales, tiene que ver con la estructura y condiciones de la vivienda. El Arenal cuenta con 4 mil 124 viviendas habitadas, de las cuales 1 mil 26 no cuentan con agua entubada (24.88 por ciento) y 629 no cuentan con drenaje (15.25 por ciento). Estas son las dos carencias más relevantes respecto de servicios básicos para el municipio (gráfica 4).



Gráfica 4. Carencia de servicios básicos en la vivienda.
Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010.

Las localidades que concentran los más altos porcentajes de carencia de servicio de agua entubada en la vivienda son: Ojo de Agua San José Tepenené con 213 viviendas (20.76 por ciento), San Jerónimo con 105 viviendas (10.23 por ciento), La Sala (La Caliente) con 110 viviendas (10.72 por ciento) y La Manzana Uno con 169 viviendas (16.47 por ciento) (gráfica 5).



Gráfica 5. Carencia de agua entubada en la vivienda.
Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2010.

Por otra parte, aquellas en donde más se carece de drenaje son: Ojo de Agua San José Tepenené con 112 viviendas (17.81 por ciento), San Jerónimo con 80 viviendas (12.72 por ciento), La Sala (La Caliente) con 65 viviendas (10.33 por ciento) y El Rincón con 58 viviendas (9.22 por ciento).

Los porcentajes de carencia de agua entubada en el ámbito de la vivienda para las AGEB de la cabecera municipal son: AGEB 060 (10.81 por ciento), 126 (8.11 por ciento), 130 (8.11 por ciento), 145 (18.92 por ciento) y el porcentaje más alto lo tiene la 015A (54.05 por ciento). En la carencia de drenaje los porcentajes son: AGEB 060 (23.54 por ciento), 126 (8.82 por ciento), 130 (2.94 por ciento), 145 (26.47 por ciento) y la 015A (38.24 por ciento).

Finalmente, el material de construcción de viviendas que reporta el INEGI en la Encuesta Intercensal 2015, indica que en el municipio de El Arenal predomina el material de paredes de tabique, block, piedra, cantera, cemento o concreto para techos (3 mil 848 viviendas), pero en el trabajo de campo se constató que este material es losa de concreto. Otros datos importantes son respecto del número de viviendas con techo de material de desecho y lámina de cartón (281), lámina de asbesto o metálica (718) y teja (120).

Material	Paredes	Techos
Material de desecho o lámina de cartón	7	28
Lámina metálica, asbesto, paja o madera	0	718
Teja o terrado con viguería	0	12
Losa de concreto con viguetas con bovedilla	8	3,845
Embarro o bajareque, lámina de asbesto, carrizo o palma	8	0
Madera o adobe	134	0
Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera	4,450	0
No especificado	17	10
Total	4,617	4,617

Tabla 16. Material de construcción usado en las viviendas de El Arenal.
Fuente: Encuesta Intercensal (Inegi, 2015).

4.2.4 Lengua indígena

El Arenal forma parte de la región geo cultural del Valle del Mezquital, donde existe una importante comunidad indígena otomí, autodenominada hñähñú (hñä-hablar y hñú-nariz) es decir, quienes hablan la lengua nasal o quienes hablan dos lenguas (CDI, 2009). La población hablante de lengua indígena en el municipio es de 267 habitantes, de los cuales 110 son hombres y 157 son mujeres. Las localidades con más hablantes de lengua indígena son El Arenal con 33 habitantes, Chimilpa y El Jiadi con 30 habitantes, La Sala (La Caliente) y El Bocja con 17 habitantes, y Ojo de Agua San José Tepenené con 16 habitantes. De las cinco AGEB que conforman la cabecera municipal de El Arenal, solo cuatro presentan población de habla indígena: AGEB 126 (11 habitantes), 130 (cuatro habitantes), 145 (seis habitantes) y la 015A (10 habitantes).

Sexo	Población de cinco años y más			
	Hablante de lengua indígena	Bilingüe	Monolingüe	No especificado de bilingüismo
Total	267	221	0	26
Hombres	110	84	0	26
Mujeres	157	137	0	20

Tabla 17. Población que habla lengua indígena en El Arenal.
Fuente: CDI, Sistema de indicadores sobre la población indígena de México con base en Encuesta Intercensal 2015.

Grupos de edad	Condición de autoadscripción étnica		
	Población adscrita	Población masculina	Población femenina
Total	5,600	2,666	2,934
0-14 años	1,551	753	798
15-24 años	1,069	514	555
25-65 años	2,569	1,223	1,346
65 años y más	411	176	235

Tabla 18. Población autoadscrita por sexo y grandes grupos de edad.
Fuente: CDI, Sistema de indicadores sobre la población indígena de México con base en Encuesta Intercensal 2015.

4.2.5 Pobreza

La definición de pobreza considera las condiciones de vida de la población a partir de tres espacios: de bienestar económico, de los derechos sociales y del contexto territorial.

El espacio de bienestar económico comprende las necesidades asociadas a los bienes y servicios que puede adquirir la población mediante el ingreso. El de los derechos sociales se integra a partir de las carencias de la población en el ejercicio de sus derechos para el desarrollo social, en

específico aquellos asociados a los indicadores mencionados en el artículo 36, fracciones II a la VII, de la ley. El espacio del contexto territorial incorpora aspectos que trascienden al ámbito individual (que pueden referirse a características geográficas, sociales y culturales, entre otras), en específico, aquellos asociados al grado de cohesión social, así como otros considerados relevantes para el desarrollo social.

La población en situación de pobreza multidimensional es aquella cuyos ingresos son insuficientes para adquirir los bienes y servicios que logren satisfacer sus necesidades, y presenta carencia en al menos uno de los siguientes seis indicadores: rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación. Las mediciones para el cálculo de nivel de pobreza se basan en las dimensiones económicas y sociales de la población que señala la Ley General de Desarrollo Social (LGDS).

El municipio de El Arenal tiene 9 mil 371 habitantes en situación de pobreza (43.9 por ciento) (Coneval, 2015), de los cuales 40 por ciento está en situación de pobreza moderada y 3.8 por ciento en pobreza extrema. La población vulnerable, al menos por una carencia social, es de 19 mil 326 (90.5 por ciento), la población vulnerable por ingresos es de 472 habitantes (2.2 por ciento) y finalmente la población no pobre y no vulnerable es de 1 mil 566 habitantes (tabla 19).

Indicadores	2010			2015		
	Porcentaje	Personas	Carencias promedio	Porcentaje	Personas	Carencias promedio
Pobreza						
Población en situación de pobreza	69.2	14,269	2.6	43.9	9,371	1.9
Población en situación de pobreza moderada	52.9	10,906	2.3	40.0	8,550	1.7
Población en situación de pobreza extrema	16.3	3,363	3.6	3.8	822	3.3
Población vulnerable por carencias sociales	27.8	5,728	2.3	46.6	9,955	1.6
Población vulnerable por ingresos	0.9	178	-	2.2	472	-
Población no pobre y no vulnerable	2.2	455	-	7.3	1,566	-
Privación social						
Población con al menos una carencia social	96.9	19,998	2.5	90.5	19,326	1.7
Población con al menos tres carencias sociales	43.9	9,049	3.5	14.6	3,127	3.3
Indicadores de carencia social						
Rezago educativo	20.0	4,129	3.3	14.4	3,077	2.4
Carencia por acceso a los servicios de salud	29.9	6,160	3.2	15.7	3,354	2.5
Carencia por acceso a la seguridad social	90.7	19,712	2.6	83.1	17,759	1.7
Carencia por calidad y espacios de la vivienda	14.9	3,080	4.0	7.8	1,659	2.9
Carencia por acceso a los servicios básicos de vivienda	54.3	11,203	3.0	17.1	3,655	2.7
Carencia por acceso a la alimentación	33.5	6,903	3.4	15.9	3,402	2.6
Bienestar						
Población con un ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo	29.1	5,996	2.8	12.9	2,751	2.0
Población con un ingreso inferior a la línea de bienestar	70.0	14,448	2.5	46.1	9,844	1.8

Tabla 19. Incidencia, número de personas y carencias promedio en los indicadores de pobreza.
Fuente: Coespo, Perfiles sociodemográficos municipales con base en Encuesta Intercensal 2015.

De acuerdo con la metodología para la medición de la pobreza por ingresos, se definen tres niveles de pobreza:

1. La pobreza alimentaria: incapacidad para obtener una canasta básica alimentaria, aun si se hiciera uso de todo ingreso disponible en el hogar para comprar solo los bienes de dicha canasta.
2. La pobreza de capacidades: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir el valor de la canasta básica alimentaria y efectuar los gastos necesarios en salud y educación, aun dedicando el ingreso total de los hogares sólo para estos fines.
3. La pobreza de patrimonio: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir la canasta básica alimentaria, así como realizar los gastos necesarios en salud, vestido, vivienda, transporte y educación, aunque la totalidad del ingreso del hogar fuera utilizado exclusivamente para la adquisición de estos bienes y servicios.

Como indicador ligado al factor producto de la pobreza en el municipio, se suma el índice de rezago social, el cual es un estimador de carencias calculado para tres niveles de agregación geográfica: estatal, municipal y local, el cual incorpora indicadores de educación, de acceso a servicios de salud básicos, de calidad y espacios en la vivienda, y activos en el hogar (tabla 20).

El valor del Índice de Rezago Social de El Arenal es de -0.69291, el cual es considerado de nivel bajo, ocupando el lugar 1 mil 741 a nivel nacional. Según datos de Coneval, las localidades que presentan grado de rezago social medio son: Fray Francisco (-0.300647), San Jerónimo (-0.069866), Cosahuayán Grande (-0.255475), La Mesa (-0.069756) y El Sabino (0.02585). La única localidad con rezago social alto es Santa Rosa (1.441297).

	2000	2005	2010	2015
Población total	14,223	15,037	17,374	18,807
Porcentaje de población analfabeta de 15 años o más	10.74	11.67	6.84	4.44
Porcentaje de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela	6.02	4.20	2.67	1.68
Porcentaje de población de 15 años y más con educación básica incompleta	60.41	52.56	42.71	33.57
Porcentaje de población sin derechohabiencia a servicios de salud	82.49	50.43	33.83	14.69
Porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra	15.57	11.61	7.35	2.94
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario	34.11	20.91	14.62	6.84
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada de la red pública	19.88	17.17	24.96	6.17
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje	48.73	24.07	15.30	7.49
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica	7.44	4.39	3.33	1.52
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de lavadora	80.67	67.71	55.83	48.82
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	58.68	41.74	31.26	22.67
Índice de rezago social	-0.24692	-0.42194	-0.47523	-0.69291
Grado de rezago social	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Lugar que ocupa en el contexto estatal	48	50	49	57

Tabla 20. Indicadores socioeconómicos e índice y grado de rezago social en el periodo 2000-2015.
Fuente: Indicadores, índice y grado de rezago social, estimaciones del Coneval con base en el II Conteo de Población y Vivienda 2005 y XII y XIII Censos de Población y Vivienda, 2000 y 2010. Encuesta Intercensal 2015.

De acuerdo con la Coespo, 18 mil 803 personas ocupaban una vivienda en El Arenal en 2015. Ese año, la cantidad de viviendas ascendió a 4 mil 617, para un promedio de habitantes por vivienda de 4.07. El tipo de vivienda habitado en el municipio se muestra en la Tabla 21.

Total	Casa independiente	Departamento en edificio	Vivienda o cuarto en vecindad	No especificado
4,619	97.21	0.00	0.00	2.75

Tabla 21. Viviendas particulares y ocupantes según la clase de vivienda.
Fuente: Coespo, Perfiles sociodemográficos municipales con base en Encuesta Intercensal 2015.

4.2.6 Hacinamiento

Cuando el promedio de ocupantes por cuarto es menor o igual a dos se califica como vivienda sin hacinamiento. Este indicador muestra que a mayor porcentaje de viviendas sin hacinamiento es mejor la situación de la población. El Arenal se encuentra clasificado como municipio sin hacinamiento, con un promedio de 1.14 ocupantes por cuarto, mientras que ninguna localidad de las que comprenden el municipio presenta hacinamiento. De las 100 manzanas que componen las cinco AGEB de la cabecera municipal, existen 14 sin datos sobre el promedio de ocupantes por cuarto, 78 tienen menos de un habitante por vivienda. Tres AGEB presentan algunas manzanas con hacinamiento, la AGEB 060 en las manzanas 002 y 020, la AGEB 126 en las manzanas 001, 002, 029, 030, 039, mientras que en la AGEB 015A en la manzana 009.

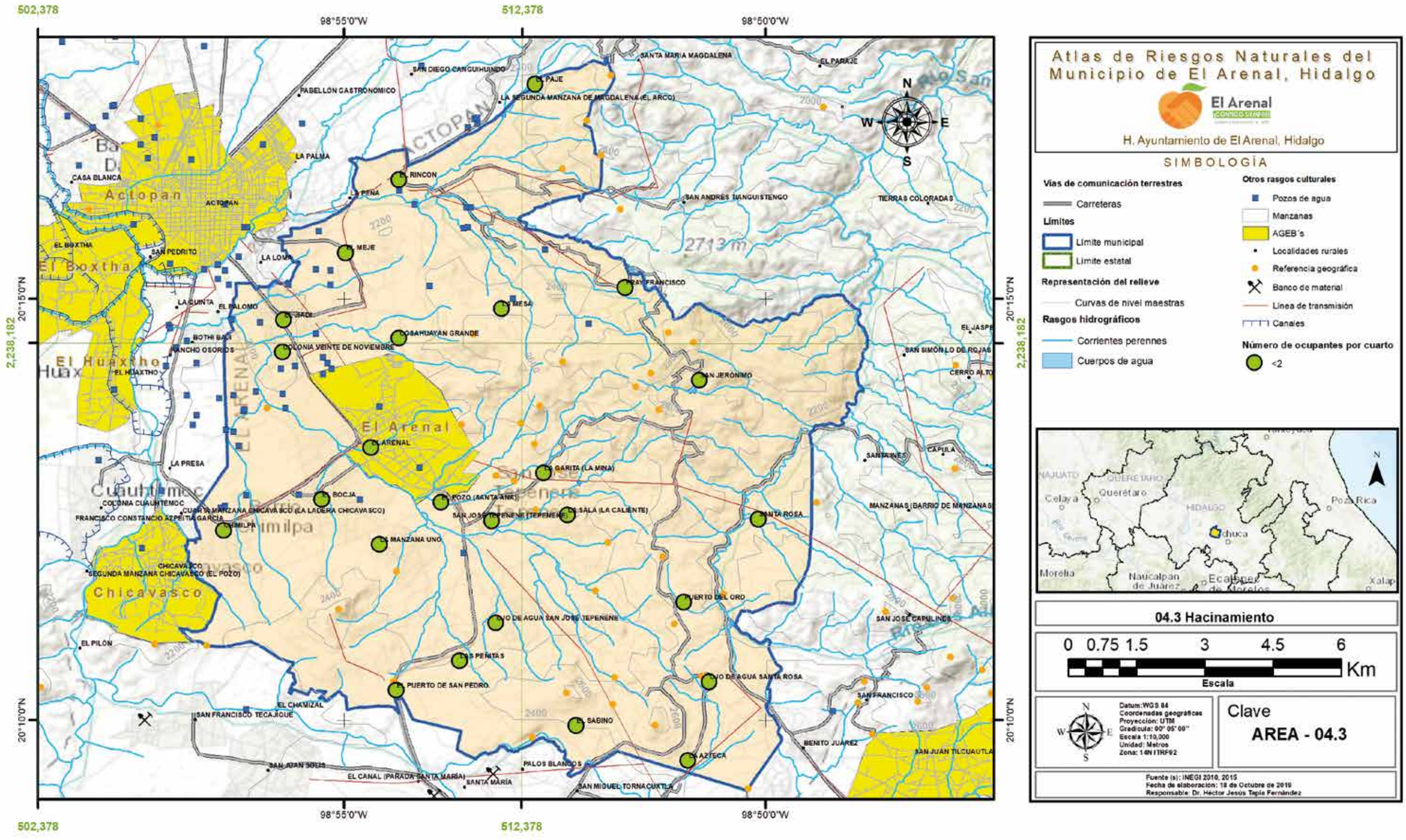
4.2.7 Índice y grado de marginación

El índice de marginación es la medida de déficit y de intensidad de las privaciones y carencias de la población, en dimensiones relativas a las necesidades básicas establecidas como derechos constitucionales. Es el resultado de una estimación por componentes principales de cuatro dimensiones y nueve indicadores: educación (analfabetismo y población sin primario completa); viviendas (ocupantes en viviendas sin agua entubada, sin drenaje ni servicio sanitario, con piso de tierra, sin energía eléctrica y hacinamiento); ingresos (población ocupada que gana hasta dos salarios mínimos), y distribución de la población (población en localidades con menos de cinco mil habitantes).

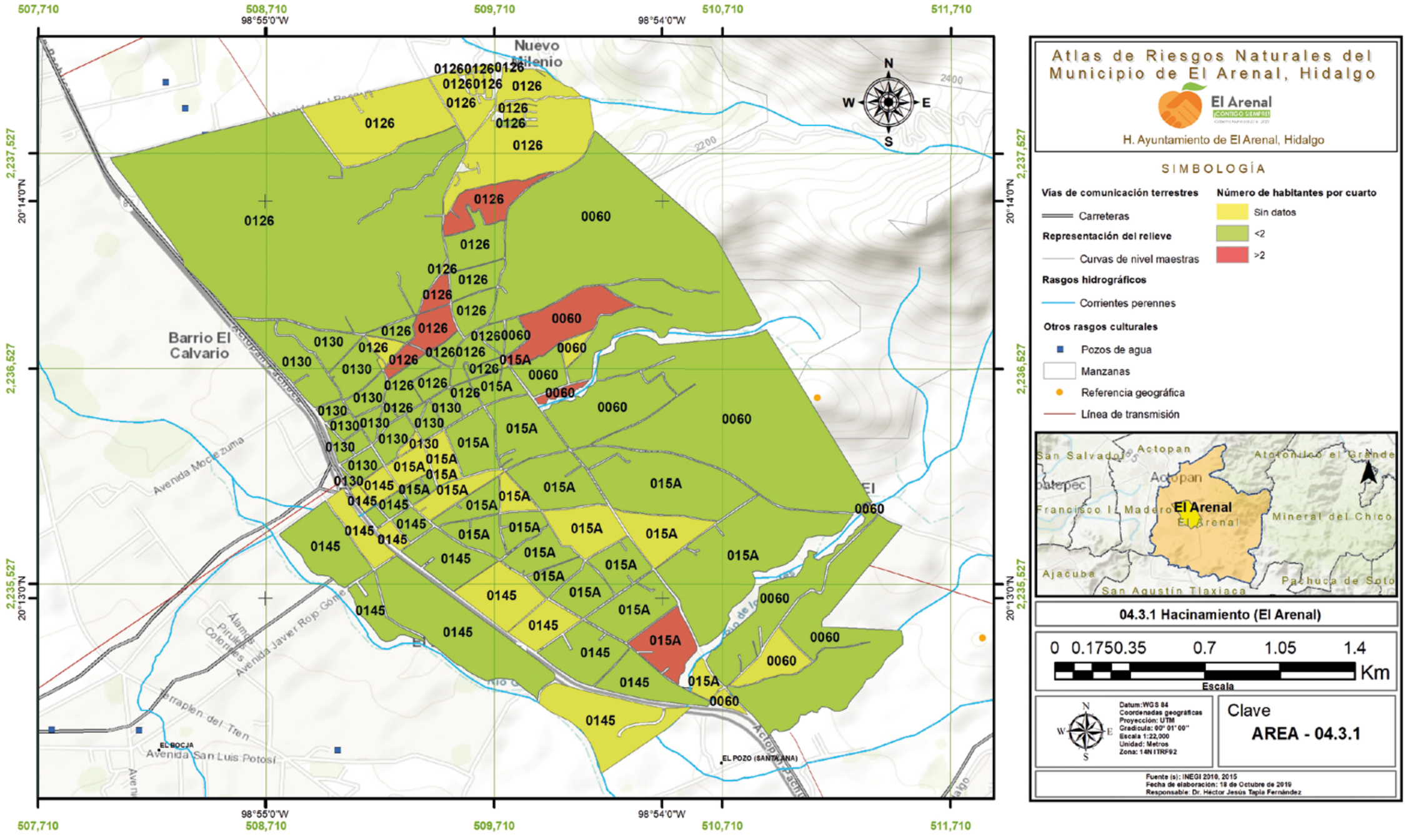
	2000	2005	2010	2015
Población total	14,223	15,037	17,374	18,807
Porcentaje de población analfabeta de 15 años o más	10.74	11.68	6.91	4.47
Porcentaje de población sin primaria completa de 15 años o más	31.71	25.80	19.36	13.56
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario	29.88	16.64	10.95	5.30
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	6.14	3.07	2.72	1.16
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	14.08	14.74	13.14	5.83
Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento	53.41	48.78	42.63	30.72
Porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra	16.20	10.82	6.80	2.23
Porcentaje de población en localidades con menos de 5 mil habitantes	100.00	100.00	100.00	100.00
Porcentaje de población ocupada con ingreso de hasta dos salarios mínimos	72.46	67.87	44.61	47.59
Índice de marginación	-0.31208	-0.28868	-0.51206	-0.6496
Grado de marginación	Medio	Medio	Medio	Bajo
Lugar que ocupa en el contexto estatal	50	47	50	52

Tabla 22. Indicadores socioeconómicos e índice y grado de marginación.
Fuente: Indicadores, índice y grado de marginación, estimaciones del Coneval con base en el II Conteo de Población y Vivienda 2005 y XII y XIII Censos de Población y Vivienda, 2000 y 2010. Encuesta Intercensal 2015.

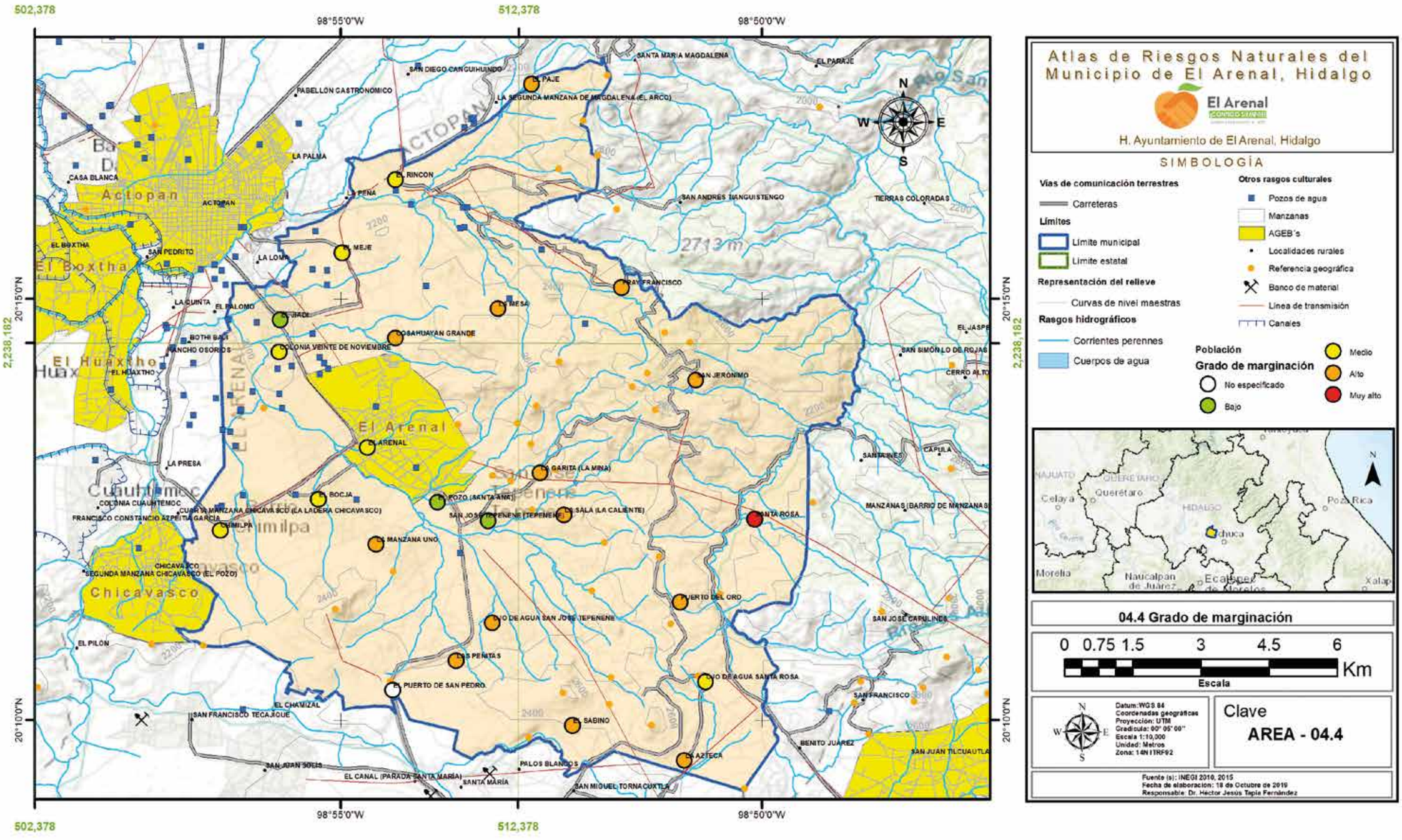
La única comunidad que muestra un índice de marginación muy alto es Santa Rosa (1.4238); mientras que las comunidades que muestran un índice alto son: Fray Francisco (-0.3250), Ojo de Agua San José Tepenené (-0.6247), San Jerónimo (-0.2553), Cosahuayán Grande (-0.4411), La Mesa (-0.1329), La Sala (La Caliente, -0.5228), La Manzana Uno (-0.7607), La Garita (La Mina, -0.8112), Puerto del Oro (-0.4678), Las Peñitas (-0.7178), El Paje (-0.4059), La Azteca (-0.5243) y El Sabino (-0.0326).



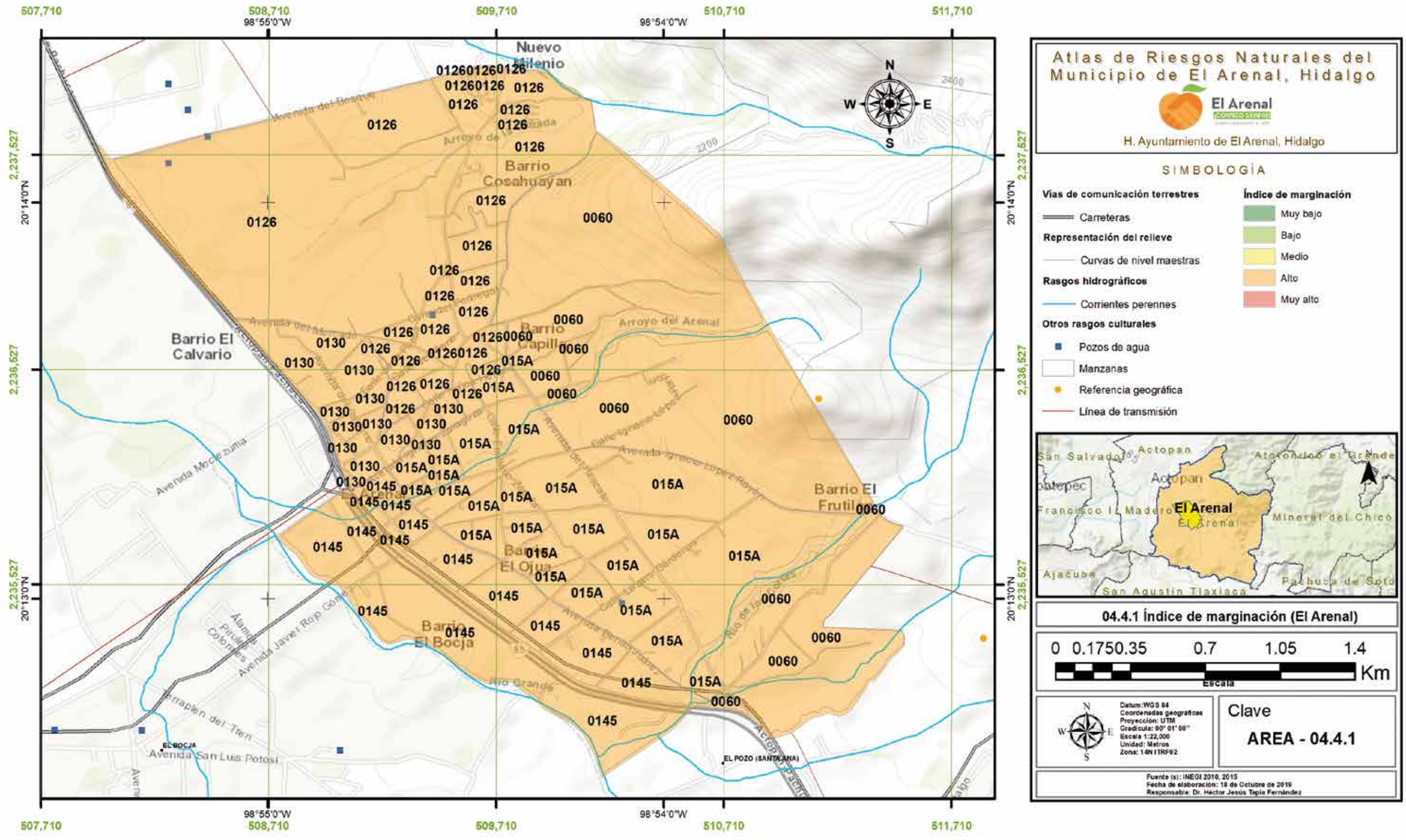
Mapa 17. Hacinamiento.



Mapa 18. Hacinamiento (cabecera municipal).



Mapa 19. Grado de marginación.



Mapa 20. Índice de marginación (cabecera municipal).

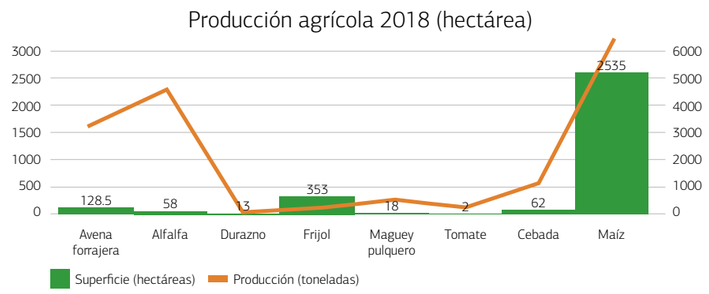
Sexo	Población Total	Condición de afiliación a servicios de salud[1]								
		Afiliada[2]								
		Total	IMSS	ISSSTE	Pemex, Defensa o Marina	Seguro Popular o para una nueva Generacion[3]	Institución Privada	Otra institucion[4]	No derecho habiente	No especificado
Total	18,807	84.90	11.96	3.65	0.05	84.94	1.02	0.19	14.69	0.41
Hombres	8,951	83.00	12.09	3.37	0.08	84.92	1.01	0.20	16.60	0.40
Mujeres	9,856	86.63	11.85	3.90	0.02	84.95	1.03	0.18	12.95	0.43

Tabla 23. Población total según condición de afiliación a servicios de salud y tipo de institución, 2015.
[1] La distribución porcentual de la condición de afiliación a servicios de salud se calcula respecto de la población total.
[2] El porcentaje para cada institución de servicios de salud se obtuvo con respecto de la población afiliada. La suma de los porcentajes puede ser mayor a 100 por ciento debido a las personas que están afiliadas en más de una institución de salud.
[3] Incluye el Sistema de Protección Social en Salud (SPSS) que coordina la Secretaría de Salud (SSA).
[4] Incluye otras instituciones de salud públicas y privadas del país.
*Municipio censado.
Fuente: Inegi, Encuesta Intercensal, 2015.

4.3 ECONOMÍA MUNICIPAL

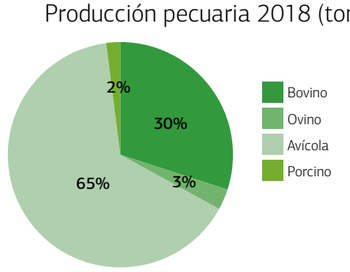
4.3.1 Sector primario

Del sector agrícola de El Arenal, los principales cultivos de acuerdo con la superficie sembrada son: avena forrajera (129 ha), tuna (227 ha), alfalfa (58 ha), durazno (13 ha), frijol (353 ha), maguey pulquero (18 ha), tomate (2 ha), cebada (62 ha) y el más numeroso es maíz con 2 mil 535 ha.



Gráfica 6. Superficie sembrada en hectáreas y porcentaje de la producción en toneladas de los principales cultivos.
Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2010.

La producción pecuaria en el municipio la representan la producción de aves (5 mil 781 toneladas), ganado ovino (268 toneladas), bovino (2 mil 641 toneladas), caprino (32 toneladas) y porcino (162 toneladas). Además, el municipio se destaca por la producción de miel y cera de abeja (1.23 toneladas).



Gráfica 7. Producción pecuaria en el municipio.

4.3.2 Sector secundario

En el sector secundario, dentro del municipio de El Arenal se cuentan 255 unidades económicas. En actividades de la industria manufacturera se encuentran 19, en la actividad minera no se cuenta con ninguna. En el sector terciario se cuenta con cuatro unidades de comercio al por mayor y 102 de comercio al por menor. También existen 68 establecimientos de hospedaje y de preparación y servicios de comida; siete servicios de esparcimiento, culturales, deportivos y otros servicios recreativos, y cuenta con cinco unidades económicas destinadas a servicios educativos (tabla 24).

Actividad económica	Unidad económica
A) Minería	0
B) Industrias manufactureras	19
C) Comercio al por mayor	4
D) Comercio al por menor	102
E) Transportes, correos y almacenamiento	2
F) Información en medios masivos	1
G) Seguros financieros y de seguros	5
H) Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	2
I) Servicios profesionales, científicos y técnicos	23
J) Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	3
K) Servicios educativos	5
L) Servicios de salud y asistencia social	6
M) Servicios de esparcimiento, culturales y deportivos y otros servicios recreativos	7
N) Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	68
O) Otros servicios excepto actividades gubernamentales	3
P) Actividades legislativas, gubernamentales de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	5
Total	**255**

Tabla 24. Unidades económicas de El Arenal.
Fuente: Denue (2018).

4.3.3 Población económicamente activa

La población económicamente activa (PEA) considera a las personas en edad de trabajar clasificadas en población ocupada y desocupada. El Arenal tiene una PEA de 7 mil 466 habitantes (50.99 por ciento de la población total de 12 años y más) y 6 mil 992 habitantes componen la población económicamente inactiva (PEI) (48.91 por ciento). De la PEA, la población ocupada es de 7 mil 252 habitantes (97.13 por ciento, de 12 años y más) y la población desocupada de 214 habitantes (2.87 por ciento).

Sexo	Población de 12 años y más	Condición de actividad económica[1]				
		Población económica activa[2]			Población no económicamente activa	No especificado
		Total	Ocupada	Desocupada		
Total	14,296	50.99	97.13	2.87	48.91	0.10
Hombres	6,727	69.84	96.57	3.43	30.07	0.09
Mujeres	7,569	34.24	98.15	1.85	65.65	0.11

Tabla 25. Población de 12 años y más por condición de actividad económica y de ocupación, 2015.
[1]La distribución porcentual de la condición de actividad económica se calcula respecto a la población de 12 años y más.
[2]La distribución porcentual se calcula respecto del total de la población económicamente activa.
Fuente: Perfiles Sociodemográficos Municipales. Cálculos con base en la Encuesta Intercensal (Inegi, 2015).

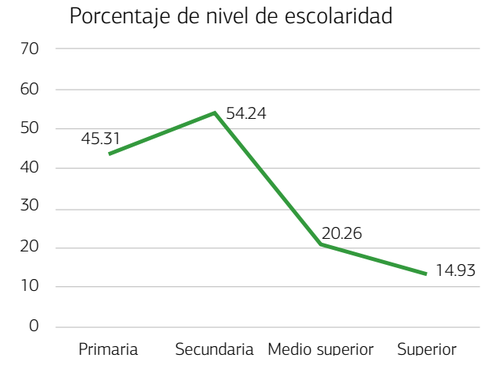
Sexo	Población ocupada	División ocupacional[1]				
		Profesionistas, técnicos y administrativos[2]	Trabajadores agropecuarios	Trabajadores en la industria[3]	Comerciantes y trabajadores en servicios diversos[4]	No especificado
Total	7,081	12.37	8.61	32.41	44.54	2.06
Hombres	4,537	10.01	12.50	38.48	37.23	1.79
Mujeres	2,544	16.59	1.69	21.58	57.59	2.56

Tabla 26. Población ocupada y su distribución porcentual según división ocupacional.
Nota: Los límites de confianza se calculan a 90 por ciento.
[1] Corresponde a las ocupaciones agrupadas del Sistema Nacional de Clasificación de Ocupaciones (Sinco, 2011).
[2] Comprende: funcionarios, directores, jefes, profesionistas y técnicos; así como trabajadores auxiliares en actividades administrativas.
[3] Comprende: trabajadores artesanales, así como operadores de maquinaria industrial, ensambladores, choferes y conductores de transporte.
[4] Comprende: comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas: trabajadores en servicios personales y vigilancia: así como trabajadores en actividades elementales y de apoyo.

Sexo	Población ocupada	Ingreso por trabajo[1]			
		Hasta 1 sm[2]	De 1 a 2 sm	Más de 2 sm	No especificado
Total	7,081	11.38	36.21	46.87	5.54
Hombres	4,537	6.33	30.59	57.66	5.42
Mujeres	2,544	20.40	46.23	27.63	5.74

Tabla 27. Población ocupada y su distribución porcentual según ingreso por trabajo.
[1] Se expresa en salario mínimo mensual (s**m).**
[2] Incluye a la población ocupada que no recibe ingresos.
Fuente: Perfiles sociodemográficos municipales con base en la Encuesta Intercensal, Inegi. 2015.

La población económicamente activa está distribuida de acuerdo con su nivel de escolaridad, en su mayor proporción es con estudios de secundaria (54.24 por ciento), primaria (45.31 por ciento), educación media superior (20.26 por ciento) y superior (14.93 por ciento).



Gráfica 8. Población económicamente activa por nivel de escolaridad.
Fuente: Encuesta Intercensal (2015).

4.4 EQUIPAMIENTO

La infraestructura con la que cuenta el municipio está compuesta por servicios públicos: tianguis (6), oficinas postales (14); infraestructura educativa; bibliotecas públicas (3); infraestructura de salud compuesta (8 unidades médicas de la Secretaría de Salud del estado), finalmente la infraestructura deportiva consta de campos de futbol (14), canchas de basquetbol (31) y alberca (1).

4.5 RESERVA TERRITORIAL

La reserva territorial para la vivienda tiene como finalidad frenar el crecimiento urbano desordenado y regular el crecimiento de los desarrollos habitacionales. De acuerdo con el Registro Nacional de Reservas Territoriales (Renaret) de la Comisión Nacional de Vivienda, el municipio de El Arenal cuenta con 2.4 ha para la construcción de complejos habitacionales.

CAPÍTULO V

IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL

5.1 FENÓMENOS DE ORIGEN GEOLÓGICO

5.1.1 Vulcanismo

Un volcán se define como un lugar de la superficie terrestre por donde sale (extravasado) material fundido (magma) generado en el interior de la tierra acompañado de compuestos volátiles como vapor de agua y gases como dióxido de azufre y dióxido de carbono. Estos materiales se acumulan alrededor de un centro emisor, dando lugar a relieves positivos con morfologías diversas. Según esta definición, un volcán no representa exclusivamente una morfología en forma de montaña, sino que es el resultado de un complejo proceso que incluye la formación, ascenso, evolución, emisión del magma y depósito de estos materiales (SGM, 2017).

5.1.1.1 Tipos de estructuras volcánicas

La emanación de productos incandescentes se produce en el interior de los volcanes, desde donde se emiten gases, cenizas, vapor de agua, lava y rocas. No todos los volcanes se clasifican de la misma manera, pues esto depende de factores como la viscosidad y composición del magma, tipo de erupción, entre otros. Una de las formas más comunes de clasificar a los volcanes es a través de su estructura (Espíndola-Castro, 1996) de la que deriva la siguiente tipología:

Volcanes en escudo: son volcanes que tienen varios cráteres donde se da la erupción de lavas muy fluidas de baja viscosidad debido a su composición basáltica. La topografía de estos volcanes se caracteriza por presentar pendientes suaves con una base amplia (de más de 100 km) cuya cima forma una planicie ligeramente encorvada. Este tipo de volcanes son de gran tamaño y generalmente su diámetro es superior a su altura, ya que la superposición de ríos de lava fluidos provoca que el volcán se componga de múltiples niveles de acumulación. Además, el derrame de lava fuera del cráter central forma un cono bastante ancho debido a la baja viscosidad y alta fluidez que impide el amontonamiento de lava en lugares empinados. Estos volcanes pueden originarse en zonas de puntos calientes (plumas de manto) o cerca de zonas de subducción relacionados con arcos volcánicos. Su erupción se caracteriza por ser de baja explosividad (tipo hawaiano) por lo que no constituye un riesgo alto para el ser humano.

Estratovolcanes: estas estructuras volcánicas se originan por la intercalación de material volcánico de épocas de actividad explosiva seguidas de otras donde se arrojan corrientes de lava fluida. Son grandes edificios volcánicos, de forma cónica y con un cráter central. El edificio volcánico se forma por la acumulación de capas sucesivas de depósitos de lava y fragmentos de roca, así como de escoria, lapilli y cenizas, producto de diferentes erupciones. Por esta razón, también se les considera volcanes compuestos o poligenéticos. Se caracterizan por presentar una forma más regular y por lo general tienen impresionantes picos nevados que superan los 2,500 m de altura. Estos volcanes hacen erupción de forma violenta y explosiva a causa del magma viscoso que, cuando sube a la superficie, obstruye el cráter, y deja el gas atrapado dentro del conducto, por lo que la presión aumenta y resulta en una erupción explosiva. Estos volcanes se localizan principalmente a lo largo de las zonas de subducción.

Conos de escoria: se generan por el apilamiento de cenizas durante las erupciones basálticas de tipo estrombolianas, en las que predominan materiales fragmentarios que se solidifican en el aire y caen en las proximidades del centro de emisión. Como su nombre lo indica, estos volcanes resultan de la acumulación de ceniza y escoria que forman una colina empinada a 45° de forma cónica. Estas estructuras no superan los 250 m de altura y los 500 m de diámetro. Presentan erupciones de tipo estromboliano que cuales ocurren cuando el magma es viscoso y el gas encerrado se escapa intermitentemente. Cuando el gas escapa a la superficie, este tipo de erupciones no representa un riesgo para las partes circundantes. Los conos suelen crecer en grupos y se encuentran asociados a las laderas de los grandes estratovolcanes y volcanes en escudo.

Domos de lava: son estructuras pequeñas de forma bulbosa que se caracterizan por tener pendientes muy abruptas, generadas por la acumulación de lavas con alto grado de viscosidad.

Calderas: son el resultado de grandes erupciones explosivas y violentas que provocan el colapso de la parte central de todo el edificio volcánico, dejando una gran depresión volcánica cuyo tamaño oscila entre los 5 y 15 km de diámetro.

5.1.1.2 Tipos de erupciones volcánicas

Las erupciones consisten en la emisión de materiales de diferente naturaleza hacia la superficie, la composición de los materiales predominantes determinará la forma el estilo eruptivo de cada volcán entre los que se encuentran los siguientes:

Hawaiano: es un vulcanismo tranquilo caracterizado por la emisión de lavas muy fluidas, pobre en gases y de composición máfica (basáltica). Las lavas pueden alcanzar grandes distancias debido a la formación de conductos subterráneos donde ésta puede mantenerse caliente.

Estromboliano: los magmas son muy fluidos, pero se encuentran acompañados de un alto contenido de gases, por lo cual se favorece la actividad explosiva en episodios intermitentes alternados con periodos de emisión tranquila. Esta lava es acompañada de bombas sólidas (que pueden adquirir formas aerodinámicas como la de una pera debido a su trayectoria parabólica) y de cenizas interestratificadas con lava que se desmoronan formando acumulaciones de piedra pómez.

Vulcaniano: estas erupciones se presentan debido a que la emisión de lava es muy escasa y espesa, y se solidifica con rapidez taponando el conducto volcánico. Este tipo de erupción forma nubes piroclásticas (también conocidas como nubes ardientes) muy densas y oscuras que viajan a velocidades próximas a los 350 km/h. Los productos volcánicos son porosos como la piedra pómez y vitrificados como la obsidiana.

Peleano: la erupción se presenta en dirección horizontal y se acompaña de una fuerte emisión de gases asfixiantes como monóxido de carbono y dióxido de azufre. En este caso se emite lava viscosa que llega a formar pitones (agujas) que ascienden por la presión de lava ascendente. El rompimiento y colapso de estos pitones permite la salida violenta de nubes piroclásticas a muy altas temperaturas.

Pliniano: característico de magmas viscosos y ricos en gases. Se producen erupciones muy violentas (flujos piroclásticos) que forman depósitos de ignimbrita. Se define por su alto grado de explosividad y violentas manifestaciones en las que se expulsan grandes volúmenes de gas volcánico, fragmentos incandescentes y cenizas. La expulsión a gran velocidad de estos materiales, junto con su rápida ascensión, forma columnas eruptivas que pueden superar los 30 km de altura. Asimismo, provoca emisión de grandes cantidades de pumita e intensas expulsiones de ráfagas de gases tóxicos. Es frecuente que un episodio volcánico de estas características conlleve a la formación de una caldera volcánica de colapso.

Freatomagmático o hidromagmático: las erupciones son consecuencia de la interacción entre el magma y un acuífero. Debido a estas erupciones, se forman cráteres denominados maares, los cuales pueden albergar un lago en su interior. La estructura puede estar rodeada por un anillo de tobas con presencia de esferulitas de vidrio volcánico.

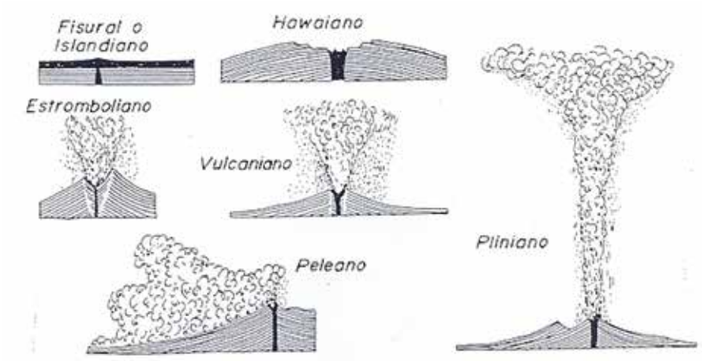


Figura 10. Tipos de erupciones volcánicas (Holmes, 1980).

5.1.2 Vulcanismo en el estado de Hidalgo

El estado de Hidalgo se encuentra entre dos grandes provincias geológicas: en la región sur abarca una parte de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), y en el norte ocupa una parte de la Sierra Madre Oriental. La FVTM consiste en un arco magmático continental, cuyo vulcanismo se asocia con la subducción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera por debajo de la placa de Norteamérica, a lo largo de la llamada Trinchera Mesoamericana. Este arco volcánico está constituido por más de 8 mil estructuras volcánicas que incluyen grandes estratovolcanes, calderas, domos, campos de conos monogenéticos y algunos cuerpos intrusivos (Demant, 1978; Gómez-Tuena et al., 2005). La provincia tiene una longitud de 1 mil m y un ancho que varía entre 80 y 230 km (Gómez-Tuena et al., 2005).

En Hidalgo existen estructuras volcánicas importantes como la Caldera de Chichicuautla (Ledezma-Guerrero, 1987), la Caldera de Huichapan-Don Guinyó (Aguirre-Díaz y López-Martínez, 2009), la Caldera de Acoculco (Ledezma-Guerrero, 1987; López-Hernández, 2009); la Caldera de Tulancingo (De la Cruz y Castillo, 1986; López-Hernández, 2009); la Caldera Mezquital (Hernández-Avelino, 2008); el complejo dómico de los Pitos (Zamorano-Orozco et al., 2005); los complejos dómicos de El Yolo y Napateco (Solana-López, 2010); el volcán las Navajas (Nelson y Ligthhart, 1997); el complejo volcánico Xiguingo-La Paila (Valadez-Cabrera, 2012): el campo volcánico Apan-Tecocomulco (García-Tovar et al., 2015), además de más 200 estructuras menores como domos aislados, conos cineríticos y derrames de lavas de riolita y basalto donde se ha reportado actividad volcánica reciente (~31–42 ka; Ferrari et al., 2009).

Caldera Mezquital: esta caldera corresponde a una antigua superficie de colapso y erosión labrada sobre rocas de edad cretácica (formaciones El Abra y Soyatal), semicubierta por derrames y domos de rocas volcánicas terciarias (andesitas y dacitas), rocas detríticas fluviolacustres del Eoceno-Oligoceno (Fm. El Morro) y Plioceno (Fm. Tarango), así como derrames fisurales de composición basáltica de edad plio-cuaternarios. Esta región ha sido levantada (500 a 600 m) por efecto de la resurgencia de una caldera que estuvo activa en el Oligoceno tardío (24.2 ± 1.4 Ma; Hernández-Avelino, 2008).

Caldera de Huichapan: se trata de una estructura subcircular de aproximadamente 8.5 km de diámetro, ubicada entre los municipios de Huichapan y Nopala. Presenta una forma subcircular de aproximadamente 8.5 km de diámetro y un volumen aproximado de 65 km³ (Milán y Carrasco-Núñez, 1988). Por su magnitud es distinguible en imágenes de satélite y fotografías aéreas. Se caracteriza por las geomorfologías que adoptan los depósitos de ignimbrita y lava que la circunscriben. Cuenta con amplias mesetas de formas lobulares cuyos bordes se presentan como paredes verticales donde se exponen secuencias de ignimbrita, donde las capas de toba soldada son resistentes a la erosión. La estructura central se encuentra bordeada por un alto topográfico constituido por la acumulación de derrames andesíticos emitidos desde el anillo de colapso. Al interior de la caldera se levanta el domo Hualtepec, de 3000 m.s.n.m. La caldera de Huichapan se formó por la erupción de diversos flujos de ignimbrita (San Francisco y Don Guinyó), hace aproximadamente 4.2 Ma. El basamento se encuentra conformado por calizas del cretácico; una secuencia volcánica precedente de basaltos y riolitas del Grupo San Juan; la secuencia caldérica constituida por la ignimbrita de San Francisco y Don Guinyóy por una secuencia posterior de andesitas, dacitas y basaltos (Milán et al., 1993).

Caldera Panales: esta caldera se localiza al este de Ixmiquilpan (±9 km de diámetro), a unos pocos km al noroeste de la caldera mezquital, muestra altos topográficos que van de los 2300 a 2400 m.s.n.m. En esta caldera se tiene la exposición de la cámara magmática, representada por un afloramiento de un intrusivo de diorita al noreste del cerro Siete Minas, que provoca metamorfismo de contacto en la roca caliza encajonante (Hernández-Avelino, 2009).

Caldera La Paila: se encuentra ubicada entre los municipios de Singuilucan y Tepeapulco. Es una estructura tipo escudo, conformada por diversos flujos de lava de composición predominantemente andesítico-basáltica que se extienden radialmente cubriendo un área de aproximadamente 85 Km²con un volumen de 28 km³. La estructura tiene una base casi circular con un diámetro de ~10.5 km y su cima está coronada por un pequeño cráter (~1 km de diámetro) en forma de herradura abierto hacia el suroeste SW. Su elevación es de 3,175 m.s.n.m., y tiene una altura máxima de 625 m sobre el nivel del terreno circundante (Valadez-Cabrera, 2012). Las lavas emitidas por este volcán fueron muy fluidas como lo indican su amplia extensión y morfología de pendientes suaves. Esto sugiere que la actividad del volcán La Paila fue principalmente de tipo efusiva. El espesor de los flujos de lava es variable, entre los 5 y 8 m. López-Hernández (2009) reporta una edad por el método radiométrico K-Ar de 800 mil años en las lavas del franco suroccidental, lo cual indica una actividad geológica reciente.

Volcán Las Navajas: sobre las rocas del Grupo Pachuca, se encuentra extendido discordantemente el Complejo Volcánico Sierra de Las Navajas (CVSN) (SGM, 2007). Según Lighthart (2004) este campo volcánico presenta un colapso sectorial muy marcado hacia el noreste del volcán Las Navajas, el cual ocurrió hace aproximadamente 2 millones de años y produjo un depósito de avalancha de escombros que se extiende a más de 48 km de la fuente cubriendo un área aproximada de 510 Km²con un volumen aproximado de 30 km³, que se encuentra bien expuesto en las paredes del cañón del río Grande de Tulancingo ubicado al norte de la zona. El volcán Las Navajas es un estratovolcán que consta de 4 unidades litológicas principales. La unidad basal consta de basalto interdigitado con flujos piroclásticos que tiene una edad calculada por el método K-Ar en 1.8 ± 0.04 Ma (Stephen y Alyson, 1997), Sánchez-Rojas y Osorio-Pérez (2008) reportan edades de entre 2.29 ± 0.23 y 2.58 ± 0.15 Ma con el mismo método, lo que indica su emplazamiento en el Gelasiense del Pleistoceno Superior. Concordantemente se encuentra emplazada la riolita El Horcón, la cual fue extravasada a través de conductos ahora destruidos por la erosión, ubicados al centro de la Sierra de las Navajas. El espesor máximo de esta unidad en la parte central de su área de afloramiento es de aproximadamente 200 m, con un volumen total de extravasado de 35 ± 10 km³(Stephen y Alyson, 1997) que va disminuyendo en su espesor hacia el norte hasta unos 120 m. Esta unidad contiene megabloques de lava riolítica interestratificada con de depósitos de flujos piroclásticos y depósitos de caída que preservan secciones intactas del volcán anteriores al colapso. Sobre esta unidad existe una capa de

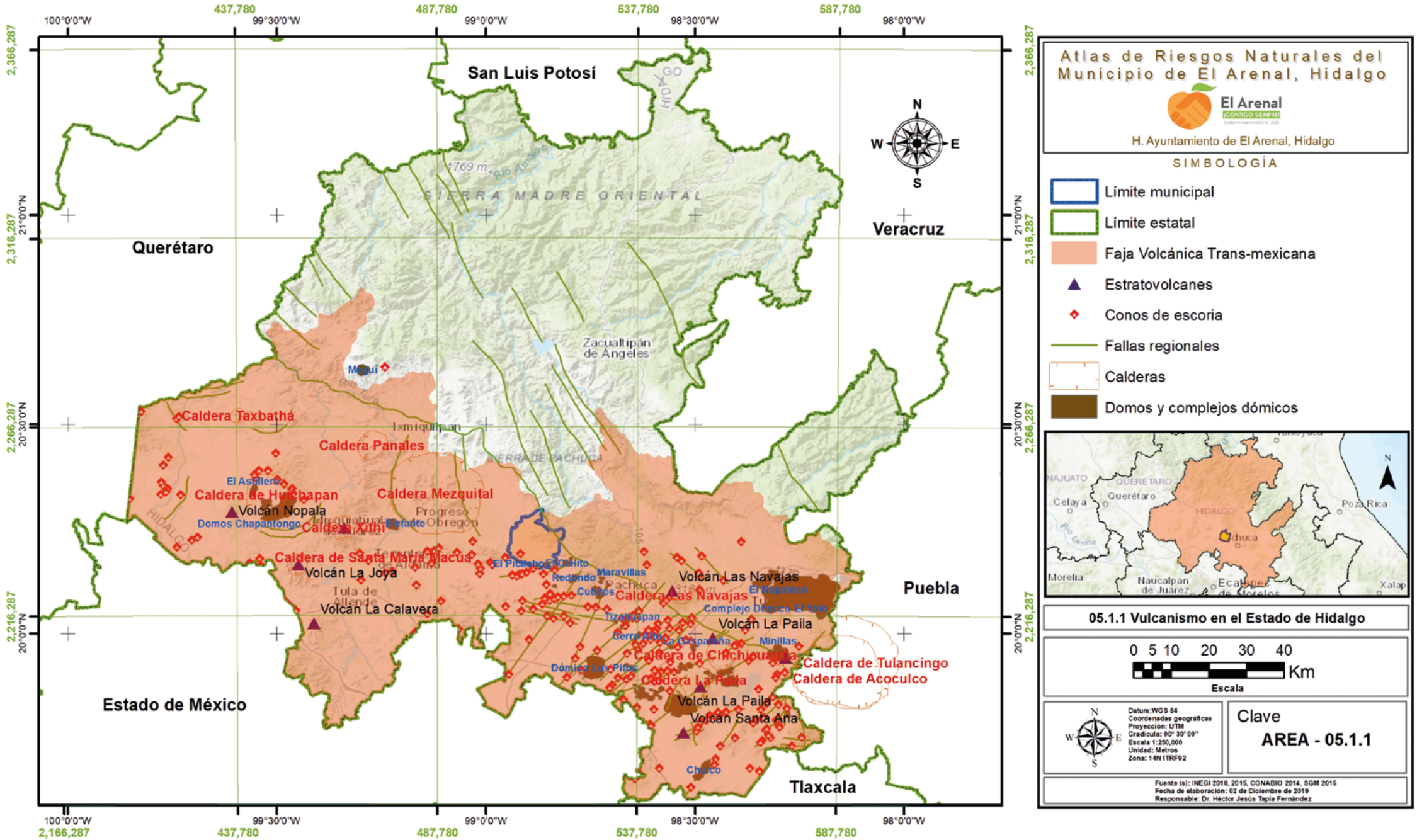
aproximadamente un metro de grosor de ceniza riolítica devitrificada, lo que sugiere un hiato posterior al emplazamiento. La unidad superior la conforman los depósitos de colapso Ixatla, conformada por capas muy extensas de flujos de escombros y ceniza, intercalados con niveles de oleadas piroclásticas y avalanchas de escombros con orientación de sur a norte desarrollando una peniplanice volcánica de grandes dimensiones (Sánchez-Rojas y Osorio-Pérez, 2008). Esta unidad se encuentra conformada por riolita soportada por matriz, que contiene clastos de pómez y obsidiana. La naturaleza distinta de cada unidad sugiere que cada una fue emplazada por separado. Esta unidad se encuentra concordantemente sobre los depósitos de flujos piroclásticos y de caída de la riolita El Horcón, aunque en algunos lugares muestran contactos gradacionales con los depósitos de avalancha de Ixatla, lo que sugiere la presencia de erupciones contemporáneas (Lighthart, 2008). La investigación de Donato et al. (2018) muestra que una composición distinta de magma se encontraba en erupción previamente al colapso. El movimiento del magma desencadeno un evento de colapso y erupción concurrente al estilo del volcán Bezimianny en Kamchatka, Rusia (Lighthart, 2008). Derrames de basalto de diversos conos de escoria (Las Animas, Tepezalá, Verde, El Chato y El Prieto) del pleistoceno-holoceno sobreyacen en discordancia angular a las unidades de composición riolítica y en algunos casos se encuentran cubiertos por aluvión y depósitos de caída de pómez interestratificados con flujos piroclásticos. En la porción norte del CVSN los derrames basálticos sobreyacen discordantes sobre una unidad de sedimentos clásticos denominada Formación Atotonilco El Grande (Salvador-Flores, 2001), que consiste en secuencia lacustre de agua dulce (Paleolago de Amajac) de clima templado, las variaciones litológicas incluyen conglomerados, litarenitas, limolitas, lutitas limosas, margas y cenizas volcánicas que en varias localidades se encuentran interestratificados con derrames de lava basáltica, la que por su contenido fósil pertenece a la edad del Plioceno (Arellano-Gil et al., 2005). Esta formación representa el relleno de un valle antiguo de un río precursor del río Amajac. Finalmente, hacia el suroriente del CVSN se encuentran derrames de basalto de los conos de escoria de Loma Chica y el Molcajete cubriendo discordantemente una porción de la riolita El Horcón. Finalmente, durante el Holoceno se extravasó la traquita El Guajolote, desde los conos de El Guajolote y Cerro Gordo; por su posición estratigráfica, el domo Las Minas parece ser de edad Holoceno (>10,000 años), conformado en la base por depósitos de caída y brechas con obsidiana depositadas por erupciones estrombolianas y flujos de lava en la parte superior (Donato et al., 2018). Algunas porciones del domo se encuentran como depósitos de flujos de avalancha sobre la sección suroeste del cráter de colapso del volcán Las Navajas.

Caldera de Chichicuautla: se localiza a 5 km al oriente de Singuilucan y es considerada como parte de las Andesitas Apan por García-Palomo et al. (2002). Se trata de un antiguo estratovolcán de 250 m de altura con forma de media luna y aproximadamente 6 km de diámetro, colapsado en su sector norte. Fue denominado caldera de Chichicuautla por Ledesma-Guerrero (1987), con una antigüedad determinada por el método radiométrico K-Ar de 13.4 Ma. Está formada por una secuencia de brechas y lapilli en matriz de cenizas (Castro-García y Córdoba-Méndez, 1994). Dentro de la caldera se encuentra un pequeño cono volcánico denominado Tío Lolo, de 50 m de altura. La porción septentrional de esta caldera se encuentra cortada por una falla normal con rumbo N05°W.

Caldera de Tulancingo: descubierta inicialmente en estudios realizados por la Comisión Federal de Electricidad CFE en la búsqueda de recursos geotérmicos (De la Cruz y Castillo, 1986). Se reconoció la presencia de dos ciclos eruptivos principales, asociado cada uno con una caldera. El primero se inició hace más de 3 Ma y generó una caldera de 32 km de diámetro, que no había sido reportada denominada caldera de Tulancingo por López-Hérnandez (2009). Para definir su geometría se utilizaron los lineamientos circulares que forman los centros eruptivos de edad pliocénica en la zona N y anomalías geofísicas. Otra evidencia asociada a esta caldera es la presencia de un grueso paquete de depósitos piroclásticos intensamente silicificado localizado en el centro de la estructura caldérica que encontró en el pozo EAC-1 (CFE) a profundidades entre 210 y 350 m (ignimbrita Los Azufres), así como los productos de la ignimbrita alcholoya que descansan directamente sobre la secuencia sedimentaria cretácica al N de la caldera. Estas secuencias piroclásticas corresponden con el material que fue emitido y que dio origen a la caldera de Tulancingo. En la actualidad estas secuencias se encuentran cubiertas por rocas volcánicas más recientes lo cual dificulta su identificación.

Caldera de Acoculco: relacionada con la caldera de Tulancingo, la caldera de Acoculco es del tipo "anidado", consiste en una estructura volcánica plio-pleistocénica de 18 km de diámetro (López-Hernández et al., 2000). Se encuentra relacionada con domos riolíticos anulares e ignimbrita, en dos ciclos volcánicos principales, datados en 2.6-3 Ma y 1.3-1.8 Ma (López-Hernández et al., 2000). Derrames lávicos posteriores a la formación de la caldera encubren su estructura e impiden que ésta tenga una buena perceptibilidad. Es identificable solo en imagen satelital.

Calderas de Xhithi y Santa María Macua: Ha sido reportada por Aguirre-Díaz et al. (2009), pero no hay estudios a detalle. Se presenta como una caldera de colapso hacia el E este, donde se observan estructuras tipo hummocky (montículo o montecillo) posiblemente asociadas a avalanchas de escombros. Se observa otro colapso hacia el Suroeste.


Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo
El Arenal
¡CONTIGO SIEMPRE!
H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo
SIMBOLOGÍA
Límite municipal
Límite estatal
Faja Volcánica Trans-mexicana
Estratovolcanes
Conos de escoria
Fallas regionales
Calderas
Domos y complejos dómicos
05.1.1 Vulcanismo en el Estado de Hidalgo
0 5 10 20 30 40
Km
Escala
Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 30' 00"
Escala 1:250,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92
Clave
AREA - 05.1.1
Fuente (s): INEGI 2010, 2015, CONABIO 2014, SGM 2015
Fecha de elaboración: 02 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández
San Luis Potosí
Querétaro
Veracruz
Puebla
Estado de México
Tlaxcala
SIERRA MADRE ORIENTAL
Caldera Taxbathá
Caldera Panales
Caldera de Huichapan
Caldera Mezquital
Caldera Xithi
Caldera de Santa María Macua
Caldera Las Navajas
Caldera de Chichicuautla
Caldera de Tulancingo
Caldera de Acoculco
Caldera La Paila
Volcán Nopala
Volcán La Joya
Volcán La Calavera
Volcán Las Navajas
Volcán La Paila
Volcán Santa Ana
Chuico
Domos Chapantongo
Complejo Dómico El Yolo
Dómico Los Pitos
Zacualtipán de Ángeles
Pachuca
Tula de Allende
Ixmiquilpan
Progreso Obregón
Tenango de Doria
Mineral del Monte
Mixquiahuala
Actopan
Tizayuca
Tepeapulco
1769 m
Cerro Grande
Cerro Gordo
Cerro Colorado
Cerro Gordo
Cerro Alto
Cerro Grande

5.1.2.1 Campo volcánico Apan-Tepeapulco

En el Campo Volcánico Apan-Tepeapulco (CVAT) en su parte basal presenta episodios volcánicos del Plio-Pleistoceno, siendo uno de estos el domo Yehuelica, localizado cerca de la ciudad de Calpulalpan, Tlaxcala. El domo presenta una morfología semicircular, con un diámetro de 1.8 km y una altura de 170 m sobre el terreno, se ubica sobre la traza de la Falla NE-SW Noreste-Suroeste Apan (García-Tovar et al., 2015). Se encuentra parcialmente cubierto por gruesos depósitos piroclásticos del estratovolcán Tláloc, lo cual hace que existan escasos afloramientos conformados por grandes bloques de lava de algunos metros de longitud. Este domo presenta una morfología intermedia entre un domo y un flujo de lava espeso con protuberancias en el frente y pendientes pronunciadas. Fue datado en 1.1±0.4 Ma. La otra estructura es el Cerro Blanco, que corresponde a un domo relativamente erosionado, localizado cerca del poblado de El Tepozán. Este domo presenta un diámetro de aproximadamente 1.4 km y una altura de 350 m sobre el nivel regional. En la cima se presentan afloramientos en forma de peñascos y bloques de lava de entre 4 y 5 m de espesor de composición dacítica. Fue fechado en 3.0± Ma, correspondiente al Plioceno Medio. Hacia la porción NE Noreste del CVAT, afloran flujos masivos de obsidiana de color gris oscuro a negro, denominados Obsidiana Acoculco (García-Tovar et al., 2015), datados en 1.271±0.027 Ma.

Cerca de la ciudad de Apan se hallan flujos de lava en los cerros El Toronjil, Cuautlatilpan y Avilés, los cuales se ubican sobre la falla NE-SW noreste-suroeste Apan-Tláloc. Estas lavas cubren discordantemente a andesitas, dacitas y riolitas del Mioceno (García-Palomo et al., 2002; López-Hernández, 2009). Estas lavas fueron fechadas en 2.5±0.7 Ma por el método K-Ar, lo cual las ubica en el límite Plioceno-Pleistoceno.

Además, en el CVAT se han identificado 27 conos de escoria de composición basáltica a andesita basáltica, algunos de los cuales coronan a volcanes en escudo, y que de acuerdo con edades disponibles en literatura y fechamientos por el método K-Ar, se formaron en un periodo inferior a 2 Ma. Los rangos de edad de estas estructuras oscilan entre los 600 mil y 188 mil años, lo cual representa un vulcanismo relativamente reciente. En 11 conos de escoria se encontró una asociación directa con flujos de lava que alcanzan hasta 8 km de longitud. Estos flujos de lava presentan espesores de entre 3 a 5 m y se distribuyen de manera radial con respecto al cono o en una sola dirección, siguiendo la topografía de la zona. La distribución de los conos de escoria monogenéticos del CVAT parece seguir un patrón relacionado con la presencia de un sistema de fallas NE-SW Noreste-Suroeste.

En el CVAT existen cuatro volcanes escudo de composición de andesita basáltica: Santa Ana, La Lagunilla y el Viejo de Tultengo, que se encuentran alineados en una dirección NE-SW Noreste-Suroeste, dentro del semigraben de Apan (García-Palomo et al., 2002). El volcán Coyote se ubica de manera aislada hacia la parte norte del CVAT. Las lavas de los volcanes se disponen radiales y presentan espesores de alrededor de 5 m. El emplazamiento de estas estructuras ocurrió en un tiempo relativamente corto, ya que comprenden edades entre los 0.625±0.014 Ma y 0.538±0.014 Ma. En el caso de las lavas del volcán Coyote, se sugiere que éstas tienen una edad relativamente similar a los otros volcanes escudo, ya que se encuentran discordantemente por las lavas del cono de escoria de San José Coliuca, cuya edad es de 188 mil años. La porción SW Suroeste del CVAT se encuentra cubierta parcialmente por depósitos piroclásticos del estratovolcán Tláloc, los cuales tienen una edad comprendida entre 31-37 mil años.

Finalmente, las planicies y subcuencas que circundan a las estructuras volcánicas plio-cuaternarias y miocénicas se encuentran rellenas por depósitos piroclásticos, fluviales y lacustres cuyos tamaños de partículas varían de bloques de gravas y arcillas. Sondeos eléctricos verticales realizados por Huízar-Álvarez (1999) permitieron definir la disposición de estos sedimentos en el subsuelo, los cuales llegan a alcanzar espesores de 400 m en promedio.

5.1.2.2 Volcán Jocotitlán (Xocotépetl)

El volcán Jocotitlán se compone de lavas andesíticas-dacíticas y se encuentra ubicado en la porción central de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) al norte de la cuenca de Toluca (Cuenca Ixtapantongo), a unos 60 km al noroeste de la Ciudad de México. Su cumbre actual alcanza unos 3950 m.s.n.m. Al norte del volcán Jocotitlán se encuentra el graben de Acambay, que tiene una dirección preferencial NNW-SSE Nornoroeste-Sursureste (Dufresne et al., 2010). El volcán Jocotitlán conserva un impresionante depósito de avalancha de escombros; el flanco norte del volcán se colapsó hace aproximadamente 9, 690 años, resultando en un depósito clasto-soportado carente de matriz y de material fino, que cubre unos 80 km² y que se encuentra alterado hidrotermalmente. Los eventos de colapso volcánico son una característica común de los estratovolcanes en todo el mundo y han producido grandes depósitos voluminosos de avalancha de escombros que alteran la forma del edificio volcánico y su paisaje circundante. Los depósitos tienen volúmenes de decenas de km³, y solo en ciertos casos han sido reportados depósitos de cientos de km³. Las áreas devastadas generalmente van de unos pocos kilómetros a la redonda hasta alcanzar extensiones de 1000 km² aproximadamente, con distancias desde la fuente volcánica que van de 10 a 100 km (al superar 100 km, las avalanchas se convierten en flujos de detritos muy móviles). En México, el 48% de los edificios volcánicos han producido uno o más depósitos debido a las avalanchas de escombros (30 depósitos reconocidos en 21 volcanes; datos de Dufresne et al., 2008).

5.1.2.3 Vulcanismo de la Sierra Nevada

La Sierra Nevada es una región montañosa que se conforma por los volcanes Tláloc, Telapón, Téyotl, Iztaccíhuatl y Popocatépetl (Macías, 2005).

Popocatépetl: el volcán Popocatépetl es un estratovolcán (Aguilera y Ordóñez, 1895; Robin, 1984; Carrasco, 1985) ubicado en la región central de la FVTM a 65 km de la Ciudad de México y a 45 km de la ciudad de Puebla aproximadamente. Ciclos eruptivos anteriores al edificio del Popocatépetl, dieron lugar a la formación y destrucción de otros volcanes conocidos como el Nexpayantla, el Ventorrillo y el Fraile (Macías, 2005; Espinasa, 2014). El cono del Popocatépetl está compuesto por la alternancia de depósitos piroclásticos y coladas de lava de composición andesítica-dacítica. Desde su reactivación en diciembre de 1994, después de 70 años de inactividad, el volcán Popocatépetl ha tenido etapas explosivas caracterizadas por la formación de domos de lava al interior del cráter (Delgado-Granados et al., 2001). Las cenizas, producto de estas erupciones, han alcanzado poblaciones como México y Puebla (Muñoz-Salinas, 2007). En dos ocasiones varios lahares (flujos de agua y sedimentos originados en laderas volcánicas) han llegado a la Población de Santiago Xalitzintla producto de la actividad de este volcán (Sheridan et al., 2001; Espinasa, 2014).

El volcán Popocatépetl es monitoreado las 24 horas del día por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) mediante una red de 15 estaciones localizadas en diferentes altitudes hasta de 4300 m.s.n.m (Guevara et al., 2003). La distancia del volcán al municipio de El Arenal es de aproximadamente 136 km por lo que representa un muy bajo nivel de riesgo volcánico.

Desde 1895 se identificó al Popocatépetl como un estratovolcán con un cráter truncado, compuesto por una alternancia de depósitos piroclásticos y lavas de composición andesítica –dacítica (Aguilera y Ordoñez, 1895). En 1896 se reportó la emisión de siete fumarolas emitidas desde el cráter del Popocatépetl con temperaturas inferiores a 100 °C y la formación de un lago de color azul verdoso conformado por agua procedente de los deshielos y con una temperatura variable entre 28 y 52 °C. Durante los últimos 20 mil años, la actividad explosiva del Popocatépetl ha sido caracterizada por cuatro eventos mayores hace 14 mil, 5 mil, 2 mil 150 y mil 100 años que registraron producción de pómez de caída y flujos de ceniza y cuatro eventos menos expuestos, ocurridos hace 11 mil, 9 mil, 7 mil y mil 800 años. Las erupciones y la evolución del cráter cesaron en 1927 y no se registraron erupciones durante 67 años hasta que se reactivaron el 21 de diciembre de 1994. Los eventos eruptivos ocurridos hacen 5 mil y mil 100 años, tuvieron una evolución similar: iniciaron con erupciones freatomagmáticas bastante violentas que dispersaron nubes turbulentas húmedas que surgieron a distancias mínimas de 20 km. Estos eventos permitieron la apertura del conducto volcánico y provocaron que el magma fuera emitido a grandes velocidades para formar una columna pliniana que alcanzó alturas mínimas de 25 km, para después ser transportada por los vientos estratosféricos en dirección N-NE-E Norte-Noreste-Este (Macías, 2005).

Iztaccíhuatl: el complejo volcánico Iztaccíhuatl se encuentra localizado en la parte central de la Sierra Nevada, a una distancia aproximada de 60 km de la ciudad de México y 45 km al noroeste de la ciudad de Puebla. Su máxima elevación es de 5,286 m.s.n.m y constituye el tercer pico más alto de México, después de los volcanes Pico de Orizaba y Popocatépetl. El Iztaccíhuatl consiste en dos formaciones: Llano Grande e Iztaccíhuatl (García-Tenorio, 2002), con edades que varían desde el Pleistoceno temprano al Holoceno. La formación Llano Grande se encuentra conformada por la superposición de tres unidades volcánicas: Pulpito del Diablo, la caldera de Llano Grande y el volcán ancestral de Los Pies, así como domos periféricos y flujos de lava fisurales. La composición de las rocas de la Formación Llano Grande varía de andesita a riolita y dacita. Las edades de las rocas de la Formación Llano Grande se encuentran entre 580 mil y 900 mil años (Nixon, 1989) y 1.09 Ma (Cadoux et al., 2011). La Formación Iztaccíhuatl incluye los más recientes depósitos de la actividad de cinco edificios volcánicos alineados en dirección NW-SE Noroeste-Sureste. Estos edificios, de sur a norte, son: Los Pies, Rodillas, Pecho, Cabeza y Téyotl, así como flujos de lava fisural (andesita basáltica La Joya y la dacita Buena Vista), (Nixon 1989, García-Tenorio, 2002). Las rocas de esta formación varían de andesita a dacita. Varías dataciones de roca de la Formación Iztaccíhuatl muestran edades que oscilan entre los 80, 270, 340, 410 y 580 mil años (Nixon, 1989). Además, en el límite sur del complejo volcánico Iztaccíhuatl durante el Holoceno (Siebe et al, 1995) uno de los mayores eventos eruptivos del Iztaccíhuatl tiene que ver con el colapso de una parte del cono Los Pies, el cual conformó una gran avalancha de escombros hacia la porción SE Sureste del volcán (Siebe et al., 1995; García-Tenorio, 2008). El cráter de esta avalancha es conocido como Amacuilecatl, que en la lengua náhuatl significa "lugar de los cinco vientos". Su pared escarpada tiene una altitud máxima de 4,700 m.s.n.m. El colapso del cono reciente de los Pies ocurrió en el sureste del campo volcánico Iztaccíhuatl y consiste en depósito de avalancha de detritos asociado a depósitos piroclásticos. Esta avalancha se extiende en las laderas del cono Los Pies hasta 45 km de la fuente. De acuerdo con su distribución y morfología, esta avalancha se divide en dos facies: la proximal (desde los 13 a 16 km desde la cumbre), y la distal desde los 29 a los 45 km y cubre un área aproximada de 550 km² de la cuenca de Puebla y la subcuenca del río Nexapa.

Volcán Tláloc: el volcán Tláloc fue inicialmente considerado de edad Terciaria (Mooser, 1975). Posteriormente, este volcán fue incluido en la Formación Tláloc, que tiene una edad estimada entre los 600 y 700 mil años (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). Los productos volcánicos más viejos del Tláloc son de una edad entre 1.82 ± 0.04 Ma y 1.58 ± 0.03 Ma (Cadoux et al., 2011) y pertenecen a bloques de lava embebidos de depósitos de flujos piroclásticos más recientes al noreste del Tláloc. Estos bloques líticos representan las rocas volcánicas más antiguas de este edificio volcánico, que fueron arrastrados a la superficie debido a la actividad explosiva del Tláloc. Las rocas más antiguas datadas cortan la porción sureste del volcán Telapón y consiste en un flujo de lava dacítica alterado hidrotermalmente con una edad de 1.4 Ma. Los domos fueron emplazados alrededor del antiguo paleo-Tláloc y hoy se encuentran enterrados por productos volcánicos más jóvenes, que en su conjunto conformaron la construcción del edificio volcánico moderno. La formación de domos debe haber sido muy activa durante este periodo generando flujos de rocas y cenizas de composición dacítica que fueron emplazados en los flancos occidentales del Tláloc y el Telapón. Después de este periodo de actividad en la cima, el moderno volcán Tláloc comenzó su construcción a través de la emisión de lavas de composición dacítica que fluyeron hacia el norte. Estos flujos de lava fueron datados por Cadoux et al. (2011), en 940, 920 y840 mil años. Según estos autores, la actividad del Tláloc continuó hacia el oeste de la cumbre de la Sierra Quetzaltepec con la emisión de un flujo de lava dacítica del Cerro Tlapanco datado en 680 mil años, y terminó con la emisión de la cúpula dacítica de la cumbre del Tláloc. El volcán Tláloc reanudó su actividad nuevamente hace 129 mil años con la emisión de domos y lavas riolíticas, distribuidas al este del domo de la cumbre y dentro de la estructura de colapso. Estas rocas riolíticas son los productos félsicos más antiguos del moderno edificio volcánico. Posteriormente la actividad del Tláloc se ha caracterizado por episodios volcánicos explosivos. En resumen, durante el Pleistoceno tardío, se produjeron cinco eventos explosivos en el volcán Tláloc que se encuentran datados entre los 43 y 18 mil años (Rueda et al., 2006).

Volcán Telapón: el edificio volcánico del Telapón está formado por una serie de flujos de lava dacítica que se elevan desde altitudes de ~ 2400 a 4060 m.s.n.m, y presenta una altitud aparente de ~ 1,660 m. El cono presenta una morfología suave, conformado por la superposición de emisiones de flujos de lava desde el cráter central. Los flujos de lava más grandes alcanzan ~ 3–4 km hacia el sur hasta la autopista que conecta la Ciudad de México con Puebla. El área de la cumbre del Telapón fue afectada por la actividad glaciar atestiguada por bloques de roca pulida (*tills*). El Telapón se encuentra rodeado por varias cúpulas y pequeños conos de escoria por lo que puede considerarse un complejo volcánico. La estratigrafía del Telapón fue recientemente agrupada en dos eventos volcánicos: el Evento Volcánico Inferior de composición andesítica-dacítica emitido entre 1.03 ± 0.02 y 0.65 Ma, y el Evento Volcánico Superior de composición dacítica-riolítica entre un periodo comprendido entre 650 mil y 35 mil años de antigüedad (García-Tovar y Martínez-Serrano, 2011). Estos autores concluyen que las composiciones de las rocas varían de los basaltos calco-alcalinos a riolitas. De acuerdo con la estratigrafía el domo dacítico de la cumbre tiene una edad de 274 mil años (Cadoux et al., 2011) y pertenece al evento volcánico superior. Adicionalmente, estos autores consideran que el depósito de piroclastos y ceniza de Río Frío representa

el evento volcánico más joven del volcán Telapón. Las rocas más antiguas en el área se encuentran expuestas en el sureste del volcán y están representadas por el domo riolítico Tlatelpa y la dacita Río Frío, con una edad de 956 mil años (García-Tovar y Martínez-Serrano, 2011). Estos flujos de lava y domos representan los relictos de rocas de un antiguo edificio volcánico que fue contemporáneo con viejos domos expuestos alrededor de los volcanes Telapón y Tláloc. Después, la actividad volcánica continuó con la emisión de flujos de lava de composición andesítica y dacítica (andesita Tecalco) datada en 1.03 Ma. Esta actividad estuvo seguida de la emisión del domo dacítico Tejolote datado en 582 mil años. El emplazamiento de domos estuvo acompañado de la emisión de flujos de lava y depósitos muy extensos de flujos de bloques y ceniza y los subsecuentes depósitos volcaniclásticos que se extienden por las laderas del volcán. Dos ejemplos de estos flujos de bloques y ceniza se encuentran expuestos en los pueblos de San Francisco y Chicoloapan (López-Pizaña, 2012), datados con una edad de 1 Ma. Después de esta actividad, el edificio volcánico del Telapón por sí mismo comenzó a emplazar a través de varias fases flujos de lava de composición dacítica y riolítica que se extienden de 3 a 4 km hacia la base datados en 370 mil años, seguido del emplazamiento de un domo de composición dacítica en la cima hacía unos 341 mil años. El emplazamiento de este domo en la cima del Telapón representa la actividad eruptiva más joven del volcán que, posteriormente, entró en fase de reposo.

5.1.2.4 Nevado de Toluca

El Nevado de Toluca es un estratovolcán que se levanta a 2,100 m sobre el altiplano de la cuenca del Alto Lerma y a 3,100 m sobre la región de Ixtapan de la Sal y de Tonatico. Su cráter fue destruido por la erupción que tuvo lugar hace aproximadamente 10 mil años. El volcán se encuentra asentado sobre la intersección de tres sistemas de fallas: Taxco-Querétaro (NNW–SSE), San Antonio (NE–SW) y Tenango (E–W) (García-Palomo et al., 2002).

El Nevado de Toluca se ha caracterizado por tener erupciones muy explosivas con periodos largos de descanso. La actividad se puede dividir en dos etapas, durante la primera, entre 1.2 y 1.6 Ma, se formó el volcán primitivo compuesto de lavas andesitícas sobre un basamento compuesto por secuencias metamórficas y sedimentarias (Cantagrel et al., 1981).

Entre la primera y segunda etapa de actividad volcánica, la actividad tectónica y la erosión (gravitacional y fluvial) formaron los valles de los ríos San Jerónimo y Chontalcuatlán, así como algunos menores como los de los arroyos Merua, Los Tizantes, El Jabalí, Calderón, Santa María, Arroyo Grande, Tlacapa, La Fábrica y La Ciervita. Los lahares transformados por la actividad fluvial se han encontrado río abajo, como depósitos de conglomerados, dentro de la cueva de Cacahuamilpa (Cserna y Fries, 1981; Capra, 2000).

La segunda etapa (hace 100 mil años) se inicia con dos colapsos gravitacionales que produjeron grandes avalanchas de escombros (Macías et al., 1997). Una erupción pliniana que ocurrió hace 43 mil años produjo el flujo de Pómez Rosado (Macías et al., 1997). Después de este evento eruptivo se presentan dos eventos de destrucción de domos que producen el depósito de los flujos de bloques y ceniza Zacango (37 mil años) y El Capulín (28 mil años) (Bloomfield y Valastro, 1977; Macías et al., 1997). Entre estas dos erupciones se emplazó el domo parásito del Cerro Gordo. Posterior a estos eventos el Nevado de Toluca presenta una erupción vulcaniana hace 26 mil años que deposita el flujo de Pómez Blanco. A continuación, se presenta una erupción pliniana, que deposita la Pómez Toluca fechada por Bloomfield et al. (1977) en más de 24 mil años. Posteriormente, el volcán presenta cinco erupciones vulcanianas, de las cuales se han fechado el flujo de pómez La Ciervita (24 mil años); ceniza Las Huertas (15 mil años; Newton y Metcalf, 1999) y el flujo de pómez MF2 (13 mil años). Una nueva erupción pliniana, ocurrida hace 12 mil años, deposita la Pómez Blanca Intermedia (Cervantes de la Cruz, 2001). Finalmente, en la cumbre del Nevado de Toluca se depositaron extensas capas de pómez de caída, la Pómez Toluca Superior, producto de una erupción ultrapliana ocurrida hace 10 mil años (Arce, 1999) la cual produjo una columna eruptiva de más de 35 km. La actividad volcánica concluye con el emplazamiento del domo El Ombligo. Probablemente la última erupción del Nevado de Toluca esté representada por los depósitos piroclásticos de hace aproximadamente 3 mil años (Macías et al., 1997).

5.1.3 Análisis de la peligrosidad volcánica

La amenaza volcánica se determina con base en el conjunto de eventos que ocurren durante una erupción volcánica (coladas de lava, flujos piroclásticos, caída de cenizas y lahares), los cuales pueden provocar daños a los habitantes o a la infraestructura local. Por otra parte, el peligro volcánico se define como la expectación de la incidencia de un fenómeno ligado a la actividad volcánica (Ortiz, 1996) y se expresa como la probabilidad de que ocurra el fenómeno en un determinado periodo de tiempo. Así, el peligro volcánico se analiza basado en los eventos evolutivos del volcán (IGE, 2002) y se representan cartográficamente con la extensión susceptible de afectación por los materiales que produce un volcán durante el desarrollo de su actividad.

Martínez et al. (2006) estima conveniente el trazado de una circunferencia de un mínimo de 35 km a un máximo de 100 km de diámetro, tomando como centro el área de interés, en la que se deben identificar los volcanes dentro del círculo. Sin embargo, el Instituto Smithsoniano (2013) utiliza distancias preestablecidas 5, 10, 30 y 100 km para identificar las zonas vulnerables considerando como punto de origen la cima del volcán de interés. El establecimiento de un área *buffer* se encuentra en función a la distancia de afectación principalmente por flujos de lava, lahares (flujos de detritos), flujos piroclásticos, flujos de colapso como avalanchas de escombros y depósitos de bloques y ceniza, así como caída de ceniza y dispersión, ésta última que afecta directamente el tráfico aéreo. Además, el radio de afectación puede variar debido a diversos factores como diferencias en elevación entre el volcán y las áreas amenazadas, la pendiente, la morfología de los canales fluviales, y los vientos predominantes. Existen evidencias de que algunos productos volcánicos como la caída de cenizas alcanzan distancias mayores a los 800 km, lahares de hasta 300 km y flujos de lava mayores a 100 km.

Amenaza	Alcance máximo (km)		Área afectada (km²)		Velocidad (ms⁻¹)		Temperatura
	P	M	P	M	P	M	(°C)
Caída de ceniza	20-30	>800	100	>100,000	15	30	Ambiente
Proyectiles balísticos	2	15	10	80	10-50	100	1,000
Flujos piroclásticos y avalanchas de escombro	10	100	5-20	10,000	20-30	100	600-800
Lahares	10	300	5-20	200-300	3-10	>30	100
Flujos de lava	3-4	>100	2	>1,000	5	30	700-1150
Lluvia ácida y gases	20-30	>2,000	100	20,000	15	30	Ambiente
Ondas de Choque	10-15	>800	1,00	>100,000	300	500	Ambiente
Rayos	10	>100	300	3,000	$12X10^6$	$12x10^5$	Por encima del punto de incandescencia

Tabla 28. Propiedades físicas de los procesos volcánicos. **P**= Promedio, **M** = Máximo.
Fuente: Martínez *et al*., 2006.

En función a lo anterior, Aceves (2006) menciona que los flujos piroclásticos son los productos volcánicos más peligrosos debido a su alta capacidad de destrucción y porque al presentarse es imposible realizar alguna acción defensiva con la finalidad de mitigar los daños o para escapar de sus efectos (un caso que ilustra lo anterior es la erupción del Volcán de Fuego de 2018 en Guatemala). En orden de importancia descendente, las amenazas volcánicas con mayor capacidad destructiva son los flujos piroclásticos, seguidas de las avalanchas de escombros y lahares (su alta capacidad destructiva se define por el entramado fluvial de la zona de influencia del volcán) y, finalmente la caída de cenizas.

