

Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo, Coahuila, 2014

InformeFinal

Contrato No. MSC-TM-2014-21/1

Instituto Tecnológico y de Estuduios Superiores de Monterrey
Campus Monterrey
Laboratorio de Sistemas de Información Georreferenciada
Av. Eugenio Garza Sada # 2501, Col. Tecnológico
Monterrey, N.L. C.P. 64849.
Tel: (81) 8358 1400, Lilia.teran@itesm.mx

Informe Técnico CCA/LabSIG 2015-01

ÍNDICE

1 Antecedentes e Introducción 1
1.1 Introducción 1
1.2 Antecedentes (máximo 5 cuartillas) 1
1.2.1 Marco Legal 1
1.2.1.1 Leyes Federales 1
1.2.1.2 Leyes Estatales 2
1.2.1.3 Leyes Municipales 2
1.2.2 Talleres de participación ciudadana 2
1.3 Objetivos 3
1.3.1 General 3
1.3.2 Específicos 3
1.4 Alcances 3
1.5 Metodología 3
1.6 Participación Ciudadana 4
1.6.1 La Creación de un Comité Municipal para la Gestión de Información 5
1.6.1.1 Integración del Comité 5
1.6.1.2 Actividades del Comité 5
1.6.1.3 Entrevistas semiestructuradas a ONG´s de la localidad 5
1.6.1.4 Talleres de participación ciudadana 6
2 Determinación de los niveles de Análisis y Representación Cartográfica 9
2.1 Localización y Límites Políticos 9
2.2 Determinación de la Zona de Estudio 9
2.3 Niveles de Análisis 9
3 Caracterización de los elementos del medio natural 13
3.1 Fisiografía 13
3.2 Geomorfología 13
3.3 Geología 17
3.4 Edafología 22
3.5 Hidrografía 22
3.6 Cuencas y Subcuencas 26
3.7 Clima 27
3.8 Uso de Suelo y Vegetación 27
3.9 Áreas Naturales Protegidas 31
4 Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos 33
4.1.2 Población 33
4.1 Demografía 37
4.1.1 Dinámica Demográfica 37
4.1.2 Proyección de la población según CONAPO. 37
4.1.3 Distribución de la Población 40
4.1.4 Pirámide de edades 40
4.1.5 Mortalidad 41
4.1.6 Densidad de Población 42
4.2 Caracterización Social 42
4.2.1 Escolaridad 42
4.2.2 Hacinamiento 42
4.2.3 Población con discapacidad 46
4.2.4 Marginación y Pobreza 46

4.3 Actividades Económicas....47
5 Identificación de riesgo social, amenazas, peligros, y vulnerabilidad de la población ante fenómenos perturbadores de origen natural....47
5.1 Disponibilidad de datos para la elaboración del Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo, Coahuila....47
5.2 Fenómenos Geológicos....47
5.2.1 Vulcanismo....47
5.2.2 Sismos....60
5.2.3 Tsunamis....66
5.2.4 Inestabilidad de Laderas....69
5.2.4.1 Los tres tipos básicos de deslizamientos....69
5.2.4.2 Metodología....70
5.2.5 Flujos de lodo o Lahares.....98
5.2.6 Caídos o Derrumbes....100
5.2.7 Hundimientos....103
5.2.8 Subsidencia....107
5.2.8.1 Hidrología....108
5.2.8.2 Zonas de Veda....108
5.2.8.3 Litología....111
5.2.8.4 Estructuras....112
5.2.8.5 Minería....112
5.2.8.6 Resultados....112
5.2.9 Agrietamientos....116
5.3 Fenómenos Hidrometeorológicos....120
5.3.1 Ondas Cálidas o Gélidas....120
5.3.1.1 Ondas Cálidas....120
5.3.1.2 Ondas Gélidas....126
5.3.2 Sequías....130
5.3.2.1 Aridez....139
5.3.3 Heladas....146
5.3.4 Tormentas de Granizo....149
5.3.5 Tormentas de Nieve....156
5.3.6 Ciclones Tropicales....160
5.3.7 Tornados....164
5.3.7.1 Registros de tornados en Saltillo y cercanías.....164
5.3.8 Tormentas de Polvo....167
5.3.8.1 Vientos....167
5.3.8.2 Tormentas de polvo....170
5.3.9 Tormentas Eléctricas....173
5.3.10 Lluvias Extremas....181
5.3.11 Inundaciones Fluviales....193
5.3.11.1 Problemática....193
5.3.11.2 Modelación....211
5.3.11.3 Resultados....242
5.3.12 Inundaciones Pluviales....254
5.3.12.1 Zonas rurales....254
5.3.12.2 Zona Urbana....261
5.4 Vulnerabilidad....266
5.4.1 Índice de Marginación....267
5.4.2 Índice de Dependencia Económica (I.D.E.)....267
5.5 Riesgos....270

5.5.1 Índice de Susceptibilidad a Vulcanismo 271
5.5.2 Índice de Susceptibilidad a Sismos 276
5.5.3 Índice de Susceptibilidad a Tsunamis 277
5.5.4 Riesgo por Inestabilidad de Laderas 278
5.5.4.1 Mapas, Inestabilidad de Laderas 278
5.5.4.2 Riesgo por Inestabilidad de Laderas, Interpretación 288
5.5.5 Índice de Susceptibilidad a Flujos de lodo o Lahares. 292
5.5.6 Índice de Susceptibilidad a Caídos o Derrumbes 294
5.5.6.1 Mapas, Caídos o Derrumbes 294
5.5.6.2 Índice de susceptibilidad a Caídos y Derrumbes, nivel urbano, Interpretación 296
5.5.7 Índice de Susceptibilidad a Hundimientos 297
5.5.7.1 Mapas, Hundimientos 297
5.5.7.2 Índice de Susceptibilidad a Hundimientos, Interpretación 299
5.5.8 Índice de Susceptibilidad a Subsidencia 300
5.5.8.1 Mapas, Subsidencia 300
5.5.8.2 Índice de susceptibilidad Urbano a Subsidencia, Interpretación 302
5.5.9 Índice de Susceptibilidad a Agrietamientos 303
5.5.9.1 Mapas, Agrietamientos 303
5.5.9.2 Índice de susceptibilidad a Agrietamientos, Interpretación 305
5.5.10 Riesgo por Ondas Cálidas o Gélidas 306
5.5.10.1 Mapas, Ondas Cálidas o Gélidas 306
5.5.10.2 Riesgo Urbano por Ondas Cálidas o Gélidas, Interpretación 312
5.5.11 Índice de Susceptibilidad a Sequias 314
5.5.11.1 Mapas, Sequias 314
5.5.11.2 Índice de Susceptibilidad a Sequía, Interpretación 322
5.5.11.3 Índice de susceptibilidad a Aridez 322
5.5.12 Riesgo por Tormentas de Granizo 325
5.5.12.1 Mapas, Tormentas de Granizo 325
5.5.12.2 Riesgo por Granizadas 329
5.5.13 Índice de Susceptibilidad a Heladas 331
5.5.13.1 Mapas, Heladas 331
5.5.13.2 Índice de Susceptibilidad a Heladas, Interpretación 333
5.5.14 Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Nieve 334
5.5.15 Índice de Susceptibilidad a Ciclones Tropicales 336
5.5.15.1 Mapas, Ciclones 336
5.5.15.2 Índice de Susceptibilidad a Ciclones, Interpretación 338
5.5.16 Índice de Susceptibilidad a Tornados 339
5.5.16.1 Mapas, Tornados 339
5.5.16.2 Índice de Susceptibilidad a Tornados, Interpretación 341
5.5.17 Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Polvo 342
5.5.17.1 Mapas, Tormentas de Polvo 342
5.5.17.2 Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Polvo, Interpretación 344
5.5.18 Riesgo por Tormentas Eléctricas 345
5.5.18.1 Mapas, Tormentas Eléctricas 345
5.5.18.2 Riesgo Urbano por Tormentas Eléctricas, Interpretación 349
5.5.19 Riesgo por Lluvias Extremas 351
5.5.19.1 Mapas, Lluvias Extremas 351
5.5.19.2 Riesgo Urbano por Lluvias, Interpretación 361
5.5.20 Riesgo por Inundaciones Fluviales 364