5.1.3.1 Amenaza volcánica para El Arenal

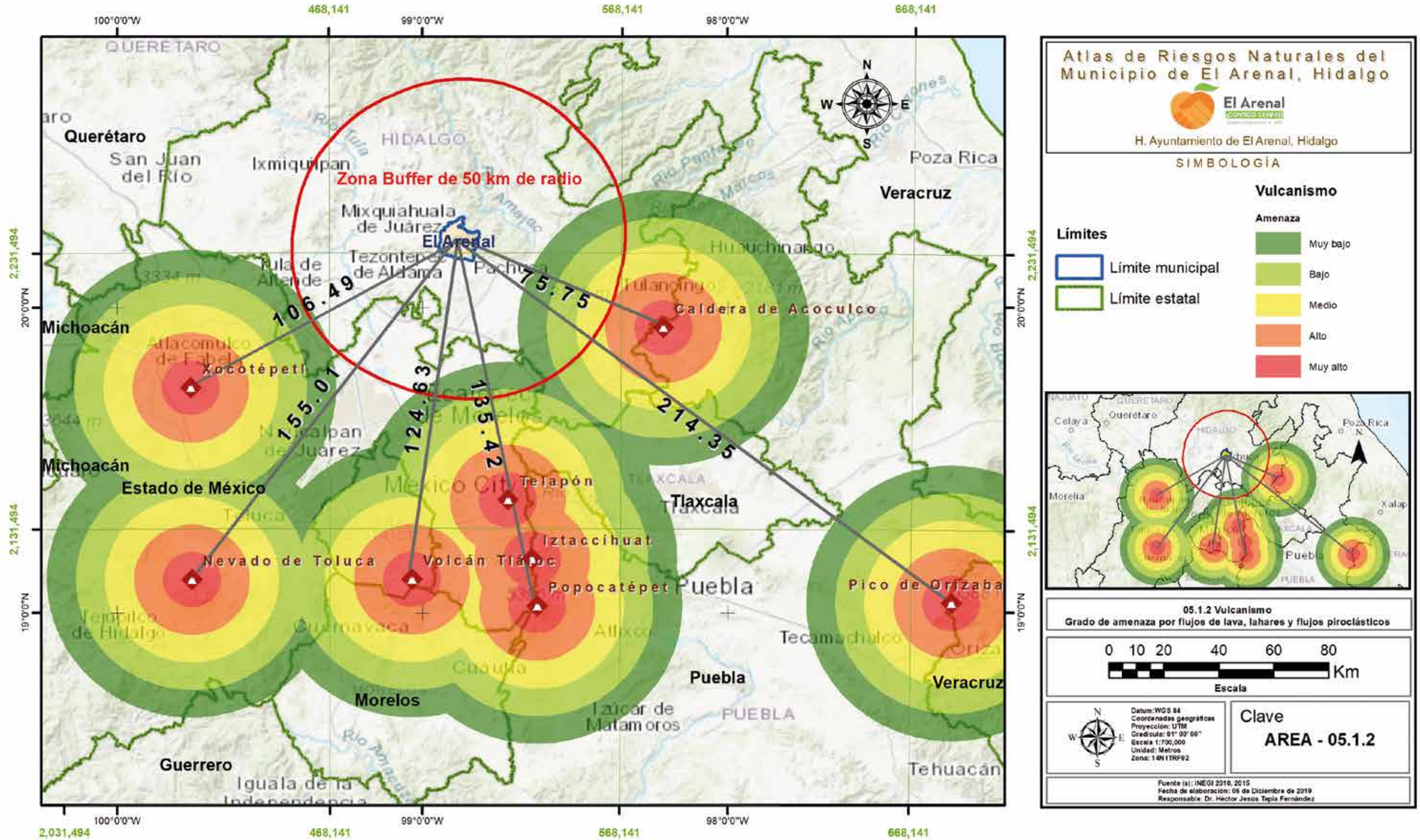
Los radios de afectación de los volcanes activos más cercanos al municipio se cartografiaron respecto a una distancia *buffer* con cinco niveles de amenaza con base en los eventos volcánicos que presentan y de acuerdo con el tipo de erupción recurrente del volcán en cuestión (definieron distancias a 5, 10, 30, 60 y 100 km). Además, se estableció un radio de posible impacto volcánico de aproximadamente 50 km desde los límites geopolíticos del municipio El Arenal. A pesar de que el estado de Hidalgo cuenta con una gran proporción de estructuras volcánicas, las edades de estos eventos volcánicos superan los 2 Ma, por lo que se descarta una amenaza volcánica local. De lo anterior, el vulcanismo activo más cercano a El Arenal es el Campo Volcánico Apan – Tepeapulco (CVAT), el cual se encuentra ubicado a una distancia de ~ 73 km, por lo cual representa un riesgo volcánico de bajo a muy bajo nivel. La distancia del volcán Jocotitlán a el municipio de El Arenal es de ~103 km, por lo cual representa un riesgo muy bajo de afectación volcánica. para el vulcanismo de la Sierra Nevada, donde los volcanes Telapón y Tláloc se encuentran a una distancia aproximada de 95 km; mientras que el Iztaccíhuatl y Popocatépetl se hallan a ~ 122 y 135 km respectivamente. El único volcán activo de este sistema montañoso es el Popocatépetl, durante la última semana de 1994, el volcán Popocatépetl inició una nueva etapa de actividad, expulsando ceniza y óxidos de azufre sumamente tóxicos. Personas en las zonas aledañas al volcán presentaron ardor y resequedad oro faríngea, tos, disnea de mediano y gran esfuerzo y expectoración. La inhalación de dióxido de carbono y dióxido de azufre provocó constricción del tracto respiratorio y se alteraron los patrones normales d la función pulmonar, sin embargo, estos efectos adversos se encuentran presentes en localidades muy cercanas al volcán (<15 km del cráter) y disminuyen drásticamente con la distancia. En el caso de la dispersión de ceniza, según datos del Centro Nacional para la Prevención de Desastres (Cenapred), ésta puede alcanzar distancias de hasta 80 km del cráter, pero debido a la dirección de los vientos, esta dispersión de ceniza sucede preferentemente en dirección al SE Sureste. Por lo anterior, el riesgo que representan los grandes volcanes de la Sierra Nevada es muy bajo para el municipio de El Arenal. Por otra parte, el Nevado de Toluca se encuentra a más de 155 km de distancia del municipio, por lo que el riesgo que representa esta estructura volcánica resulta ser extremadamente bajo.

Por otra parte, el análisis de vulnerabilidad se realizó con base en una Cuestionario Participativo, donde autoridades y representantes de la sociedad respondieron encuestas a informantes de calidad y registros de Protección Civil, de las cuales se obtuvo que la percepción local de la amenaza para los eventos volcánicos más comunes, como flujo de lava, lahares, flujos pirotécnicos y cenizas es inapreciable. Por tanto, se concluye que el riesgo de exposición a procesos volcánicos para El Arenal es muy bajo.

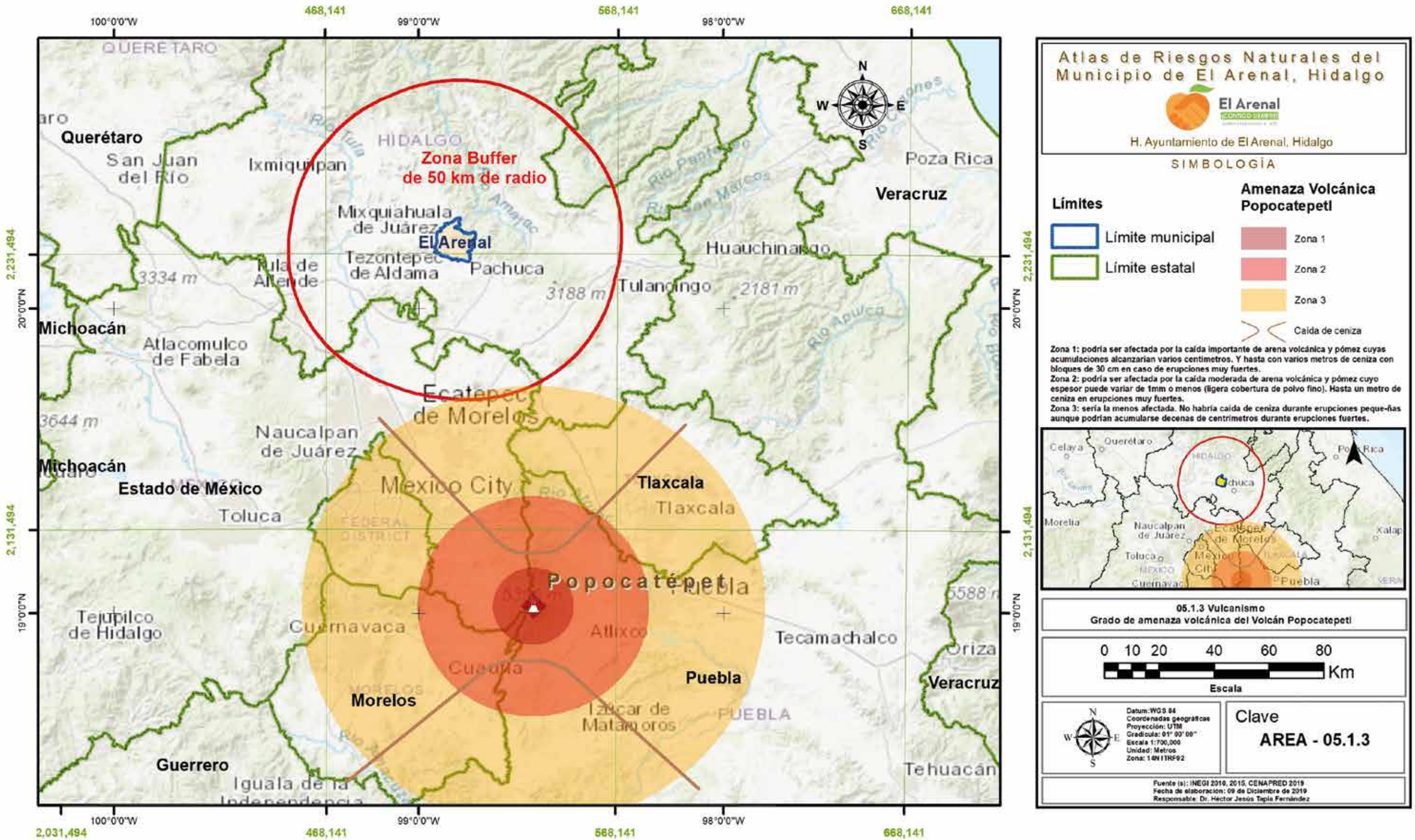
Sin embargo, se sugiere como medida de prevención, la construcción de viviendas con tejados inclinados o semiesféricos que eviten la acumulación de cenizas y piroclastos pequeños, de esta manera se evita el colapso del tejado debido al peso de los materiales. Además, es preciso que se dé seguimiento a la actividad volcánica y se confeccionen mapas de acción y mitigación que sean útiles a la dirección de Protección Civil.

Vulcanismo dentro del Estado de Hidalgo					
Volcán	Tipo	Rocas	Distancia al municipio (km)	IEV	Última erupción
Mezquital	Caldera	Andesita	14	Desconocido	24 Ma
Huichapan-Don Guinyó	Caldera resurgente	Riolita, Andesita, Dacita	65	Desconocido	4.2 Ma
La Paila	Escudo	Andesita, Basalto	62	Desconocido	0.8 Ma
Las Navajas	Estratovolcán	Riolita	41	3	2 Ma
Chichicuautla	Caldera	Andesita	60	Desconocido	13.4 Ma
Tulancingo	Caldera	Riolita	80	Desconocido	3 Ma
Acoculco	Caldera anidada	Riolita	90	Desconocido	1.3 Ma
Apan-Tepeapulco	Campo volcánico	Basalto, Riolita	57	Desconocido	0.2 Ma
Vulcanismo fuera del Estado de Hidalgo					
Volcán	**Tipo**	**Rocas**	**Distancia al municipio (km)**	**IEV**	**Última erupción**
Jocotitlán	Estratovolcán	Dacita	94	4	12 mil años
Popocatepetl	Estratovolcán	Andesita	135	4	Desde hace 26 años
Iztaccíhuatl	Complejo volcánico	Andesita	122	Desconocido	80 mil años
Telapón	Estratovolcán	Andesita, Dacita	95	Desconocido	0.34 Ma
Tláloc	Campo volcánico	Dacita	90	Desconocido	18 mil años
Nevado de Toluca	Estratovolcán	Riolita	155	3	3 mil años

Tabla 29. Ubicación relativa del vulcanismo respecto al municipio. IEV=Índice de explosividad volcánica.



Mapa 22. Vulcanismo. Grado de amenaza por flujos de lava, lahares y flujos piroclásticos.



Mapa 23. Vulcanismo. Grado de amenaza volcánica del volcán Popocatépetl.

5.1.2 Sismos

La corteza terrestre se encuentra conformada por grandes fragmentos poco deformables y rígidos llamados placas tectónicas, que son arrastradas por corrientes de convección producidos en el manto, lo que produce que las placas se muevan unas con respecto a otras. Cuando estos movimientos relativos son resistidos por fricción y se dan vencimientos, se originan sismos o temblores. Los movimientos relativos que se dan entre las placas tectónicas pueden alcanzar varios centímetros al año y derivan en los siguientes tipos:

a. De fallamientos: causan sismos débiles que generalmente ocurren lejos de zonas pobladas.

b. De desplazamiento horizontal relativo: tienen lugar en las llamadas fallas transformantes (la falla de San Andrés).

c. De subducción: se presentan donde una placa de naturaleza más densa (generalmente la corteza que se encuentra debajo de los océanos) se dobla y penetra debajo de otra.

En México, los sismos de desplazamiento vertical se producen en la península de Baja California y en los estados de Sonora y Sinaloa, donde predominan fallas transformantes que forman parte del sistema de San Andrés. Este sistema de fallas se origina en el estado de California (EE. UU.) y continúa hasta el golfo de California.

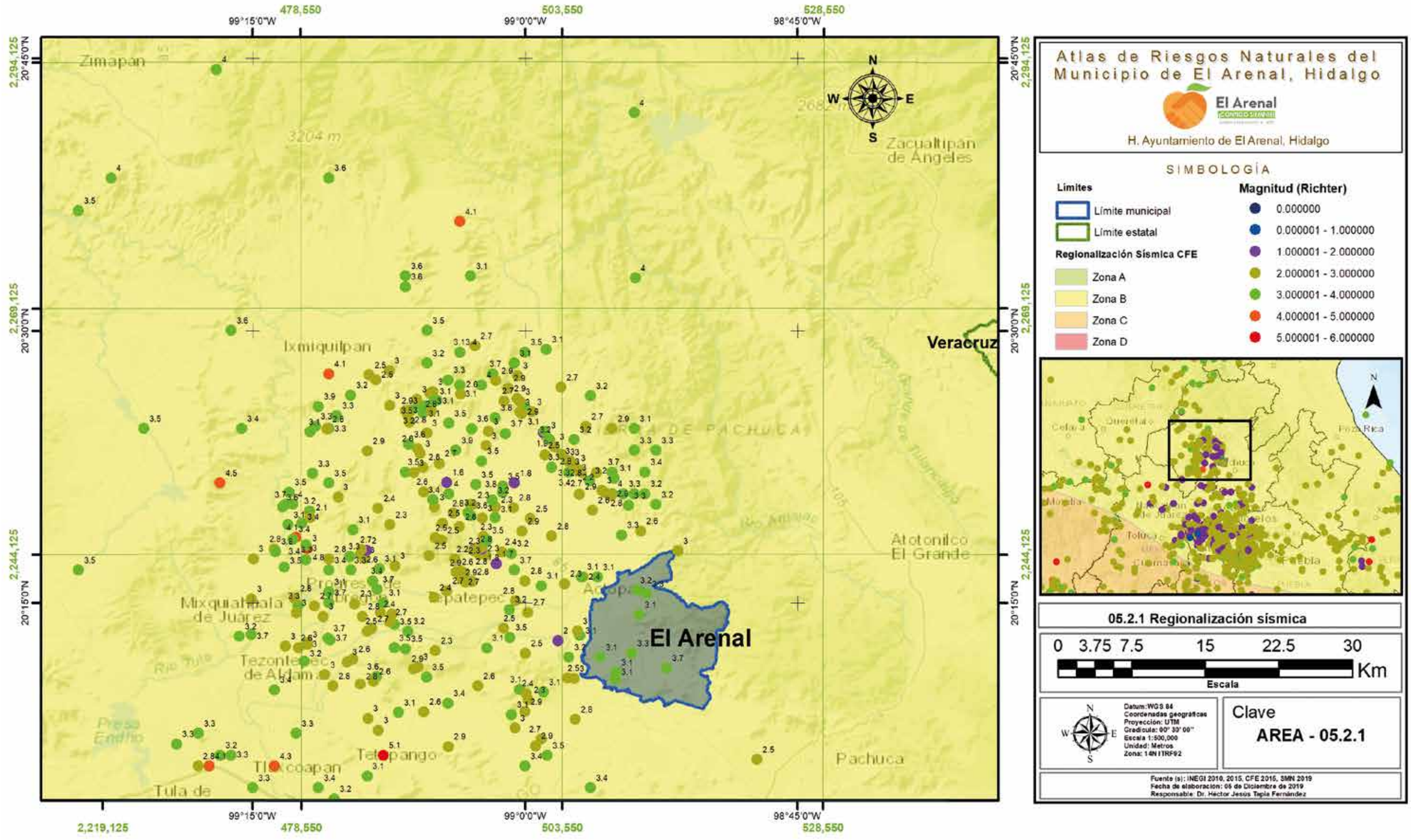
Los sismos de subducción se presentan desde Colima hasta Oaxaca, donde las placas de Rivera y Cocos subducen bajo la placa de Norteamérica (la placa Rivera presenta forma triangular y se halla al NW Noroeste de la placa de Cocos, aunque se desplaza con velocidad diferente de ésta última, y en muchos mapas se la muestra como parte de ella). Estas formaciones constituyen la trinchera mesoamericana. Frente a las costas del Istmo de Tehuantepec y Chiapas, la placa de Cocos subduce a la placa del Caribe, produciendo sismos en estas áreas. En la zona limítrofe entre México y Guatemala se produce un movimiento horizontal entre la placa de Norteamérica y la placa del Caribe, conocido como sistema de fallas Polochic-Motagua, el cual produce sismos que afectan a los estados de Chiapas y Tabasco.

Figura 11. Placas tectónicas de México

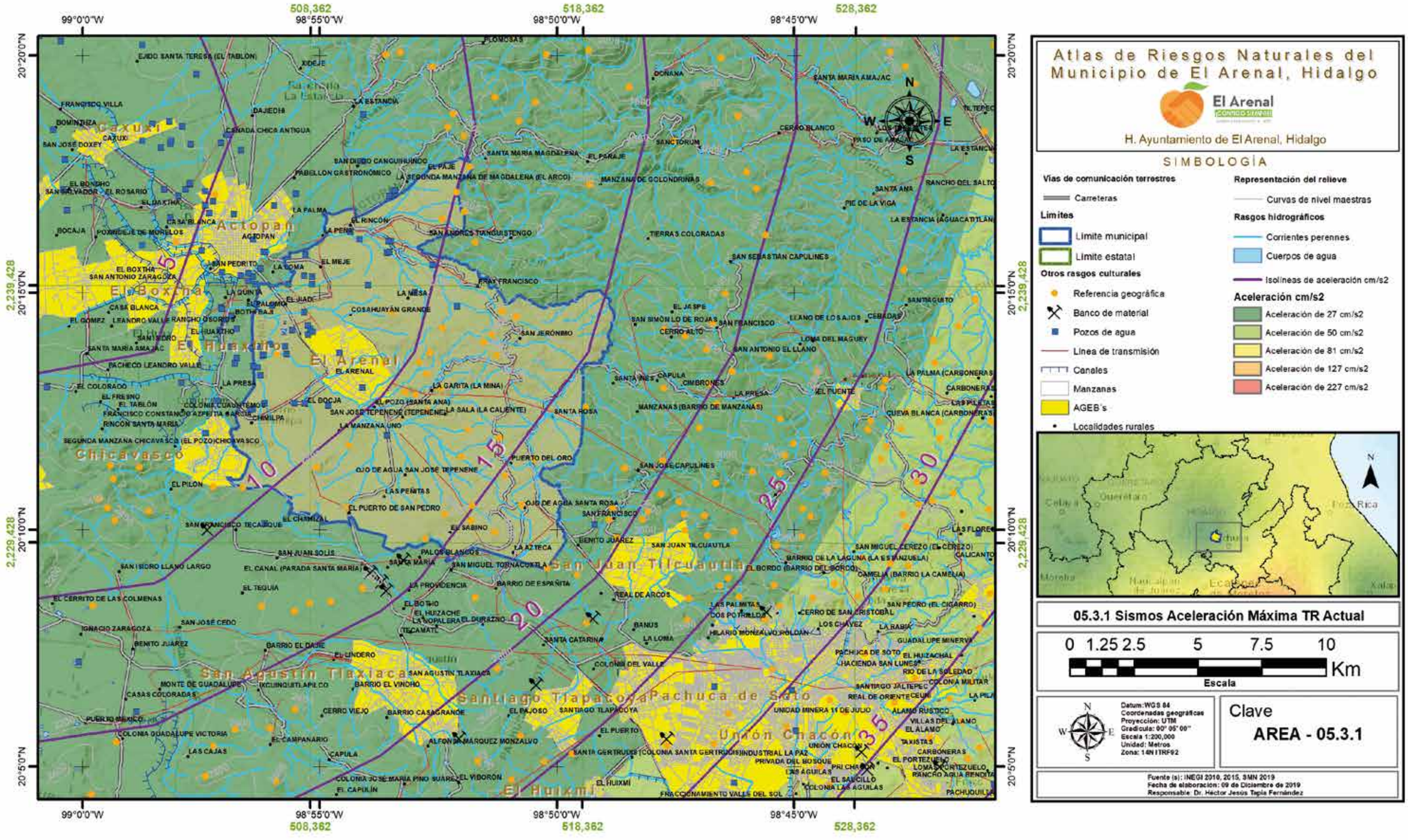
En el estado de Hidalgo la sismicidad es sumamente escasa y menos perceptible respecto a estados del sur y sureste de México debido a su ubicación con respecto a la zona de colisión entre las placas de Cocos y Norteamérica. Sin embargo, la actividad tectónica en Hidalgo se concentra debido a la presencia de la Faja Volcánica Trans-mexicana (FVTM), la cual representa una provincia fisiográfica joven (Plioceno-Cuaternario) es decir, menor a los 5 millones de años, en donde el vulcanismo y la tectónica activa se manifiestan hasta la actualidad.

El análisis del peligro sísmico se realizó con base en la ubicación geográfica del municipio El Arenal con respecto a la Regionalización Sísmica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), de lo cual se obtuvo que el municipio pertenece a la Zona B, donde la amenaza sísmica está condicionada a sismos de menor frecuencia y aceleración del terreno menor a 70%, y por lo tanto el peligro ve de bajo a muy bajo. Con interpolaciones de datos sísmicos de estaciones del Servicio Sismológico Nacional (SSN) se ha determinado que la aceleración máxima del terreno esperada para periodos de retorno de 10, 100 y 500 años es de 9, 61 y 92 cm/s², respectivamente. Los datos establecidos en el Mapa Global de Riesgo Sísmico del GSHAP (Giardini, 1999) la aceleración máxima del terreno que se espera para el municipio es de 80 a 160 cm/s², con una probabilidad del 10% de excedencia con un tiempo de exposición de 50 años que corresponde a un periodo de retorno de 475 años, lo cual , de acuerdo con la clasificación de la Structural Engineers Association of California (SEAOC, 1995) se asume que la amenaza sísmica es muy baja (Safina, 1998; Safina et al., 2002). A pesar de ello, necesario reglamentar las construcciones civiles y gubernamentales con base en estándares internacionales de construcción sismo-resistente, ya que se pueden presentar sismos atípicos como el del 19 de septiembre de 2017, que afectó grandes extensiones del centro-sur del país.

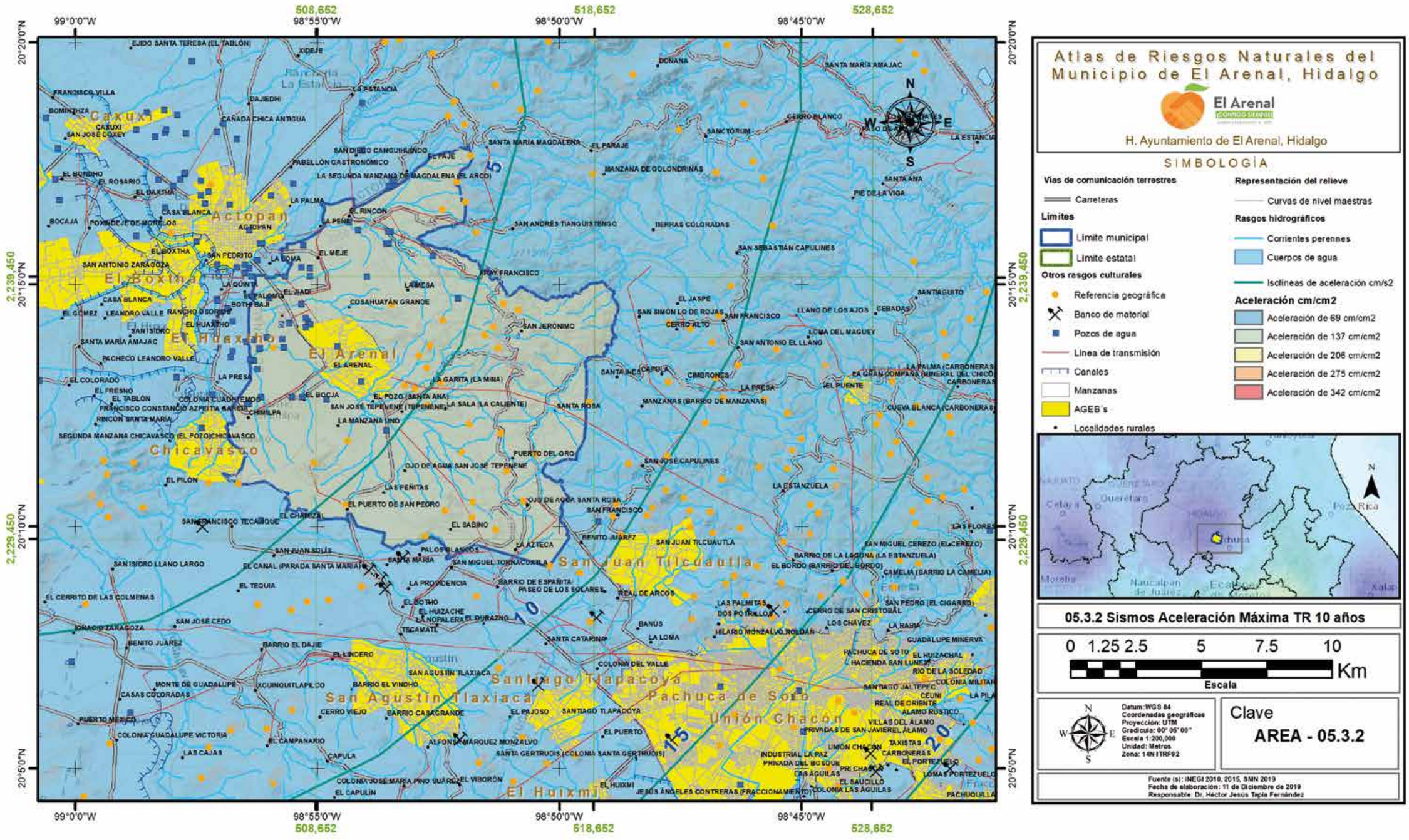
Posteriormente, se analizaron los antecedentes históricos de epicentros de la base de datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN), que nos permiten confirmar que El Arenal se ubica en una zona de peligro sísmico sumamente bajo. Cabe destacar que el epicentro con mayor intensidad más cercano al municipio de El Arenal se ubicó al suroeste al menos a 25 km cerca de Tetepango, y tuvo 5.1 grados en la escala de Richter. Los sismos registrados dentro de la demarcación municipal han sido de muy baja intensidad con registros de entre 3.1 y 3.7 grados en la escala de Richter. Sin embargo, no se descarta la amenaza sísmica por efecto de sismos tectónicos profundos cercanos a la costa del Pacífico asociados a la subducción de la Placa de Cocos o eventos extraordinarios como el 19 de septiembre de 2017.



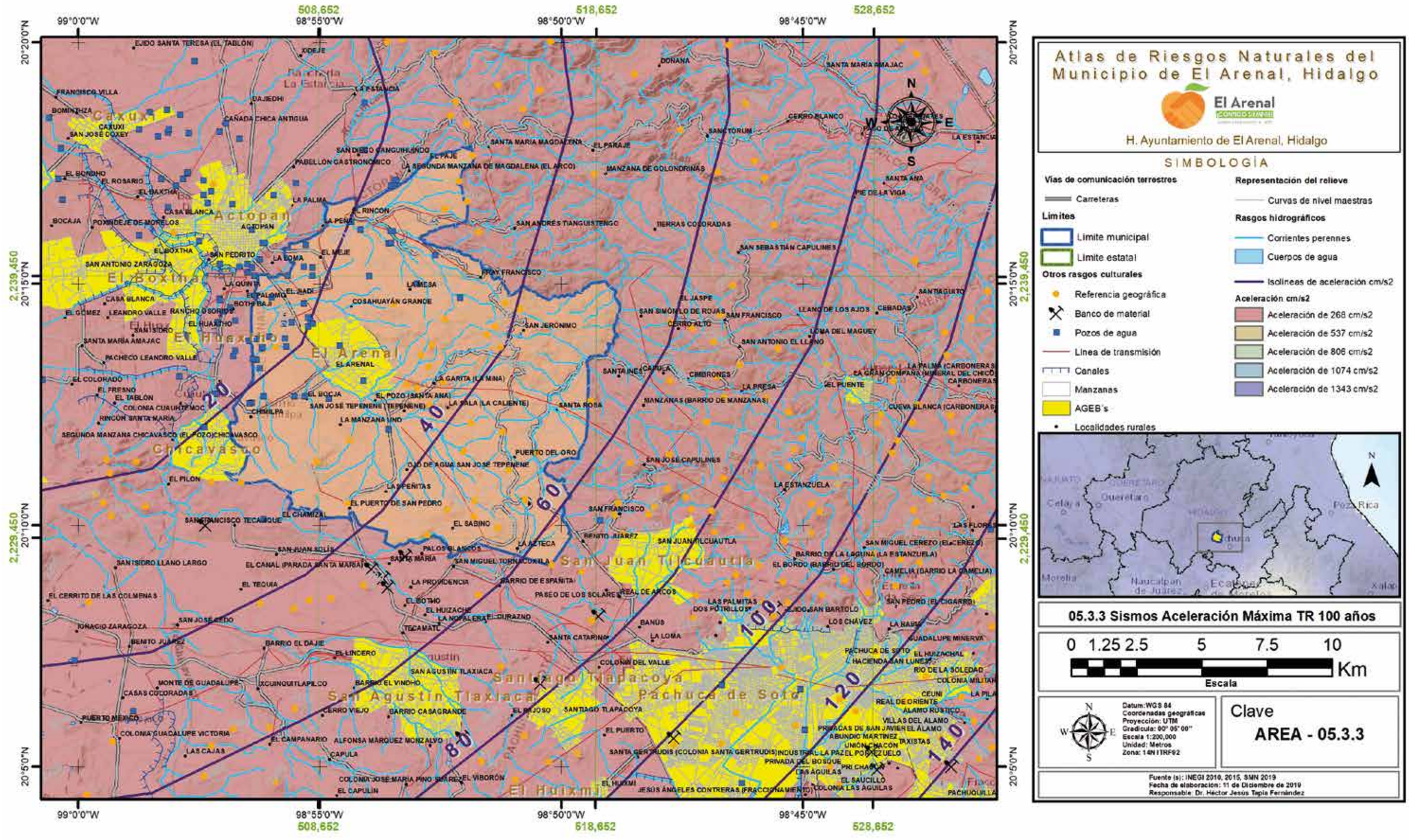
Mapa 24. Regionalización sísmica.



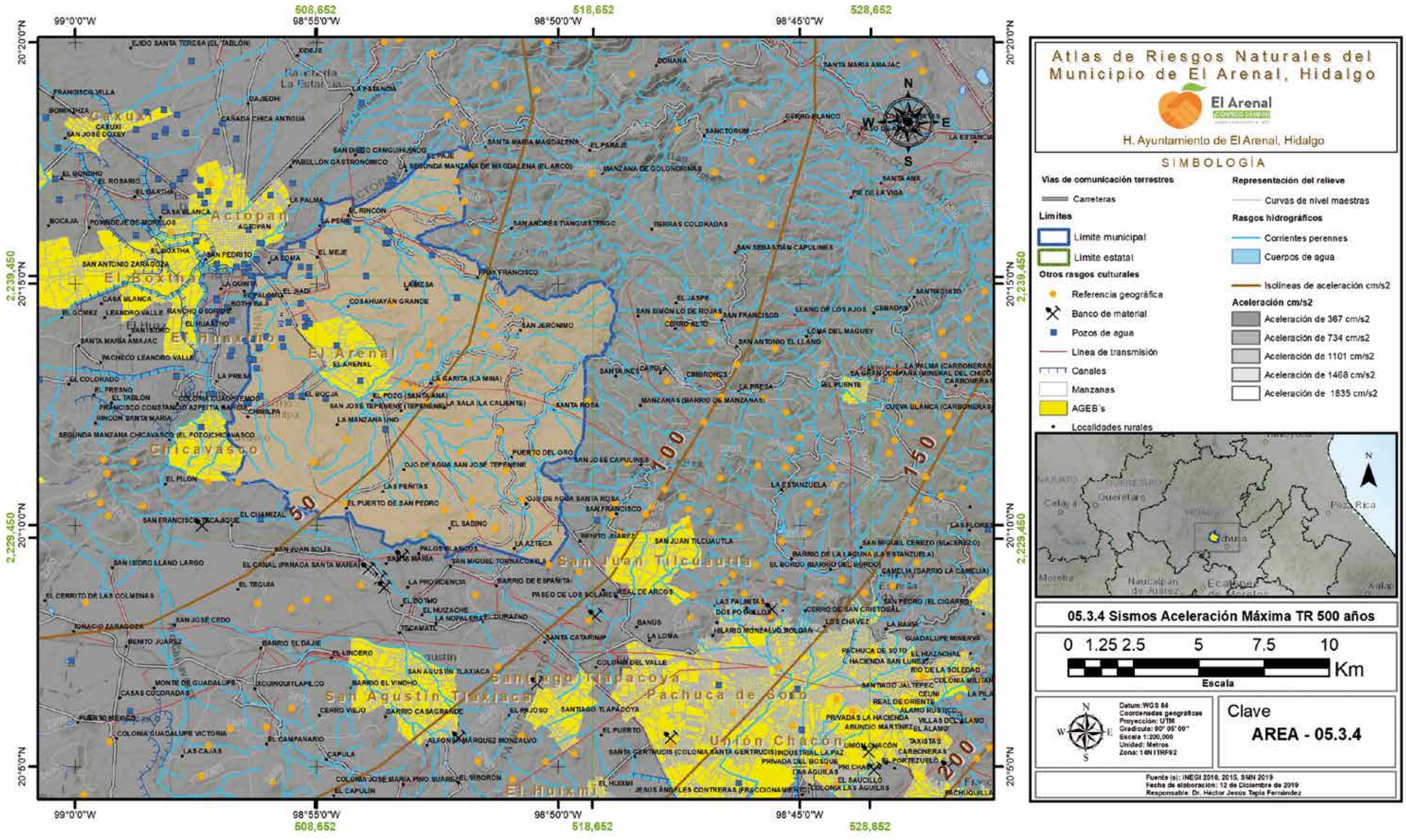
Mapa 25. Aceleración máxima de sismos (TR actual).



Mapa 26. Aceleración máxima de sismos (TR 10 años).



Mapa 27. Aceleración máxima de sismos (TR 100 años).



Mapa 28. Aceleración máxima de sismos (TR 500 años).

5.1.3 Tsunamis

El término tsunami es un vocablo de origen japonés que describe un fenómeno que en español se conoce como maremoto. Éste consiste en una secuencia de olas que se generan cerca o en el fondo del océano, ocurre un terremoto debido a una ruptura de la corteza oceánica por deslizamientos submarinos o por la fricción que se genera en las zonas de subducción (tectónicos). Estas olas tienen la particularidad de arribar a la costa gran altura y debido a ello pueden provocar efectos destructivos en la infraestructura costera, pérdida de viviendas y la muerte de personas.

Cabe mencionar que los tsunamis de origen sísmico se clasifican en locales, regionales y lejanos o transoceánicos. Los tsunamis locales provocan una inundación que generalmente queda confinada a lo largo de la costa y es cercana el área afectada por el terremoto que lo genera; a veces puede alcanzar distancias de hasta 100 km afectando zonas aledañas al área cercana al epicentro. Los tsunamis regionales son capaces de causar destrucción a distancias de hasta más de 1000 km desde el epicentro, con un tiempo de arribo a las costas un lapso de entre 2 y 3 horas desde su origen. Los tsunamis lejanos o transoceánicos son los que se originan en la margen occidental del Océano Pacífico y tardan entre 8 y 12 horas para llegar a las costas de Pacífico mexicano. Los tsunamis de origen lejano para México pueden causar daños considerables en a lo largo de toda la costa del Pacífico (desde Baja California hasta Chiapas) cuando el terremoto que los origina es de gran magnitud (9 a 9.5 de magnitud).

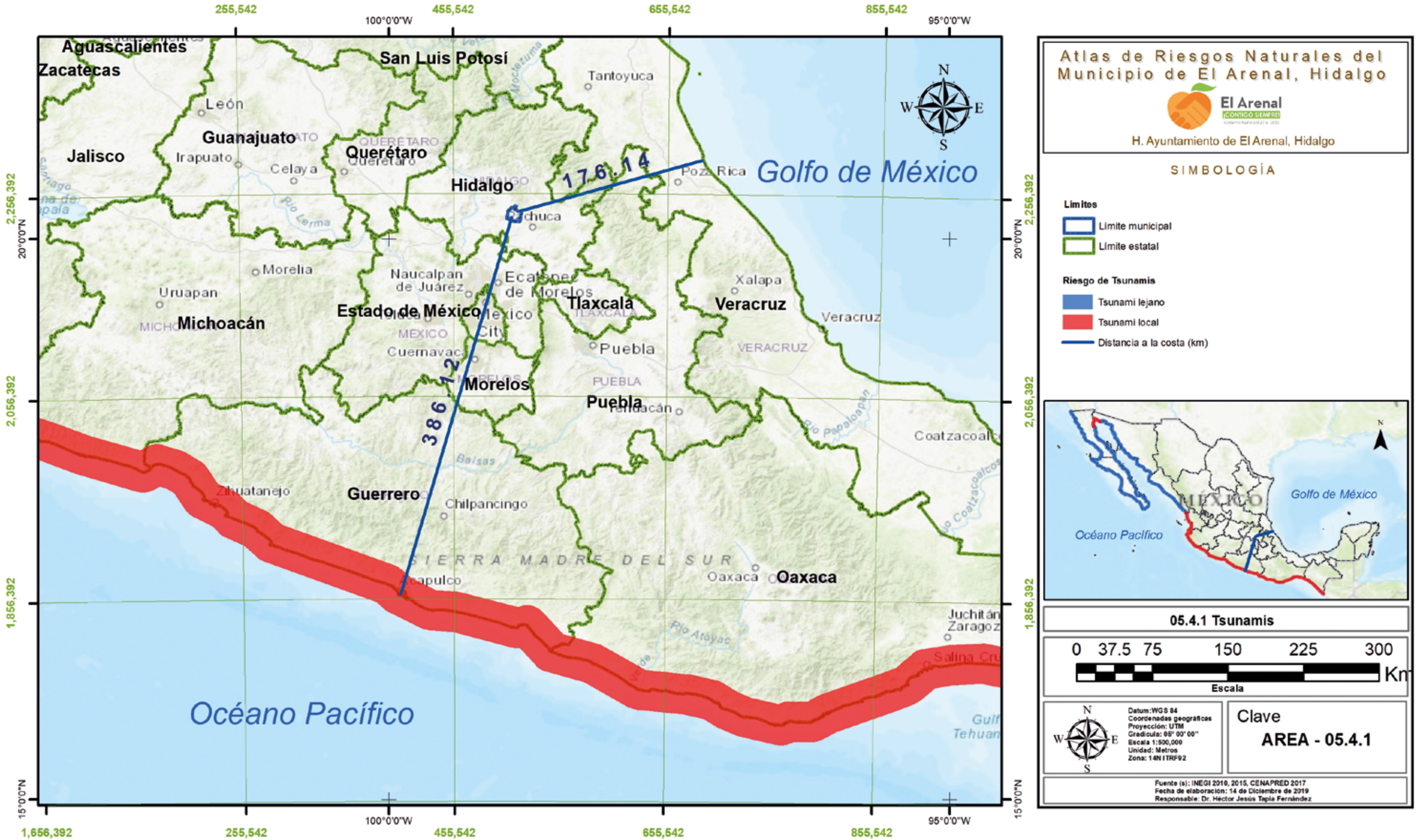
Núñez-Cornú et al. (2008) señalan que se han registrado al menos 60 tsunamis en las costas mexicanas durante los últimos 250 años. Los tsunamis de origen lejano han presentado olas de 2.5 m de altura, y los de origen local han tenido olas de aproximadamente 5 m y, de manera excepcional, hasta 10 m de altura, provocando la pérdida de vidas y bienes y la destrucción de comunidades. De acuerdo con el Centro de Alerta de Tsunami de la Secretaría de Marina (2013), el ultimo tsunami registrado en el Pacífico mexicano fue el 21 de enero de 2003en las costas de Cuyutlán, en el municipio de Armería del estado de Colima. Este tsunami se originó 12 minutos después de un sismo, pero no tuvo graves consecuencias. Por otra parte, uno de los tsunamis más devastadores se registró en la misma localidad el 3 de Junio de 1932 después de un gran terremoto de magnitud 8.2 en la escala de Richter (Okal y Borrero, 2011).

Lugar	Fecha	Escala de magnitud	Altura del oleaje	Efectos en las costas mexicanas
Chile	22/05/1960	9.5	8 m	Escaso
Indonesia	27/12/2004	9.3	30 m	Escaso
Chile	27/02/2010	8.8	5 m	Escaso
Japón	11/03/2011	9.2	4 m	Moderado
Indonesia	28/09/2018	7.5	11 m	Escaso

Tabla 30. Sismos más fuertes que han afectado al Océano Pacífico y producido tsunamis.

La mayoría de los tsunamis se originan por los terremotos que suceden en el Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, a lo largo de las zonas de subducción de los bordes de las placas tectónicas, aunque históricamente se han presentado escasos sismos que produjeran tsunamis lejanos (Tabla 30). En México, el mayor riesgo son los tsunamis locales generados por terremotos en la Fosa Mesoamericana, que es la zona de hundimiento de las placas de Cocos y de Rivera bajo la placa de Norteamérica, adyacente a la costa occidental de México frente a la costa, que se extiende desde Jalisco hasta Chiapas (Centro de Alerta de Tsunami Semar, 2012).

Los estados que pudieran ser afectados directamente por tsunamis son: Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, los cuales se encuentran expuestos a tsunamis locales y lejanos, mientras que Baja California, Sonora y Sinaloa, están expuestos a tsunamis lejanos y regionales (Centro de Alerta de Tsunami Semar, 2012). En el caso del municipio de El Arenal, la amenaza por tsunamis es nula debido a que se encuentra a una distancia de aproximadamente 386.12 km en línea recta a las costas del pacifico mexicano.



Mapa 29. Tsunamis.

5.1.4 Inestabilidad de laderas

La inestabilidad de laderas, movimientos en masa o procesos gravitacionales son parte de la dinámica natural de la superficie terrestre y, aunados a la erosión y el intemperismo, constituyen los procesos que contribuyen a la formación del relieve y sus geoformas, en sentido opuesto a los procesos de depósito y sedimentación (Rubiano-Vargas y Ramírez-Cortés, 2009). Su origen obedece a procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la superficie terrestre y en la interfaz con la hidrósfera y la atmósfera. Cruden (1991) los define como el movimiento de una masa de roca, detritos o tierra a lo largo de una ladera por efecto de la gravedad. Varnes (1978) los clasifica en: caídas o desprendimiento, volcaduras, deslizamientos, desprendimientos o extensiones laterales y flujos y movimientos complejos.

En esta clase de riesgo se hace referencia al movimiento que existe en una porción del terreno o talud pendiente abajo, donde los fragmentos de roca y vegetación que se encuentra dentro de una masa terrosa se desplazan de manera violenta, de manera que el flujo siempre estará influenciado por la gravedad, de modo que se presentarán variaciones en la velocidad (rápido o lento) y en la temperatura (seca o húmeda) Generalmente estos son más comunes en los flancos de una montaña, barranca o a lo largo de una superficie de contacto de falla.

La estabilidad de una ladera depende de factores internos o factores condicionantes (litología, hidrología, estructuras, discontinuidades, uso de suelo, etc.) y los factores externos o detonantes (lluvias, sismos, actividad volcánica y actividad antrópica), ambos factores se encuentran relacionados directamente con las propiedades físicas del terreno (Terzaghi, 1950; Selby, 1993; Hauser, 1993; Rubiano-Vargas y Ramírez-Cortés, 2009).

Las causas externas son aquellas que producen un incremento en la tensión o esfuerzos dentro del subsuelo, pero no en la resistencia de los materiales que lo componen; mientras las causas internas disminuyen la resistencia de los materiales sin modificar la tensión o esfuerzos. Entre los cambios de tipo externo más importantes se encuentran los cambios geométricos o de carga que sufren las laderas (como resultado de erosión, socavamiento, incisión de un rio, excavaciones artificiales, cargas y descargas), las tensiones transitorias naturales y artificiales a las que son expuestas (sismos, vibraciones por explosiones o uso de maquinaria pesada) y los cambios en el régimen hidrológico (intensidad y duración de las precipitaciones, entre otros). Los principales cambios de tipo interno se relacionan con la transformación de los materiales a través de movimientos progresivos (por expansión lateral, fracturas, entre otros), procesos de intemperismo y erosión. Highland y Bobrowsky (2008) agrupan los factores condicionantes y detonantes en geológicos, físicos (detonantes), morfológicos y antrópicos.

Geológico	Físico	Geomorfológico	Antrópico
Materiales débiles	Precipitación intensa	Levantamientos tectónicos o volcánicos	Excavación de la ladera o al pie de la ladera
Materiales sensibles	Derretimiento rápido de nieve o hielo	Erosión glacial	Incremento de peso en la ladera
Materiales intemperizados	Eventos de precipitación extraordinarios	Erosión fluvial a pie de ladera	Desecación de cuerpos de agua (presas)
Materiales cizallados	Actividad sísmica	Erosión marina en litoral rocoso y arenoso	Deforestación
Materiales fisurados con diaclasas	Erupciones volcánicas	Erosión glacial	Irrigación
Discontinuidades orientadas (esquistosidad, estratificación)	Gelifracción	Erosión subterránea (karsticidad)	Actividad minera
Discontinuidades estructurales (fallas, fracturas, discordancias, contactos)	Expansión e hidratación de arcillas (expansión-contracción)	Remoción de la vegetación	Vibraciones artificiales
Permeabilidad (nivel freático)	Inundaciones		Perforaciones
Contraste en la competencia de materiales (diferente plasticidad)			Fugas en el servicio de abastecimiento de agua potable

Tabla 31. Causas y mecanismos que desencadenan los procesos gravitacionales. **Fuente:** Brundsen, 1984; Crozier 1986; Cruden y Varnes, 1996; Highland y Bobrowsky, 2008.

Fallas y fracturas: las fallas geológicas en El Arenal se encuentran ubicadas en la Sierra de Actopan y son: Falla Capula-Arévalo poniente, Falla La Trinidad y la Falla Santa Cruz, que presentan una dirección preferencial E-W Este-Oeste y afectan a las localidades de La Garita, La Sala y El Cerrito, dentro de la zona mineralizada de San José Tepenené. La Falla El Colmillo afecta a la comunidad de Cosahuayán Grande, mientras que la Falla Ernestina, Falla La Palma II, Falla Santo Niño, Falla Cimbrones y Falla Manzana II afectan a la zona mineralizada de Santa Rosa (SGM, 2008).

La deformación en la región de la Sierra de Actopan solo se aprecia en el régimen frágil, donde se presentan varios sistemas que muchas veces son contemporáneos. El primero y más importante es de rumbo preferencial Noroeste-Sureste, representado por las fallas Capula-Arévalo poniente, La Trinidad entre las más grandes, a este sistema se asocian las principales estructuras mineralizadas (Au, Ag), presenta variaciones hacia el Este-Oeste de tipo normal y componente lateral formando grandes escarpes de pendiente muy pronunciada en la zona de La Garita y La Sala, presenta reactivaciones originadas por un cambio en el régimen de esfuerzos durante el Mioceno Tardío.

El segundo régimen de deformación frágil lo comprenden las fallas con rumbo Norte-Sur. Una red de labores subterráneas en el distrito minero de Pachuca-Real del Monte en la zona mineralizada de Santa Rosa, ha facilitado el estudio del movimiento a lo largo de estas fallas, aparentemente más recientes que el sistema Este-Oeste, ya que no contienen diques. Es probable que los fallamientos normales se hayan repetido durante el Cenozoico, si se considera que los echados de las rocas más jóvenes son progresivamente menos acentuados hacia la parte superior de la sección, y parece ser que el vulcanismo Plio-cuaternario se asocia a estos fallamientos (como en los volcanes de escoria de La Cantera, El Colorado, así como el domo El Picacho (Segerstrom,1962). En el distrito minero de Pachuca-Real del Monte las fallas y fracturas están orientadas en dirección preferencial Noroeste-Suroeste (lineamientos del graben Tizayuca-Pachuca).

5.1.4.1 Análisis de los factores que influyen en la susceptibilidad a movimientos de ladera

Con base en la selección de los factores condicionantes que producen un movimiento gravitacional se asignan pesos o ponderaciones en función de su influencia relativa en la inestabilidad. Posteriormente, se determina analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de Saaty (1980). Con este método se crea primero una matriz cuadrada en la que el número de filas y columnas viene definido por el número de factores de inestabilidad: a cada elemento de la matriz se le asigna un peso que es un valor en el cual se representa la importancia relativa del factor de su fila con respec-

to al de su columna en cuanto a una posible inestabilidad. Los factores y/o variables que se consideraron para determinar la susceptibilidad por movimientos en masa fueron el uso de suelo y vegetación, pendiente, geología (tipo de roca) y edafología.

Inclinación de la pendiente: la pendiente constituye un factor muy importante en la evaluación para el análisis de susceptibilidad a los movimientos gravitacionales. Para llevar a cabo el análisis de susceptibilidad, se consideraron cinco rangos o grados de pendiente: llanuras (< 1°), laderas con suave pendiente (1 a 5°), pendientes moderadas (5 a 15°), pendientes fuertes (15 a 25°), pendientes escarpadas (25 a 45°) y pendientes muy escarpadas (>45°). Además, en términos de susceptibilidad, las pendientes que son escarpadas y muy escarpadas son donde mayoritariamente ocurren los procesos de remoción en masa, deslizamientos, caída de rocas y erosión tanto hídrica como eólica.

Pendiente	Susceptibilidad		Descripción
Grados	Índice	Grado	
<1°	1	Muy bajo a nulo	Poco susceptible a movimientos en masa, pero es afectado por eventos originados en las zonas de mayor pendiente.
1° a 5°	2	Bajo	Afectados por acumulación de material transportado por flujos de detritos.
15° a 25°	3	Medio	Susceptible a reptación y agrietamientos.
25° 45°	4	Alto	Susceptible a movimientos rotacionales y traslacionales, caída de roca, avalancha y flujo de detritos, erosión hídrica y eólica.
>45°	5	Muy alto	Susceptible a avalancha de rocas, caída de roca, deslizamientos rotacionales, asociados a sismos o taludes en carretera.

Tabla 32. Susceptibilidad a movimientos en masa por la inclinación de la pendiente.

Geomorfología: la disección vertical es un parámetro geomorfológico que representa la amplitud del relieve (altura relativa) por unidad de área y se expresa en m/km². Sirve principalmente para definir algunos tipos de relieves (tales como montañas, lomeríos, planicies, planicies onduladas y planicies subhorizontales), además de que ofrece información sobre la energía del relieve. Con base en lo anterior, para El Arenal se definieron las siguientes topoformas primarias: 1) llanura aluvial de piso rocoso, 2) sierra alta de laderas convexas, 3) sierra volcánica con estratovolcanes, 4) sierra volcánica de laderas escarpadas, 5) sierra volcánica de laderas tendidas.

Uso de suelo y vegetación: con base en la cobertura del suelo se determinó que las áreas deforestadas, las áreas sin vegetación aparente, pastizales y agricultura de temporal son las más susceptibles a sufrir procesos gravitacionales, mientras que los bosques de encino y los bosques de pino y coníferas son los menos susceptibles.

Distancia del drenaje: la ubicación de la red de drenaje superficial considera la susceptibilidad de acumulación de humedad en el suelo y se determina con base en la dirección y acumulación de flujos.

Forma de la pendiente: en términos de susceptibilidad, la forma de la pendiente permite definir áreas de captación específica lo cual condiciona, junto a la dirección y acumulación de flujos, el grado de humedad del suelo, sin considerar la capacidad de retención de humedad, permeabilidad y percolación del suelo.

Tipos de roca: La determinación de la susceptibilidad de las rocas es sumamente compleja y está definida por la agrupación de diferentes tipos de rocas en formaciones geológicas, que condicionan su competencia geomecánica (discontinuidades) y resistencia (intemperismo). En ese sentido, se evaluó el tipo de material presente en el territorio municipal, el tipo de material dominante, tipo de estructuras o discontinuidades presentes, incluida la descripción de los macizos rocosos.

Distancia de fallas: se consideró la ubicación relativa de las fallas activas dentro del municipio. Las distancias *buffer* que condicionan la susceptibilidad es de 20 a 100m., donde 20 m representa la mayor susceptibilidad y 100 m la menor susceptibilidad.

Una vez obtenidos las ponderaciones de los factores se realiza la suma lineal ponderada de pesos de variables y clases, empleando la siguiente ecuación:

$$I = \sum_{j=1}^{n} W_j * X_{ij}$$

Donde:

I= Índice de susceptibilidad

Wj= Peso del factor j

Xij=Peso de la clase i del factor j (valores normalizados de cada mapa)

n= Número de factores

Susceptibilidad		Litología
Índice	Grado	
1	Muy bajo	Material aluvial, permeable, compacto y presencia de nivel freático bajo, caliza permeable, intrusivos poco fracturados y bajo nivel freático, basaltos, andesitas, ignimbrita y otras rocas sanas, permeables y poco fisuradas; rocas metamórficas sanas, poco fisuradas y bajo nivel freático. Presenta las siguientes características mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización apreciable, elevada resistencia al corte, fisuras poco alteradas y sin relleno.
2	Bajo	Rocas sedimentarias poco o nada alteradas, macizos rocosos pocos fisurados y nivel freático bajo, rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbrita, sedimentos aluviales poco compactado con matriz fina, drenaje moderado y nivel freático a profundidades intermedias. Estas rocas presentan alta resistencia al corte y cizalla.
3	Medio	Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, lavas, ignimbrita, tobas poco soldadas, rocas metamórficas como gneises y esquistos, coluvión, lahar, arena, suelos residuales levemente compactados con drenaje poco desarrollado y niveles freáticos relativamente altos. Estas rocas presentan de moderada a media resistencia al corte y fracturas importantes.
4	Alto	Sedimentos aluviales, fluvio-lacustres, piroclásticos poco compactados y sectores con alteración hidrotermal; rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos y niveles freáticos someros. Las rocas presentan resistencia al corte moderado con presencia frecuente de arcillas.
5	Muy alto	Materiales aluviales, coluviales y residuales de muy baja calidad mecánica, rocas muy alteradas, drenajes muy pobres. La resistencia de las rocas al corte resulta muy baja, se presenta matriz en gran cantidad.

Tabla 33. Matriz de susceptibilidad de las rocas y resistencia al corte.

5.1.4.2 Clasificación de los deslizamientos de ladera

Para la categorización de los distintos procesos que se dan en las laderas, se usan diferentes criterios basados en el mecanismo de ruptura y propagación de un deslizamiento que se explican a continuación.

Deslizamiento: se puede producir sobre una o varias superficies de ruptura que se encuentren bien definidas, donde la masa de roca se desplaza en conjunto, comportándose como un todo y prácticamente sin adoptar deformaciones internas durante su recorrido. La velocidad con que este evento ocurre suele ser variable pues dependerá del volumen o la cantidad de material que este transporte.

Flujo: dentro de este criterio, existen distintos movimientos que se pueden agrupar De acuerdo con la deformación interna y a la ausencia de total de una superficie de desplazamiento, este proceso se asemeja a una franja de deformación y sus rasgos más marcados se encuentran influen-

ciados por el contenido de agua y la velocidad con la que el fenómeno se desarrolla.

Los sitios que dan origen a estos movimientos están representados por lugares que contengan laderas cubiertas, material no consolidado (arcilloso). El motor principal que desencadena el proceso casi siempre será la saturación del material con agua. Los más comunes llegan a ser el movimiento de los suelos, algunas coladas de tierra o barro, flujos de derrubios o bloques rocosos.

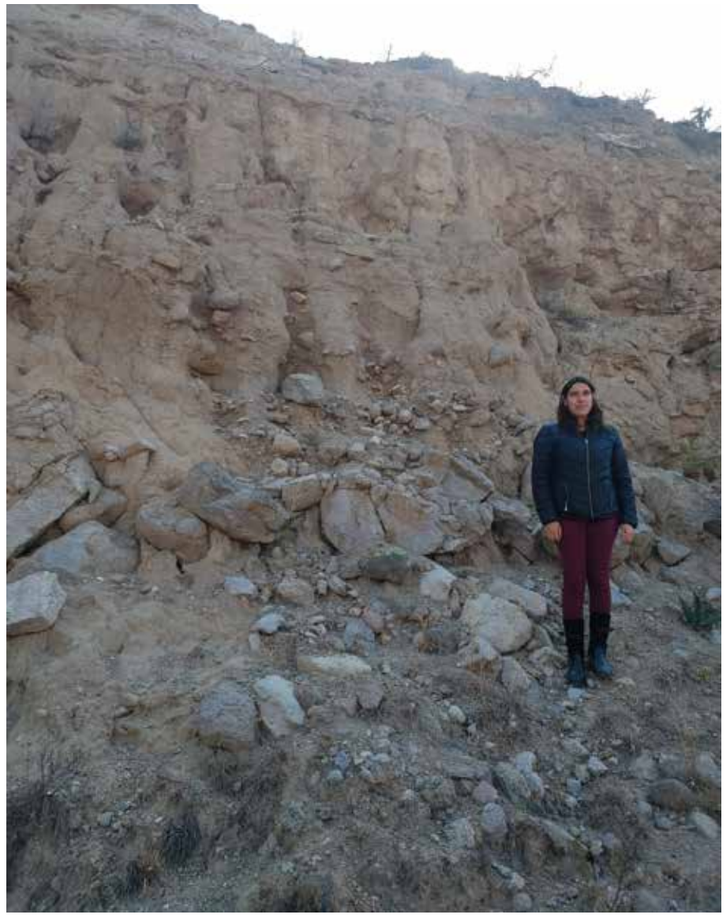


Figura 12. Depósito de avalancha de escombros, comunidad de Las Peñitas.

Figura 13. Depósito de flujo de detritos, comunidad de Fray Francisco.

Desprendimiento: es el movimiento de masas rocosas de cualquier tamaño de roca o suelo que se presentan en forma de bloques masivos aislados. El movimiento de este fenómeno gravitacional se produce principalmente en sentido vertical debido a la caída libre de fragmentos desde el macizo rocoso afectado por discontinuidades (fallas, fracturas, diaclasas). La topografía necesaria para que se presente un desprendimiento es de escarpes, acantilados y pendientes fuertes.

Figura 14. Depósito de desprendimiento de bloques de roca en matriz arenosa, comunidad de San Jerónimo.

Movimientos Complejos: estos resultan de la combinación de dos o más movimientos que normalmente alcanzan grandes tamaños que afectan parcial o totalmente a laderas completas y se conforman por un tipo de movimiento traslacional en la cabecera del derrumbe y un flujo al pie de éste.

Extensiones Laterales o Derivas: se trata de bloques de material rocoso que se desplaza lentamente de manera lateral sobre un material blando y deformable a consecuencia de la diferencia de densidades. Estos no suelen ser movimientos frecuentes, pero cuando ocurren pueden ocupar y afectar grandes extensiones.

El análisis de vulnerabilidad por deslizamientos se realizó con base en el Taller de Evaluación de Riesgos Participativo, encuestas a informantes de calidad y registros de Protección Civil, a través de los cuales se identificó que la vulnerabilidad es baja en la zona del Valle de Actopan y alta para la Sierra de Actopan.

Matriz	Litología	Pendiente	Uso de suelo	Edafología	Eigenvector	Peso
Litología	0.596191406	0.675136116	0.545576408	0.289473684	2.106377614	0.526594404
Pendiente	0.198730469	0.225045372	0.353887399	0.271929825	1.049593065	0.262398266
Uso de suelo	0.096679688	0.056261343	0.08847185	0.385964912	0.627377793	0.156844448
Edafología	0.108398438	0.043557169	0.012064343	0.052631579	0.216651528	0.054162882
					4	1

Tabla 34. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad de deslizamientos.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	1	Muy bajo	La Azteca	2	Bajo
20 de Noviembre	4	Alto	La Garita	2	Bajo
Cosahuayán Grande	4	Alto	La Manzana Uno	1	Muy bajo
El Arenal	4	Alto	La Mesa	5	Muy alto
El Bocja	1	Muy bajo	La Sala (La Caliente)	1	Muy bajo
El Jiadi	4	Alto	Las Peñitas	2	Bajo
El Meje	4	Alto	Ojo de Agua	1	Muy bajo
El Pozo (Santa Ana)	2	Bajo	Santa Rosa	4	Alto
Puerto de San Pedro	1	Muy bajo	Puerto del Oro	3	Medio

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
El Rincón	4	Alto	San Jerónimo	3	Medio
El Sabino	2	Bajo	San José Tepenené	2	Bajo
Fray Francisco	5	Muy alto			

Tabla 35. Nivel de riesgo de deslizamientos por localidad.

5.1.4.3 Caída de rocas

Los caídos son movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Este tipo de movimiento se origina por el desprendimiento del material de una superficie inclinada, el cual puede rebotar, rodar, deslizarse o fluir posteriormente cuesta abajo en la ladera. El material considerado no incluye las partículas de granulometría más pequeña que resultan del intemperismo (Corominas et al., 2004).

Estos movimientos son definidos con base en las características del material involucrado, por lo que se clasifican de manera general en: caídas o desprendimientos de roca, caídas o desprendimientos de detritos y caídas o desprendimientos de suelo. La velocidad de estos movimientos gravitacionales puede ser rápida o extremadamente rápida, a excepción de casos en los que la masa desplazada sufre socavamiento o incisión, y el desprendimiento o caída es precedido por deslizamientos o vuelcos que separan el material desplazado de la masa intacta (Cruden y Varnes, 1996). Estos movimientos ocurren en laderas con una pendiente extremadamente pronunciada, tanto de tipo natural como artificial.

Figura 15. Bloque de roca semicubierto por suelo, posiblemente producto de volcadura y/o desprendimiento (véase la casa contigua para escala, comunidad de Fray Francisco).

Figura 16. Bloques de roca semicubiertos por vegetación, comunidad de San Jerónimo.

Figura 17. Ladera cubierta por bloques de roca rodados y volcados, comunidad de Santa Rosa.

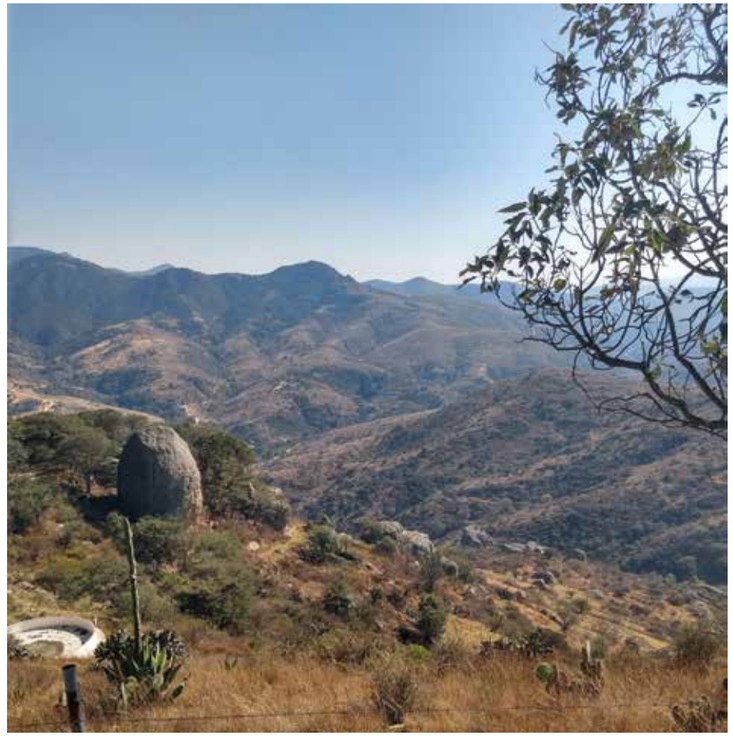


Figura 18. Bloque de roca producto de extensión lateral visiblemente fracturado, comunidad de San Jerónimo.

Matriz	Litología	Pendiente	Uso de suelo	Edafología	Eigenvector	Peso
Litología	0.131926121	0.267857143	0.222222222	0.110331126	0.732336612	0.18308415
Topoformas	0.043970976	0.089285714	0.277777778	0.094569536	0.505604005	0.12640100
Uso de suelo	0.03298153	0.017857143	0.055555556	0.132450331	0.23884456	0.05971114
Pendiente	0.791556728	0.625000000	0.444444444	0.662251656	2.523252828	0.63081321
					4	1

Tabla 36. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad a caída de rocas

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	2	Bajo	La Azteca	1	Muy bajo
20 de Noviembre	1	Muy bajo	La Garita	3	Medio
Cosahuayán Grande	2	Bajo	La Manzana Uno	2	Bajo
El Arenal	1	Muy bajo	La Mesa	3	Medio
El Bocja	2	Bajo	La Sala (La Caliente)	2	Bajo
El Jiadi	1	Muy bajo	Las Peñitas	4	Alto
El Meje	1	Muy bajo	Ojo de Agua	2	Bajo
El Pozo (Santa Ana)	1	Muy bajo	Santa Rosa	2	Bajo
Puerto de San Pedro	1	Muy bajo	Puerto del Oro	3	Medio
El Rincón	1	Muy bajo	San Jerónimo	4	Alto
El Sabino	1	Muy bajo	San José Tepenené	2	Bajo
Fray Francisco	4	Alto			

Tabla 37. Nivel de riesgo de caída de rocas por localidad para el municipio.

5.1.4.4 Hundimiento y subsidencia

Se considera un proceso gravitacional que afecta a la superficie terrestre donde predominan los movimientos en sentido vertical descendente del terreno, este ocurre predominantemente en lugares con baja o nula pendiente. El fenómeno es ocasionado por diversos factores y puede ocurrir de manera muy rápida, pero también de forma muy lenta dependiendo el mecanismo que provoque la inestabilidad del sitio.

La ocurrencia de este fenómeno se debe a diversas causas (Ibáñez, 2019). Uno de los principales factores es la geología del terreno que es influenciada por diferentes esfuerzos de tensión que pueden favorecer el colapso. Otro aspecto importante lo constituye la hidrología del lugar, ya que los cambios en el nivel freático producen que la humedad del suelo sea variable, lo que genera inestabilidad y que la susceptibilidad del terreno a un hundimiento sea más alta.

Las causas de estos colapsos implican una falla en la geología estructural que caracteriza la porción del terreno bajo en el que existe una cavidad, lo que puede ser originado por la disolución de las rocas por efecto de ambientes kársticos que lleven al límite la resistencia de los materiales. Otras causas relevantes son la sobreexplotación de acuíferos y el intemperismo físico/químico de una estructura que alberga una cavidad subterránea, lo que provoca que la estructura se debilite y finalmente genere hundimientos. La actividad minera también causa estas afectaciones ya que al generarse el abandono de una mina provoca inestabilidad en el terreno.

La apariencia de los hundimientos puede ser impresionante porque la tierra se mantiene usualmente intacto por cierto tiempo, hasta que los espacios subterráneos se hacen demasiado grandes para seguir dando suficiente apoyo a la superficie, por lo que colapsan formando estructuras denominadas dolinas. Aquellos hundimientos que alcanzan grandes extensiones se denominan “poljes”

Matriz	Fallas	Litología	Edafología	Eigenvector	Peso
Fallas	0.68627451	0.746666667	0.479452055	1.912393231	0.630785823
Litología	0.196078431	0.213333333	0.438356164	0.847767929	0.279628678
Edafología	0.117647059	0.050251256	0.103703704	0.271602019	0.089585500
				3	1

Tabla 38. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad de hundimiento y subsidencia.

En México, se han presentado hundimientos en Querétaro, Celaya, Irapuato, Torreón, Aguascalientes, Toluca, Puebla y la Ciudad de México (Waltham, 1989). En Ciudad de México, por ejemplo, debido a la extracción de agua subterránea mediante el bombeo profundo, es común observar procesos de hundimiento (subsidencia) de la infraestructura civil, en diversas alcaldías, sobre todo en las que forman parte de la planicie lacustre del antiguo lago de Texcoco (Hernández-Vergara, 1988). El fenómeno de subsidencia o hundimiento diferencial del terreno se asocia principalmente a la extracción de materiales en minas, de agua subterránea (en acuíferos someros y profundos) y de fluidos geotérmicos. Si se genera un abatimiento del nivel piezométrico en el material permeable de la zona drenada, el suelo experimentará la pérdida del efecto estabilizador del agua sobre los sólidos, lo que se traduce en un aumento del esfuerzo efectivo que variará de cero en la superficie a un valor máximo a la profundidad del nuevo nivel piezométrico. En el caso del Arenal y dadas sus características geológicas, hidrogeológicas, usos de suelo y concentración de los pozos de extracción de agua, la susceptibilidad más alta por subsidencia será en El Jiadi, El Meje, y El Rincón.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	2	Bajo	La Azteca	2	Bajo
20 de Noviembre	3	Medio	La Garita	2	Bajo
Cosahuayán Grande	3	Medio	La Manzana Uno	2	Bajo
El Arenal	3	Medio	La Mesa	3	Medio
El Bocja	2	Bajo	La Sala (La Caliente)	2	Bajo
El Jiadi	3	Medio	Las Peñitas	2	Bajo
El Meje	3	Medio	Ojo de Agua	2	Bajo
El Pozo (Santa Ana)	2	Bajo	Santa Rosa	2	Bajo
Puerto de San Pedro	1	Muy bajo	Puerto del Oro	3	Medio
El Rincón	3	Medio	San Jerónimo	2	Bajo
El Sabino	2	Bajo	San José Tepenené	2	Bajo
Fray Francisco	4	Alto			

Tabla 39. Nivel de riesgo de hundimiento subsidencia por localidad para el municipio.

5.1.4.5 Agrietamientos

Los agrietamientos presentes en la superficie de la tierra son una manifestación del desplazamiento vertical y horizontal del subsuelo por amplias zonas, que resulta del hundimiento regional debido a la extracción excesiva mediante bombeo profundo de agua subterránea. Las irregularidades del subsuelo pueden favorecer rupturas del paquete arcilloso formando grietas. Desde el punto de vista de la geomorfología, los hundimientos son un proceso que ha sido escasamente descrito en la literatura y resulta importante su análisis por el riesgo que representa para las construcciones y las superficies destinadas al cultivo, ya que las grietas pueden convertirse

en agentes que propician la erosión del suelo. Sin embargo, se considera que los factores principales para el desarrollo de los agrietamientos son:

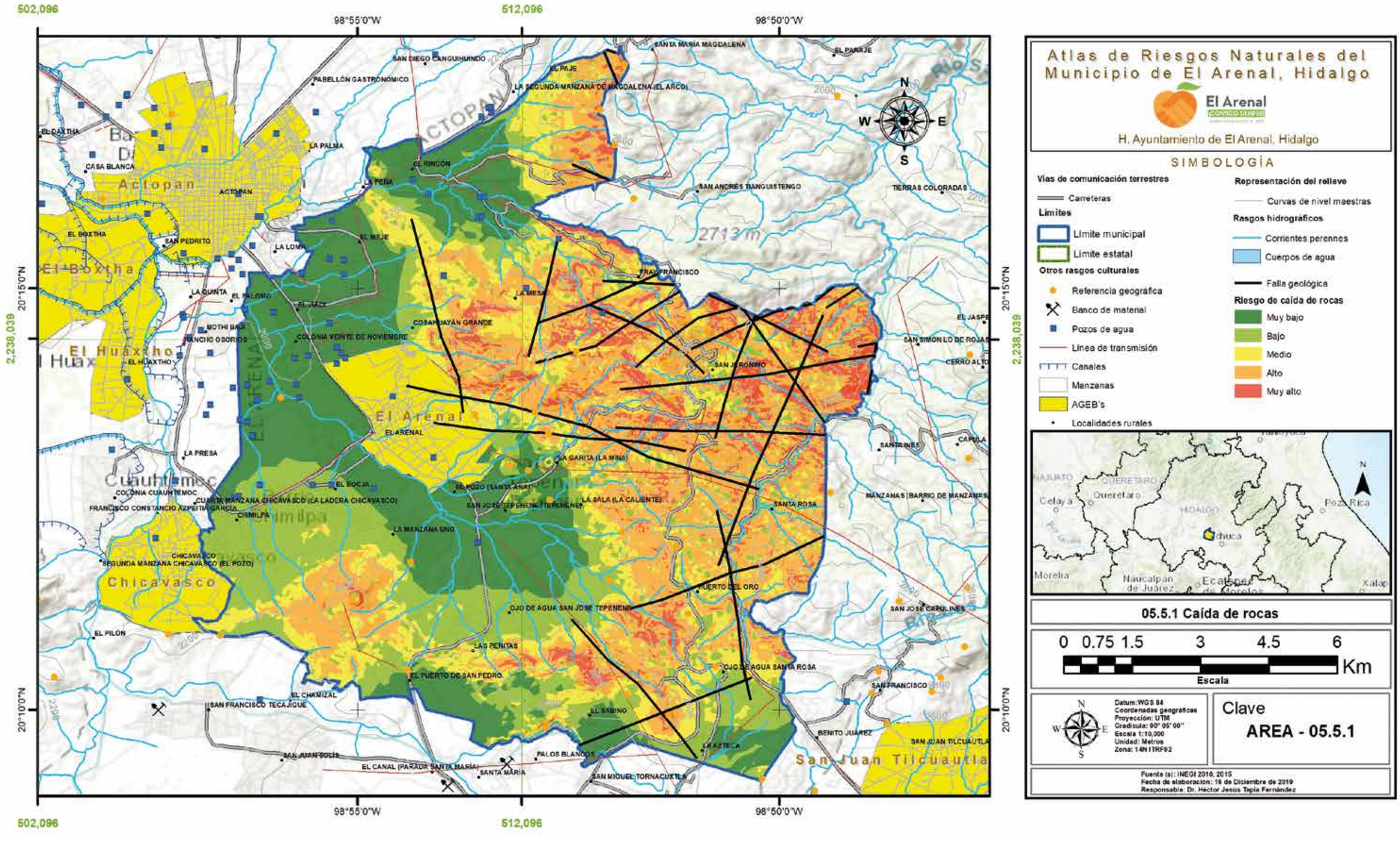
Litología: el cambio en las propiedades mecánicas del suelo, la presencia de arcillas que cambian sustancialmente en los estados húmedo y seco se traducen en hundimientos y agrietamientos. Las irregularidades del subsuelo pueden favorecer rupturas de los depósitos arcillosos.

Geología Estructural: las grietas pueden verse favorecidas por contactos litológicos que, ante un hundimiento diferencial del material menos denso (arcilla), provoquen una ruptura.

Fallas geológicas o fracturas de origen profundo: se caracterizan por la formación de escarpes.

Las fases de formación de grietas se presentan en dos etapas bien diferenciadas: en la primera etapa hay fisuras delgadas y muy pequeñas de 1 a 2 mm dentro del material arcilloso que pueden crecer gradualmente al captar el escurrimiento laminar de agua. La segunda etapa se produce con la presencia de lluvias extraordinarias que provocan la formación repentina de grietas anchas debida a la saturación del suelo. La presión da lugar a la ruptura de la capa arcillosa en un plano vertical, por tanto, la masa de tierra se desmorona y buena parte de ésta es removida por el flujo de agua (DGCOH, 1992). Posteriormente, el agua circulará de manera vertical a través de la grieta con velocidad considerable hacia la capa subyacente altamente porosa. Debido a este flujo constante, el agua continuará transportando material fino, retroalimentando el proceso. Se trata de un fenómeno típico de la sufosión que consiste en la remoción partículas finas (limos y arcillas) por el flujo superficial. La sufosión se presenta durante ambas etapas de formación de la grieta. No se trata del proceso generador de las grietas, sino, muy probablemente, del proceso que contribuye a su desarrollo, semejante a cuando una corriente superficial de agua es controlada por una falla geológica o un contacto litológico (Alberro y Hernández, 1990).

Cabe destacar que éste fenómeno se interrelaciona de manera importante con el proceso de hundimiento-subsidencia, por lo tanto, su monitoreo implica el estudio y monitoreo de los agrietamientos. Al respecto, en el municipio de El Arenal no se encontraron evidencias del desarrollo de agrietamientos ligados a procesos naturales, por lo que la amenaza no es perceptible, aunque puede existir susceptibilidad en las comunidades de El Jiaji, El Meje, Cosahuayán Grande y El Rincón por sus características geomorfológicas y geológicas.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
CONTIGO SIEMPRE

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Falla geológica

Riesgo de caída de rocas
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

05.5.1 Caída de rocas

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

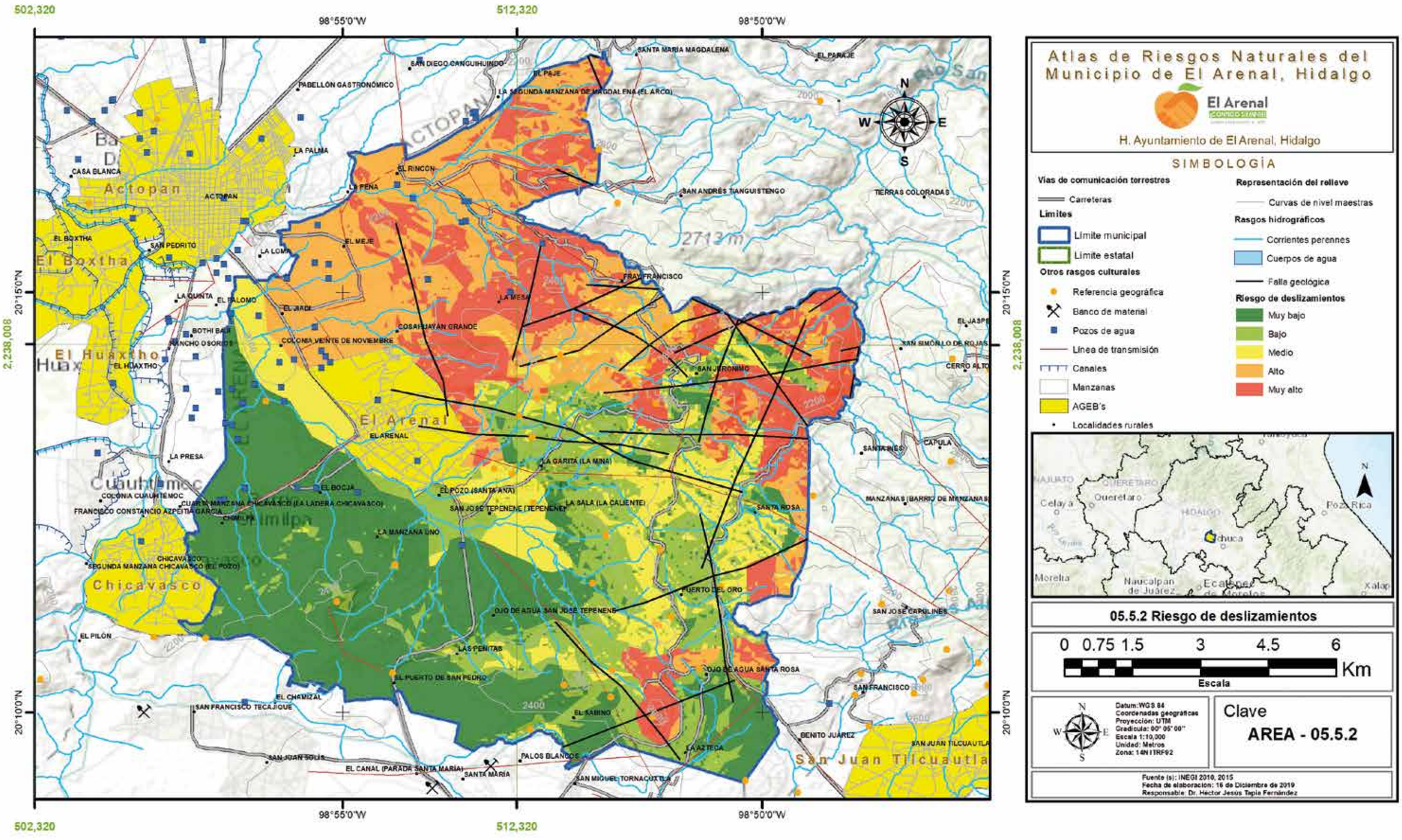
Escala

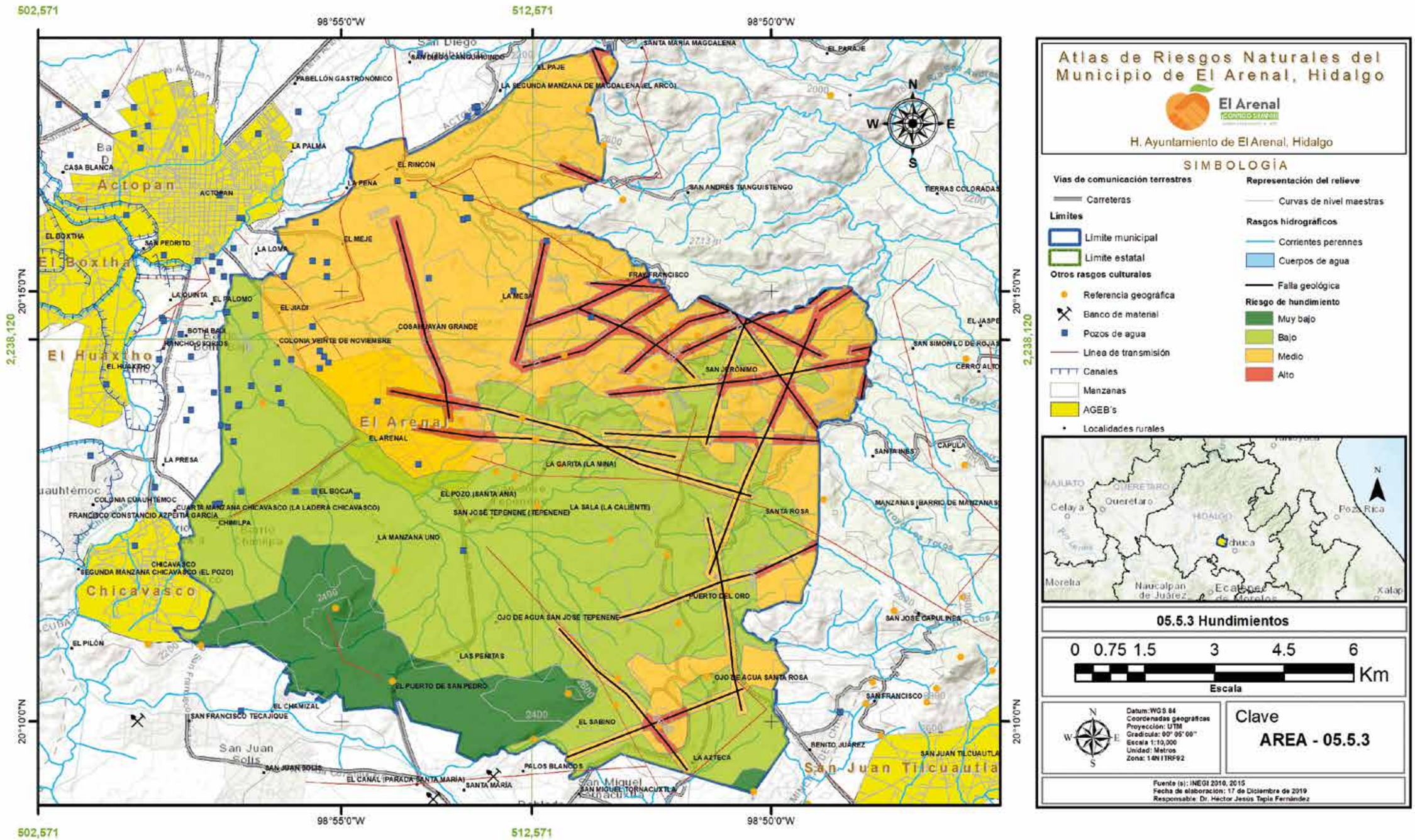
Datum: WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave
AREA - 05.5.1

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 16 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Mapa 30. Caída de rocas.


Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo
El Arenal
H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo
SIMBOLOGÍA
Vías de comunicación terrestres
Carreteras
Límites
Límite municipal
Límite estatal
Otros rasgos culturales
Referencia geográfica
Banco de material
Pozos de agua
Línea de transmisión
Canales
Manzanas
AGEB's
Localidades rurales
Representación del relieve
Curvas de nivel maestras
Rasgos hidrográficos
Corrientes perennes
Cuerpos de agua
Falla geológica
Riesgo de deslizamientos
Muy bajo
Bajo
Medio
Alto
Muy alto
05.5.2 Riesgo de deslizamientos
0 0.75 1.5 3 4.5 6
Km
Escala
Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92
Clave
AREA - 05.5.2
Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 16 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Hector Jesús Tapia Fernández
502,320
512,320
98°55'0"W
98°50'0"W
20°15'0"N
20°10'0"N
2,238,008
Actopan
El Arenal
Chicavasco
El Huaxtho
Cuauhtémoc
San Juan Tilcuautla
ACTOPAN
EL ARENAL
CHICAVASCO
EL HUAXTHO
COLONIA CUAUHTEMOC
SAN JUAN TILCUAUTLA
SAN ANDRÉS TIANGUISTENGO
SAN JOSÉ TEPENENE (TEPENENE)
SAN FRANCISCO TECAJIQUE
SAN MIGUEL TORNACUITEA
SAN JERÓNIMO
SAN FRANCISCO
SAN JOSÉ CAPULINES
SANTA MARÍA MAGDALENA
TIERRAS COLORADAS
FRAY FRANCISCO
BENITO JUÁREZ
LA AZTECA
PUERTO DEL ORO
SANTA ROSA
CAPULA
SANTA INES
MANZANAS (BARRIO DE MANZANAS)
SAN SIMÓN LO DE ROJAS
CERRO ALTO
EL JASPE
EL PARAJE
EL PAJE
LA SEGUNDA MANZANA DE MAGDALENA (EL ARCO)
PABELLÓN GASTRONÓMICO
SAN DIEGO CANGUIHUINDO
LA PALMA
CASA BLANCA
EL RINCÓN
LA PEÑA
EL MEJE
LA LOMA
EL BOXTHA
SAN PEDRITO
LA QUINTA
EL PALOMO
EL JADI
COLONIA VEINTE DE NOVIEMBRE
COSAHUAYAN GRANDE
LA MESA
BOTHI BAJI
RANCHO OSORIO
LA PRESA
EL BOCIJA
COLONIA CUAUHTEMOC
CUARTA MANZANA CHICAVASCO (LA LADERA CHICAVASCO)
FRANCISCO CONSTANCIO AZPEITIA GARCIA
CHIMILPA
LA MANZANA UNO
SEGUNDA MANZANA CHICAVASCO (EL POZO)
EL PILÓN
LAS PEÑITAS
EL PUERTO DE SAN PEDRO
EL CHAMIZAL
SAN JUAN SOLÍS
EL CANAL (PARADA SANTA MARÍA)
SANTA MARÍA
PALOS BLANCOS
EL SABINO
OJO DE AGUA SAN JOSÉ TEPENENE
OJO DE AGUA SANTA ROSA
LA GARITA (LA MINA)
EL POZO (SANTA ANA)
LA SALA (LA CALIENTE)
2713 m
2800
2600
2400
2200
2000
2600
2400
2200
2000
2400
2200
2000



Mapa 32. Hundimientos.

5.1.5 Erosión

5.1.5.1 Erosión hídrica

La erosión es un proceso natural controlado por la gravedad, a través del cual los relieves e irregularidades de la corteza terrestre se equilibran y, frecuentemente, ésta es considerada un fenómeno negativo derivado de la actividad humana. Cuando el relieve de cualquier parte de la tierra sobrepasa un valor crítico del ángulo de la pendiente (que es variable para cada tipo de roca, regolito o suelo), la presión que ejerce la gravedad es tal que supera a la fuerza de cohesión y provoca derrumbes o desprendimiento de los materiales. Conforme la pendiente disminuye, también lo hace la presión y los materiales son entonces mayoritariamente removidos por el efecto de arrastre del agua. En esta última fase, si los materiales aumentan su cohesión superficial o se protegen de la acción del agua, como ocurre cuando se desarrolla la vegetación, el proceso de rebajamiento del ángulo de la pendiente se disminuido drásticamente. Posteriormente, cualquier desequilibrio de este perfil, ya sea por una elevación del terreno derivada de la actividad tectónica, por el encajamiento de la red fluvial o por cortes en las laderas (taludes) producidas por la actividad humana, tenderá de nuevo al equilibrio convirtiéndose en una superficie de erosión activa.

Existe una diversidad de estudios al respecto de la erosión producida por la lluvia y la circulación del agua a través de laderas, pequeños cauces y ríos (Sala et al., 1991; Grove y Rackham, 2001). Aunque estos procesos suelen estar ligados entre sí, existen algunas excepciones. Así, cuando se produce escurrimiento de agua por los cauces fluviales también se está produciendo transporte de sedimentos que han sido erosionados por la lluvia aguas arriba. Al mismo tiempo, se puede producir erosión y sedimentación en el cauce aguas abajo o en el mar. Sin embargo, en otras ocasiones se producen precipitaciones intensas que causan erosión en las laderas, pero gran parte del agua y de los sedimentos quedan retenidos por la vegetación antes de circular por los cauces o sedimentan en el propio cauce fluvial.

La capacidad de las aguas fluviales de modelar el paisaje es tan grande que pueden modelar geomorfologías importantes como barrancos, ríos, cárcavas y llanuras de inundación. Aunado a lo anterior, la pérdida de suelo de las laderas por acción de la lluvia y la escorrentía tienen efectos importantes en la configuración del paisaje. A este último proceso, habitualmente conocido como erosión hídrica, es al que nos referiremos en este apartado, ya que su importancia radica en la afectación que tiene sobre un recurso de muy baja tasa de renovación que se sitúa en la base de los ecosistemas: el suelo.

Para la construcción de la matriz de riesgo de la erosión hídrica se consideraron las variables de pendiente, uso de suelo, edafología y precipitación máxima. De la experiencia acumulada se ha podido establecer para una gran amplitud de escalas espaciales, tipos de suelo, climas y vegetación que la relación entre la cobertura vegetal y la tasa de erosión hídrica se ajusta a una curva exponencial negativa (Gyssels et al., 2005). Así, para un valor de intensidad de lluvia dado, la tasa de erosión disminuye muy rápidamente con pequeños incrementos de la cobertura vegetal hasta alcanzar un punto de inflexión. A partir de este punto de inflexión la reducción de las tasas de erosión es cada vez menor, aunque los incrementos de la cobertura vegetal sean grandes. Ahora bien, si la intensidad de la lluvia se modifica, la relación entre ambas variables también cambia, lo que indica que, al menos cuando se calcula en función de la cobertura vegetal o la biomasa, el papel de la vegetación en el control de la erosión es mayor a bajas intensidades de precipitación que a altas.

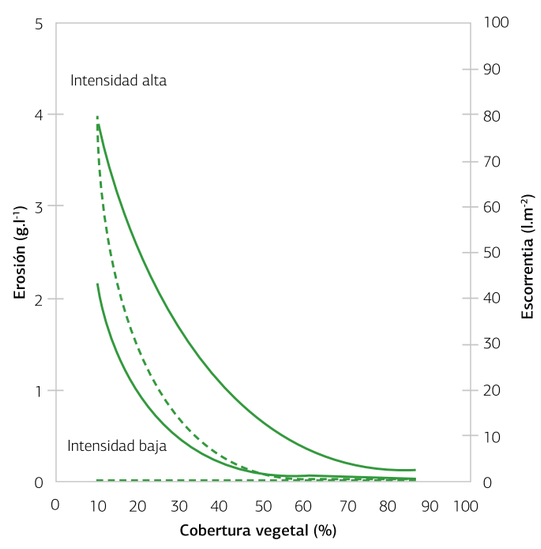


Figura 19. Relación entre la cobertura vegetal y la pérdida de suelo (línea continua) y con la escorrentía (línea discontinua). Modificado de Francis y Thornes, 1990.

Por otra parte, la resistencia del suelo a los efectos sobre el agente erosivo y las precipitaciones se da debido la capacidad de las plantas de interceptar y redistribuir la precipitación, así como de influir sobre la capacidad de infiltración del suelo. Esto último se produce tanto en superficie, a través de su papel en la estabilidad de las partículas del suelo (granulometría), como en profundidad y a nivel del sistema radicular de las plantas, estableciendo una red tridimensional de anclajes entre distintas porciones del suelo, estas variables estarán sujetas de manera relevante al uso del suelo prevaleciente.

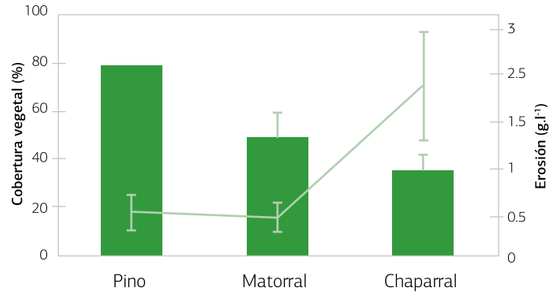


Figura 20. Valores de erosión (líneas) en función de la cobertura vegetal (barras) (media ± desviación estándar) para distintos tipos de vegetación obtenidos a partir de simulaciones de lluvia de intensidad elevada (>100 mm/h). Modificado de Francis y Thornes, 1990.