5.5.20.1 Mapas, Inundaciones Fluviales 364
5.5.20.2 Riesgo Urbano por Inundaciones fluviales, interpretación 374
5.5.21 Índice de Susceptibilidad a Inundaciones Pluviales....378
6 Medidas de mitigación....351
6.1 Obras de Mitigación....351
6.1.1 Prevención de inundaciones 351
6.1.1.1 Sistema sostenible de manejo de aguas pluviales....352
6.1.1.2 Rollos....353
6.1.1.3 Gaviones....353
6.1.1.4 Filtros y drenes 355
6.1.1.5 Barreras 355
6.1.1.6 Zanjas 356
6.1.1.7 Terrazas....357
6.1.2 Control de medidas de erosión 357
6.1.3 Inestabilidad y Deslizamientos de Laderas....359
6.1.3.1 Diseño del talud 359
6.1.3.2 Protección de taludes 360
6.1.4 Zonas ya urbanizadas 363
6.1.5 Proyectos específicos....364
6.1.5.1 Arroyo “El Cuatro”. 364
6.1.5.2 Arroyo Pereyra. 365
6.2 Políticas Públicas 365
6.2.1 Nuevos desarrollos urbanos....365
6.2.2 Monitoreo y vigilancia....366
6.2.3 Techos Verdes. 366
6.2.4 Coordinación entre autoridades 366
6.2.4.1 Coordinación general....366
6.2.4.2 Coordinación durante la ocurrencia del evento perturbador. 366
6.2.5 Planificación del desarrollo....366
6.2.6 Cambio climático 367
6.3 Educación y Comunicación. 367
6.3.1 Campañas de educación para la prevención. 367
6.3.2 Campañas de educación para el mejor uso de los escurrimientos urbanos. 367
6.3.3 Capacitación del personal municipal....368
6.3.4 Comunicación....368
6.3.5 Movilización 368
6.4 Atlas de riesgos y otros instrumentos 368
6.4.1 Administración del Atlas de Riesgos. 368
6.4.2 Actualización de datos....368
6.4.3 Estrategias de predicción 369
6.4.4 Coordinación intra-municipal en la colecta y uso de la información 369
6.4.5 Peligros antropogénicos....369
6.4.6 Estudios específicos....369
6.5 Acciones concretas. 369
6.5.1 Limpieza de la red hidrológica urbana 370
6.5.2 Recuperación de la capacidad del gasto de los arroyos....370
6.5.3 “Desaparición de arroyos” en la zona urbana 370
6.5.4 Monitoreo de escurrimientos y red de drenaje. 370
7 Consideraciones finales 371