Matriz	Pendiente	Precipitación	Edafología	Uso de suelo	Eigenvector	Peso
Pendiente	0.569620253	0.691935484	0.430107527	0.250000000	1.941663264	0.485415816
Precipitación	0.189873418	0.230645161	0.47311828	0.333333333	1.226970192	0.306742548
Edafología	0.113924051	0.041935484	0.086021505	0.361111111	0.602992151	0.150748038
Uso de suelo	0.126582278	0.035483871	0.010752688	0.055555556	0.228374393	0.057093598
					4	1

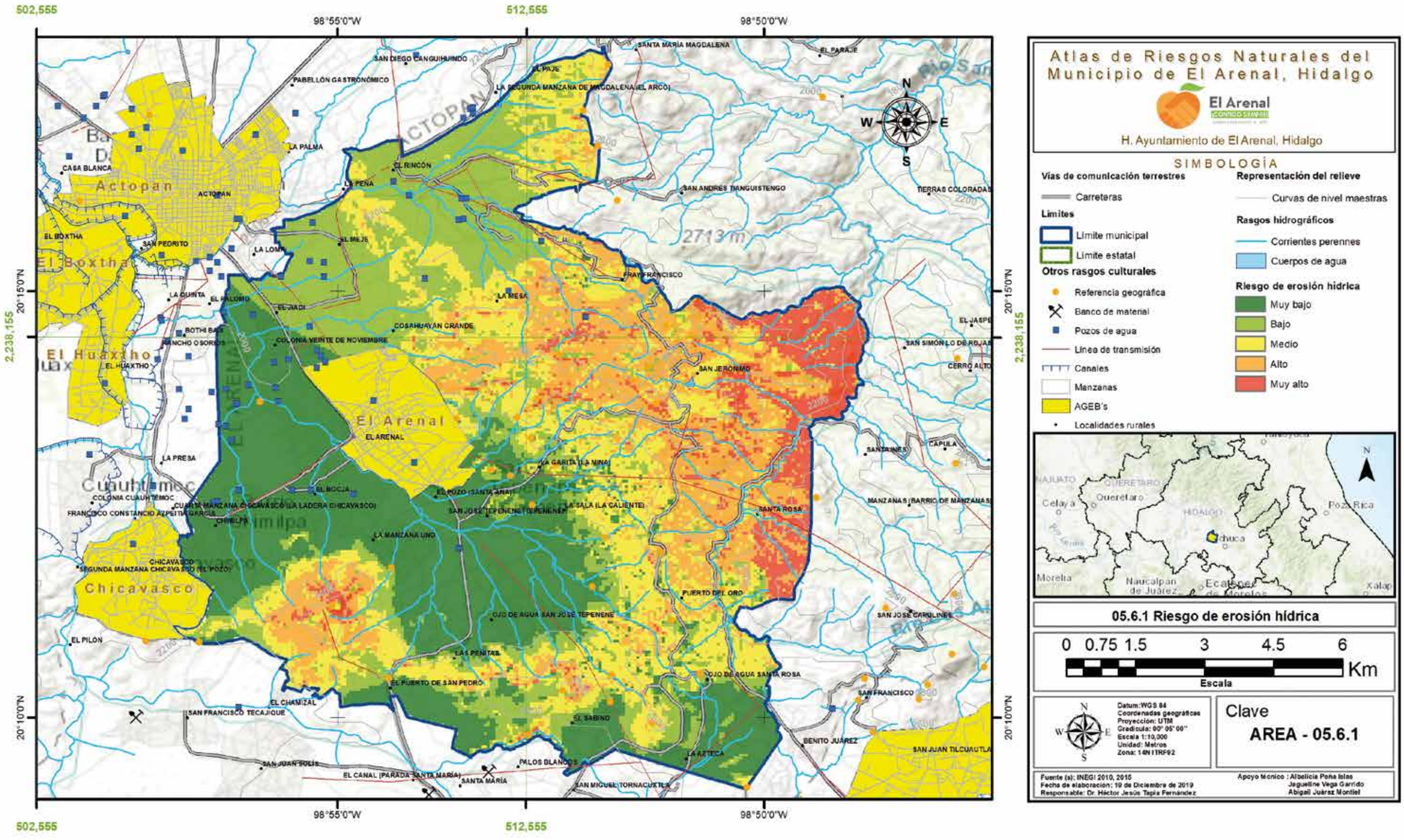
Tabla 40. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad por erosión hídrica.

La eliminación de la vegetación se puede convertir en la principal causa para la degradación del suelo y la pérdida de su capacidad para tolerar la erosión tanto en zonas boscosas como en matorral. Esto es consecuencia de que el suelo quede desnudo, y sufra las consecuencias del impacto de las gotas de lluvia y del aumento de la escorrentía, produciéndose una pérdida neta de los componentes del suelo y de su capacidad de mantener

la vida vegetal. Cada tipo de suelo (edafología), en función de sus características, de su localización en el paisaje y del régimen climático, posee un umbral crítico de equilibrio entre la erosión que soporta y la vegetación que puede mantener. Si este umbral sobrepasa de manera crítica, el sistema entra en una espiral de disminución de la cobertura vegetal y aumento de la erosión que puede conducirle a un nivel de desertificación irreversible. La erosión hídrica se puede considerar una fuerza ecológica que influye sobre la composición de la vegetación y su patrón espacial al producir el desarraigo de plantas y el arrastre de semillas y finalmente, modificar las propiedades del suelo. Con la agudización de los procesos de erosión, la cobertura vegetal y la diversidad disminuyen. Las escasas plantas que se desarrollan son un subconjunto de las que se desarrollan en zonas cercanas menos degradadas. Sin embargo, aumenta la proporción de especies que presentan características funcionales que les confieren mayor resistencia a los procesos erosivos y a sus consecuencias.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	1	Muy bajo	La Azteca	1	Muy bajo
20 de Noviembre	1	Muy bajo	La Garita	2	Bajo
Cosahuayán Grande	2	Bajo	La Manzana Uno	1	Muy bajo
El Arenal	1	Muy bajo	La Mesa	3	Medio
El Bocja	1	Muy bajo	La Sala (La Caliente)	3	Medio
El Jiadi	2	Bajo	Las Peñitas	2	Bajo
El Meje	2	Bajo	Ojo de Agua	1	Muy bajo
El Pozo (Santa Ana)	1	Muy bajo	Santa Rosa	4	Alto
Puerto de San Pedro	1	Muy bajo	Puerto del Oro	3	Medio
El Rincón	2	Bajo	San Jerónimo	3	Medio
El Sabino	1	Muy bajo	San José Tepenené	1	Muy bajo
Fray Francisco	3	Medio			

Tabla 41. Nivel de riesgo de erosión hídrica por localidad para el municipio.



Mapa 33. Riesgo de erosión hídrica.

5.1.5.2 Erosión eólica

La erosión eólica es el proceso por el cual los materiales superficiales del suelo son removidos y transportados por el viento. Algunos investigadores consideran la abrasión causada por el impacto de las partículas removidas por el viento, como parte del proceso de erosión eólica. La acumulación del material removido puede ocurrir a distancias variables de la fuente de origen, dependiendo principalmente de la erosividad del viento, así como del tamaño de las partículas que son removidas. La erosión eólica representa un problema ambiental serio para muchas regiones del mundo. La presencia de extensos depósitos eólicos (denominados Loess) de distintas edades geológicas indica que es un fenómeno recurrente. La erosión eólica ocurre en una gran variedad de ambientes que tienen en común la presencia de material fino, suelto y seco, extensas áreas con una superficie poco rugosa, desprovista de cobertura vegetal y donde predominan fuertes vientos (FAO, 1979). Estas características ambientales son frecuentes en zonas con dominio árido.

La erosión eólica, al igual que la erosión hídrica, involucra tres procesos: desprendimiento, transporte y depósito. En el primero de ellos, el flujo de aire producirá el desprendimiento de las partículas más pequeñas como limos y arcillas. Cuando el flujo incorpora partículas de suelo, su capacidad erosiva se incrementa significativamente, el impacto de estas partículas producirá el desmoronamiento de los agregados del suelo, aumentando la disponibilidad de partículas pequeñas, factibles de ser removidas por el viento. Las partículas removidas por el viento podrán ser transportadas inmediatamente mediante tres mecanismos diferentes: saltación, reptación y suspensión (Figura 19). El modo en que son transportadas las partículas dependerá de sus propiedades aerodinámicas (tamaño, forma y densidad) y de la capacidad de transporte del viento según su turbulencia, viscosidad y densidad.

Saltación: es el modo de transporte más dominante. Las partículas que se mueven por saltación permanecen relativamente cerca de la superficie del suelo, generalmente a menos de 30 cm. El tamaño de las partículas que se mueven por saltación varía de 0.05 para arenas finas hasta 0.50 mm para arenas medias La velocidad crítica del viento necesaria para el desprendimiento de partículas depende de su tamaño y va de una mínima velocidad de 0.15 m/s para las partículas en un intervalo de 0.10 a 0.15 mm y aumenta tanto para las partículas de sedimento de mayor como para las de menor tamaño (Savat, 1982). La resistencia de las partículas de más grandes está definida por su peso; las de menor tamaño, por mayor cohesión y por la protección brindada por las partículas más grandes que las rodean. Según las condiciones de viento y el tipo de suelo, el proceso puede involucrar el movimiento de entre el 50 y el 90% del transporte de sedimentos.

Reptación: el proceso de reptación, descrito como el rodado y deslizamiento de las partículas de mayor tamaño sobre la superficie del suelo, es favorecido por el impacto de las partículas que se desplazan por saltación y puede representar entre el 5 y el 25% de los sedimentos removidos de un área determinada. El tamaño de las partículas arrastradas mediante este proceso se encuentra entre los 0.50 y los 2mm. En muchos casos, lar partículas de entre 1 y 2 mm de diámetro que pudieran haberse movido cortas distancias por reptación forman, junto con las gravas de mayor tamaño, el remanente de suelo que cubre severamente áreas erosionadas.

Suspensión: es el proceso de transporte más visible y describe el movimiento de las partículas más pequeñas, generalmente menores a 0.2 mm de diámetro, donde pueden moverse a grandes alturas y desplazarse en el aire durante largos periodos. La mayor expresión del proceso de suspensión lo representan las tormentas de polvo, las cuales pueden representar grandes pérdidas de suelo, aunque generalmente no superan el 15% de las pérdidas totales de suelo por erosión eólica.

La intensidad de la erosión eólica depende de la erodabilidad de los suelos (susceptibilidad o facilidad de desprendimiento y transporte de partículas por el viento) y del grado de erosividad del viento.

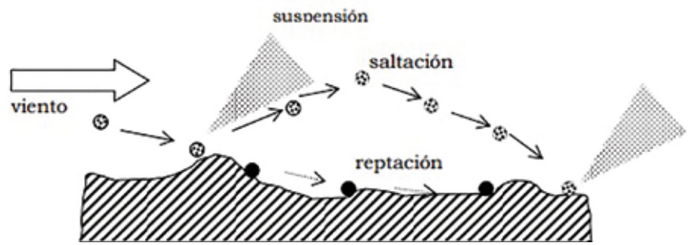


Figura 21. Formas de movilidad de las partículas del suelo a causa del transporte eólico.

La vulnerabilidad de un suelo a ser erosionado por el viento se encuentra ligada a su resistencia tanto al desprendimiento como al transporte, y ha sido definida como la factibilidad con que el suelo es erosionado en función de sus propiedades intrínsecas. Si bien la resistencia a la erosión depende en parte de la cobertura vegetal del suelo y los niveles de alteración creados por el uso de suelo, las propiedades edafológicas son las determinantes más importantes. La erodabilidad varía en gran medida con la textura y la estabilidad de los agregados. La facilidad con que los granos individuales son desprendidos o transportados depende de su diámetro, densidad y forma. Las partículas individuales de gran tamaño y peso, como los granos de arena gruesa y las gravas, son resistentes al transporte debido a la mayor fuerza requerida para ponerlas en movimiento. Las partículas muy finas (arcillas) son muy resistentes al desprendimiento debido a su alta cohesión y aquellas que presentan menor resistencia son los limos (0.002 a 0.05 mm) y arena muy fina (0,05 a 0.10 mm).

En la mayoría de los suelos, las partículas individuales forman terrones o agregados cementados por distintas sustancias, generalmente orgánicas. La estabilidad de estas unidades estructurales o agregados determina en gran medida la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Si un suelo tiene una buena estructura y los agregados son estables, el número de partículas lo suficientemente pequeñas para ser removidas será muy baja y la abrasión resultante puede ser mínima debido al limitado aporte de partículas abrasivas y a la resistencia mecánica de los agregados. Como resultado de ello, la erosión eólica es baja. Por el contrario, los suelos con una débil estructura y una provisión inicial de material erosionable alta pueden erosionarse rápidamente (Chepil y Woodruff, 1963).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1980) propuso una ecuación para estimar la erosión eólica potencial, que se basa en la propuesta desarrollada por Woodruff y Siddoway (1965). El modelo paramétrico para el cálculo de la erosión actual se expresa de la siguiente forma:

$$Eo = f(C * S * T * V)$$

Donde:
Eo= erosión eólica
C= factor de agresividad climática (ráfaga de viento)
S=factor suelo (edafología)
T= factor topográfico (pendiente)
V=factor vegetación (uso de suelo)

Factor de agresividad climática (c): se puede calcular usando los datos de velocidad promedio del viento (km/h) reportadas por las estaciones climáticas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP 2006-2020), las cuales están provistas de sensores para el registro de variables a 2 m sobre el suelo. El cálculo de este factor se realizó mediante una forma modificada del índice eólico de Chepil et al. (1962), propuesto por la FAO (1980):

$$C = \frac{1}{100}\sum_{1}^{12} v^3\left(\frac{PET - P}{P}\right) * n$$

Donde:
V= Velocidad media del suelo a 2 m de altura (m/s)
P= Precipitación (mm)
PET = Evapotranspiración
n= número de días al mes

Estación	Velocidad del viento (m/s)	P (mm)	EP (mm)	C1	Clasificación
	Máxima	Promedio			
Tlaxcoapan	250.2	14.24	1050.70	5.06	Ligera
San Antonio	137.88	21.86	844.80	29.77	Moderada
Demacú	268.56	20.65	449.80	34.98	Moderada
Atotonilco	93.56	5.30	395.40	0.66	Ligera
Zapotlán	233.64	20.94	692.60	30.85	Moderada
Tolcayuca	268.56	25.96	627.80	63.96	Alta
Tula	138.96	18.74	467.00	30.96	Moderada
Zempoala	269.64	14.23	348.40	13.45	Ligera
Pachuca	254.62	10.02	686.00	2.70	Ligera

Tabla 42. Estaciones climáticas utilizadas para el cálculo del factor de agresividad climática.
P=precipitación; EP= evapotranspiración potencial; C1= factor de agresividad climática (adimensional).
Fuente: Inifap, 2014. Periodo 2006-2020, datos del año 2020.

Factor suelo (s): el cálculo del factor suelo se realizó con base en la textura del primer horizonte, para ello se asocian texturas a grupos propensos a la erosión eólica definidos por Lyles (1977), mismas que son utilizadas por la metodología de FAO (1980). Para el SIG se utilizó la información edafológica vectorial correspondiente a la clasificación FAO-Unesco de Inegi.

Clave	Asociación de suelo	Superficie		Factor suelo (S)
		Km²	%	
Hc	Feozem calcárico + Dúrica profunda + Textura media	43.98	32	1.75
Hh	Feozem háplico + Petrocálcica + Textura media	58.29	42	1.25
Rd	Regosol dístrico + Lítica + Textura media	7.13	5	
I	Litosol Gravosa + Textura media	7.22	5	1.85
Bh	Cambisol húmico No descrita + Textura media	20.86	15	1.25

Tabla 43. Valoración del factor suelo (S) para el municipio.

Factor vegetación (v): Este factor se asignó a las diferentes capas vectoriales de uso de suelo y vegetación que contempla las zonas urbanas.

Uso de suelo y vegetación	Superficie		Factor vegetación (V)
	km²	Porcentaje	
Bosque de Encino	4.1	3	0.20
Matorral Crasicaule	7.9	6	0.15
Matorral Rosetófilo	3.5	3	0.10
Bosque de Mezquite	1.6	1	0.10
Pastizal Inducido	24.2	18	0.30
Agricultura de riego	1.41	1	0.20
Agricultura de temporal	54.3	39	0.70
Agricultura de temporal anual	17.1	12	0.70
Vegetación secundaria	6.8	5	0.20
Vegetación arbustiva	16.6	12	0.20
Zona Urbana	0.01	0	0.01
Total	137.6	100	

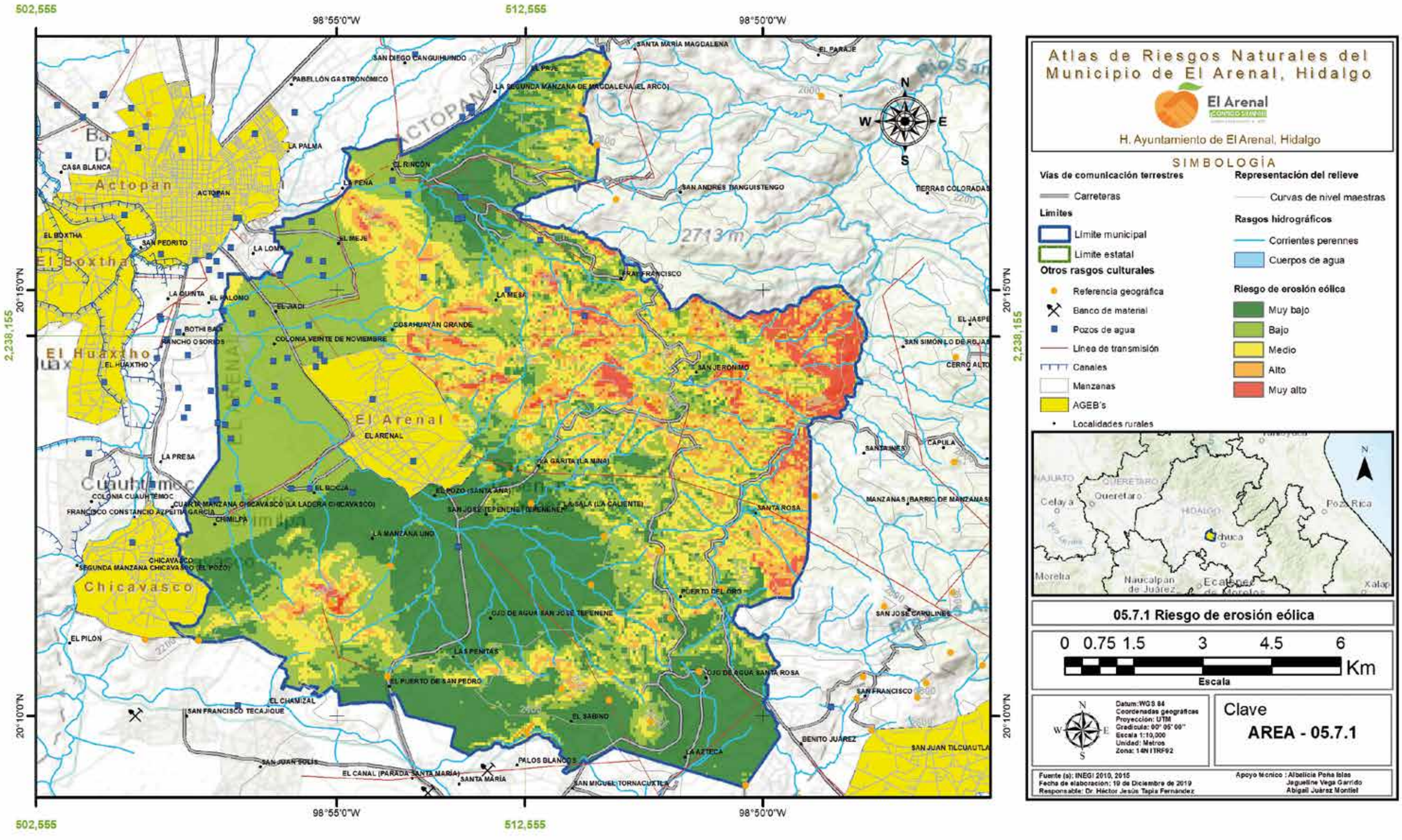
Tabla 44. Factor vegetación (V) para el municipio.

Matriz	Pendiente (factor topográfico)	Agresividad climática	Edafología (factor suelo)	Uso de suelo (factor vegetación)	Eigenvector	Peso
Pendiente (factor topográfico)	0.403451548	0.490105103	0.371235928	0.284356241	1.54914882	0.387287205
Agresividad climática	0.216768451	0.263326103	0.371235928	0.287464422	1.138794904	0.284698726
Edafología (factor suelo)	0.194535316	0.126969959	0.179001664	0.297617234	0.798124174	0.199531043
Uso de suelo (factor vegetación)	0.185244685	0.119598834	0.078526479	0.130562103	0.513932102	0.128483025
					4	1

Tabla 45. Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad por erosión eólica.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	2	Bajo	La Azteca	1	Muy bajo
20 de Noviembre	2	Bajo	La Garita	2	Bajo
Cosahuayán Grande	2	Bajo	La Manzana Uno	1	Muy bajo
El Arenal	2	Bajo	La Mesa	2	Bajo
El Bocja	2	Bajo	La Sala (La Caliente)	2	Bajo
El Jiadi	2	Bajo	Las Peñitas	2	Bajo
El Meje	2	Bajo	Ojo de Agua	1	Muy bajo
El Pozo (Santa Ana)	1	Muy bajo	Santa Rosa	4	Alto
Puerto de San Pedro	1	Muy bajo	Puerto del Oro	3	Medio
El Rincón	2	Bajo	San Jerónimo	3	Bajo
El Sabino	1	Muy bajo	San José Tepenené	1	Muy bajo
Fray Francisco	2	Bajo			

Tabla 46. Nivel de riesgo de erosión eólica por localidad.



Mapa 34. Riesgo de erosión eólica.

5.1.5.3 Erosión kárstica

La erosión a causa de la karstificación de un terreno donde abundan las rocas calizas puede manifestarse como un hundimiento paulatino del terreno a nivel regional. Éste puede ser acelerado por algunos mecanismos que ayudan a deformar la superficie, como los movimientos tectónicos y la hidrología superficial. La subsidencia del terreno se da por los vacíos creados gracias a la disolución de rocas calizas, dolomías y algunas evaporitas (yesos), creando cavernas, oquedades o canales que posteriormente ceden ante el peso del material que se encuentra por encima. Cabe resaltar que este es un proceso que toma una gran cantidad de tiempo

La karstificación de rocas sedimentarias solubles al agua, generalmente tienden a formar cavidades en el subsuelo, conocidas como dolinas de subsidencia, sin embargo, también podemos ubicar más estructuras como galerías, cavernas, bóvedas, cañones, poljes y simas. Este tipo de hundimientos regionales deben ser reconocidos dentro de la cartografía porque representan peligro y riesgo para comunidades cercanas debido al hundimiento del terreno, que puede causar fallos estructurales en la cimentación de las casas o dañar infraestructura civil crítica como el abastecimiento de agua potable y drenaje.

Geoformas exokársticas o relieve kárstico externo: se localizan sobre la superficie y poseen formas irregulares, las geoformas más comunes son los lapiaz o lapiaces, que a simple vista se pueden observar una especie de grietas superficiales que pueden o no estar separadas por algunas paredes de roca caliza.

Geoformas endokársticas o relieve kárstico interno: este relieve es común en zonas donde se han formado cuevas o grutas por el efecto de la filtración del agua que atraviesa por las fisuras existentes en la roca caliza.

El nivel de riesgo por erosión kárstica en El Arenal es sumamente bajo, ya que el 99% del territorio municipal se encuentra conformado por rocas ígneas volcánicas intermedias y silíceas. Los afloramientos de rocas calizas se encuentran hacia el norte y noreste en los municipios de San Salvador, Actopan y Santiago de Anaya donde se ubican las grutas de Xoxafi.

5.1.5.4 Erosión marina

La erosión marina se define como un proceso mediante el cual las rocas y la arena son abrasadas, alteradas y transportadas debido la acción de las olas del mar sobre los litorales. Las formas resultantes son litorales rocosos como los acantilados y las dunas costeras. Esto se lleva a cabo cuando hay una dirección de oleaje predominante, el flujo costero desplaza los sedimentos en un sentido determinado, dando lugar a una componente neta de transporte a lo largo de la costa que se conoce como deriva litoral, también ocurren fuertes corrientes litorales perpendiculares a la línea de la costa, llamadas corrientes de resaca las cuales erosionan la playa y extraen sedimentos del sistema litoral emergido para transportarlas hacia la plataforma continental (UCC, 2014).

Para el caso de El Arenal, que se ubica a una distancia de aproximada de 227 km en línea recta en dirección este de la costa del Golfo de México y a 407 km en línea recta en dirección sur y 700 km en dirección oeste hacia la costa del Océano Pacífico, la incidencia de erosión marina es nula.

5.2 FENÓMENOS DE ORIGEN HIDRO-METEOROLÓGICO

Los fenómenos de carácter hidro-meteorológico son aquellos que se generan por la acción violenta del vapor de agua que produce distintos fenómenos atmosféricos siguiendo los procesos de la climatología y del ciclo hidrológico. Engloba a los agentes perturbadores que son producto de la condensación o sublimación de vapor de agua atmosférica, como depresiones y ciclones tropicales, lluvias torrenciales, inundaciones, heladas, nevadas, granizadas, mareas de tempestad, ondas cálidas, ondas gélidas etc. El territorio nacional se encuentra rodeado de dos masas de agua: el Océano Pacifico y Atlántico (Golfo de México) que por su situación geográfica constantemente ha sido afectado por fenómenos de tipo hidro-meteorológicos, en ocasiones de una manera intensa y severa. Estos fenómenos paradójicamente son adversos y benéficos a la vez, en zonas costeras llegan a ser extremadamente destructivos y en otras, resultan benéficos ya que la lluvia favorece la recarga de presas, mantos acuíferos, acelera la actividad agrícola y ganadera y mitiga los efectos adversos de incendios de pastizales y forestales.

5.2.1 Ondas gélidas y cálidas

5.2.1.1 Ondas gélidas

Las ondas gélidas son fenómenos atmosféricos que se caracterizan por un gran descenso de la temperatura, en un lapso aproximado de24 horas. Consisten en grandes masas de aire a bajas temperaturas que provocan daños en la población y en sectores productivos vulnerables como la agricultura. Este fenómeno también es conocido como frente frio y se origina cuando una masa de aire a baja temperatura avanza hacia latitudes menores y su borde delantero se introduce como una cuña entre el suelo y el aire caliente. Al paso de este sistema, se pueden observar nubes de desarrollo vertical que provocan tormentas intensas, las cuales pueden generar chubascos o nevadas si la temperatura es muy baja. Las temperaturas bajas o incluso muy bajas son relativamente habituales durante el periodo invernal (Rodríguez, 2014). Por su parte, Romero (2011) señala que las ondas gélidas o de frio se producen con regularidad, pero las de mayor magnitud y alcance espacial se deben a la sinergia de un conjunto de procesos de macro escala (Medina, 1996)donde se ven complejas interacciones entre temperatura, precipitación, humedad, dirección y fuerza del viento, nubosidad, radiación solar y visibilidad, que se asocian a sistemas de alta presión continental y que difieren de las heladas o enfriamientos locales, cuyo origen es esencialmente radiactivo.

Durante su desplazamiento la masa de aire que viene desplazando el aire más cálido provoca descensos rápidos en las temperaturas de la región por donde pasa. En promedio, los frentes fríos tienen una inclinación el doble de los cálidos, es decir una pendiente del orden de 1:100. La rapidez promedio de un frente frío es alrededor de 35 km/h en comparación con los 25 km/h de un frente cálido, debido a la mayor densidad del aire con baja temperatura. La diferencia entre la inclinación de la pendiente frontal y la rapidez de su movimiento tiene derivan en un tiempo meteorológico violento en un frente frío comparado con el tiempo que normalmente acompaña a un frente cálido. La llegada de un frente frío marca un sensible cambio de las condiciones atmosféricas. Cerca del frente, se forma un frente de nubes cumulonimbos produciendo tormentas o nevadas. La franja de nubes es más estrecha que la de una onda cálida ya que el aire frío de la cuña se calienta adiabáticamente y disminuye su humedad relativa, por lo que suele tardar poco en llegar desde que se observan las primeras nubes, ya que el aire cálido asciende con mayor velocidad sobre el frente y se

enfría adiabáticamente más rápido, lo que provoca la formación de nubes de tormenta. La frecuencia de los frentes es muy variable, generalmente se producen entre los meses de octubre a mayo y depende de su origen, la mayoría proviene del Océano Pacífico (origen marítimo polar), y algunos son de origen polar continental (Canadá). Los frentes fríos corresponden a la porción delantera de una masa polar, que transportan aire de baja temperatura, que en su avance hacia el sur forzosamente interacciona con aire caliente. Éstos se caracterizan por fuertes vientos, cielos nublados y precipitaciones intensas si la humedad es suficiente.

Para la estimación del riesgo de ondas gélidas, se integró una base de datos de temperaturas mínimas diarias de las estaciones de la red climatológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN)que inciden o que se encuentran cercanas al municipio de El Arenal.

No. estación	Nombre de la estación	Estado	Temperatura mínima °C	Latitud	Longitud	Periodo	Altitud
13060	Actopan	Hidalgo	-8	20.27	-98.97	1953-2016	2016
13108	San Salvador	Hidalgo	-5	20.28	-99.02	1976-1980	1994
13154	Magdalena	Hidalgo	-8	20.30	-98.86	1988-2015	2475
13027	Santiago de Anaya	Hidalgo	-11	20.38	-98.97	1977-2016	2029
13121	Santa María Amajac	Hidalgo	-8	20.32	-98.75	1980-2016	1692
13017	El Chico	Hidalgo	-6	20.22	-98.75	1922-1988	2351
13112	Mineral del Chico	Hidalgo	-6	20.22	-98.73	1980-2016	2348
13150	El Cerezo	Hidalgo	-7	20.16	-98.73	1986-2014	2673
13123	El Durazno	Hidalgo	-7	20.13	-98.86	1980-1988	2400
13073	Ignacio Zaragoza	Hidalgo	-9	20.13	-99.00	1973-1976	2084
13025	Progreso	Hidalgo	-5	20.24	-99.19	1961-2012	2000
13128	San Agustín Tlaxiaca	Hidalgo	-6	20.12	-98.90	1982-2015	2355
13086	Santiago Tezontlale	Hidalgo	-8	20.16	-99.08	1973-1980	2080
13160	Tornacuxtla	Hidalgo	-7	20.15	-99.88	1996-2016	2397

Tabla 47. Relación de estaciones meteorológicas con datos promedio anuales de temperaturas mínimas.

Memoria de cálculo para la determinación del peligro por ondas gélidas

Una vez integrada la base de datos por estación meteorológica, se realizan los siguientes procedimientos:

- Rellenado de datos faltantes.
- Filtrado de datos que afectan a la muestra.
- Obtención de valores mínimos diarios anuales históricos de temperaturas mínimas.
- Ajuste de función de probabilidad.
- Estimación de temperaturas mínimas asociadas a diferentes periodos de retorno.

Para poder determinar con precisión las temperaturas mínimas asociadas a los periodos de retorno de las ondas gélidas (5, 10, 25 y 50 años), se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad de norma, logarítmica normal, exponencial, Gumbel y doble Gumbel que tiene la siguiente forma:

$$F(X_T) = P(X \leq X_T) = \exp\left[-exp\left(\frac{X_T}{\alpha}u\right)\right]$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6Sx}}{\pi}$$

$$u = \overline{X} - 0.5272 \cdot \alpha$$

Sx=desviación estándar
$\overline{X}$ =media muestral

Se obtendrá el valor de temperatura mínima para el periodo de retorno T

$$\frac{1}{T} = P(X \geq X_T) = 1 - P(X < X_t) = 1 - P(X_T) \rightarrow P(X_t) = \frac{T-1}{T}$$

Si hacemos

$$y_T = \frac{X_t - u}{\alpha} \rightarrow P(X_T) = \exp[-\exp(-y_T)] \rightarrow y_T = -\ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]$$

Como

$$y_T = \frac{X_t - u}{\alpha} \rightarrow X_T = \alpha \cdot y_T + u$$

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de periodo de retorno para ondas gélidas de estaciones climatológicas para temperaturas mínimas que tienen influencia en El Arenal.

No. estación	Nombre de la estación	Tr (tiempo de retorno) 5	10	25	50
13060	Actopan	-2.46	-1.28	0.21	1.32
13108	San Salvador	0.78	2.59	4.88	6.57
13154	Magdalena	1.24	2.35	3.75	4.79
13027	Santiago de Anaya	-3.71	-2.85	-1.75	-0.94
13121	Santa María Amajac	-5.02	-4.33	-3.46	-2.81
13017	El Chico	-2.72	-2.33	-1.85	-1.49
13112	Mineral del Chico	0.95	2.90	5.36	7.18
13150	El Cerezo	1.27	2.21	3.40	4.28
13123	El Durazno	1.03	2.69	4.78	6.33
13073	Ignacio Zaragoza	-0.74	0.12	1.21	2.02
13025	Progreso	-2.77	-2.43	-1.99	-1.67
13128	San Agustín Tlaxiaca	-1.41	-1.11	-0.73	-0.45
13086	Santiago Tezontlale	-3.48	-2.17	-0.51	0.73
13160	Tornacuxtla	-0.44	0.95	2.71	4.02

Tabla 48. Temperaturas mínimas asociadas a diferentes periodos de retorno (°C).

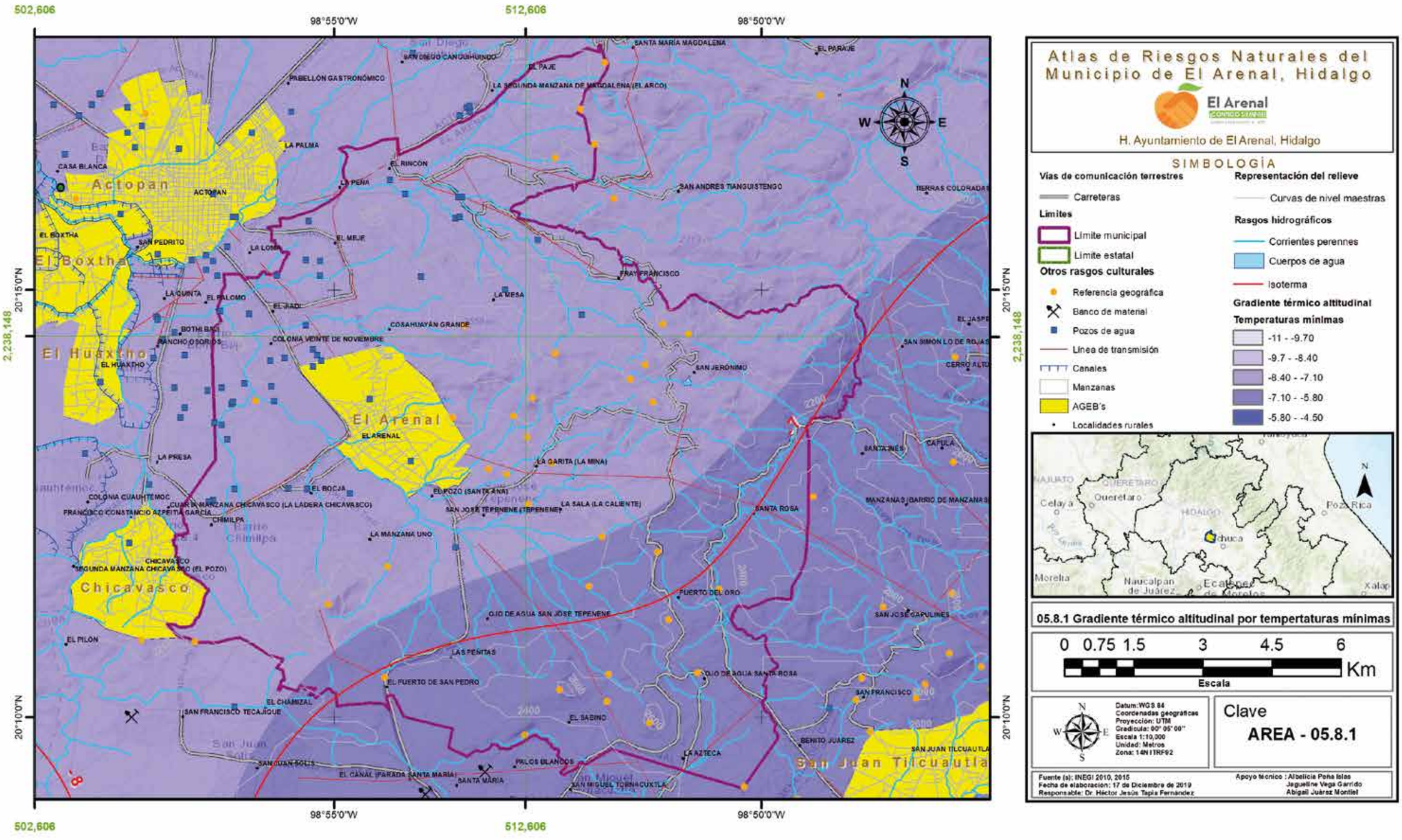
México se caracteriza por tener una gran diversidad de condiciones de temperatura y humedad, debido a su posición geográfica entre la zona tropical y la zona intertropical de convergencia, al norte de trópico de cáncer. Debido a la forma del relieve, la altitud, extensión territorial y su localización entre dos océanos se producen diversos fenómenos atmosféricos, según la época del año. Por ejemplo, en el invierno se mueven grandes masas de aire frío y seco, por lo que el país se encuentra bajo los efectos de las masas polares y frentes fríos que ocasionan descensos bruscos de temperatura que suelen provocar problemas de salud en la población (Cenapred, 2006).

El ser humano es vulnerable a ciertas temperaturas, tanto a las que están por arriba del umbral cálido como por debajo del umbral frío. Este documento cartografía las zonas del municipio de El Arenal donde las temperaturas que están por debajo del umbral de -2°C. Por otro lado, es de interés analizar aquellos eventos extremos o poco frecuentes que pueden perjudicar de manera excepcional a la población, y no el evento normal del descenso de la temperatura que se presenta cada mañana antes del amanecer. Resulta relevante analizar la temporalidad y duración de las bajas y extremas temperaturas.

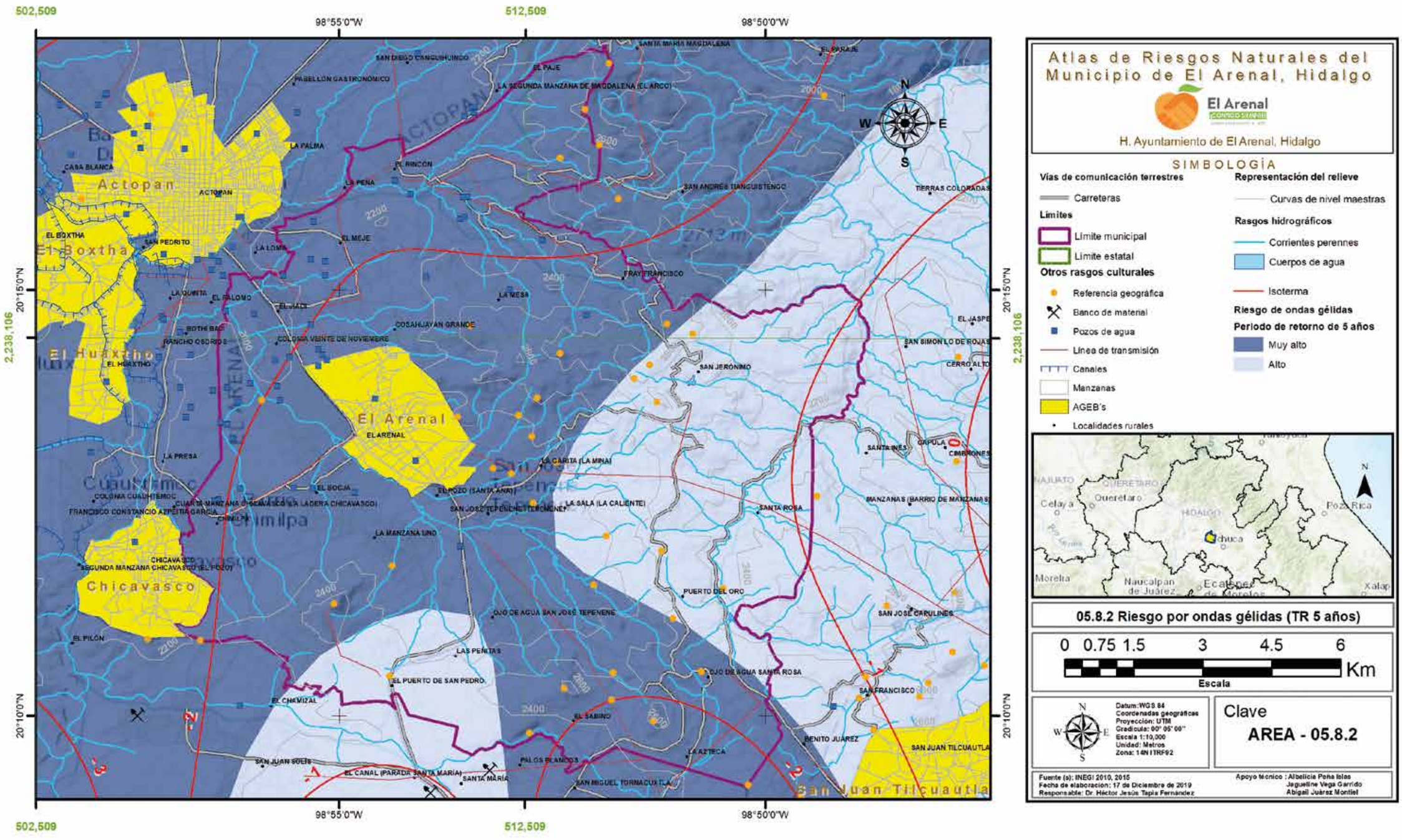
Como resultado de estas condiciones, la población puede experimentar algunas enfermedades o molestias. En presencia de viento, el frío puede provocar dolores de cabeza intensos debido a la contracción de los músculos craneales. El dolor se presenta al reír, toser, estornudar o al levantar objetos pesados e incluso al realizar grandes esfuerzos. En este sentido, se pueden dar enfermedades de las vías respiratorias: en general, el mayor número de casos se registra durante las semanas de más bajas temperaturas en las que los cambios bruscos de temperatura influyen mucho. Por ello, a partir de los primeros descensos de temperatura, recrudecen otras infecciones de las vías respiratorias que no son virales, como el asma. Infecciones bacterianas que producen bronquitis, neumonía, y rinitis, entre otras como las infecciones virales (influenza estacional AHN1 y el recientemente descubierto SARS-Cov-2 que causa la Covid-19) forman parte de este tipo de dolencias que afectan alguna parte del sistema respiratorio de manera muy drástica. Además, el aire frío que se respira en el invierno es peligroso para los pulmones, los bronquios y la garganta. Si este aire es seco, provoca que las mucosas pierdan humedad. Por esta razón es conveniente fortalecer el sistema inmune durante el invierno y realizar campañas de vacunación.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	5	Muy alto	La Azteca	5	Muy alto
20 de Noviembre	5	Muy alto	La Garita	5	Muy alto
Cosahuayán Grande	5	Muy alto	La Manzana Uno	5	Muy alto
El Arenal	5	Muy alto	La Mesa	5	Muy alto
El Bocja	5	Muy alto	La Sala (La Caliente)	5	Muy alto
El Jiadi	5	Muy alto	Las Peñitas	4	Alto
El Meje	5	Muy alto	Ojo de Agua	5	Muy alto
El Pozo (Santa Ana)	5	Muy alto	Santa Rosa	4	Alto
Puerto de San Pedro	4	Alto	Puerto del Oro	4	Alto
El Rincón	5	Muy alto	San Jerónimo	4	Alto
El Sabino	5	Muy alto	San José Tepenené	5	Muy alto
Fray Francisco	5	Muy alto			

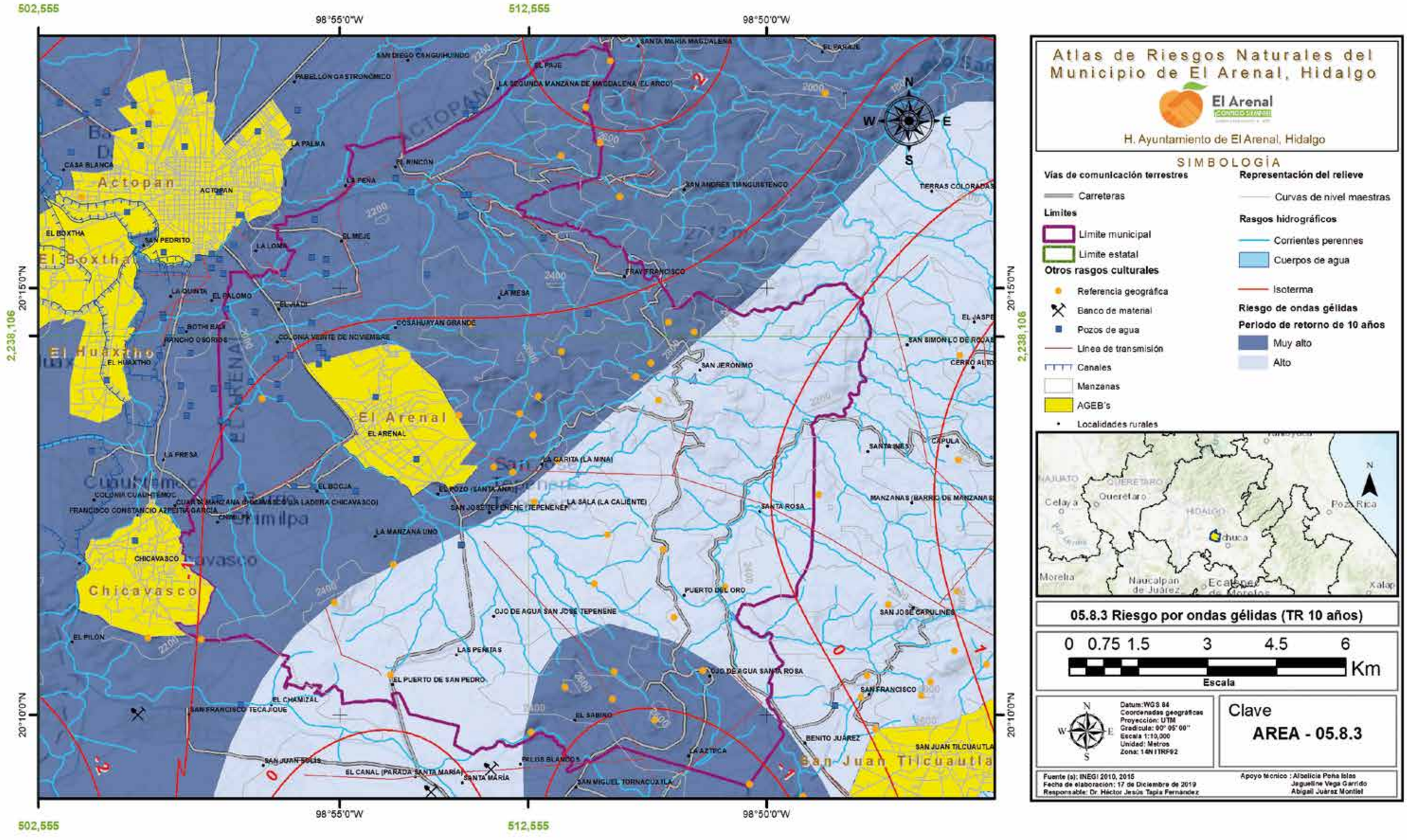
Tabla 49. Nivel de riesgo de ondas gélidas por localidad.



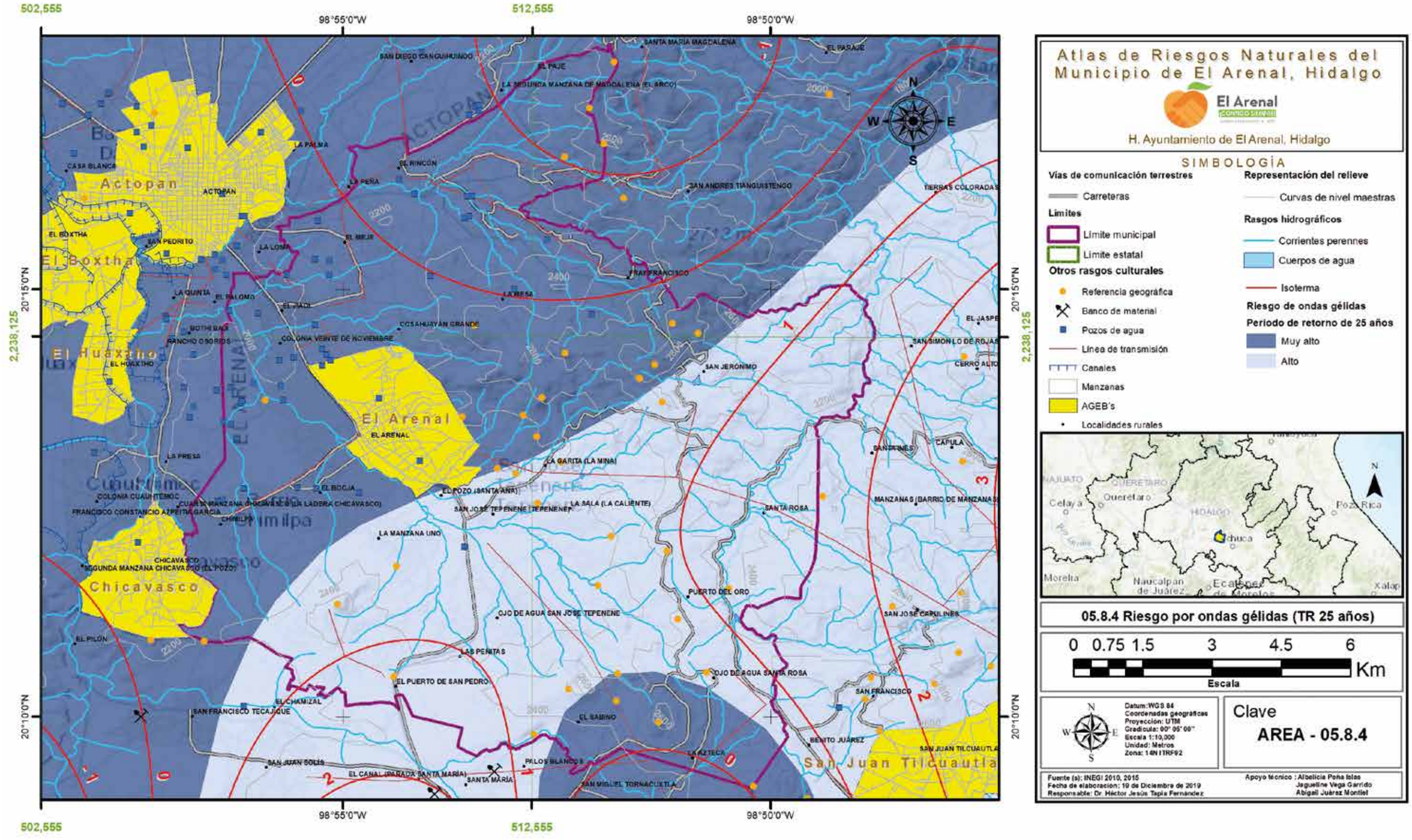
Mapa 35. Gradiente térmico altitudinal por temperaturas mínimas.



Mapa 36. Riesgo por ondas gélidas (TR 5 años).



Mapa 37. Riesgo por ondas gélidas (TR 10 años).



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
CONTIGO SIEMPRE

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua
- Isoterma

Riesgo de ondas gélidas

Periodo de retorno de 25 años
- Muy alto
- Alto

05.8.4 Riesgo por ondas gélidas (TR 25 años)

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 90° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

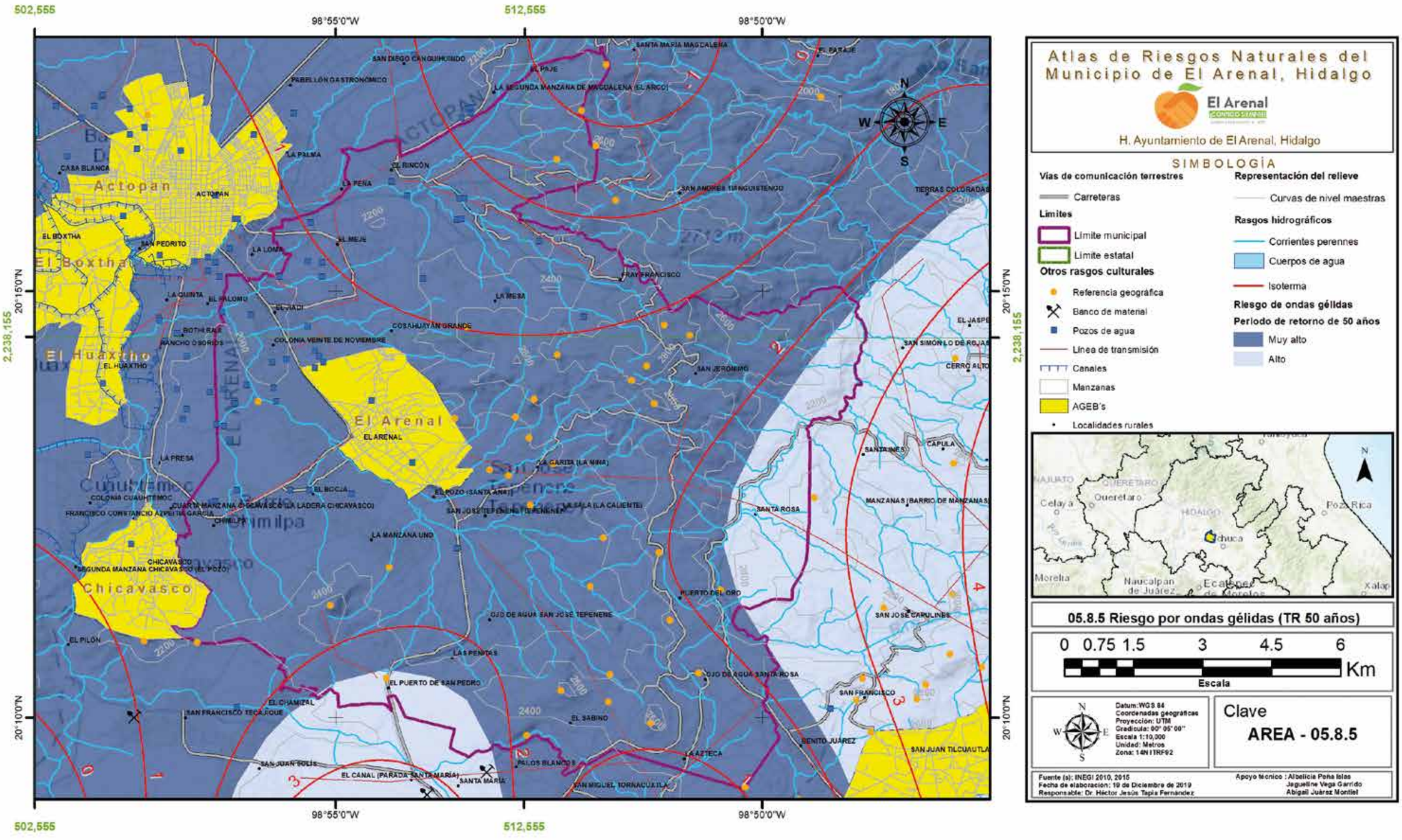
Clave

AREA - 05.8.4

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 19 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Apoyo técnico : Albelicia Peña Islas
Jagueline Vega Garrido
Abigail Juárez Montiel

Mapa 38. Riesgo por ondas gélidas (TR 25 años).



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
CONTIGO SIEMPRE

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua
- Isoterma

Riesgo de ondas gélidas

Periodo de retorno de 50 años
- Muy alto
- Alto

05.8.5 Riesgo por ondas gélidas (TR 50 años)

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave
AREA - 05.8.5

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 19 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Apoyo técnico : Albelicia Peña Islas
Jagueline Vega Garrido
Abigail Juárez Montiel

Mapa 39. Riesgo por ondas gélidas (TR 50 años).

5.2.1.2 Ondas cálidas

Las ondas de calor son periodos inusualmente cálidos que afectan considerablemente a la salud de la población. La Organización Meteorológica Mundial no ha establecido una definición única debido a que las ondas cálidas varían en frecuencia, intensidad y extensión (Robinson, 2001; García-Cueto et al., 2008). Una onda cálida incluye altas temperaturas en el área de interés y alguna componente temporal de duración (García-Cueto et al., 2010). Estos fenómenos no solo afectan a la salud de la población, también se ha notado que tienen una incidencia notable en las sequías, la desertificación y probablemente en los incendios forestales (Yagüe et al., 2006). Este fenómeno también es conocido como Frente cálido que se caracteriza por ser una zona de transición entre dos masas de aire de distinta presión y temperatura, una cálida y la otra con menor temperatura, con la particularidad de que la cálida se desplaza a mayor velocidad que la de aire con menor temperatura. El aire cálido avanza sobre el aire frío, pero al ser este último más pesado, avanza al nivel del suelo de manera que el aire cálido asciende suavemente por la superficie frontal que hace de rampa, provocando la formación de nubosidad y precipitaciones. Las precipitaciones que se presentan son menos intensas que las que provocan un frente frío. Al ser éste un fenómeno es de carácter regional, puede cubrir extensiones territoriales muy grandes (abarcando dos o tres estados a la vez), la escala de representación de este a nivel municipal es difícil, por lo anterior se opta por desarrollar el tema con el apoyo de registros máximos de temperaturas en el municipio. El dato de temperatura máxima es el que se registra cada día en una estación meteorológica entre las 2:00 y 3:00 pm, los cálculos de temperatura máxima promedio pueden realizarse para periodos de un mes, un año o cualquier otro del que se dispongan datos. De acuerdo con las bases de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu, 2014), la vulnerabilidad física y social respecto a las temperaturas elevadas es más frecuente durante las estaciones de primavera y verano, por este motivo se analizó el comportamiento de las temperaturas máximas extremas en el periodo señalado en las estaciones meteorológicas más cercanas a El Arenal. Para determinar cuál es el riesgo que implica para la población de acuerdo con los planteamientos brevemente mencionados en la siguiente tabla:

Rango de temperatura	Designación	Vulnerabilidad
28 - 31°C	Incomodidad	La evapotranspiración de los seres vivos se incrementa, aumenta el dolor de cabeza en los humanos.
31.1 - 33° C	Incomodidad extrema	La deshidratación se torna evidente, las tolvaneras y la contaminación por partículas pesadas se incrementa en las zonas urbanas.
33.1 – 35°C	Condición de estrés	Las plantas comienzan a evapotranspirar en exceso y se marchitan, los incendios forestales se ven favorecidos.
>35°C	Límite de tolerancia	Se origina el golpe de calor, se puede producir inconciencia en las personas, las enfermedades aumentan,

Tabla 50. Vulnerabilidad por altas temperaturas.
Fuente: Secretaría de Desarrollo Social, 2009

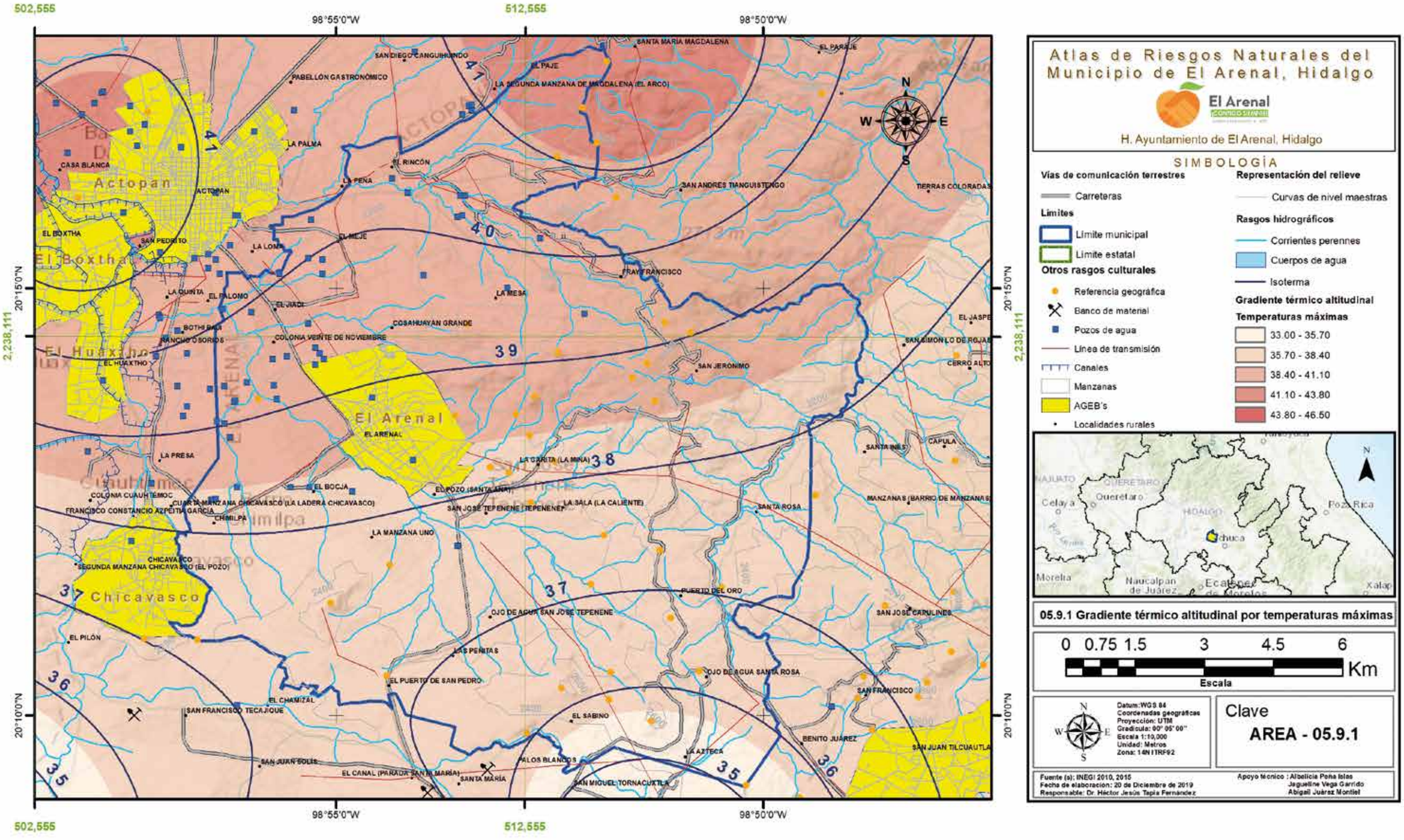
De acuerdo con estos datos, se puede considerar que las temperaturas máximas extremas implican situaciones de incomodidad y estrés en la población, así como afectaciones en los cultivos, además se incrementan las condiciones favorables para que se produzcan incendios forestales. Para proyectar las isotermas de temperatura máxima se realizó un cálculo del promedio histórico de las temperaturas máximas medias de los meses marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre (primavera y verano) en un periodo de 50 años de 14 estaciones meteorológicas que rodean a El Arenal, los datos se obtuvieron de la base de datos del Sistema de Información Climatológica (Clicom), desarrollada por la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2010).

Para valorar el nivel de peligro que presenta la población ante la presencia de ondas cálidas en la región, se realiza una simulación de las isotermas de temperatura máximas por medio de un modelo matemático de interpolación de tipo IDW (*Inverse Distance Weighting*), los datos que se obtienen de cada estación y que serán interpolados, son los siguientes:

No. estación	Nombre de la estación	Estado	Temperatura máxima °C	Latitud	Longitud	Periodo	Altitud
13060	Actopan	Hidalgo	42.0	20.27	-98.97	1953-2016	2016
13108	San Salvador	Hidalgo	36.5	20.28	-99.02	1976-1980	1994
13154	Magdalena	Hidalgo	42.0	20.30	-98.86	1988-2015	2475
13027	Santiago de Anaya	Hidalgo	46.5	20.38	-98.97	1977-2016	2029
13121	Santa María Amajac	Hidalgo	39.0	20.32	-98.75	1980-2016	1692
13017	El Chico	Hidalgo	38.0	20.22	-98.75	1922-1988	2351
13112	Mineral del Chico	Hidalgo	34.0	20.22	-98.73	1980-2016	2348
13150	El Cerezo	Hidalgo	40.0	20.16	-98.73	1986-2014	2673
13123	El Durazno	Hidalgo	33.0	20.13	-98.86	1980-1988	2400
13073	Ignacio Zaragoza	Hidalgo	33.0	20.13	-99.00	1973-1976	2084
13025	Progreso	Hidalgo	40.0	20.24	-99.19	1961-2012	2000
13128	San Agustín Tlaxiaca	Hidalgo	39.0	20.12	-98.90	1982-2015	2355
13086	Santiago Tezontlale	Hidalgo	33.5	20.16	-99.08	1973-1980	2080
13160	Tornacuxtla	Hidalgo	35.0	20.15	-99.88	1996-2016	2397

Tabla 51. Relación de estaciones meteorológicas con datos promedio anuales de temperaturas máximas.

Las temperaturas máximas en las estaciones analizadas presentan una intensidad que va de los 33.5 °C hasta más de 46.5 °C. Como se puede observar en la tabla, debido a las ondas cálidas, la zona ponderada como de alto peligro se presenta en una gran extensión de El Arenal.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Limites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua
- Isoterma

Gradiente térmico altitudinal

Temperaturas máximas
- 33.00 - 35.70
- 35.70 - 38.40
- 38.40 - 41.10
- 41.10 - 43.80
- 43.80 - 46.50

05.9.1 Gradiente térmico altitudinal por temperaturas máximas

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

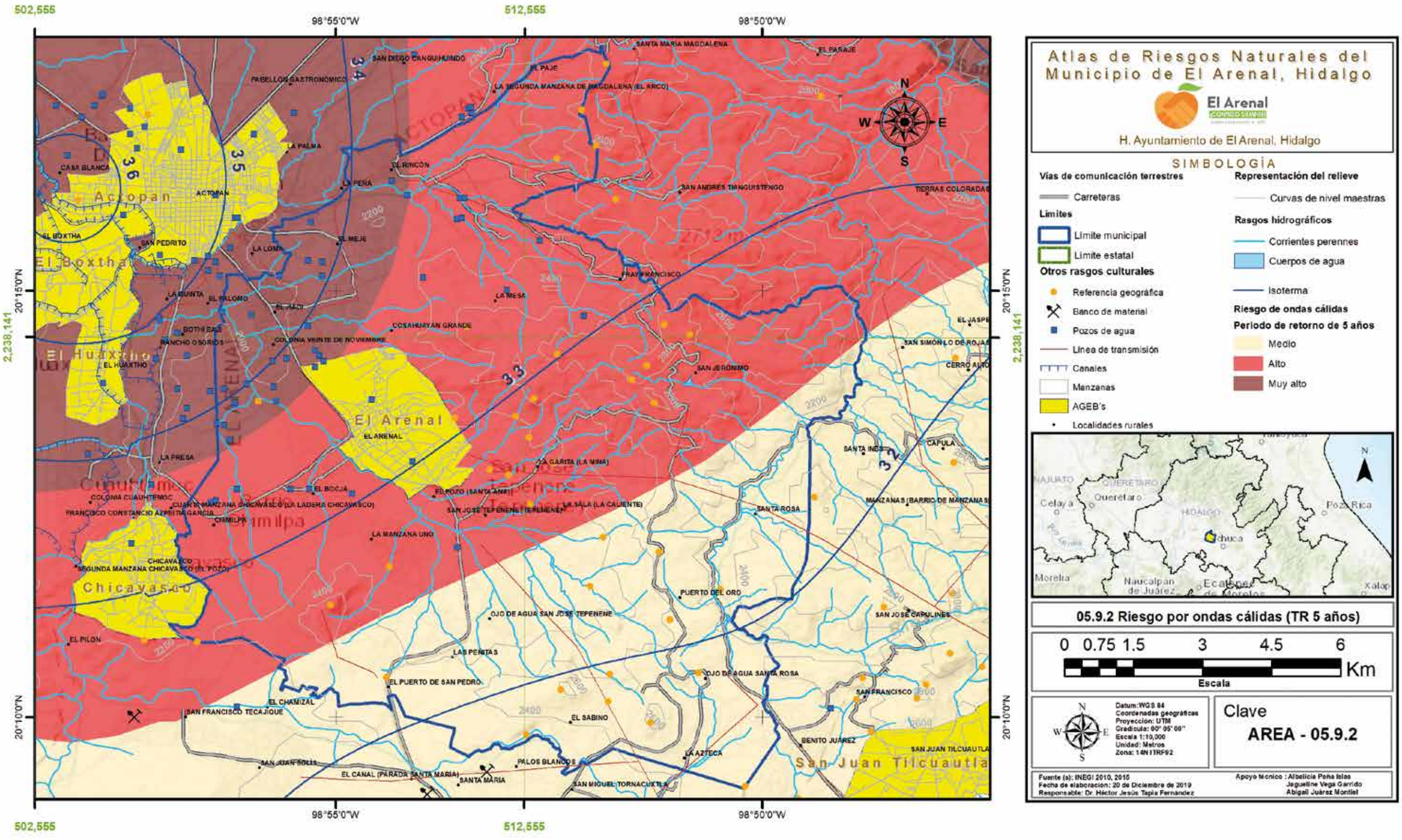
Clave

AREA - 05.9.1

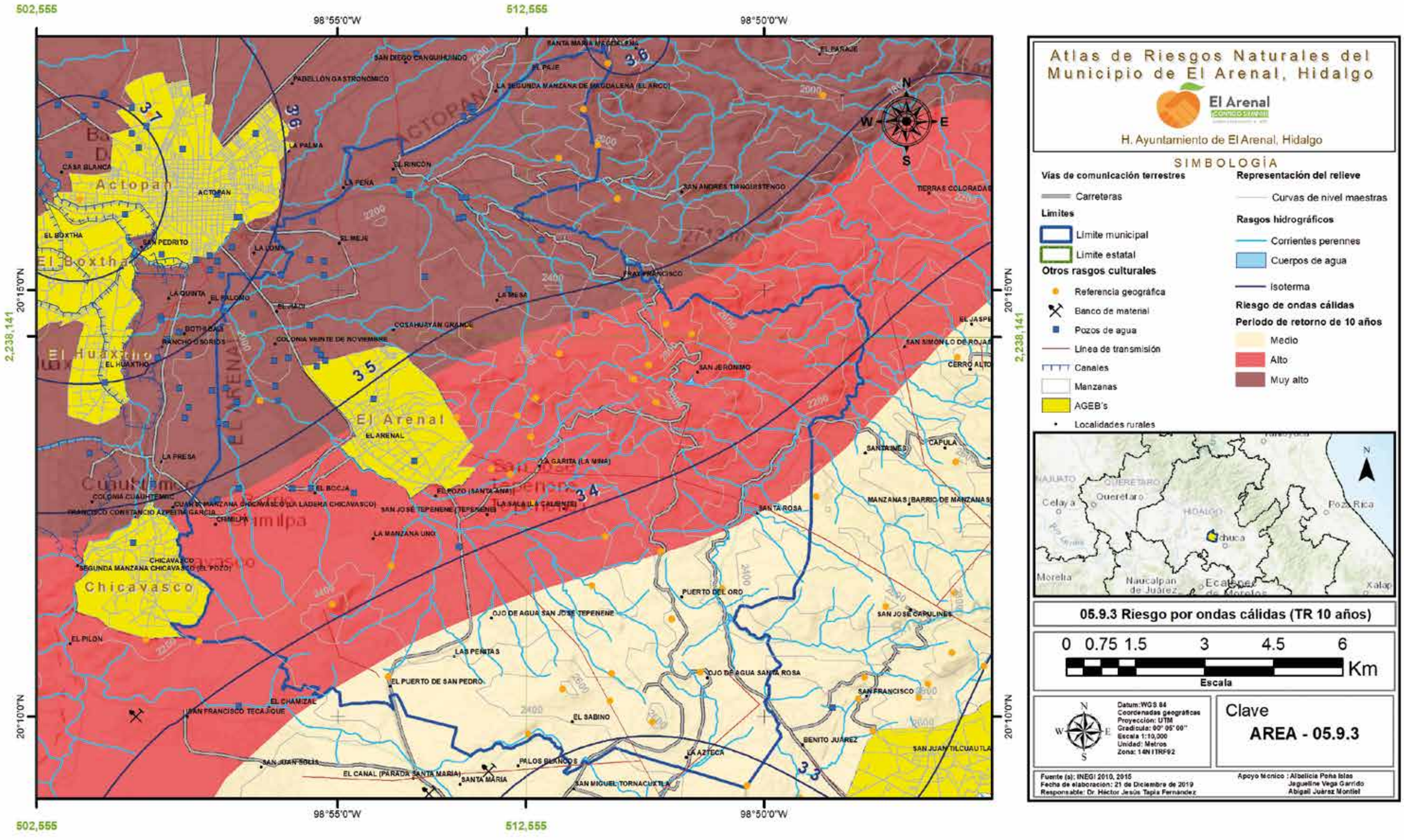
Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 20 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Apoyo técnico : Albelicia Peña Islas
Jaqueline Vega Garrido
Abigail Juárez Montiel

Mapa 40. Gradiente térmico altitudinal por temperaturas máximas.



Mapa 41. Riesgo por ondas cálidas (TR 5 años).



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua
- Isoterma

Riesgo de ondas cálidas

Periodo de retorno de 10 años
- Medio
- Alto
- Muy alto

05.9.3 Riesgo por ondas cálidas (TR 10 años)

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum: WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 90° 00' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

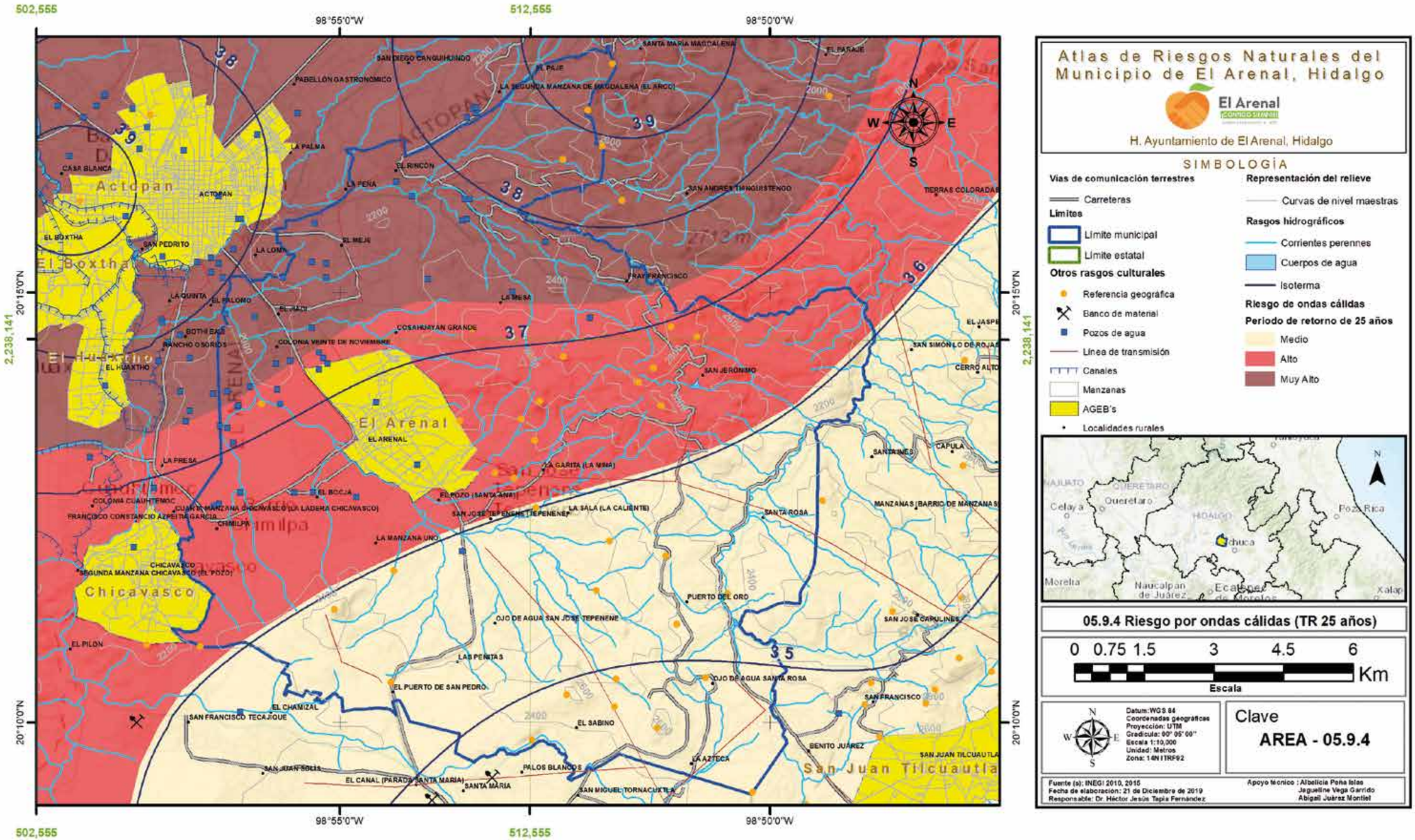
Clave

AREA - 05.9.3

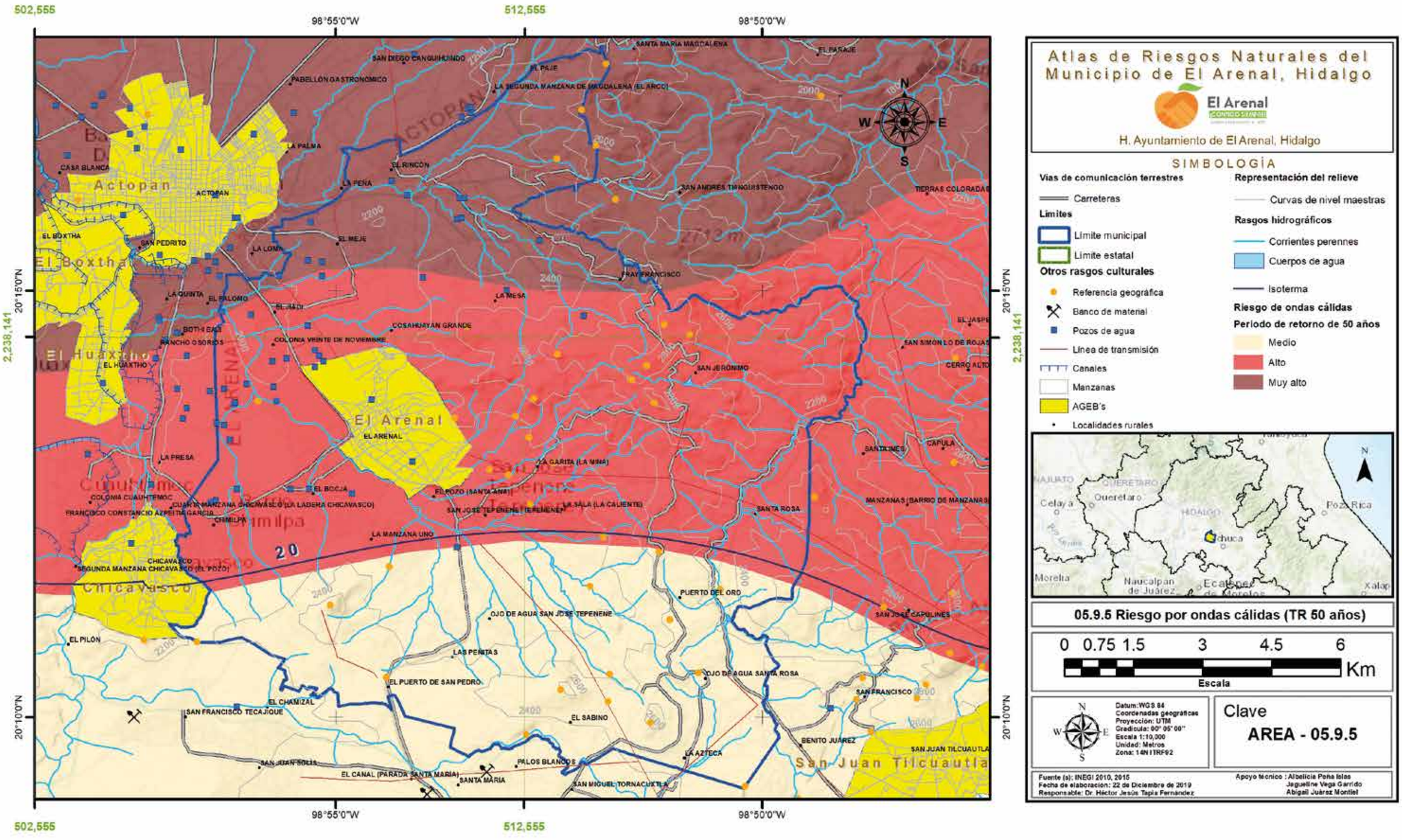
Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 21 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Apoyo técnico : Albelicia Peña Islas
Jaguelline Vega Garrido
Abigail Juárez Montiel

Mapa 42. Riesgo por ondas cálidas (TR 10 años).



Mapa 43. Riesgo por ondas cálidas (TR 25 años).



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
CONTIGO SIEMPRE

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vias de comunicación terrestres
- Carreteras

Limites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua
- Isoterma

Riesgo de ondas cálidas

Periodo de retorno de 50 años
- Medio
- Alto
- Muy alto

05.9.5 Riesgo por ondas cálidas (TR 50 años)

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave
AREA - 05.9.5

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 22 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Apoyo técnico : Albelicia Peña Islas
Jagueline Vega Garrido
Abigail Juárez Montiel

Mapa 44. Riesgo por ondas cálidas (TR 50 años).

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	4	Alto	La Azteca	3	Medio
20 de Noviembre	5	Muy alto	La Garita	4	Alto
Cosahuayán Grande	4	Alto	La Manzana Uno	4	Alto
El Arenal	4	Alto	La Mesa	4	Alto
El Bocja	4	Alto	La Sala (La Caliente)	4	Alto
El Jiadi	5	Muy alto	Las Peñitas	3	Medio
El Meje	5	Muy alto	Ojo de Agua	3	Medio
El Pozo (Santa Ana)	4	Alto	Santa Rosa	3	Medio
Puerto de San Pedro	3	Medio	Puerto del Oro	3	Medio
El Rincón	5	Muy alto	San Jerónimo	4	Alto
El Sabino	3	Medio	San José Tepenené	4	Alto
Fray Francisco	4	Alto			

Tabla 52. Nivel de riesgo de ondas cálidas por localidad.

La contaminación ambiental y el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2, NO_2, SO_2, CH_4) debido a la actividad humana, representan un factor determinante en la frecuencia e intensidad de las temperaturas extremas. Es importante tomar medidas de precaución ante este fenómeno y cuidar principalmente de niños y adultos mayores por ser los grupos de edad más propensos a enfermedades asociadas a estas ondas de calor.

Efectos en la salud por exposición de temperaturas extremas: la exposición del ser humano a temperaturas ambientales elevadas puede provocar una respuesta insuficiente del sistema termorregulador. El calor excesivo puede alterar funciones vitales si el cuerpo humano no es capaz de compensar las variaciones de la temperatura corporal. Una temperatura muy elevada produce deshidratación y pérdida de electrolitos que son necesarios para el funcionamiento normal del organismo. En personas con enfermedades crónicas, sometidas a tratamientos médicos y discapacitadas, estos mecanismos de termorregulación pueden verse comprometidos. La exposición a temperaturas excesivas puede provocar problemas de salud como calambres, deshidratación, insolación, golpe de calor (con problemas multiorgánicos que pueden incluir síntomas tales como inestabilidad en la marcha, convulsiones e incluso coma). El impacto que tiene la exposición al calor excesivo está determinado por el envejecimiento fisiológico y las enfermedades subyacentes. Normalmente, un individuo sano tolera una variación de su temperatura interna de aproximadamente 3°C, sin que sus condiciones físicas y mentales se alteren de forma importante. A partir de 37°C se produce una reacción fisiológica defensiva. Los adultos mayores y los niños muy pequeños son más sensibles a los cambios bruscos de temperatura. La exposición excesiva a un ambiente caluroso puede ocasionar diferentes afecciones, por lo que es sumamente importante detectar a tiempo los primeros síntomas.

Golpe de calor: se produce cuando el sistema que controla la temperatura del cuerpo falla y la transpiración (única manera eficaz que tiene el cuerpo de eliminar el exceso de calor) se hace inadecuada. La piel de los afectados se encontrará muy caliente y, normalmente, seca, roja, o con manchas. El afectado podría llegar a presentar síntomas de confusión y desorientación que pueden derivar en la pérdida del conocimiento y sufrir de convulsiones. Ante la sospecha de la existencia de un golpe de calor es imprescindible ofrecer asistencia médica inmediata al afectado, debiendo procederse a su traslado urgente a un centro de salud. Los primeros auxilios incluyen el traslado del afectado a un área fresca, humedecer su ropa con agua fría y abanicar intensamente a la persona para refrescarla.

Agotamiento por calor y deshidratación: resulta de la pérdida de grandes cantidades de líquido por la transpiración que, en ocasiones, se acompaña de una pérdida excesiva de electrolitos. La piel del afectado estará húmeda y presentará un aspecto pálido o enrojecido. Éste continuará sudando y presentará cansancio extremo, mareos, náuseas y dolor de cabeza, que, en los casos más graves, pueden derivar en la pérdida de la consciencia.

Memoria de cálculo para la determinación del peligro por ondas cálidas

Una vez integrada la base de datos por estación meteorológica, se realizan los siguientes procedimientos:

- Rellenado de datos faltantes.
- Filtrado de datos que afectan a la muestra.
- Obtención de valores mínimos diarios anuales históricos de temperaturas máximas.
- Ajuste de función de probabilidad
- Estimación de temperaturas mínimas asociadas a diferentes periodos de retorno.

Para poder determinar con precisión las temperaturas mínimas asociadas a los periodos de retorno de las ondas cálidas (5, 10, 25 y 50 años), se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad de norma, logarítmica normal, exponencial, Gumbel y doble Gumbel que tiene la siguiente forma:

$$F(X_T) = P(X \leq X_T) = \exp\left[-exp\left(\frac{X_T}{\alpha}u\right)\right]$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6Sx}}{\pi}$$

$$u = \overline{X} - 0.5272 \cdot \alpha$$

Sx=desviación estándar
$\overline{X}$ =media muestral

Se obtendrá el valor de temperatura mínima para el periodo de retorno T

$$\frac{1}{T} = P(X \geq X_T) = 1 - P(X < X_t) = 1 - P(X_T) \rightarrow P(X_t) = \frac{T-1}{T}$$

Si hacemos

$$y_T = \frac{X_t - u}{\alpha} \rightarrow P(X_T) = \exp[-\exp(-y_T)] \rightarrow y_T = -\ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]$$

Como

$$y_T = \frac{X_t - u}{\alpha} \rightarrow X_T = \alpha \cdot y_T + u$$

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de periodo de retorno para ondas cálidas de estaciones climatológicas para temperaturas máximas que tienen influencia en El Arenal.

No. estación	Nombre de la estación	Tr (tiempo de retorno) 5	10	25	50
13060	Actopan	36.24	37.61	39.34	40.63
13108	San Salvador	30.05	31.86	34.15	35.85
13154	Magdalena	31.54	33.19	35.27	36.81
13027	Santiago de Anaya	31.53	32.50	33.72	34.63
13121	Santa María Amajac	32.03	34.08	36.68	38.60
13017	El Chico	33.21	36.04	39.63	42.29
13112	Mineral del Chico	30.67	31.91	33.47	34.63
13150	El Cerezo	34.96	36.00	37.32	38.29
13123	El Durazno	31.43	32.94	34.84	36.25
13073	Ignacio Zaragoza	33.10	34.29	35.79	36.91
13025	Progreso	36.34	36.53	36.77	36.94
13128	San Agustín Tlaxiaca	35.24	35.49	35.80	36.03
13086	Santiago Tezontlale	33.03	34.18	35.65	36.74
13160	Tornacuxtla	32.66	33.95	35.57	36.78

Tabla 53. Temperaturas máximas asociadas a diferentes periodos de retorno (°C).

Factores de riesgo

A continuación, se enuncian los principales factores de riesgo asociados con la exposición a olas de calor.

Grupos de riesgo por factores personales

- Adultos mayores, especialmente en el grupo de edad mayor de 65 años.
- Lactantes y menores de 4 años.
- Personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y mentales (Demencias, Parkinson).
- Diabéticos u obesos mórbidos.
- Personas en tratamientos médicos que impliquen consumo de diuréticos, neurolépticos, anticolinérgicos y tranquilizantes.
- Pacientes con trastornos de la memoria, dificultades de comprensión o de orientación o poca autonomía en la vida cotidiana.
- Personas con dificultades en la adaptación al calor.
- Enfermos agudos durante los episodios de temperaturas excesivas.
- Consumidores de alcohol y otras drogas.

Factores ambientales, laborales o sociales

- Personas que viven solas, en la calle y/o en condiciones sociales y económicas desfavorables.
- Viviendas sin climatización o difíciles de ventilar.
- Exposición excesiva al calor por razones laborales (trabajo manual en el exterior o que exigen un elevado contacto con ambientes calurosos), deportivas (deportes de gran intensidad física) o de ocio.
- Contaminación ambiental.
- Ambiente urbanizado.
- Exposición continua durante varios días a temperaturas elevadas que se mantienen incluso por la noche.

5.2.2 Sequía

La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando las precipitaciones presentes en un periodo de tiempo son menores que el promedio, y cuando esta deficiencia de agua es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas. Cada vez se presentan sequías con mayor frecuencia, lo que es considerado uno de los fenómenos naturales que más afectaciones tiene sobre la economía, pues grandes extensiones de tierra cultivada se pierden por las sequías y numerosas cabezas de ganado mueren durante las mismas. La magnitud, duración y severidad de una sequía pueden considerarse relativas, ya que sus efectos están directamente relacionados con las actividades humanas (Cenapred).

Existen múltiples definiciones de sequía, que dependen de las diferentes características climáticas de las regiones así como de los distintos impactos socioeconómicos que tienen en éstas. A pesar de que la sequía se clasifica normalmente como meteorológica, agrícola, hidrológica o socioeconómica, todo tipo de sequía implica una deficiencia de las precipitaciones que se traduce en la escasez de agua para alguna actividad o grupo humano. La sequía debe ser considerada una condición relativa y no absoluta.

La deficiencia de precipitaciones resulta en impactos económicos y ambientales significativos. La sequía, a diferencia de otros fenómenos naturales, es de evolución lenta, es decir, es una amenaza natural progresiva, sus efectos se acumulan durante periodos de tiempo considerables y pueden persistir incluso años después de la merma del tiempo seco; es por esta razón que resulta un problema definir el inicio y final de una sequía. Además, la falta de una definición precisa de la sequía limita determinar su grado de severidad y por lo tanto la cuantificación de los impactos socioeconómicos y ambientales, así como la elaboración de propuestas o políticas públicas para su mitigación. El riesgo asociado a la sequía tiene tanto un componente natural como uno de carácter social. Los fenómenos climáticos asociados a la sequía son las altas temperaturas, fuertes vientos, baja humedad relativa, tolvaneras y tormentas de polvo.

Características y severidad: se pueden distinguir tres características principales que definen una sequía, intensidad, duración y cobertura espacial (territorial). La intensidad se refiere al grado de déficit de la precipitación y/o severidad de los impactos asociados. En cuanto a duración, las sequías requieren un mínimo de dos a tres meses de bajas precipitaciones para poder definirse y pueden continuar durante meses e incluso años. La magnitud de los impactos de las sequías se encuentra estrechamente ligados al momento de la aparición de la escasez de precipitación, su intensidad y la duración del evento. En cuanto a sus características espaciales, las zonas afectadas que desarrollan sequía lo hacen de forma gradual.

Las principales causas de las sequías se encuentran relacionadas con: cambios en las dinámicas atmosféricas y alteraciones en la circulación general de la atmósfera a largo plazo, así como modificaciones en la cantidad de luz solar reflejada en la superficie de la Tierra, cambios en la temperatura de la superficie de los océanos e inclusive, el incremento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, que al interactuar al mismo tiempo, ocasionan variaciones espacio-temporales de las precipitaciones (Cenapred, 2007).

Impactos de la sequía: los impactos de la sequía son diversos y fluctúan de acuerdo con la economía. Debido a la cantidad de personas y sectores económicos afectados, así como su extensión espacial, resulta muy difícil cuantificar los daños ambientales y sociales, además de que es difícil determinar de manera precisa los costos financieros de la sequía. Los impactos de la sequía se pueden clasificar en tres áreas, económica, ambiental y social. Las pérdidas económicas van desde pérdidas directas en los sectores agrícolas y pecuarios, pérdidas en las actividades de recreación, transporte y sector energético. Las pérdidas ambientales son el resultado del daño a las especies vegetales y animales, hábitat, degradación, erosión del suelo, degradación de la calidad del paisaje y pérdida de biodiversidad por la incidencia de incendios forestales. Los impactos sociales se refieren a la seguridad pública, la salud, los conflictos entre usuarios del agua y las desigualdades en la distribución de los impactos. Como daños secundarios debidos a las sequías se consideran a los incendios forestales y aceleración de la erosión de los suelos. La falta de humedad en las plantas aumenta

la materia orgánica, la cual puede ser combustible y con la presencia de una fuente de ignición, ya sea natural o antrópica, provoca que se conformen las condiciones para que se presente un incendio forestal. Cuando la capa vegetal se pierde por el fuego, el suelo queda desprotegido ante los agentes erosivos como el viento o la lluvia, acelerando el proceso de erosión del suelo (Cenapred, 2007).

En México, la ocurrencia de sequías de gran magnitud data de tiempos antiguos. En el siglo XX, se registraron cuatro grandes periodos de sequías en los siguientes periodos de tiempo: de 1848 a 1954; de 1960 a 1964; de1970 a 1978 y de 1993 a 1996. No obstante, se tienen registros de daños por sequía en años subsecuentes. El año de 1998 fue crítico en casi todo el territorio nacional en cuanto a la ocurrencia de sequías, ondas de calor y altas temperaturas registradas.

El Monitor de Sequía de América del Norte (North American Drought Monitor [NA-DM]), es un programa de cooperación internacional entre expertos de México, Canadá y Estados Unidos enfocado en monitorear las sequías en América del Norte desde el 2003 a la fecha. En él, se han generado mapas a escala continental donde se señalan las zonas que han sufrido algún grado de sequía según la clasificación que se presenta a continuación.

Anormalmente seco: se trata de una condición de escasez de humedad, no es un tipo de sequía. Se presenta al inicio o al fin de un periodo de sequía. Durante el inicio de la sequía, debido a la falta de precipitaciones de corto plazo, se retrasa la siembra de cultivos anuales y se limita el crecimiento de los cultivos o pastos, además, aumenta el riesgo de incendios por arriba del promedio. Al final de la seca, el déficit persistente de agua, los cultivos se pierden o no se recuperan completamente.

Sequía moderada: se producen daños a los cultivos y pastos; existe un alto riesgo de incendios forestales, niveles bajos en arroyos, embalses, presas y pozos. Se presenta una escasez generalizada de agua, y se requiere que se modere su uso de manera voluntaria.

Sequía severa: en este tipo de sequía, son probables las pérdidas en cultivos. Existe muy alto riesgo de incendios forestales (de tipo horizontal); la escasez de agua es común y por tanto, se deben imponer restricciones en el uso del agua.

Sequía extrema: las pérdidas en los cultivos son generalizadas; el peligro de la generación de incendios forestales es extremo; la escasez de agua o las restricciones de su uso se generalizan.

Sequía excepcional: se producen pérdidas excepcionales y generalizadas de los cultivos, además, se originan incendios forestales masivos (tipo copa). La escasez de agua en los embalses, arroyos y pozos es sumamente alta y se crean situaciones de emergencia debido a la ausencia de agua por un largo periodo de tiempo.

La cartografía generada por el NA-DM, fue utilizada para determinar a escala estatal, los meses y años en los cuales el municipio de El Arenal ha presentado algún grado de sequía.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2014					AS						AS	
2015												
2016				AS	AS							
2017			AS	AS		AS	SM					
2018					AS	AS	AS	AS	SM	SM	SM	SM
2019	SM	SM	SM	SM	SM	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS
2020	AS	AS	AS									

Tabla 54. Registro mensual de presencia de sequía en el territorio de El Arenal (2014-2020). **Tipo de sequía:** AS: Anormalmente seco; SM: Sequía moderada; SS: Sequía severa; SI: Sequía intensa.
Fuente: Monitor de Sequía de México, Servicio Meteorológico Nacional.

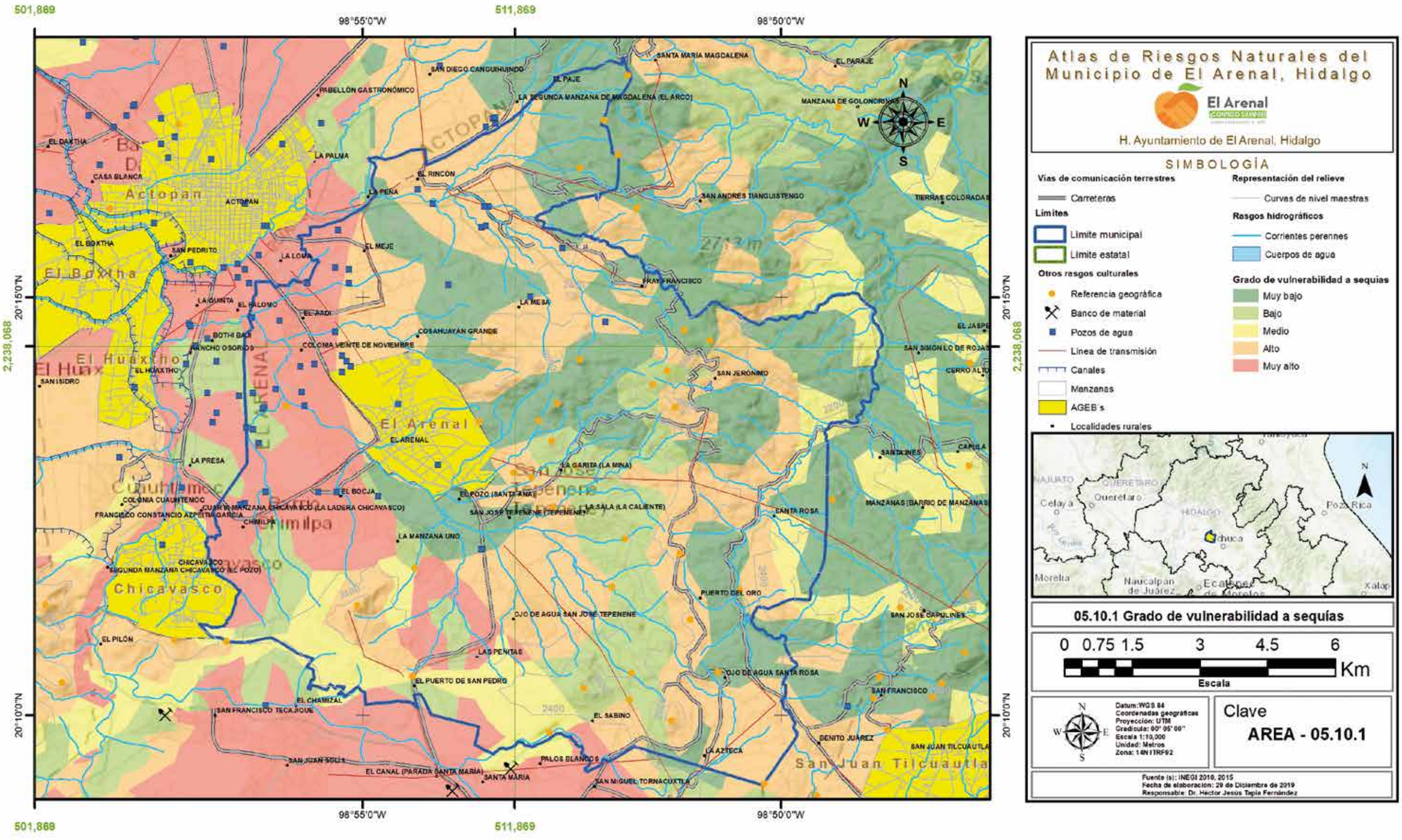
Con base en la cartografía del NA-DM, del periodo de enero 2014 a mayo 2020, El Arenal ha sido afectado por los siguientes tipos de sequias: periodos anormalmente secos y sequía moderada, siendo la primera la más representativa en el municipio, por lo que el peligro por este tipo de fenómeno se considera muy alto para sequías moderadas. Se presentó un periodo de sequía moderada que comenzó en abril de 2018 y finalizó en marzo de 2020.

Cabe mencionar que debido al cambio climático y la deforestación que sufre el municipio, las anteriores ponderaciones pueden elevar su nivel a las siguientes categorías, incrementando la presencia del fenómeno en el municipio.

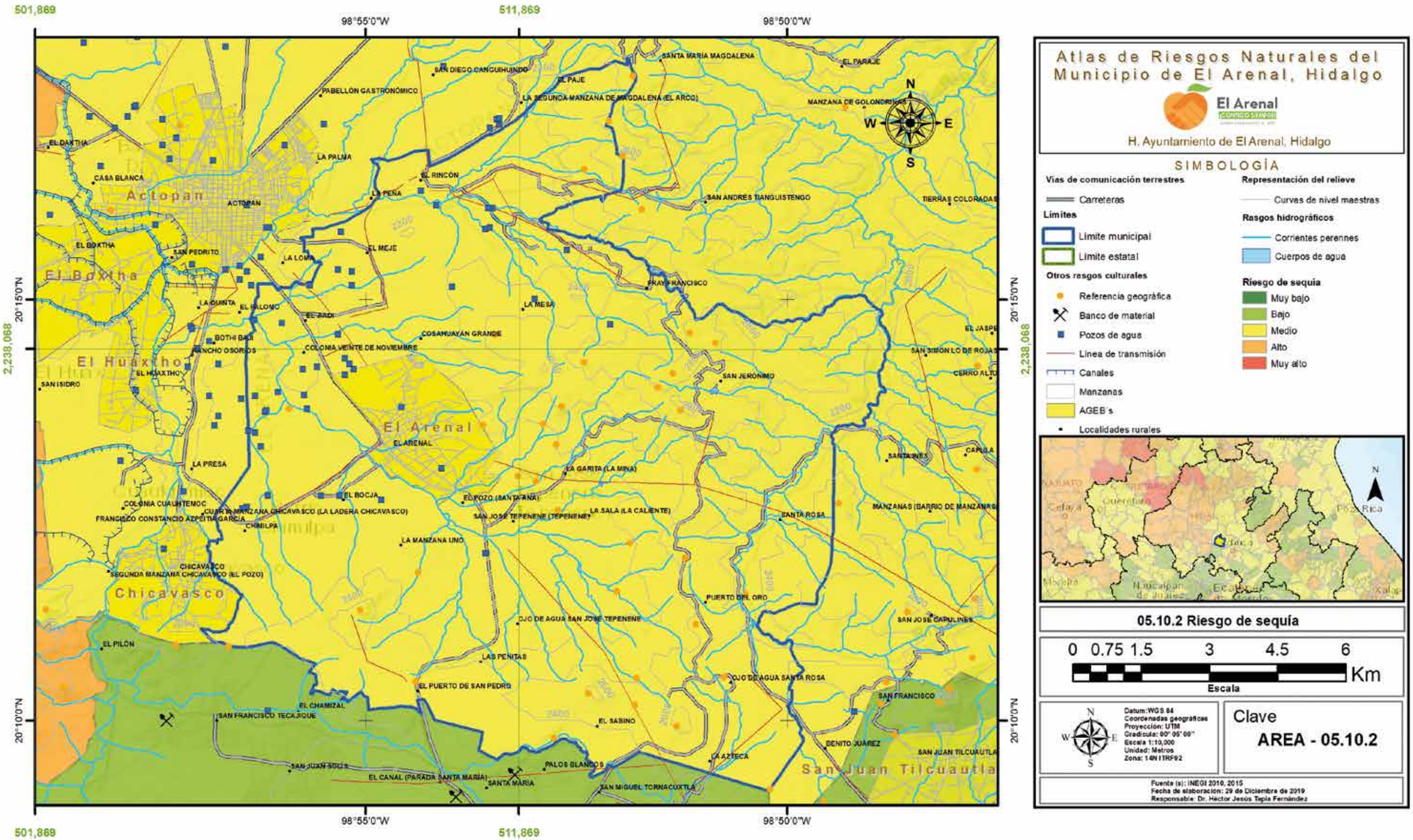
En la siguiente tabla se muestra el nivel de riesgo por sequías para cada una de las localidades del municipio.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	5	Muy alto	La Azteca	4	Alto
20 de Noviembre	5	Muy alto	La Garita	2	Bajo
Cosahuayán Grande	4	Alto	La Manzana Uno	2	Bajo
El Arenal	4	Alto	La Mesa	4	Alto
El Bocja	5	Muy alto	La Sala (La Caliente)	2	Bajo
El Jiadi	5	Muy alto	Las Peñitas	5	Muy alto
El Meje	4	Alto	Ojo de Agua	4	Alto
El Pozo (Santa Ana)	1	Muy bajo	Santa Rosa	3	Medio
Puerto de San Pedro	1	Muy bajo	Puerto del Oro	4	Alto
El Rincón	4	Alto	San Jerónimo	4	Alto
El Sabino	4	Alto	San José Tepenené	1	Muy bajo
Fray Francisco	4	Alto			

Tabla 55. Nivel de riesgo de sequías por localidad.



Mapa 45. Grado de vulnerabilidad a sequías.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB´s
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Riesgo de sequía
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

05.10.2 Riesgo de sequía

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum: WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave

AREA - 05.10.2

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 29 de Diciembre de 2019
Responsable: Dr. Hector Jesús Tapia Fernández

Mapa 46. Riesgo de sequía.

5.2.3 Heladas

Se considera la ocurrencia de heladas cuando la temperatura del aire es de 0ºC a 1.50 metros sobre el nivel del suelo (aunque la temperatura de la superficie del suelo puede llegar a ser 3 a 4ºC menor que la registrada). Desde el punto de vista de la meteorología agrícola, no se puede considerar helada a la ocurrencia de una determinada temperatura, ya que existen vegetales que sufren las consecuencias de las bajas temperaturas sin que ésta llegue a cero grados (por ejemplo: el café, el cacao y otros vegetales tropicales).

La helada es la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua o°C. La cubierta de hielo ocurre cuando se presentan dichas temperaturas, es una forma de helada producida por la sublimación del vapor de agua sobre la superficie. Las heladas se presentan particularmente en las noches de invierno por una fuerte pérdida radiactiva. Suele acompañarse de una inversión térmica junto al suelo, donde se presentan los valores mínimos de temperatura, que pueden descender a los 2°C o aún más.

Las principales condiciones meteorológicas que influyen en la formación de las heladas son el viento, la nubosidad, la humedad atmosférica y la radiación solar.

Nubosidad: las nubes son extensos conjuntos de pequeñas gotas de agua y cristales de hielo suspendidos en el aire. Se forman cuando el vapor de agua presente en el aire llega a los niveles altos de la atmósfera y se condensa porque la temperatura es más baja (enfriamiento adiabático). Cuando el cielo está cubierto por nubes, merman la pérdida de calor desde el suelo por radiación hacia la atmósfera y devuelven parte de ese calor a la superficie. Para que ello ocurra, la temperatura del aire en movimiento debe ser mayor a la del punto de rocío (la temperatura a la cual el aire no admite más humedad). Cuando sigue descendiendo la temperatura puede llegar a los o°C y el vapor de agua que contiene produce una capa delgada de hielo en la superficie, que se conoce como escarcha blanca. Si en la noche el cielo está despejado, la pérdida de calor desde la superficie de la Tierra es continua, así disminuye bruscamente calor de la superficie y con ello se favorece la ocurrencia de las heladas.

Humedad atmosférica: cuando la temperatura disminuye a o° C o menos y el viento es escaso, el vapor de agua contenido en el aire se condensa; si la humedad es abundante, ésta producirá niebla y cuando al perder humedad, se conformará una helada. Por ello una gran cantidad de humedad atmosférica reduce la probabilidad de ocurrencia de heladas. Cuando se presenta una helada, en los cuerpos de agua de la zona circundante y en objetos sobre el terreno se pueden formar capas de hielo.

Radiación solar: una proporción importante de la radiación solar es absorbida por la superficie de la Tierra y otra, es devuelta desde la superficie hacia el espacio (radiación reflejada). Durante el día, el suelo retiene calor y durante la noche lo pierde; estos procesos dependen de la nubosidad y del viento. Cuando los días son más cortos y las noches más largas, aumenta la ocurrencia de heladas, aunque exista una menor acumulación de calor en el suelo, habrá un mayor tiempo para que se produzca la radiación del calor hacia el aire.

Clasificación de las heladas: las heladas se pueden agrupar en varias categorías de acuerdo con distintos criterios, en lo que respecta al efecto visual en los cultivos, se tienen dos tipos de heladas, la blanca y la negra. Las heladas blancas forman una capa de hielo color blanco sobre la superficie de las plantas u objetos expuestos; mientras que las heladas negras se observan en las hojas de las plantas un aspecto negruzco debido a que se congela el agua contenida en sus células, las heladas suelen afectar principalmente a las plantas que poseen frutos.

Los relieves donde se presentan con mayor frecuencia las heladas son los valles y depresiones. En México, la ocurrencia de heladas es por lo general en el centro y norte del país durante los meses fríos del año (noviembre-febrero). Generalmente las heladas se presentan en la madrugada o cuando está saliendo el sol (la mínima temperatura diurna se alcanza antes del amanecer). La severidad de una helada depende de la disminución de la temperatura del aire y de la resistencia de los seres vivos a ella.

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional (2008), las heladas por sus cualidades gélidas ambientales pueden presentar los siguientes efectos ambientales:

Temperatura	Designación	Vulnerabilidad
0 a -3.5°C	Ligera	El agua comienza a congelarse; daños pequeños a las hojas y tallos de la vegetación; si hay humedad el ambiente se torna blanco por la escarcha.
-3.6 a -6.5°C	Moderada	Los pastos, las hierbas, y hojas de plantas se marchitan y aparece un color marrón o negruzco en su follaje; aparecen enfermedades respiratorias en los humanos, se comienzan a utilizar mecanismos de calefacción.
-6.6 a -11.5°C	Severa	Daños severos en las hojas y frutos; se rompen algunas tuberías de agua por congelamiento; se incrementan las enfermedades respiratorias; existen algunos decesos producto de hipotermia.
>-11.6°C	Muy severa	Las plantas mueren, algunos frutos no protegidos se dañan totalmente; los daños son elevados sobre todo en las zonas tropicales.

Tabla 56. Efectos ambientales de las heladas.

Periodo libre de heladas: con base en el programa "FriskS_NH" (Snyder y Paulo, 2008), se determinó el periodo libre de heladas. Se obtuvo la muestra de la cantidad de días que han transcurrido desde la última helada de la temporada invernal hasta la primera helada de la siguiente temporada. FriskS_NH.xls calcula las probabilidades de que ocurra una temperatura mínima por debajo de la temperatura crítica en una fecha más tardía en primavera. De forma similar, se calculan las probabilidades de que ocurra una temperatura mínima por debajo de la temperatura crítica en una fecha más temprana en otoño. Este programa primero determina, para cada año, la fecha del último día de primavera en que la temperatura mínima cae por debajo de la temperatura crítica introducida. Después calcula la media (μd) y la desviación típica (σd) de la última fecha en primavera durante los años registrados. Las probabilidades para la última fecha de helada en primavera se calculan utilizando:

$$P(T_n < T) = 100\left\{1 - \exp\left[-\exp\left(\frac{d - \beta_d}{\alpha_d}\right)\right]\right\}$$

Donde 'd' es el día del año, αd=σd/1,283 y βd=μd + 0.45σd

La precisión de los cálculos de probabilidad de los datos de temperatura se encuentra limitada por los datos meteorológicos de diferentes años disponibles, por ello, un número mayor de datos proporciona una estimación más precisa. Para utilizar la aplicación FriskS_NH.xls, se introducen un mínimo de 20 años de datos de temperatura mínima diaria. No obstante, se utilizan más años de datos si se encuentran disponibles.

En el Valle de Actopan, las primeras heladas se presentan a principios de noviembre y se extienden hasta finales de febrero, mientras que en la Sierra de Actopan las heladas se dan desde mediados de diciembre hasta principios de febrero. Pueden existir heladas muy tempranas a finales de agosto, así como también pueden presentarse heladas tardías hasta mediados de abril o incluso en mayo, sobre todo en las inmediaciones de El Rincón, El Jiadi y El Paje.

No. estación	Estación	Fin	Inicio	Periodo (días)
13060	Actopan	27 de febrero	23 de noviembre	270
13108	San Salvador	11 de enero	22 de diciembre	346
13154	Magdalena	06 de marzo	23 de noviembre	262
13027	Santiago de Anaya	23 de enero	20 de diciembre	332
13121	Santa María Amajac	04 de febrero	12 de diciembre	312
13017	El Chico	30 de enero	25 de diciembre	330
13112	Mineral del Chico	12 de febrero	06 de diciembre	298
13150	El Cerezo	01 de febrero	11 de diciembre	314
13123	El Durazno	27 de febrero	21 de noviembre	268
13073	Ignacio Zaragoza	28 de febrero	23 de noviembre	269
13025	Progreso	27 de enero	15 de diciembre	323
13128	San Agustín Tlaxiaca	31 de enero	11 de diciembre	315
13086	Santiago Tezontlale	17 de marzo	15 de diciembre	273
13160	Tornacuxtla	29 de enero	09 de diciembre	315

Tabla 57. Periodo libre de heladas para las estaciones meteorológicas cercanas a El Arenal.

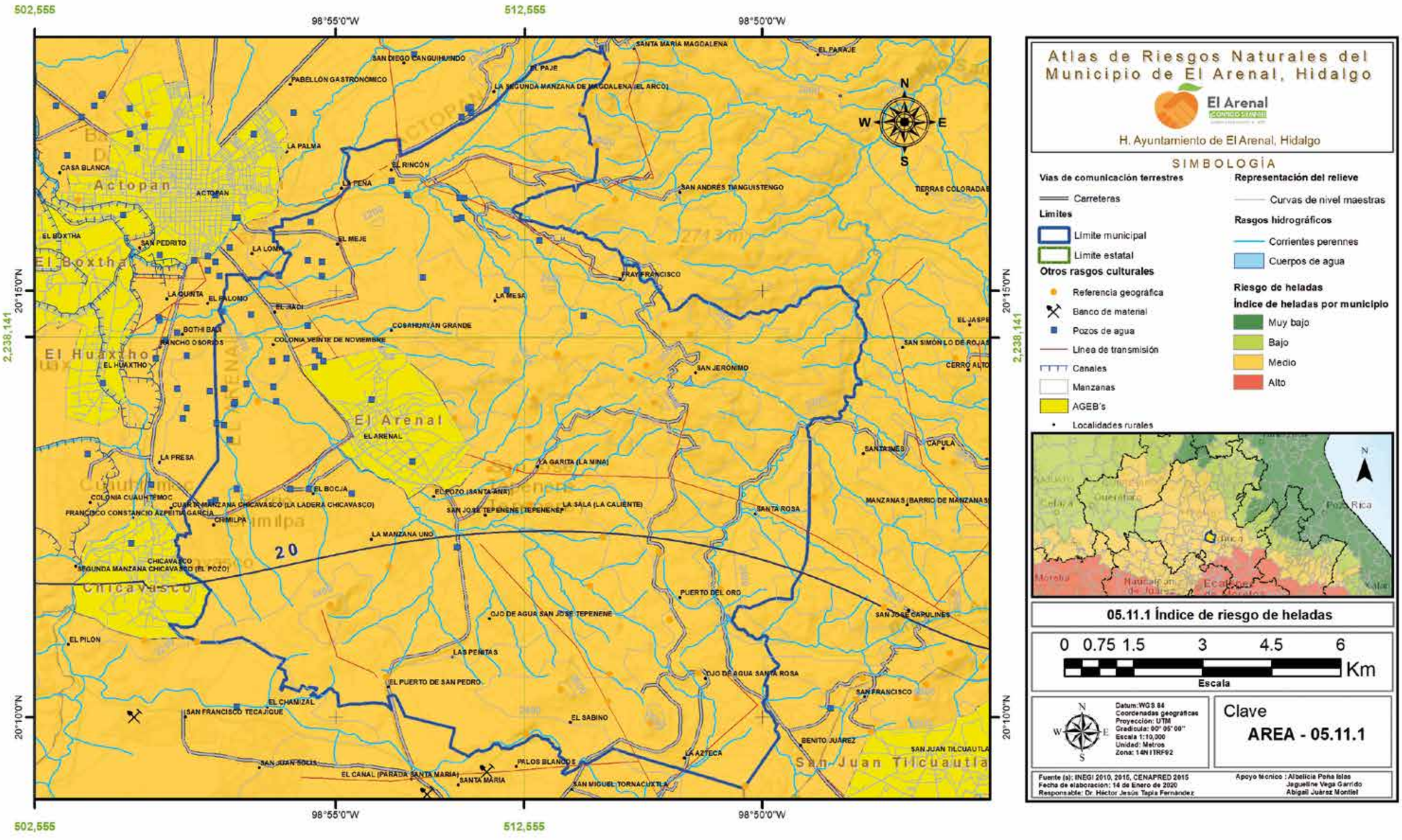
De igual manera, se estimaron aquellas fechas que presentan 50% de certidumbre en que se registran temperaturas por debajo de 0°C. Con este valor, se calcula la fecha en que se puede presentar una helada fuera del periodo normal de heladas. En este contexto, en El Arenal se pueden presentar heladas muy tempranas durante los meses veraniegos de agosto y septiembre; y heladas muy tardías en primavera durante los meses de abril e incluso mayo. Según el Atlas Nacional de Riesgos, se tienen de 61 a 120 días de heladas en El Arenal.

No. estación	Estación	Tardías	Tempranas	Periodo (días)
13060	Actopan	13 de abril	03 de septiembre	143
13108	San Salvador	08 de febrero	18 de septiembre	223
13154	Magdalena	08 de mayo	02 de agosto	86
13027	Santiago de Anaya	27 de febrero	27 de septiembre	214
13121	Santa María Amajac	21 de marzo	19 de septiembre	182
13017	El Chico	17 de marzo	31 de octubre	228
13112	Mineral del Chico	20 de marzo	11 de septiembre	175
13150	El Cerezo	28 de marzo	21 de agosto	146
13123	El Durazno	06 de abril	27 de agosto	143
13073	Ignacio Zaragoza	27 de abril	02 de agosto	97
13025	Progreso	18 de marzo	20 de septiembre	186
13128	San Agustín Tlaxiaca	11 de marzo	07 de septiembre	149
13086	Santiago Tezontlale	30 de mayo	17 de septiembre	140
13160	Tornacuxtla	09 de marzo	13 de septiembre	188

Tabla 58. Certidumbre de que la temperatura normal no descienda por debajo de los 0°C.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	3	Medio	La Azteca	3	Medio
20 de Noviembre	3	Medio	La Garita	3	Medio
Cosahuayán Grande	3	Medio	La Manzana Uno	3	Medio
El Arenal	3	Medio	La Mesa	3	Medio
El Bocja	3	Medio	La Sala (La Caliente)	3	Medio
El Jiadi	4	Alto	Las Peñitas	3	Medio
El Meje	4	Alto	Ojo de Agua	3	Medio
El Pozo (Santa Ana)	3	Medio	Santa Rosa	3	Medio
Puerto de San Pedro	3	Medio	Puerto del Oro	3	Medio
El Rincón	4	Alto	San Jerónimo	3	Medio
El Sabino	3	Medio	San José Tepenené	3	Medio
Fray Francisco	3	Medio			

Tabla 59. Nivel de riesgo de heladas por localidad.



Mapa 47. índice de riesgo de heladas.

5.2.4 Tormentas de granizo

El granizo es un tipo de precipitación sólida (partículas o grumos de hielo de forma irregular) que se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en el interior de nubes (cumulonimbos) son arrastrados por corrientes ascendentes de aire, sobreenfriando el agua y produciendo su congelamiento. El granizo es una de las distintas formas de precipitación, y se llega a originar cuando corrientes de aire ascienden al cielo de forma muy violenta, causando que las gotas de agua se conviertan en hielo al ascender a las zonas más elevadas de la nube donde la temperatura sea como mínimo de 0º C (temperatura de congelamiento del agua).

Conforme transcurre el tiempo, esa gota de agua puede aumentar su tamaño hasta pesar lo suficiente para ser levantada por las corrientes de aire y permanecer por más tiempo en suspensión, precipitando hacia la tierra. Es entonces cuando, arrastrándose en su caída de la nube, se lleva consigo las gotas que va encontrando en su camino. El tamaño de las partículas de granizo se encuentra entre los 5 milímetros de diámetro hasta pedriscos del tamaño de una pelota de golf, las mayores pueden ser suficientemente destructivas como para romper ventanas y abollar la lámina de los automóviles, aunque el mayor daño lo provocan en los cultivos. El depósito del granizo sobre la superficie terrestre exhibe un patrón angosto y largo a manera de un corredor. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20° y 50° (zona intertropical), tanto en el hemisferio norte como en el sur.

La forma del granizo puede ser irregular o regular. Estas partículas generalmente constan de un núcleo congelado envuelto en varias capas de hielo uniforme, las capas pueden ser opacas o transparentes y son indicativas del tipo de masa de aire y del proceso de crecimiento del núcleo de granizo. Sin son opacas es porque el crecimiento ha sido rápido y quedo atrapado aire en la capa; si la capa es transparente, el crecimiento ha sido lento y las burbujas de aire tuvieron tiempo de escapar.

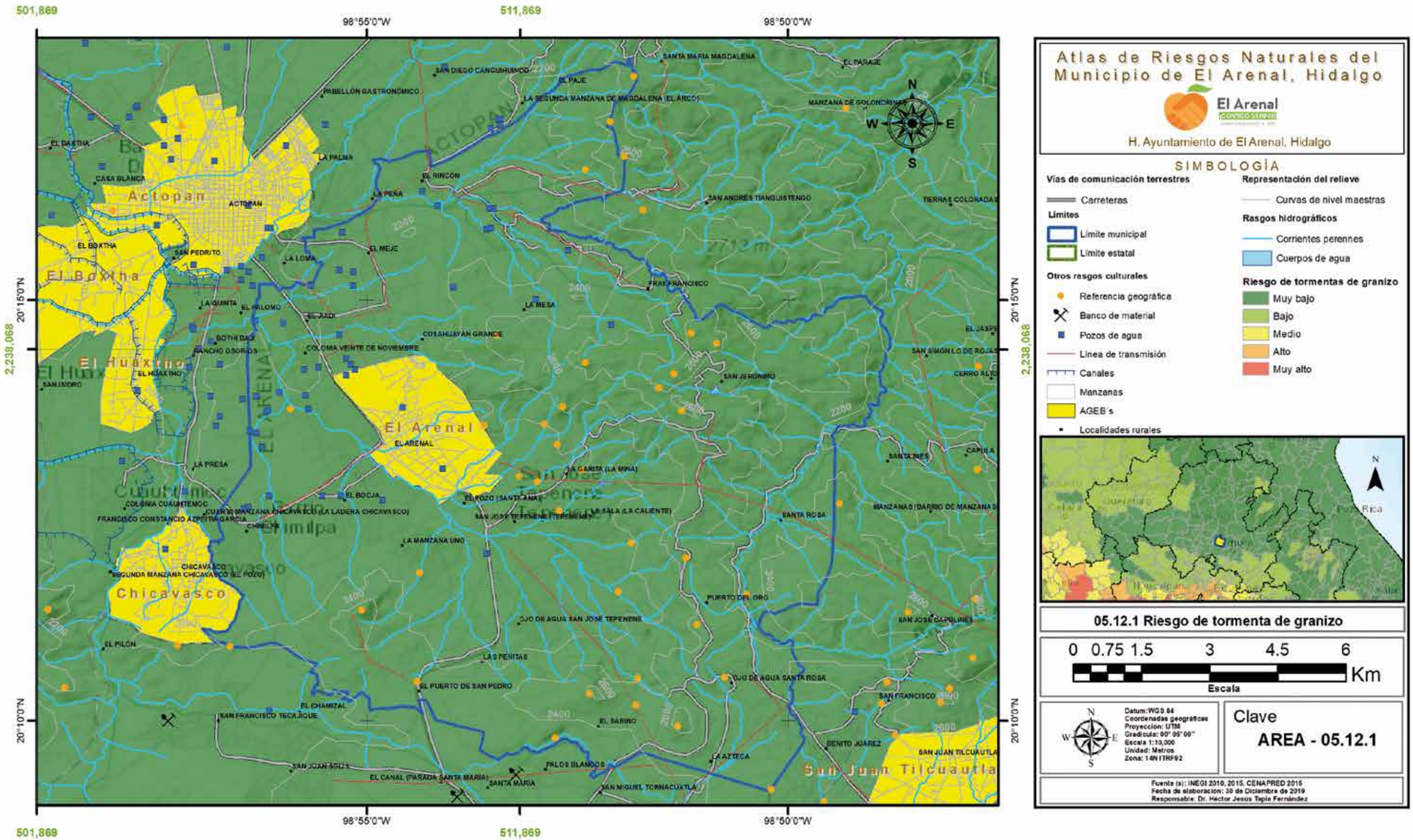
En México, los daños más importantes por granizadas se presentan principalmente en las zonas agrícolas rurales, ya que se destruyen los cultivos y plantíos, causando, en ocasiones, la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones, alcantarillas, áreas verdes, y pueden llegar a colapsar el transporte vial. Cuando se acumula en cantidades significativas, puede obstruir el paso del agua pluvial en coladeras y desagües, generando inundaciones o encharcamientos importantes durante algunas horas. La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. Sin embargo, la distribución de la frecuencia del granizo se determina con base en el Índice de Peligro por Tormentas de Granizo (IPTG).

Número de días con granizo	Valor	Índice	Grado
>5	7.5	1.00	Muy alto
2-5	3.5	0.47	Alto
1-2	1.5	0.20	Medio
0-1	0.5	0.07	Bajo
Sin granizo	0	0.00	Muy bajo

Tabla 60. Peligro por tormentas de granizo.
Fuente: Vidal y García, 2007.

Las zonas más afectadas de México por tormentas de granizo se encuentran en el altiplano de México y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora. Durante el periodo de 1979-1988, según registros de la Comisión Nacional del Agua, los estados que sufrieron más daños en la agricultura fueron: Guanajuato (109, 767 ha), Chihuahua (56,355 ha), Tlaxcala (51,616 ha), Nuevo León (37,837 ha) y Durango, (35,393 ha). Además, se estima que una población mayor a los 6 millones de habitantes se encuentra expuesta a granizadas severas. Las ciudades más afectadas con mayor frecuencia son Puebla, Pachuca, Tlaxcala, Zacatecas y la Ciudad de México, donde se tiene la mayor incidencia de granizadas durante los meses de mayo, julio y agosto (Cenapred, 2010). El estado de Hidalgo ha reportado la incidencia de tormentas de granizo en diversos municipios, en los que ha dejado pérdidas de cultivos y daños estructurales en las viviendas. Por ejemplo, de acuerdo con la base de datos sobre Declaratorias de emergencia, desastre y contingencia climatológica, en 2006 se emitieron declaratorias de contingencia climatológica en los municipios de Emiliano Zapata, Apan, Almoloya y Tepatitlán (Cenapred, 2013).

En El Arenal se presentan tormentas de granizo de baja intensidad y un índice de 0-1 días con granizo al año, por lo que el riesgo es muy bajo.



Mapa 48. Riesgo de tormenta de granizo.

5.2.5 Tormentas de nieve

Las nevadas, también conocidas como tormentas de nieve, son una forma de precipitación sólida en forma de copos. Un copo de nieve es la aglomeración de cristales transparentes de hielo que se forman cuando el vapor de agua se condensa a temperaturas inferiores a la de solidificación del agua. La condensación de la nieve presenta formas intrincadas de cristales hexagonales planos en una variedad infinita de patrones. Éstas se presentan cuando la temperatura de la atmósfera a nivel superficiales igual o menos a los o°C aunada a factores como el viento y la humedad.

Los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas ocurren principalmente durante el invierno, debido al avance de las masas de aire polar y los frentes fríos, que en algunas ocasiones llegan a interactuar con corrientes en chorro, líneas de vaguadas, y entrada de humedad de los océanos hacia tierra. Estos fenómenos provocan la formación de nubes estratiformes, principalmente del tipo nimbostratos que durante las tormentas invernales producen la precipitación en forma de lluvia, aguanieve o nieve (Cenapred, 2010; De Fina y Ravelo, 1979).

Las nevadas, también conocidas como tormentas de nieve, son una forma de precipitación sólida en forma de copos que se forma en el aire por congelación de gotas de agua sobreenfriadas a temperaturas de -12 a -16 °C (Dickerson-Lange et al., 2017). Cuando la temperatura del suelo es mayor a 0 °C, los cristales de hielo que se forman en la atmósfera se funden y se convierten en lluvia. Cuando la trayectoria de precipitación del agua atraviesa una capa de aire cálido, a pesar de que la temperatura del suelo se halla por debajo del punto de fusión, las gotas de lluvia se vuelven liquidas y se congelan nuevamente en medida que atraviesan la capa más fría para alcanzar el suelo en forma de aguanieve. Si la temperatura del suelo es inferior a la de fusión, y no existe una capa de aire caliente, el conglomerado de cristales de hielo alcanza la superficie terrestre en forma de nieve (SENAMHI, 2004).

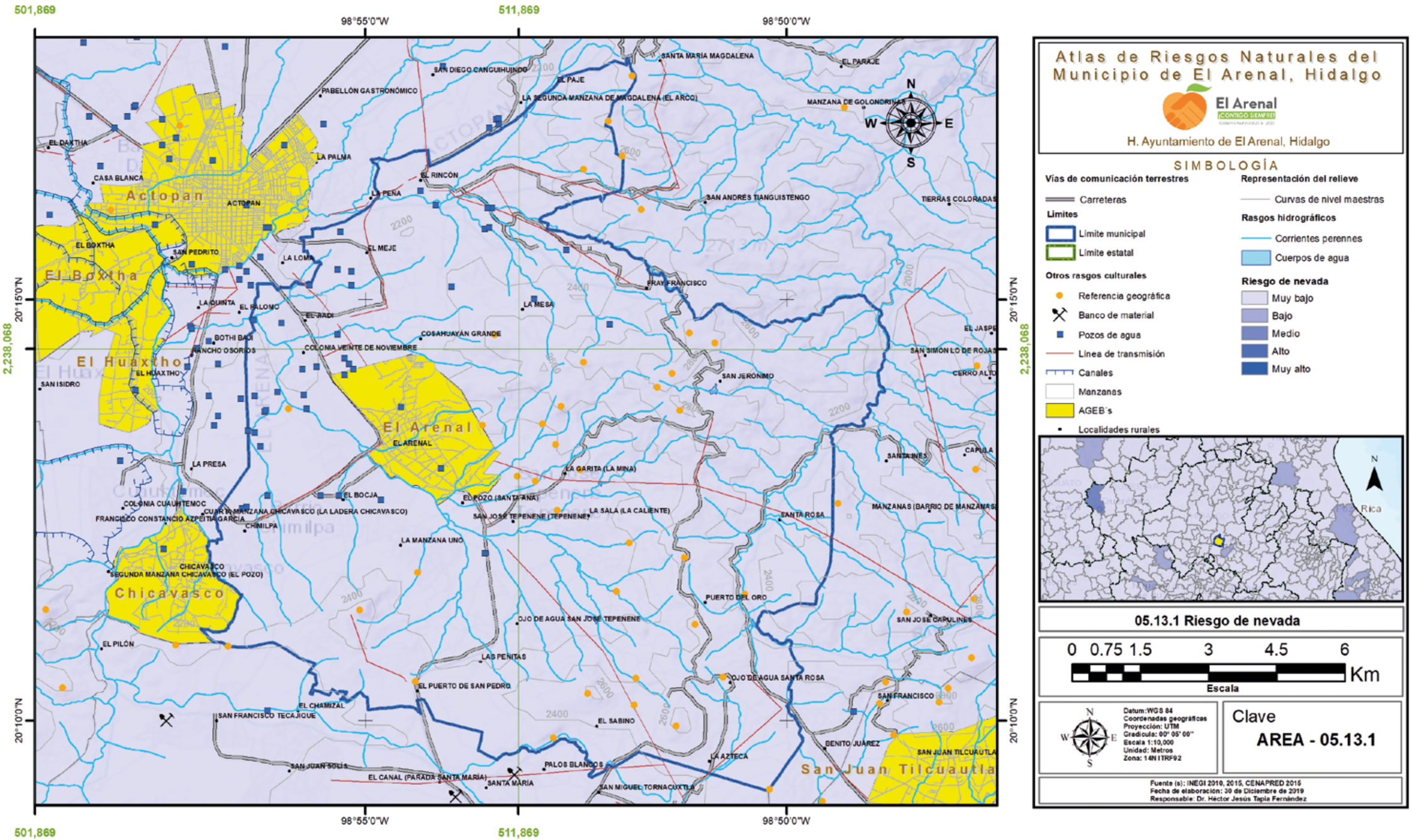
Debido a la situación geográfica de nuestro país son pocas las regiones que padecen de nevadas, siendo más acentuado este fenómeno en regiones altas como montañas o sierras, principalmente durante el invierno. Un caso extraordinario ocurrió en el invierno de 1967, cuando aproximadamente el 50% del territorio nacional resultó afectado por una nevada que extendió sus efectos hasta el Valle de México.

En las ciudades, los efectos negativos de las nevadas se manifiestan de distintas maneras: se dan fallas en el servicio de suministro de energía eléctrica, obstrucción del drenaje con nieve, daños a infraestructura carretera, colapso de techos, decesos de población, entre otros. En las zonas rurales las tormentas de nieve pueden ser tener efectos considerables sobre el cultivo de acuerdo de acuerdo con su tipo y la etapa de crecimiento en la que se encuentre. Las nevadas suelen presentarse en el norte del país y en las regiones altas rara vez se presentan en las regiones del sur y sureste. Durante la estación invernal en las sierras del estado de Chihuahua suceden en promedio más de seis nevadas al año, mientras que, en algunas regiones al norte de Durango y Sonora, las nevadas tienen una frecuencia de tres veces al año. También se han registrado nevadas que han afectado a las ciudades del centro del país como Toluca, Ciudad de México, Puebla, Tlaxcala y San Luis Potosí. Eventualmente pueden formarse nevadas en el Altiplano de México por la influencia de las corrientes frías provenientes del norte del país. Históricamente las zonas donde su ocurrencia es más frecuente son los volcanes de la Faja Volcánica Transmexicana, que superan los 4,500 m.s.n.m, como el Pico de Orizaba, Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca, las sierras de Chihuahua, Durango, Sonora, Coahuila, Baja California y Nuevo León y, con menor frecuencia, en la zona del Bajío (Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Jalisco), así como en las partes altas del Valle de México, como es la Sierra de Chichinautzin.

Al respecto, el Atlas Nacional de Riesgos muestra que El Arenal presenta un índice de frecuencia de nevadas en un intervalo de 0 a 0.03, lo cual representa una probabilidad muy baja de ocurrencia (UNAM, 2007) que, de llegarse a presentar, se daría en las localidades ubicadas en la Sierra de Actopan.

Localidad	Altura sobre el nivel del mar	Población
San Jerónimo	2,652	641
Ojo de Agua (Santa Rosa)	2,534	465
Fray Francisco	2,482	389
La Azteca	2,467	156
El Sabino	2,458	103
La Mesa	2,441	72
Puerto del Oro	2,429	49
Santa Rosa	2,320	68
Puerto de San Pedro	2,266	3

Tabla 61. Localidades con mayor altitud en el municipio.



Mapa 49. Riesgo de nevada.

5.2.6 Huracanes

Ondas tropicales: la Organización Meteorológica Mundial (2005) define a una onda tropical como un tipo de vaguada. En la parte delantera de la onda el aire desciende intensamente seco y con ello se presentan cielos despejados, en tanto que en su parte trasera, el aire ascendente favorece la formación de nubes de gran desarrollo vertical y tormentas intensas. La velocidad promedio con la que se mueven las ondas tropicales oscila entre los 20 y 30 km/h, con un periodo entre cada onda de 3 a 5 días.

Los ciclones tropicales o huracanes se forman sobre el mar a partir de ondas tropicales originadas cerca de las costas de África que se desplazan de Este a Oeste (Lobato, 2009) a través del Océano Atlántico e intensificándose según las condiciones de presión, temperatura y humedad que existan. Además, se caracterizan por formarse en aguas oceánicas cercanas al ecuador, y presentar una circulación superficial definida y organizada alrededor de un centro de baja presión atmosférica, girando en el hemisferio norte en sentido contrario al de las manecillas del reloj. Estos eventos meteorológicos se manifiestan por intensos vientos con dirección variable, oleaje fuerte, marea alta y lluvias torrenciales.

En México, se pueden generar ciclones tropicales tanto en el Océano Pacífico nororiental y el Océano Atlántico accidental, específicamente el Golfo de México. Al conformarse un sistema de baja presión atmosférica como un ciclón tropical bien constituido de núcleo cálido, se le asignará un nombre para su monitoreo de acuerdo con la lista predefinida del Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos. Si el viento máximo en superficie es mayor o igual a 118 km/h y el sistema atmosférico presenta áreas o regiones bien definidas entonces se podrá denominar cómo huracán, de lo contrario, se considerará una depresión tropical. En la parte central de la tormenta se encuentra el ojo del huracán, la cual representa una zona que rodea al centro de mínima presión atmosférica, con vientos débiles que en general se encuentra libre de nubes. A continuación, se encuentra una pared de nubes convectivas bastante desarrolladas de tipo cumulonimbos y la presencia de vientos muy fuertes; las cuales forman tormentas que alcanzan altitudes que varían desde menos de 1,6 km hasta más de 13 km sobre la superficie, y poseen una forma de cúpula o de madejas de lana, y de yunque en la cumbre. Posteriormente, alrededor de la pared de tormentas centrales y en forma de espiral, se presentan bandas convergentes de alta nubosidad, de donde finalmente se extiende hacia el exterior una región de nubes convectivas poco desarrolladas.

Nombre	Ubicación geográfica
Huracán	Atlántico occidental, Pacífico central y nororiental, Mar Caribe y Golfo de México.
Tifón	Pacífico noroccidental.
Ciclón	Bahía de Bengala y Mar Arábigo.
Ciclón tropical severo	Pacífico suroccidental y Océano Índico suroriental.
Ciclón tropical	Océano Índico suroccidental.
Baguio	China e Islas Filipinas
Willy-Willy	Australia

Tabla 62. Denominación de los ciclones tropicales dependiendo de su ubicación geográfica.

Para la formación de un ciclón tropical deben estar presentes los siguientes elementos atmosféricos:

Temperatura superior a 30°C: a esa temperatura, el agua del océano se evapora lo suficientemente rápido para que se forme el sistema ciclónico. Es ese proceso de evaporación-condensación el que conforma las bandas de nubes y proporciona la energía térmica que le da la fuerza al sistema para generar vientos fuertes y lluvia. Debido a que en las zonas tropicales la temperatura es normalmente alta, constantemente originan el segundo elemento necesario.

Humedad: ya que el ciclón tropical necesita constantemente de vapor de agua como combustible, tiene que existir disponibilidad de humedad, la cual ocurre con mayor facilidad cuando el sistema ciclónico se encuentra directamente sobre el mar, de modo que su avance e incremento en energía se ven favorecidos. Cuando el ciclón toca tierra firme, se debilita.

Viento: la presencia de viento cálido cerca de la superficie del mar permite que exista alta evaporación, lo que origina una presión negativa (baja atmosférica) que arrastra al aire húmedo en forma de espiral hacia adentro y arriba, formando un sistema de retroalimentación que permite que el proceso de evaporación siga en curso. Además, en los altos niveles de la atmósfera no debe existir presencia de cizalladura (vientos fuertes) para que la estructura se mantenga intacta y no se interrumpa este ciclo.

Giro o "Spin": la rotación de la Tierra provoca la llamada "fuerza de Coriolis" que se explica porque conforme el sistema avanza a latitudes mayores, eventualmente el sistema de baja presión ganará movimiento en forma circular, por lo que comienza a girar y desplazarse como un gigantesco trompo, conformándose un ciclón tropical. Este giro se realiza en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en sentido favorable en el hemisferio sur.

Las condiciones iniciales favorables para su formación y desarrollo son la presencia de aire húmedo en una amplia capa de la atmósfera, la cual se vuelve inestable por la saturación del aire por lo que tiende a elevarse a grandes altitudes generando un fuerte mecanismo de presión. También pueden producirse tormentas tropicales como resultado del choque de dos masas de aire frontal, en las que la ascendencia del viento puede generarse por la llegada de aire frío que se desliza por debajo de la masa de aire cálido y húmedo. Las tormentas tropicales pueden presentar mareas de tormenta de hasta 1.1 m. Estos sistemas meteorológicos de baja presión tienen distintas etapas de evolución, la primera de ellas se conoce como depresión tropical y corresponde a una zona limitada de baja presión atmosférica, donde se favorece la convergencia de vientos en superficie, con una velocidad máxima de 62 km/h, esto se da sobre regiones donde la temperatura superficial del mar es mayor a 26.5°C. La segunda etapa, llamada tormenta tropical, se presenta cuando las condiciones son apropiadas para que los vientos alcancen velocidades de hasta 118 km/h.

De 1944 a 2009 se registraron un total de 723 ciclones tropicales, de los cuales el 53 % evolucionaron a la categoría de huracán. Del total de ciclones generados en el Pacífico solo el 28% llegan a tener influencia en las costas de México, mientras que la proporción de ciclones tropicales que se forman en el Atlántico y que llegan a tocar costas mexicanas es del 12%. Debido a que los ciclones tropicales frecuentemente afectaban a ciudades densamente pobladas en los EE. UU, ocasionando pérdidas económicas y de vidas humanas, se empezaron a registrar desde el año 1944 para el Océano Atlántico y en el año de 1963 para el Océano Pacífico. Inicialmente se realizaba con vuelos sistemáticos de reconocimiento y posteriormente con la ayuda de la observación de imágenes satelitales permitiendo obtener registros de manera continua en espacio y tiempo.

La escala Saffir-Simpson es una calificación que categoriza a los huracanes en el intervalo de 1 a 5 según la velocidad sostenida del viento que alcanza un huracán. Además, esta escala estima potencial de daños a la propiedad. Los huracanes que llegan a alcanzar la categoría 3 y superiores, se consideran huracanes mayores debido a su potencial destructivo debido a la pérdida significativa de vidas y daños (NOAA, 2013).

Categoría	Velocidad del viento (km/h)	Velocidad del viento (mph)	Energía liberada (kt)
1	119-153	74-95	64-82
2	154-177	96-110	83-95
3	178-208	111-129	96-112
4	209-251	130-156	113-136
5	>252	>157	>137

Tabla 63. Escala de Saffir-Simpson.

Aun cuando los huracanes pueden formarse desde principios de mayo en el Mar Caribe o en el Golfo de México, la temporada oficial de huracanes comienza el 1 de junio y termina el 30 de noviembre. En la zona este del Pacífico Oriental, la temporada comienza oficialmente el 15 de mayo y termina el 30 de noviembre.

Se realizó una revisión histórica de los ciclones tropicales que se han aproximado a El Arenal o que lo han afectado de alguna forma. En el análisis de datos realizado para el Océano Atlántico, es notoria la frecuencia de ciclones tropicales que entran al territorio mexicano por el estado de Quintana Roo y cruzan la península de Yucatán que salen al Golfo de México para retornar territorio nacional y seguir su recorrido hacia las costas de Tamaulipas o Veracruz.

Efectos directos de los huracanes como oleajes, vientos fuertes y marea de tormenta han sido prácticamente imperceptibles en el municipio de El Arenal, ya que se encuentra a 176 km de las costas del Golfo de México y a 386 km de la costa del Océano Pacífico. Sin embargo, las lluvias copiosas pueden tener efectos secundarios indeseados como inundaciones, deslaves, caídas de roca y hundimientos.

A continuación, se presentan las reseñas de las trayectorias de los huracanes que han afectado de manera indirecta a El Arenal.

Huracanes del Océano Pacífico

Huracán Cosme: fue un ciclón tropical que tocó tierra en el suroeste de México el 21 de junio de 1989. Fue la tercera tormenta tropical y el segundo huracán de la temporada de huracanes 1989 del Pacífico. Cosme se formó a partir de una onda tropical que surgió en la costa oeste de África y atravesó el océano Atlántico, finalmente cruzó hacia el Pacífico donde varios centros de circulación se asociaron con el sistema y se convirtió en depresión tropical el 18 de junio, La tormenta se movió hacia el oeste y para el 20 de junio se intensificó en la tormenta tropical Cosme. Llegó a tierra cerca de Acapulco durante la noche del 21 de junio se debilitó rápidamente sobre tierra. Muchas zonas montañosas recibieron precipitación de hasta 180 mm. Los fuertes vientos producidos por la tormenta dañaron numerosos árboles y líneas eléctricas a lo largo de las zonas afectadas. La trayectoria del sistema ciclónico atravesó el territorio de El Arenal en algún momento entre el 22 y 23 de junio.

Huracanes del Océano Atlántico (Golfo de México)

Huracán Janet: fue el ciclón tropical más poderoso de la temporada de huracanes del Atlántico de 1955 y uno de los huracanes más fuertes jamás registrados. Janet también fue la primera tormenta con nombre en causar más de mil muertes a lo largo de su trayectoria y la primera tormenta de categoría 5 cuyo nombre fue retirado. Fue la undécima tormenta tropical, el noveno huracán y el cuarto huracán mayor de aquel año. Janet se formó a partir de una onda tropical al este de las Antillas Menores el 21 de septiembre. Se movió hacia el oeste a través del Mar Caribe, Janet fluctuó en intensidad, pero en general se fortaleció antes de alcanzar su intensidad máxima como huracán de categoría 5 con rachas de vientos de 175 mph (282 km/h). El intenso huracán tocó tierra a esa intensidad cerca de Chetumal, Quintana Roo, el 28 de septiembre, dejando solo cuatro edificios en pie y grandes daños. Al debilitarse sobre la península de Yucatán, se movió hacia la Bahía de Campeche, donde se fortaleció ligeramente y se convirtió en huracán categoría 2, antes de llegar a tierra firme cerca de Veracruz el 29 de septiembre. Janet se debilitó rápidamente sobre el terreno montañoso de México antes de disiparse el 30 de septiembre. La trayectoria de Janet llegó a pasar por El Arenal, aunque se desconocen los daños y afectaciones provocados por este ciclón tropical.

Huracán Debby: fue la octava depresión tropical, cuarta tormenta y primer huracán de la temporada de huracanes en el Atlántico de 1988. Una fuerte onda tropical se formó cerca de la costa noroeste de África el 15 de agosto, al moverse en dirección norte se convirtió en la depresión tropical número siete cerca de las Antillas Menores. Ese sistema se movió al oeste y días después se convirtió en la tormenta tropical Chris. Los remanentes de este ciclón tropical continuaron en dirección oeste y entraron al mar Caribe como un centro desorganizado de chubascos. Durante la noche del 29 de agosto, alguna convección se unió y un centro de baja presión de nivel inferior apareció sobre la península de Yucatán. El centro se desplazó hacia la bahía de Campeche y el 30 de agosto se convirtió en la depresión tropical número ocho. Las bandas nubosas se unieron y se organizaron el 1 de septiembre. La depresión tropical se movió en dirección oeste con un incremento en su desarrollo que se transformó en la tormenta tropical Debby el 2 de septiembre. Los mayores daños se presentaron en Tuxpan y Poza Rica, en el estado de Veracruz. En su trayectoria por el altiplano de México, el ojo de Debby pasó al norte de El Arenal, dejando lluvias copiosas y anegaciones en poblaciones cercanas. Después de cruzar al este del Pacífico en México, Debby se convirtió en la depresión tropical 17-E, tomando dirección norte, pero amainó y se disipó poco después.

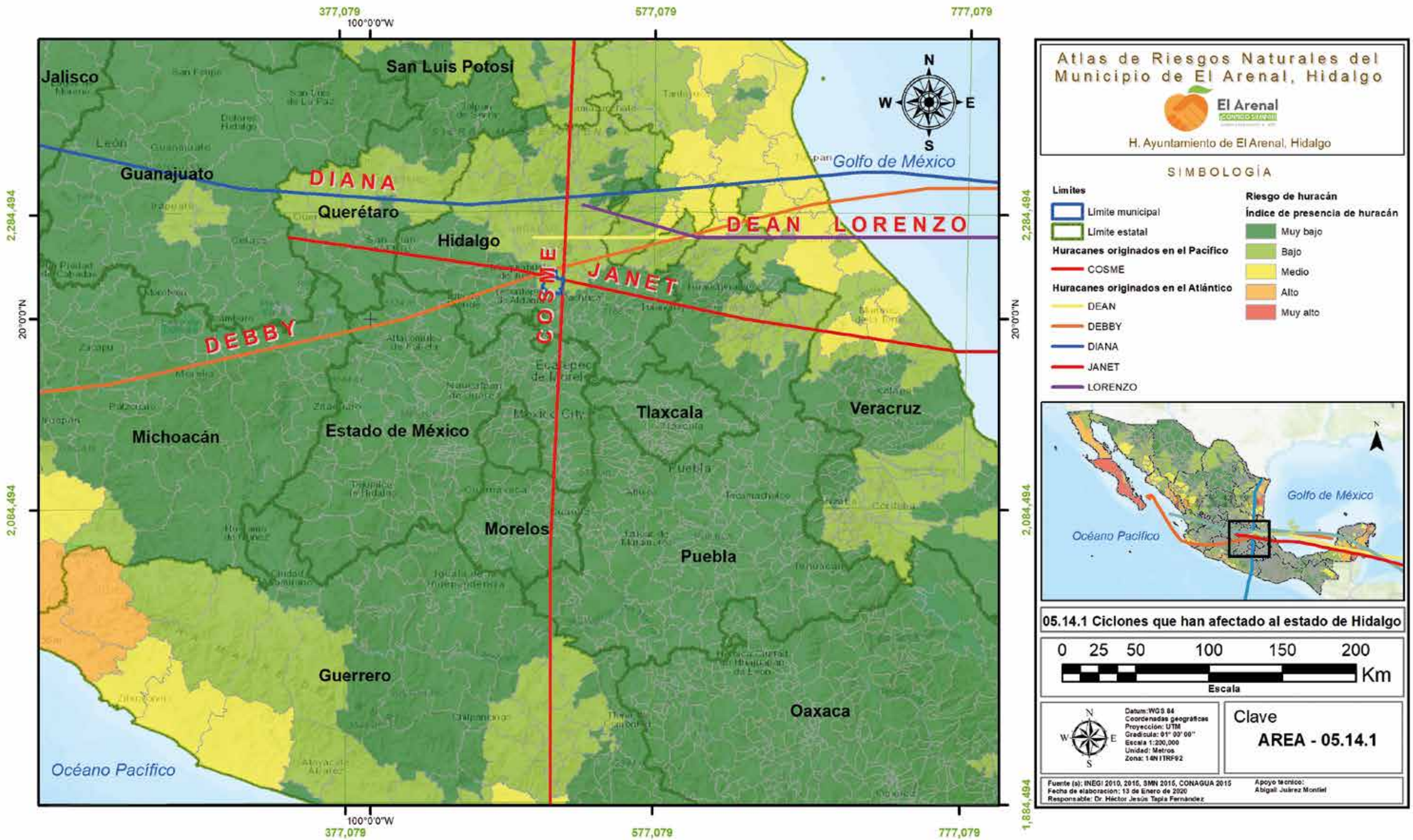
Huracán Diana: fue la cuarta tormenta y el segundo huracán de la temporada de huracanes en el Atlántico de 1990. Se formó como onda tropical cerca de las costas de África el 27 de julio, viajó hacia el oeste a través del Atlántico y permaneció desorganizada hasta que alcanzó el Mar Caribe, donde las condiciones se volvieron muy favorables para su desarrollo. Diana se intensificó a depresión tropical el 4 de agosto frente a las costas de Nicaragua. El día 5 de agosto se convirtió en tormenta tropical al noreste de Honduras y le fue asignado el nombre. Cambió rápidamente de dirección hacia el noroeste y arremetió contra las costas de Quintana Roo, al sur de la isla de Cozumel, con vientos de más de 100 km/h. La tormenta se debilitó un poco en su paso sobre la península de Yucatán y emergió a la Bahía de Campeche el 6 de agosto con vientos de 80 km/h. En el Golfo de México la tormenta encontró condiciones favorables en su desplazamiento al oeste, tomando fuerza en mar abierto y convirtiéndose en huracán categoría 2 el 7 de agosto. Esa misma noche, el huracán alcanzó vientos máximos de 160 km/h, antes de tocar tierra en Tampico, Tamaulipas. En tierra causó lluvias en su desplazamiento a través de México, causando graves daños en los estados de Veracruz, Hidalgo y Puebla, que fue el estado el más afectado con 75 mil damnificados.

Huracán Dean: fue la cuarta tormenta en recibir nombre, la tercera tormenta y el primer huracán de la temporada de huracanes en el Atlántico de 2007. Así mismo, fue el huracán más intenso registrado en la cuenca del océano Atlántico desde el huracán Wilma en 2005. Fue un huracán tipo “Cabo Verde” y se movió en sentido este-oeste a través del mar Caribe después de haber pasado sobre las Antillas Menores, donde dejó un saldo de tres muertos, uno más en República Dominicana, y catorce muertos y severas devastaciones en México.

El huracán Dean se originó como una poderosa onda tropical que se alejaba de la costa occidental de África el 11 de agosto y produjo tormentas eléctricas y chubascos desorganizados en alta mar. La onda tropical encontró las condiciones meteorológicas que favorecieron su desarrollo gradual, El 13 de agosto se organizó lo suficiente para poder ser categorizada como depresión tropical, aunque en días previos fuertes vientos del este de gran altura (cizalladura) limitaron durante un tiempo su desarrollo. Posteriormente, la depresión tropical fue elevada a la categoría de tormenta tropical el 14 de agosto que fue nombrada Dean. El 16 de agosto se forma un ojo identificado por imágenes de satélite y es elevado a la categoría de huracán categoría 1, aunque poco después vuelve a ser tormenta tropical. El día 17, el huracán Dean arribó al mar Caribe a través del canal de Santa Lucía, localizado entre esta isla y la de Martinica con una velocidad de desplazamientos de 32 km/h. Finalmente, para el 21 de agosto de 2007 vuelve a intensificarse el huracán tocando tierra en la península de Yucatán. Al salir hacia aguas más cálidas en la Bahía de Campeche, el huracán se fortalece en categoría 2 y toca tierra en Tecolutla al norte del estado de Veracruz la tarde del 22 de agosto. Tras su penetración en tierra, se desplazó al oeste propiciando una gran zona de inestabilidad y lluvias intensas en los estados de Puebla, Hidalgo, Michoacán, Estado de México y Jalisco, para posteriormente internarse en el océano Pacífico y afectar finalmente a Baja California Sur con la fuerza de una tormenta tropical hasta su disipación. Debido a este evento, El Arenal sufre afectaciones como lluvias fuertes y deslizamientos de tierra en las comunidades de la Sierra de Actopan.

Huracán Lorenzo: fue la duodécima tormenta en recibir este nombre, cuarto huracán y décimo tercer ciclón tropical de la temporada de huracanes en el Atlántico de 2007. Lorenzo se formó a partir de la depresión tropical número trece, 25 de septiembre en aguas del Golfo de México a 290 km al este de Tampico. El día 27 de septiembre, se intensificó a tormenta tropical, localizándose a 160 km al noreste del puerto de Veracruz y a 140 km al este de Barra de Nautla. Posteriormente, Lorenzo se intensificó a huracán categoría 1 con vientos sostenidos de 120 km/h. Lorenzo se localizó próximo a tocar tierra a 45 km al noreste de Barra de Nautla, una hora después penetró en tierra con vientos de 130 km/h y rachas de 155 km/h.

Por su ubicación geográfica y según datos de los registros del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), así como la información de Cenapred, se concluye que el grado de riesgo por presencia de ciclones tropicales para El Arenal, es muy bajo, pues las afectaciones de estos fenómenos en su territorio ocurren solo de forma indirecta. Las afectaciones de un ciclón tropical que toca tierra van de generar vulnerabilidad de la población y riesgos para enfrenar los peligros del viento fuerte y sus derivados; al mismo tiempo, se dan intensas precipitaciones, inundaciones repentinas que causan daños en la infraestructura de zonas urbanas y agrícolas que tienen repercusiones en el desarrollo económico de un lugar. Por el contrario, existen algunos efectos de los efectos positivos entre los que destacan la recarga de acuíferos, presas y la agricultura de temporal.



Mapa 50. Ciclones que han afectado al estado de Hidalgo.

5.2.7 Tornados

El tornado es un fenómeno meteorológico que se produce a raíz de la rotación de aire de gran intensidad y de poca extensión horizontal que se prolonga desde la base de una nube cumulonimbo tipo súper-celda o mesocicl ón. La base de esta nube tiene altitudes por debajo de los 2 km y se caracteriza por su gran desarrollo vertical cuyo tope alcanza aproximadamente los 10 km de altura hasta la superficie de la tierra o cerca de ella. Su duración es variable y puede ir de unos pocos segundos hasta algunas horas. En el centro del tornado, la presión atmosférica es muy baja, puede alcanzar unos 100 milibares menos que en el ambiente alrededor del tornado. Los vientos máximos son muy difíciles de medir, se estima que en los casos más intensos pueden superar los 650 km/h. Debido a esto, el tornado es el fenómeno atmosférico que tiene la mayor capacidad destructora a nivel local.

Los tornados se encuentran conformados por dos tipos de movimientos verticales del aire: uno anticiclónico con giro horario, formado por el aire frío y seco que al descender disminuye su radio y, por lo tanto, aumenta su velocidad de giro. El otro movimiento es de tipo ascendente, conformado por aire cálido y húmedo que constituye un área ciclónica, cuyo radio de acción va aumentando en espiral al ir ascendiendo en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte, y en el sentido favorable de las agujas del reloj para el hemisferio sur. Al contrario de lo que sucede con la especie de embudo anticiclónico descendente, a medida que asciende el aire caliente se va ensanchando, con lo que pierde velocidad y energía.

El tornado generalmente se forma en conexión con una nube de tormenta tipo cumulonimbo, donde el tornado aparece en la base de la nube que comienza como una "nube pared" que indica la fuerte rotación de la tormenta, y se extiende hacia abajo hasta alcanzar el suelo en forma de embudo. Generalmente, van acompañados por lluvia, granizo, relámpagos, rayos, ráfagas de viento intenso y de la oscuridad propia de las nubes. También se registran valores bajos de presión atmosférica (de hasta 840 mbar) en el centro de la tormenta, lo que produce las veloces ráfagas de viento. Las afectaciones de un tornado resultan mayores que las de un huracán debido a que la energía liberada se concentra sobre una superficie más reducida, además de que el efecto de la velocidad del viento y la baja presión (efecto vacío) producen el estallido de ventanas y el colapso de edificaciones. Los tornados se desplazan aproximadamente a velocidades de 50km/h, sin embargo, algunos se mueven tan lentamente que parecen estáticos, mientras que otros pueden alcanzar velocidades de 100km/h o más. La trayectoria promedio de un tornado puede ser de unos pocos cientos de metros hasta cientos de kilómetros, dependiendo de las características de la tormenta que les dio origen. La anchura promedio es de unos pocos metros, y otros pueden alcanzar tallas récord como la registrada en el tornado de El Reno en 2013, cuya envergadura superó los 4 km. En su mayoría adoptan la forma de embudo con una nube de desechos cerca del suelo, cuando quedan obscurecidos completamente por lluvia o polvo son particularmente peligrosos por lo que solo pueden ser identificados mediante imágenes de satélite que miden el efecto Doppler producido por el diferencial de velocidades de los vientos dentro del sistema de tormentas.

Los tornados pueden presentarse de muchas formas y tamaños, además de que pueden ser nombrados de distinta manera dependiendo de su lugar de formación o por la región donde se presentan. Las condiciones de iluminación son un factor determinante en su apariencia, un tornado visto con el sol detrás de él se ve muy oscuro, cuando el sol está a espaldas del observador, su apreciación es gris o blanco brillante. Cuando el tornado se forma durante el ocaso se pueden apreciar tonos de amarillo, anaranjado y rosa, y a veces adquieren diversas coloraciones dependiendo de las características del terreno por donde pasa su trayectoria.

Tipo	Características
"*Dust devil*" o Diablo de polvo	Pequeños y débiles, se ven como un torbellino de polvo sobre el suelo. A pesar de que no adquieren la forma de embudo, la nube de polvo indica una fuerte rotación del viento en la superficie.
Tornado de cuerda o Serpiente de agua	Evento de forma casi cilíndrica y de altura relativamente baja.
Tornado de cuña	Tornado de un solo vórtice, que se aprecia como una enorme cuña enterrada en la tierra. Son de grandes dimensiones y muy destructivos.
Tornado de múltiples vórtices.	Se aprecian como una familia de tornados que giran alrededor de un centro común, pueden llegar a quedar obscurecidos por la condensación, polvo y desechos aparentando ser un solo embudo.
Tromba	Tornado que se forma sobre el mar o un cuerpo de agua lacustre.

Tabla 64. Tipos de tornados y sus características.

Si bien la mayoría de los tornados, particularmente los más fuertes, se derivan de tormentas tipo súper-celdas, también algunos se pueden formar a partir de otras condiciones atmosféricas, y por lo tanto son denominados tornados no súper-celda. Este tipo de tornados, no obstante, suelen ser de menor intensidad.

Existen varias escalas para medir la intensidad de un tornado, pero la aceptada universalmente es la Escala de Fujita (también llamada *Fujita-Pearson Tornado Intensity Scale*), la cual fue elaborada por Tetsuya Fujita y Allan Pearson de la Universidad de Chicago en 1971. Esta escala se basa en la destrucción ocasionada a las estructuras realizadas por el hombre y no al tamaño, diámetro o velocidad del tornado. Por lo tanto, no se puede calcular su intensidad a partir de la observación directa; se deben evaluar los daños causados por el meteoro. Hay seis grados (del 0 al 5) y se antepone una F en honor del autor.

A diferencia de los Estados Unidos, en México no existe sistema alguno que permita alertar la presencia de este fenómeno hidro-meteorológico; sin embargo, ya comienza a existir instrumentación capaz de detectar tormentas súper-celdas y tal vez tornados, como es el caso del radar. Doppler "Mozotal" que fue recientemente instalado en el estado de Chiapas, y es operado por el Servicio Meteorológico Nacional.

Escala	Tipo	Velocidad del viento (km/h)	Daños
F0	Vendaval	60-100	Daños en chimeneas, ruptura de ramas, caída de árboles pequeños, daños señalización pública y rótulos.
F1	Tornado moderado	100-180	Desprendimiento de tejados, coches ligeramente movilizados, algunos árboles arrancados del suelo.
F2	Tornado importante	180-250	Daños considerables en tejados y techos, árboles arrancados de raíz, casas débiles destruidas y objetos ligeros que son lanzados a gran velocidad.
F3	Tornado severo	250-320	Daños en construcciones sólidas, trenes afectados, la mayoría de los árboles son arrancados del suelo.
F4	Tornado devastador	320-340	Edificios y bardas severamente dañados, estructuras con cimientos débiles son arrancadas y movilizadas, coches y objetos pesados son arrastrados.
F6	Tornado increíble	420-550	Edificios grandes seriamente dañados o colapsados, coches lanzados a grandes distancias, las estructuras de acero sufren daños considerables.

Tabla 65. Escala Fujita-Pearson para tornados, basada en los daños causados.
Fuente: Cenapred.

Si bien los tornados pueden producirse a lo largo de casi todo el año, se observa una marcada variación estacional que difiere entre distintas latitudes, cuya máxima ocurrencia se da durante el verano en latitudes medias. Los tornados pueden originarse a cualquier hora del día, aunque con mayor frecuencia durante las horas de la tarde entre las 2:00 p.m. y 8:00 p.m., esta situación se relaciona con el máximo calentamiento diurno de la superficie terrestre, ya que las altas temperaturas contribuyen a la inestabilidad atmosférica y a la formación de tormentas, que generalmente conducen a la generación de tornados.

En 1998, la *National Geographic Society* (NGS) representó el riesgo por tornados para Norteamérica, para México se obtuvo un riesgo medio sobre estrechas franjas de los estados de Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, mientras que el resto del país es catalogado como de bajo riesgo de ocurrencia. Cabe mencionar que en nuestro país se presentan las condiciones meteorológicas necesarias para la formación de los tornados súper-celdas y no-súper-celdas. En algunos lugares se presentan estacionalmente y en otros esporádicamente.

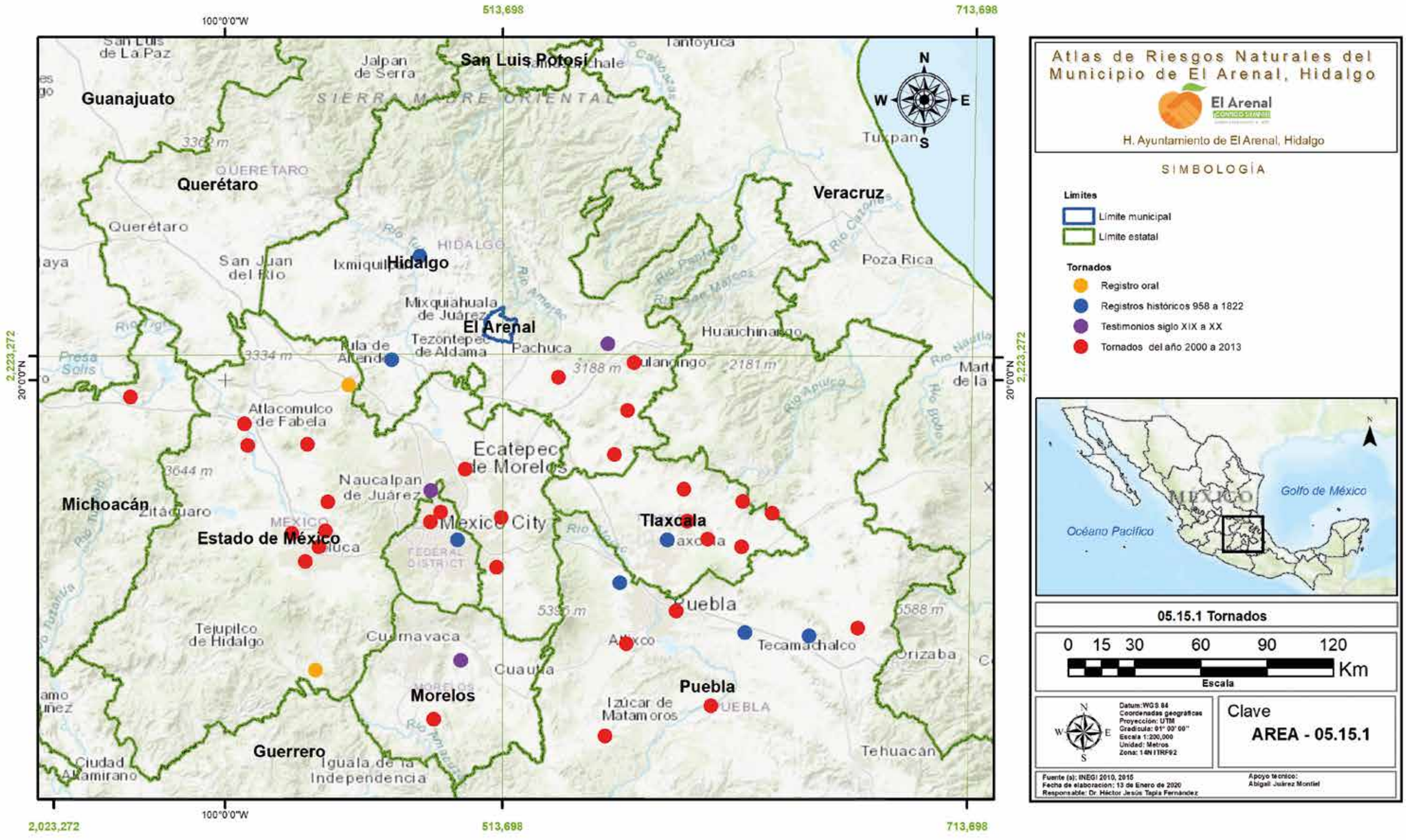
En la actualidad, se cuenta con una escasa base de datos al respecto de estos fenómenos que, además, se remiten exclusivamente a una recopilación de información existente entre testimonios históricos, notas periodísticas y registros orales.

Al analizar los 126 registros de tornados ocurridos en el territorio nacional entre los años 2000 y 2012, el riesgo de ocurrencia de tornado difiere para cada región del país, donde 29 de los 32 estados han presenciado este fenómeno natural, de los cuales solo San Luis Potosí, Querétaro y Morelos permanecen sin incidencia. El mayor número de tornados registrados lo ocupa el Estado de México, la mayoría de ellos ocurridos en las cercanías del Valle de México. Por su parte, Veracruz, cuya posición geográfica se sitúa en gran parte de la costa del Golfo de México, ostenta el segundo lugar con 12 registros, seguido de Tlaxcala con 11. El estado de Coahuila que cuenta con solo 5 registros y en 2007 experimentó el tornado más desastroso registrado dentro del territorio nacional acontecido en el municipio de Piedras Negras.

Tanto el mapa de National Geographic Society (1998) y los datos presentados por el boletín de Investigaciones Geográficas de la UNAM (2013), colocan al estado de Hidalgo con muy bajo peligro de ocurrencia de tornados. Específicamente para el municipio de El Arenal no se cuenta con algún registro de la presencia de este meteoro en el territorio municipal y con base en la información del mapa de presencia de tornados en municipios de México elaborado por el Cenapred, este municipio es considerado como una zona sin presencia de tornados. Sin embargo, en municipios cercanos se han producido tornados tipo no súper-celda que han producido diversas afectaciones en las siguientes comunidades

Comunidad	Municipio	Fecha	Escala (estimada)	Afectaciones
Escobillas	Epazoyucan	20/06/2014	F0	Sin afectaciones.
Huimiyucan	Almoloya	17/08/2014	F3	Casas derrumbadas, árboles arrancados de raíz, ganado muerto y afectaciones agrícolas, personas arrastradas.
La Peñuela	Acatlán	15/04/2015	F2	Laminas y techos destruidos, árboles arrancados
La Cañada	Cuautepec de Hinojosa	24/04/2016	F2	Algunos techos de lámina arrancados.
Mala Hierba	Apan	25/05/2017	F0	Sin afectaciones importantes.
San Antonio	Tula de Allende	30/06/2017	F2	Vegetación arrancada de raíz, sin daños a zonas urbanas.
Zapotlán	Zapotlán de Juárez	19/04/2020	F1	Sin afectaciones

Tabla 66. Algunos registros de tornados en el estado de Hidalgo durante los últimos 5 años.



Mapa 51. Tornados.

5.2.8 Tormentas de polvo y vientos fuertes

Las tormentas de polvo son un fenómeno meteorológico muy común en las zonas áridas y semiáridas del planeta. Se levantan cuando una ráfaga de viento es lo suficientemente fuerte como para elevar las partículas de polvo o arena que se encuentran asentadas en el suelo. Éstas se originan como una fuerte corriente descendente y turbulenta de la misma manera en que se forma en una tormenta eléctrica. El polvo es impulsado, por lo que se llama corriente de densidad y el aire frío se precipita hacia tierra, al llegar a la superficie, se extiende lateralmente lo que provoca que el polvo se distribuya en violentas ráfagas que pueden exceder de 60 mph, y complicar la visibilidad.

Las tormentas de polvo se forman cuando el suelo de un desierto se calienta y existe un rápido descenso de la temperatura sobre la superficie de la tierra, lo que provoca condiciones inestables que crean rachas de viento turbulento y esto tiene como consecuencia el levantamiento de pequeñas partículas desde de la superficie, generalmente del tamaño de limo y arcilla.

Cuando una tormenta de polvo se produce en el desierto, sus efectos pueden ser devastadores. En tan sólo unos minutos, el aspecto de un día con sol brillante cambia al de un anochecer con neblina de color marrón rojizo y la temperatura puede bajar más de 15°C. Las tormentas de polvo severas pueden reducir la visibilidad a cero, e imposibilitarla realización de viajes puede despegar la capa superior del suelo y depositarla en otros lugares. La sequía y el viento contribuyen a la aparición de tormentas de polvo, que afectan gravemente a la agricultura y la ganadería.

El polvo recogido en las tormentas puede trasladarse miles de kilómetros, debido al arrastre por fuertes corrientes de aire hacia otros lugares, incluso entre continentes. Una gran tormenta de polvo procedente del desierto del Sahara (ubicado en el norte de África) atravesó el océano Atlántico afectando a la península de Yucatán y las costas del Golfo de México en el periodo comprendido entre el 25 y 29 de junio de 2020. Por lo general una vez que ocurre una tormenta de polvo (se diferencia de la tormenta de arena cuando el tamaño de la partícula es menor de cien micras), este elemento al ser más ligero sube hasta alturas de 5 a 7 km y forma una masa de aire muy caliente cuya humedad relativa es de apenas un 3 por ciento.

La ocurrencia de este fenómeno provoca patrones muy dinámicos en las dunas de arena e influyen en la erosión superficial, así como en la formación de tormentas de polvo y pequeños remolinos de polvo con menor tiempo de duración. Las partículas pesadas no permanecen mucho tiempo suspendidas en el aire, en cambio las partículas pequeñas se sostienen en el aire. La capa de polvo del Sahara, por ejemplo, se extiende a más de 5 km de altitud, lo que produce colores rojos vivos en las nubes a esta altura.

Por sus características físicas, las partículas de polvo reducen el tamaño de las gotas de lluvia e inhiben la formación de nubes de gran desarrollo vertical generadoras de precipitaciones, favoreciendo así los procesos de sequía. Como el polvo viene cargado de hierro, sílice y sal, además de otros minerales, hongos y bacterias, puede incrementar la salinización de los suelos y propiciar la aparición en los océanos de las denominadas mareas rojas (concentraciones masivas de algas muy tóxicas), causantes de la muerte de diferentes organismos marinos.

Los daños que ha sufrido el planeta a consecuencia de la actividad humana, como la deforestación, el efecto invernadero o la contaminación han contribuido a que las tormentas sean más constantes. El riesgo que se presenta con el fenómeno puede radicar en el contenido de bacterias, virus, esporas, hierro, mercurio, y pesticidas que presenta el polvo, estos contaminantes los recoge a su paso por zonas deforestadas.

Los grupos vulnerables a las tormentas de polvo son los niños pequeños y adolescentes con problemas de asma, bronquitis, enfisema, u otros problemas respiratorios, adultos mayores, personas con problemas cardíacos, mujeres embarazadas, adultos sanos que trabajan o se ejercitan vigorosamente en exteriores (por ejemplo, trabajadores de agricultura y construcción, o corredores).

Los factores medioambientales que condicionan la formación de las tormentas de polvo son las sequías, la ausencia prolongada de lluvias y altos índices de aridez, mientras que los factores detonadores son los vientos extremadamente fuertes.

En El Arenal no se presentan los factores generadores de tormentas de polvo, por lo que no se tienen registros de la ocurrencia de éstas en el estado de Hidalgo, a su vez tampoco se cuenta con indicios de afectación por este tipo de fenómeno para el municipio, por lo que la amenaza se considera nula.

5.2.8.1 Vientos

En la circulación general de la atmósfera, el movimiento de las masas de aire se debe principalmente a los gradientes de presión atmosférica, además de que es afectada por fuerzas reales como el rozamiento y la fuerza de Coriolis. Por ejemplo, en una zona montañosa, durante el día el sol calienta más las laderas que el valle, de manera que se produce un flujo de aire que asciende desde el valle hasta las cumbres. Se trata del viento anabático (ascendente), que alcanza la velocidad más alta a primeras horas de la tarde. Simultáneamente se produce el movimiento del aire siguiendo el eje del valle, en el sentido en que el terreno asciende, este viento local de valle, generalmente muy flojo, es compensado por un viento de retorno en altura que es alimentado por los vientos anabáticos, que muchas veces queda enmascarado por la circulación general de la zona (Casas-Castillo y Alarcón-Jordán, 1999).

Durante la noche, la circulación se invierte, las laderas de la montaña se enfrían por radiación y el aire que tienen encima, más frio y denso, desciende desde la cima y se hunde dentro del valle, lo que da lugar a los que se le conoce con el nombre de viento catabático (descendiente). Paralelamente se forman vientos de montaña a lo largo del eje del valle, que soplan hacia las zonas bajas, mientras que en la altura aparece también una corriente de retorno que los compensa. La velocidad del viento se mide usando una escala de 0 a 12 con base en claves visuales desarrolladas originalmente en 1806 por Sir Francis Beaufort quien creó un sistema de intensidad para determinar de forma precisa la velocidad del viento, dicho sistema fue desarrollado por marineros, pero fue modificado por el Servicio Meteorológico Nacional (NWS, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos para usarlo en zonas continentales.

Escala	Velocidad del viento (km/h)	Denominación	Efectos en tierra
0	0 a 1	Calma	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	Ventolina	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	Brisa débil	Se caen las hojas de los árboles, se mueven los molinos de los campos.
3	12 a 19	Brisa ligera	Se agitan las hojas, ondulan las banderas.
4	20 a 28	Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles.

Escala	Velocidad del viento (km/h)	Denominación	Efectos en tierra
5	29 a 38	Brisa fresca	Pequeños movimientos de los árboles, la superficie de los lagos se ondula.
6	39 a 49	Brisa fuerte	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas.
7	50 a 61	Viento fuerte	Se mueven los grandes árboles, dificultad para caminar contra el viento.
8	62 a 74	Temporal	Se quiebran las copas de los árboles, la circulación de las personas resulta difícil.
9	75 a 88	Temporal fuerte	Daños en árboles, imposible andar contra el viento.
10	89 a 102	Temporal duro	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones.
11	103 a 117	Borrasca	Destrucción generalizada, lluvias intensas y presencia de inundaciones.
12	>118	Huracán	Volcadura de autos. Árboles, techos, casas y personas arrastradas. Vientos característicos de un huracán.

Tabla 67. Escala de viento de Beaufort usada en masas continentales.

Por lo anterior, con datos de las estaciones agroclimáticas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap) se calcularon los valores para para los vientos en El Arenal, en donde los datos de velocidades máximas se ajustaron al modelo de distribución probabilística de Gumbel y se determinaron periodos de retorno para 5, 10, 25 y 50 años.

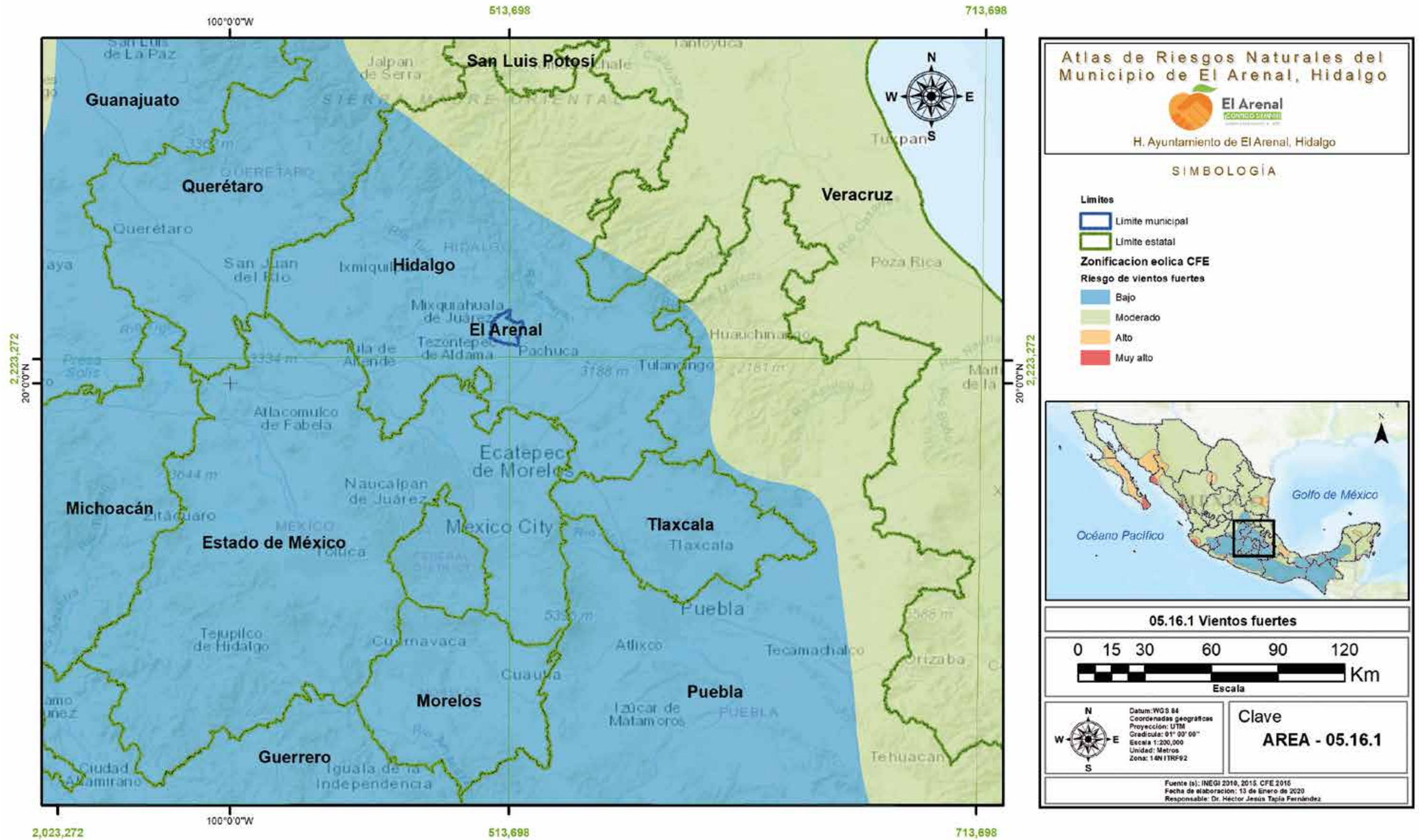
Estación	Velocidad (km/h)		Periodo de retorno (años)			
	Media	Máxima	5	10	25	50
Tlaxcoapan	3.96	69.50	51.85	60.55	71.55	79.70
San Antonio	6.07	38.30	0	0	0	0
Demac	5,73	74.60	55.12	63.78	74.72	82.84
Atotonilco (Vaquerías)	1.47	26.10	17.36	22.97	30.06	35.32
Zapotlán	5.82	64.90	44.35	51.03	59.46	65.76
Tolcayuca	7.84	74.60	66.31	76.57	89.48	98.99
Tula	5.21	38.60	0	0	0	0
Cinta Larga	4.43	73.40	53.76	63.81	76.52	85.95
Zempoala	3.95	74.90	45.89	54.94	66.39	40.20
Pachuca	2.78	70.70	0	0	0	0
San José del Río	6.98	74.90	0	0	0	0
Tiacaque	4.78	36.90	33.82	36.78	40.52	43.30
Arroyo	4.95	32.70	0	0	0	0

Tabla 68. Velocidades del viento para los diferentes periodos de retorno en las estaciones de la zona de estudio del municipio de El Arenal.