8 Bibliografía..... 373

9 ANEXOS..... 376

TABLAS

TABLA 1. DATOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS DE SALTILLO, COAH. 4
TABLA 2. LISTA DE FENÓMENOS PERTURBADORES Y NIVELES DE AFECTACIÓN 9
TABLA 3. SUB PROVINCIAS FISIOGRÁFICAS Y SU COBERTURA EN PORCENTAJE CON RESPECTO AL MUNICIPIO 13
TABLA 4. GRUPOS Y GEOFORMAS PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO. 13
TABLA 5. POBLACIÓN TOTAL, HOMBRES Y MUJERES DE LAS PRINCIPALES LOCALIDADES. 35
TABLA 6. LAS 10 MANZANAS CON MAYOR POBLACIÓN (HOMBRES Y MUJERES) DEL ÁREA URBANA DE SALTILLO. 35
TABLA 7 CRECIMIENTO POBLACIONAL DEL MUNICIPIO DE SALTILLO. 37
TABLA 8. HOGARES TOTALES POR TIPO DE HOGAR, SEGÚN EL AÑO, PARA EL ESTADO DE COAHUILA (CONAPO). 37
TABLA 9. TIPO DE HOGARES CLASIFICADOS POR SEXO DEL JEFE, SEGÚN EL AÑO, PARA EL ESTADO DE COAHUILA. 38
TABLA 10. TAMAÑO PROMEDIO DE HOGAR POR SEXO DEL JEFE DE FAMILIA, PARA EL ESTADO DE COAHUILA 39
TABLA 11 POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO. 40
TABLA 12. ANÁLISIS DEMOGRÁFICO DEL MUNICIPIO DE SALTILLO. 40
TABLA 13. CONSULTA DE DEFUNCIONES GENERALES Y CAUSAS DETALLADAS CIE POR ENTIDAD Y MUNICIPIO DE OCURRENCIA REGISTRADOS DURANTE EL AÑO 2011. 41
TABLA 14. TASA DE ALFABETIZACIÓN POR GRUPO DE EDAD 42
TABLA 15. ASISTENCIA ESCOLAR POR GRUPO DE EDAD. 42
TABLA 16. DATOS DISPONIBLES PARA LA ELABORACIÓN DEL ATLAS DE RIESGOS DE SALTILLO, COAHUILA. 47
TABLA 17. FACTORES TOPOGRÁFICOS CLASIFICADOS POR INTERVALOS Y VALOR RELATIVO OTORGADO DE ACUERDO AL GRADO DE PELIGRO QUE REPRESENTA, DONDE 1 ES EL MÁS BAJO Y 5 ES EL VALOR MÁS ALTO. 73
TABLA 18. CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y GRADO DE ERODABILIDAD. 75
TABLA 19. CLASIFICACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO. 75
TABLA 20. CLASES DE ERODABILIDAD DE LOS SUELOS. 75
TABLA 21. FACTORES GEOTÉCNICOS DEL SUELO CLASIFICADOS DE ACUERDO AL GRADO DE VULNERABILIDAD, DONDE 1 ES EL MÁS BAJO Y 5 ES EL VALOR MÁS ALTO. 75
TABLA 22. ANGULO ENTRE DIFERENCIAL ENTRE EL RUMBO DE LAS DISCONTINUIDADES Y EL RUMBO DE LA DIRECCIÓN DE TALUD. 76
TABLA 23. ASPECTOS ESTRUCTURALES DE FORMACIONES ROCOSAS 76
TABLA 24. VALORES DE PENDIENTES PARA EL CÁLCULO DE LOS ECHADOS. 76
TABLA 25. CLASIFICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL Y LAS CLASES USADAS EN EL MODELO 77
TABLA 26. CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN MM POR NÚMERO DE AÑOS Y POR HORA PARA EL ÁREA RURAL. 77
TABLA 27. CLASIFICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN MM POR HORA Y PR PARA EL ÁREA URBANA. 77