Cabe mencionar que las velocidades del viento máximas registradas en El Arenal oscilan entre los 59 y 76 km/h, con una velocidad media de 1.96 a 7.60 km/h. El análisis de los datos de velocidades máximas del viento indica que el peligro en el municipio es de nivel medio, la vulnerabilidad es baja y el índice de riesgo según la zonificación eólica de la Comisión Federal de Electricidad es bajo. Es decir, 18,807 habitantes se encuentran expuestos a un nivel bajo de ocurrencia de vientos fuertes. Cabe mencionar que existe un 80% de probabilidad de que cada 5 años se presenten vientos con velocidades de los 38 a 61 km/h, dichas velocidades pueden provocar el movimiento de las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas y dificultad para caminar contra el viento.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	2	Bajo	La Azteca	2	Bajo
20 de Noviembre	2	Bajo	La Garita	3	Medio
Cosahuayán Grande	2	Bajo	La Manzana Uno	2	Bajo
El Arenal	2	Bajo	La Mesa	3	Medio
El Bocja	2	Bajo	La Sala (La Caliente)	3	Medio
El Jiadi	2	Bajo	Las Peñitas	2	Bajo
El Meje	2	Bajo	Ojo de Agua	2	Bajo
El Pozo (Santa Ana)	2	Bajo	Santa Rosa	3	Medio
Puerto de San Pedro	2	Bajo	Puerto del Oro	2	Bajo
El Rincón	2	Bajo	San Jerónimo	2	Bajo
El Sabino	2	Bajo	San José Tepenené	2	Bajo
Fray Francisco	2	Bajo			

Tabla 69. Nivel de riesgo de vientos fuertes por localidad.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
CONTIGO SIEMPRE

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Limites

- Límite municipal
- Límite estatal

Zonificacion eolica CFE

Riesgo de vientos fuertes

- Bajo
- Moderado
- Alto
- Muy alto

05.16.1 Vientos fuertes

0 15 30 60 90 120

Escala

Km

N
W
E
S

Datum: WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 01° 00' 00"
Escala 1:200,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave

AREA - 05.16.1

Fuente (s): INEGI 2010, 2015. CFE 2015
Fecha de elaboración: 13 de Enero de 2020
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Mapa 52. Vientos fuertes.

5.2.9 Tormentas eléctricas

El concepto de tormenta se utiliza para identificar una perturbación producida a nivel atmosférico, que se desarrolla de manera violenta y que conjuga vientos y precipitaciones intensos. Su origen está en el choque de masas de aire con temperaturas distintas, lo que provoca la formación de nubes y rompe la estabilidad atmosférica. Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Una tormenta eléctrica se forma por una combinación de humedad, entre el aire caliente que sube con rapidez y una fuerza capaz de levantarlo, como un frente frío, una brisa marina o una montaña. Todas las tormentas eléctricas vienen acompañadas de fenómenos eléctricos: rayos, relámpagos y truenos. La atmósfera contiene iones que en una tormenta encuentran las condiciones favorables para formarse y ordenarse. Los cationes se sitúan en la parte alta y los aniones en la parte baja de la nube y la tierra también se carga de iones positivos. Todo ello genera una diferencia de potencial de millones de voltios que acaban originando fuertes descargas eléctricas entre distintos puntos de una misma nube, entre nubes distintas o entre la nube y la tierra: a dicha descarga eléctrica la denominamos rayo. El relámpago es el fenómeno luminoso asociado a un rayo, aunque también suele darse este nombre a las descargas eléctricas producidas entre las nubes.

Las tormentas se asocian a grandes sistemas de nubes convectivas (cumulonimbos) y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos; pero en ocasiones puede ser nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo (OMM, 1993). Son de carácter local y se reducen casi siempre a solo unas decenas de kilómetros cuadrados.

En lo que respecta a la energía de los rayos, de acuerdo con Cenapred (2010), éstos pueden alcanzar una temperatura en el aire de 30,000°C en una fracción de segundo aproximadamente. El aire caliente provoca una rápida expansión produciendo una onda de choque (sonido) que viaja en todas las direcciones a partir del rayo. Los rayos pueden tener trayectorias nube-aire, en donde la electricidad se desplaza desde la nube hacia una masa de aire con carga opuesta; trayectoria nube-nube, donde el rayo puede producirse dentro de una nube con zonas cargadas de signo contrario (como una batería natural gigantesca); trayectoria nube-suelo, en el que las cargas negativas de las nubes son atraídas por las cargas positivas del suelo.

En las tormentas eléctricas, el riesgo se va a encontrar asociado a los rayos, especialmente aquéllos que pueden producir heridos y decesos. Los efectos de los rayos han sido estudiados en países como Estados Unidos, Canadá y Reino Unido, entre otros. Dichos trabajos se refieren a la exposición de las personas durante una tormenta eléctrica y sus consecuencias, las cuales pueden ser parálisis, quemaduras, intensos dolores de cabeza, pérdida de audición y de la memoria, o incluso la muerte.

Las tormentas eléctricas generan chubascos intensos, desarrollando corrientes de aire frío descendente de altas velocidades que son capaces de causar serios daños localizados. Los chubascos de una tormenta eléctrica pueden generar ráfagas de hasta 185 km/h, y sus efectos son a menudo agravados por el granizo y los rayos. Las corrientes de conducción descendientes de las tormentas eléctricas son también un factor crítico de la propagación de incendios forestales debido a la caída de rayos. Los rayos son considerados como un peligro para las personas que desarrollan actividades al aire libre durante su temporada de ocurrencia.

Las tormentas individuales suelen afectar áreas pequeñas, pero puede haber muchas tormentas de este tipo en un momento dado en una región particular, que pueden formar inundaciones repentinas, ráfagas de vientos fuertes, tornados y rayos. Estos fenómenos hacen que su prevención y mitigación sea sumamente importante, pues los efectos de las tormentas eléctricas en la población van desde herir o causar el deceso de una persona de forma directa o indirecta, hasta dañar la infraestructura como la suspensión de energía eléctrica y afectar algunos aparatos electrodomésticos. En ocasiones las descargas eléctricas pueden provocar la muerte del ganado y son la causa común del retraso de aeronaves y de algunos accidentes aéreos.

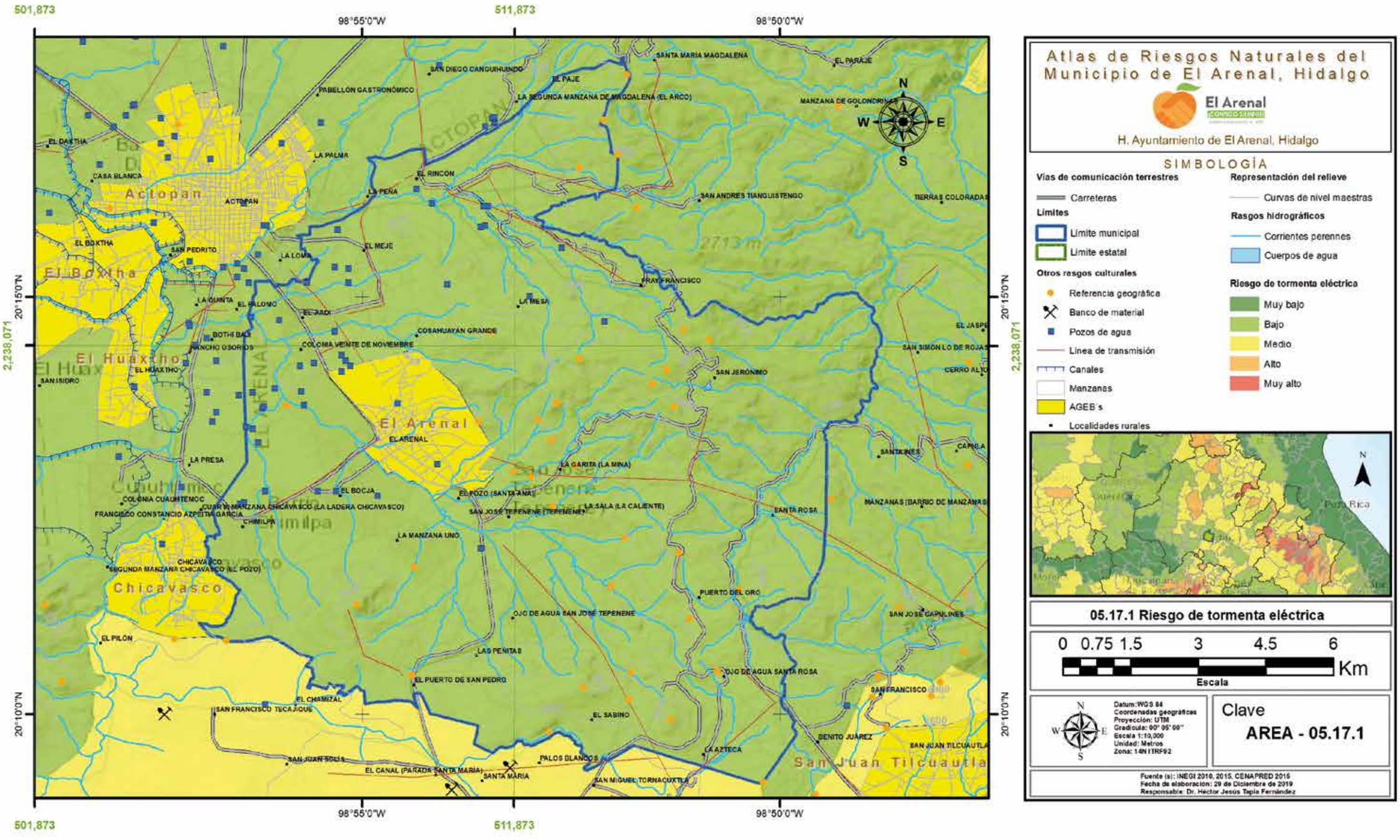
En México se registra desde 1985 el número de decesos generados por el alcance de rayos (Secretaría de Salud, 2007). En los últimos 22 años se reportaron 4,848 defunciones en 31 estados del país; en promedio, al año se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas. El único estado que no ha registrado muertes es Baja California Sur, mientras que el Estado de México registra el mayor número de casos, con 1,140.

Asimismo, durante 1985 se presentó el mayor número de pérdidas humanas con 358, mientras que en 2006 fue de solo 116, es decir, hubo una disminución de más del 50%. Las tormentas eléctricas en México ocurren entre mayo y octubre ye presentan con mayor frecuencia durante horas de la tarde o de la noche. Además, su ámbito es local o regional y son intermitentes como resultado de la topografía del país (Atlas Nacional de Riesgos, 2007). Así, el promedio anual de días con tormenta es de 30 y el máximo es de 100 sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de Chiapas, Montañas del Norte de Chiapas y la Faja Volcánica Trans-mexicana.

Para determinar las zonas de posible caída de rayos en la superficie de El Arenal, se tomó como base la información del número de días con presencia de tormentas eléctricas que se encuentra entre 20 y 29 al año, con un índice de peligro que va de 0.5 a 0.75, por lo que el riesgo determinado para el municipio de El Arenal resulta ser bajo.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	2	Bajo	La Azteca	3	Medio
20 de Noviembre	2	Bajo	La Garita	2	Bajo
Cosahuayán Grande	2	Bajo	La Manzana Uno	2	Bajo
El Arenal	2	Bajo	La Mesa	3	Medio
El Bocja	2	Bajo	La Sala (La Caliente)	2	Bajo
El Jiadi	2	Bajo	Las Peñitas	3	Medio
El Meje	2	Bajo	Ojo de Agua	3	Medio
El Pozo (Santa Ana)	2	Bajo	Santa Rosa	3	Medio
Puerto de San Pedro	3	Medio	Puerto del Oro	3	Medio
El Rincón	3	Medio	San Jerónimo	3	Medio
El Sabino	3	Medio	San José Tepenené	2	Bajo
Fray Francisco	3	Medio			

Tabla 70. Nivel de riesgo de tormentas eléctricas por localidad para El Arenal.



Mapa 53. Riesgo de tormenta eléctrica.

5.2.10 Lluvias extremas

La precipitación es una parte muy importante del ciclo hidrológico porque es responsable de depositar agua fresca sobre la superficie continental. La precipitación es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) que se forman caen a la superficie por gravedad. Artificialmente, se puede inducir a las nubes a producir precipitación, rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, generando las gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación.

Tipo de precipitación	Característica
Gotas de llovizna	Gotas de lluvia con peso suficiente para caer, las cuales tienen entre 0.2 y 0.5 mm de diámetro.
Gotas de lluvia	Gotas de lluvia de 0.5 mm de diámetro.
Lluvia torrencial	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, mayor a 150 mm
Lluvia intensa	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 70 a 150 mm
Lluvia fuerte	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 20 a 70 mm
Lluvia moderada	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 5 a 20 mm
Lluvia ligera	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 0.1 a 5 mm
Lluvia congelada y llovizna congelada	Gotas de lluvia súper-enfriadas y gotas de llovizna que se congelan cuando llegan a una superficie con temperaturas menores a 0°C
Aguanieve	Mezcla de lluvia y nieve, pequeñas bolitas de hielo transparente, o copos de nieve que se han fundido y vuelto a helar
Granos de nieve	Partículas de hielo, pequeñas, opacas, aplanadas y alargadas, que tienen un peso suficiente para caer al piso, pero que no se rompen o rebotan cuando golpean el suelo; con un diámetro de 1 mm
Nieve	Cristales de hielo agrupados en patrones intricados de formas geométricas
Nieve muy ligera	Superficie cubierta mojada parcialmente por la nieve
Nieve moderada	La visibilidad >1 km
Nieve fuerte	La visibilidad entre 500 y 1 km
Nieve húmeda	Nieve que a causa de los rayos directos del sol se vuelve más pesada.
Granos de hielo	Las gotas de agua o los copos de nieve derretidos que caen a través de una capa de aire frío (temperatura menor a 0°C) y se congelan antes de llegar al suelo. Generalmente rebotan y hacen un sonido audible cuando golpean el suelo
Granizo	Granos de hielo que tienen un diámetro de 5 mm
Granizo “blando”	Partículas de hielo opacas de un diámetro entre 2 y 5 mm; a menudo se rompen cuando llegan al suelo; se comprimen fácilmente cuando se aplastan

Tabla 71. Clasificación de la precipitación.
Fuente: Cenapred, 2010.

Las precipitaciones intensas son uno de los eventos hidro-meteorológicos más extremos, de gran fuerza, aunque de baja frecuencia temporal y aparente distribución espacial irregular, que provocan peligros naturales de tipo geomorfológico y gravitacional como procesos de erosión superficial, movimientos de masa, inundaciones fluviales, arroyamiento torrencial y cambios en los cauces de llanuras aluviales, que desencadenan desastres, afectando a poblaciones, vivienda e infraestructura (Beguería y Lorente, 1999).

Episodios hidro-meteorológicos de intensidad superior a la media pueden causar daños catastróficos al medio ambiente y tener efectos socioeconómicos sumamente adversos. En este caso, las lluvias intensas pueden ser causantes de una alta erosión en infraestructura civil como canales, puentes y carreteras, e inundaciones catastróficas que destruyen los cultivos, ahogan el ganando, contaminan los suministros de agua dulce y aíslan las comunidades si se producen deslaves y derrumbes de rocas.

La cantidad de precipitación que cae sobre un lugar determinado de la superficie de la Tierra se mide suponiendo que el suelo es lo suficientemente impermeable y plano, para impedir que el agua corra o se infiltre. El espesor de esa capa de precipitación se mide en milímetros y expresa la cantidad de agua caída en un periodo determinado que puede suceder por día, decena, mes, año, etc. Un milímetro de lluvia precipitada equivale a un litro por cada metro cuadrado de superficie.

Al unir los puntos que registran la misma precipitación sobre un mapa, se obtienen líneas de igual precipitación llamadas isoyetas.

La distribución de la lluvia en territorio mexicano presenta una amplia variabilidad espaciotemporal, en parte debido a la compleja orografía que presenta el territorio nacional. En la mayor parte del país ocurre una temporada de precipitaciones de carácter general comprendida entre el mes de junio hasta mediados de octubre y se conoce como “temporada de lluvia”. Por lo general, hay un periodo de transición en el mes de mayo de lluvias irregulares y dispersas. Dentro de la época de lluvia, con frecuencia se registra un corto periodo seco en el mes de agosto conocido con nombre de “canícula” o sequía de medio verano” que es un factor importante por considerar en lo calendarios de cultivos.

Para identificar el grado de peligro de este fenómeno en El Arenal fueron considerados los datos promedio de precipitación máxima mensual de 14 estaciones que rodean al municipio, conforme a la base de datos Clicom del Servicio Meteorológico Nacional para el periodo de registro de 1951-2010. En la siguiente tabla se muestran los datos de dichas estaciones meteorológicas:

No. estación	Nombre de la estación	Estado	Precipitación máxima (mm)	Latitud	Longitud	Periodo	Altitud
13060	Actopan	Hidalgo	117	20.27	-98.97	1953-2016	2,016
13108	San Salvador	Hidalgo	45	20.28	-99.02	1976-1980	1,994
13154	Magdalena	Hidalgo	125	20.30	-98.86	1988-2015	2,475
13027	Santiago de Anaya	Hidalgo	395	20.38	-98.97	1977-2016	2,029
13121	Santa María Amajac	Hidalgo	106	20.32	-98.75	1980-2016	1,692
13017	El Chico	Hidalgo	181	20.22	-98.75	1922-1988	2,351
13112	Mineral del Chico	Hidalgo	130	20.22	-98.73	1980-2016	2,348
13150	El Cerezo	Hidalgo	130	20.16	-98.73	1986-2014	2,673
13123	El Durazno	Hidalgo	58	20.13	-98.86	1980-1988	2,400
13073	Ignacio Zaragoza	Hidalgo	46	20.13	-99.00	1973-1976	2,084
13025	Progreso	Hidalgo	92	20.24	-99.19	1961-2012	2,000
13128	San Agustín Tlaxiaca	Hidalgo	120	20.12	-98.90	1982-2015	2,355
13086	Santiago Tezontlale	Hidalgo	54	20.16	-99.08	1973-1980	2,080
13160	Tornacuxtla	Hidalgo	91	20.15	-99.88	1996-2016	2,397

Tabla 72. Relación de estaciones meteorológicas con datos promedio anuales de máxima precipitación.

Para determinar los periodos de retorno de precipitación máxima que podrían suceder en El Arenal, se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas, dicha información es captada y procesada por las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. Se utilizaron los datos reportados por 14 estaciones. Que cuentan con datos suficientes para generar periodos de retorno a 50 años.

Los datos de precipitación máxima extraídos de las estaciones meteorológicas se ajustaron a un modelo de distribución de probabilidades Gumbel para obtener precipitación máxima para periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años. Cabe mencionar que en El Arenal la precipitación máxima registrada es de 395 mm en 24 horas, que al ser mayor que 150 mm se cataloga como lluvia torrencial. Se llevó a cabo la interpolación de los datos con el método IDW lo que permitió tener mapas de precipitación máxima para diferentes periodos de retorno.

Considerando un periodo de retorno de 5 años, se determinó que en El Arenal, el peligro por el fenómeno de lluvias extremas es de nivel medio.

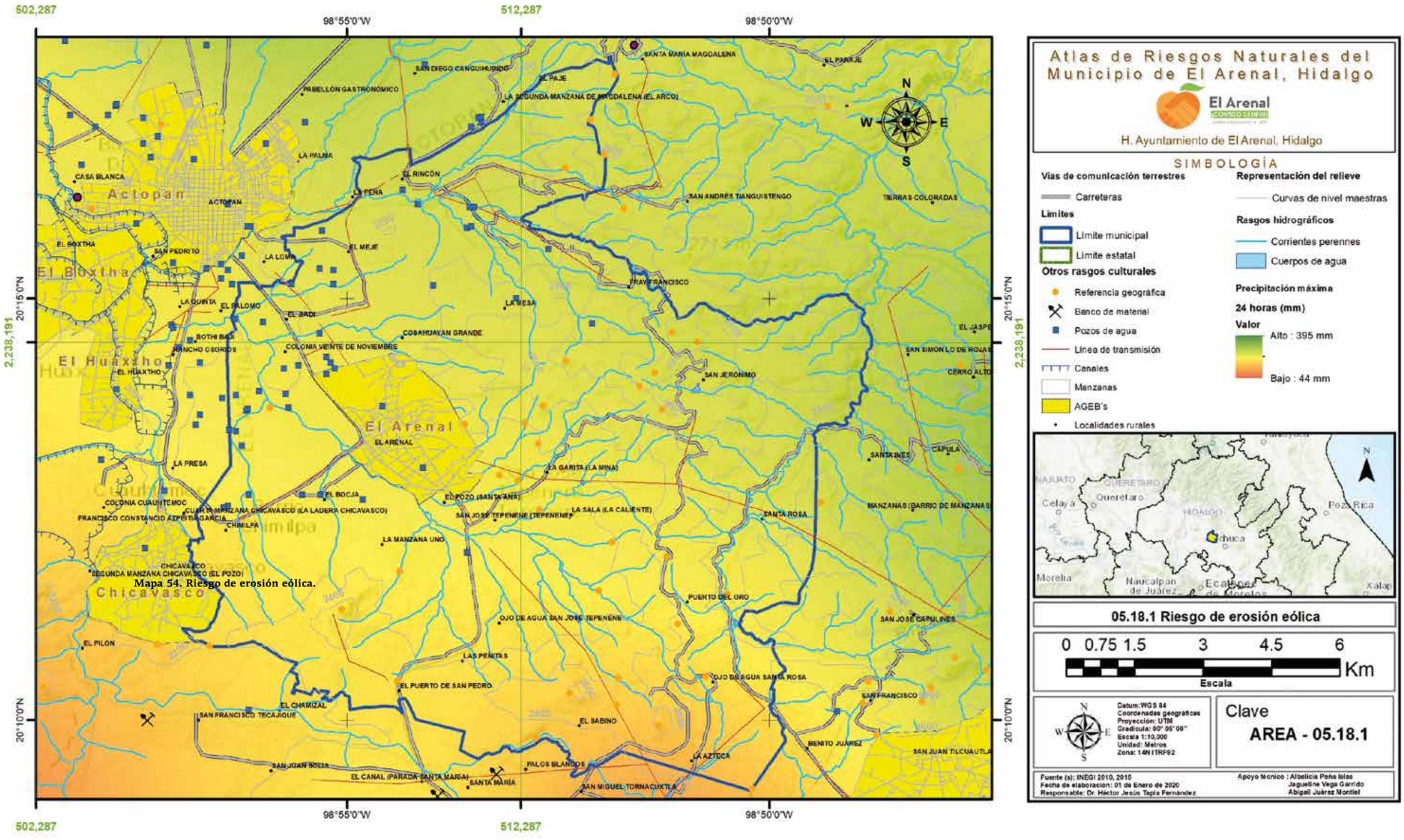
		PMax			
No. estación	Nombre de la estación	5	10	25	50
13060	Actopan	59	72	88	100
13108	San Salvador	33	38	44	48
13154	Magdalena	73	88	108	122
13027	Santiago de Anaya	64	69	76	82
13121	Santa María Amajac	53	55	58	60
13017	El Chico	75	88	105	118
13112	Mineral del Chico	70	82	96	107
13150	El Cerezo	79	97	121	139
13123	El Durazno	45	55	67	76
13073	Ignacio Zaragoza	43	54	69	79
13025	Progreso	51	63	78	90
13128	San Agustín Tlaxiaca	39	46	54	61
13086	Santiago Tezontlale	44	55	68	78
13160	Tornacuxtla	61	73	89	100

Tabla 73. Precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno (°C).

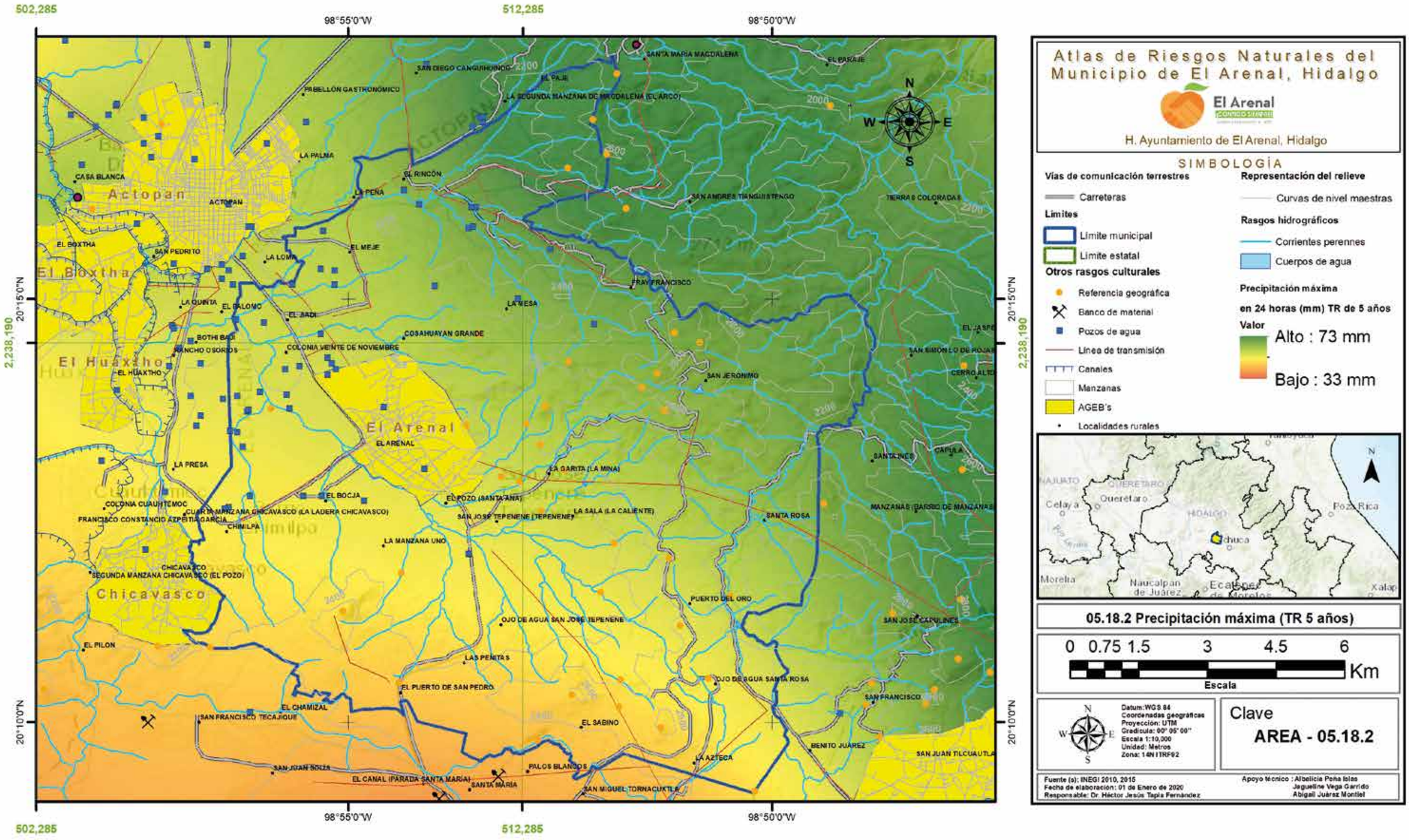
Después de calcular el peligro por lluvias extremas, se calculó la vulnerabilidad la cual indica que 11 localidades se encuentran con grado de riesgo medio y 9 localidades con riesgo bajo. Las comunidades de El Rincón, Fray Francisco y San Jerónimo son las que se encuentran con un nivel de riesgo alto debido a sus condiciones orográficas. Es importante considerar que las lluvias extremas están asociadas a otros fenómenos como inundaciones y movimiento gravitacional de masas y existe una probabilidad de ocurrencia de cada 5 años de precipitación máxima de 50 a 75 mm en 24 horas.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	2	Bajo	La Azteca	2	Bajo
20 de Noviembre	3	Medio	La Garita	3	Medio
Cosahuayán Grande	3	Medio	La Manzana Uno	2	Bajo
El Arenal	3	Medio	La Mesa	3	Medio
El Bocja	2	Bajo	La Sala (La Caliente)	2	Bajo
El Jiadi	3	Medio	Las Peñitas	3	Medio
El Meje	3	Medio	Ojo de Agua	3	Medio
El Pozo (Santa Ana)	3	Medio	Santa Rosa	2	Bajo
Puerto de San Pedro	2	Bajo	Puerto del Oro	2	Bajo
El Rincón	4	Alto	San Jerónimo	4	Alto
El Sabino	2	Bajo	San José Tepenené	3	Medio
Fray Francisco	4	Alto			

Tabla 74. Nivel de riesgo de lluvias extremas por localidad.



Mapa 54. Riesgo de erosión eólica.



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
contigo siempre

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Limites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Precipitación máxima

en 24 horas (mm) TR de 5 años

Valor

Alto : 73 mm

Bajo : 33 mm

05.18.2 Precipitación máxima (TR 5 años)

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

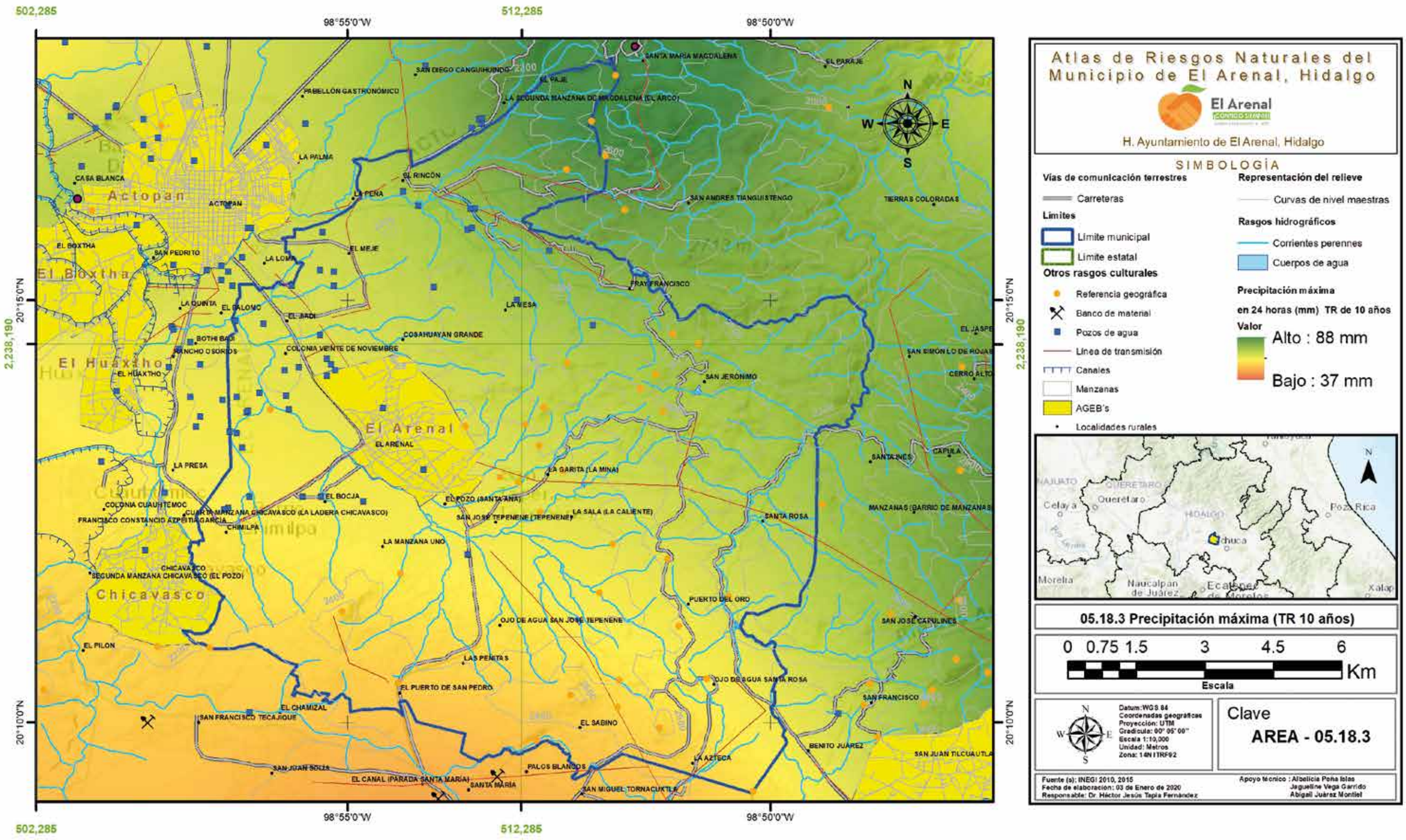
Clave

AREA - 05.18.2

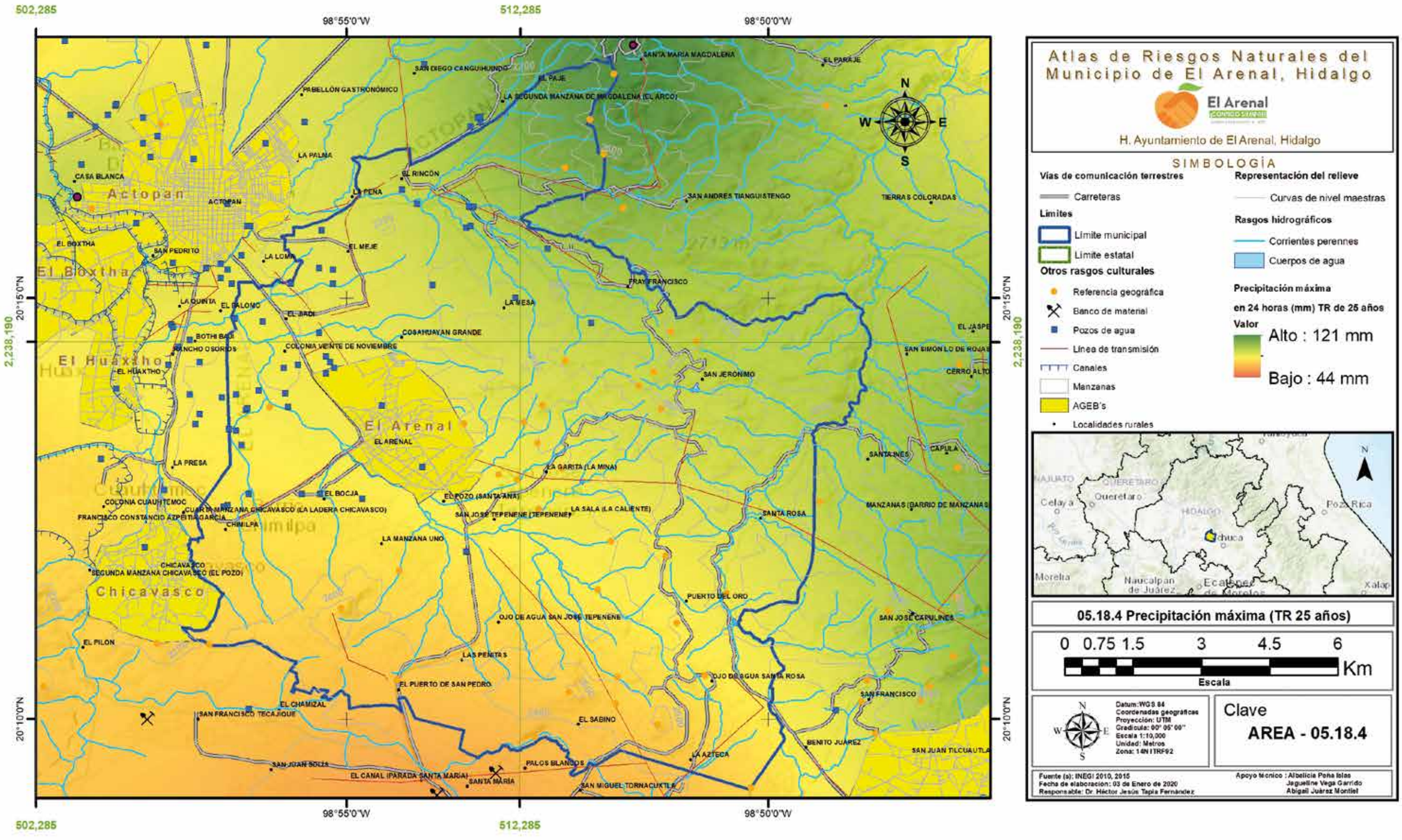
Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 01 de Enero de 2020
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Apoyo técnico : Albelicia Peña Islas
Jagueline Vega Garrido
Abigail Juárez Montiel

Mapa 55. Precipitación máxima (TR 5 años).



Mapa 56. Precipitación máxima (TR 10 años).



Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
CONTIGO SIEMPRE

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Línea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Precipitación máxima

en 24 horas (mm) TR de 25 años

Valor

Alto : 121 mm

Bajo : 44 mm

05.18.4 Precipitación máxima (TR 25 años)

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 05' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

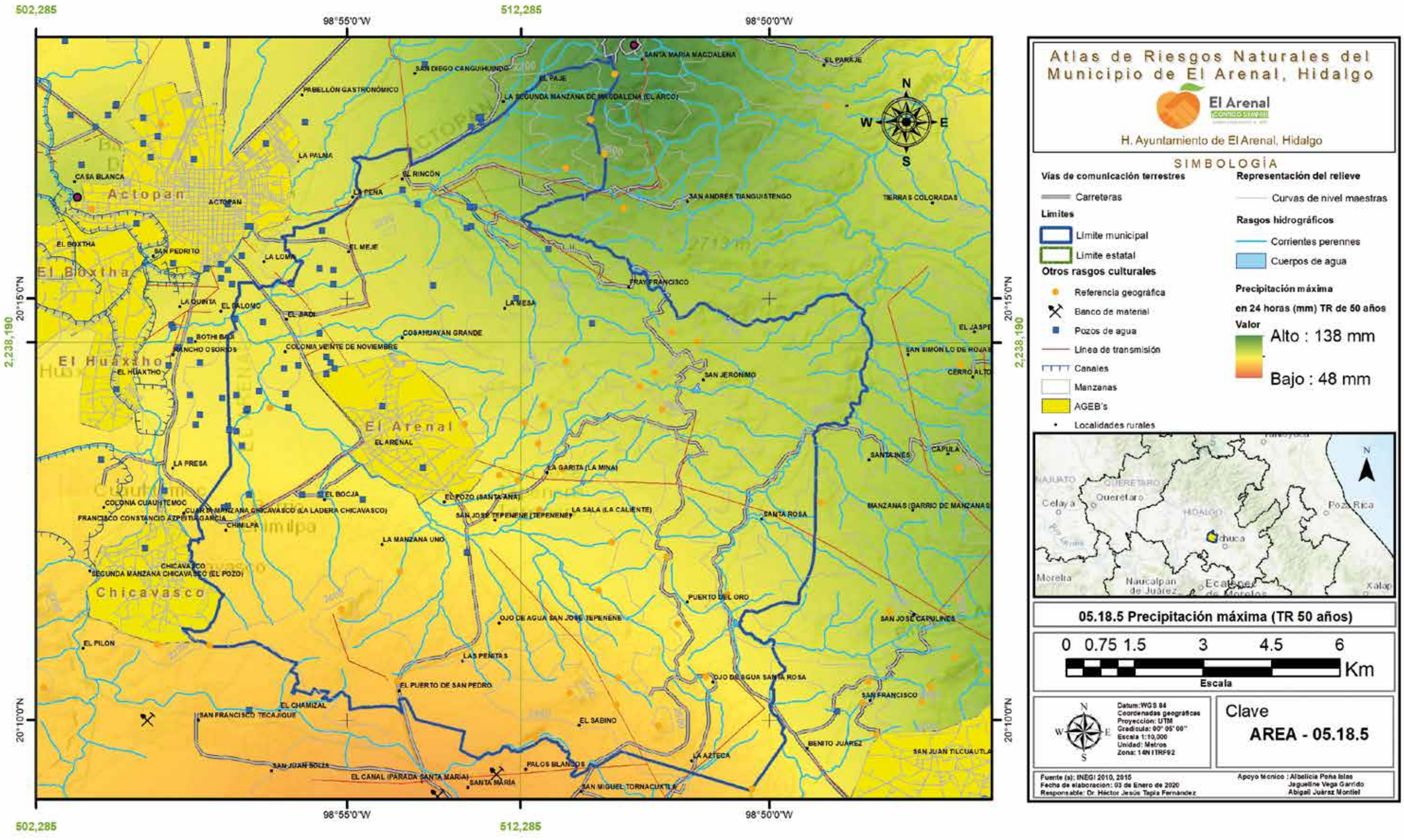
Clave

AREA - 05.18.4

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 03 de Enero de 2020
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Apoyo técnico : Albelicia Peña Islas
Jagueline Vega Garrido
Abigail Juárez Montiel

Mapa 57. Precipitación máxima (TR 25 años).



Mapa 58. Precipitación máxima (TR 50 años).

5.2.11 Inundaciones

Una inundación es el evento que debido a la precipitación (lluvia, nieve o granizo extremo), oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (Cenapred, 2009).

Existen dos tipos de inundaciones basadas en el tiempo de respuesta hidrológica de la cuenca de drenaje: inundaciones súbitas (avenidas) e inundaciones lentas. Las inundaciones súbitas son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Éstas pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños. Normalmente se asocian a terrenos con gran pendiente. Mientras que en las inundaciones lentas ocurren cuando una precipitación es capaz de saturar un terreno relativamente plano por lo que el suelo no puede seguir absorbiendo más agua de lluvia y volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno, aumentando el caudal y el nivel del agua.

Para determinar la amenaza por inundaciones, se implementó la metodología de lógica difusa cuya elección se encuentra fundamentada en la cantidad y calidad de información disponible. Se usó la técnica de combinación cualitativa de diferentes niveles de información geográfica de los cuales se generó el mapa de riesgo a inundaciones.

Metodología de Lógica Difusa: la lógica difusa se aplica a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total. Conviene recalcar que lo difuso, borroso, impreciso o vago no es la lógica en sí, sino el objeto que se estudia. La lógica difusa permite tratar información imprecisa, como estatura media o temperatura baja, en términos de conjuntos difusos que se combinan entre sí para definir acciones. La lógica difusa es una herramienta que proporciona una manera simple de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. Esta herramienta está basada en proposiciones que no cumplen con la ley de la media excluida de la lógica clásica, es decir, una proposición difusa no necesariamente es completamente falsa, y tampoco completamente verdadera, sino que puede tener valores intermedios.

El concepto clave para entender cómo trabaja la lógica difusa es el de conjuntos difusos, definida como la agrupación de varios elementos que poseen una característica común, pero que, a diferencia de la lógica clásica, éstos no exigen la pertenencia absoluta de un elemento, sino que reconocen que no todos sus elementos poseen la característica en la misma magnitud. Un elemento puede pertenecer simultáneamente a varios conjuntos en diferente proporción siempre y cuando la suma de sus grados de pertenencia sea igual a la unidad. Para llevar a cabo este análisis se identificaron los factores involucrados en la incidencia de las inundaciones (pendiente del terreno, edafología, uso de suelo y vegetación y precipitación máxima); para cada factor se realizó una capa vectorial temática con información geográfica en formato *raster*. Posteriormente, se le asignó un conjunto difuso a través de un Sistema de Información Geográfica SIG. Una vez obtenidos los conjuntos difusos se realizó la unión de éstos para determinar zonas susceptibles a inundaciones. Para integrar la información en un SIG se definen los conjuntos difusos para cada uno de los mapas temáticos utilizados en la zona de estudio. De esta manera, las capas temáticas se reclasifican y se realiza su análisis de pertenencia.

Pendiente del terreno: con el modelo de elevación digital con resolución de 50 m se generó el mapa de pendientes y se reclasificó en intervalos de pendiente. Para aplicar los conjuntos difusos es necesario transformar (a través de la clasificación de Jenks) los datos en la escala de 1 a 5mediante la herramienta raster calculador. Después de generar las capas con los valores correspondientes, se define el grado de pertenencia de los conjuntos difusos, lo que representa que el valor 1 y 2 son las áreas menos susceptibles a inundaciones y el valor entre 4 y 5 las áreas susceptibles a sufrir inundaciones.

Pendiente (°Grados)	Índice de susceptibilidad	Riesgo
0-15	1	Muy alto
15-30	2	Alto
30-45	3	Medio
45-60	4	Bajo
>60	5	Muy bajo

Tabla 75. Susceptibilidad a inundaciones y la pendiente del terreno.

Uso de suelo y vegetación: con base en la cobertura del suelo se determinó que las áreas deforestada, las áreas sin vegetación aparente, pastizales y agricultura de temporal son las más susceptibles a no retener agua o a favorecer el flujo laminar o turbulento, mientras que los bosques de encino y los bosques de pino y coníferas son los menos susceptibles, ya que retienen grandes cantidades de agua, tanto en las copas como entre sus raíces.

Uso de suelo y vegetación	Índice de susceptibilidad	Nivel de riesgo
Bosque de Encino	1	Muy bajo
Bosque de Mezquite	2	Bajo
Matorral Crasicaule	2	Bajo
Matorral Rosetófilo	2	Bajo
Vegetación arbustiva	3	Medio
Vegetación secundaria	4	Alto
Pastizal Inducido	4	Alto
Agricultura de riego	5	Muy alto
Agricultura de temporal	5	Muy alto
Agricultura de temporal anual	5	Muy alto
Zona Urbana	5	Muy alto

Tabla 76. Susceptibilidad a inundaciones dependiendo del uso de suelo y vegetación.
Fuente: Inegi, 2013.

Precipitación: para determinar los tipos de lluvia que han ocurrido en El Arenal, se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas. Dicha información es captada y procesada de 14 estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. Los datos de las estaciones cuentan con información suficiente para generar la capa vectorial de precipitación máxima usando la herramienta IDW (Tabla 73). En El Arenal, se tiene el registro de precipitación máxima en 24 horas de 395 mm lo cual se cataloga en el rango de >150 mm como lluvia torrencial. Los datos de precipitación máxima extraídos de las estaciones meteorológicas se ajustaron a un modelo de distribución de probabilidades de Gumbal para obtener periodos de retorno para diferentes años. Con los valores de precipitación se determinó la susceptibilidad a inundaciones.

Matriz	Pendiente	Precipitación	Uso de suelo	Eigenvector	Peso
Pendiente	0.492136842	0.555109417	0.397401679	0.492136842	0.555109417
Precipitación	0.267246126	0.301442258	0.408299491	0.267246126	0.301442258
Uso de suelo	0.240617032	0.143448325	0.194298830	0.240617032	0.143448325

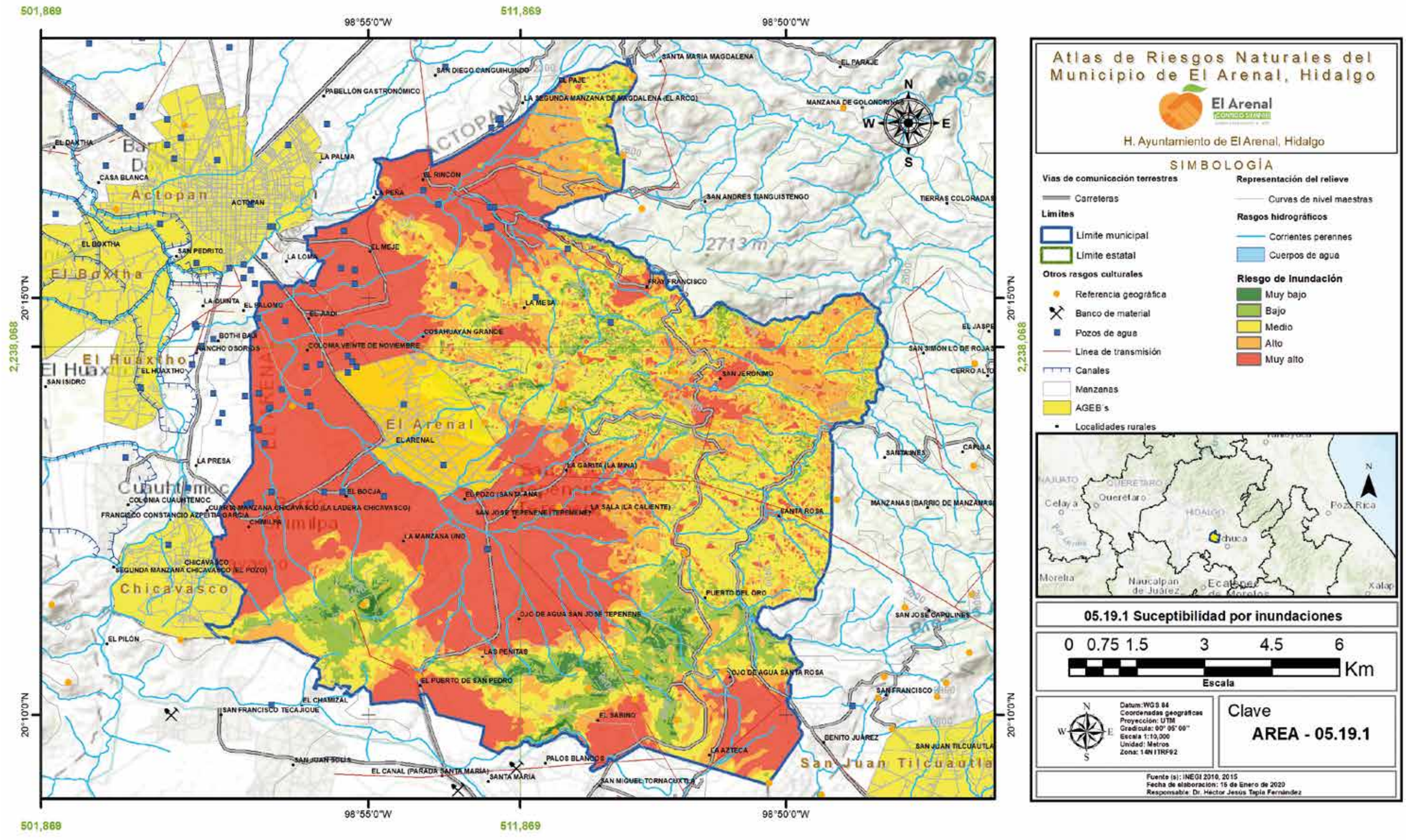
Tabla 77. Matriz de comparación de factores para determinar el riesgo por inundaciones.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	5	Muy alto	La Azteca	2	Bajo
20 de Noviembre	5	Muy alto	La Garita	4	Alto
Cosahuayán Grande	5	Muy alto	La Manzana Uno	5	Muy alto
El Arenal	5	Muy alto	La Mesa	1	Muy bajo
El Bocja	5	Muy alto	La Sala (La Caliente)	3	Medio
El Jiadi	5	Muy alto	Las Peñitas	2	Bajo
El Meje	5	Muy alto	Ojo de Agua	4	Alto
El Pozo (Santa Ana)	5	Muy alto	Santa Rosa	3	Medio
Puerto de San Pedro	2	Bajo	Puerto del Oro	1	Muy bajo
El Rincón	5	Muy alto	San Jerónimo	1	Muy bajo
El Sabino	4	Alto	San José Tepenené	5	Muy alto
Fray Francisco	1	Muy bajo			

Tabla 78. Nivel de riesgo de lluvias extremas por localidad.

Así mismo, el Índice de peligro municipal por inundaciones del Atlas Nacional de Riesgos indica que El Arenal se encuentra sin datos. De la misma manera el Índice de vulnerabilidad por inundaciones es medio, por lo que el riesgo para este fenómeno es bajo. Cabe mencionar que, durante la etapa de trabajo de campo, mediante entrevistas realizadas a los habitantes del municipio, se obtuvo información sobre el registro de encharcamientos en las localidades de El Rincón, San José Tepenené y El Bocja. Estas inundaciones están asociadas a la presencia de escurrimientos fluviales que la mayor parte del año se encuentran secos, pero que en temporada de lluvias producen flujos torrenciales de importancia. De igual manera, información de Protección Civil del municipio, cuenta con registros de encharcamiento en la cabecera municipal y en las comunidades La Manzana Uno, Chimilpa y el Bocja, que se presentaron en las temporadas de lluvia como consecuencia de mal funcionamiento de la infraestructura del drenaje pluvial.

Figura 22. Depósitos de inundación en la comunidad de El Jiadi.



Mapa 59. Susceptibilidad por inundaciones.

CAPÍTULO VI

IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN ANTRÓPICO

Los riesgos antrópicos, también nombrados riesgos sociales, son aquellos cuyo origen está relacionado con las acciones de la actividad humana. Algunos prefieren llamarlos tecnológicos por ser las actividades de esta índole sus principales causas. Pero se considera que este concepto no es suficientemente amplio, pues existen otros peligros provocados por acciones humanas que no tienen por causa actividades tecnológicas, por ejemplo, la pobreza, la delincuencia, la drogadicción y las enfermedades.

Si bien es evidente, por los trabajos y la bibliografía existente, que históricamente se ha dado más importancia al estudio de los peligros naturales, hoy los peligros antrópicos o sociales se consideran tan importantes como aquellos.

6.1 EL USO DE LOS SIG EN LA CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE LOS RIESGOS ANTRÓPICOS

Los posibles usos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la cartografía de riesgos antrópicos permiten caracterizar de forma muy precisa la zona expuesta a los mismos al definir puntual o regionalmente la forma de la afectación y precisar la gradación de la intensidad del riesgo en términos de la distancia y la probabilidad de sufrir las consecuencias de un accidente como resultado de la realización de actividades humanas peligrosas en el territorio.

Este apartado sobre los peligros de origen humano del *Atlas de Riesgos y Peligros del municipio de El Arenal* pretende definir mediante un SIG el área expuesta a los riesgos a partir de dos supuestos: el primero es establecer las características geométricas de las instalaciones que se consideran fuentes de riesgo, que pueden ser lineales, puntuales o zonales. El segundo es la definición convencional de dos conceptos: la forma del *buffer* y el alcance espacial. a) La forma se establece a modo de "zona de influencia" o *buffers* en torno a las instalaciones; la forma del *buffer* en concreto dependerá de si se trata de instalaciones puntuales (fábricas, rellenos sanitarios...), lineales (ductos de Pemex, gasoductos) o zonales (aeropuerto). b) El alcance espacial se refiere a lo que se puede considerar el umbral máximo hasta donde podrían expandirse los efectos peligrosos.

Para determinar la intensidad de la posible exposición al riesgo en cada punto del área de influencia, lo común es asumir que hay una gradación a partir de la distancia entre la periferia del área de influencia y el lugar donde se inicia el riesgo de origen antrópico. También es posible representar la probabilidad espacial del riesgo, es decir, la menor o mayor probabilidad de que un lugar cualquiera sea afectado por un accidente de origen humano de consecuencias graves. Podemos suponer que cuantas más instalaciones peligrosas se sitúen en las inmediaciones de un punto del territorio, más probable es que ese lugar se pueda ver afectado por peligros de esta naturaleza (riesgo concatenado).

En atención a que son estos los aspectos que se pretende explorar en este apartado y también a la pequeña escala del análisis, se ha considerado para este caso un medio físico uniforme, de manera que no se tendrá en cuenta la influencia de la topografía, la litología o la red hidrográfica en la delimitación territorial de la exposición a los riesgos antrópicos. Tampoco se han tomado en consideración los diferentes patrones espaciales derivados del tipo de accidentes (explosión, incendio, escape, etcétera).

El estudio descriptivo trata de reconocer los patrones generales de los riesgos antrópicos en el municipio de El Arenal. Se considera que puede tener un cierto valor orientado al ordenamiento territorial en la actual fase de crecimiento urbanístico expansivo que está afectando a su territorio por ser conurbado al municipio de Actopan, lo cual puede conducir, de manera inadvertida, a que la población se aproxime a las actividades humanas consideradas peligrosas (como es el caso de los nuevos desarrollos urbanísticos en el municipio vecino y en el propio).

En el análisis de riesgos, un componente fundamental es la probabilidad de accidentes. En el caso de los riesgos naturales, la cuestión se resuelve más o menos satisfactoriamente con los registros históricos y la misma caracterización geológica, tectónica y/o meteorológica de la zona. Hay que considerar que el modelo de exposición al riesgo propuesto en este trabajo podría ser calificado como determinista y, en ese sentido, alarmista, porque supone un mismo nivel de accidentabilidad para instalaciones muy dispares. Se señala, al respecto, que el modelo que se presenta puede constituir una herramienta útil para aquellos expertos que sí puedan matizar los niveles de peligrosidad de las actividades e instalaciones que aquí se analizan. La necesidad de una aproximación multidisciplinar a este tipo de problemas ambientales debe ser atendida de manera puntual.

6.2 LOS RIESGOS QUÍMICO-TECNOLÓGICOS

La premisa de partida es que el peligro se puede definir como cualquier situación que tenga el potencial de causar lesiones a la vida o daños a la propiedad y al ambiente. En la identificación de peligros a nivel municipal o local se determinan las actividades y la infraestructura con riesgo existente, tales como instalaciones industriales que manejan y/o almacenan sustancias peligrosas en grandes volúmenes, carreteras, vías férreas y ductos por donde se transportan materiales o productos peligrosos. En especial, se subrayan los sitios donde se localizan, el tipo de accidente o evento que pueden ocasionar y las posibles consecuencias a la población, sobre todo si pueden generar una acción violenta derivada de su interacción y/o por su composición molecular. Se incluyen los fenómenos considerados como desastres, pudiendo abarcar incendios de diversos tipos, como explosiones, fugas, liberaciones o derrames tóxicos, radiaciones y contaminación (Implan, 2017).

Estos riesgos se encuentran íntimamente ligados a las actividades humanas de desarrollo industrial y tecnológico, así como al uso de diversas formas de energía; su acción es sinérgica y las afectaciones se dan en mayor escala, impactando concentraciones humanas e industriales, principalmente. En este grupo se enlistan algunas plantas de la industria maquiladora, industrias de la transformación, estaciones expendedoras de gasolina, empresas expendedoras de gas, plantas tratadoras de aguas residuales, sistemas de bombeo y equipos de cloración para la distribución de agua potable, así como todas aquellas actividades que utilicen materiales y sustancias peligrosas o que generen residuos peligrosos cuyas características explosivas, inflamables, reactivas, corrosivas o tóxicas, puedan crear una contingencia química dentro del territorio municipal. Esta contingencia podrá ser atendida de acuerdo con la capacidad de respuesta del municipio, fincada en planes de contingencia, medidas de prevención, infraestructura y equipamiento urbano y personal calificado.

Los accidentes relacionados con sustancias químicas pueden ocurrir por diversas causas, entre las que se encuentran: fenómenos naturales (sismos, huracanes, inundación, erupción volcánica, etc.), fallas operativas en los procesos industriales, fallas mecánicas, errores humanos y acciones premeditadas. En el manejo y transporte de sustancias químicas pueden presentarse diversos eventos como consecuencia de un accidente:

liberación a la atmósfera de gases tóxicos o corrosivos, aerosoles o partículas, o la liberación de líquidos o sólidos peligrosos. El peligro que una sustancia puede representar para una localidad depende no sólo de sus propiedades, sino también del volumen o cantidad presente y de su ubicación. Una manera de diferenciar a las empresas que manejan sustancias y materiales peligrosos es en términos del volumen o cantidad existente en sus instalaciones.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Gobernación elaboraron y publicaron en el *Diario Oficial de la Federación* dos listados de actividades altamente riesgosas (28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992). Ahí se establecen como actividades altamente riesgosas aquellas en las cuales se maneje alguna de las sustancias incluidas en los listados en una cantidad igual o superior a la cantidad de reporte, definida ésta como: la cantidad mínima de sustancia peligrosa durante la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transporte dados, que, al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

El diagnóstico del peligro de los fenómenos químicos se expresa de acuerdo con la concentración de la sustancia que se fugó o derramó. El peligro de incendios o explosión depende de la cantidad de calor disipada y la fuerza con la que se disemina en una unidad de tiempo. De acuerdo con la información obtenida del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), dependiente de la Secretaría de Gobernación (Segob), los riesgos que implica una actividad industrial pueden ser clasificados de la siguiente manera:

Riesgos convencionales: aquellos ligados a actividades laborales, por ejemplo, riesgo de caídas desde escaleras, accidentes por descargas eléctricas, riesgos derivados de maquinaria, etcétera.

Riesgos específicos: los relacionados con la utilización de determinadas sustancias y productos químicos que, por su naturaleza, pueden producir daños de corto y largo alcance a las personas, a las cosas y al ambiente.

Grandes riesgos potenciales: los ligados a accidentes anómalos que pueden implicar explosiones o escapes de sustancias peligrosas (venenosas, inflamables, etc.) que llegan a afectar vastas áreas en el interior y el exterior de la planta. El riesgo total que presenta una instalación industrial se determina en función de dos factores (Sedesol, 1994): uno es el riesgo intrínseco del proceso industrial, que depende de la naturaleza de los materiales que se manejen, de las modalidades energéticas utilizadas y la vulnerabilidad de los diversos equipos que integran el proceso, así como la distribución y el transporte de los materiales peligrosos. El otro es el riesgo de instalación, el cual depende de las características del sitio en que se encuentra ubicada, pues ahí puede haber factores que magnifiquen los riesgos que puedan derivar en accidentes (condiciones meteorológicas, vulnerabilidad de la población aledaña, ecosistemas frágiles, infraestructura para responder a accidentes, entre otros).

Los insumos que se desarrollan hoy en día para elevar la calidad de vida de la sociedad, e involucran operaciones de obtención, almacenamiento, manejo y transformación de diversas materias primas, como madera, petróleo, minerales, vegetales, etc. Desde el inicio de la posguerra, se ha acelerado en el mundo el desarrollo industrial y tecnológico. Tocado por este fenómeno, México ha visto aumentar el uso de una creciente variedad de sustancias químicas, necesarias para la elaboración de nuevos productos para uso doméstico, comercial, agrícola e industrial, con la consecuente generación de residuos de muy diversos tipos, incluidos los tóxicos, que luego se vierten o transfieren al suelo, al agua y al aire, ocasionando la ya consabida contaminación del ambiente. A continuación, se definen los términos relativos a los principales accidentes que representan un riesgo antrópico de tipo químico-tecnológico:

Derrame químico: es el escape de cualquier sustancia líquida o sólida, en partículas o en mezcla de ambas, de cualquier recipiente o instalación que lo contenga, como tuberías, equipos, tanques, camiones cisterna, carros tanque y furgones, entre otros.

Fuga (envenenamiento): se presenta cuando hay un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que contenga el material o en la tubería que lo conduzca. El gas LP puede escapar y provocar fuertes intoxicaciones. Otras sustancias químicas peligrosas pueden ser inhaladas por trabajadores durante lapsos prolongados.

Incendio (forestal y urbano): es la combustión de materiales. En el caso del incendio forestal, constituye la quema de zonas boscosas o de matorral con fines de pastoreo. Los incendios pueden ser causados por la presencia de residuos inflamables y/o por fallas en la instalación eléctrica.

Explosión: es la liberación de una cantidad considerable de energía en un lapso muy corto (pocos segundos), debida a un impacto fuerte o por reacción química de ciertas sustancias inflamables.

Radiación: el riesgo por la exposición a la radiación electromagnética está presente en las instalaciones de transmisión de radio/televisión y telefonía móvil, en las líneas de conducción de alta tensión, así como en estaciones eléctricas. Durante el transporte de sustancias radiactivas a través de vías de comunicación terrestres de alto tránsito está presente el riesgo de accidente por volcadura o fuga.

6.2.1 Derrame químico

El riesgo de derrame químico puede presentarse como producto de accidentes en el desarrollo de actividades industriales que impliquen la presencia de:

- Sustancias peligrosas.
- Gases licuados a bajas temperaturas.
- Ductos de gas natural.
- Ductos de combustibles.
- Plantas de Pemex.
- Estaciones de servicio y/o gasolineras.
- Líneas de transporte.
- Transporte por vía terrestre de combustibles.
- Transporte por vía terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- Industria maquiladora.
- Generación de monóxido de carbono en procesos de combustión.
- Laboratorios experimentales o clínicos en comercios, industrias e instituciones médicas y de enseñanza.
- Red de drenaje y alcantarillado.

Cuando nos referimos a los accidentes que involucran sustancias o productos químicos, debemos tener en cuenta que su presencia puede obedecer a muy diversos factores entre los que se han de considerar fenómenos naturales (sismos, huracanes, inundación, erupción volcánica, etc.), o bien, aquellos de origen antropogénico, como son: a) fallas operativas en los procesos industriales dentro del área sujeta a estudio; b) fallas mecánicas y errores humanos; y c) causas premeditadas, siendo estas uno de los factores más graves. En las comunidades también estamos expuestos, en las operaciones cotidianas de transporte y manejo de sustancias químicas, a accidentes causados por eventos como: a) liberación a la atmósfera de

gases tóxicos o corrosivos, ya sea como aerosoles o partículas; b) liberación de líquidos o sólidos peligrosos; y c) incendios o explosiones.

En términos generales, es posible afirmar que los accidentes pueden provocar daños al ambiente, a las propiedades y a la salud de los trabajadores y/o de las personas que habitan en los alrededores de las industrias, de las vías de comunicación o de los ductos que conducen fluidos.

Por otro lado, de acuerdo con los registros en la base de datos Acarmex, las causas de los accidentes en el transporte de sustancias químicas son muy variadas y pueden ser clasificadas como: a) imputables al conductor; b) condiciones físico-mecánicas del vehículo; c) condiciones del camino; y d) condiciones climáticas que prevalecen en el momento del evento. En el municipio de El Arenal, la carretera México-Laredo es la zona con mayor riesgo por derrames químicos por transporte carretero, siendo los nodos de Ojo de Agua, San José Tepenené, El Arenal y El Jiadi las zonas donde ocurre la mayor cantidad de accidentes vehiculares.

A nivel mundial, los registros indican que el mayor número de accidentes son imputables al conductor, debido a una amplia variedad de condiciones que incluyen desde cansancio, somnolencia, conducción imprudente (exceso de velocidad, rebase indebido, desacato de las señales de precaución...), hasta presentar diversos grados de intoxicación (por alcohol, drogas o medicamentos), entre otras.

Para modelar concretamente el área de exposición derivada del vertido de grandes cantidades de líquidos, parece factible emplear el camino de máxima pendiente a partir de la instalación donde se presenta la fuga en función de la topografía (Unamuno, 2001). Este camino se prolongará hasta alcanzar un mínimo relativo de la topografía. En el municipio de El Arenal, la carretera federal México-Laredo presenta una pendiente pronunciada de aproximadamente unos 10 km de longitud, que se extiende desde la comunidad de Puerto de San Pedro hasta la localidad de San José Tepenené, donde ocurren la mayoría de los accidentes automovilísticos causados por exceso de velocidad, como volcaduras, choques por alcance y colisiones en cruceros.

Una vez determinado el camino de máxima pendiente, parece lógico calcular a su alrededor un corredor de influencia que tenga en cuenta la mayor acción posible de un derrame de grandes proporciones. En el modelado hay que considerar la posibilidad de que el vertido circule, además, por una hipotética red de alcantarillado y la posible incidencia de que, en su recorrido, los líquidos derramados se permeen al sustrato. Para incluir esta incidencia en el proceso, sería necesario disponer de un mapa de permeabilidades del sustrato para disminuir el peligro con la distancia, ponderándola con la permeabilidad del terreno por donde discurre el derrame líquido.

El riesgo por derrame químico se concentra en los dos núcleos poblacionales más importantes de El Arenal, siendo en el de la cabecera municipal donde se concentra la mayor parte de la actividad productiva del municipio. En San José Tepenené, el principal riesgo es el derrame de sustancias nocivas que contaminen los afluentes, derivado de accidentes que involucren a vehículos que transporten sustancias tóxicas a través de la carretera federal México-Laredo.

Tipo de instalación	Número	Tipo de instalación	Número
Bancos (incluye cajeros)	4	Paleterías	1
Carpinterías	2	Panaderías	5
Administración Pública	3	Pastelerías	1
Iglesias	6	Purificadoras	1
Casas de empeño	0	Tiendas	194
Baños públicos	2	Tortillerías	16
Despachos contables	1	Minas a cielo abierto	1
Bares, cantinas, heladerías	8	Veterinaria	1
Herrerías	1	Gasolineras	2
Manufactureras	1		
Ladrilleras	12	Otros	4
Molinos	1		
Mueblerías	1		

Tabla 79. Actividades económicas.
Fuente: Denue, 2019.

Con la finalidad de ofrecer medidas de mitigación y prevención de accidentes que puedan provocar derrames químicos en el municipio de El Arenal, se enlistan las siguientes Normas Oficiales Mexicanas, que deberán tener estricta observancia en actividades que impliquen el manejo de sustancias químicas peligrosas:

NOM-005-STPS-1998: relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. Establece las condiciones de seguridad e higiene para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, para prevenir y proteger la salud de los trabajadores y evitar daños al centro de trabajo.

NOM-010-STPS-1999: relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral. Establece medidas para prevenir daños a la salud de los trabajadores expuestos a las sustancias químicas contaminantes del medio ambiente laboral y fija los límites máximos permisibles de exposición en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas que, por sus propiedades, niveles de concentración y tiempo de exposición, sean capaces de contaminar el medio ambiente laboral y alterar la salud de los trabajadores.

NOM-018-STPS-2000: relativa al sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Establece los requisitos mínimos de un sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas que, de acuerdo con sus características físicas, químicas, de toxicidad, concentración y tiempo de exposición, puedan afectar la salud de los trabajadores o dañar el centro de trabajo.

NOM-028-STPS-2012: relativa al sistema para la administración del trabajo-seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas. Establece los elementos de un sistema de administración para organizar la seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas, a fin de prevenir accidentes mayores y proteger de daños a las personas, a los centros de trabajo y a su entorno.

Para la clasificación, manejo, transporte y confinamiento de sustancias químicas peligrosas, se dispone de las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-052-Semarnat-2005: establece el procedimiento de identificación y clasificación de los residuos peligrosos. Esto incluye los listados de los residuos peligrosos y las características que llevan a considerarlos como tales.

NOM-058-Semarnat-1993: establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-055-Semarnat-2003: establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos

peligrosos (excepto los líquidos, los semisólidos, los bifenilos policlorados y los radiactivos), previamente estabilizados, de acuerdo con características geológicas, hidrogeológicas, hidrológicas, climatológicas y sísmicas.

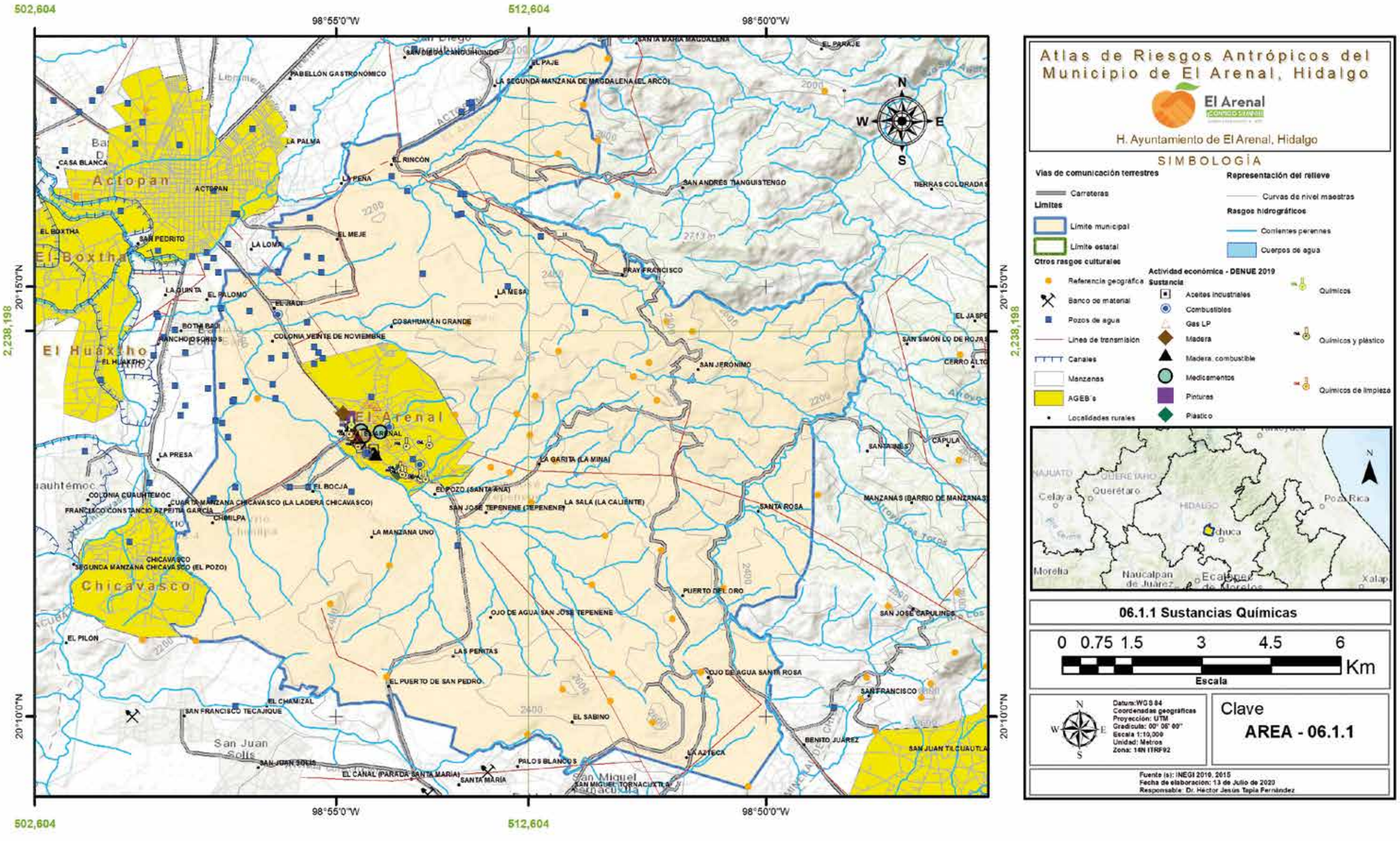
Para los vehículos que transportan sustancias químicas peligrosas por vía terrestre se dispone de las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

NOM-004-SCT-2008: relativa al sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. Establece las características y dimensiones de los carteles que deben portar las unidades vehiculares, camiones, unidades de arrastre, autotanques, carrotanques, contenedores, contenedores cisterna, tanques portátiles y recipientes intermedios para granel y demás unidades de autotransporte y ferrocarril, a fin de identificar la clase de riesgo de las sustancias, materiales o residuos peligrosos que se transportan.

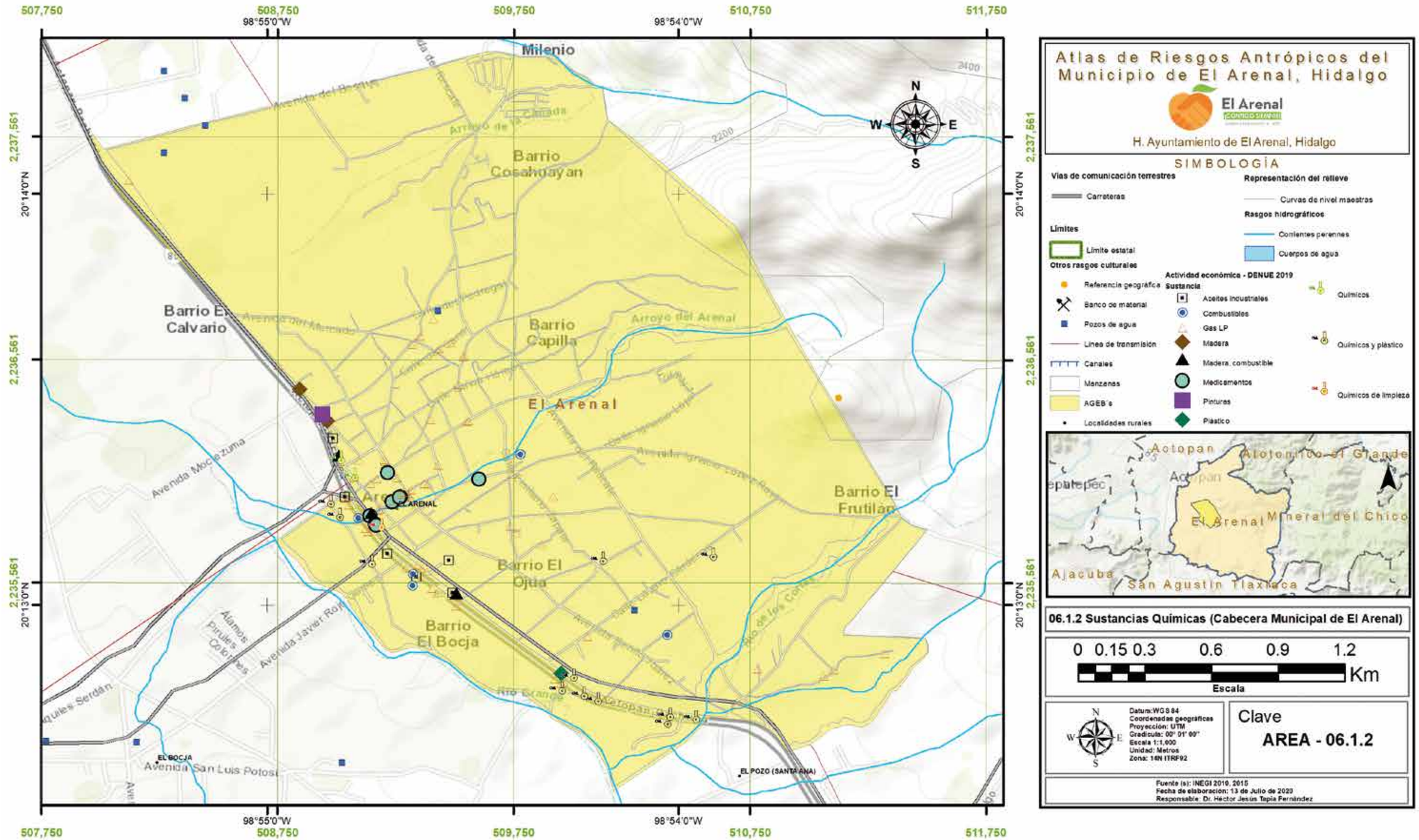
NOM-002-SCT-2011: listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados. Tiene como objetivo identificar y clasificar las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados, de acuerdo con su clase, división de riesgo, riesgo secundario, número asignado por la Organización de las Naciones Unidas, las disposiciones especiales a que deberá sujetarse su transporte, cantidades limitadas y cantidades exceptuadas permitidas, así como las correspondientes instrucciones de envase y embalaje, métodos de envase y embalaje e instrucciones para el uso de unidades de transporte, recipientes intermedios a granel y cisternas portátiles y sus disposiciones especiales.

Nombre	Fórmula química	Efectos en la salud
Potasa	KOH	La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales (aluminio, estaño, plomo, zinc), formando un gas combustible (hidrógeno). Al reaccionar con sales de amonio, produce amoníaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o el agua puede generar calor (IPCS, 2010).
Metanol	CH_3OH	En caso de inhalación, irrita las mucosas nasales y oculares. Produce asfixia, vértigo, tos, dolor de cabeza, náuseas, vómito, trastornos oculares, convulsiones e inconsciencia. En caso de ingestión, causa, disturbios visuales, dolor abdominal, diarrea, vómito, inconsciencia. En casos graves: coma, paro respiratorio, ceguera, convulsiones, acidosis metabólica severa y muerte (Corquiven, 1997)
Glicerina	$C_3H_8O_3$	Producto poco peligroso; sin embargo puede causar irritaciones en la piel y puede resultar ser inflamable si se alcanza una temperatura de 160ºC (Corquiven, 2007)
Sulfato de sodio	Na_2SO_4	Este producto puede generar irritación por contacto dérmico u ocular, además de irritación de la nariz, la garganta y de los pulmones, en caso de inhalación; así como irritación gastrointestinal y diarrea por el ion sulfato disuelto en los intestinos en caso de ingesta (Heredia, 2016)
Sílice (Sílica)	SiO_2	Al ser inhaladas, las partículas pequeñas de sílice que se encuentran en el aire (principalmente el polvo de cuarzo) pueden penetrar profundamente en los pulmones. La exposición a la sílice cristalina respirable está relacionada con índices elevados de cáncer de pulmón (NCI, 2015; Company, 2015).
Sulfato de calcio	$CaSO_4$	El contacto prolongado con la piel puede desgrasarla y producir dermatitis e irritación. Si se inhala, puede producir irritación en ojos, nariz y garganta. La exposición repetida o prolongada provoca dolores de garganta, sangrado de la nariz y bronquitis crónica. Su ingestión puede ocasionar irritación gastrointestinal, náusea, vómito y diarrea (Heredia, 2016)
Bentonita	$(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O_1$	La sustancia irrita levemente los ojos y la piel. Puede afectar al pulmón, dando lugar a fibrosis si la exposición es prolongada. (IPCS, 2010)
Dinamita (TNT)	$(C_6H_2(CH_3)(NO_2)_3)$	Explosivo. Riesgo de incendio y explosión por calentamiento rápido o choque violento. Si se inhala causa calambres abdominales, labios o uñas azulados, piel azulada, tos, dolor de cabeza, dificultad respiratoria y vómitos. El contacto cutáneo, causa enrojecimiento y dolor (IPCS, 2010)

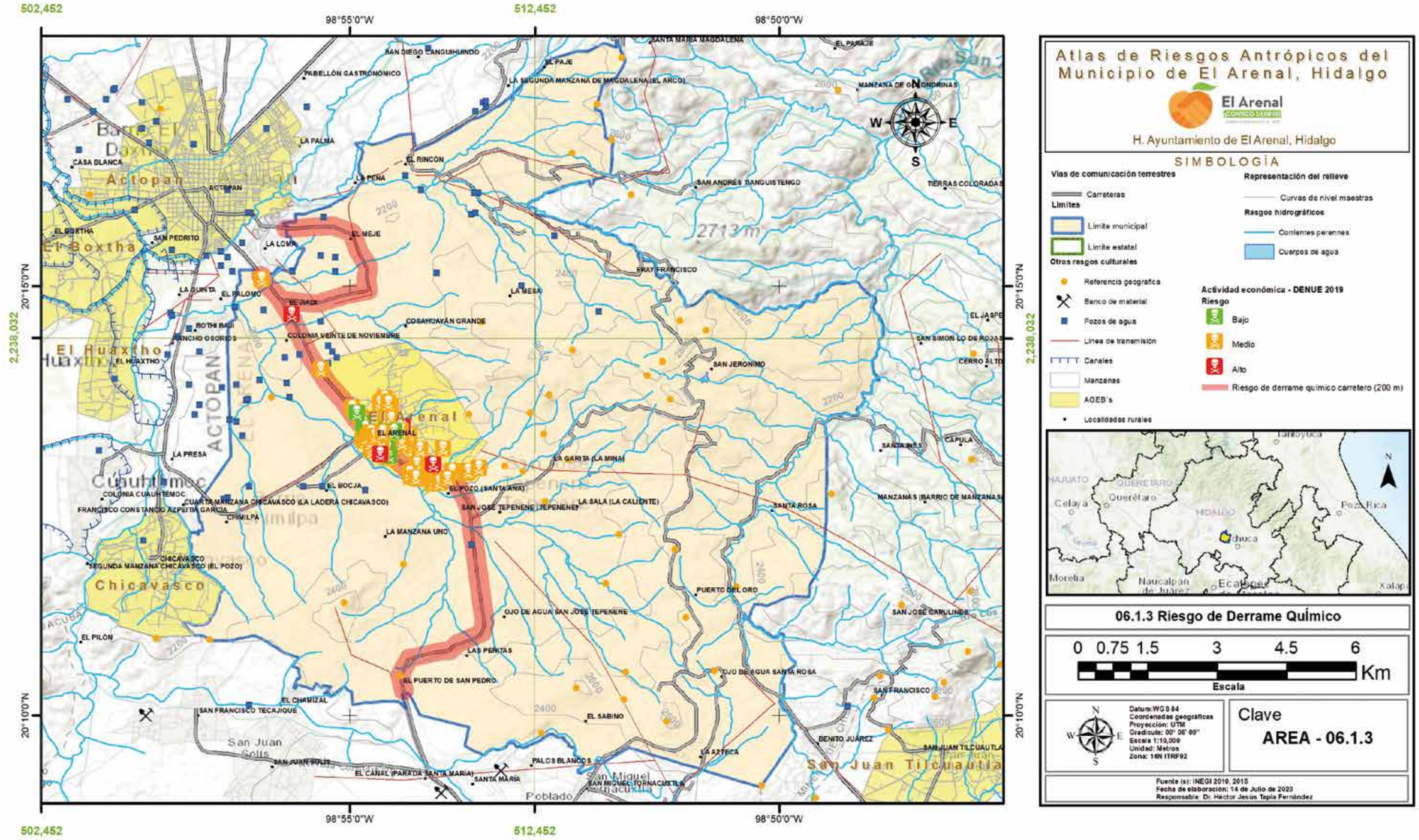
Tabla 80. Sustancias químicas usadas en la industria que representan riesgo para la salud por derrame químico.



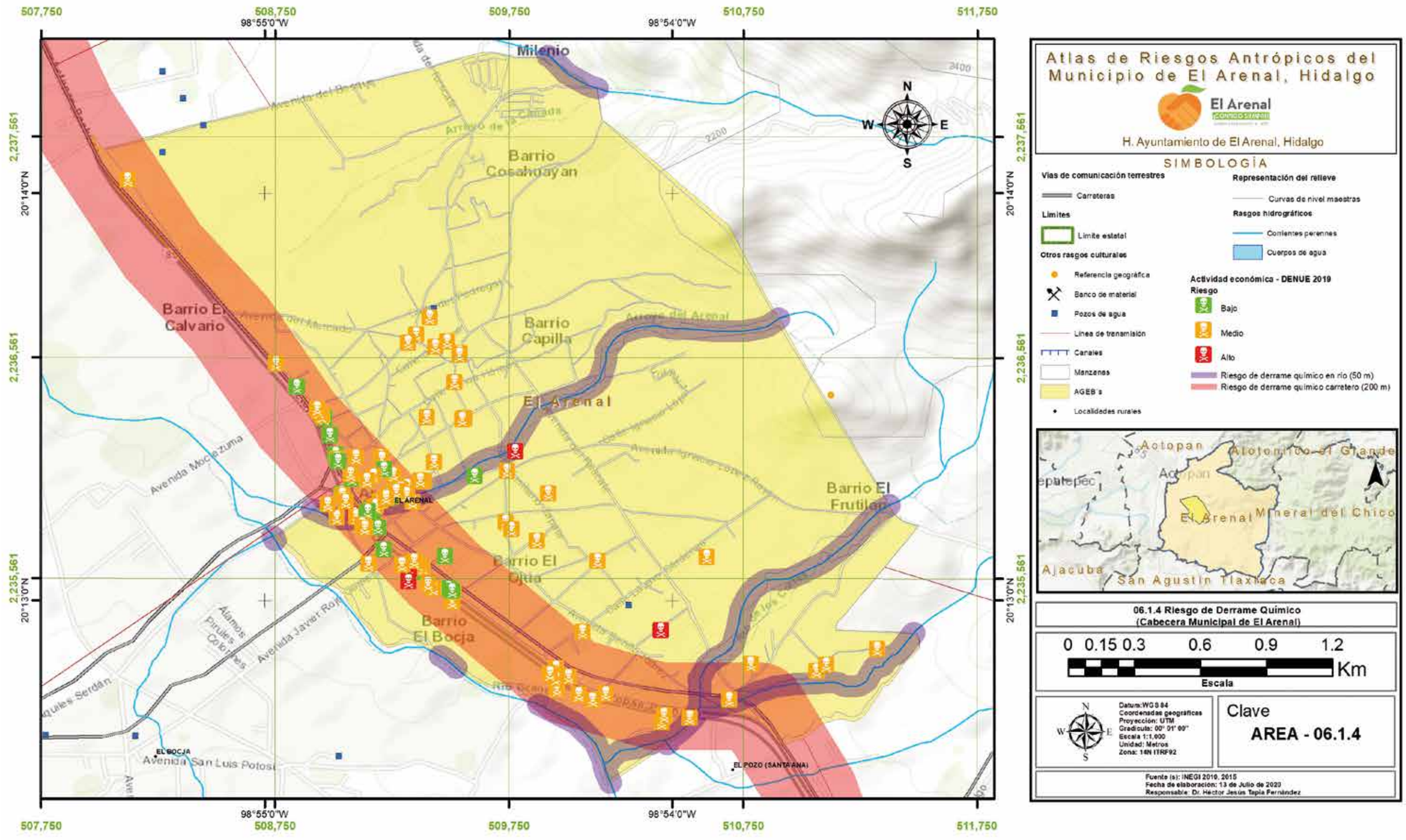
Mapa 60. Sustancias químicas.



Mapa 61. Sustancias químicas (cabecera municipal).



Mapa 62. Riesgo de derrame químico.



Mapa 63. Riesgo de derrame químico (cabecera municipal).

6.2.2 Incendios industriales y explosiones

El riesgo de incendio y explosión se presenta en los lugares de trabajo con un potencial intrínseco de pérdidas humanas y económicas importantes. A pesar de que también es un riesgo para la población en general, no siempre se adoptan las medidas necesarias para prevenirlos o protegerse contra ellos. Nos referimos a las previsiones que deben tomarse durante la fase de ejecución de todo proyecto de obra en las instalaciones de cualquier empresa. En este sentido, subrayamos la necesidad de actuar de forma preventiva.

Las medidas apropiadas para evitar el riesgo de incendios o explosiones pueden variar según las circunstancias en que se presente el riesgo, pero en el caso del incendio y/o la explosión admiten un tratamiento común. De acuerdo con ciertas estadísticas, aproximadamente 90 por ciento de todos los incendios y explosiones industriales son causados por 11 fuentes de ignición:

Causa	Porcentaje
Chispas eléctricas	19
Roces y fricciones	14
Chispas mecánicas	12
Fumar y fósforos	8
Ignición espontanea	7
Superficies a alta temperatura	7
Chispas de combustión	6
Llamas abiertas	5
Soldadura y corte	4
Materiales sobrecalentados	3
Electricidad estática	2

Tabla 81. Principales causas de los incendios y las explosiones industriales.
Fuente: Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Evitar los incendios, conocer los principios básicos de su detección y extinción, así como de la evacuación de los edificios, son prácticas de la cultura de la prevención y su ejecución depende de la actitud de cada individuo que integra la comunidad. La intervención de las autoridades municipales, a través de Protección Civil, es necesaria para la elaboración de planes en materia de prevención de incendios y explosiones.

Para que se produzca el fuego o una explosión se requieren los siguientes elementos: combustible, comburente (oxígeno) y energía de activación (calor). Estos tres elementos forman el llamado "triángulo del fuego", pues cada uno de sus lados está siempre en contacto con los otros dos. La eliminación de cualquiera de sus lados o del contacto entre los vértices impedirá la producción de fuego y, por tanto, de incendios y explosiones.

Una vez producido el fuego, debe tomarse en cuenta un cuarto elemento: la reacción de los gases de la combustión entre sí y con el propio oxígeno del aire (reacción en cadena). De esta forma, como resultado de la misma combustión, el triángulo del fuego se transforma en un tetraedro del fuego que permite su propagación. Si falta alguna de sus cuatro caras, la combustión no tiene lugar o se extingue rápidamente.

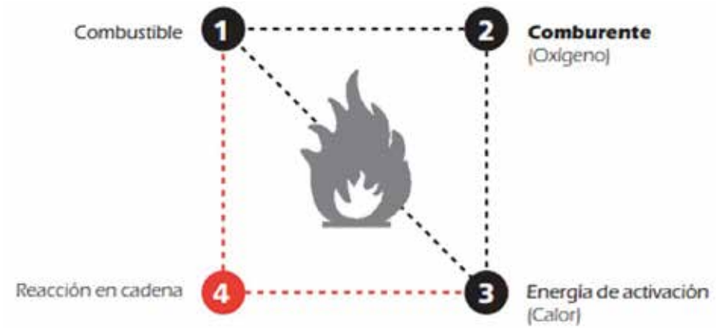


Figura 23. Triángulo del fuego (combustible, comburente y energía de activación).

Los tres tipos de combustible presentan diferentes características al incendiarse:

Sólidos: su combustión se caracteriza por la aparición de llamas, brasas y gran cantidad de calor. Para que llegue a arder, el material ha de calentarse hasta desprender vapores lo suficientemente calientes para que puedan inflamarse y arder en forma de llamas.

Líquidos: no es el líquido el que arde propiamente, sino los vapores que emite bajo la acción del aumento de la temperatura. Dependiendo de la naturaleza de cada líquido inflamable, pueden definirse tres puntos característicos: 1) el punto de *ignición* es la temperatura mínima a la que emite suficientes vapores para arder; 2) el punto de *inflamación* es la temperatura a la cual emite suficientes vapores para que el líquido se mantenga en combustión hasta su total consumo; y 3) el punto de *autoinflamación* es la temperatura a la que los vapores se inflaman espontáneamente sin contacto con el fuego, pudiendo formar mezclas explosivas con el aire.

Gases: los gases combustibles presentan dos concentraciones en volumen de aire (límite inferior y límite superior) entre las cuales se produce la inflamación.

El producto más peligroso de la combustión son los humos, dado que limitan en gran medida la visión, la respiración y, consecuentemente, la extinción del incendio y la evacuación del personal que se encuentre en las instalaciones en riesgo. Los humos están constituidos por partículas de carbono en suspensión, dióxido de carbono, vapor de agua y, sobre todo, gases tóxicos como el monóxido de carbono. En algunos casos son corrosivos y muy peligrosos para las personas. Los humos y gases son los responsables de la mayoría de las muertes por incendios, ya sea directamente por su inhalación o debido al pánico y gran desorientación que producen.

Por otro lado, una explosión es una combustión muy rápida en la que se libera un gran volumen de gases que, al expandirse, provocan una liberación violenta de energía, produciendo un rápido incremento de la presión con desprendimiento de calor, luz y gases. La explosión está íntimamente ligada a los incendios industriales.

Uno de los peligros inherentes a las explosiones son las ondas de choque, también conocidas como ondas expansivas. El fluido que rodea a la explosión (aire inflamado) es empujado, dejando un vacío que de inmediato se llena con más fluido. Al viajar tan rápido, al fluido no le da tiempo de rellenar el vacío y adaptarse a la perturbación, que es la onda que ha creado el empuje, como si fuera una ola. Al llegar esta onda, el aire se adapta de inmediato, aumentando la presión y la temperatura de manera muy brusca. Este cambio repentino puede percibirse mediante un sonido muy fuerte.

Una explosión también puede generar agentes de daño. Entre ellos están los proyectiles primarios, que son parte del contenedor, recipiente o ambiente confinado donde se produjo la explosión; por ejemplo, partes del tanque de almacenamiento. Otro agente de daño son los efectos del gas que se escapa, que en algunos recipientes puede ser inocuo y en otros inflamable, corrosivo, tóxico, etc. También existen los proyectiles secundarios, que son elementos o cosas desplazados por la onda de presión o los proyectiles primarios en su movimiento. En las instalaciones, los efectos pueden ser variados: escapes de gases, incendios, derrumbes u otras explosiones derivadas o secundarias. De acuerdo con el tipo de explosión que se produzca, la capacidad de dañar de los distintos agentes tiende a cambiar; por ejemplo, los efectos secundarios de la explosión pueden resultar más destructivos que la propia onda de presión.

Presión de la onda expansiva para el caso de daño máximo posible (psi)									
Diámetro	30	20	10	7	5	3	2	1	0.5
Pies	88	110	150	180	210	290	350	590	860
Metros	27	33.5	33.5	55	64	88.5	106.75	180	262
Presión de la onda expansiva para el caso de daño catastrófico posible (psi)									
Diámetro	30	20	10	7	5	3	2	1	0.5
Pies	150	200	240	300	300	490	690	980	1700
Metros	45.75	61	73.2	91.5	109.8	149.5	189	299	518.5

Tabla 82. Diámetro de las ondas expansivas (gas LP).
Fuente: Comisión Nacional de Prevención de Desastres, 2001.

La magnitud de las consecuencias de una explosión –es decir, la difusión de nubes tóxicas o inflamables e incendios– se expresa en términos del número de muertos, lesionados o evacuados, daños a las instalaciones y al medio ambiente, así como, en algunos casos, pronósticos a largo plazo sobre efectos predecibles, como daños por radiación, quemaduras o efectos crónicos por intoxicación.

Clase	Características
Poco importante	Incomodidad temporal
Limitada	Pocos lesionados, incomodidades por mucho tiempo
Grave	Lesionados e incomodidades graves
Muy grave	5-20 decesos, 20-100 heridos graves y hasta 500 personas evacuadas
Catastrófico	Más de 20 decesos, cientos de heridos graves y más de 500 personas evacuadas.

Tabla 83. Gravedad y consecuencias para la vida y la salud por explosión.
Fuente: Zagal, 1996.

Cualquier liberación de sustancias tóxicas donde la cantidad liberada sea suficiente para alcanzar una concentración mayor o igual al nivel que se haya fijado como umbral, representa un peligro inmediato para la vida o la salud humana en las áreas aledañas a la fuente de la emisión.

Los daños que se producen por exposición a la explosión de un combustible son:

Epidérmico: también conocida como quemadura de primer grado; afecta únicamente la capa externa de la piel (epidermis), tarda en curarse entre 4 y 5 días y es muy dolorosa. La piel se enrojece y a los pocos días de la lesión puede haber un leve desprendimiento que cicatrizará con el tiempo.

Dérmico superficial: este tipo de quemadura es de segundo grado. Abarca toda la epidermis y una parte de la dermis. El daño es mayor y puede provocar ampollas e inflamación de la piel.

Subdérmico: esta quemadura es también conocida como de tercer grado; prácticamente provoca la destrucción de la piel. De apariencia blanca o carbonizada, regularmente no deja marcas ni cicatrices.

Otros daños a la salud pueden presentar como primeros síntomas tos, incapacidad para respirar, mareos, dolor de cabeza y, en ocasiones, vómitos, los cuales podrían aliviarse en un par de horas; el problema se agrava cuando las vías respiratorias se ven afectadas. Cuando la gente respira cualquier tipo de gas, lo que ocurre es un cambio en la contracción de oxígeno a nivel pulmonar. Al reducirse la cantidad de oxígeno y regularse la cantidad de hidrocarburos, se provoca hipoxia, que son niveles bajos de oxigenación. El mayor riesgo en estas circunstancias es la intoxicación a nivel pulmonar.

En caso de gas LP, los efectos por respirarlo son dolor de cabeza, náuseas, vómito, tos, dificultad al respirar, mareo, somnolencia, desorientación y, en casos extremos, convulsiones, inconsciencia e incluso la muerte. Si el gas entra en contacto con los ojos, provoca congelamiento, hinchazón y daño ocular. Si hay contacto con la piel, puede ocasionar quemaduras frías. En caso de combustión, se pueden generar quemaduras graves o, peor aún, la muerte.

Un accidente mayor es un acontecimiento repentino –como vertido, emisión, incendio o explosión de gran magnitud– en el curso de una actividad dentro de una instalación expuesta a riesgo de accidente mayor, en el que están implicadas una o varias sustancias químicas peligrosas que expongan a los trabajadores, a la población y/o al medio ambiente a un peligro grave, inmediato y/o diferido, real o potencial (SerTox, 2015).

Existen tres tipos de categorías para los accidentes mayores:

Categoría 1: aquellos accidentes en los que se prevé que habrá como única consecuencia daños materiales en la instalación industrial accidentada. Los daños asociados a la emisión, el escape, el vertido y la explosión quedan circunscritos a los límites de la propiedad de la instalación industrial; no se producen víctimas ni heridos.

Categoría 2: aquellos accidentes en los que se prevé que habrá como consecuencia posibles víctimas y daños materiales en la instalación industrial. Las repercusiones en el exterior se reducen a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente, en zonas limitadas.

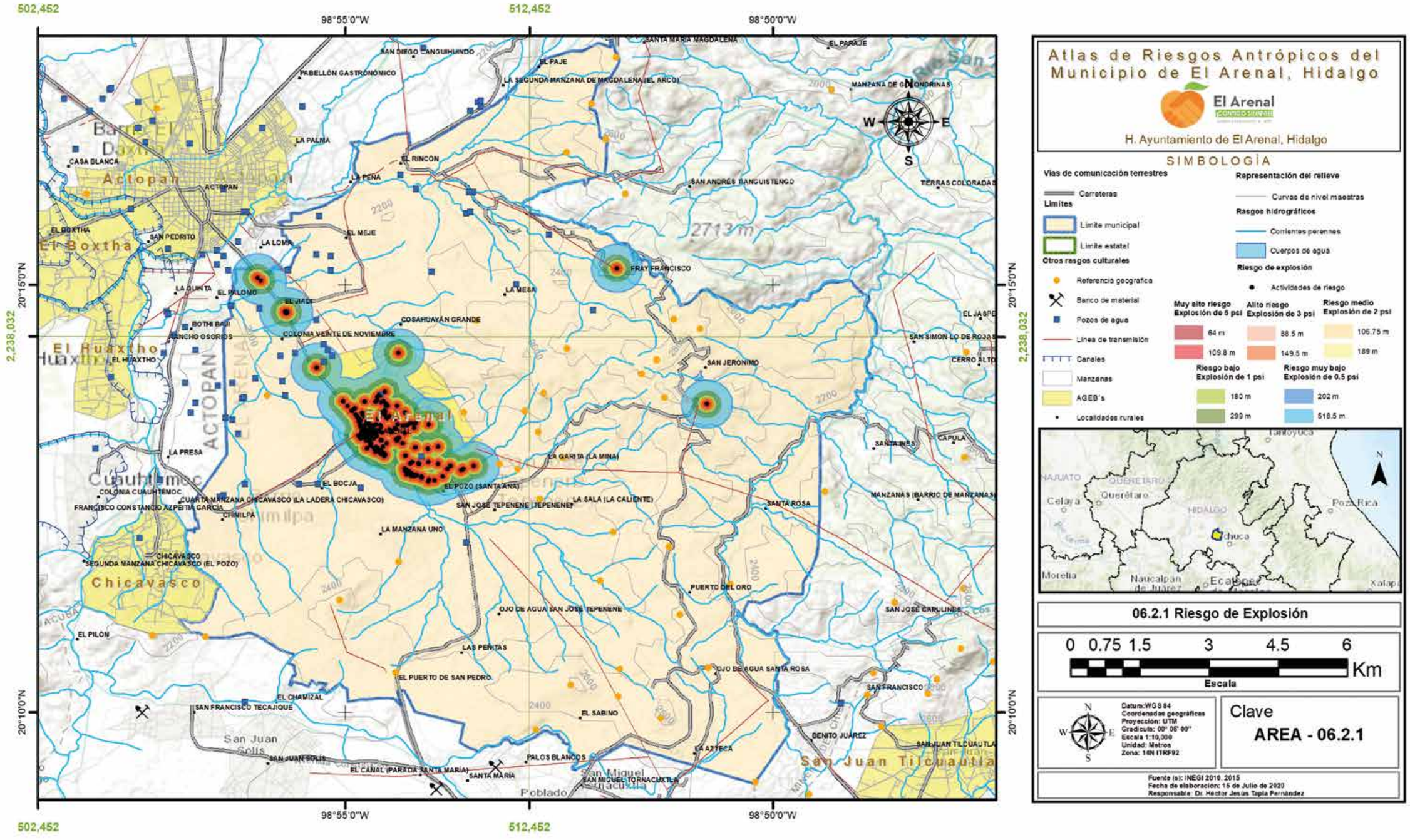
Categoría 3: aquellos accidentes en los que se prevé que habrá posibles víctimas, daños materiales o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas, en el exterior de la instalación industrial.

Los accidentes de las categorías 2 y 3 son considerados accidentes mayores (Casal *et al.*, 2009).

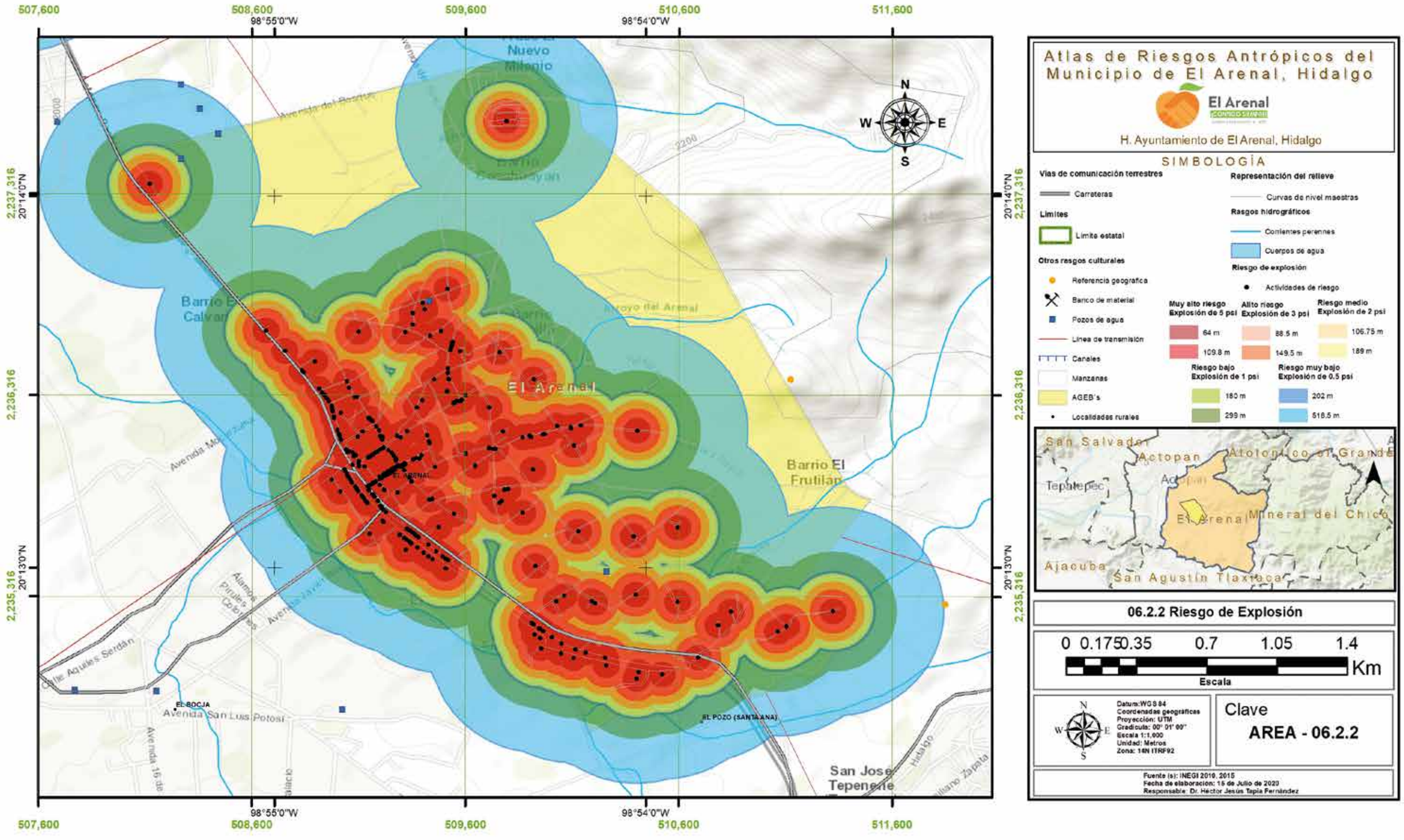
La cabecera municipal de El Arenal y el núcleo poblacional de San José Tepenené concentran la mayor parte de la actividad económica municipal. Las sustancias más utilizadas en la actividad económica son las siguientes:

Instalación	Sustancia	Instalación	Sustancia
Bancos	Papel	Paleterías	Saborizantes, líquidos refrigerantes
Carpinterías	Madera, combustible	Panaderías	Gas LP, lubricantes industriales
Administración Pública	Papel	Pastelerías	Gas LP, lubricantes industriales
Despachos contables	Papel	Purificadoras	Cloro, resinas, carbón activado
Ladrilleras	Gas LP, llantas, otros combustibles	Tiendas	Mercancía
Herrerías	Catalizadores, gas LP	Tortillerías	Gas LP
Manufactureras	Catalizadores, gas LP	Veterinaria	Medicamentos
Maquiladoras	Catalizadores, gas LP	Foto estudio	Productos químicos
Molinos	Gas LP, lubricantes industriales		

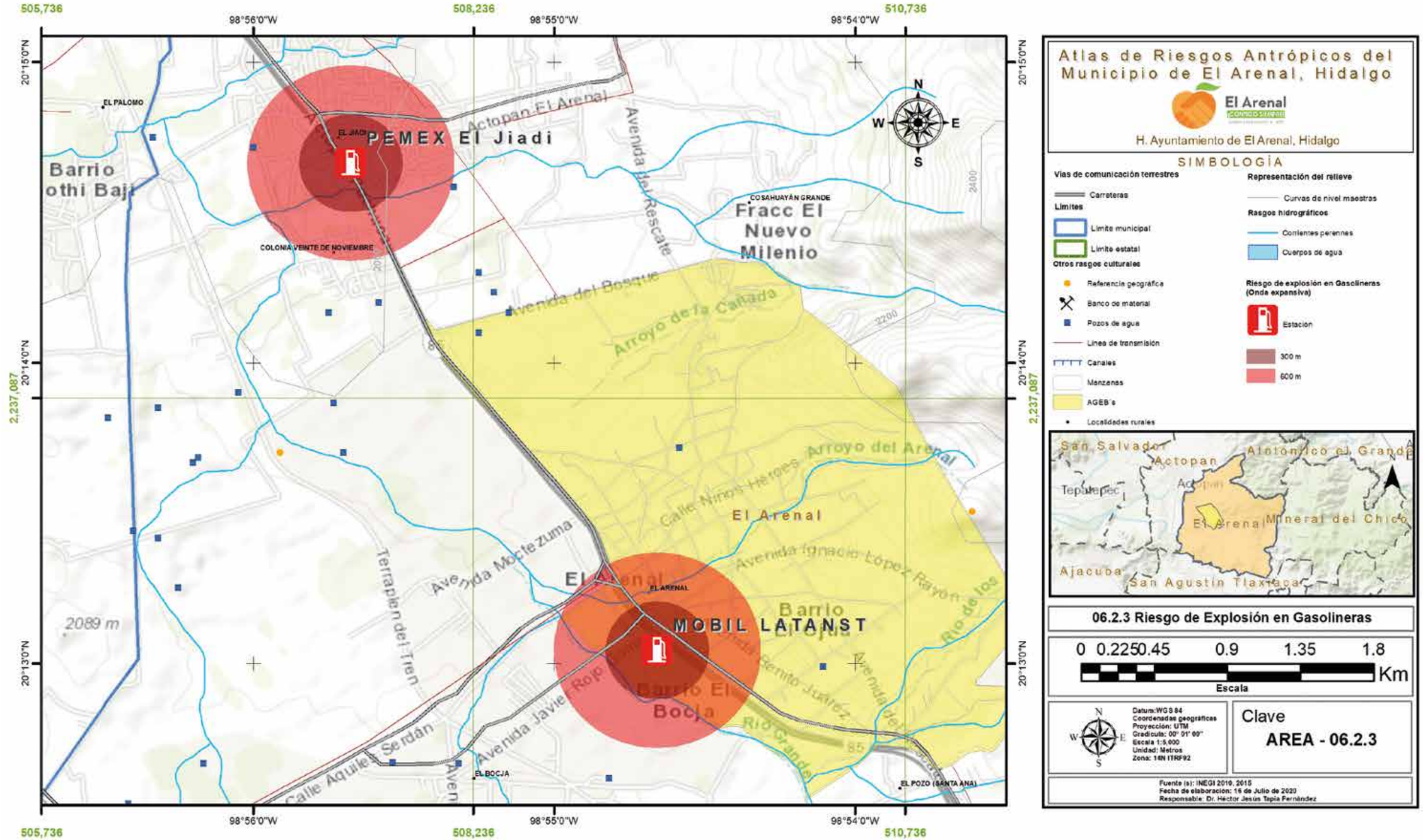
Tabla 84. Tipo de sustancias utilizadas en la actividad económica.
Fuente: Denue, 2019.



Mapa 64. Riesgo de explosión.



Mapa 65. Riesgo de explosión (cabecera municipal).



Atlas de Riesgos Antrópicos del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal
CONTIGO SIEMPRE

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Límites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geográfica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Líneas de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB´s
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Riesgo de explosión en Gasolineras (Onda expansiva)
- Estación
- 300 m
- 600 m

06.2.3 Riesgo de Explosión en Gasolineras

0 0.225 0.45 0.9 1.35 1.8 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 01' 00"
Escala 1:5,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave
AREA - 06.2.3

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 16 de Julio de 2020
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Mapa 66. Riesgo de explosión en gasolineras.

6.2.3 Incendios forestales

Las zonas forestales son imprescindibles para la vida en el planeta. Además de ser parte fundamental en los ciclos de producción y distribución del agua, purifican el aire al capturar dióxido de carbono y liberar oxígeno. También regulan la temperatura y la humedad, con lo que se equilibra el clima; proporcionan alimento, medicina y refugio a los seres vivos y son fuente de materia prima en muchas actividades humanas. Estos procesos vitales se ven amenazados por diversos factores ajenos a las actividades forestales, como la degradación de los suelos, la deforestación, la tala inmoderada y los fuegos no controlados, que están relacionados con otras actividades como la agricultura, la ganadería y el desarrollo urbano.

El fuego puede tener una influencia positiva en la naturaleza, pues ayuda a mantener la biodiversidad. Pero cuando se utiliza de forma irresponsable o se produce por alguna negligencia, puede convertirse en un incendio forestal de consecuencias devastadoras para el medio ambiente, incluso para la salud y seguridad de las personas.

Un incendio forestal ocurre cuando el fuego se extiende de manera descontrolada y afecta los bosques, las selvas o la vegetación de zonas áridas y semiáridas (Conafor, 2010). Se calcula que las actividades humanas provocan 99 por ciento de estos incendios y solo el resto tiene como causas fenómenos naturales como descargas eléctricas y/o la erupción de volcanes.

De acuerdo con el promedio de los últimos años, casi la mitad de estos incendios se producen por actividades agropecuarias y de urbanización, así como por las acciones intencionadas y los descuidos de personas que no apagan bien sus cigarros o fogatas. Algunas prácticas de los cazadores furtivos y de quienes llevan a cabo cultivos ilícitos también pueden causar un siniestro.

Causa	Consecuencias
Accidentales	Rupturas de líneas eléctricas, accidentes automovilísticos, ferroviarios y aéreos.
Negligencias	Quemas agropecuarias no controladas, fogatas de excursionistas, fumadores, quema de basura, limpieza de vías en carreteras y uso del fuego en otras actividades productivas dentro de áreas forestales.
Intencionales	Quemas por conflictos entre personas o comunidades, tala ilegal o litigios.
Naturales	Caída de rayos o erupciones volcánicas.

Tabla 85. Principales causas y consecuencias de los incendios forestales.
Fuente: Comisión Nacional Forestal, 2010.

Los tipos de incendio, según su origen y características, son:

Incendio superficial: cuando el fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno y alcanza hasta metro y medio de altura. Afecta combustibles vivos y muertos, como pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural o plantación, troncos, humus, entre otros.

Incendio subterráneo: cuando un incendio superficial se propaga bajo el suelo. En este caso, llegan a quemarse la materia orgánica acumulada y las raíces, e incluso puede alcanzar los afloramientos rocosos. Generalmente, no produce llamas y emite poco humo.

Incendio aéreo o de copa: este tipo de incendio es el más destructivo, peligroso y difícil de controlar, debido a que el fuego consume toda la vegetación. También comienza en forma superficial, pero, en este caso, las llamas avanzan primero sobre el nivel del suelo y se propagan por continuidad vertical, es decir, escalan vegetación dispuesta hacia arriba que sirve de combustible en escalera hacia las copas de los árboles.

Las condiciones que influyen sobre la forma y la velocidad en que el fuego se propaga se dividen en dos grupos de variables importantes: el primero se refiere a las condiciones permanentes, como la composición de los combustibles (elemento principal que determina las características del incendio), las especies vegetales dominantes en la zona y, finalmente, la topografía. El otro grupo de variables son las condiciones transitorias (de tipo meteorológico), como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y precipitación pluvial (lluvias).

Otro elemento a considerar para los incendios forestales es la fuente de calor. En el bosque no existe la combustión espontánea; siempre se requiere de una fuente de incandescencia externa mayor a 200 °C para que ocurra un incendio. Generalmente, ésta proviene de alguna fogata, un cerillo o la quema de material vegetal con fines agrícolas y de pastoreo. Otro elemento es la temporada. Si bien los incendios forestales pueden ocurrir en cualquier momento, en México hay dos temporadas con mayor incidencia. La primera, correspondiente a las zonas centro, norte, noreste, sur y sureste del país, inicia en enero y concluye en junio. La segunda temporada inicia en mayo y termina en septiembre, y se registra en el noroeste del país. Ambas coinciden con la época de mayor estiaje (sequía) en el territorio nacional. Y, finalmente, los asentamientos humanos: una zona forestal a la que los humanos ingresan con facilidad y constancia es más susceptible a la ocurrencia de incendios forestales.

Daños causados por los incendios forestales
Suelos expuestos y susceptibles a la erosión.
No hay plantas que retengan el agua para filtrarla al subsuelo y que formen o recuperen los mantos freáticos.
Desaparece el hábitat de la fauna silvestre, se desequilibran las cadenas alimenticias y muchos procesos de la vida se ven truncados (por ejemplo, la destrucción de hongos, bacterias y protozoarios cuya función es desintegrar la materia orgánica).
El clima se ve alterado al haber menos plantas que generen oxígeno. Se incrementa el efecto invernadero en la atmósfera terrestre.
El humo, producto de la combustión, contiene carbono y otros elementos que, en grandes cantidades, son nocivos al medio ambiente.
Destrucción de volúmenes de madera con el consecuente impacto en la economía de los propietarios.

Tabla 86. Daños causados por los incendios forestales.
Fuente: Comisión Nacional Forestal, 2010.

El mapa de riesgos de incendios forestales del municipio de El Arenal sigue un modelo conceptual de usos del suelo jerarquizados y toma en cuenta datos de la Comisión Nacional Forestal (Conafor) sobre la distribución de los incendios en este municipio. La base de datos abiertos que se utilizó de 2013 a 2017 se compone de una serie de campos descriptores de usos de suelo, distribución poblacional y pozos. La jerarquía del riesgo se presenta en un rango que va de muy alto a muy bajo, dependiendo de las características del uso de suelo y la vegetación, diferenciando el nivel de riesgo acorde con los colores que se muestran:

Tipo de vegetación	Nivel
Bosque	Muy alto
Chaparral	Alto
Matorral rosetófilo	Medio
Matorral sarcocrasicaule	Bajo
Uso agrícola	Muy bajo

Tabla 87. Nivel de riesgo de incendio asignado por tipo de vegetación.

El nivel de riesgo se asigna dependiendo del tipo de vegetación (la composición de los combustibles) en la cual el bosque es más propenso a sufrir incendios aéreos o de copa y que sea un mejor combustible para la propagación del incendio. Así, la vegetación rasa es más susceptible a sufrir incendios superficiales y su nivel de riesgo va de los rangos alto a medio, mientras que los pastizales y el matorral sarcocrasicaule son más susceptibles a incendios subterráneos, por lo que se les asigna un valor de riesgo bajo.

Se observa, en primera instancia, que la mayor fuente/causa de los incendios ocurridos en el municipio de El Arenal son las acciones antro-

pogénicas. La primera causa de incendio forestal es la quema con fines agropecuarios, la segunda causa la constituyen los fumadores y la tercera es la quema de basureros. Diversas zonas dentro del territorio muestran altos niveles de riesgo a presentar incendios forestales, como son Puerto de San Pedro y el Cerro de La Cantera, Santa Rosa, La Mesa, El Paje y San Jerónimo. También se puede observar que la distribución de los pozos es sumamente dispar, concentrándose la mayoría de ellos en la parte limítrofe con el municipio de Actopan, lo cual puede ser un inconveniente a la hora de atender un incendio en la Sierra de Actopan (Fray Francisco, La Mesa, Santa Rosa y San Jerónimo), ya que las zonas con mayor índice de incendios tienen muy pocos pozos cercanos.

Las acciones preventivas de incendios forestales pueden consistir en: a) obras de ingeniería para reducir la acumulación de material combustible o modificar su continuidad, tanto en forma horizontal como vertical, tales como brechas cortafuego, líneas negras, podas, chaponeos, aclareos y quemas prescritas, entre otras; b) actividades educativas, como campañas de difusión e información, capacitación y asistencia técnica para el uso del fuego en poblaciones rurales y urbanas, para que las personas valoren la importancia de los recursos naturales y adquieran hábitos de cuidado de las zonas forestales; y, finalmente, c) la supervisión legal para verificar que se cumplan las leyes, reglamentos y normas relativas al uso del fuego en el territorio nacional.

Dependiendo de las características y el tamaño de los incendios forestales, estos se categorizan para su temprana atención de la siguiente manera:

Nivel 1: incendios de pequeña dimensión. Para ser controlados, requieren solo de la participación de las brigadas de las instituciones oficiales responsables en el estado (Conafor y Gobierno de Hidalgo) y de personal voluntario de las comunidades.

Nivel 2: incendios de proporción mediana. Para ser controlados, requieren de la participación de otras instituciones, como Protección Civil, la Secretaría de la Defensa Nacional, el gobierno municipal y otras instancias del Gobierno estatal, así como voluntarios de la sociedad.

Nivel 3: incendio de magnitud. Su control requiere la participación y los recursos de otras instituciones del Gobierno federal (Sedena, Protección Civil, SCT, Comisión Nacional del Agua, Semarnat), e incluso se llega a requerir ayuda internacional para contar con brigadas, equipo especializado y aéreo (estado de emergencia internacional) y personal voluntario de organizaciones de los sectores social y privado.

La Norma Oficial Mexicana para los métodos de uso de fuego es la siguiente:

NOM-015-Semarnat-Sagarpa-2007: establece las especificaciones técnicas de los métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario. Su propósito es prevenir y disminuir los incendios forestales. Es de observancia general y obligatoria en todo el territorio nacional para los propietarios y poseedores de terrenos forestales y, preferentemente, forestales y colindantes; para quienes realicen el aprovechamiento de recursos forestales, la forestación o plantaciones forestales comerciales y reforestación; así como para los prestadores de servicios técnicos forestales responsables de los mismos, para los encargados de la administración de las áreas naturales protegidas y para los propietarios de terrenos de uso agropecuario que pretendan hacer uso de fuego.

Además, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable establece lo siguiente en su capítulo II, "De la Prevención, Combate y Control de Incendios Forestales" (DOF, 2003):

> **Artículo 122:** la Secretaría dictará las Normas Oficiales Mexicanas que deberán regir en la prevención, combate y control de incendios forestales para evaluar los daños, restaurar el área afectada y establecer los procesos de seguimiento, así como los métodos y formas de uso del fuego en los terrenos forestales y agropecuarios colindantes.
>
> Quienes hagan uso del fuego en contravención de las disposiciones de las normas mencionadas, recibirán las sanciones que prevé la presente ley, sin perjuicio de las establecidas en las leyes penales.

Artículo 123: la Comisión coordinará las acciones de prevención, combate y control especializado de incendios forestales y promoverá la asistencia de las demás dependencias y entidades de la administración pública federal, de las entidades federativas y de los municipios, en los términos de la distribución de competencias y de los acuerdos o convenios que para tal efecto se celebren.

La autoridad municipal deberá atender el combate y control de incendios y, en el caso de que los mismos superen su capacidad operativa de respuesta, acudirá a la instancia estatal. Si ésta resultase insuficiente, se procederá a informar a la Comisión, la cual actuará de acuerdo con los programas y procedimientos respectivos. El Servicio Nacional Forestal definirá los mecanismos de coordinación pertinentes con el Sistema Nacional de Protección Civil.

La Comisión, así como los gobiernos de las entidades y de los municipios, procurarán la participación de los organismos de los sectores social y privado, para los efectos señalados en el párrafo que antecede y organizará campañas permanentes de educación, capaci-

Paraje	Causa	Causa específica	Fecha de inicio	Tipo de vegetación	Tipo de impacto	Tipo de incendio
San Jerónimo	Actividades agropecuarias	Quema para preparación de siembra	13-04-2013	Bosque de encino-BQ	Impacto mínimo	Superficial
Las Cruces	Actividades agropecuarias	Quema para desmontar	22-02-2015	Matorral crasicaule-MC	Impacto mínimo	Superficial
20 de Noviembre	Actividades agropecuarias	Quema para preparación de siembra	14-01-2016	Matorral crasicaule-MC	Impacto mínimo	Superficial
Puerto del Oro	Actividades agropecuarias	Quema para pastoreo	18-02-2016	Matorral crasicaule-MC	Impacto mínimo	Superficial
Santa Rosa	Fumadores	Ninguna	14-03-2016	Matorral crasicaule-MC	Impacto mínimo	Superficial
Cerro La Cantera	Quema de basura	Ninguna	31-03-2016	Matorral crasicaule-MC	Impacto mínimo	Superficial
La Campana	Actividades agropecuarias	Quema para desmontar	22-03-2017	Mezquital (otros tipos)	Impacto mínimo	Superficial

Tabla 88. Resumen histórico de incendios forestales (2012-2017).
Fuente: Comisión Nacional Forestal, 2018.

tación y difusión de las medidas para prevenir, combatir y controlar los incendios forestales.

Sin perjuicio de lo anterior, las legislaciones locales establecerán los mecanismos de coordinación entre la entidad y los municipios en la materia a que se refiere este capítulo.

Artículo 124: los propietarios y poseedores de los terrenos forestales y preferentemente forestales y sus colindantes, quienes realicen el aprovechamiento de recursos forestales, la forestación o plantaciones forestales comerciales y reforestación, así como los prestadores de servicios técnicos forestales responsables de los mismos y los encargados de la administración de las áreas naturales protegidas, estarán obligados a ejecutar trabajos para prevenir, combatir y controlar incendios forestales, en los términos de las Normas Oficiales Mexicanas aplicables. Asimismo, todas las autoridades y las 48 empresas o personas relacionadas con la extracción, transporte y transformación están obligadas a reportar a la Comisión la existencia de los conatos o incendios forestales que detecten.

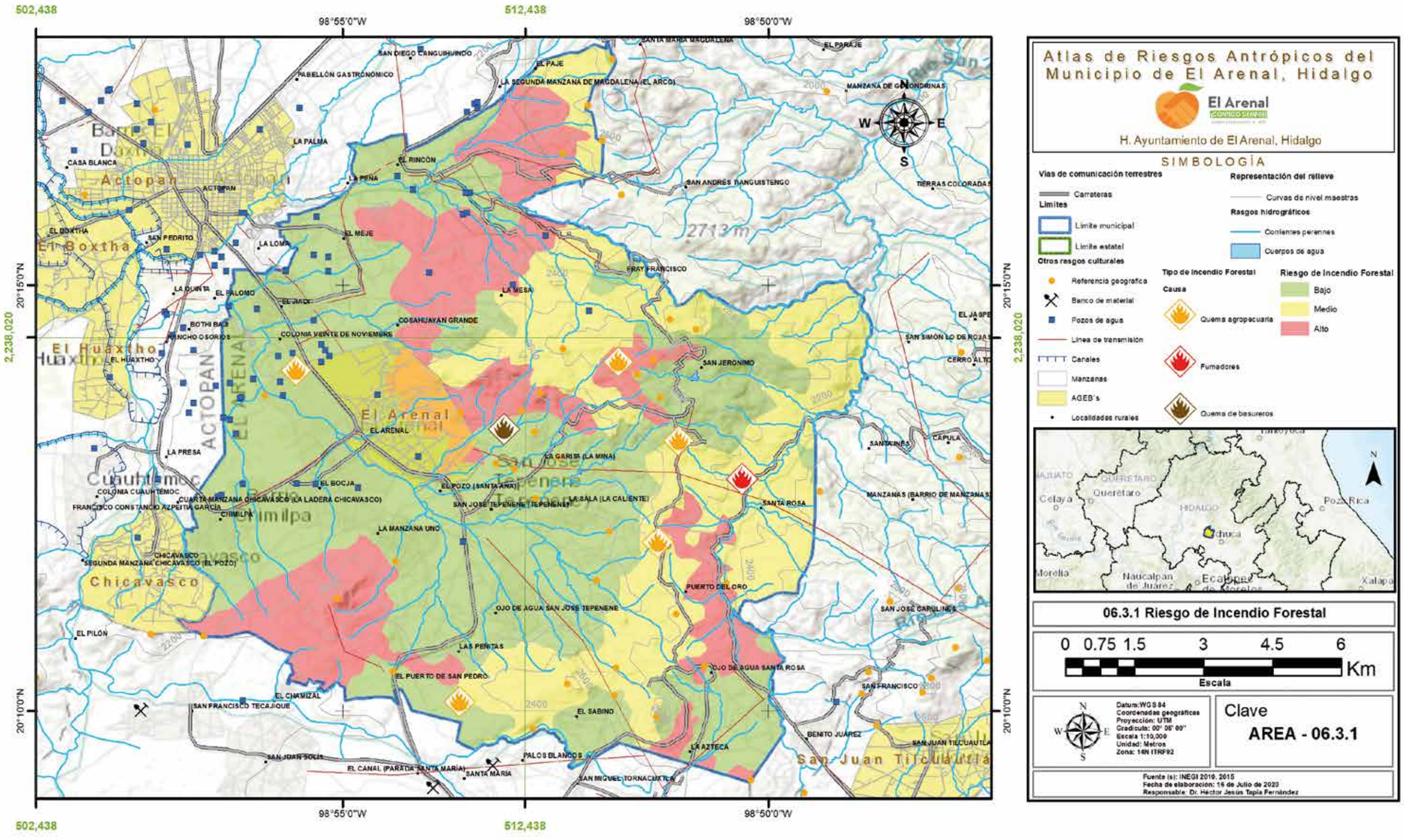
Artículo 125: los propietarios, poseedores y usufructuarios de terrenos de uso forestal están obligados a llevar a cabo, en caso de incendio, la restauración de la superficie afectada en el plazo máximo de 2 años, debiendo ser restaurada la cubierta vegetal mediante la reforestación artificial cuando la regeneración natural no sea posible, poniendo especial atención a la prevención, control y combate de plagas y enfermedades.

Cuando los dueños o poseedores de los predios dañados demuestren su imposibilidad para cumplirlo directamente, podrán solicitar fundadamente a las autoridades municipales, estatales o federales, el apoyo para realizar dichos trabajos. De igual manera, los titulares o poseedores de los predios afectados que no hayan sido responsables del incendio podrán solicitar el apoyo para los trabajos de restauración en los términos que se establezcan como instrumentos económicos o se prevean en el reglamento. En el caso de que haya transcurrido el plazo de 2 años sin que el propietario hubiera procedido a la restauración, la Comisión realizará los trabajos correspondientes con cargo a ellos, quienes deberán pagar la contraprestación respectiva en los términos de las disposiciones aplicables, que tendrá el carácter de crédito fiscal y su recuperación será mediante el procedimiento económico coactivo correspondiente.

Cuando los propietarios, poseedores y usufructuarios de terrenos de uso forestal que hayan sido afectados por incendio, comprueben fehacientemente que los daños sean de una magnitud tal que requieran de un proceso de restauración mayor a los dos años, podrán acudir ante la Comisión a que se les amplíe el plazo a que se refieren los primeros dos párrafos de este artículo, así como la gestión de apoyos mediante los programas federales y estatales aplicables.

Para paseantes:
No dejar encendidas fogatas, cigarros, cerillos o brasas en los bosques y selvas.
Evitar dejar fragmentos de vidrio, cristales, espejos o botellas que, por la acción de los rayos solares, pudieran convertirse en una fuente de calor y provocar un incendio.
Siempre que se detecte un incendio forestal, por pequeño que parezca, dar aviso a las autoridades municipales o locales.
No intervenir ni actuar por cuenta propia para combatir un incendio forestal. Lo más importante es la seguridad personal, por lo que se debe alertar a las autoridades sobre la presencia del fuego.
Para el campesino, agricultor y dueño de terrenos forestales:
Vigilar que en sus predios no haya acumulación de materiales que pudieran servir como combustible para la generación de incendios.
Cuando se vayan a realizar quemas, hacerlo muy temprano, en las primeras horas de la mañana y sólo cuando no haya viento ni sol muy fuerte.
Antes de iniciar la quema, abrir brechas cortafuego para controlar el desarrollo del proceso.
La quema de terrenos para preparar la tierra para la siembra es un proceso muy peligroso que puede contribuir a la generación de incendios. Siempre que se cuente con otras opciones para la preparación de sus predios, evite usar estas quemas.
Sólo realizar quemas si va a trabajar la tierra en los días siguientes.
Si va a realizar estas quemas, asegúrese de contar con el apoyo de otros miembros de la comunidad, para mantener la vigilancia total sobre el proceso y poder detectar, denunciar y/o combatir cualquier conato de incendio.
Es importante que se informe al usuario sobre los procedimientos y técnicas para llevar a cabo una quema agropecuaria según lo establecido en la NOM-015, acudir a las oficinas de la Semarnat, Sagarpa o la Comisión Nacional Forestal de su entidad para que le sea proporcionada dicha asesoría.

Tabla 89. Medidas de prevención de incendios.
Fuente: Comisión Nacional Forestal, 2010.



Mapa 67. Riesgo de incendio forestal.

6.2.4 Radiación

La radiación puede definirse como la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o en un medio material, lo cual implica un intercambio de energía y materia. En otras palabras, la radiación se considera energía en movimiento.

La radiación se divide en dos tipos: ionizante y no ionizante, según su poder para ionizar la materia, es decir, según su capacidad para separar completamente a un electrón del resto del átomo; está dada comúnmente en unidades electrón-volt [eV]. La característica básica de la radiación ionizante es que tiene la energía suficiente para producir la ionización de átomos. Una vez ionizados estos, pueden recombinarse o formar nuevos compuestos químicos cuyo cambio puede ser permanente o de larga duración. Por el contrario, la radiación no ionizante cuando mucho puede provocar movimientos colectivos de los electrones del material sin cambios permanentes, debido a que no cuenta con la energía suficiente para romper enlaces atómicos o ionizar. Este tipo de radiación incluye la radiación infrarroja, las radiofrecuencias, los campos de microondas, los campos eléctricos y magnetostáticos. La radiación ultravioleta y la luz visible también se incluyen en este tipo de radiación, aunque algunos de sus efectos en ocasiones pueden parecerse a los producidos por la radiación ionizante.

Las radiaciones ionizantes se presentan en unas pocas variedades y se pueden clasificar de la siguiente manera (González-Sprinberg y Rabin-Lerma, 2011):

Tipo de radiación
Radiación α (alfa). un núcleo inestable emite un núcleo de helio (formado por dos protones y dos neutrones); el núcleo original se transforma en otro.
Radiación β (beta). existen dos tipos de esta radiación. Si un núcleo inestable emite un electrón, se llama beta menos (β-), y si emite un positrón se llama beta más (β+); el núcleo original se transforma en otro.
Radiación γ (gamma): son fotones usualmente de muy alta energía, emitidos por núcleos inestables u otros procesos. El núcleo no cambia su identidad, sino que únicamente pierde energía.
Radiación neutrónica: es la emisión de neutrones en procesos nucleares.
Rayos X: son fotones de alta energía que se producen cuando los electrones atómicos cambian de órbita o cuando los electrones inciden sobre un material y son frenados.

Tabla 90. Tipos de radiaciones ionizantes.

El riesgo por afectaciones de este tipo de radiación se podría dar por derrame o transporte de sustancias radiactivas a través de la carretera México-Laredo, en todo su trayecto dentro del municipio de El Arenal, desde la comunidad de Puerto de San Pedro hasta El Jiadi. Cuando la radiación interactúa con el tejido vivo, lo hace modificando el material celular. Como la radiación posee energía y ésta puede ser transmitida a la célula –ya sea ionizando sus átomos o moléculas o produciendo, por ejemplo, un aumento en la temperatura del material celular–, modifica su condición natural. Las células están constituidas en 80 por ciento por moléculas de agua.

Ante el paso de la radiación, estas moléculas son susceptibles de disociarse y generar los llamados radicales libres, que son compuestos químicos muy reactivos capaces de alterar de manera irreversible las restantes moléculas, lo que tiene importantes efectos en la salud. La más importante de estas moléculas es el ADN, que se encuentra en cada célula y que contiene toda la información que le permite funcionar, crecer y reproducirse. Esta molécula también podría ser dañada directamente por la radiación, por ejemplo, por ionización. Cuando el ADN ha sido modificado y la célula no lo repara o lo repara incorrectamente, se pueden producir daños irreversibles. Estos daños pueden interferir en los procesos celulares, impedir su reproducción o provocar una división celular sin control que podría derivar en las enfermedades que llamamos cáncer. También pueden generarse defectos genéticos que se transmitan a las futuras generaciones. Además, si un número importante de células son afectadas o aniquiladas en un órgano en particular, este puede dejar de funcionar normalmente, o bien, puede seguir cumpliendo sus funciones si esas células no son cruciales para el órgano al que pertenecen.

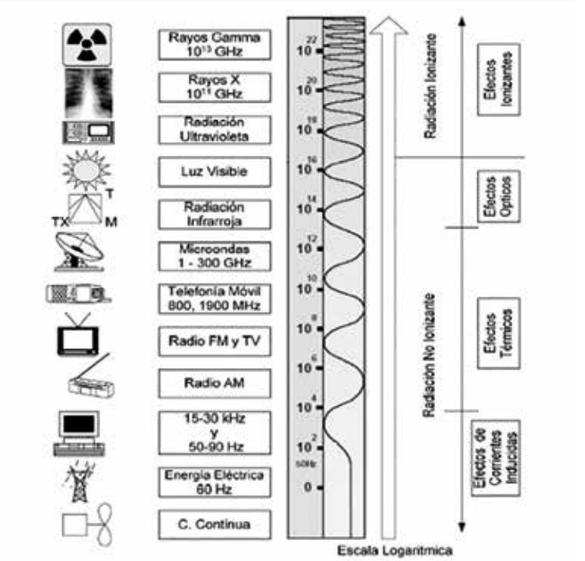


Figura 24. Tipos de radiación electromagnética (modificado a partir de García, s.f.).

En cualquier caso, el efecto producido por la exposición a la radiación dependerá de varios factores: la dosis recibida, si fue recibida en etapas o en una sola vez, el tiempo de exposición, si fue aplicada en todo el cuerpo o en una parte de él y si fue aplicada interna o externamente. Los efectos también dependerán de la etapa del crecimiento en que la radiación fue recibida, ya que son diferentes en la etapa embrionaria, la etapa fetal, la infancia y la adultez. Son importantes, además, los factores genéticos de cada persona.

La clasificación más utilizada divide los efectos en dos clases: los determinísticos y los estocásticos. Los efectos determinísticos son aquellos que se producirán siempre que la dosis recibida por el órgano en cuestión supere cierto valor mínimo. Casi siempre se presentan rápidamente luego de la exposición, por lo general no son fatales y la severidad aumenta según la dosis recibida. Los efectos estocásticos son de tipo probabilístico o aleatorio. La probabilidad de su aparición –no su gravedad– depende de la dosis recibida y no requiere una dosis mínima. Son efectos vinculados a la acumulación de dosis a lo largo del tiempo y tal vez puedan pasar décadas sin detectarse o incluso no aparecer en la propia persona, sino en sus descendientes (González-Sprinberg y Rabin-Lerma, 2011).

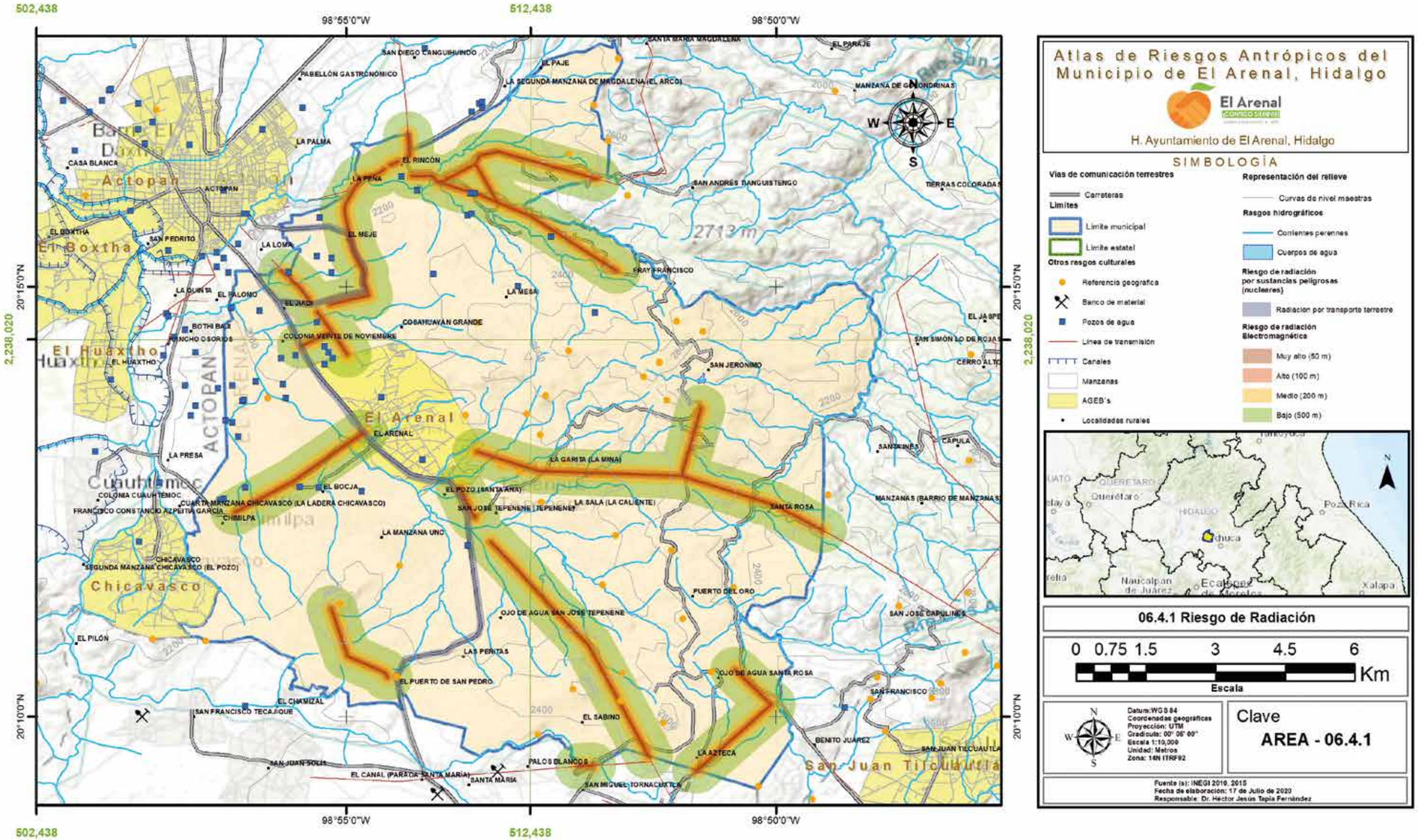
Los efectos tempranos en la salud son causados por un daño extenso o por muerte celular, como quemaduras en la piel, pérdida de cabello o trastornos en la fertilidad. Estos efectos en la salud se caracterizan por un umbral relativamente alto que debe excederse en un corto periodo de tiempo. La severidad del efecto aumenta con el incremento de la dosis una vez que el umbral ha sido sobrepasado. Generalmente, las dosis agudas mayores a 50 Gray (Gy) generan tal daño en el sistema nervioso central que la muerte ocurre en pocos días. Aun con dosis menores a 8 Gray, las personas muestran síntomas de enfermedad por radiación, también conocida como síndrome de irradiación aguda, que incluyen náuseas, vómitos, diarrea, cólicos intestinales, salivación, deshidratación, fatiga, apatía, languidez, sudores, fiebre, jaqueca y baja presión arterial.

El término *aguda* hace referencia a los problemas médicos que ocurren inmediatamente después de la exposición, en contraste con los que se desarrollan tras un tiempo prolongado. Sin embargo, las víctimas pueden sobrevivir en primera instancia y morir por daño gastrointestinal una o dos semanas después. Las dosis bajas pueden no ocasionar lesiones intestinales, pero incluso así causar la muerte después de algunos meses, principalmente por daño en la médula ósea. Las dosis aún más bajas pueden retrasar el inicio de la enfermedad y producir síntomas menos severos. Aproximadamente la mitad de aquellos que recibieron dosis de 2 Gray sufren vómitos después de unas tres horas, pero es inusual que esto ocurra para dosis menores a 1 Gray (PNUMA, 2016).

El mayor riesgo de exposición a radiación ionizante se da por las líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión, las cuales son un conjunto de cables aéreos empleados para conducir energía eléctrica. Estas líneas de transmisión generalmente pasan por zonas rurales. Las que se encuentran en el municipio son: a) línea en posterío sencillo; b) línea en torres de acero; y c) línea en posterío doble. A continuación, se les enlista por riesgo de exposición.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	3	Medio	La Azteca	4	Alto
20 de Noviembre	3	Medio	La Garita	4	Alto
Cosahuayán Grande	5	Muy alto	La Manzana Uno	5	Muy alto
El Arenal	5	Muy alto	La Mesa	1	Muy bajo
El Bocja	5	Muy alto	La Sala (La Caliente)	3	Medio
El Jiadi	5	Muy alto	Las Peñitas	2	Bajo
El Meje	5	Muy alto	Ojo de Agua	3	Medio
El Pozo (Santa Ana)	5	Muy alto	Santa Rosa	3	Medio
Puerto de San Pedro	4	Alto	Puerto del Oro	1	Muy bajo
El Rincón	5	Muy alto	San Jerónimo	1	Muy bajo
El Sabino	1	Muy bajo	San José Tepenené	5	Muy alto
Fray Francisco	3	Medio			

Tabla 91. Rangos de riesgo para radiación ionizante en las diferentes comunidades.



Mapa 68. Riesgo de radiación.

6.2.5 Envenenamiento

El envenenamiento –también llamado intoxicación (CUN, 2019)– es la enfermedad provocada por el ingreso al organismo, por cualquier vía, de una sustancia química, un veneno o un tóxico, que da lugar a alteraciones, mayores o menores, de la fisiología de la víctima, pudiendo causarle la muerte. El envenenamiento puede ser agudo o crónico. Desde el punto de vista de la medicina legal, son posibles las tres etiologías clásicas: accidental, homicida o suicida.

Entre las sustancias que pueden causar envenenamiento (AAFP, 2019) se encuentran las siguientes:

Sustancias
Productos para el hogar y productos para el cuidado personal, como el removedor de esmalte de uñas y enjuague bucal que es perjudicial para los niños.
Productos de limpieza y detergentes.
Diluyente de pintura.
Plaguicidas y repelentes de insectos.
Productos químicos para el césped, como herbicidas, fertilizantes y fungicidas. Metales como el plomo.
Mercurio, que se puede encontrar en termómetros y pilas antiguas.
Medicamentos recetados y de venta libre cuando se combinan o se toman de forma incorrecta.
Drogas ilícitas.
Monóxido de carbono.
Alimentos en mal estado.
Plantas como la hiedra venenosa o el roble venenoso.
Veneno de ciertas especies de insectos y serpientes.

Tabla 92. Sustancias que pueden causar envenenamiento o intoxicación.
Fuente: Academia Americana de Médicos de Familia, 2019.

La toxicología es la parte de la medicina que estudia los efectos adversos o la toxicidad de las sustancias y los productos químicos sobre los organismos vivos, así como los mecanismos de acción, diagnóstico, prevención y tratamiento de las intoxicaciones. Los tóxicos son sustancias capaces de producir en un órgano o sistema de órganos lesiones estructurales o funcionales e incluso provocar la muerte. Sin embargo, potencialmente, casi todas las sustancias conocidas pueden provocar daño y/o causar la muerte si están presentes en el organismo en una cantidad suficiente (García, s.f.). En función de su naturaleza, se pueden clasificar en tóxicos químicos y físicos. Los tóxicos químicos pueden ser de origen animal, mineral, vegetal y sintético. Casi siempre se tiende a limitar el concepto de tóxico al efecto de sustancias químicas, sin tener en cuenta los efectos tóxicos de elementos físicos, tales como los rayos X y ultravioleta, el efecto nocivo del ruido, etcétera.

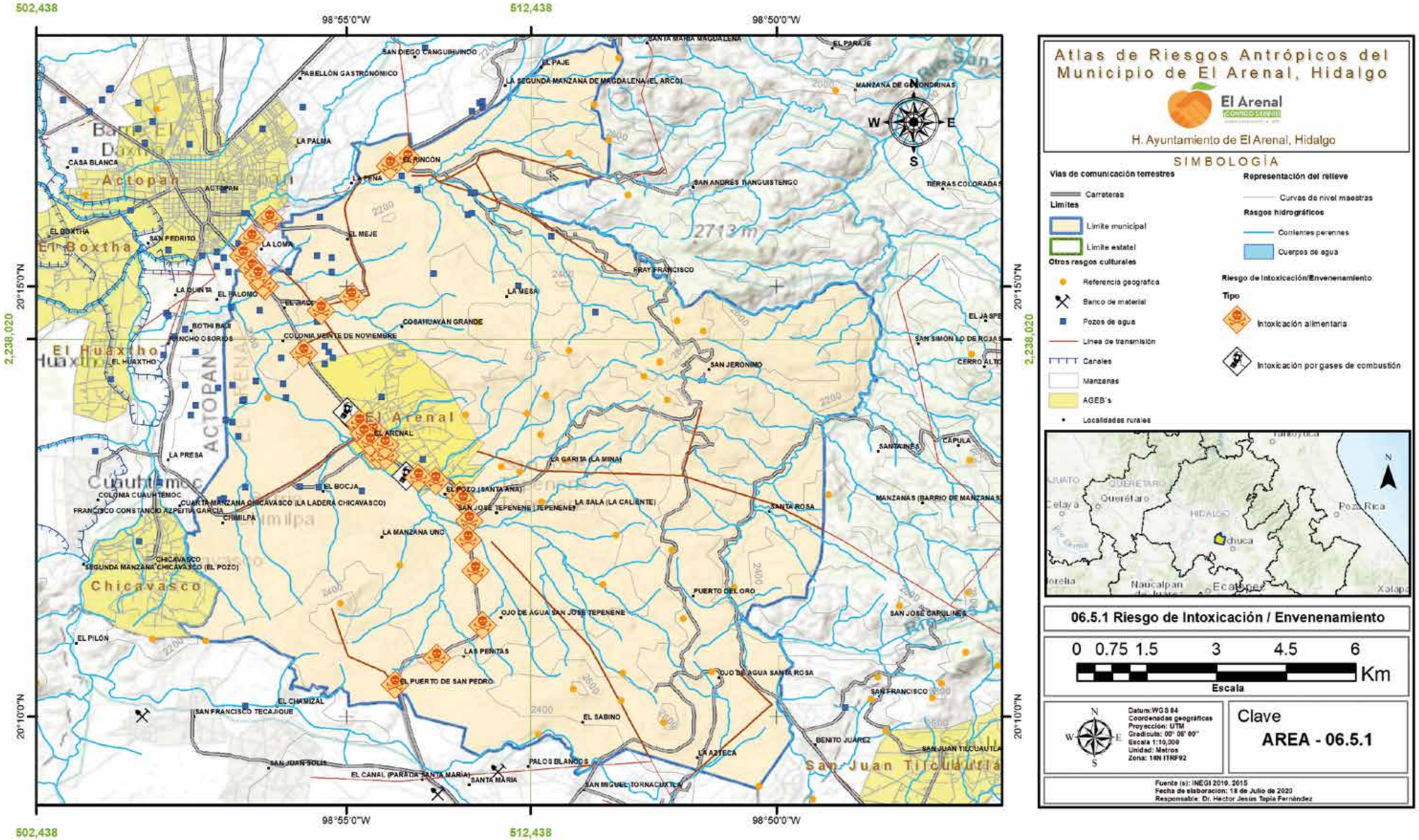
El estudio de los riesgos antrópicos en el municipio de El Arenal se limita a las sustancias químicas porque se dispone de información geoespacial al respecto. Los efectos sistémicos de las sustancias tóxicas requieren que estas se absorban y distribuyan por el organismo hasta los lugares donde ejercerán su acción. Para que ello ocurra, la sustancia química habrá de pasar por varias fases: deberá absorberse, distribuirse, fijarse y eliminarse.

Las principales vías de absorción del tóxico pueden ser:

Por ingestión: a través del tracto gastrointestinal. En la mayoría de las intoxicaciones agudas, es la principal vía de absorción.

Por inhalación: a través de la vía respiratoria. Esta vía es la principal en las intoxicaciones por gases.

Por vía tópica: a través de la piel. Esta vía, junto con la inhalatoria, son las que con más frecuencia se presentan en intoxicaciones industriales, mientras que las intoxicaciones accidentales y suicidas suceden con mayor frecuencia por la vía oral.



Atlas de Riesgos Antrópicos del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Limites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geografica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Linea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Riesgo de Intoxicación/Envenenamiento

Tipo
- Intoxicación alimentaria
- Intoxicación por gases de combustión

06.5.1 Riesgo de Intoxicación / Envenenamiento

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 06' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave

AREA - 06.5.1

Fuente (s): INEGI 2010, 2015
Fecha de elaboración: 18 de Julio de 2020
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Mapa 69. Riesgo de intoxicación / envenenamiento.

6.3 LOS RIESGOS SANITARIO-ECOLÓGICOS

Los riesgos de origen sanitario agrupan eventos relacionados con la contaminación del aire, el agua y los suelos, los que son propios del área de salud —esencialmente las epidemias— y los ligados a la actividad agrícola.

Con base en lo que establece el Sistema Nacional de Protección Civil, se determinaron los fenómenos de origen sanitario-ecológico en la contaminación del aire, suelo y agua, la desertificación, las epidemias y zoonosis, las plagas y la lluvia ácida.

Los agentes perturbadores de origen sanitario son, fundamentalmente, producto del crecimiento desmedido y sin equilibrio de la población y del desarrollo industrial. Algunas de las zonas más expuestas son los centros urbanos que concentran grandes industrias y fuerte densidad de población. A menudo, un riesgo sanitario es efecto de otros agentes perturbadores, como podrían ser un sismo o una inundación, que al afectar los servicios básicos y la infraestructura de la comunidad (agua, drenaje, hospitales, distribución de alimentos y otros), provocan enfermedades por epidemias y plagas.

Con relación a la contaminación, podemos mencionar que muchas alteraciones a la salud son provocadas por la existencia en nuestro medio de una gran cantidad de contaminantes potencialmente dañinos, y que las enfermedades que desencadenan dependen en gran medida de la concentración del contaminante, del tiempo de exposición y de la susceptibilidad de cada individuo a ciertas sustancias.

Las redes de servicios básicos (agua, alcantarillado y energía eléctrica), así como de transporte, han crecido paulatinamente hasta hacerse convergentes en múltiples puntos. Ante problemas sanitarios, tales como epidemias, plagas y contaminantes industriales, el tamaño de esa red convergente se vuelve un riesgo, dado que las probabilidades de contagio aumentan en los puntos de convergencia. Su atención y corrección mediante políticas limpias es imprescindible para abatir los niveles de riesgo que repercuten en el ambiente y en el bienestar humano. Los riesgos originados en fenómenos sanitarios tienen claras repercusiones en variables que reflejan el nivel de salud de la población, como son la morbilidad y la mortalidad.

Muy frecuentemente, estos riesgos se derivan de la presencia de condiciones ambientales adversas y de niveles de contaminación en grados en que la naturaleza queda incapacitada para reciclar los elementos extraños que en ella son depositados y que inciden, a su vez, en el uso inadecuado del medio.

Por otra parte —y en forma similar a otros procesos en los que interviene la acción del hombre, como los procesos sociales y económicos no planificados—, el crecimiento desordenado de los centros urbanos y las zonas industriales tiene consecuencias en los perfiles de salud al omitir una distribución equitativa de los recursos y los servicios básicos. La identificación de estos agentes perturbadores también está sujeta a las grandes concentraciones vehiculares y al crecimiento de la población y la industria.

6.3.1 Plagas

Mundialmente, las pérdidas de alimentos a causa de las plagas son muy grandes. En el ámbito global, se estima que 35 por ciento de los cultivos se pierde a pesar del uso de pesticidas y otros programas de control de plagas. Las pérdidas causadas por aves y mamíferos son bajas en comparación con las causadas por insectos. El pronóstico de las plagas permite un mejor control y uso de los pesticidas, pues su propósito es determinar las medidas de control que deben efectuarse y, particularmente, si es conveniente usar pesticida y cuándo este debe aplicarse.

El pronóstico también determina si y cuándo debe evaluarse el "nivel de perjuicio económico" de la plaga. Este procedimiento documenta la densidad de la pérdida inaceptable que la plaga causará en el cultivo y requiere la siguiente información:

Factores a considerar en la proliferación de plagas
Densidad de la plaga, sus parásitos y depredadores.
Factores ecológicos que afectan el crecimiento del cultivo.
Cantidad de daño y pérdida relacionada con diferentes densidades de la plaga.
Valor monetario de la pérdida del cultivo a diferentes niveles.
Valor monetario del daño derivado de las medidas de control.
Costo de las medidas de control.
Determinación de los "reveles del umbral económico" o densidad de la plaga donde deberían aplicarse medidas de control para evitar el nivel de perjuicio económico.

Tabla 93. Proliferación de plagas.

Las principales plagas presentes en las zonas forestales de Hidalgo son: heno motita, escarabajo descortezador, muérdago y avispa agalladora.

Heno motita (*Tillandsia recurvata*). Esta plaga se desarrolla en verano, presenta su floración en otoño y se propaga en invierno, cuando los árboles pierden las hojas; gracias a que las semillas están encapsuladas, se dispersan con el viento y, con ayuda de las aves, germinan en cortezas rugosas. La zona donde se ha reportado esta plaga forestal se encuentra en las estribaciones de la Sierra de Actopan, cerca de la comunidad Fray Francisco.

Escarabajos descortezadores: son insectos coleópteros herbívoros que pertenecen a la familia *Curculionidae*. De tamaño muy pequeño, su cuerpo oscila entre los 0.1 y 0.6 cm. Son endófitos y cavan galerías por debajo de la corteza de los árboles para alimentarse. Hay dos grandes grupos: la subfamilia *Scolytinae* y la subfamilia *Paltipodinae*. Es importante señalar que si bien ambos grupos viven dentro de los árboles, los *Scolytinae* se alimentan directamente del floema, mientras que los *Paltipodinae* se alimentan de los hongos que cultivan; entre estos últimos se encuentran los escarabajos ambrosiales, que perforan la corteza y cultivan en su interior los hongos ambrosiales con los que se alimentan (Farrel *et al.*, 2001).

En ambos casos, los escarabajos adultos cavan un túnel en la corteza de los árboles para depositar debajo de ella sus huevecillos. En algunas especies de ambos grupos, solamente la hembra cava y en otras recibe ayuda del macho. Después de aparearse, las hembras hacen un túnel vertical en donde van depositando sus huevecillos, guardando cierta distancia entre cada uno, para que cuando emerjan las larvas no interfieran entre sí al momento de alimentarse. Las larvas cavan túneles longitudinales, alejándose del túnel parental, y comen hasta adquirir la talla adecuada para llevar a cabo la metamorfosis, salir del árbol como adultas y completar su ciclo de vida.

Cada especie de descortezador deja en la madera un patrón de galerías distintivo. En el caso de los escarabajos ambrosiales, cada especie tiene una asociación mutualista con un hongo en particular, por lo que cuando los jóvenes adultos emergen de los árboles para buscar una pareja y aparearse, llevan consigo esporas de su hongo simbionte con el fin de compartirlo como alimento con la nueva generación; de esta manera se asegura la prosperidad de la nueva generación de escarabajos (Wood, 1982). La mayoría de las especies de escarabajos descortezadores atacan por lo general árboles debilitados por la edad, la sequía, el fuego, enfermedades o daño mecánico; sin embargo, hay especies agresivas como *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus ponderosae* que, cuando sus poblaciones son muy grandes, pueden infestar árboles sanos al atacarlos masivamente en superficies extensas (Billings *et al.*, 2004).

El gusano soldado *(Spodoptera frugiperda)* es una plaga de lepidópteros que se alimenta en gran número en las hojas y tallos de más de 80 especies

de plantas, causando grandes daños al cultivo de hierbas económicamente importantes –maíz, arroz, sorgo, caña de azúcar– y también a otros cultivos como las hortalizas.

Las plagas de insecto no han constituido un problema severo para los cultivos en el Valle del Mezquital, región sociocultural del estado de Hidalgo donde se encuentra el municipio de El Arenal. Sin embargo, pueden presentarse algunas plagas del suelo (gallina ciega y gusano de alambre), pulgones y gusano soldado; estos últimos aparecen con mayor frecuencia cuando hay condiciones de sequía.

Gusano soldado: son insectos masticadores; se alimentan de hojas y tallos de las plantas; en ataques severos, devoran todas las hojas de la planta y dejan únicamente la nervadura media de las hojas y las ramas. El nombre de soldado se debe a que las larvas o gusanos tienen la cabeza de un color marrón más intenso que el resto del cuerpo. Su coloración varía de verde claro hasta casi negro, con fajas de color blanco-amarillento en los costados y sobre el dorso. Su control debe iniciarse cuando aparezcan los primeros gusanos o daños, preferentemente en la forma de una campaña fitosanitaria. En el caso de las plántulas, las larvas se alimentan dentro de la espiral; las más grandes pueden cortar incluso la base de la planta. Las plantas maduras sufren ataques sobre las estructuras reproductivas. En las plantas de tomate pueden comer brotes y puntos de crecimiento y perforar las frutas.

En el caso del maíz, puede comerse las hojas y convertir la espiral (embudo) en una masa de agujeros, bordes irregulares y excremento larvario. A principios de la temporada, puede causar un daño severo a las plántulas jóvenes, llegando a matar el punto de crecimiento, un síntoma llamado "corazón muerto". Las larvas pueden atacar las mazorcas y perforar los granos. En caso de densidades altas, las larvas grandes suelen actuar como gusanos militares y dispersarse en enjambres (de ahí también su nombre), pero a menudo permanecen en la localidad sobre pastos silvestres, si estos están disponibles.

Gallina ciega: larva de escarabajo *(Phyllophaga).* Es una plaga del suelo que puede cortar parcial o totalmente las raíces de las plantas; esto causa "manchones" de plantas marchitas o muertas, principalmente en la etapa de plántula. Los huevecillos son depositados en el suelo; al nacer, los gusanos miden varios centímetros de largo por casi 1 cm de grueso y se alimentan de las raíces. Inicialmente, los daños no son visibles en la zona aérea de la planta, pues las larvas se alimentan solo de algunos pelos radiculares y materia orgánica. Sin embargo, cuando comienzan a alimentarse de las raíces más grandes, el daño se manifiesta como marchitamiento y un desarrollo trunco.

Gusano de alambre: son plagas del suelo que causan un daño similar al de la gallina ciega. Su nombre se refiere a que las larvas tienen una apariencia similar a un alambre. Miden de 20 a 30 milímetros de largo y comúnmente son lisas, duras y muy brillantes, de color crema a tonos cafés; tienen tres pares de patas. El control de las plagas del suelo puede ser cultural (barbecho), químico (insecticida aplicado al suelo al momento de la siembra) o una combinación de ambos.

Pulgón del follaje y espiga: insectos chupadores, pequeños, de cuerpo blando casi transparente. Cuando existen en cantidad abundante, pueden causar amarillamiento y muerte prematura de las hojas al succionar o chupar las plantas. Exudan gotitas de un líquido azucarado llamado "rocío de miel", que puede causar diminutas manchas chamuscadas en las hojas. Además, son transmisores de enfermedades virales (enanismo amarillo de la cebada).

Pulgón ruso: a diferencia de otros pulgones, este es de color verde pálido a verde grisáceo, con cuerpo alongado y antenas cortas. Suele inyectar una toxina que provoca una enfermedad que se manifiesta en las hojas como líneas longitudinales blanquecinas o amarillentas (estriado clorótico), lo cual les da una apariencia de deficiencia nutricional.

El daño causado por este pulgón varía de acuerdo con la época en la que ocurra la infestación. Si es en estado de plántula, puede provocar la muerte de la planta o provocar pérdidas de peso de 65 por ciento en promedio. Cuando se presenta en la etapa de amacollo, el rendimiento puede disminuir hasta en 42 por ciento; si se presenta en el encañe, provoca espigas deformes y enrolladas que no producen grano. En infestaciones tardías, en floración y llenado de grano, no se han detectado daños en la productividad de la cebada. Una forma de control de este insecto es la eliminación durante el invierno de plantas y pastos *(Eragrostis mexicana)* que se encuentren en el terreno o en las orillas del mismo que presenten las estrías cloróticas características de la toxemia provocada.

Chicharritas *(Empoasca spp.)***:** es uno de los insectos plaga que ocasionan daños considerables en las zonas productoras de frijol. Sus ataques son mucho más severos en las épocas de altas temperaturas y sequía. Puede presentarse en cualquier fase del cultivo, pudiendo iniciar su ataque inmediatamente después de la germinación. Aparece regularmente desde la emergencia de la planta hasta el inicio de floración. Cuando el ataque es severo durante todo el ciclo, el periodo más crítico es el de las dos semanas previas a la floración, seguido en importancia por el intervalo entre la floración y la formación de vainas. Si las poblaciones altas se presentan al final del cultivo, esta etapa es la más sensible al daño. Son cuatro los componentes del rendimiento de frijol que se ven afectados (Van Schoonhoven *et al.*, 1978): la reducción del número de vainas por planta, el número de semillas por vaina, el peso de las semillas y el número de vainas sin semilla por planta.

En infestaciones fuertes, los adultos se encuentran en cualquier parte del follaje. Las hembras depositan los huevos en las nervaduras más tiernas del envés de las hojas, que son muy difíciles de localizar; se les puede reconocer porque la zona donde se ubican se vuelve más oscura. Las ninfas también se localizan en la zona del envés y en mayor cantidad en las partes media y baja de la planta. Los daños son causados tanto por las ninfas como por los adultos al succionar la savia de las hojas, lo que produce un amarillamiento de los bordes y la punta de los foliolos que avanza hacia la nervadura central. Posteriormente, las hojas se deforman y se enrollan hacia abajo. Estas zonas foliares cloróticas se vuelven necróticas, dejando las hojas quebradizas; incluso pueden producirse defoliaciones en infestaciones fuertes que terminan en la muerte de la planta. Todo este proceso se lleva a cabo en pocos días.

6.3.1.1 Medidas de control de las plagas

Los métodos de control de plagas consisten en realizar un control adecuado y relativamente eficaz; implica el conocimiento de aspectos tales como las zonas productoras, la identificación acertada de los insectos dañinos y beneficiosos presentes en el cultivo (así como de cada una de sus fases), la fisiología y el desarrollo de las plantas hospedantes, la distribución y dinámica de las poblaciones, las épocas críticas del daño y su relación con agentes externos (principalmente climáticos), etcétera. A partir de esta información se puede decidir el método o métodos de control más adecuados para reducir la presencia del insecto plaga.

El manejo y control de plagas que afectan los diferentes cultivos implica dos acciones indispensables: a) detectar cuándo existe una población que puede ocasionar un daño considerable en el cultivo (daño económico); y

b) utilizar una estrategia de control efectiva que permita minimizar las pérdidas.

Los principales métodos de control son el cultural, el biológico y el químico.

Control cultural: no hay muchas acciones culturales que resulten efectivas en el manejo de los insectos.

Control biológico: se ha descrito una gran cantidad de enemigos naturales de las diferentes especies de plagas, desde parasitoides de huevos hasta depredadores de ninfas y adultos, pero su impacto en los ataques de las plagas no está bien definido.

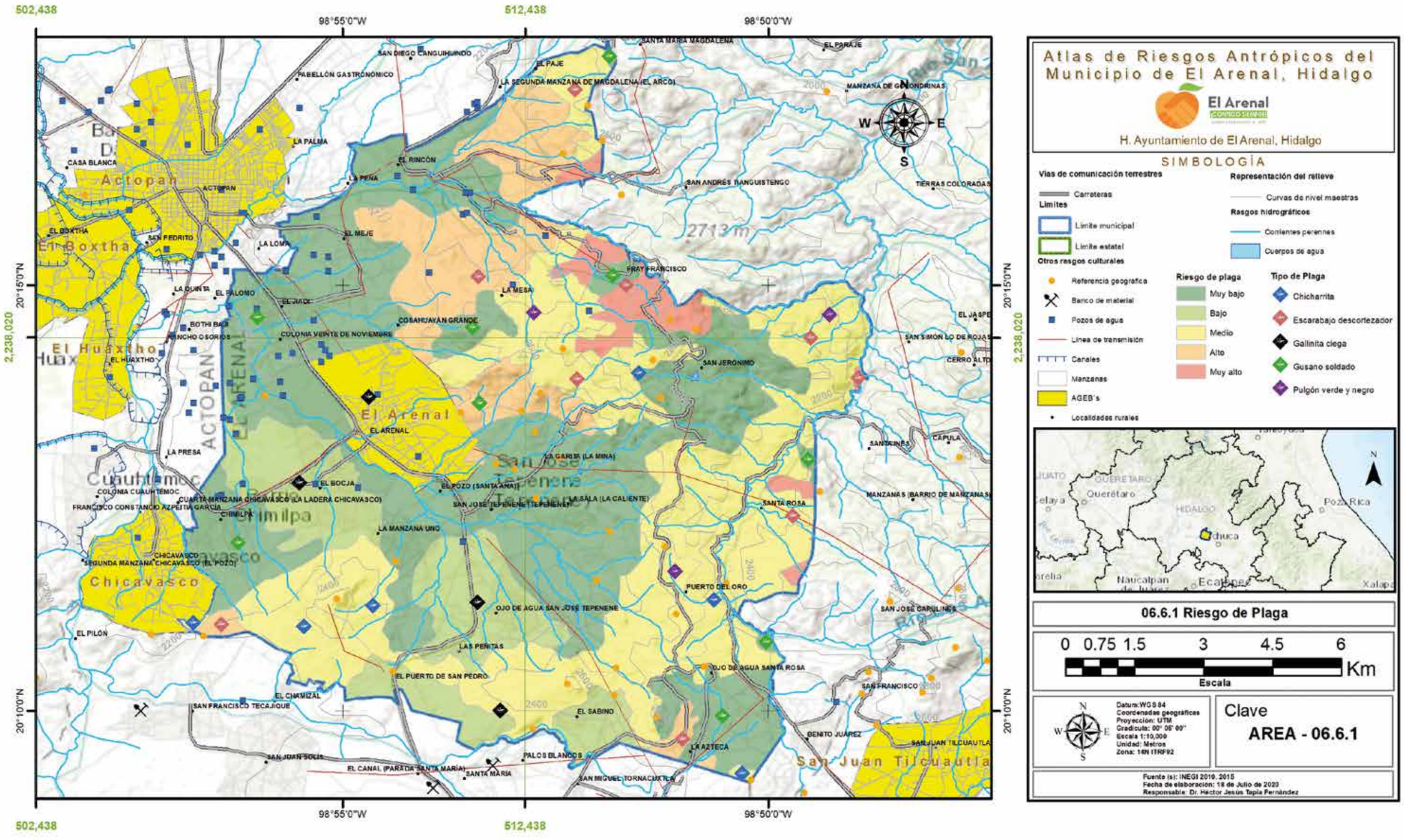
Control químico: se pueden utilizar algunos insecticidas indicados para combatir estas plagas. A medida que el cultivo tiene más follaje, especialmente cuando se cierra el surco con hojas de las plantas de ambos lados, se limita la efectividad de las aplicaciones de los productos de contacto; esto empeora por el hecho de que las ninfas tienden a permanecer en el envés de las hojas.

Las plagas de suelo se controlan comúnmente con insecticidas granulados al suelo. Si hay presencia de estas plagas, se puede usar Furadan granulado a razón de 20 kilogramos por hectárea. Los principales insectos que se presentan en los cultivos son los pulgones, los cuales se controlan, cuando su incidencia es alta, con Pirimor o Lannate, a razón de 0.3 y 0. 2 kilogramos por hectárea, respectivamente.

Las enfermedades más comunes son roya de la hoja, roya del tallo y manchas foliares, las cuales se controlan principalmente por resistencia genética o con fungicidas de contacto o preventivos a base de cobre, que son más económicos, como Manzate y Flonex (Mancozeb).

	Tipo de control				
Plaga	**Natural**	**Cultural**	**Biológico**	**Químico**	**Dosis/ha***
Gallina ciega	-	-	-	Volatón 2.5 G Furadán 2.5 G	40–50 kg 20 kg
Gusano del alambre	-	-	-	Volatón 2.5 G Furadán 2.5 G	40–50 kg 20 kg
Pulgón del follaje	Lluvia	-	Catarinitas, avispitas	Pirimor Lannate 90 Diazinón 25	0.2 kg 0.3 kg 0.75 L
Pulgón ruso	Lluvia	Eliminar plantas infestadas en el invierno	Catarinitas, avispitas	Pirimor Lannate 90 Diazinón 25	0.2 kg 0.3 kg 0.75 L
Gusano soldado	-	-	Catarinitas	Acefato 75 Lannate 90 Foley	0.2 kg 0.3 kg 0.75 L

Tabla 94. Control químico de plagas.
Fuente: Agenda técnica agrícola Hidalgo (Inifap, 2017).



Mapa 70. Riesgo de plaga.

6.3.2 Contaminación

Se denomina contaminación ambiental a la presencia de componentes nocivos (químicos, físicos o biológicos) en el medio ambiente (entorno natural y artificial), que supongan un perjuicio para los seres vivos que lo habitan, incluidos los seres humanos. La contaminación ambiental está originada principalmente por causas derivadas de la actividad humana, como la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero o la explotación desmedida de los recursos naturales.

Las fuentes antropogénicas que generan mayor contaminación ambiental son las siguientes:

- Tala excesiva de árboles.
- Emisiones y vertidos industriales a la atmósfera y a la hidrósfera.
- Extracción, procesamiento y refinamiento de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural).
- Producción de energía con combustibles fósiles y otras fuentes no renovables.
- Uso excesivo de automóviles y otros medios de transporte impulsados por gasolina o diésel.
- Uso indiscriminado de plásticos y otros materiales derivados del petróleo.
- Liberación de plásticos y objetos no biodegradables en espacios naturales.

Una de las principales consecuencias de la contaminación ambiental es el calentamiento global, que a su vez produce el cambio climático, por el cual va aumentando progresivamente la temperatura del planeta, tanto la de la atmósfera como la de mares y océanos. La contaminación ambiental supone un riesgo para la salud de los seres vivos que habitan los ecosistemas contaminados, incluidos los seres humanos. Además, la tala indiscriminada, la explotación excesiva de los recursos naturales y la emisión de contaminantes al medio ambiente (gases a la atmósfera, vertidos en medios acuáticos, residuos sólidos) provoca la destrucción de ecosistemas. De esta forma, muchas especies de animales y plantas ven cómo su hábitat natural se va reduciendo cada vez más, lo que incluso puede llegar a provocar su extinción.

6.3.2.1 Contaminación del agua

Las fuentes de contaminación de los diferentes cuerpos de agua en el país causadas por actividades antropogénicas son, de acuerdo con las estadísticas del Medio Ambiente de Inegi-Semarnat, producto de las diversas industrias que operan a lo largo de toda la geografía de la República Mexicana; entre ellas, destacan las siguientes:

Fuentes de contaminación		
Descargas	**Industria**	**Sustancia**
Descargas industriales y residuales	Industria textil	Detergentes y cloros
Descargas municipales	Industria química y petroquímica	Fertilizantes
Rastros	Industria agrícola y azucarera	Hidrocarburos
	Industria minera	

Tabla 95. Principales contaminantes del agua.

Estas fuentes no sólo han sido la causa de la contaminación de los cuerpos de agua, sino que también han provocado contaminación atmosférica, la cual repercute directamente sobre los ecosistemas y la salud humana.

En la cabecera municipal de El Arenal se presentan los mayores riesgos de contaminación del agua en los arroyos de La Cañada y El Arenal, y en el río de los Cortes, que nacen en las inmediaciones de la Sierra de Actopan y, al atravesar la zona urbana, son vulnerables a las descargas municipales que no cuentan con plantas de tratamiento en funcionamiento.

La otra zona con riesgo de contaminación es la localidad de San José Tepenené, donde existen tiraderos clandestinos de basura. Hoy en día, la contaminación de los cuerpos acuáticos es un problema que debe tomarse en cuenta, debido a que la calidad del agua se define en función de su utilización y a partir de un determinado número de parámetros cualitativos (tipo de sustancia contaminante) y cuantitativos (concentración). El municipio de El Arenal actualmente cuenta con volúmenes de agua suficientes para satisfacer las demandas de abastecimiento de todos los sectores, pero el creciente deterioro de la calidad del recurso hidráulico, debido a la contaminación por descargas de aguas residuales sin tratar, limita sus posibilidades e incrementa sustancialmente el riesgo de afectar la salud pública y el ambiente.

La contaminación del agua también abarca los mantos acuíferos; sin embargo, no se cuenta con suficientes datos de análisis bacteriológicos de contaminantes químicos, ni de aguas residuales para los acuíferos de Actopan-Santiago de Anaya y Amajac, los cuales abarcan la mayor parte del territorio de El Arenal. Una de las consecuencias por consumir aguas contaminadas es el incremento de enfermedades altamente infecciosas y letales. La falta de servicios de drenaje y agua potable aumenta el riesgo porque algunas comunidades carecen de acceso a agua dulce potable. Los desechos tóxicos de los productos químicos usados en la agricultura (fertilizantes y plaguicidas) son los principales contaminantes del agua, pues, aun en bajas concentraciones, pueden causar enfermedades como el cáncer.

Entre las consecuencias de tomar agua contaminada se encuentran enfermedades mortales como diarreas agudas; las toxinas estimulan el organismo con la secreción de los intestinos, lo que produce pérdida de fluidos, deshidratación y, en muchos casos, la muerte.

Además de la diarrea, algunas de las enfermedades transmitidas por el agua contaminada son:

Disentería: provocada por bacterias; causa diarrea. En adultos es rara vez mortal, pero en niños tiene alta mortandad.

Cólera: es una infección bacteriana *(Vibrio cholerae)* aguda del intestino que provoca numerosos episodios de diarrea y vómitos intensos, lo que a su vez puede generar deshidratación aguda y provocar la muerte.

Paludismo: provocado por un parásito *(Plasmodium)* transmitido por la picadura de ciertos tipos de mosquitos *(Anopheles)* que habitan y se reproducen en zonas de aguas estancadas.

Tifus: enfermedad provocada por bacterias; causa fiebres, diarreas, vómitos e inflamación del bazo y el intestino.

Tracoma: infección de los ojos provocada por bacterias *(Chlamydia trachomatis)*. La infección suele ocurrir por las deficientes prácticas higiénicas debido a la falta de agua o la existencia de condiciones insalubres. Los niños y las niñas son especialmente vulnerables a ella.

Fiebre tifoidea: es una infección bacteriana *(Salmonella enterica)* causada por la ingesta de agua contaminada. Los pacientes sufren dolor de cabeza, náuseas y pérdida de apetito.

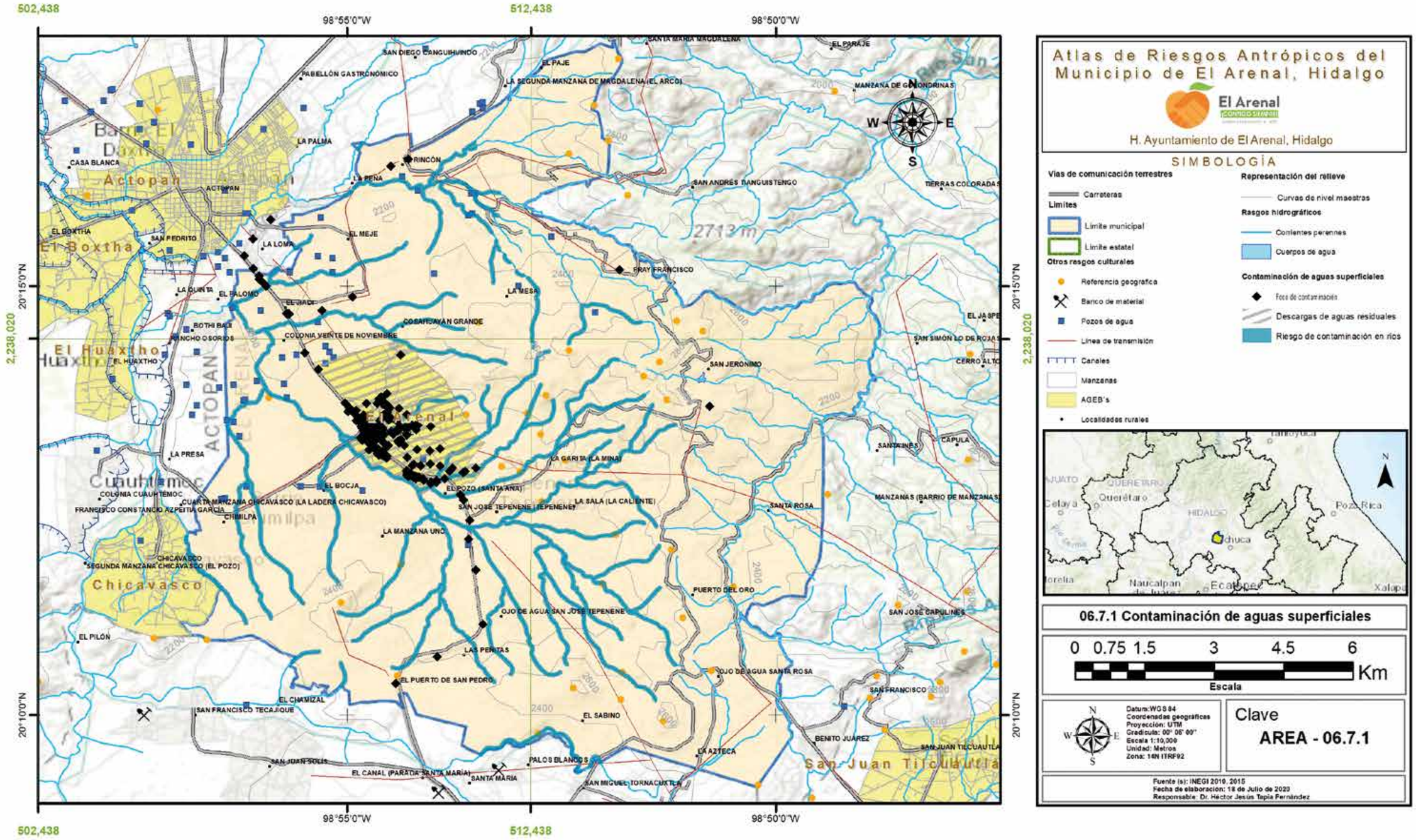
Las Normas Oficiales Mexicanas que regulan la calidad del agua son:

NOM-001-Semarnat-1996: establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar

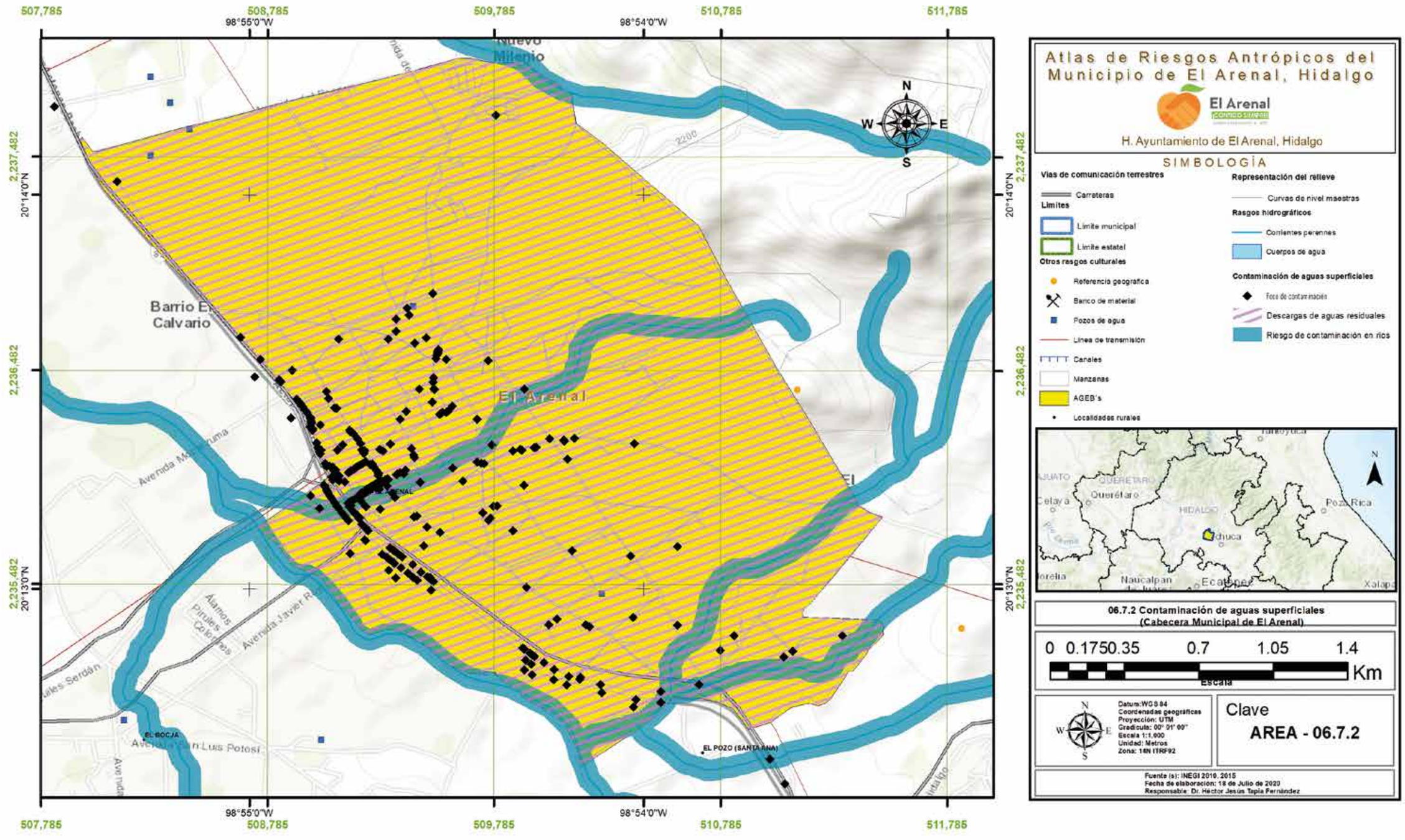
sus usos. Es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

NOM-002-Semarnat-1996: establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas. Es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales ni a las generadas por la industria que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

NOM-003-Semarnat-1997: establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población. Es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso. En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, estos serán responsables del cumplimiento de la presente norma, desde la producción del agua tratada hasta su reúso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de esta.