TABLA 28. CLASIFICACIÓN DE VÍAS FÉRREAS Y CAMINOS Y CARRETERAS 77
TABLA 29 EVENTOS DE HUNDIMIENTOS REGISTRADOS EN EL TERRITORIO MUNICIPAL. 103
TABLA 30. ZONAS DE VEDA EN EL TERRITORIO MUNICIPAL DE SALTILLO. 108
TABLA 31. RESULTADOS TOTALES DE SUSCEPTIBILIDAD POR FACTORES HIDROGEOLÓGICOS. 110
TABLA 32. RELACIÓN POZOS POR POLÍGONO (WP).. 110
TABLA 33 . RELACIÓN EXTRACCIÓN POR POLÍGONO. 110
TABLA 34. TIPOS DE ROCAS Y RELACIONES. 111
TABLA 35. MINAS REPORTADAS EN EL ÁREA MUNICIPAL D SALTILLO. 112
TABLA 36. CATEGORIZACIÓN DE LOS RESULTADOS FINALES DEL ANÁLISIS DE PELIGRO DE SUBSIDENCIA 113
TABLA 37. UMBRALES DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y SUS EFECTOS NEGATIVOS 120
TABLA 38. UMBRALES DE TEMPERATURA UTILIZADOS PARA EL CONTEO DE ONDAS DE CALOR. 120
TABLA 39. RANGOS DE PONDERACIÓN DE LOS DATOS DE TEMPERATURAS MÍNIMAS EXTREMAS. 126
TABLA 40. RELACIÓN DE LAS SEQUIAS QUE HAN AFECTADO AL TERRITORIO MUNICIPAL DESDE EL AÑO 2000. 130
TABLA 41. CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS A PARTIR DEL MÉTODO DE LANG. 139
TABLA 42. CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS A PARTIR DEL ÍNDICE DE KNOCHE. 139
TABLA 43. CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS A PARTIR DEL ÍNDICE DE MARTONNE (SALINAS-ZAVALA, 1998). 139
TABLA 44. VALORES RECLASIFICADOS DE TEMPERATURAS MÍNIMAS UTILIZADOS PARA GENERAR EL MAPA DE PELIGRO POR HELADAS. 146
TABLA 45. PERIODOS DE RETORNO DE 5 Y 10 AÑOS, GRANIZADAS. 149
TABLA 46. RELACIÓN ENTRE DÍAS CON GRANIZADA, VALOR, ÍNDICE Y CATEGORÍA. 149
TABLA 47. PROMEDIO DE DÍAS POR AÑO RELACIONADO CON ÍNDICE, VALOR Y CATEGORÍA. 149
TABLA 48. REGISTRO HISTÓRICO DE NEVADAS, OBTENIDO DE DIVERSAS FUENTES PROVENIENTES DE ARTÍCULOS PERIODÍSTICOS. 157
TABLA 49. TORMENTAS TROPICALES QUE INGRESARON AL TERRITORIO Y AFECTARON AL MUNICIPIO DE SALTILLO EN UN PERIODO DE 40 AÑOS. 161
TABLA 50. RECOPILACIÓN DE NOTICIAS DE PERIÓDICOS ACERCA DE TOLVANERAS OCURRIDAS EN SALTILLO. 170
TABLA 51. ESTACIONES METEOROLÓGICAS CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS DE TORMENTAS ELÉCTRICAS. 173
TABLA 52. PERIODOS DE RETORNO (5 Y 10 AÑOS) DEL FENÓMENO DE TORMENTAS ELÉCTRICAS. 176
TABLA 53. TOLERANCIAS DE LA DIGITALIZACIÓN DE LOS MAPAS DEL ATLAS DE RIESGOS DE SALTILLO. 211
TABLA 54. GRUPOS HIDROLÓGICOS BASADOS EN LA TEXTURA DEL SUELO. 212
TABLA 55. IMÁGENES SPOT-5 UTILIZADAS EN EL PROCESAMIENTO DIGITAL PARA LA GENERACIÓND E LA CAPA DE COBERTURA DEL SUELO. 213
TABLA 56 . TÍPOS HIDROLÓGICOS DE SUELO PARA EL MUNICIPIO DE SALTILLO. 216