Mapa 71. Contaminación de aguas superficiales.



Mapa 72. Contaminación de aguas superficiales (cabecera municipal).

6.3.2.2 Contaminación del agua subterránea

Recientemente, gran parte de la investigación hidrogeológica se ha centrado en los problemas de la calidad del agua subterránea. Los objetivos pueden ser variados: encontrar agua subterránea de calidad aceptable, estudiar cómo la calidad del agua subterránea se ha visto afectada por actividades humanas, adoptar medidas preventivas para que estos problemas no lleguen a producirse y predecir la evolución de un problema de contaminación si ya se ha producido e intentar remediarlo.

La mala calidad del agua subterránea puede deberse a causas naturales o a la actividad humana. En general, al hablar de contaminación, nos referiremos a esta última, por ejemplo, un vertido derrame industrial, ya sea intencional o accidental. Aunque en muchas ocasiones la mala calidad del agua se deba a causas naturales, también se considera agua contaminada, ya que no cumple con la normatividad para consumo humano. A menudo, distinguir si la causa es natural o antrópica no es fácil, pues una actividad humana no contaminante (en general, los bombeos) altera un equilibrio previo, provocando el deterioro de la calidad del agua subterránea.

Hay grandes diferencias entre la contaminación de las aguas superficiales y la de las aguas subterráneas, siendo esta última la más grave.

1) *Detección.* En aguas superficiales, la contaminación resalta de manera muy evidente, por lo que las posibles medidas de corrección pueden ponerse en marcha de inmediato, mientras que en las aguas subterráneas el problema a menudo se detecta cuando ya han transcurrido meses o años.

2) *Solución.* Las aguas de un río se renuevan con la rapidez de su flujo, de modo que, anulado el origen de la contaminación, en un plazo breve la calidad del agua vuelve a la normalidad. En los acuíferos, como su flujo es lento y los volúmenes tan grandes, se necesita mucho tiempo para que el agua que contiene se renueve varias veces, e incluso entonces el problema persiste por las sustancias que quedaron adsorbidas en el acuífero. La descontaminación de aguas subterráneas por medios artificiales es muy costosa y normalmente solo es aplicable en acuíferos superficiales y no muy extensos.

Las aguas subterráneas no están directamente expuestas a los efectos de las actividades humanas desarrolladas normalmente en superficie. No obstante, las sustancias contaminantes pueden llegar a los acuíferos de diversos modos (Sánchez-San Román, s.f.):

a. Infiltración de sustancias depositadas en superficie o de la lluvia.

b. Filtración de sustancias almacenadas bajo tierra o disolución de estas por el flujo natural del agua subterránea.

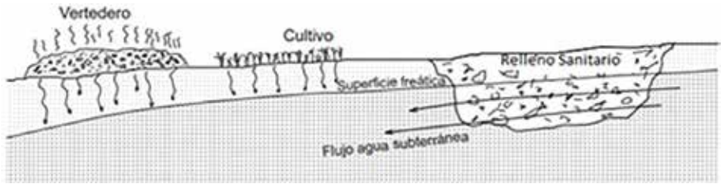


Figura 25. Contaminación del manto freático por filtración.

c. Filtración desde un río influente.

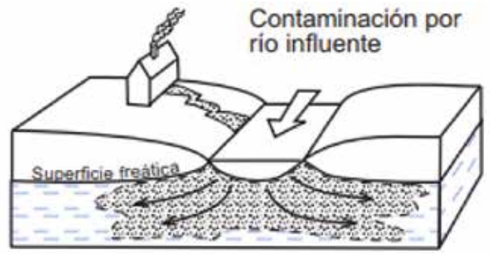


Figura 26. Contaminación del manto freático por un río influente.

d. Derrames accidentales de depósitos o ductos, superficiales o enterrados.

e. Desde la superficie, a través de captaciones abandonadas o mal construidas.

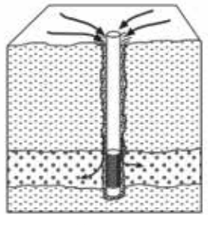


Figura 27. Contaminación de un acuífero desde la superficie.

f. Desde otro acuífero, a través de captaciones que comuniquen ambos acuíferos. Aunque no se haya colocado rejilla en el acuífero contaminado, la comunicación puede producirse a través del empaque si existen gravas.

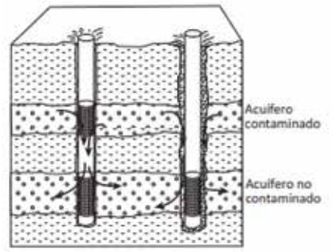


Figura 28. Contaminación de un acuífero no contaminado por un acuífero contaminado.

g. Inyección en pozos.

En la mayoría de los casos, es a través de alguna de estas vías que los contaminantes alcanzan la superficie freática más superficial, y posteriormente se expanden y difunden, siendo transportados por el flujo subterráneo. Las principales fuentes de contaminación de los acuíferos son los residuos sólidos urbanos, las aguas residuales, las actividades agrícolas, la ganadería y las actividades mineras e industriales.

Mención especial merecen los derivados del petróleo (gas, gasolina, turbosina). Estas sustancias llegan a la superficie freática por infiltración desde vertidos accidentales o por roturas de ductos. Algunos de estos hidrocarburos son menos densos que el agua, por lo que se mantienen en la superficie del acuífero libre superficial y solo una parte se disuelve. Otros son más densos que el agua y acaban en la parte baja del acuífero, aunque una parte puede llegar a disolverse.

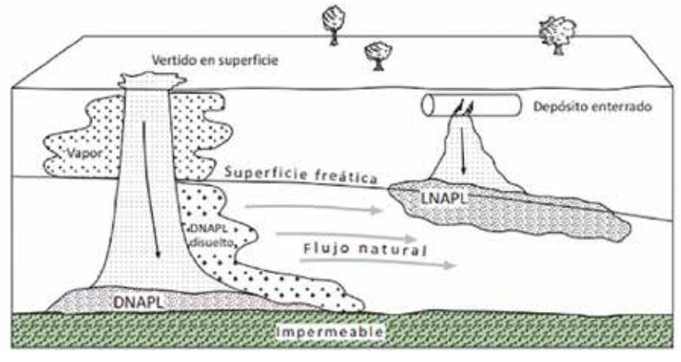


Figura 29. Contaminación por líquidos no acuosos más o menos densos que el agua.

La reacción de los acuíferos a la contaminación que reciben puede ser efectiva al principio, pero no es indefinida y en muchas ocasiones es reversible; las sustancias precipitadas o retenidas son después disueltas de nuevo o liberadas. Los procesos fisicoquímicos que pueden ocurrir son los siguientes (Fetter, 1999):

Dilución: la dilución del relativamente pequeño volumen de contaminante en el enorme volumen del acuífero generalmente no soluciona el problema. A escala local, las concentraciones seguirán siendo un problema.

Filtración mecánica: los materiales granulares finos pueden retener partículas en suspensión y microorganismos, mientras que en arenas gruesas, gravas o acuíferos fracturados, la filtración es casi inexistente. Además, la capacidad de cualquier filtro es limitada.

Precipitación: se pueden precipitar diversas sustancias según los cambios en el pH o el potencial rédox del medio. Al igual que la filtración, puede disminuir fuertemente la permeabilidad del medio.

Procesos de oxidación-reducción: evolución de los compuestos nitrogenados. En la zona no saturada, el agua no contaminada es oxidante, transformando compuestos de nitrógeno (N) en nitrificación (NO_3-), lo que es bueno para las plantas, que así pueden tomar el nitrógeno que necesitan. Pero el excedente de nitratos –que las plantas no toman– pasa a contaminar el agua, llega a los acuíferos, donde las concentraciones de NO_3- suben incesantemente. Ya en el acuífero, el agua pierde gran parte de su carácter oxidante, pero si encuentra sustancias reductoras (en general, materia orgánica), el nitrato actúa como oxidante, reduciéndose por dos posibles vías. En un caso, se produce la desnitrificación (NO_3- pasa a N_2O y a N_2), lo que es conveniente, pues son gases inocuos. Existe otra vía de reducción de los nitratos que, por razones bioquímicas (el proceso está regido por la actividad bacteriana), se da en menor proporción; en este caso, los nitratos NO_3- se reducen a nitritos NO_2-, lo que no es bueno, ya que en la normativa se admite hasta 50 mg/l de NO_3- y solamente 0.1 miligramo por litro de NO_2-.

Otra implicación importante de los procesos de oxidación-reducción en la calidad del agua subterránea es la reducción de sulfatos a sulfuros. El sulfato, SO_4, pasa a SH_2 (o SH– + H+). Este proceso confiere al agua un característico olor desagradable parecido al huevo podrido; no es muy común porque requiere unas condiciones más reductoras que los procesos anteriores de reducción de nitratos. En el caso de la reducción del sulfato, SO_4 pasa a SH_2, el agua adquiere un olor que la hace no apta para el consumo.

Adsorción: diversas partículas quedan adsorbidas (adheridas electrostáticamente a las partículas del suelo), especialmente en las arcillas. En estas partículas puede producirse un intercambio iónico: otros iones o moléculas sustituyen a Ca++ y Mg++, que estaban previamente adsorbidos en las arcillas. La capacidad de retención por este concepto tiene un límite, de modo que, si la sustancia no se descompone, el terreno agotará su capacidad de retención. En ocasiones es sólo una adsorción temporal, pero cuando supone un mayor tiempo de permanencia del contaminante, proporciona mayor plazo de actuación a otros procesos.

Desintegración o descomposición: los elementos radiactivos y algunos productos químicos, como los pesticidas, desaparecen con el paso del tiempo; en el caso de los pesticidas, se habla de desintegración radiactiva o de descomposición. En ambos casos, el factor crucial es la vida media (tiempo en el que la concentración de la sustancia se reduce a la mitad). Esto será efectivo en elementos cuya vida media sea corta en relación con el tiempo de tránsito del agua en el acuífero. La vida media de algunos pesticidas es de unos pocos días, mientras que la de ciertos elementos radiactivos es de miles de años.

Las zonas más propensas a sufrir contaminación de mantos acuíferos son las que se ubican en la porción del acuífero Actopan-Santiago de Anaya, dentro del territorio de El Arenal, siendo los mayores focos de contaminación los núcleos poblacionales de El Arenal y San José Tepenené. Otras localidades que contaminan son Chimilpa, El Jiadi, La Manzana Uno, El Pozo, Ojo de Agua, 20 de Noviembre, Cosahuayán Grande, El Meje, El Rincón, El Paje y Fray Francisco. El acuífero Amajac, presente en la zona de Santa Rosa y Puerto del Oro, presenta niveles de riesgo de contaminación de aguas subterráneas de bajos a muy bajos, debido a los escasez de fuentes de contaminación, con excepción de la localidad de San Jerónimo.

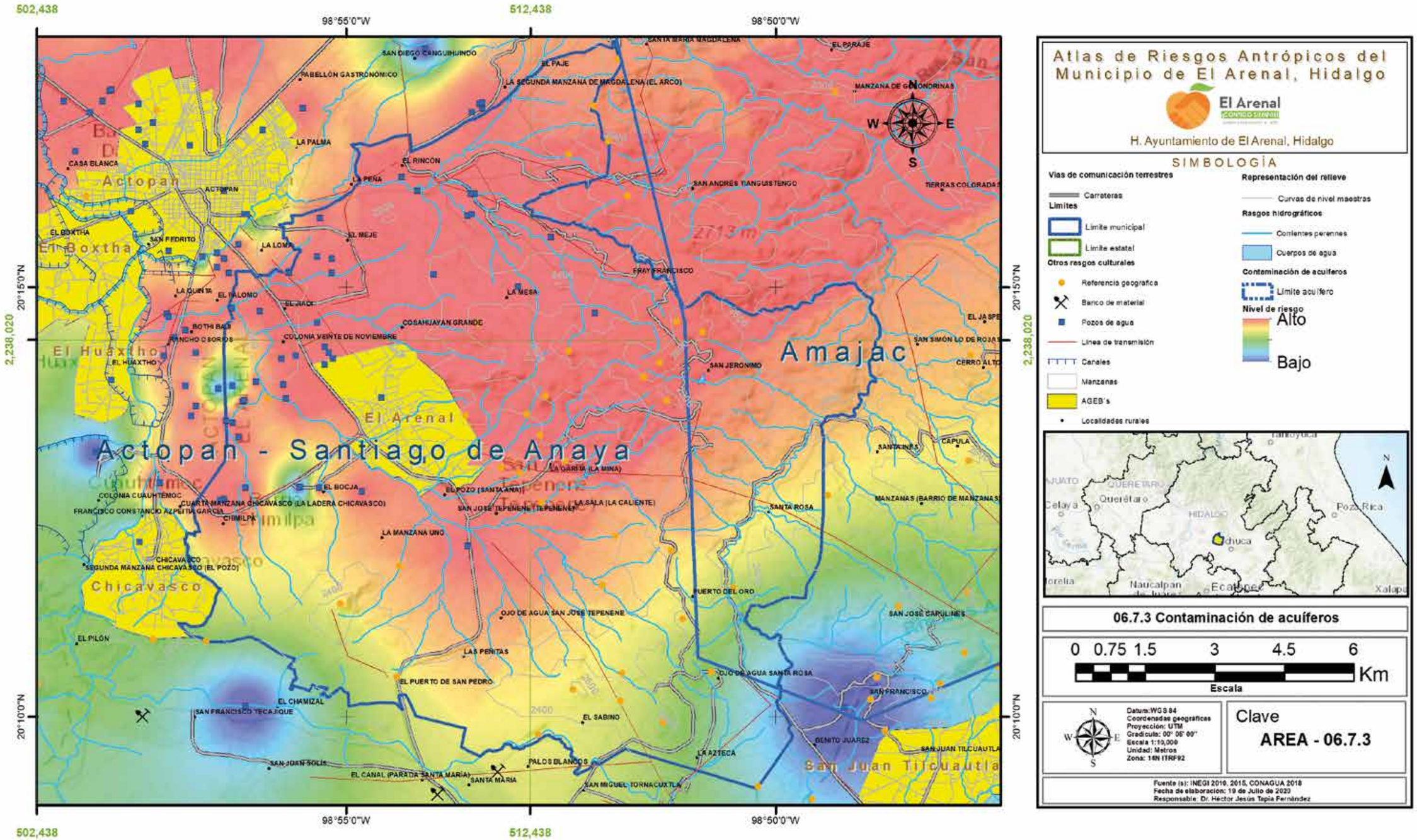
Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Chimilpa	5	Muy alto	La Azteca	2	Bajo
20 de Noviembre	5	Muy alto	La Garita	4	Alto
Cosahuayán Grande	5	Muy alto	La Manzana Uno	4	Alto
El Arenal	5	Muy alto	La Mesa	4	Alto
El Bocja	5	Muy alto	La Sala (La Caliente)	4	Alto
El Jiadi	5	Muy alto	Las Peñitas	2	Bajo
El Meje	5	Muy alto	Ojo de Agua	4	Alto
El Pozo (Santa Ana)	5	Muy alto	Santa Rosa	3	Medio
Puerto de San Pedro	2	Bajo	Puerto del Oro	1	Muy bajo
El Rincón	5	Muy alto	San Jerónimo	4	Alto
El Sabino	2	Bajo	San José Tepenené	5	Muy alto
Fray Francisco	4	Alto			

Tabla 96. Nivel de riesgo de contaminación de acuíferos por localidad.

Las Normas Oficiales Mexicanas que buscan la protección de los acuíferos son:

NOM-003-CNA-1996: establece los requisitos que se deben cumplir durante la construcción de pozos de extracción de agua y durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y trabajos asociados, en ambos casos con objeto de evitar la contaminación de los acuíferos (DOF, 1997).

NOM-004-Conagua-1996: establece los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Su objetivo es proteger la calidad del agua en los acuíferos durante los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos, sea en forma temporal o definitiva (DOF, 1996).



Mapa 73. Contaminación de acuíferos.

6.3.2.3 Contaminación atmosférica

La contaminación del aire es un problema ambiental que se ha ido agravando con el paso de los años y tiene múltiples causas, como resultado de la actividad industrial de todo el planeta. Se trata de una contaminación especial basada en la alteración de los gases suspendidos en la atmósfera. Cada uno de los problemas que involucran a la atmósfera va dejando secuelas no sólo en el ambiente, sino también en todos sus habitantes, seres humanos, flora y fauna.

Las sustancias que contaminan la atmósfera se incrementan a partir de las fuentes (focos) de contaminación. En el aire respirable, la contaminación presenta diversos efectos. El aire contaminado se convierte en un problema de máxima gravedad al ir afectando la calidad de vida de todos los seres vivos y, con ello, el equilibrio climático del planeta. Este proceso agrava, además, distintos fenómenos meteorológicos negativos que resultan en daños permanentes.

Una de las máximas fuentes contaminantes del aire son los combustibles fósiles, así como los gases que emanan de los automóviles por combustión; todo este dióxido de carbono asciende hasta la capa atmosférica.

En la actualidad, la atmósfera ha rebasado las 450 partes por millón de CO_2, lo que se considera un umbral peligroso debido a los efectos que causa, entre ellos el calentamiento global. Cualquier tipo de auto, vehículo pesado y otros medios de transporte producen emanaciones de dióxido de carbono, siendo estas más o menos graves, de acuerdo con el tipo de combustible que usen. Otras fuentes de contaminación relevantes son las emanaciones de la industria, la quema de basura, la industria química y la emisión de clorofluorocarbonos (CFC), que afectan directamente a la capa de ozono estratosférico.

Lamentablemente, la mala calidad del aire continúa siendo una amenaza real para la porción sur del estado de Hidalgo y, en este caso, para el municipio de El Arenal. Por primera vez en la historia, el 14 de mayo de 2019 se presentaron valores superiores a los 75 µg por metro cúbico de material particulado (PM10), superando los límites establecidos por el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas para la Zona Metropolitana de Pachuca. Además, este material particulado se presentó en condiciones de alta radiación y altas temperaturas.

Dado que los escasos vientos impidieron la dispersión de contaminantes, las estaciones de monitoreo instaladas en Pachuca registraron mala calidad del aire y el Comité Técnico de Contingencias Ambientales del Gobierno del Estado decretó Contingencia Ambiental Fase 1. Debido a la gran cantidad de incendios forestales que hubo en esos días, estos contaminantes se concentraron masivamente desde los municipios de Acaxochitlán, Atotonilco el Grande y Cuautepec, afectando directamente a la Zona Metropolitana de Pachuca y al municipio de El Arenal.

Muchos residentes de la Zona Metropolitana de Pachuca y de El Arenal experimentaron algún síntoma relacionado con la contaminación del aire, como ojos llorosos, tos o ruido al respirar. Aun en las personas sanas, el aire contaminado produjo irritaciones o dificultades respiratorias durante el ejercicio o las actividades en espacios abiertos. El riesgo real depende directamente del estado de salud de la persona, el tipo y la concentración del contaminante y el tiempo de exposición al aire contaminado. Sin embargo, en general, durante el año, las condiciones atmosféricas de El Arenal son óptimas para la dispersión de los contaminantes, debido a los vientos procedentes de la Sierra de Actopan, por lo que se puede considerar que la calidad del aire es buena.

Esmog es el término general utilizado para describir una variedad de contaminantes del aire, incluido el ozono a nivel del suelo (el principal ingrediente del esmog), la materia particulada, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. El término se refiere a la contaminación del aire que se forma cuando los gases provenientes de muchas fuentes se liberan al aire y reaccionan químicamente entre ellos a la luz solar.

La escasez de vientos desde las estribaciones de la Sierra de Actopan (ubicada al noreste del municipio de El Arenal) produce una capa de inversión de aire cálido, empujándolo hacia abajo y así atrapando al esmog cerca del suelo.

El ozono que se encuentra a nivel del suelo (O_3) es un contaminante incoloro e inodoro que se forma por una reacción química entre los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los óxidos de nitrógeno (NOx) en presencia de luz solar. La fuente principal de COV y NOx son las fuentes móviles, que incluyen automóviles, camiones y autobuses, equipo agrícola y equipo para la construcción. En contraste, el ozono estratosférico de la capa más alta de nuestra atmósfera, mejor conocido como la capa de ozono, protege a la Tierra de los rayos ultravioletas dañinos del Sol.

Materia particulada (PM): es el término utilizado para una mezcla de partículas sólidas y líquidas que se encuentran en el aire. Proviene de una variedad de fuentes que incluyen automóviles, plantas de energía, actividades de la construcción, polvo del suelo, hollín y procedimientos industriales. Las partículas gruesas (PM10) generalmente son emitidas por fuentes como el polvo que el viento sopla, los vehículos que viajan por caminos no pavimentados y las operaciones de aplastado y trituración. A su vez, las partículas finas (PM 2.5) pueden provenir de la combustión de combustibles (automóviles, generación de energía, plantas industriales) y del polvo fugitivo; se forman principalmente en la atmósfera a partir de gases como los óxidos de azufre, NOx y COV.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro, subproducto de la combustión producida principalmente por los automóviles. La madera quemada y el carbón también emiten monóxido de carbono.

Las personas que son más propensas a sufrir problemas graves de salud debido a la contaminación del aire son:

- Personas con enfermedades cardíacas o pulmonares.
- Personas con problemas respiratorios como asma o enfisema.
- Mujeres embarazadas.
- Personas que trabajan al aire libre.
- Niños menores de 14 años cuyos pulmones todavía se están desarrollando.
- Personas adultas mayores cuyos sistemas inmunes son más débiles.
- Atletas que se ejercitan enérgicamente al aire libre.

Los altos niveles de contaminación del aire pueden causar problemas de salud inmediatos como:

- Agravar enfermedades cardiovasculares y respiratorias.
- Producir estrés adicional para el corazón y los pulmones, que deben trabajar más para suministrar oxígeno al cuerpo.
- Dañar las células del sistema respiratorio.

La exposición prolongada al aire contaminado puede tener efectos permanentes sobre la salud, tales como:

- Envejecimiento acelerado de los pulmones.
- Pérdida de capacidad y función pulmonar.
- Desarrollo de enfermedades como asma, bronquitis, enfisema e incluso cáncer.
- Acortamiento de la vida.

Las Normas Oficiales Mexicanas que regulan la calidad del aire son las siguientes:

NOM-025-SSA1-2014: establece los valores límite permisibles de concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y los criterios para su evaluación, con la finalidad de proteger la salud de la población.

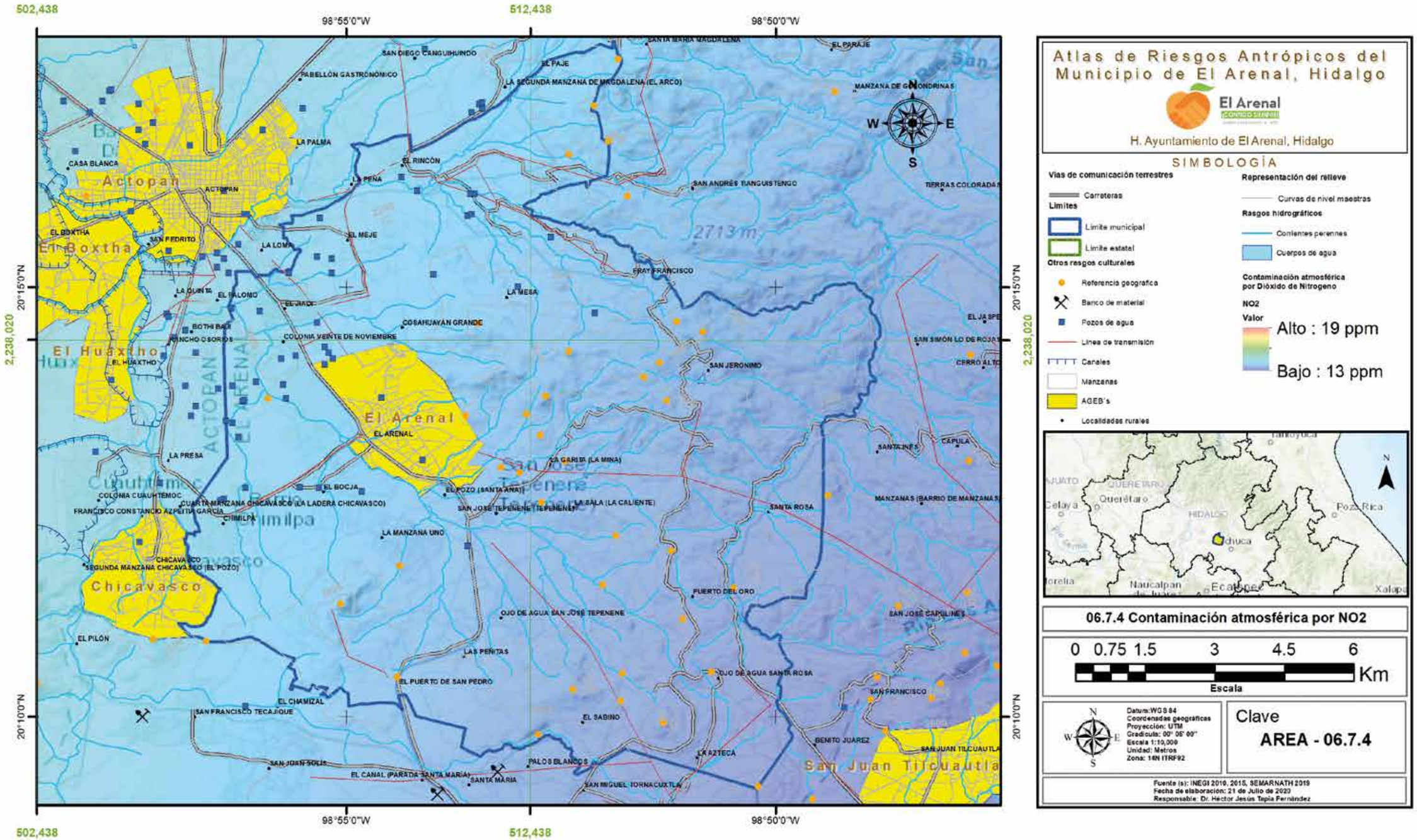
NOM-020-SSA1-2014: establece los valores límite permisibles de concentración de ozono (O_3) en el aire ambiente para la protección de la salud humana, así como los criterios para su evaluación. Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y sirve como referencia para las autoridades federales y locales que tengan a su cargo la vigilancia y evaluación de la calidad del aire, con fines de protección de la salud de la población.

NOM-022-SSA1-2010: establece los valores límite permisibles de concentración de dióxido de azufre (SO_2) en el aire ambiente para la protección de la salud humana.

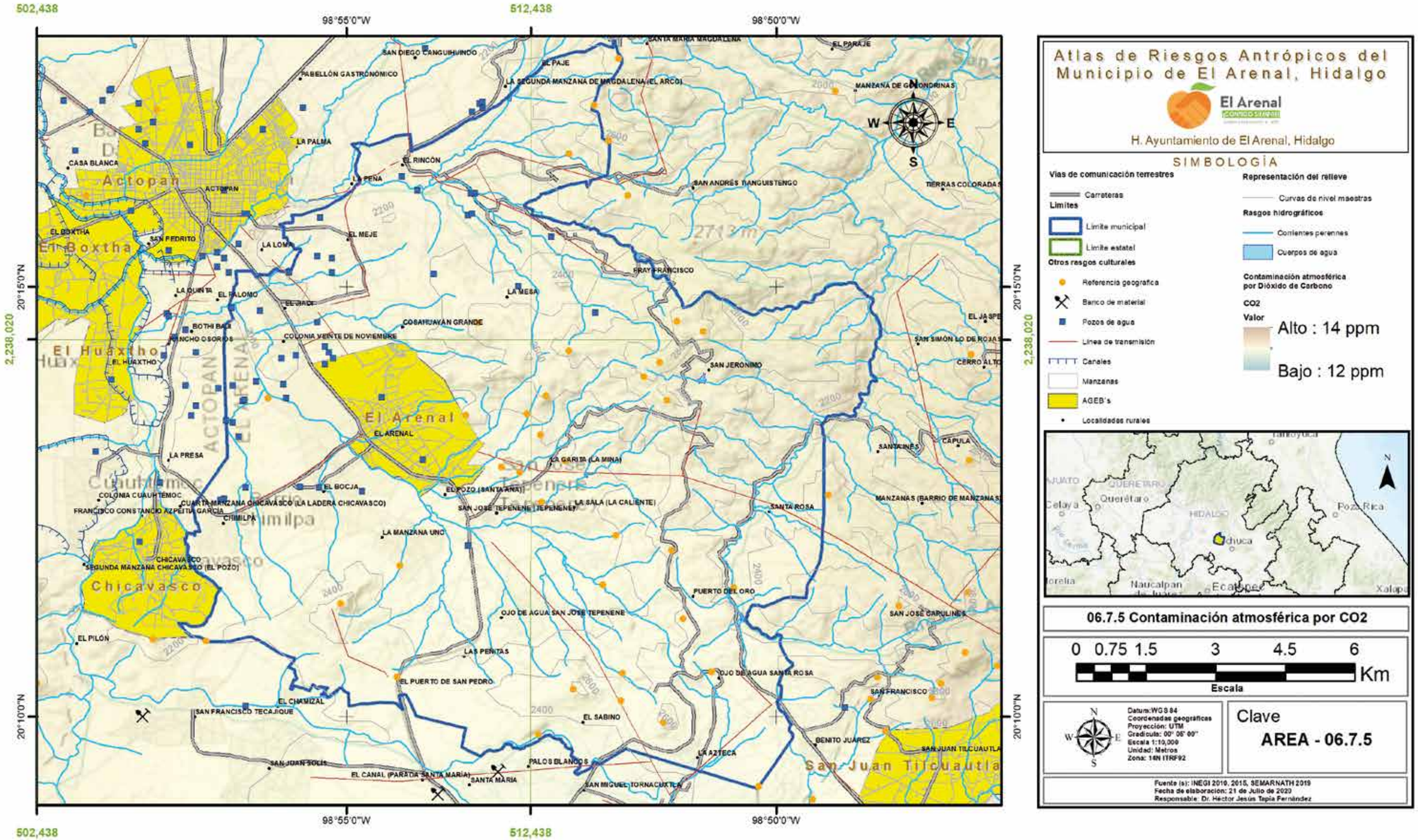
NOM-021-SSA1-1993: establece el valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente como un criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-026-SSA1-1993: establece el valor permisible para la concentración de plomo en el aire ambiente, como criterio para evaluar la calidad del aire ambiente y medida de protección a la salud de la población.

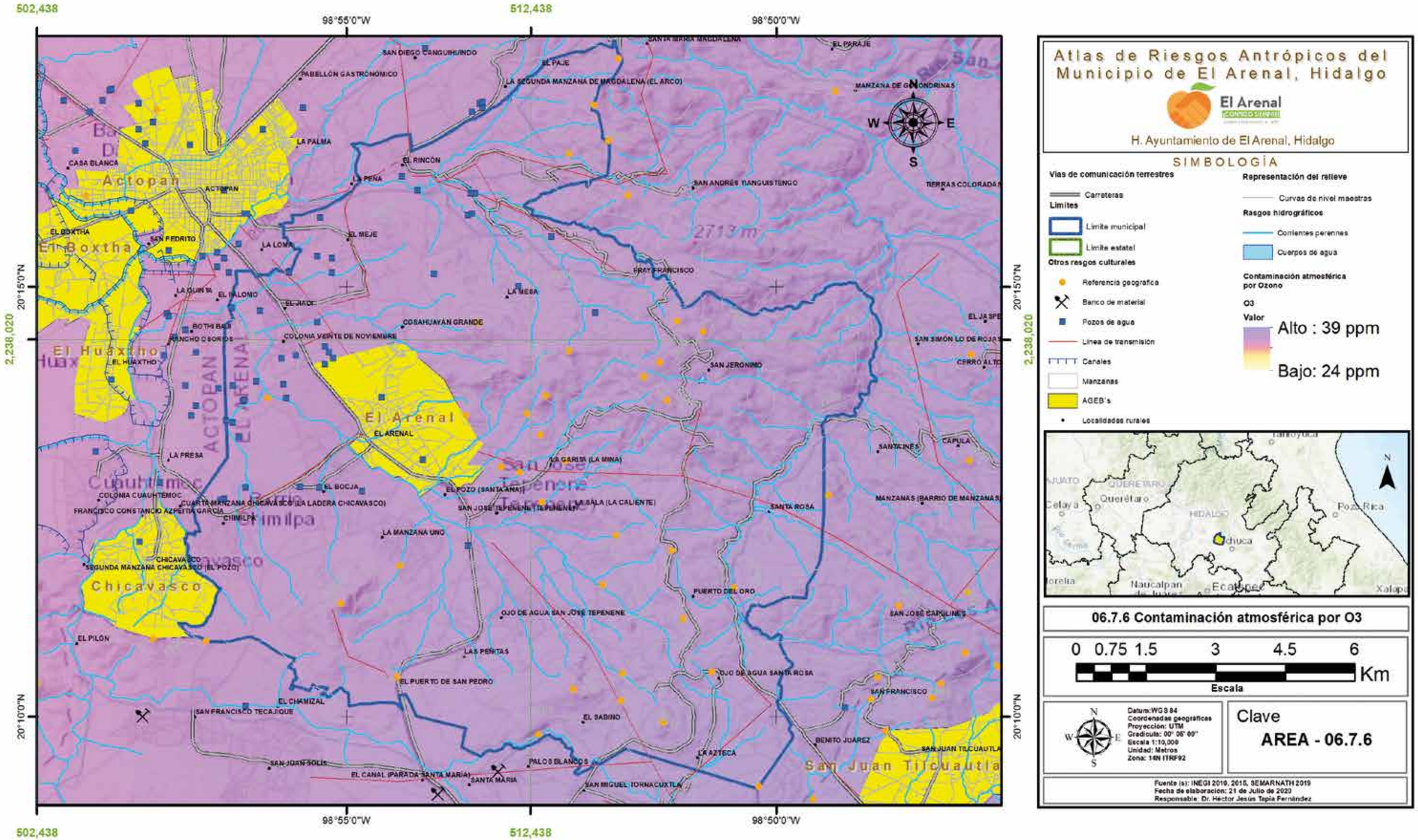
NOM-098-Semarnat-2002: establece las especificaciones de operación, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos.



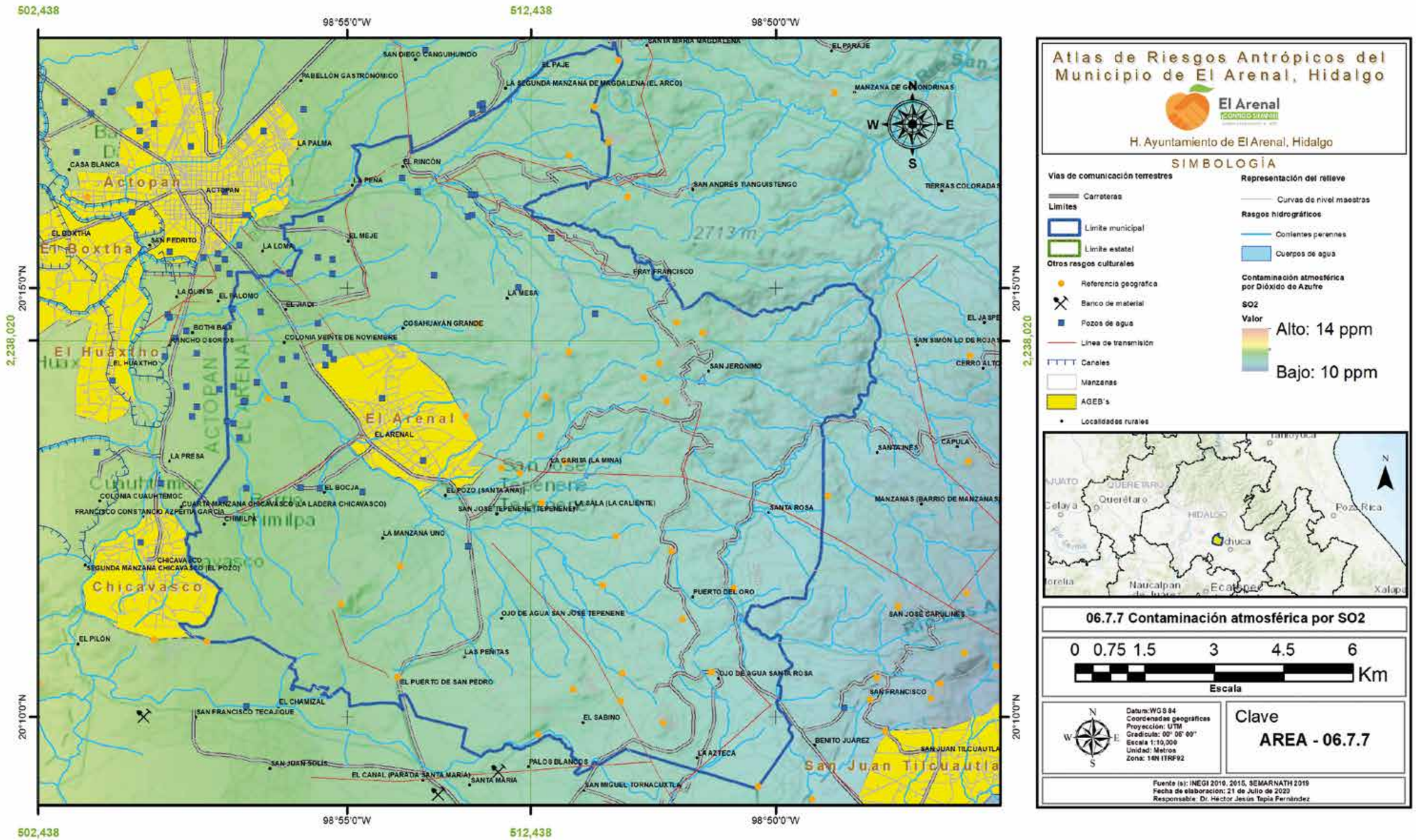
Mapa 74. Contaminación atmosférica por NO2.



Mapa 75. Contaminación atmosférica por CO_2.



Mapa 76. Contaminación atmosférica por O3.



Atlas de Riesgos Antrópicos del Municipio de El Arenal, Hidalgo

El Arenal

H. Ayuntamiento de El Arenal, Hidalgo

SIMBOLOGÍA

Vías de comunicación terrestres
- Carreteras

Limites
- Límite municipal
- Límite estatal

Otros rasgos culturales
- Referencia geografica
- Banco de material
- Pozos de agua
- Linea de transmisión
- Canales
- Manzanas
- AGEB's
- Localidades rurales

Representación del relieve
- Curvas de nivel maestras

Rasgos hidrográficos
- Corrientes perennes
- Cuerpos de agua

Contaminación atmosférica por Dióxido de Azufre

SO2

Valor

Alto: 14 ppm

Bajo: 10 ppm

06.7.7 Contaminación atmosférica por SO2

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km

Escala

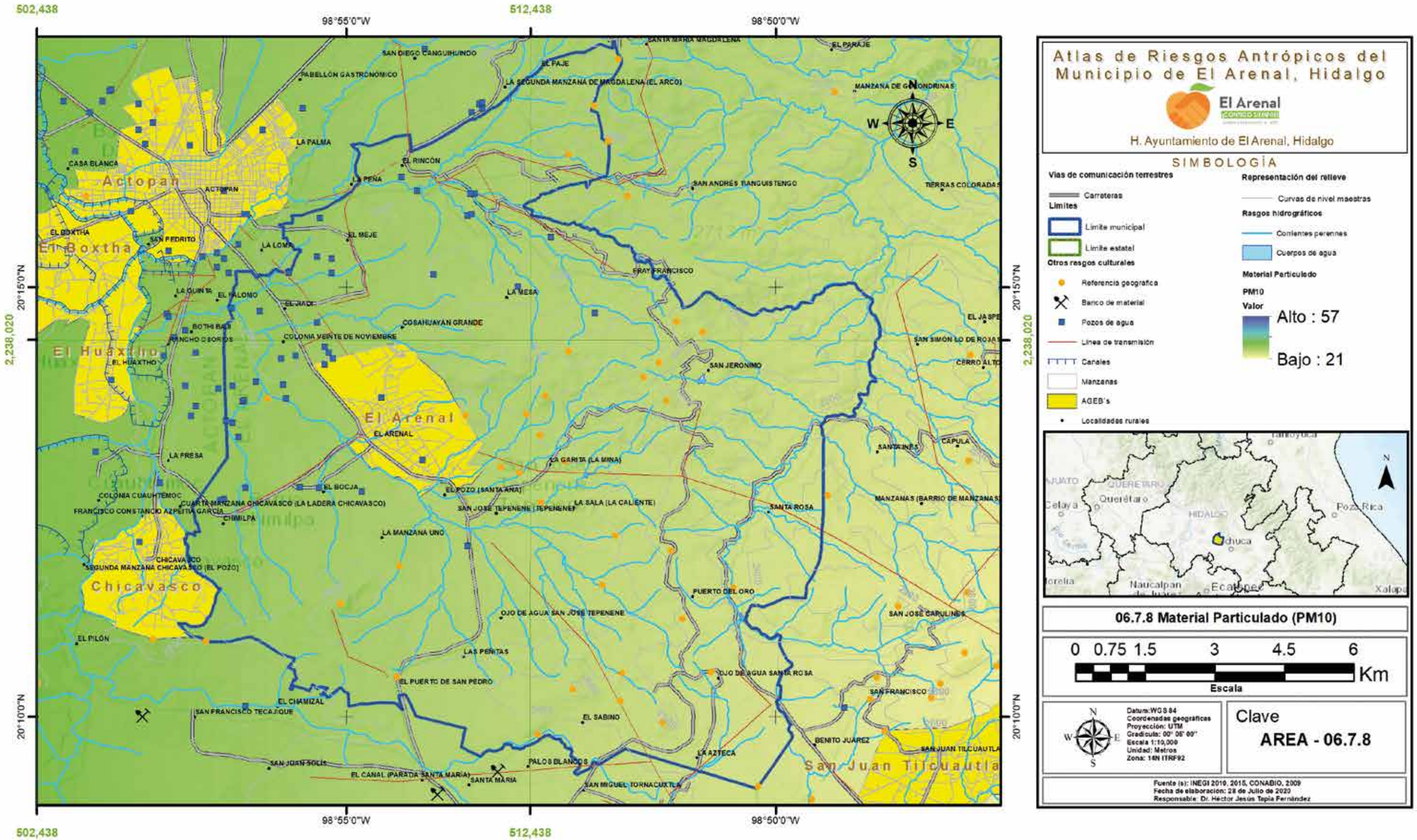
Datum:WGS 84
Coordenadas geográficas
Proyección: UTM
Gradícula: 00° 06' 00"
Escala 1:10,000
Unidad: Metros
Zona: 14N ITRF92

Clave

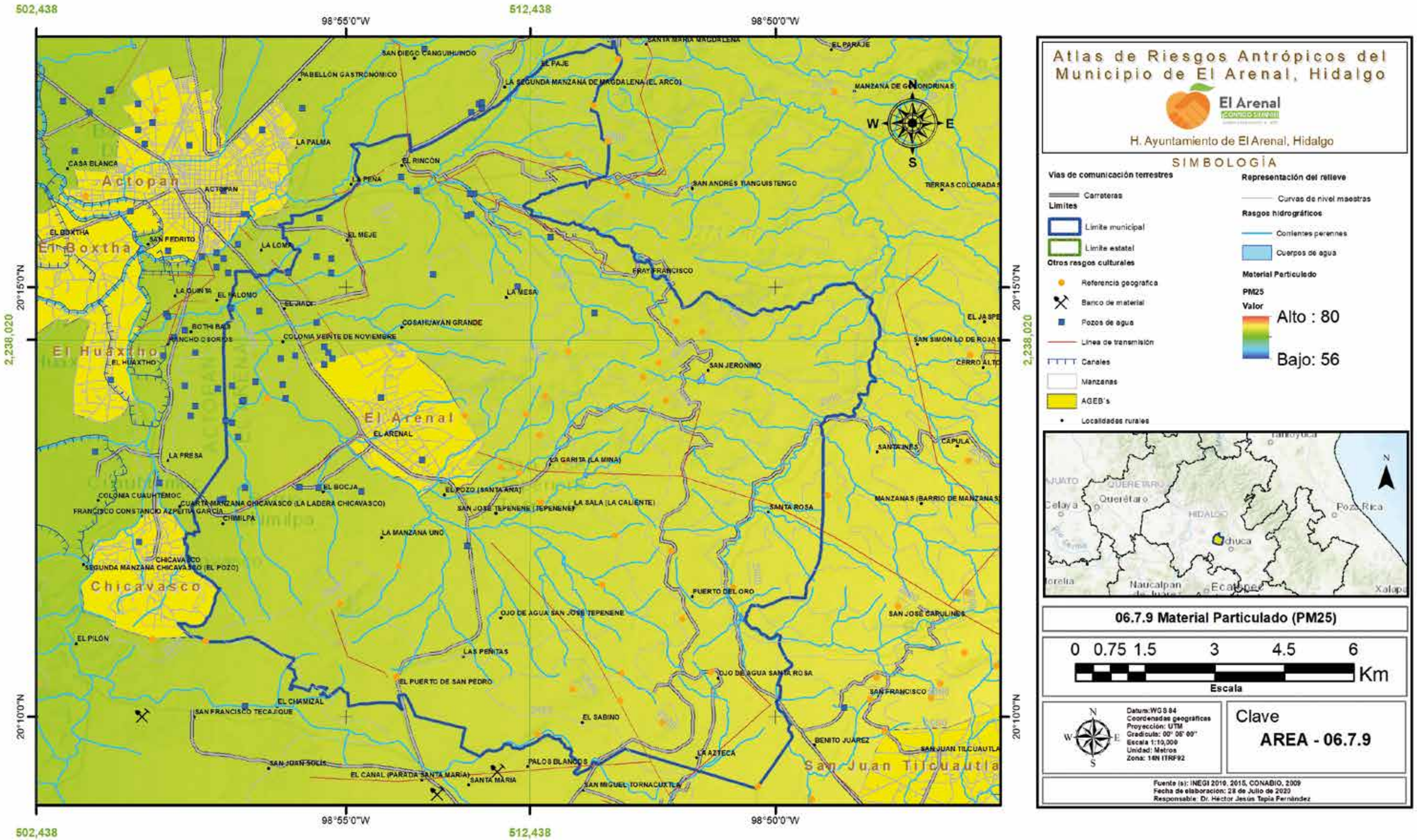
AREA - 06.7.7

Fuente (s): INEGI 2010, 2015, SEMARNATH 2019
Fecha de elaboración: 21 de Julio de 2020
Responsable: Dr. Héctor Jesús Tapia Fernández

Mapa 77. Contaminación atmosférica por SO2.



Mapa 78. Material particulado (PM10).



Mapa 79. Material particulado (PM25).

6.3.3 Epidemias

Una epidemia se produce cuando una enfermedad contagiosa se propaga rápidamente en una población determinada, afectando simultáneamente a un gran número de personas durante un periodo de tiempo concreto. Si el brote afecta a regiones geográficas extensas, por ejemplo, varios continentes, se cataloga como pandemia. Debido a la falta de datos concretos para el municipio de El Arenal, se han retomado las enfermedades infecciosas más comunes en el estado de Hidalgo, según el Programa de Atención a Urgencias Epidemiológicas y Desastres 2017 (Subsecretaría de Salud Pública).

Cólera: infección intestinal aguda causada por la ingestión de *Vibrio cholerae*, una bacteria presente en aguas y alimentos contaminados por heces. Está relacionado principalmente con un acceso insuficiente al agua salubre y a un saneamiento adecuado; su impacto puede ser aún mayor en zonas donde las infraestructuras medioambientales básicas se encuentran dañadas o han sido destruidas. La preparación contra el cólera y su prevención requieren un enfoque multidisciplinario coordinado. Si no se trata, esta enfermedad puede producir rápidamente deshidratación grave y muerte.

Salmonela: la salmonelosis, causada por bacterias del género *Salmonella*, es una de las enfermedades de transmisión alimentaria más comunes y ampliamente extendidas. Se estima que afecta anualmente a decenas de millones de personas en todo el mundo y provoca más de 100 mil defunciones. La enfermedad dura entre 2 y 7 días. Los síntomas son relativamente leves y comienzan a manifestarse entre 6 y 72 horas (generalmente 12 a 36 horas) después de la ingesta de la bacteria. Los pacientes se recuperan sin tratamiento específico, pero la deshidratación causada por la enfermedad puede ser grave y poner en peligro la vida.

Rabia: enfermedad muy contagiosa, aguda y mortal que afecta al sistema nervioso central. Es una zoonosis de los mamíferos causada por un virus (*Lyssavirus)* de la familia *Rhabdoviridae,* presente en los fluidos de personas o animales. Se transmite al hombre principalmente por la saliva de animales infectados (perros, gatos, murciélagos, zorrillos) a partir de una mordedura, rasguño o lamedura sobre mucosa o piel (Diario Oficial de la Federación, 2011).

Disentería: es producida por brotes de *Escherichia coli*, una bacteria frecuentemente presente en el intestino de los organismos de sangre caliente y que produce la toxina shiga. La mayoría de las cepas de esta bacteria son inocuas, pero algunas pueden causar graves intoxicaciones alimentarias. El principal origen de los brotes de *Escherichia coli* son los productos de carne cruda o poco cocinada, la leche cruda y las hortalizas contaminadas por materia fecal. Aunque en la mayoría de los casos remite espontáneamente, la enfermedad puede llegar a poner en peligro la vida, por ejemplo, cuando da lugar al síndrome hemolítico urémico, especialmente en niños pequeños y en ancianos (OMS, 2019).

Hepatitis: inflamación del hígado. La afección puede remitir espontáneamente o evolucionar hacia una fibrosis (cicatrización), una cirrosis o un cáncer de hígado. Los virus son la causa más frecuente de las hepatitis, que también pueden deberse a otras infecciones, sustancias tóxicas (como el alcohol o determinadas drogas) o enfermedades autoinmunitarias. La hepatitis A y la E son causadas generalmente por la ingestión de agua o alimentos contaminados. La mayoría de los habitantes de zonas del mundo en desarrollo con saneamiento deficiente se han infectado con este virus.

Los puntos de riesgo de salud pública son aquellos sitios donde los alimentos son expendidos por vendedores ambulantes o en establecimientos que no cumplen con las normas de sanidad en su totalidad. En el municipio El Arenal, algunos puntos críticos son los puestos ambulantes a pie de carretera en la carretera México-Laredo.

Las Normas Oficiales Mexicanas que regulan la vigilancia epidemiológica son:

NOM-017-SSA2-2012: establece los criterios, especificaciones y directrices de operación del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica para la recolección sistemática, continua, oportuna y confiable de información relevante y necesaria sobre las condiciones de salud de la población y sus determinantes. Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y su ejecución involucra a los sectores público, social y privado que integran el Sistema Nacional de Salud.

NOM-251-SSA1-2009: establece los requisitos mínimos de buenas prácticas de higiene que deben observarse en el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios y sus materias primas a fin de evitar su contaminación. Es de observancia obligatoria para las personas físicas o morales que se dedican al proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios destinados a los consumidores en territorio nacional.

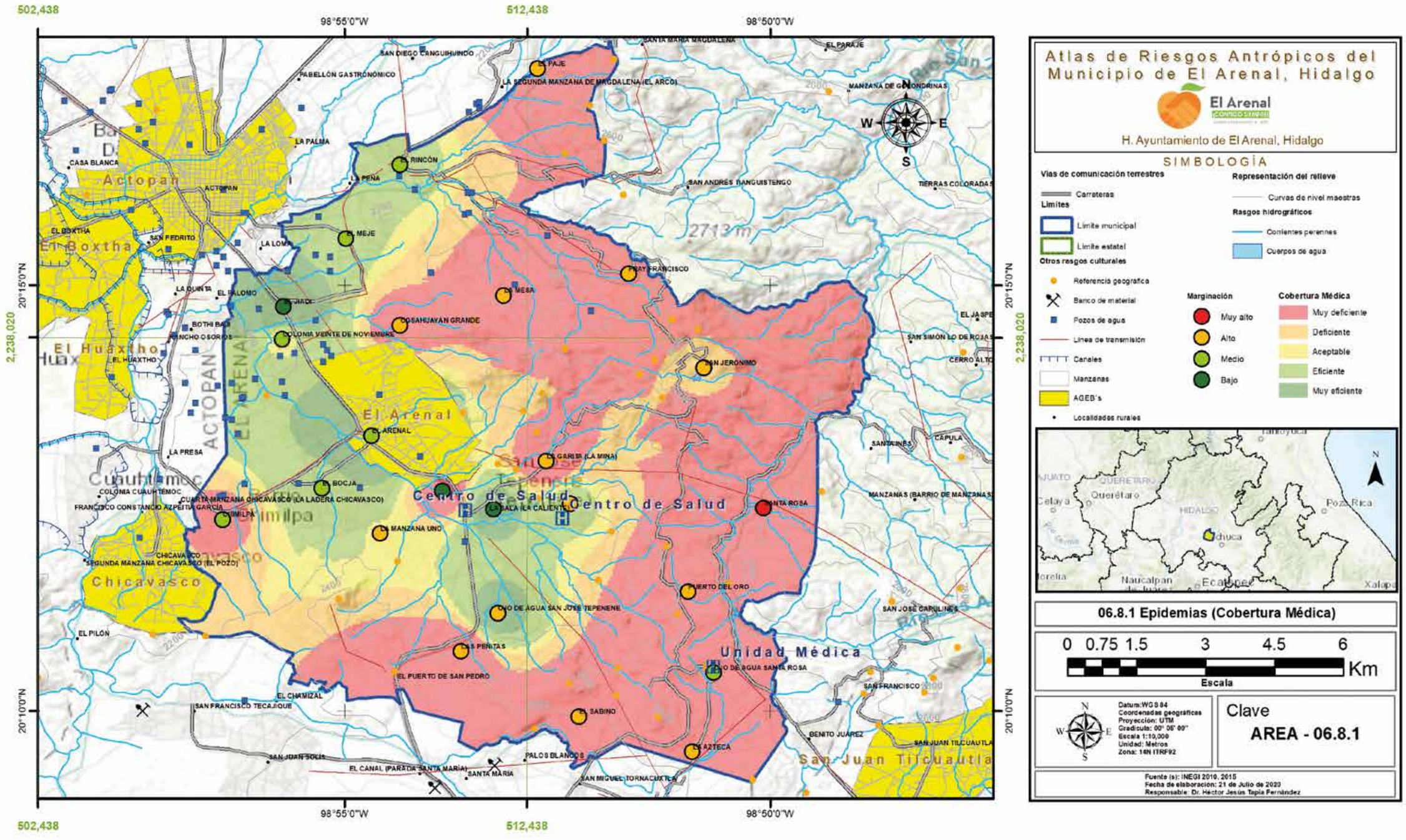
6.3.3.1 Enfermedad por coronavirus (Covid-19)

El brote de la nueva enfermedad por coronavirus (COVID-19) ha causado más de 4 millones 300 mil contagios y 650 mil muertes en más de 230 países (WHO, 2020), afectando bruscamente el desarrollo normal de las actividades económicas y sociales. El 28 de febrero de 2020, el secretario general de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) hizo un llamado a todos los gobiernos a realizar todo lo que se encuentre a su alcance para controlar la pandemia del COVID-19. El 23 de marzo de 2020, el gobierno de México instaló la Jornada Nacional de Sana Distancia, con la finalidad de reducir la transmisión del SARS-CoV-2 y el 31 de marzo se hizo la declaratoria oficial de emergencia nacional por la pandemia. Esta emergencia sanitaria amenaza directamente los logros alcanzados por los sistemas de salud, además de afectar las metas del desarrollo social y económico (Zhou *et al.,* 2020). En el contexto de los cambios ambientales globales, las características implícitas en la transmisión del COVID-19 aún no son suficientemente reconocidas (CDC, 2020). Adicionalmente, la aceleración de la urbanización, el incremento de la concentración de la población en áreas pequeñas, las cada vez más frecuentes y complejas interacciones de las personas, así como una escasa cobertura en salud, sobre todo en los países en vías de desarrollo, dificultan la prevención y el control del Covid-19. Características como una alta infectividad y transmisividad, el largo periodo de incubación y la insuficiente detección del virus, combinadas con antecedentes como el flujo poblacional a gran escala y otros factores, hacen urgente el apoyo científico y tecnológico para controlar y prevenir la propagación de la pandemia. Para enfrentar la situación, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el manejo de bases de datos espaciales han jugado –y seguirá jugando– un papel muy importante para identificar la transmisión espacial del virus, la prevención y el control de la enfermedad, la localización de recursos estratégicos y el establecimiento de estrategias para el distanciamiento social, entre otras cosas.

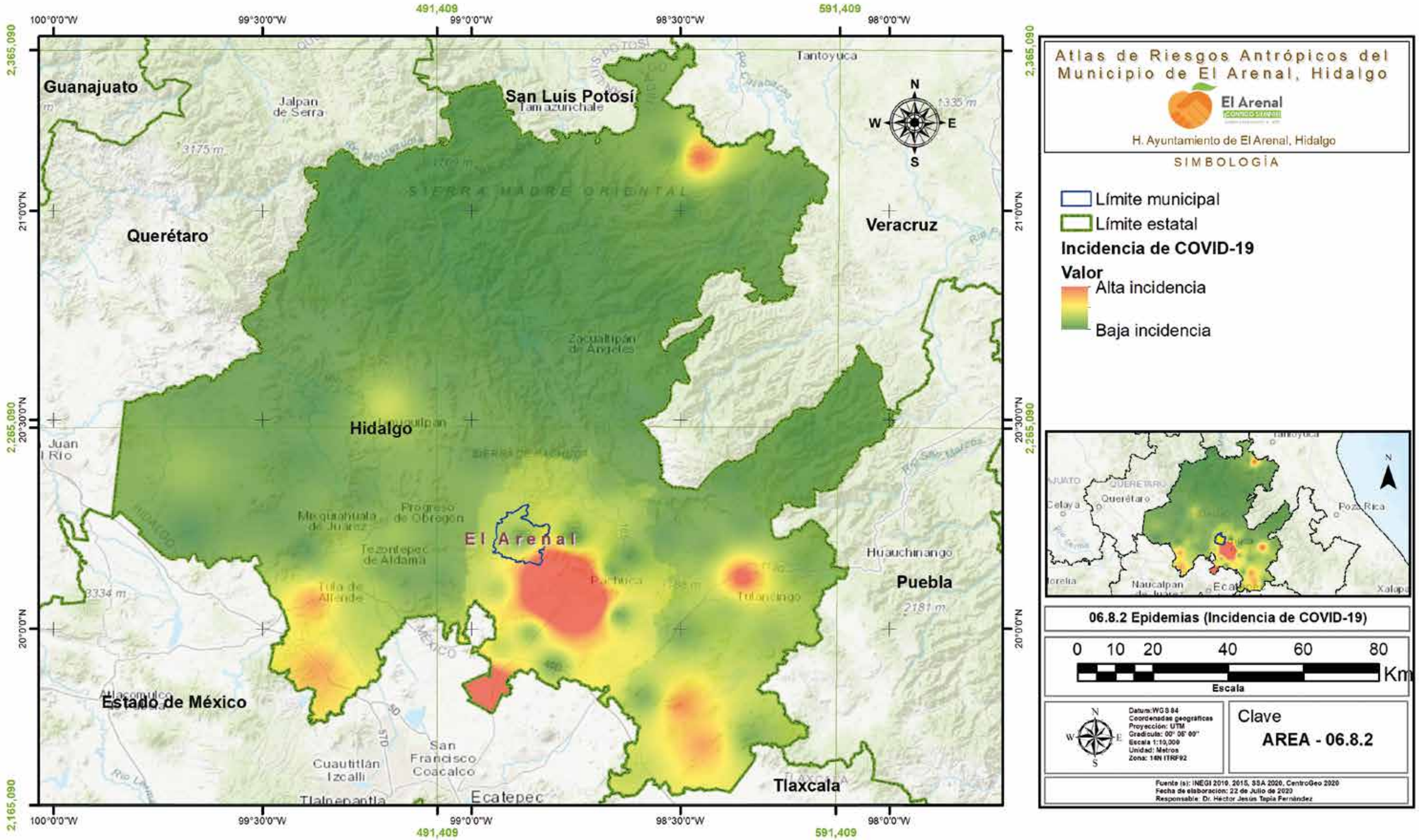
La Zona Metropolitana de Pachuca pertenece a la megalópolis de la Ciudad de México, una de las regiones más densamente pobladas del país (López-Rangel, 2010), y es una de las regiones más afectadas por la pandemia dentro del estado de Hidalgo. El 18 de marzo de 2020, se registraron los primeros casos confirmados de Covid-19 en la capital hidalguense; se les consideró casos de importación porque las personas adquirieron el virus en países europeos. Sin embargo, tras la declaración de la fase

3 de la epidemia, la gran movilidad de población flotante hacia y desde el epicentro nacional de la epidemia (Ciudad de México) puede resultar en brotes regionales a través de contagio comunitario en los municipios conurbados y cercanos a la Zona Metropolitana de Pachuca. Además, la dinámica demográfica observada en la región centro de México muestra una tendencia al crecimiento.

Hasta el 27 de julio de 2020, el municipio de El Arenal reportaba 29 casos confirmados de Covid-19, de ellos: 4 defunciones, 20 recuperados y 5 casos activos.



Mapa 80. Epidemias (cobertura médica).



Mapa 81. Epidemias (incidencia de Covid-19).

6.3.4 Desertificación y erosión del suelo

Se entiende por desertificación la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado de diversos factores, los cuales se pueden agrupar en las variaciones climáticas y las actividades humanas (UNCCD, 1994). El cambio climático, la baja humedad del suelo (aridificación), los patrones de precipitación cambiantes y la elevada evaporación se pueden considerar como factores naturales del cambio del uso de suelo y la desertificación. Entre las actividades humanas que aceleran el proceso, se encuentra la sobreexplotación del suelo por la actividad agrícola, el sobrepastoreo, la deforestación, el uso de sistemas de irrigación inadecuados, el manejo forestal inapropiado, las tendencias del mercado e incluso las dinámicas sociopolíticas en las cuales la pobreza puede funcionar como causa y consecuencia de la desertificación.

En el municipio de El Arenal se presentan dos tipos de degradación del suelo: la degradación del suelo por pérdida de materia orgánica y la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Tipo de degradación del suelo	Superficie (ha)	Causa	Grado
Degradación del suelo por pérdida de materia orgánica	8,746	Actividades agrícolas	Ligero
Degradación del suelo por pérdida de materia orgánica	775	Actividades agrícolas	Moderado
Degradación química por polución	272	Actividades agrícolas	Moderado

Tabla 97. Tipos de degradación de suelo presentes en El Arenal.
Fuente: Conabio, 2008.

La principal causa de degradación del suelo son las actividades agrícolas. El tipo de degradación del suelo más común es por pérdida de materia orgánica, el cual ocurre en un grado moderado, en una superficie de 775 ha, siendo abundante en la porción norte y poniente del municipio, cerca de grandes localidades urbanas como la cabecera municipal de El Arenal y los centros urbanos de San José Tepenené y El Jiadi, mientras que la de grado ligero está presente en 8,746 ha, en las localidades de 20 de Noviembre, La Azteca y El Sabino.

Localidad	Tipo de degradación	Causa	Grado	Grado de marginación
La Azteca	Erosión hídrica	Actividades agrícolas	Moderado	Alta
Puerto de San Pedro	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Moderado	Alta
Ojo de Agua (San José Tepenené)	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Alta
La Manzana Uno	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Alta
Chimilpa	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Media
San José Tepenené	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Baja
La Sala (La Caliente)	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Alta
El Pozo (Santa Ana)	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Baja
El Bocja	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Media
La Garita (La Mina)	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Alta
El Arenal	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Media
20 de Noviembre	Degradación química por polución	Actividades agrícolas	Moderado	Media
Cosahuayán Grande	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Alta
El Jiadi	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Baja
La Mesa	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Alta
Fray Francisco	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Alta
El Meje	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligera	Media
El Rincón	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Media
El Paje	Pérdida de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligero	Alta

Tabla 98. Tipos de degradación del suelo por localidad.
Fuente: Conabio, 2008.

Las consecuencias de la desertificación y la pérdida de suelos son las siguientes:

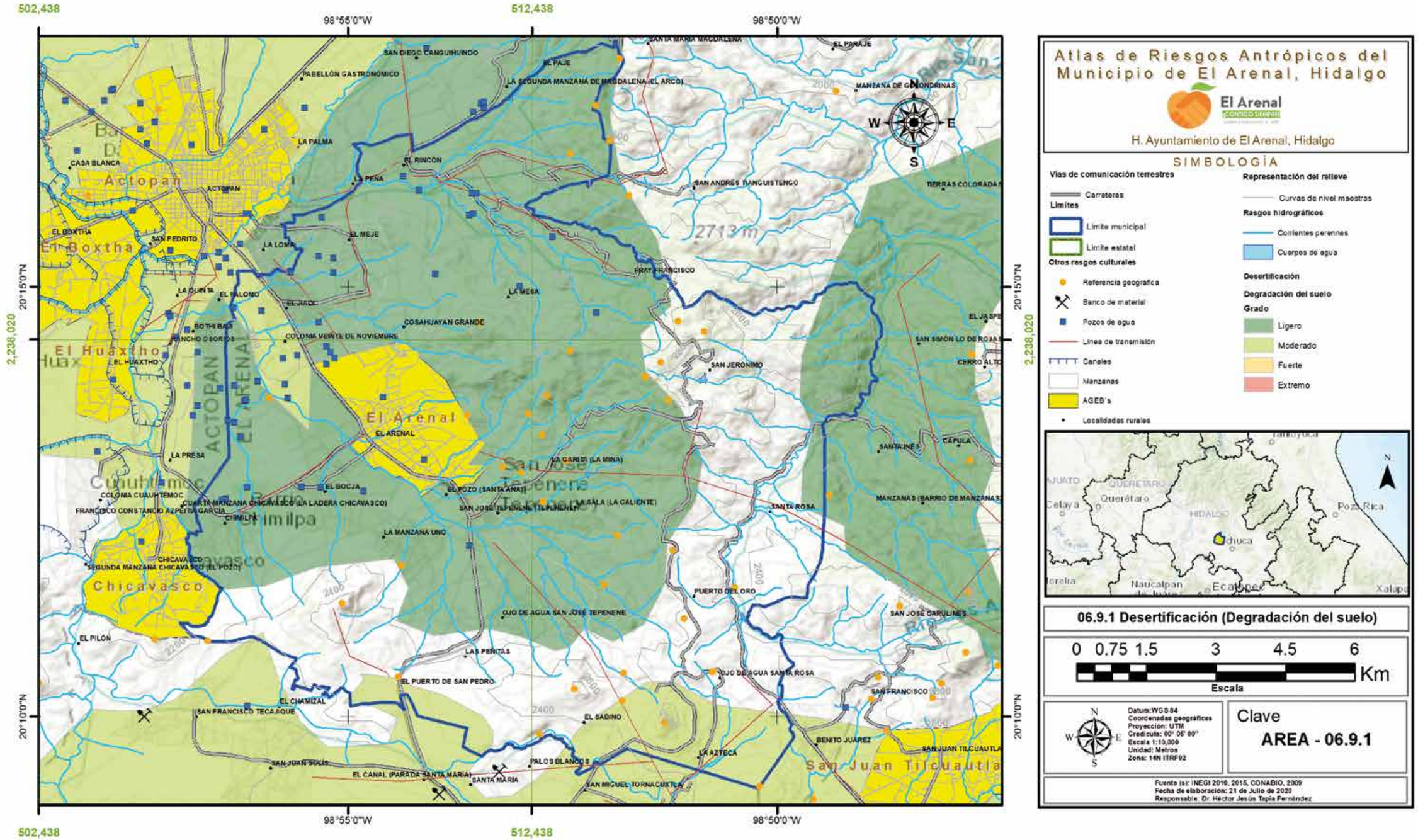
Afectaciones humanas: tales como la insuficiencia alimentaria, ya que la pérdida de suelos provoca la infertilidad del mismo y que el rendimiento de los cultivos sea menor que en años anteriores. Esto, a su vez, tiene como consecuencia inmediata el aumento de la pobreza, el agravamiento de problemas de salud debido a las partículas transportadas por el viento (por ejemplo, infecciones oculares, enfermedades respiratorias y alergias) o por alimentación insuficiente, lo cual genera costos adicionales a los servicios de salud municipales.

Afectaciones al ecosistema: baja producción agrícola debido a la poca fertilidad del suelo, mayor salinización y erosión, reducción de la capacidad de resiliencia del suelo, incremento de las inundaciones en las partes bajas de las cuencas por la afectación del ciclo hidrológico, escasez de agua, desecación y sedimentación de cuerpos de agua y la alteración de los ciclos biológicos. Las acciones que pueden llevarse a cabo para mitigar los efectos de la desertificación son:

- Reforestar y regenerar las especies arbóreas.
- Mejorar la gestión del agua; en este caso, la cultura del cuidado del agua debe estar a cargo de las autoridades de la Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Agustín Tlaxiaca (CAPASSAT), mediante el ahorro, la reutilización de las aguas negras y grises, el almacenamiento del agua de lluvia, la desalinización o, en su caso, el tratamiento de las aguas residuales.
- Mantener el suelo mediante el uso de vallas para frenar el avance de las dunas y del polvo, crear barreras arbóreas como protección frente a la erosión eólica, etcétera.
- Enriquecer y fertilizar el suelo a través de la regeneración de la cubierta vegetal.

Las Normas Oficiales Mexicanas en materia del uso y cuidado del suelo son las siguientes:

NOM-020-Semarnat-2001: establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales en los que se realicen actividades de pastoreo, para coadyuvar en el restablecimiento, mantenimiento e incremento de los recursos naturales y la capacidad productiva de la biodiversidad de los ecosistemas.



Mapa 82. Desertificación (degradación del suelo).

6.3.5 Lluvia ácida

El término de lluvia ácida se refiere principalmente al pH de la lluvia. El pH es un indicador de qué tan ácida o alcalina es una solución. Teóricamente, la lluvia tendría un pH de 7, pero no es así, ya que en la atmósfera hay otros gases aparte del oxígeno y el nitrógeno, como el bióxido de carbono, que provocan un amortiguamiento que suele resultar en un valor de 5.6.

La lluvia, deposición o precipitación ácida, se forma a partir de la reacción química de sus precursores –dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NOx)– con la humedad atmosférica. Los ácidos sulfúrico y nítrico que se forman se depositan en construcciones y monumentos, vegetación, suelo y cuerpos de agua a través de gases o partículas (deposición seca) o de lluvia, nieve o niebla (deposición húmeda). Los precursores de la lluvia ácida provienen tanto de fuentes naturales –incendios forestales, emisiones volcánicas y materia orgánica en descomposición–, como de fuentes antropogénicas relacionadas con la agricultura y la quema de combustibles fósiles en la industria, la generación de energía y el sector transporte.

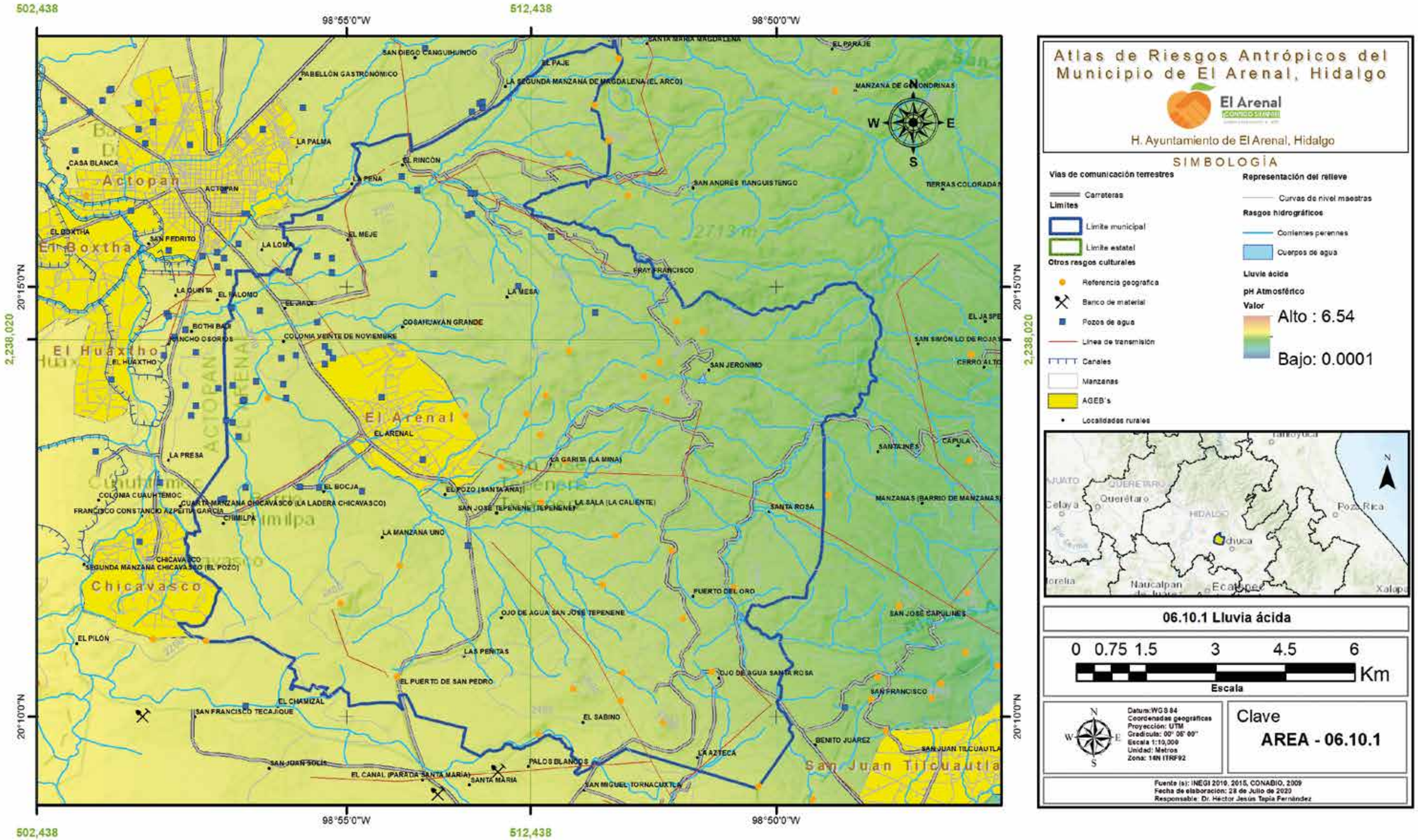
Los contaminantes que la industria emite a la atmósfera contienen compuestos como el dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NOx), ambos importantes precursores de la lluvia ácida. Algunos procesos también pueden emitir ácido clorhídrico (HCl) y ácido acético ($C_2H_4O_2$), los cuales incrementan la acidez de la atmósfera.

El agua se puede ver afectada por el aumento de la acidez en los ríos y lagos, provocando perturbaciones importantes en el medio. El aumento de la acidez y de los niveles de aluminio pueden ser mortales para la vida acuática silvestre y mientras algunos organismos consiguen adaptarse a las nuevas condiciones para sobrevivir, otros no lo logran. Algunas especies de peces ven impedida su reproducción por el aumento de acidez, lo que provoca pérdidas en zonas pesqueras. Dentro del ciclo hidrológico, este fenómeno penetra las reservas de aguas subterráneas, aumentando los niveles de metales tóxicos. Actualmente, más de 18 mil lagos están acidificados, lo que ha generado daños en los ecosistemas.

El suelo también aumenta su acidez, lo que causa cambios en su composición, lixiviación de nutrientes para las plantas y filtración de metales tóxicos, tales como cadmio, níquel, manganeso, plomo y mercurio; esto último provoca la intoxicación de las especies. Algunas de las consecuencias se pueden percibir en la afectación en los ecosistemas boscosos; por ejemplo, el agua que cae al suelo puede disolver los minerales y nutrientes que los árboles necesitan para mantenerse sanos.

La acidificación de los cuerpos de agua tiene diversas consecuencias en los ecosistemas y, en particular, en las redes tróficas. Por ejemplo, se ha observado la disminución de las poblaciones de invertebrados acuáticos, así como del peso y talla de los peces. La lluvia ácida también daña la roca caliza de edificios y monumentos históricos.

En el municipio de El Arenal hay un riesgo moderado a bajo para lluvia ácida, a pesar de su cercanía con la ciudad de Pachuca de Soto, la región industrial de Tula-Tepeji y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. La dirección preferencial norte-sur de los vientos dispersa los contaminantes concentrados en la atmósfera superior, manteniendo bajos niveles de CO_2 en el aire en la mayor parte del territorio municipal. Además, debido a que las lluvias se presentan en los meses de verano y a que hay una baja cantidad de días lluviosos al año, el riesgo disminuye aún más.



Mapa 83. Lluvia ácida.

6.4 LOS RIESGOS SOCIO-ORGANIZATIVOS

Los riesgos de este tipo de fenómenos se derivan de diversas actividades o manifestaciones del quehacer humano asociadas a procesos del desarrollo económico, político, social y cultural . De manera directa o indirecta, estos procesos se relacionan con el transporte aéreo o terrestre, con accidentes en el sector industrial no asociados a productos o sustancias químicas –pero que se presentan como un subproducto de energía de la población que, al interactuar en la realización de variadas actividades cotidianas, derivan en el comportamiento desordenado de concentraciones de la población– y con aquellas que concentran ciertas cantidades de población, como los sectores educativo y de salud, entre otros (Implan, 2017).

Para el estudio se consideran únicamente:

- Problemas generados por concentraciones masivas de población.
- Interrupción o desperfecto en el suministro o en la operación de servicios públicos y sistemas vitales.
- Vialidades potencialmente conflictivas.
- Accidentes terrestres y aéreos.
- Actos de sabotaje y terrorismo.

En México, las acciones que se desarrollan en materia de protección civil para atender fenómenos socioorganizativos se diferencian de las diseñadas para mitigar y/o evitar la presencia de fenómenos naturales e industriales, pues dependen de manera directa de la condición política y el grado de conflicto del país.

Al margen del grado de conflicto que actualmente vive el país, deben adoptarse ciertas normas de seguridad ante la inminente presencia de estos eventos, dando un énfasis mayor al impacto social que representan las manifestaciones de la población para reclamar y/o exigir la solución a los problemas sociales o económicos que se viven con más frecuencia.

6.4.1 Terrorismo

El terrorismo abarca una serie de complejas amenazas como el terrorismo organizado en zonas de conflicto, combatientes terroristas extranjeros, “lobos solitarios” radicalizados y atentados con materiales químicos, biológicos, radiológicos, nucleares y explosivos (Interpol, 2019). Se ha reconocido el efecto destructivo del terrorismo sobre los derechos humanos y la seguridad en el más alto nivel de las Naciones Unidas, en especial el Consejo de Seguridad, la Asamblea General, la antigua Comisión de Derechos Humanos y el nuevo Consejo de Derechos Humanos. Concretamente, los Estados miembros han determinado que el terrorismo tiene diversas consecuencias, tales como (ACNUDH, 2008):

- Amenaza la dignidad y la seguridad de los seres humanos en todas partes, pone en peligro o cobra vidas inocentes, crea un entorno que destruye el derecho de la población a vivir sin temor, pone en peligro los derechos y libertades fundamentales y tiene por objeto destruir los derechos humanos.
- Tiene un efecto negativo sobre el establecimiento de la ley, socava la sociedad civil plural, procura la destrucción de las bases democráticas de la sociedad y desestabiliza gobiernos legítimamente constituidos.
- Tiene vínculos con la delincuencia organizada internacional, el tráfico de drogas, el lavado de dinero y el tráfico de armas, así como con el transporte ilegal de material nuclear, químico o biológico; también está relacionado con la posterior comisión de delitos graves como asesinatos, extorsiones, secuestros, agresiones, tomas de rehenes y robos.
- Tiene un impacto negativo en el desarrollo económico y social de los Estados; pone en peligro las relaciones de amistad entre estos y tiene efectos perniciosos sobre sus relaciones de cooperación, incluida la cooperación para el desarrollo.
- Amenaza la integridad territorial y la seguridad de los Estados; constituye una violación grave de los propósitos y principios de las Naciones Unidas; es una amenaza a la paz y la seguridad internacionales y su represión es un elemento esencial para el mantenimiento de la paz y la seguridad.

Históricamente, México no ha sido un país con problemas de terrorismo. El estado de Hidalgo es la quinta entidad en el país con menor índice delictivo, de acuerdo con el Índice de Paz México 2019 del Instituto para la Economía y la Paz. Por tanto, el terrorismo se puede descartar como un problema endémico para el país y, consecuentemente, para el municipio de El Arenal.

Sin embargo, en el presente trabajo se enmarcan las principales acciones de terrorismo y sus medidas de mitigación:

Explosiones: los terroristas han utilizado dispositivos explosivos como una de sus armas más comunes. Estos individuos no tienen que esforzarse demasiado para averiguar cómo se fabrican los dispositivos explosivos, pues la información puede conseguirse fácilmente en libros y otras fuentes (FEMA, 2013). Las medidas de protección contra una explosión son las siguientes:

a. Si hay escombros cayendo alrededor, meterse debajo de una mesa o escritorio fuerte. Cuando dejen de caer, salir rápidamente y tener cuidado con los pisos y escaleras que se ven debilitados.
b. Salir del edificio tan pronto como sea posible. No detenerse para recoger objetos personales ni realizar llamadas telefónicas.
c. No usar los ascensores.
d. No quedarse frente a ventanas, puertas de vidrio u otras áreas potencialmente peligrosas.
e. Apartarse de las aceras o calles que usarán los cuerpos de emergencia y otras personas que siguen saliendo del edificio.

Amenazas biológicas: los agentes biológicos son organismos o toxinas que pueden matar o incapacitar a la gente, el ganado y las cosechas. Los tres grupos básicos de agentes biológicos de más probable utilización como armas son bacterias, virus y toxinas. La mayoría de los agentes biológicos son difíciles de cultivar y mantener. Muchos se descomponen con rapidez cuando se exponen a la luz solar y otros factores ambientales, mientras que otros, como las esporas de ántrax, viven mucho tiempo.

Los agentes biológicos pueden dispersarse rociándolos en el aire, infectando a los animales que transmiten la enfermedad al hombre y contaminando los alimentos y el agua. Los métodos de dispersión son: aerosoles, animales, contaminación de alimentos y agua, de persona a persona (FEMA, 2013). La preparación para una amenaza biológica incluye verificar con un médico que todas las vacunas requeridas o recomendadas para una situación de este tipo se encuentren al día. Los niños y los adultos mayores son especialmente vulnerables a los agentes biológicos.

Amenazas químicas: los agentes químicos son vapores, aerosoles, líquidos o sólidos venenosos que tienen efectos tóxicos en la gente, los animales o las plantas. Pueden emitirse por medio de bombas, rociarse desde aeronaves, embarcaciones o vehículos, o utilizarse como un líquido para crear un riesgo para la gente y el medio ambiente. Algunos agentes químicos no tienen olor ni sabor y pueden tener un efecto inmediato (desde algunos segundos hasta algunos minutos) o un efecto retardado (de 2 a 48 horas). Aunque son potencialmente letales, resulta difícil emitirlos

en concentraciones letales. A la intemperie, los agentes químicos suelen disiparse rápidamente. También es difícil producirlos (FEMA, 2013).

A continuación, se enlistan los lineamientos para prepararse para una amenaza química:

a. Revisar el equipo de suministros para desastre para asegurarse de que incluya;
    - Un rollo de cinta adhesiva para tubos y tijeras.
    - Plástico para colocar en las puertas, ventanas y salidas de ventilación de la habitación que se usará como refugio. Para ahorrar tiempo crucial durante una emergencia, es conveniente medir y cortar con anticipación el recubrimiento de plástico de cada abertura.
b. Seleccionar una habitación interior para refugiarse, de preferencia una que no tenga ventanas y se encuentre en el piso más alto.

Explosiones nucleares: una explosión nuclear desprende luz y calor intensos, produce una onda de presión nociva y esparce material radiactivo que contamina el aire, el agua y la superficie terrestre en muchos kilómetros a la redonda. Un dispositivo nuclear varía entre un arma transportada por un misil intercontinental, lanzado por una nación hostil o una organización terrorista, y un pequeño dispositivo nuclear portátil transportado por una persona. Todos los dispositivos nucleares producen efectos mortales cuando explotan, incluyendo una luz cegadora, calor intenso (radiación térmica), radiación nuclear inicial, explosión, incendios provocados por la onda de calor e incendios secundarios ocasionados por la destrucción inicial (FEMA, 2013).

6.4.2 Sabotaje e interrupción de servicios

El sabotaje consiste en el daño o la destrucción intencional en un servicio, una instalación o un proceso industrial o municipal. Los servicios públicos de suministro (agua, electricidad y gas) desempeñan un papel esencial en el desarrollo económico y social. Su buena calidad es esencial para la erradicación efectiva de la pobreza (OIT, 2019).

Las causas de la interrupción de servicios públicos pueden ser:

Naturales: tormentas eléctricas, huracanes, terremotos o cualquier fenómeno natural involucrado en la interrupción o pérdida temporal de algún servicio de orden público.

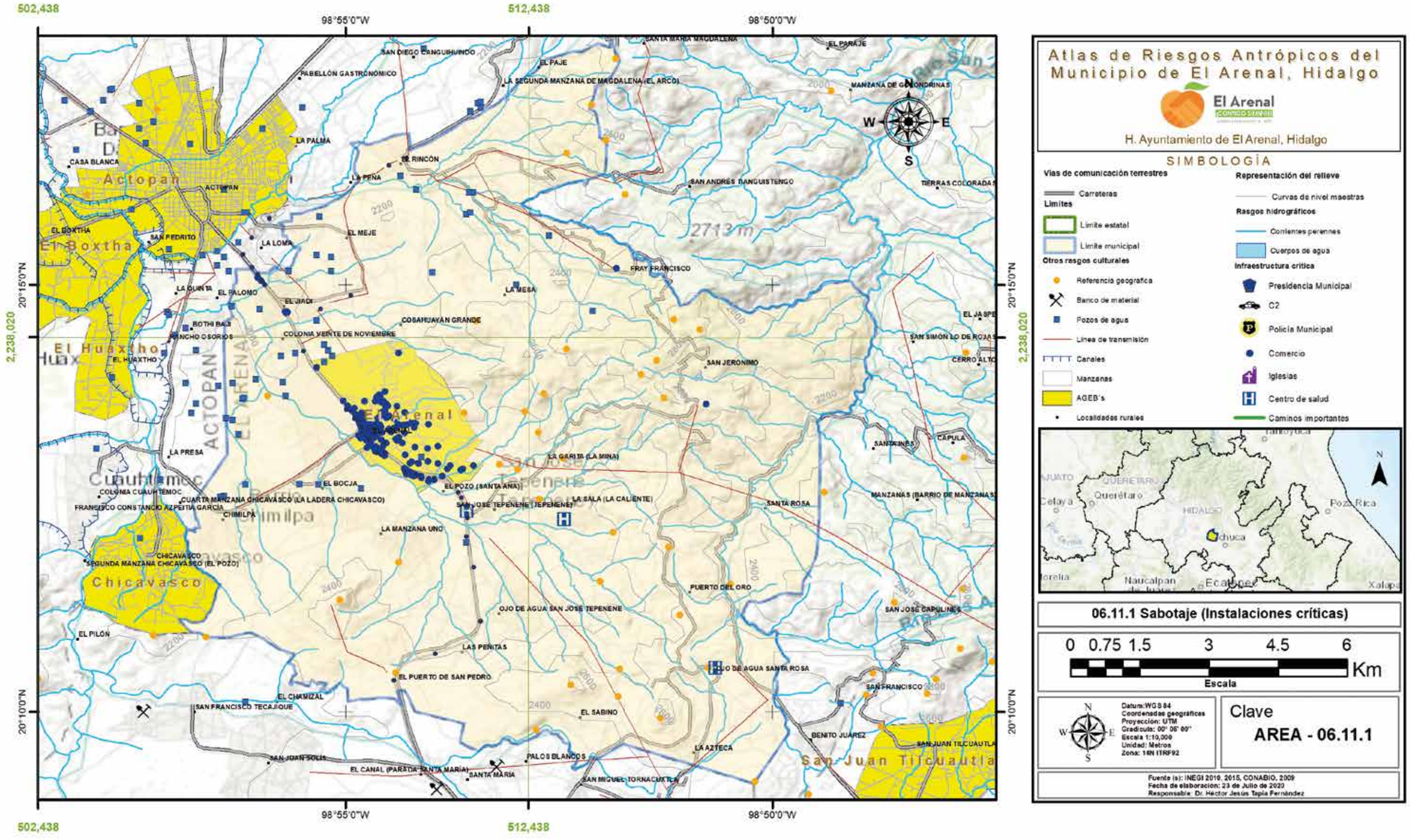
Sociales: por mora en el pago del recibo de agua, electricidad u otro; por manipular los medidores, acometidas o conexiones; o por efectuar reparaciones, modificaciones o mejoras en estos sistemas. En el caso de redes de servicios como las líneas de transmisión y alta tensión o las tuberías de distribución de agua potable, el sabotaje es posible causa de interrupción del servicio.