Tabla 57.Lista de estaciones meteorológicas dentro y alrededor del municipio de Saltillo. 237
Tabla 58. Estadísticas básicas de la estación 5048, Saltillo. 239
Tabla 59. Estación Saltillo, datos del intensidad, duración y periodos de retorno..... 239
Tabla 60. Parámetros propuesto por el IMCO para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad. 266
Tabla 61. Dimensiones e indicadores del índice de marginación por AGEB y cuadra, censo 2010. 267
Tabla 62. Criterios para la asignación de niveles de riesgo..... 270
Tabla 63. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de 5 años. 288
Tabla 64. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de 10 años. 288
Tabla 65. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo social para Inestabilidad de Laderas con Pr de 20 años. 289
Tabla 66. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de 50 años. 290
Tabla 67. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Inestabilidad de Laderas con período de retorno de 100 años. 290
Tabla 68. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Caídos y Derrumbes. 296
Tabla 69. Superficie Urbana ocupada (km2) por los niveles de susceptibilidad para Hundimientos. 299
Tabla 70. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Subsidencia..... 302
Tabla 71. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Agrietamientos. 305
Tabla 72. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Ondas Gélidas con Pr de 5 años. 312
Tabla 73. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Ondas Cálidas con Pr de 5 años. 312
Tabla 74. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Ondas Cálidas con Pr de 10 años. 313
Tabla 75. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para el Índice de Sequía..... 322
Tabla 76. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Aridez según Knoche. 322
Tabla 77. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Aridez según Lang. 323
Tabla 78. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Aridez según Martonne. 324
Tabla 79. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Granizadas con Pr de 5 años. 329
Tabla 80. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Granizadas con Pr de 10 años. 329
Tabla 81. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Heladas. 333
Tabla 82. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de Susceptibilidad a Ciclones. 338
Tabla 83. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de Susceptibilidad a Tornados. 341
Tabla 84. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Tormentas de Polvo. 344
Tabla 85. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Tormentas Eléctricas con Pr de 5 años. 349
Tabla 86. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Tormentas Eléctricas con Pr de 10 años 349
Tabla 87. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Lluvias con Pr de 5 años. 361
Tabla 88. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Lluvias con Pr de 10 años. 361
Tabla 89. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Lluvias con Pr de 100 años. 362
Tabla 90. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Lluvias Máximas. 363
Tabla 91. Superficie Urbana ocupada (km^2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 5 años. 374
Tabla 92. Superficie Urbana ocupada (km^2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 10 años. 374
Tabla 93. Superficie Urbana ocupada (km2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 25 años. 375
Tabla 94. Superficie Urbana ocupada (km^2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 50 años. 376
Tabla 95. Superficie Urbana ocupada (km^2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 100 años. 376
Tabla 96. Periodos de retorno y porcentajes de probabilidad para 5 y 10 años. 379
Tabla 97. Categorización del "Número de días con granizada". 380
Tabla 98. Asignación de valores, Granizadas..... 380
Tabla 99. Relación entre el valor de días con granizo, índice y categoría 380
Tabla 100. Resultados categorizados de las 35 estaciones de Coahuila. 380
Tabla 101. 35 estaciones de Coahuila con información de lluvias extremas. 382
Tabla 102. Estadísticos descriptivos por indicador socioeconómico, 2010..... 384
Tabla 103. Eigenvalues del ACP de los datos de AGEB's Rurales, Saltillo. 384
Tabla 104. Eigenvectors del ACP de los datos de AGEB's rurales, Saltillo. 385
Tabla 105. . Eigenvalues del ACP de los datos de AGEB's Urbanas, Saltillo. 385
Tabla 106. Eigenvectors del ACP de los datos de AGEB's Urbanas, Saltillo. 385
Tabla 107. Registro de Reuniones del Comité para el Atlas. 798
Tabla 108. Información proporcionada por Protección Civil al Comité del Atlas de Riesgos. 801
Tabla 109. Información proporcionada por Catastro al Comité del Atlas de Riesgos. 802
Tabla 110. Información proporcionada por Desarrollo Urbano al Comité del Atlas de Riesgos. 802
Tabla 111. Información proporcionada por IMPLAN al Comité del Atlas de Riesgos. 803
Tabla 112. Información proporcionada por Ecología al Comité del Atlas de Riesgos. 803
Tabla 113. Información proporcionada por Desarrollo Rural al Comité del Atlas de Riesgos. 804
Tabla 114. Información proporcionada por Policia al Comité del Atlas de Riesgos. 804
Tabla 115. Registro de Reuniones con ONG´s. 805