Las consecuencias de la interrupción de servicios pueden ser:

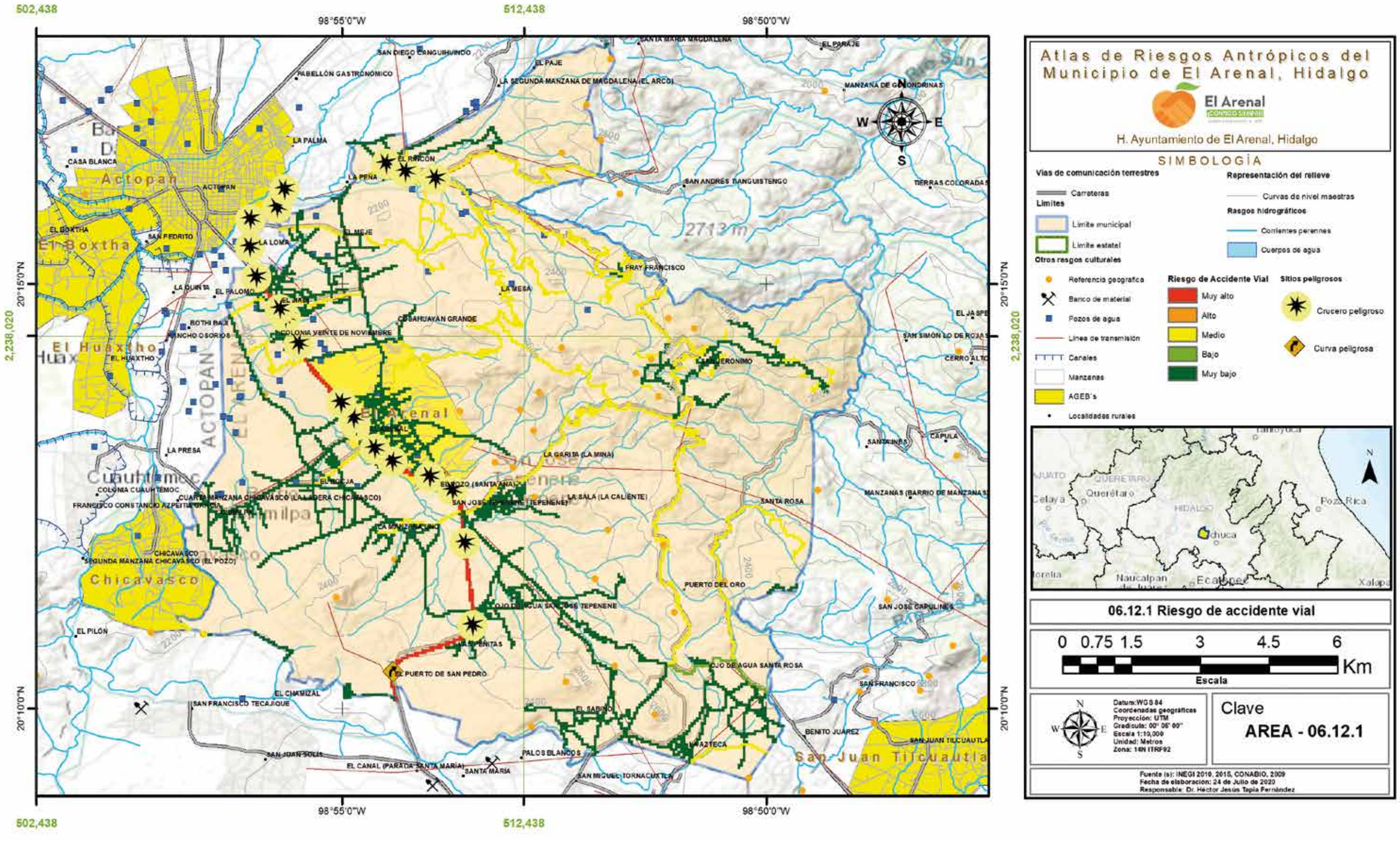
a. Incremento de actos delictivos por motivo de la ausencia de servicios públicos.
b. Accidentes viales, en el caso de la falta del servicio de alumbrado público.
c. Enfermedades o epidemias debido a conexiones irregulares y muy precarias de agua y energía eléctrica, entre otros servicios básicos (el consumo de agua no potable o la falta de saneamiento matan a más personas que cualquier tipo de violencia, incluida la guerra).

Como ya se había mencionado anteriormente, la probabilidad de sabotaje a líneas eléctricas y tuberías de distribución de agua potable o de interrupción de servicios de emergencia o salud, es sumamente baja en el municipio de El Arenal, ya que la cobertura es adecuada y la cercanía de las ciudades de Pachuca y Actopan permite la atención de emergencias.

Las instalaciones de conducción de energía eléctrica generalmente se ubican en zonas poco pobladas o inaccesibles a la mayoría de la población, así que el riesgo de interrupción del servicio de dotación eléctrica es sumamente bajo. En el caso del abastecimiento de agua potable, la mayor parte de la instalación es subterránea, así que el sabotaje de estas instalaciones es igualmente muy bajo. El riesgo por exposición a explosiones o impacto por derrames por sabotaje industrial a instalaciones nucleares es sumamente bajo, ya que hay una distancia de aproximadamente 268 km lineales entre El Arenal y las instalaciones de la planta nucleoeléctrica de Laguna Verde, en Veracruz.



Mapa 84. Sabotaje (instalaciones críticas).



Mapa 85. Riesgo de accidente vial.

6.4.3 Accidentes carreteros

El Arenal cuenta con carreteras de nivel federal y estatal. Una de las más importantes es la Carretera Federal 12 México-Laredo, con 13 km de trayecto dentro del municipio; por ella transitan miles de automovilistas de otros municipios y estados en todo tipo de unidades automotoras, incluidas aquellas que transportan sustancias peligrosas. Los principales accidentes, en orden de mayor a menor incidencia, son: salidas de camino, volcaduras, atropellamientos y choques por alcance.

Los accidentes automovilísticos se atribuyen en gran medida a la falta de precaución y a la ingesta de bebidas alcohólicas; se registran a todas horas del día, siendo más comunes en la tarde-noche, los fines de semana, días festivos y de quincena (Protección Civil, 2019).

Punto crítico de alta incidencia de accidentes	Coordenadas		Localidad
	Latitud	Longitud	
Curva peligrosa	20°10'26	98°54'23	Puerto de San Pedro
Retorno	20°10'59	98°53'27	Ojo de Agua
Curva peligrosa	20°11'03	98°53'25	Ojo de Agua
Retorno	20°11'56	98°53'33	San José Tepenené
Retorno	20°12'34	98°53'41	San José Tepenené
Curva peligrosa	20°12'43	98°53'49	San José Tepenené
Retorno	20°12'43	98°53'57	San José Tepenené
Retorno	20°12'54	98°54'23	El Arenal
Retorno	20°13'03	98°54'36	El Arenal
Crucero	20°13'19	98°54'49	El Arenal
Retorno	20°13'24	98°54'51	El Arenal
Retorno	20°13'36	98°55'00	El Arenal
Retorno	20°14'17	98°55'30	El Jiadi
Retorno	20°14'36	98°55'39	El Jiadi
Retorno	20°14'42	98°55'43	El Jiadi
Retorno	20°14'04	98°55'00	El Jiadi
Crucero	20°16'24	98°54'28	El Rincón
Curva peligrosa	20°16'19	98°54'14	El Rincón
Crucero	20°16'14	98°53'53	El Rincón

Tabla 99. Lugares de alta incidencia de accidentes.

6.4.4 Concentraciones masivas de población

Los eventos religiosos, culturales, deportivos, artísticos y políticos pueden reunir a muchas personas y, al mismo tiempo, coincidir con otras situaciones que generen condiciones de riesgo en las diferentes localidades del municipio de El Arenal.

Para este caso, dentro del riesgo antrópico, en el apartado de riesgos socioorganizativos, se analizarán ferias anuales, montas, Ferias del Durazno, entre otras celebraciones que se realizan año con año en diferentes localidades de El Arenal, teniendo unas más impacto que otras.

En caso de asistir a un evento de estas características, el Sistema Nacional de Protección Civil (SNPC) recomienda:

a. Usar ropa cómoda. En caso de concentraciones al aire libre, llevar lo necesario para protegerse del calor, la lluvia o el frío.
b. Usar calzado apropiado, generalmente cerrado. En los accidentes ocurridos durante concentraciones masivas de personas, el mayor número de heridas se produce en los pies.
c. Si se concurre en grupo, acordar con los demás integrantes un punto de encuentro dentro del lugar del evento y otro punto fuera del lugar del evento, a una distancia mayor a 200 m, por si se dispersan o extravían.
d. En caso de tener menores a cargo, no separarse de ellos. Llevar en brazos o de la mano a los más pequeños.
e. No portar objetos peligrosos como envases de vidrio, recipientes metálicos, bengalas u otros.
f. No exhibir símbolos o emblemas que impliquen, por su significado, una incitación a la violencia.
g. Al llegar al lugar del evento, averiguar la ubicación de las salidas de emergencia o las vías de evacuación previstas por la organización.
h. Ubicarse en un lugar seguro. No permanecer sobre barandas u otros sitios peligrosos.
i. No descuidar los objetos personales.
j. Prestar atención a las indicaciones del personal de seguridad y de la organización.
k. Una vez finalizado el evento, abandonar el lugar de forma ordenada siguiendo los itinerarios señalados. Dejar libres las puertas y evitar detenerse en las inmediaciones.
l. En caso de una evacuación de emergencia, dirigirse con calma a la salida más próxima. Procurar no retroceder, empujar, correr ni gritar. Todo ello puede provocar alarma y reacciones peligrosas. Atender las indicaciones de los Servicios de Emergencia, sin interferir en las tareas de socorro.
m. Al encontrarse en una zona segura, confirmar que los demás integrantes del grupo se encuentren bien. En caso contrario, informar sobre las personas que faltan, su descripción y el lugar donde fueron vistas por última vez.

Localidad	Fecha	Nombre	Breve descripción
El Arenal	01 de enero	Año nuevo	Fiesta tradicional
El Arenal	Antes de miércoles de ceniza	Carnaval	Fiesta religiosa
El Meje	02 de junio	Celebración al Señor de Chalma	Fiesta religiosa
El Rincón	08 de junio	Celebración al Señor de Orizabita	Fiesta religiosa
El Jiadi	04 de junio	Celebración al Señor de la Santísima Trinidad	Fiesta religiosa
El Arenal	Varias	Feria de la Tuna y el Durazno	Fiesta municipal
Santa Rosa	30 de agosto	Celebración a la Virgen de Santa Rosa	Fiesta religiosa
El Arenal	15 de septiembre	Grito de Independencia	Fiesta nacional
El Arenal	16 de septiembre	Aniversario de la Independencia de México	Fiesta nacional
San Jerónimo	30 de septiembre	Celebración al Señor de San Jerónimo	Fiesta religiosa
Fray Francisco	04 de octubre	Celebración a San Francisco de Asís	Fiesta religiosa
El Arenal	20 de Noviembre	Aniversario de la Revolución Mexicana	Fiesta nacional
El Arenal	Primeros días de diciembre	Encendido del árbol de Navidad	Fiesta municipal
San José Tepenené	12 de diciembre	Celebración a la Virgen de Guadalupe	Fiesta religiosa

Tabla 100. Principales celebraciones que dan lugar a concentraciones masivas de población.

6.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

El análisis geoespacial constituye una tarea compleja que involucra el uso intensivo de bases de datos geográficos de grandes extensiones de superficie (uso de suelo, red de carreteras, asentamientos humanos, topografía, clima), datos temporales (velocidad y patrones del viento, variación de la densidad de población, pobreza, marginación, etc.) que proceden de diversas fuentes (El Morjani *et al.*, 2007; Biass *et al.*, 2013). Las principales limitaciones de la aplicación de la geoinformática son: (1) la alta demanda y el costo de los datos; (2) la necesidad de análisis multivariable/multiformato; (3) la necesidad de actualizaciones frecuentes de dichos datos; y (4) las dificultades de mapear las bases de datos y los parámetros relevantes para la evaluación de la vulnerabilidad social (Ebert *et al.*, 2009). Por estas razones, en este estudio, el análisis SIG usará un conjunto de datos abiertos, de fácil acceso y gratuitos, que pueden ser combinados con datos más detallados y precisos si es que llegan a estar disponibles. La obtención de mapas se hará mediante herramientas de SIG, dada su capacidad para ingresar, administrar, manipular, analizar y procesar datos georreferenciados (Aronoff, 1989). Por tanto, el primer paso será la creación de una base de datos espaciales en SIG, donde se recopilarán datos temáticos relevantes. La realización y el alcance de esta base de datos dependerá directamente de la problemática del área de estudio y de las restricciones presupuestarias. A continuación, se describen los conjuntos de datos abiertos utilizados en este estudio:

Caminos y localidades: Los caminos se han de deducir de la base de datos de OneStreetMap (Open-StreetMap, 2010). Las localidades urbanas y rurales se encuentran ya georreferenciadas y proceden del Censo de Población y Vivienda 2010 (Inegi, 2010), cuyo *shapefile* tiene como uno de sus atributos el total de población por localidad, así como otros datos sociodemográficos relevantes.

Software de Sistemas de Información Geográfica: El SIG seleccionado para el análisis espacial es el sistema informático ArcView™ 10.4 desarrollado por ESRI® (con la extensión Spacial Analyst) debido a que su uso se encuentra ampliamente difundido.

Modelos Digitales de Elevación: Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son una representación de la superficie que se constituye como un objeto ráster que combina información geoespacial con valores de elevación. Los MDE serán elaborados con el método de triangulación de Delaunay (Legrá-Lobaina *et al.*, 2014) mediante la herramienta Triangle Irregular Network (TIN), con la triangulación de un conjunto de vértices (puntos).

En este apartado se realizará un compendio de los elementos que representan el medio físico de la zona de estudio a partir de sus características naturales y atendiendo los siguientes tópicos:

Elementos del medio físico: (1) disiografía, elementos formadores del entorno físico, provincias y subprovincias fisiográficas; (2) feomorfología, principales formas del relieve; (3) feología, litología (geología superficial), secciones geológicas, minas, rasgos estructurales; (4) edafología, descripción de los tipos de suelo, propiedades físicas y químicas; (5) hidrografía, patrones de drenaje, recursos hídricos superficiales y subterráneos, zonas de recarga; cuencas y subcuencas, datos vectoriales y de áreas de captación hídrica en el estado de Hidalgo y región geocultural; los escurrimientos emplearán la clasificación Horton-Strahler (Horton, 1945; Strahler, 1957); (6) elementos del clima, temperatura, humedad, presión, viento, etc.; fenómenos climatológicos regionales y locales que inciden en la zona; (7) uso de suelo y vegetación; y (8) áreas naturales protegidas (en caso de presentarse).

Datos socioeconómicos: La principal fuente de datos socioeconómicos es el Censo de Población y Vivienda 2010 (Inegi, 2010). Se integrará una caracterización general de la situación demográfica, social y económica de la zona de estudio con indicadores básicos que revelen las condiciones generales del estado que guarda la región, municipio y/o ciudad, describiendo lo siguiente:

(1) *Dinámica demográfica*: análisis comparativo (valores absolutos y porcentajes) de la población de la entidad con respecto al municipio y una proyección a 2010-2030 (por municipio y por localidad según Conapo), así como la densidad y la distribución de la población (por localidad).

(2) *Características sociales*: de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, definir el porcentaje de analfabetismo, población de 14 años y más que asiste a la escuela y grado promedio de escolaridad; población con discapacidad (población con limitación en la actividad) por localidad y manzana, población que habla alguna lengua indígena y población que no habla español; acceso a la salud (población sin derechohabiencia, médicos por cada mil habitantes y tasa de mortalidad); índice de pobreza; hacinamiento (promedio de ocupantes por cuarto) por manzana; marginación por localidad y las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) en zonas urbanas.

(3) *Características de la vivienda*: tipología (se recomienda realizar la caracterización de la vivienda siguiendo la propuesta de la guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos del Cenapred), pisos de tierra, servicios (agua, luz, drenaje), déficit de vivienda, empleo e ingresos, sectores de ocupación, porcentaje de ingresos de la población económicamente activa, razón de dependencia y tasa de desempleo abierto.

(4) *Equipamiento e infraestructura*: caracterizar centros de salud y educativos, zonas recreativas y/o de esparcimiento (plazas, centros comerciales, teatros, cines, auditorios, etc.); estación de bomberos, seguridad pública y militares; albergues, rutas de evacuación; presas, líneas de conducción de gas y combustible; plantas de tratamiento de aguas residuales; estaciones eléctricas; identificar reserva territorial y, si es parte de una zona metropolitana, mencionar las conurbaciones principales.

Algunos datos sociales y económicos deberán ser solicitados vía administrativa a dependencias de los municipios estudiados, así como del gobierno estatal. También se utilizarán encuestas a población y dinámicas de grupos focales usando instrumentos como cuestionarios, guías de entrevista o registro de observaciones para recopilar esta información.

6.5.1 Determinación del peligro

Para identificar los fenómenos perturbadores que afectan al estado de Hidalgo, se debe recurrir a diferentes fuentes de información, tales como fuentes bibliográficas, hemerográficas y/o comunicación verbal. Esta etapa también incluye la búsqueda de referencias bibliográficas para desarrollar el trabajo técnico (libros, artículos científicos, tesis, revistas científicas, etc.), sobre temas relacionados a la geología, vulcanología, limnología y tectónica del estado de Hidalgo. Posteriormente, se realizarán consultas a archivos fotográficos, periodísticos, crónicas locales, así como entrevistas a pobladores o funcionarios municipales para recabar la mayor evidencia histórica relacionada con eventos catastróficos causados por una contingencia natural. La información histórica puede ser representada en mapas temáticos que las autoridades de Protección Civil pueden aprovechar para tener conocimiento de los sitios que son susceptibles de ser afectados por un fenómeno determinado; asimismo, es la base para estimar la frecuencia con que un fenómeno afecta una zona.

Se realizarán encuestas digitales a los gobiernos municipales y a Protección Civil para conocer el estatus de sus atlas de riesgo, sus avances en materia de prevención y planes de contingencia, y si estos están contemplados en sus planes de desarrollo municipal. Tomando como base los antecedentes y conceptos fundamentales expresados en las secciones anteriores, el proyecto de investigación contempla nuevos análisis geológicos, espaciales y estadísticos de zonas no estudiadas previamente, para poder cumplir con los objetivos de trabajo trazados. Se advierte que la base fundamental para un diagnóstico de riesgo adecuado es el conocimiento científico de los fenómenos perturbadores (peligros o amenazas) que afectan al territorio del estado de Hidalgo, además de una estimación de las posibles consecuencias de estos fenómenos, que dependerán de las características físicas de la infraestructura existente, así como de las características socioeconómicas de los asentamientos humanos. La metodología a emplear para la identificación de los riesgos es la propuesta por Guevara-Ortiz *et al.* (2006), que consiste en: (1) identificar los fenómenos naturales y antrópicos perturbadores que pueden afectar la zona de estudio; (2) determinar el peligro asociado a los fenómenos identificados; (3) identificar los sistemas expuestos y su vulnerabilidad; (4) evaluar los diferentes niveles de riesgo asociados a cada tipo de fenómeno, tanto natural como antropogénico; (4) integrar sistemáticamente la información sobre los fenómenos naturales y antropogénicos, peligro, vulnerabilidad y riesgo, considerando los recursos técnicos y humanos disponibles.

Periodos de retorno. Para poder determinar con precisión los periodos de retorno de fenómenos de origen geológico e hidrometeorológico (5, 10, 25 y 50 años), se recurrirá a un ajuste de funciones de probabilidad, logarítmica normal, exponencial, Gumbel y doble Gumbel.

Metodología de Lógica Difusa. La lógica difusa se aplica a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total. Conviene recalcar que lo difuso, borroso, impreciso o vago no es la lógica en sí, sino el objeto que se estudia. La lógica difusa permite tratar información imprecisa –como estatura media o temperatura baja– en términos de conjuntos difusos que se combinan entre sí para definir acciones. Esta herramienta proporciona una manera simple de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. La lógica difusa está basada en proposiciones que no cumplen con la ley de la media excluida de la lógica clásica; es decir, una proposición difusa no necesariamente es completamente falsa o completamente verdadera, sino que puede tener valores intermedios. El concepto clave para entender cómo trabaja la lógica difusa es el de conjuntos difusos, definidos como la agrupación de varios elementos que poseen una característica común, pero que, a diferencia de la lógica clásica, no exigen la pertenencia absoluta de un elemento, sino que reconocen que no todos sus elementos poseen la característica en la misma magnitud. Un elemento puede pertenecer simultáneamente a varios conjuntos en diferente proporción, siempre y cuando la suma de sus grados de pertenencia sea igual a la unidad. Para llevar a cabo este análisis, se identificaron los factores involucrados en la incidencia de algún peligro natural; para cada factor que tenga influencia directa o indirecta (factor condicionante o desencadenante) se elaborará una capa vectorial temática con información geográfica en formato ráster. Posteriormente, se le asignará un conjunto difuso a través de un SIG; una vez obtenidos los conjuntos difusos, se realizará la unión algebraica de estos para determinar zonas susceptibles a sufrir las consecuencias de un peligro natural. Para integrar la información en un SIG se definirán los conjuntos difusos para cada uno de los mapas temáticos utilizados en la zona de estudio. De esta manera, las capas temáticas se podrán reclasificar y se realizará su análisis de pertenencia.

6.5.2 Evaluación de la vulnerabilidad

Las evaluaciones de vulnerabilidad generalmente se logran mediante: (1) la definición de "temas" de vulnerabilidad; (2) la definición de indicadores de peligro para cada tema; y, finalmente, (3) la ponderación de cada parámetro para compilar mapas finales de peligro global (Torrieri, 2002; Aceves-Quesada *et al.*, 2007; El Morjani *et al.*, 2007). Dado que la principal limitación de este estudio es la disponibilidad y la precisión de la gran variedad de datos requeridos para el análisis, se tuvieron que definir indicadores de vulnerabilidad basados en los conjuntos de datos gratuitos y globales descritos anteriormente. Consideramos cinco temas para la región de estudio: (1) vulnerabilidad social, (2) vulnerabilidad económica, (3) vulnerabilidad ambiental, (4) vulnerabilidad física y (5) vulnerabilidad territorial, que se describen en detalle en la siguiente sección. Los niveles de clasificación para cada indicador de vulnerabilidad fueron definidos a partir de los métodos de optimización de Jenks (1967). Cada tema de vulnerabilidad se clasificó en cinco clases (muy baja, baja, media, alta y muy alta), utilizando el método de optimización de Jenks (1967); este método persigue el doble propósito de obtener clases de gran homogeneidad interna, con máximas diferencias entre las clases para el número de intervalos que se haya especificado anteriormente.

Vulnerabilidad social. Los aspectos sociales de la vulnerabilidad fueron ignorados durante mucho tiempo, principalmente debido a la dificultad de cuantificar los indicadores requeridos para tal análisis (Cutter *et al.*, 2003). Wisner *et al.* (2004) definen vulnerabilidad social como las características de una persona o grupo y su situación que influencian su capacidad para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de un peligro natural. En el presente estudio, la evaluación de la vulnerabilidad social se basa en el indicador de población total por manzana del Censo de Población y Vivienda 2010 (Inegi, 2010).

$$IVs = (R1 + 0.5) + (R2 + 0.25) + (R3 + 0.25)$$

Donde:
IVs = Índice de vulnerabilidad social.
$R1$ = Índice de aspectos socioeconómicos.
$R2$ = Índice de capacidad de prevención y respuesta.
$R3$ = Índice de percepción del riesgo.

Vulnerabilidad económica. Los primeros estudios de vulnerabilidad tienden a combinar los aspectos económicos y ambientales, aunque posteriormente se hizo evidente que estos dos indicadores debían ser analizados por separado (Guillaumont, 2000); este autor define la vulnerabilidad económica como la susceptibilidad a daños causados por desastres naturales. Debido a la ausencia de datos económicos, en este estudio hemos asumido que la principal fuente de actividad económica es la agricultura.

Vulnerabilidad ambiental. Williams y Kapustka (2000) definen el concepto de vulnerabilidad ambiental como una estimación de la incapacidad de un ecosistema para tolerar el estrés en el tiempo y el espacio. A partir de esta definición tan generalista resulta difícil separar el concepto vulnerabilidad de un conjunto de indicadores (Villa y McLeod, 2002). Un caso especial es el de las erupciones volcánicas, que tienen el poder de alterar el medio ambiente en todas las escalas. Las áreas proximales quedan bajo la influencia directa de los flujos piroclásticos, lahares, flujos de lava y bombas volcánicas, todos ellos caracterizados por poseer un alto

poder destructivo (Annen y Wagner, 2003). Las áreas distales (>10 km) se encuentran dominadas por acumulaciones de ceniza que tienen la capacidad de contaminar el agua e impactar a la vegetación (Inbar *et al.*, 1995; Wilson *et al.*, 2011a). Las emisiones de gases pueden ocasionar la formación de agujeros en la capa de ozono, lo que puede ocurrir a escala continental debido a las emisiones de halógenos (Millard *et al.*, 2006), mientras que, a escala global, se pueden producir efectos climáticos debido a los aerosoles de ácido sulfúrico (Robock, 2000). La vulnerabilidad ambiental utiliza dos indicadores, que se centran principalmente en aspectos de la vegetación: uno es el área cubierta por bosques intactos y los diferentes tipos de vegetación (Potapov *et al.*, 2008) y el segundo es la superficie de áreas naturales protegídas (WDPA, 2019).

Vulnerabilidad física. La vulnerabilidad física describe la susceptibilidad de la infraestructura urbana (casas, edificios, carreteras, puentes, etc.) a ser dañada por un peligro natural (Ebert *et al.*, 2009).

$$IVf = \frac{I1 + I2 + I3 + I4 + I5 + I6}{In}$$

Donde:

IVf = Índice de vulnerabilidad física.
$I1$ = Valor de ubicación con respecto al fenómeno natural.
$I2$ = Valor de altitud.
$I3$ = Valor de material de construcción con techo flexible.
$I4$ = Valor de material de construcción de pared flexible.
$I5$ = Valor de piso de tierra.
$I6$ = Valor de agua entubada en la vivienda.
In = Número de indicadores

Vulnerabilidad territorial. El dominio de la vulnerabilidad territorial abarca el estudio de la infraestructura crítica, así como de su interconectividad dentro de un sistema (Hellström, 2007). Las infraestructuras críticas son definidas (1) por Moteff *et al.* (2003) como aquellas cuya interrupción de sus funciones por un tiempo prolongado podrían causar zozobra militar y económica significativa; y (2) por la Oficina Federal para la Seguridad de la Información alemana (BSI, 2004) como aquellas organizaciones o instalaciones de importancia clave para el interés público cuyo fracaso o deterioro podría dar lugar a una escasez de suministros perjudiciales, una perturbación sustancial del orden público o un impacto dramático similar (Hellström, 2007). El objetivo de tal evaluación no es sólo la determinación de la vulnerabilidad de todas las instalaciones críticas, sino también la evaluación de la vulnerabilidad que surge del hecho de que se encuentran interconectadas. Dado que cualquier peligro natural tiene la capacidad de interrumpir el funcionamiento de los sistemas interconectados (por ejemplo, la red de carreteras, líneas eléctricas), en este estudio se pretende hacer un primer intento de evaluar las posibles consecuencias de tal amenaza en un sistema a gran escala. Resulta sumamente complejo realizar un análisis global de tales sistemas, ya que requeriría de una enorme cantidad de datos georreferenciados de manera precisa (Biass *et al.*, 2013). En este estudio, se consideran (1) la red de carreteras, (2) la posición geográfica de los aeropuertos y (3) el número de instalaciones militares y hospitales promediados para cada unidad administrativa (en este caso, el municipio). La evaluación de vulnerabilidad territorial se basó en dos indicadores: el primero es el análisis del costo-distancia del número de zonas militares y hospitales por municipio y el segundo es el análisis costo-distancia del aeropuerto más cercano a través de la red de carreteras, incluyendo el efecto de la topografía. El mapa de costo-distancia es una herramienta GIS que permite cartografiar el acceso más eficiente entre dos puntos, donde bajo costo representa un acceso más fácil. Para ello se creó un ráster de la red de carreteras, asignando un costo de viaje más alto a los caminos rurales (terracerías) que a las carreteras primarias y autopistas. A fin de poder restringir el modelo para calcular rutas de acceso a través de la red de carreteras, un recorrido muy alto fue asignado a cualquier terreno que no sea un camino. El proceso consiste en calcular la distancia del costo desde cualquier punto de la cuadrícula de cálculo para alcanzar los hospitales, zonas militares y aeropuertos más cercanos. El valor final muestra una aproximación del costo del viaje, donde un alto valor significa dificultad para viajar. Los municipios que comprenden centros urbanos importantes (Pachuca, Actopan) muestran los niveles más bajos de vulnerabilidad territorial; este resultado se debe a que existen discrepancias importantes entre la exactitud de los datos geográficos de las zonas urbanas frente a los de las zonas rurales. La vulnerabilidad territorial dependerá de la ubicuidad de las infraestructuras críticas y de la densidad de población en función de estas infraestructuras principales. El número de personas que dependen de estas infraestructuras críticas no se incluye, ya que esto puede aumentar de manera significativa los índices de vulnerabilidad en los principales centros urbanos (Biass *et al.*, 2013).

Finalmente, para llegar a la comprensión geoespacial de los peligros naturales en la zona de estudio, se usará el análisis multivariable. No obstante, la selección, evaluación y asignación de pesos de las variables puede presentar un cierto nivel de subjetividad por parte de los expertos involucrados, puesto que deben realizar la ponderación simultánea de los factores para construir la matriz de comparación que requiere el análisis multivariable (Saaty, 1980). Sin embargo, este método puede resultar útil si se requieren evaluar todos los factores simultáneamente sin necesidad de realizar una serie de operaciones de sobreposición cartográfica digital, la modificación de los atributos de los valores por un valor constante, o bien, una reclasificación final del mapa resultante del proceso de combinación de todas las capas de información, como es el caso del presente estudio.

CAPÍTULO VII

PROPUESTA DE OBRAS Y ACCIONES EN EL MARCO DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES PARA LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO

Las propuestas de obras y acciones se realizan en el contexto general de la Gestión Integral del Riesgo de Desastre, concepto que abarca el análisis de riesgo, la prevención y mitigación de desastres y la preparación para casos de desastres. La tendencia actual es actuar proactivamente ante las amenazas causadas por fenómenos naturales extremos con el objeto de llegar a una reducción integral del riesgo de desastres teniendo en cuenta todos los factores que contribuyen a este riesgo y no como la continuación de proyectos aislados y concentrados en una amenaza puntual (GTZ, 2002; Cosude, 2011).

Figura 30. Áreas de la Gestión Integral de Riesgos.

En otras palabras, la gestión del riesgo abarca programas, proyectos, medidas e instrumentos que tienen por objetivo explícito disminuir el riesgo de desastre en regiones amenazadas y reducir la dimensión de estos desastres. Con este fin existen acciones interdependientes orientadas al fortalecimiento de la gestión del riesgo, las cuales se describen a continuación (GTZ, 2002).

Análisis del riesgo. Las medidas de análisis del riesgo están dirigidas a calcular el riesgo de desastres en una determinada región o para un grupo poblacional en particular. Para ello se hace un análisis conjunto de los diferentes factores de riesgo con el fin de determinar las vulnerabilidades y amenazas específicas de una sociedad o de grupos aislados. Es importante determinar tanto la probabilidad como la posible intensidad del fenómeno natural esperado.

Gestión y mitigación de riesgo. La gestión de riesgo alude, sobre todo, a aquellas actividades que reducen o aminoran las consecuencias negativas de los fenómenos naturales extremos a mediano o largo plazo. Se incluyen medidas políticas, legales, administrativas e infraestructurales con respecto a la calidad de la amenaza. Por otro lado, se trata también de influir sobre las condiciones de vida y la conducta de la población amenazada, con el objetivo de disminuir su riesgo frente a desastres. Entre las medidas de gestión de riesgo que sirven para estos fines están:

1. Reglamentación local del uso de la tierra. Hace referencia a la zonificación con áreas para vivienda y zonas industriales o comerciales con la infraestructura necesaria, así como áreas naturales protegidas. Para ello se necesita un catastro lo más completo posible.
2. Manejo sostenible y expansión de las áreas forestales. Es importante controlar la deforestación y erosión por quema, así como implementar programas de reforestación y de una silvicultura sostenible.
3. Adaptación de la infraestructura a los fenómenos esperados, incluyendo disposiciones administrativas y legales; por ejemplo, elevación del nivel de los puentes, refuerzo de las construcciones y de los sistemas de drenaje e irrigación.
4. Fortalecimiento de las competencias y responsabilidades locales a través de la descentralización y la democratización.
5. Capacitación y especialización de la población, así como de las instituciones nacionales y locales, con respecto a las causas y consecuencias de los desastres y a su posible prevención.
6. Apoyo a la población y a instituciones locales para una organización adecuada de sus esfuerzos de gestión de riesgo, así como para la creación de estructuras eficaces de cooperación.
7. Introducción de mecanismos e instrumentos de repartición del riesgo o de transferencia del mismo (por ejemplo, pólizas de seguros, reservas de seguridad).

Preparación para casos de desastre. La preparación es el tercer campo de acción esencial. Aquí se trata de evitar o minimizar las pérdidas de vidas humanas y daños materiales en caso de que ocurra un fenómeno natural extremo. Antes del fenómeno, es necesario preparar a las instituciones participantes (sobre todo, las unidades de Protección Civil, bomberos, entidades de salud, administración, policía) y a la población en amenaza para las situaciones que posiblemente se presentarían, a fin de tomar las medidas necesarias. Estas medidas incluyen:

1. Fijar un marco legal y asignar apoyo local para la protección contra desastres.
2. Establecer una estructura de intervención y coordinación, y asegurar la repartición de tareas, la estructura comunicativa y el diseño de planes de emergencia. Para ello hay que definir las competencias, determinar qué recursos están disponibles y asignar tareas a la población. Además, es necesario crear un plan de evacuación y garantizar los suministros de emergencia (primeros auxilios, alimentos, agua potable, medicinas).
3. Creación y fortalecimiento de las estructuras regionales y locales de protección contra desastres y los servicios de rescate (sobre todo, recursos personales, recursos financieros y logística).
4. Medidas de infraestructura: equipamiento de potenciales alojamientos de emergencia, aseguramiento de las vías de comunicación y evacuación.
5. Capacitación y especialización; realización de simulacros para casos de desastres: evacuación, búsqueda, rescate, medidas médicas de emergencia, instalación y organización de alojamientos de emergencia.
6. Mejora de las capacidades para un rápido análisis de los servicios de ayuda necesarios y de los daños causados por la emergencia. Aquí habría que asegurar que las medidas de ayuda necesarias lleguen de manera rápida y sistemática a las personas que las requieren.
7. Creación de sistemas de alerta temprana descentralizados y apropiados, que aseguren una información oportuna de la población en amenaza y de los actores locales y regionales pertinentes.

Rehabilitación y reconstrucción con inclusión de la gestión de riesgo. La fase de reconstrucción que sigue a un desastre es especialmente propicia para la implementación de una prevención integral de desastres: por un lado, proporciona la posibilidad de tomar en cuenta las experiencias adquiridas durante el último fenómeno natural y, por otro lado, tanto las instituciones como la población se encuentran especialmente receptivas para los enfoques preventivos en este tiempo. La gestión de riesgo es un elemento fundamental de las medidas de reconstrucción. Para ello es necesario analizar primero las causas y consecuencias del último

fenómeno, así como las posibles modificaciones en el perfil del riesgo. Los resultados se utilizan para la definición de las medidas de prevención, mitigación y preparación necesarias. De esta manera se puede evitar una repetición del desastre.

Integración de la gestión de riesgo en los sectores de desarrollo. Es necesario fortalecer el componente de gestión de riesgo en aquellos sectores de la cooperación al desarrollo que son especialmente relevantes. Aquí son de singular importancia los sectores del desarrollo rural, la protección del medio ambiente y de los recursos, la descentralización y el fomento comunal, así como los sectores salud, vivienda y educación.

En síntesis, en el marco de la Gestión Integral del Riesgo de Desastres, las obras y acciones de mitigación del índice de exposición o riesgo por fenómenos perturbadores de origen natural se agrupan en dos tipos: medidas no estructurales y medidas estructurales, mismas que se describen brevemente a continuación.

Medidas no estructurales. Buscan reducir la vulnerabilidad del sistema expuesto a través de medidas legislativas u organizativas que solas o en combinación con las medidas estructurales permiten mitigar el riesgo de una manera efectiva e integral.

i. *Legislativas*. Se relacionan con la legislación y planificación e inciden sobre las causas de fondo, las presiones dinámicas y las condiciones de seguridad de los elementos expuestos. Por ejemplo, la elaboración e implementación de políticas, Planes de Ordenamiento Territorial, Planes de Desarrollo, reglamentos de construcción, estímulos fiscales y financieros, promoción de seguros, entre otros. Competen a los planificadores y requieren de voluntad política.

ii. *Organizativas*. Son aquellas que promueven la interacción directa con la comunidad. Se refieren a la organización para la reducción del riesgo y la atención de emergencias, el fortalecimiento institucional, la educación, la información pública y la participación. Competen a las autoridades ambientales y a la comunidad en general y requieren de su participación activa.

Medidas estructurales. Consisten en obras de ingeniería para la prevención y la mitigación de riesgos ya existentes. La ejecución de estas obras, como cualquier obra de infraestructura, puede generar un impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo cual se deben tener en cuenta las recomendaciones técnicas a fin de evitar, reducir, corregir o compensar tales impactos.

En este sentido, en el presente *Atlas de Riesgos Naturales* se plantean las propuestas para atender de manera específica los fenómenos de mayor riesgo que se identificaron en el municipio de El Arenal. Las obras y medidas de prevención, mitigación y recuperación se agruparon con base en la interacción que existe entre los diferentes fenómenos de la siguiente manera:

1. Sequías.
2. Ondas cálidas.
3. Ondas gélidas y heladas.
4. Erosión hídrica y eólica, tolvaneras, vientos fuertes y tornados.
5. Lluvias extremas e inundaciones.
6. Tormentas de granizo y eléctricas.
7. Vulcanismo, sismicidad, inestabilidad de laderas, flujo de detritos y caídas de roca.
8. Hundimientos, subsidencia y agrietamientos.

Posteriormente, se presenta un cuadro resumen con las propuestas jerarquizadas con base en el índice de exposición o riesgo. Es importante resaltar que las propuestas se agruparon en medidas de prevención, mitigación y recuperación.

Medidas de prevención: acciones y mecanismos implementados con antelación a la ocurrencia de los agentes perturbadores, con la finalidad de conocer los peligros o los riesgos, identificarlos, eliminarlos o reducirlos; evitar o mitigar su impacto destructivo sobre las personas, bienes e infraestructura, así como anticiparse a los procesos sociales de construcción de los mismos. Son medidas que se toman antes de que ocurra una catástrofe.

Medidas de mitigación: acciones orientadas a disminuir el impacto o daños ante la presencia de un agente perturbador sobre un agente afectable. Son medidas que se realizan durante la catástrofe.

Medidas de recuperación: acciones encaminadas al retorno a la normalidad de la comunidad afectada. Son medidas que se toman después del desastre y se interrelacionan con las medidas de prevención para atenuar desastres futuros.

Fenómeno	Causa (problema)	Propuesta / Obra o acción
Sequía	Incremento de enfermedades respiratorias, aparición de casos de hipotermia, pérdidas humanas en población vulnerable (menores y mayores de edad).	Legislar e implementar un Plan Municipal de Manejo Integral del Agua (PMMIA) con el objeto de gestionar el acceso de la población al agua potable, el manejo y reúso de aguas residuales de origen doméstico e industrial, y el aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas. Con base en el PMMIA, realizar estudios de exploración de agua subterránea en el contexto de la Gestión Integral de Cuencas. Cabe destacar que la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración del agua en el contexto del PMMIA se regula a través de Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Monitoreo y sistematización de datos meteorológicos y climatológicos a escala local, regional (temperatura y precipitación diaria) y mundial (El Niño-Oscilación del Sur y Oscilación Decadal del Pacífico).
	Pérdidas económicas en el sector agrícola derivadas por la prolongada escasez de agua.	Implementar las mejores prácticas de manejo agrícola (por ejemplo, identificar y promover el uso de cultivos resistentes a la sequía, labores culturales que permitan la disminución del escurrimiento, maximización de la infiltración y reducción de pérdidas por evaporación; sistemas de riego eficientes y programados).
	Pérdidas económicas en sector pecuario derivadas de la prolongada escasez de agua y forraje.	Implementar las mejores prácticas de manejo pecuario (por ejemplo, manejo integral de agostaderos, reducir fuentes puntuales de contaminación por desechos de animales, entre otras).
	Pérdida de biodiversidad derivada de incendios forestales y presencia de especies invasoras resistentes a periodos prolongados de sequía.	Implementar las mejores prácticas de manejo forestal (por ejemplo, mantener los reservorios de agua en buenas condiciones y, de ser necesario, construir nuevos; implementar planes de prevención y control de la deforestación, planes de manejo forestal, reforestación con especies nativas resistentes a la sequía, implementación de obras de conservación de suelo y agua; e identificar áreas *ad hoc* para la conservación de los recursos naturales).
Ondas cálidas	Incremento de enfermedades epidemiológicas (principalmente gastrointestinales), aparición de casos de golpe de calor o deshidratación, pérdidas humanas en población vulnerable (menores y mayores de edad). Pérdidas económicas en los sectores pecuario, agrícola y forestal.	Crear y organizar Comités de Prevención de Desastres (CPD) capacitados en primeros auxilios y coordinados con Protección Civil. Estos CPD deben estar integrados por líderes de las diferentes localidades con conocimiento de los reglamentos vigentes, tales como el Atlas de Riesgos Naturales del municipio, el Plan de Ordenamiento Territorial, el Plan de Desarrollo Urbano. Implementar mejor manejo en los sectores agrícola, pecuario y forestal.
Ondas gélidas y heladas	Incremento de enfermedades respiratorias, aparición de casos de hipotermia, pérdidas humanas en población vulnerable (menores y mayores de edad). Pérdidas económicas en los sectores agrícola, pecuario y forestal.	Legislar un Programa de Atención a la Población Vulnerable por Frentes Fríos y Heladas (PAPV-FFYH) y establecer albergues temporales con recursos materiales y humanos que garanticen el acceso a los servicios de salud, alimentación y hospedaje temporal de los damnificados. Implementar las mejores prácticas de manejo agrícola, pecuario y forestal.
Erosión hídrica, eólica, tolvaneras y vientos fuertes	Degradación del suelo, polución del aire, disminución de la producción agrícola, pérdida de agostaderos, arrastre de sedimento.	Impulso de actividades económicas del sector primario que implementen obras de conservación del suelo y del agua. Sistema de monitoreo y alerta ante eventos de vientos fuertes. Implementar las mejores prácticas de manejo agrícola, pecuario y forestal.
Lluvias extremas e inundaciones	Susceptibilidad a inundaciones por precipitaciones extremas.	Mantenimiento de la red de drenaje sanitario y pluvial. Plan de ordenamiento territorial para la regulación de construcción de viviendas en zonas susceptibles de inundaciones. Obras de control de erosión en cárcavas, laderas y pendientes inestables. Reforestación con especies nativas.
Tormentas de granizo y eléctricas	Susceptibilidad de recibir daños por descargas eléctricas, acumulación de granizo.	Instrumentación de sistemas de monitoreo de variables hidrometeorológicas en la cuenca y centros urbanos.
Vulcanismo, sismicidad, inestabilidad de laderas, flujo de detritos y caídas de rocas	Susceptibilidad de acumular ceniza volcánica y efectos destructivos por sismos no asociados a subducción.	Legislar un Reglamento de Construcción Sismorresistente (RCS) y verificar que la infraestructura local y las viviendas cumplan con las especificaciones de dicho reglamento. Además, el RCS debe incluirse en el Plan de Ordenamiento Territorial y el Plan de Desarrollo Municipal. Capacitar al personal de Protección Civil en la identificación de la amenaza por vulcanismo e interpretación de alertas volcánicas, sismicidad y movimientos en masa, y legislar un Plan de Contingencias y Evacuación frente a Desastres Naturales (PCEDN). Monitorear el desarrollo de agrietamientos con extensómetros o inclinómetros y asociar el desplazamiento con datos de precipitación; para ello es necesario establecer una estación climática automatizada. Además, en los cortes carreteros donde existe evidencia del desplazamiento de suelo, rocas o detritos, es necesario realizar estudios de inspección geofísica o geotécnica para proponer la suavización y estabilidad de los taludes.

Tabla 101. Medidas de prevención, mitigación y recuperación por fenómenos de origen geológico e hidrometeorológico.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acuífero: Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.

Afectación ambiental: La pérdida, menoscabo o modificación de las condiciones químicas, físicas o biológicas de la flora y fauna silvestres, del paisaje, suelo, subsuelo, agua, aire o de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y la afectación a la integridad de la persona es la introducción no consentida en el organismo humano de uno o más contaminantes, la combinación o derivación de ellos que resulte directa o indirectamente de la exposición a materiales o residuos y de la liberación, descarga, desecho, infiltración o incorporación ilícita de dichos materiales o residuos en la atmósfera, en el agua, en el suelo, en el subsuelo y en los mantos freáticos o en cualquier medio o elemento natural.

AGEB: Áreas geoestadísticas básicas.

Alud de rocas: Desprendimiento de este material sólido que tiene lugar cuando los bloques de rocas recientemente desprendidas (pequeñas), se desplazan cuesta abajo por el frente de un acantilado o peña viva vertical. Son frecuentes en áreas montañosas y durante los meses de la primavera, cuando hay congelación y derretimiento repentinos.

Ambiente: El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hace posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

Amenaza: Riesgo inminente de ocurrencia de un desastre. Signo de peligro, desgracia o molestia.

Aluvión: Material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente. Dicho material puede ser arena, grava, arcilla o limo.

Alto riesgo: La inminente o muy probable ocurrencia de una emergencia o desastre.

Atlas de riesgo: Serie de mapas con diversas características y escalas, que informan por sí mismos de los eventos naturales y sociales, que pueden representar algún tipo de desastre para la población.

Avenida máxima o extraordinaria: brusco aumento del caudal y elevación del nivel que experimentan los ríos, superior a la máxima presentada, debido a escurrimientos extraordinarios en la corriente, a causa de las lluvias o de la fusión de las nieves o hielos. Se la denomina también creciente, crecida o riada.

Caída de detritos: El material cae desde un acantilado o farallón vertical o sobresaliente, por lo que son comunes a lo largo de las márgenes socavadas de los ríos.

Cauce de una corriente: Lecho de los ríos y arroyos, canal natural o artificial por donde corren las aguas.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred): órgano administrativo desconcentrado, jerárquicamente subordinado a la Secretaría de Gobernación, creado por Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 20 de septiembre de 1988. Su propósito es ampliar el nacimiento de los agentes perturbadores, afectables y reguladores, así como promover y alentar, sobre bases científicas, la preparación y atención más adecuada ante la ocurrencia de desastres. Para realizar esas labores, sus funciones se dirigen principalmente a la investigación, capacitación, recopilación de información y difusión en la materia. Se considera como un instrumento de carácter técnico indispensable para el establecimiento del Sistema Nacional de Protección civil.

Catástrofe: Suceso desafortunado que altera gravemente el orden regular de la sociedad y su entorno; por su magnitud, genera un gran número de víctimas y daños severos.

Ciclón: Perturbación atmosférica ocasionada por la rotación de una masa de aire impulsada por un frente frío, en torno a un área de bajas presiones acompañada de abundante precipitación pluvial, vientos muy fuertes y descenso en la temperatura.

Clima: Conjunto de condiciones atmosféricas de un lugar determinado, constituido por una diversidad de factores físicos y geográficos, que caracterizan y distinguen a una región.

Clasificación granulométrica: Procedimiento para la determinación de los distintos tamaños de partículas que forman un suelo.

Colapso o asentamientos: Asentamiento hacia abajo de material con poco movimiento horizontal (Thornbury, 1966). La causa más común es la remoción lenta de material debajo de la masa que se hundirá.

Contingencia: Posibilidad de ocurrencia de una calamidad que permite preverla y estimar la evolución y la probable intensidad de sus efectos si las condiciones se mantienen invariables.

Cuenca: Es un área que tiene una salida única para su escurrimiento superficial. En otros términos, una cuenca es la totalidad del área drenada por un río o su afluente, tal que todo el escurrimiento natural originado en dicha área es descargado a través de una única salida.

Daño: La pérdida o menoscabo sufrido en la integridad o en el patrimonio de una persona determinada o entidad pública como consecuencia de los actos u omisiones en la realización de las actividades con incidencia ambiental. Por lo que deberá entenderse como daño a la salud de la persona, la incapacidad, enfermedad, el deterioro, menoscabo, la muerte o cualquier otro efecto negativo que se le ocasione directa o indirectamente por la exposición a materiales o residuos, o bien, daño al ambiente, por la liberación, descarga, desecho, infiltración o incorporación de uno o más materiales o residuos en el agua, el suelo, el subsuelo, en los mantos freáticos o en cualquier otro elemento natural.

Derrumbe: Fenómeno geológico que consiste en la caída libre y en el rodamiento de materiales en forma abrupta, a partir de cortes verticales o casi verticales de terrenos en desnivel. Se diferencia de los deslizamientos por ser la caída libre su principal forma de movimiento y por no existir una bien marcada superficie de deslizamiento. Los derrumbes pueden ser tanto de roca como de suelos; generalmente, los de suelo no son de gran magnitud, en cambio los de roca sí pueden producirse en grandes riscos y desniveles.

Derrumbamientos de detritos: El volumen de la masa está constituido por detrito rocoso, contienen más agua que los deslizamientos de detritos.

Deslizamientos: El término fue empleado por Sharpe (1938; en Thornbury, 1966) como una denominación genética para varios tipos de movimiento en masa de detritos de rocas. Se reconocen cinco tipos de deslizamientos.

Deslizamiento de detritos: Son movimientos terrosos o resbalamiento de suelos, no muestran rotación hacia atrás. La cantidad de agua generalmente es poca.

Deslizamientos de rocas: Son masas de sustrato que se deslizan o resbalan a lo largo de lo que, en general, son superficies de estratificación diaclasas o fallas.

Desmoronamiento: Es provocado por un movimiento intermitente de masas de tierra o de rocas en una distancia corta, e involucra una rotación de la masa o las masas en cuestión.

Desprendimientos o volcaduras de rocas: Son más rápidos, y por lo común fluyen a lo largo de valles. Aquí el agua actúa como agente preparador del proceso al aumentar el tamaño de las grietas, lo que permite la separación y caída del bloque; ocurren en pendientes muy abruptas, casi verticales.

Desastre: El evento determinado en tiempo y espacio en el cual, la sociedad o una parte de ella, sufre daños severos tales como: pérdida de vidas, lesiones en la integridad física de las personas, daño a la salud, afectación de la planta productiva, daños materiales, daños al medio ambiente o imposibilidad para la prestación de servicios públicos, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento normal de las actividades de la comunidad. También se le considera calamidad pública.

Epicentro: Punto en la superficie de la Tierra resultado de proyectar sobre ésta el hipocentro de un terremoto. Se encuentran usualmente en un mapa, señalando el lugar justo sobre el origen del movimiento sísmico.

Estación meteorológica: Sitio donde se evalúan las condiciones actuales del tiempo; consta de un espacio con características especiales donde se instalan los instrumentos meteorológicos.

Erosión eólica: Trabajo destructivo del viento que se manifiesta tanto por el arrastre cómo por la dispersión de material arenoso y arcilloso.

Erosión fluvial: Destrucción de las rocas por procesos fluviales que junto con los movimientos gravitacionales conduce a la formación de valles y al rebajamiento de la superficie. El proceso incluye, además de la destrucción mecánica de las rocas, el lavado y laminación de los valles de los ríos y la alteración química de las rocas.

Erosión kárstica: Se produce por el proceso de disolución de rocas carbonatadas. La acción química que se genera debido al ácido carbónico genera formas erosivas como las dolinas, cavernas y otras más, las cuales pueden formarse debido a colapsos y la combinación con procesos de disolución.

Erosión marina: Proceso de destrucción de las costas por acción del oleaje, las mareas y las corrientes de deriva litoral.

Escurrimiento superficial: Parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo.

Falla: Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual ha habido movimiento relativo, es decir, un bloque respecto del otro. Se habla particularmente de falla activa cuando en ella se han localizado focos de sismos o bien, se tienen evidencias de que en tiempos históricos ha habido desplazamientos. El desplazamiento total puede variar de centímetros a kilómetros dependiendo del tiempo durante el cual la falla se ha mantenido activa (años o hasta miles y millones de años). Usualmente, durante un temblor grande, los desplazamientos típicos son de uno o dos metros.

Fractura: Superficie de ruptura en rocas a lo largo de la cual no ha habido movimiento relativo de un bloque respecto del otro.

Frente frío: Se produce cuando una masa de aire frío avanza hacia latitudes menores y su borde delantero se introduce como una cuña entre el suelo y el aire caliente. Al paso de este sistema, se pueden observar nubes de desarrollo vertical (Sc, Cu, Cb), las cuales podrían provocar chubascos o nevadas si la temperatura es muy baja. Durante su desplazamiento la masa de aire que viene desplazando el aire más cálido provoca descensos rápidos en las temperaturas de la región por donde pasa.

Flujo o corriente de lodo: Mezcla de materiales sólidos de diferentes tamaños y agua que se desplazan por efecto de las pendientes del terreno.

Geohidrología (Hidrogeología): Rama de la Geología que se encarga del estudio de los cuerpos de agua en el subsuelo, conocidos como acuíferos.

Geología: Ciencia que se encarga del estudio del origen, evolución y estructura de la Tierra, su dinámica y de la búsqueda y aprovechamiento de los recursos naturales no renovables asociados a su entorno.

Granizada: Fenómeno meteorológico que consiste en la precipitación atmosférica de agua congelada en formas más o menos irregulares.

Granizo: Cristal de hielo, duro y compacto, que se forma en las nubes tormentosas del tipo cumulonimbos.

Helada: Cuando la temperatura ambiente es igual o inferior a o°C.

Huracán: Sistema de vientos con movimientos de rotación, traslación y convección en espiral, semejante a un gigantesco torbellino cuyos fuertes vientos se extienden a cientos de kilómetros sobre las aguas tropicales.

Hundimiento: Dislocación de la corteza terrestre que da lugar a la remoción en sentido vertical de fragmentos de ésta.

Impacto ambiental: Modificación del ambiente ocasionada por la acción del ser humano o de la naturaleza.

Inundación pluvial: Desbordamiento de las aguas del cauce normal del río, cuya capacidad ha sido excedida. Las aguas invaden planicies aledañas, que normalmente no tienen agua. La acumulación de agua de lluvia se da por no tener un drenaje suficiente.

Intensidad (sísmica): Número que se refiere a los efectos de las ondas sísmicas en las construcciones, en el terreno natural y en el comportamiento o actividades del ser humano. Los grados de intensidad sísmica, expresados con números romanos del I al XII, se asignan con base en la escala de Mercalli. Contrasta con el término magnitud, que se refiere a la energía total liberada por el sismo.

Lecho de crecidas máximas: Lecho que se encuentra por encima de los anteriores; en ocasiones no está bien configurado, pero si el agua rebasa este nivel, entonces se presenta un proceso de desbordamiento del río.

Llanura de inundación: Es la zona que el río inunda durante la época de lluvias; de manera general, sobre este lecho se depositan sedimentos redondeados a los cuales, de manera individual, se les denomina “cantos rodados”, mientras que en conjunto reciben el nombre de “aluvión”.

Licuefacción: Comportamiento pseudolíquido de una o varias capas de suelo provocado por una elevada presión intersticial que genera un movimiento en la superficie. Se manifiesta en arenas sueltas (limosas saturadas o muy finas redondeadas) y se localiza en zonas costeras, sobre las riberas o llanuras inundables de los ríos (Ortiz y Zamorano, 1998). Es importante determinar si el espesor de la arena en el terreno tiende de 1 a 10 metros, y si el agua subterránea se localiza a menos de 10 metros de profundidad, pues todos estos aspectos indican zonas potenciales a la licuefacción, en caso de que ocurra un sismo.

Magnitud (de un sismo): Valor relacionado con la cantidad de energía liberada por el sismo. Dicho valor no depende, como la intensidad, de la presencia de pobladores que observen y describan los múltiples efectos

del sismo en una localidad dada. Para determinar la magnitud se utilizan, necesariamente uno o varios registros de sismógrafos y una escala estrictamente cuantitativa, sin límites superior ni inferior. Una de las escalas más conocidas es la de Richter, aunque en la actualidad frecuentemente se utilizan otras como la de ondas superficiales (Ms) o de momento sísmico (Mw).

Masa de aire: Volumen extenso de la atmósfera cuyas propiedades físicas (en particular la temperatura y la humedad) muestran, en un plano horizontal, sólo diferencias pequeñas y graduales. Una masa puede cubrir una región de varios millones de kilómetros cuadrados y poseer varios kilómetros de espesor.

Meteorología: Ciencia que estudia los fenómenos que se producen en la atmósfera, sus causas y sus mecanismos.

Milibares: Unidad de presión habitual en meteorología. Sus equivalencias son: 1013 milibares = 1 atmósfera = 760 mm de Hg=1033,6 gramos sobre centímetros cuadrados.

Mitigación: Acción orientada a disminuir la intensidad de los efectos que produce el impacto de las calamidades en la sociedad y en el medio ambiente; es decir, todo aquello que aminora la magnitud de un desastre en el sistema afectable.

Nevada: Precipitación atmosférica sólida en pequeños cristales de hielo en forma hexagonal o estrellada que se reúnen en grupos formando copos. Este tipo de fenómeno ocurre por influencia de las corrientes frías provenientes del norte, cuando las condiciones de temperatura y presión referidas a la altitud de un lugar y el cambio de humedad en el ambiente se conjugan para provocar la precipitación de nieve.

Ola de calor: Calentamiento importante del aire o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa; suele durar de unos días a una semana.

Peligro: Probabilidad de que se produzca un daño, originado por un fenómeno perturbador.

Periodo de retorno: Es el tiempo medio, expresado en años, que tiene que transcurrir para que ocurra un evento en que se exceda una medida dada.

Plan de contingencia: Función del subprograma de auxilio e instrumento principal de que disponen los centros nacional, estatal o municipal de operaciones para dar una respuesta oportuna, adecuada y coordinada a una situación de emergencia.

Precipitación: Partículas de agua en estado líquido o sólido que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre.

Prevención: Conjunto de acciones y mecanismos tendientes a reducir riesgos, así como evitar o disminuir los efectos del impacto destructivo de los fenómenos perturbadores sobre la vida y bienes de la población, la planta productiva, los servicios públicos y el medio ambiente.

Protección: El conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar su deterioro.

Regionalización hidrológica: Procedimientos que permiten la estimación de una variable hidrológica (habitualmente el caudal) en un sitio donde no existe (o existe poca) información a partir de otros sitios que cuentan con dicha información

Rehabilitación: El conjunto de acciones tendientes en hacer apto y retornar un lugar a las condiciones funcionales ambientales originales.

Reptación o arrastre: Es un movimiento lento, de partículas de suelo y/o de fragmentos de rocas que también se denomina *deflucción* o *creep*.

Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlos nuevamente en el proceso que lo generó.

Riesgo: El riesgo es el resultado de tres factores: exposición, vulnerabilidad y peligro.

Sequía: Situación climatológica anormal que se da por la falta de precipitación en una zona, durante un periodo prolongado. Esta ausencia de lluvia presenta la condición de anómala cuando ocurre en el periodo normal de precipitaciones para una región bien determinada. Para declarar que existe sequía en una zona, debe tenerse primero un estudio de sus condiciones climatológicas.

Siniestro: Hecho funesto, daño grave, destrucción fortuita o pérdida importante que sufren los seres humanos en sus personas o sus bienes, causado por la presencia de un agente perturbador o calamidad.

Sismicidad: La ocurrencia de terremotos de cualquier magnitud en un espacio y periodo dados.

Susceptibilidad: Probabilidad de que ocurra un fenómeno natural en un área determinada, independientemente de que esté habitada o deshabitada. Es la probabilidad de que ocurra el fenómeno en función de su recurrencia o frecuencia en un determinado periodo.

Talud: Declive de un muro o terreno.

Tectónica: Teoría del movimiento e interacción de placas que explica la ocurrencia de los terremotos, volcanes y formación de montañas como consecuencias de grandes movimientos superficiales horizontales.

Terremoto (sismo o temblor): Vibraciones de la Tierra causadas por el paso de ondas sísmicas irradiadas desde una fuente de energía elástica.

Tormenta eléctrica: Precipitación en forma tempestuosa, acompañada por vientos fuertes y rayos, que es provocada por una nube del género cumulonimbos.

Tránsito de avenidas: El tránsito de avenidas brinda un conjunto de métodos para describir y predecir el movimiento del agua de un punto a otro a lo largo de un río.

Tsunami (o maremoto): Ola con altura y penetración tierra adentro superiores a las ordinarias, generalmente causada por movimientos del suelo oceánico en sentido vertical, asociado a la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud con epicentro en una región oceánica.

Vulnerabilidad: Se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un sistema perturbador, es decir el grado de pérdidas esperadas.

Zonificación: El instrumento técnico de planeación que puede ser utilizado en el establecimiento de las áreas naturales protegidas, que permite ordenar su territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación natural del terreno, de su uso actual y potencial, de conformidad con los objetivos dispuestos en la misma declaratoria. Asimismo, existirá una subzonificación, la cual consiste en el instrumento técnico y dinámico de planeación que se establecerá en el programa de manejo respectivo, y que es utilizado en el manejo de las áreas naturales protegidas, con el fin de ordenar detalladamente las zonas núcleo y de amortiguamiento, previamente establecidas mediante la declaratoria correspondiente.

REFERENCIAS

Alberro, J., y Hernández, R., 1990. "En el Subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de cimentaciones a 5 años del sismo", en Ovando, E. y González, F. (eds.), Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, AC., Ciudad de México, pp. 95-108.

Aceves-Quesada, J.F., Díaz-Salgado, J., López-Blanco, J., 2007. *Vulnerability assessment in a volcanic risk evaluation in Central Mexico through a multi-criteria-GIS approach: Natural Hazards*, 40(2), pp. 339-356.

Aguirre-Díaz, G.J., López-Martínez, M., 2009. "Geologic evolution of the Donguinyó-Huichapan caldera complex, central Mexican Volcanic Belt, Mexico", en *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 179(1-2), pp. 133-148.

Aguilera, J., Ordóñez, E., 1895. *Expedición científica al Popocatépetl: México, Oficina de la Secretaría de fomento*, Comisión Geológica Mexicana, México, p 48.

Annen, C., Wagner, J.J., 2003. "The impact of volcanic eruptions during the 1990s", en *Natural Hazards Review*, 4, pp. 169-175.

Arellano-Gil, J., Velasco-de León, P., Silva-Pineda, A., Salvador-Flores, R., Beltrán-Romero, F., 2005. "Origen y características geológicas del paleo-lago de Amajac, Hidalgo", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(2), pp. 199-211.

Aronoff, S., 1989. *Geographic information systems: a management perspective: Ottawa, Canada*, WDL Publications, p. 294.

American Academy of Family Physicians, (2019). https://es.familydoctor.org/condicion/envenenamiento/.

Berguería, S., Lorente, A., 1999. "Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo aragonés occidental", en Geographicalia, 37, pp. 17-36.

Biass, S., Frischknecht, C., Bonadonna, C., 2013. "A fast GIS-based risk assessment for tephra fallout: The example of Cotopaxi volcano, Ecuador!, en *Natural Hazards*, 65, pp. 497-521.

Brunsden. D., 1984. "Mudslides, in Brunsden", en *Slope Instability Wiley & Sons*, D. y D. &. Prior (eds.), Chichester, England, pp. 363-418.

Cadoux, A., Missenard, Y., Martínez-Serrano, R.G., Guillou, H., 2011. "Trenchward Plio-Quaternary volcanism migration in the Trans-Mexican Volcanic Belt: the case of the Sierra Nevada range", en *Geological Magazine*, v. 148, pp. 492-506.

Carrillo-Bravo, B.J., 1971. "La plataforma Valles-San Luis Potosí", en *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, vol. 23, p. 110.

_____, 1988. *Reconocimiento geológico preliminar de la porción central del Altiplano Mexicano*, PEMEX (inédito).

Carrasco, B., 1970. "La Formación Tamabra (formación El Doctor) en la Plataforma Valles-San Luis Potosí", en *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, vol. 2(3), pp. 97-99.

Carrasco, G., 1985. *Estudio geológico del Volcán Popocatépetl: México D.F.*, tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, p. 41.

Casal, J., Montiel, H., Planas, E., Vílchez, J, 2009. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Edicions UPC-Universitat Politécnica de Catalunya, Barcelona.

Casas-Castillo, M.C., Alarcón-Jordán, M., 1999. *Meteorología y clima*, Ediciones Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, p. 155.

Castro-García, A., Córdoba-Méndez, D.A., 1994. *Estratigrafía del área volcánica de Tulancingo, Hidalgo, México*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pancromo 23, vol. 1(1), pp. 26-39.

Cantagrel, J.M., Robin, C., 1979. K-Ar Dating of eastern Mexican volcanic rocks-relations between the andesitic and alkaline provinces: Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 5, 99-114.

Centers for Disease Control and Prevention, 2020. *Healtcare Professionals: Frequently Asked Questions and Answers*, https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/faq.html/ [Consultado el 27 de abril de 2020].

Cerca-Martínez, M., Ferrari, L., Chávez-Cabello, G., Calmus, T., 2004. "La Orogenia Laramide en México: edad y cinemática de la deformación y magmatismo asociado", en *Geos*, 24(2), pp. 306-311.

Clínica Universidad de Navarra (CUN). (2019). https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/envenenamiento.

Corominas, J., Moya, J., Masachs, I., Baeza, C., Hürlimann, M., 2004. "Identificación de episodios de reactivación en grandes deslizamientos pirenaicos mediante técnicas dendrocronológicas. VIII Reunión Nacional de Geomorfología", en *Riesgos naturales y antrópicos en geomorfología*, G. Benito y A. Díez-Herrero (eds), Sociedad Española de Geomorfología, pp. 403-411.

Corporación Química Venezolana, 1997. Hoja de seguridad, http://www.uacj.mx/IIT/CICTA/Documents/Quimicos/metanol.pdf.

_____, 2007. Hoja de seguridad, Glicerina, http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/glicerol.pdf.

Chepil, W.S., Woddruff, N.P., 1963. The physics of wind erosion and its control: Advances in Agronomy, 15, pp. 211-302.

_____, Siddoway, F.H., Armbrust, D.V., 1962. "Climatic Factor for Estimating Wind Erodibility of Fram Fields", en *Journal of Soil and Water Conservation*, 17, pp. 162-165.

Company, U.S., 2015. Hoja de datos de seguridad. Identificación Silica. http://www.ussilica.com/sites/ussilica.com/files/Silica-SDS-Spanish.pdf.

Crozier. M. J., 1973. "Techniques for the morphometric analysis of landslips", en *Zeitschrifl fur Geomorphologie*, 17, pp. 78-101.

Cruden, D.M., 1991. "A simple definition of a landslide", en *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, pp. 27-29.

Cruden D.M., D.J. Varnes, 1996. "Landslides types and processes, in Turner, A. K. y R. L. Schuster (eds.), Landslides", en *Investigation and Mitigation. Transportation Research Board. Special report 247*, Natibnal Academy Press, Washington D.C., pp. 36-75.

Cutter, S.L., Boruff, B.J., Shirley, W.L., 2003. "Social vulnerability to environmental hazards", en *Social Science Quarterly*, 84(2), pp. 242-261.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Departamento del Distrito Federal, 1992. *Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua*, cuarta edición, Secretaría General de Obras, México D.F.

Dickerson-Lange, S.E., Gersonde, F., Hubbart, J.A., Link, T.E., Nolin, A.W., Perry, G.H., Roth, T.R., Wayand, N.E., Lundquist, J.D., 2017. "Snow disappearance timing is dominated by forest effects on snow accumulation in warm winter climates of the Pacific Northwest, United States", en *Hydrological Processes*, 31(1), pp. 1846-1862.

De Fina, A.L., Ravelo, A.C., 1979. *Climatología y fenología agrícolas*, tercera edición, Editorial Eudeba, Buenos Aires, p. 372.

De la Cruz, M.V., Castillo-Hernández, D., 1986. "Estudio geológico de la zona geotérmica de la caldera de Acoculco, Puebla", en *Reporte interno*, Comisión Federal de Electricidad-GPG 36/86, p. 23.

Delgado-Granados, H., Piedad, N., Cárdenas, L., 2001. "Sulfur dioxide emissions from Popocatepetl volcano (Mexico): Case study of a high-flux passively-degassing erupting volcano" en *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 108, pp. 107-120.

Demant, A., 1978. "Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación", en *Revista del Instituto de Geología*, 2, pp. 172-187.

_____, 1981, *El Eje Neovolcánico Mexicano, estudio volcánico y petrológico-significado geodinámico*, tesis doctoral, Universidad de Droit, Marsella, p. 259.

Donato, P., Barba, L., De Rosa, R., Niceforo, G., Pastrana, A., Donato, S., Lanzafame, G., Mancini, L., Crisci, G.M., 2018. "Green, gray, and black: A comparative study of Sierra de las Navajas (Mexico) and Lipari (Italy) obsidians", en *Quaternary International*, 467, pp. 369-390.

Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. "Yield response to water", en FAO *Irrigation and Drainage*, FAO, Roma, 33, p. 193.

Dufresne, A., Siebert, L., Bernard, B., Sparks, R.S.J., Takarada, J., Clavero, J., Belousov, A., Belousova, M., 2008. "Volcanic debris avalanche deposit database — a progress report", resumen P09, IAVCEI General Assembly, Reikiavik, Islandia.

Dufresne, A., Salinas, S., Siebe, C., 2010. "Substrate deformation associated with the Jocotitlán edifice collapse and debris avalanche deposit, Central México", en *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 197, pp. 133-148.

Ebert, A., Kerle, N., Stein, A., 2009. "Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air-and space-borne imagery and GIS data", en *Natural Hazards*, 48(2), pp. 275-294.

El Morjani, Z.E.A., Ebener, S., Boos, J., Ghaffar, A., Musani, A., 2007. "Modelling the spatial distribution of fivenatural hazards in the context of the WHO/EMRO atlas of disaster risk as a step towards the reduction of the health impact related to disasters", en *International Journal of Health Geographics*, 6(1), p. 8.

Espíndola-Castro, J. M., 1996. "El vulcanismo", en *Ciencias*, pp. 131-132.

Espinasa, R., 2014. Historia de la actividad del volcán Popocatépetl - 17 años de erupciones, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, www. cenapred.gob.mx [Consultado el 23 de enero de 2020].

FAO, 1980. *A Provisional Methodology for Soil Degradation Assessment, Food and Agriculture*, Naciones Unidas, Roma.

Farrel, A.S., Squeira, B.C., óMeara, B.B. Normark, J.H., Chung, B.H., Jordal, 2001. "The evolution of agriculture in beetles (Curculionidae: Scolytinae adn Platypodinae)", en *Evolution*, 55, pp. 2011-2020.

Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G. and Carrasco-Núñez, G., 1999. "Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico. From the Sierra Madre Occidental to the Mexican volcanic belt", en: *Geology*, 27, pp. 303-306.

Ferrari, 2000. "Avances en el conocimiento de la Faja volcánica Trans-mexicana durante la última década", en *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 23, pp. 84-92.

Fetter, C. W., 1999. *Contaminant Hydrogeology,* segunda edición, reimpresión: 2008, Prentice-Hall, 500 pp..

Fries, C., 1962. "Hoja Pachuca, 14Qe11", en *Carta geológica de México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología..

Francis, C.F., Thornes, J.B., 1990. "Runoff hydrographs from three mediterranean vegetation cover types", en *Vegetation and erosion: processes and environments,* J. Thornes (editor), John Wiley & Sons, Chichester, pp. 363-384.

García, E. V., s.f. Toxicología clínica https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/fhtomo1/cap213.pdf.

García-Cueto, R., Tejada-Martínez, A., Jáuregui-Ostos, E., 2008. *Downscaling estadístico aplicado a las ondas de calor en una ciudad árida del noroeste de México y estimación del efecto del cambio climático global*, Repositorio de la Agencia Estatal de Meteorología, España, pp. 531-541.

García-Cueto, O.R., Tejeda, M.A., Jáuregui, E., 2010. "Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of Mexico: current trends and in climate change scenarios": *International Journal of Biometeorology,* 54(4), pp. 36-46.

García-Tovar, G.P., and Martínez-Serrano, R.G., 2011. "Geología y geoquímica de las lavas pleistocénicas del estratovolcán Telapón, Sierra Nevada", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 28, pp. 301-322.

García-Tovar, G.P., Martínez-Serrano, R.G., Solé, J., Correa-Tello, J.C., Núñez-Castillo, E.Y., Monroy Rodríguez, E., 2015. "Geología, Geocronología y geoquímica del vulcanismo Plio-Cuaternario del Campo Volcánico Apan-Tecocomulco, Faja Volcánica Trans-Mexicana", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(2), pp. 100-122.

García-Tenorio, F., 2002. *Estratigrafía y petrografía del complejo volcánico Iztaccíhuatl* tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México, p. 149.

García-Tenorio, F., 2008, *Avalancha de Escombros del Pleistoceno Tardío Del Cono Los Pies, Complejo Volcánico Iztaccíhuatl,* tesis de maestría, Posgrado en Geología, ESIA- IPN, p 147.

García-Palomo, A., Macías, J.L., Tolson, G., Valdéz, G., Mora, J.C., 2002. "Volcanic stratigraphy and geologic evolution of the Apan region, east-central sector of the Trans-Mexican Volcanic Belt", en *Geofísica Internacional*, vol.41, pp. 133-150.

Gobierno del Estado de Hidalgo, 2017. *Anuario geoestadístico de Hidalgo 2017*, INEGI, p. 674.

González-Sprinberg, G., Rabin-Lema, C., 2011. Para entender las radiaciones. DIRAC, Facultad de Ciencias, http://divnuclear.fisica.edu.uy/libro/Para_entender_las_radiaciones.pdf.

Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, T., Ferrari, L., 2005. "Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana", en *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, LVII (3), pp. 227-283.

Giardini, D., 1999. "The global seismic hazard assessment program (GSHAP) – 1992/1999", en *Annali di Geosifica*, 42 (6), pp. 957-974.

Geyne, A.R., Fires, C., Segerstrom, K., Black, R.F., Wilson, I.F., 1963. "Geología y yacimientos minerales del Distrito de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México", en *Publicación 5 E,* Consejo de Recursos Naturales no Renovables, México, p. 223.

Guevara-Ortíz, E., Quass-Weppen, R., Fernández-Villagómez, G., 2006. *Lineamientos generales para la elaboración de Atlas de riesgos*, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., p. 87.

Guevara, E., Quaas, R., Castelán, G., Ortiz, J., Vázquez, J., Morquecho, C., Alarcón, A., Martínez, A., Gómez, A., Espitia, G., Alonso, P., Cárdenas, L., 2003. "Instrumentación y monitoreo del volcán Popocatépetl", en *Informes técnicos,* Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, p. 102.

Grove, A.T., Rackham, O, 2001. *The nature of Mediterranean Europe: an ecological history.* Yale University Press, New Haven.

Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y., 2005. "Impact of plant roots on the resistance of soil to erosion by water. A review", en *Progress in Physical Geography*, 29(2), pp. 189-217.

Hauser, A., 1993, "Remociones en Masa en Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería", en *Boletín 45*, Santiago de Chile.

Hernández-Vergara, R., 1988. *Mapas y planos de México Siglos XVI al XIX.* INEGI-INAH, Aguascalientes.

Hernández-Avelino, I., 2008. *Caracterización geológica y petrológica de la estructura circular mezquital (Estado de Hidalgo) y su posible riesgo geológico*, tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, México, p. 177.

Heredia, U.N., 2016. Escuela de Química. Hoja de seguridad Sulfato de Sodio, http://www.quimica.una.ac.cr/index.php/documentos-electronicos/category/13-hojas-de-seguridad?download=340:sulfato-de-sodio&start=240.

Hellström, T., 2007. "Critical infrastructure and systemic vulnerability: towards a planning framework", en *Safety Science*, 45(3), 415-430.

Highland, L., Bobrowsky, P., 2008. "The Landslide Handbook – A guide to understanding landslides", en *Circular 1325*, United States Geological Survey, p. 129.

Horton, R.E., 1945. "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology" en *Bulletin of the Geological Society of America*, 56, pp. 275-370.

IPCS, 2010. Fichas Internacionales de Seguridad Química. Hidróxido de Potasio https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nspn0357.pdf.

Inbar, M., Ostera, H.A., Parica, C.A., Remesal, M.B., Salani, F.M., 1995. "Environmental assessment of 1991 Hudson volcano eruption ashfall effects on southern Patagonia region, Argentina", en *Environmental Geology*, 25(2), 119-125.

Interpol, 2019. Terrorismo, https://www.interpol.int/es/Delitos/Terrorismo.

Instituto Municipal de Planeación de Chihuahua, 2017. Identificación de peligros antropogénicoshttp://www.municipiochihuahua.gob.mx/transparenciaarchivos/1er%20Trimestre%202017/Art%2079%20fracc.%20VI/inciso%20A/PDU%202040%20(2009)/Atlas%20de%20Riesgos/Documento%20completo/X.%20Identificacion%20de%20Peligros%20Antropogenicos.pdf.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística, 2010. Censo de Población y Vivienda: Tabulados básicos y principales resultados por localidad (ITER, 2010), recurso en línea, www.inegi.gob.mx [Consultado el 05 de junio de 2019].

_____, 2011. Perspectiva estadística de Hidalgo, recurso en línea, http//goo.gl/w2Amwx [Consultado el 10 de junio de 2019].

_____, 2015. Encuesta Intercensal: Tabulados básicos y principales resultados por localidad (ITER, 2015), www.inegi.gob.mx [Consultado el 05 de junio de 2019].

Ibáñez, J.J., 28 de enero de 2019. Madrid Blogs, https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2019/01/28/149255.

Jenks, G.F., 1967. "The data model concept in statistical mapping", en *International Yearbook Cartography*, 7, pp. 186-190.

Ledezma-Guerrero, O., 1987. "Hoja Calpulalpan 14Q-h (3). Resumen de la geología de la hoja Calpulalpan, Estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo", en *Cartas Geológicas de México serie 1:50,000*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1 mapa con texto.

Legrá-Lobaina, A., Atanes-Beatón, D.M., Guilarte-Fuentes, C., 2014. "Contribución al método de interpolación lineal con triangulación de Delaunay", en *Minería y Geología*, 30(2), pp. 58-72.

Lighthart, A., 2004. "The Pachuca obsidian source, Hidalgo, Mexico: A Geoarchaeological perspective": *Geoarchaeology: An International Journey*, 19, pp. 71-91.

López-Hernández, A., 2009. *Evolución volcánica del Complejo Tulancingo-Acoculco y su sistema hidrotermal, estados de Hidalgo y Puebla, México*, Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 170.

López-Pizaña, J., F, 2012. *Estudio vulcanológico de los depósitos de flujos de Bloques y Cenizas "San Francisco" y "Chicoloapan" del sector Sur-Oeste del Complejo Volcánico Tláloc-Telapón*, tesis de licenciatura, IPN-ESIA, Ticomán.

Lyles, L., 1977. "Wind erosion: Processes and Effect on Soil productivity", en *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 20 (5), pp. 880-884.

Macías, J., 2005. "Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México", en *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, 57(3), pp. 379-424.

Milán, M., Yánez, C., Navarro, I., Verma, S.P., Carrasco-Núñez, G., 1993. "Geología y geoquímica de elementos mayores de la caldera de Huichapan, Hidalgo, México", en *Geofísica Internacional*, vol. 32(2), pp. 261-276.

Millard, G.A., Mather, T.A., Pyle, D.M., Rose, W.I., Thornton, B., 2006. "Halogen emissions from a small volcanic eruption: modeling the peak concentrations, dispersion, and volcanically induced ozone loss in the stratosphere", en *Geophysical Research Letters*, 33, pp. 33-34.

Moteff, J., Copeland, C., Fischer, J., 2003. "Critical infrastructures: what makes an infrastructure critical?", en *Report for Congress RL31556*, Congressional Research Service, Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos, Washington, D.C. [Acceso el 19 de Abril de 2019.]

Mooser, F., Meyer-Abich, H., McBirney, A.R., 1958. "Catalogue of the active volcanoes of the world, including Solfatara fi elds: Part VI, Central America" en *Napoli International Volcanological Association*, p. 26-30.

Nelson, S.A., Lighthart, A., 1997. "Field excursion to the Sierra Las Navajas, Hidalgo, México, a Pleistocene peralkaline rhyolite complex with a large debris avalanche deposit", en *Guía de las excursiones geológicas, mayo-junio de 1997: II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados, Pachuca, Hgo.*, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de la UAEH e Instituto de Geología de la UNAM Pachuca, Hgo. excursión 4, 84-86.

Nixon, G.T., 1989. "The geology of Iztaccíhuatl volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of Mexico", en *Special Paper 219*, Geological Society of America p. 58.

Núñez-Cornú, F. J., Ortíz, M., Sánchez, J.J., Suárez-Plascencia, C., 2008. "El terremoto de San Sixto y el grantsunami de 1787 en la costa sur de México", en *Memorias de la Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana*, GEOS, 28 (2), pp. 204-205.

Okal, E.A., Borrero, J.C., 2011. "The 'tsunami earthquake' of 22 June 1932 in Manzanillo, Mexico: seismological study and tsunami simulations", en *Geophysical Journal International*, 187, pp. 1443-1459.

Priego-Vargas, J., Bravo-Cuevas, V.M., 2016. "El registro fósil de caballos en el Estado de Hidalgo", en *Herreriana*, vol. 12(1), pp. 13-18.

Potapov, P., Yaroshenko, A., Turubanova, S., Dubinin, M., Laestadius, L., Thies, C., Aksenov, D., Egorov, A., Yesipova, Y., Glushkov, I., Karpachevskiy, M., Kostikova, A., Manisha, A., Tsybikova, E., Zhuravleva, I., 2008. "Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing", en *Ecology and Society*, 13(2), p. 51.

Robin, C., 1976. "El vulcanismo en las Planicies de la Huasteca (este de México). Datos geoquímicos y petrográficos", en *Boletín del Instituto de Geología*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, vol. 96.

Robin, C., 1984. "Le Volcan Popocatepetl (Mexique): structure, evolution pétrologiquemet risques" en *Bulletin volcanologique*, 47 (1), pp. 1-23.

Robinson, P.J., 2001. "On the definition of a Heat Wave", en *Journal of Applied Meteorology*, 40, pp. 762-775.

Robock, A., 2000. "Volcanic eruptions and climate", en *Reviews of Geophy-*

sics, 38(2), pp. 191-219.

Rubiano, D. y Ramírez, F., 2009. *Incorporando la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión territorial. Guía técnica para la interpretación y aplicación del análisis de amenazas y riesgos. San Isidro-Perú: Predecan*, Secretaría General de la Comunidad Andina.

Rueda, H., Arce, J.L., Macías, J.L., García-Palomo, A., 2006. "~31 ka Plinian-subplinian eruption at Tláloc Volcano, Sierra Nevada, México", en *Fall Meeting Supplement, Abstract*, Eos Transactions, American Geophysical Union, V33B-0668, v. 87 (52).

Sabat, J., 1982. "Common and uncommon selectivity in the process of fluid transportation: field observations and laboratory experiments on bare surfaces", en *Catena Supplement*, 1, pp. 139-610.

Sala, M., Rubio, J.L., García-Ruiz, J.M., 1991. *Soil erosion studies in Spain.* Geoforma Ediciones, Logroño, España.

Salvador-Flores, R., 2001. *Origen, sedimentología y estratigrafía del paleo-lago de Amajac, Hidalgo,* tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 94.

Safina, S., 1998. *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Revisión del estado del arte,* Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Safina, S., Pujades, L., Roca, A., 2002. "Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems", en *Report of the working group of the European Association of Earthquake Engineering*, Proceedings of the 8th ECEE, Lisboa, Portugal.

Saaty, T. H., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting*, McGraw-Hill, New York.

Sánchez-Rojas, E., Osorio-Pérez, M., 2008. "Geología y petrogénesis de los Prismas Basálticos, Santa María Regla, Hgo" en *GeoCiencia, Revista del Servicio Geológico Mexicano*, 3, pp. 5-24.

Segerstrom, K., 1962. "Geology of south-central Hidalgo and northeastern Mexico, Mexico", en *United States Geologycal Survey Bulletin*, vol. 1036-C, pp. 19-56.

Sedatu, 2016. *Términos de referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o riesgos 2016,* Subsecretaria de Ordenamiento Territorial, p. 121.

Servicio Geológico Mexicano, 1997. *Carta Geológico-Minera Pachuca F14-11*, 1:250,000, SGM, Pachuca, Hidalgo.

_____, 2007. *Carta Geológico-Minera Pachuca F14-D8*, 1:50,000, SGM, Pachuca, Hidalgo.

SEAOC, 1995. *Vision 2000. Report on performance based seismic engineering of buildings*, Structural Engineers Association of California, Sacramento, California.

Servicio de Toxicología del Sanatorio de Niños, http://www.sertox.com.ar/modules.php?name=Encyclopedia&op=content&tid=1 [Consultado el 24 de julio de 2019].

Selby. M. J., 1993. *Hillslope materials and processes*, Oxford University Press, Oxford.

Siebe, C., Macías, J.L., Abrams, M., Rodríguez, S., Castro, R., Delgado, H., 1995. "Quaternary explosive volcanism and pyroclastic deposits in east central Mexico: Implications for future hazards", en *Field Trip Guide Book #1*, Geological Society of America Annual Meeting 1995, Nueva Orleans, Luisiana, , pp. 1-48.

Sheridan, M., Hubbard, B., Bursik, M., Abrams, M., Siebe, C., Macías, J., Delgado, H., 2001. Gauging short-term volcanic hazards at Popocatepetl: *EOS*, Transactions American Geophysical Union, 82(16), pp. 185-189.

Silva-Mora, L., 1989. "Geología volcánica y carácter químico preliminar de las rocas de la región Tula-Polotitlán, estados de Hidalgo, México y Querétaro, México", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 14(1), pp. 50-77.

Solana-López, J., 2010. *Geología regional y petrogénesis del vulcanismo silícico de la región circundante a la región de Tulancingo, estado de Hidalgo,* tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 108.

Stephen, N., Alyson, L., 1997. "Field excursion to the Sierra Las Navajas, Mexico a Pleistocene peralkaline rhyolite with debris avalanche deposit", en *Libro guía de las excursiones geológicas*, II Convención sobre la evolución geológica de México.

Strahler, A.N., 1957. "Quantitative analysis of watershed geomorphology", en *Transactions American Geophysical Union*, 38, pp. 920-931.

Suter, M., 1980. "Tectonics of the external part of the Sierra Madre Oriental foreland. Thrust-and-fold belt between Xilitla and Moctezuma river (Hidalgo and San Luis Porosí States)", en *Revista del Instituto de Geología*, vol. 4, pp. 19-31.

_____, 1990. "Hoja Tamazunchale 14Q-E (5)", en *Geología de la hoja Tamazunchale, estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí*, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, texto explicativo, p. 54.

Terzaghi. K., 1950. *Mechanisms of landslides: Geological Society of America*, Berkeley Volume, pp. 83-123.

Torrieri, F., 2002. "Decision support tools for urban contingency policy. A scenario approach to risk management of the Vesuvio Area in Naples, Italy", en *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 10 (2), pp. 95-112.

Valadez-Cabrera, S., 2012. "Caracterización petrológica del campo volcánico, Xihuingo-La Paila, Estado de Hidalgo": tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 139.

Vázquez-Sánchez, E., Jaimes-Palomera, L.R., 1989. "Geología de la cuenca de México", en *Geofísica Internacional*, 28, pp. 133-190.

Varnes, D.J., 1978. "Slope movement types and processes. In Special Report 176: Landslides", en *Analysis and control,* Schuster, R.L., Krizek, R.J (eds.), Transportation and Road research board, National Academy of Science, Washington D.C. pp. 11-33.

Vidal, R., García, V., 2007. Amenazas climáticas: Nevadas históricas I y II, carta NA-XIV6, Sección Naturaleza, México *Nuevo Atlas Nacional de México*, UNAM, 2007. Escala 1:16,000,000.

Villa, F., McLeod, H., 2002. "Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decisionmaking: guidelines and applications", en *Environmental Management*, 29(3), pp. 335-348.

Waltham, T., 1989. *Ground Subsidence,* Blackie Editorial, Michigan University, p. 202.

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., 2004. *At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters*, Editorial Routledge, Londres, RU, pp. 464.

Wilson, T., Cole, J., Cronin, S., Stewart, C., Johnston, D., 2011a. "Impacts on agriculture following the 1991 eruption of Vulcan Hudson, Patagonia: lessons for recovery", en *Natural Hazards*, 57, pp. 185-212.

_____, 2011b. "Ash storms: impacts of wind-remobilized volcanic ash on rural communities and agriculture following the 1991 Hudson eruption, southern Patagonia, Chile", en *Bulletin of Volcanology*, 73, pp. 223-239.

Williams, L.R.R., Kapustka, L.A., 2000. "Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components", en *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19 (4), pp. 1055-1058.

WDPA, 2019. World database on protected areas. http://www.protectedplanet.net [Consultado el 08 de abril de 2019].

Woodruff, N. P., Siddoway, F.H., 1965. "A Wind Erosion Equation" en *Soil Science Society of America Proceedings*, 29, 602-608.

Wood, L., 1982. "The bark and ambrosia beetles of North and Central America *(Coleoptera: Scolytidae)*, a taxonomic monograph", en *Great Basin Natural Memories*, 6, 1-135.

Organización Mundial de la Salud, 2020. Coronavirus disease (COVID-2019) situated reports. https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports/ [Consultado el 27 de abril de 2020].

Yagüe, C., Martija, M., Torres, J., Maldonado, A.I., Zurita, E., 2006. "Análisis estadístico de las ondas de calor y frío en España", en *XXIX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española,* Asociación Meteorológica Española, pp. 1-6.

Zagal, J., 1996. "Método de evaluación de riesgos en accidentes químicos", en *Memorias del Simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos: Un resto para el siglo xxi*, OPS/OMS, División de Salud y Ambiente, Programa de preparativos para situaciones de emergencia y coordinación de socorro en casos de desastre, México.

Zamorano-Orozco, J.J., Tanarro-García, L.M., Lugo-Hubp, J., Sánchez-Rubio, G., 2005. "Evolución geológica y geomorfológica del complejo dómico de Los Pitos, norte de la cuenca de México", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19(1), pp. 66-79.

Zhou, C., Su, F., Pei, T., Zhang, A., Du, Y., Luo, B., Cao, Z., Wang, J., Yuan, W., Zhu, Y., Song, C., Chen, J., Xu, J., Li, F., Ma, T., Jiang, L., Yan, F., Yi, J., Hu, Y., Liao, Y., Xiao, H., 2020. COVID-19: Challenges to GIS With Big Data, Geography and Sustainability, https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.03.005.

Atlas de peligros y riesgos del municipio de El Arenal se terminó de imprimir en agosto de 2020, en los talleres de Offset Rebosan S.A. de C.V., Acueducto núm. 115, col. Huipulco, Ciudad de México. En su composición se utilizaron tipografías Centro Sans y Centro Serif.