TABLA 116. IDENTIFICACIÓN DE FENÓMENOS NATURALES OBSERVADOS EN LA LOCALIDAD. 805
TABLA 117. : IDENTIFICACIÓN DE NIVEL DE RIESGO PERCIBIDO ANTE FENÓMENOS NATURALES 805
TABLA 118. IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR FENÓMENOS NATURALES EN LA LOCALIDAD..... 806
TABLA 119. IDENTIFICACIÓN DE FENÓMENOS NATURALES OBSERVADOS EN LA LOCALIDAD. 807
TABLA 120. IDENTIFICACIÓN DE NIVEL DE RIESGO PERCIBIDO ANTE FENÓMENOS NATURALES. 808
TABLA 121. IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR FENÓMENOS NATURALES EN LA LOCALIDAD..... 809

FIGURAS

FIGURA 1. MAPA BASE DEL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 10
FIGURA 2. PORCENTAJES DE COBERTURA DE GEOFORMAS CON RESPECTO AL MUNICIPIO. 13
FIGURA 3. TOPOGRAFÍA GENERAL DEL MUNICIPIO DE SALTILLO. 14
FIGURA 4. TOPOGRAFÍA GENERAL DEL MUNICIPIO DE SALTILLO, ACERCAMIENTO A LA ZONA URBANA 15
FIGURA 5. MAPA DE SUBPROVINCIAS FISIOGRÁFICAS. 16
FIGURA 6. GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 18
FIGURA 7. ROCAS PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA 19
FIGURA 8. ECHADOS DE LAS ROCAS PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 20
FIGURA 9. ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 21
FIGURA 10. SUELOS DOMINANTES EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 22
FIGURA 11. MAPA DE SUELOS DOMINANTES EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 23
FIGURA 12. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL DEL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 24
FIGURA 13. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL DEL ÁREA METROPOLITANA DE SALTILLO, COAHUILA. 25
FIGURA 14. CUENCAS HIDROLÓGICAS DEL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 26
FIGURA 15. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN SALTILLO, COAHUILA. 27
FIGURA 16. PORCENTAGE DE COBERTURA DE LA VEGETACIÓN DEL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAH 27
FIGURA 17. TIPO CLIMÁTICOS PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA 28
FIGURA 18. MAPA DE LA VEGETACIÓN DEL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 29
FIGURA 19. MAPA DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO GENERADO A PARTIR DEL ANÁLISIS DIGITAL DE IMÁGENES SPOT. 30
FIGURA 20. UBICACIÓN DEL "BOSQUE URBANO". 31
FIGURA 21. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN EL MUNICIPIO DE SALTILLO, COAHUILA. 32
FIGURA 22. PROYECCIÓN DE CRECIMIENTO POBLACIONAL REGIONAL, 1970 A 2025. (UADEC, 2004). 33
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN RURAL DEL MUNICIPIO DE SALTILLO 34
FIGURA 24. CONCENTRACIÓN DE LA POBLACIÓN URBANA POR MANZANA EN LA ZMS. 36
FIGURA 25. GRAFICA DE TAMAÑO PROMEDIO DE HOGAR POR SEXO DEL JEFE DE FAMILIA PARA EL ESTADO DE COAHUILA. 39
FIGURA 26. PERSONAS DE CON ACTIVIDADES ECONOMICAMENTE NO ACTIVAS. 40
FIGURA 27. PIRÁMIDE DE EDAD POR GÉNERO DE LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE SALTILLO 40
FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE 15 AÑOS Y MÁS DE ACUERDO A SU NIVEL DE ESCOLARIDAD. 42
FIGURA 29. DENSIDAD URBANA DE LA ZONA POR MANZANAS EN EL ÁREA CONURBADA DE SALTILLO 43
FIGURA 30. NIVELES DE HACINAMIENTO EN ZONAS RURALES DEL MUNICIPIO DE SALTILLO. 44
FIGURA 31. NIVELES DE HACINAMIENTO EN LA ZONA URBANO DE SALTILLO. 45
FIGURA 32. PORCENTAJES DE POBLACIÓN CON ALGÚN TIPO DE SERVICIO DE SALUD. 46
FIGURA 33. DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS EN LA VIVIENDA 46
FIGURA 34. TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN. 47
FIGURA 35. VOLCANES DE MÉXICO CON ACTIVIDAD ERUPTIVA EN TIEMPOS HISTÓRICOS. TOMADO DE ZEPEDA- RAMOS Y S. GONZÁLEZ. 2001 47
FIGURA 36. MAPA DE AMENAZA POR VOLCANES ACTIVOS A NIVEL RURAL. 48
FIGURA 37. MAPA DE AMENAZA POR VOLCANES ACTIVOS A NIVEL URBANO. 49
FIGURA 38. MAPA DE AMENAZA POR DERRAMES LÁVICOS. 50
FIGURA 39. MAPA DE AMENAZA POR DERRAMES LÁVICOS A NIVEL URBANO. 51
FIGURA 40. MAPA DE AMENAZA POR DEPÓSITOS DE CENIZA. 52
FIGURA 41. MAPA DE AMENAZA POR DEPÓSITOS DE CENIZA A NIVEL URBANO. 53
FIGURA 42. MAPA DE AMENAZA POR EMANACIÓN DE VAPORES 54
FIGURA 43. MAPA DE AMENAZA POR EMANACIÓN DE VAPORES A NIVEL URBANO 55
FIGURA 44. MAPA DE AMENAZA POR DERRAMES Y AVALANCHAS. 56
FIGURA 45. MAPA DE AMENAZA POR DERRAMES Y AVALANCHAS A NIVEL URBANO. 57
FIGURA 46. MAPA DE AMENAZA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS. 58
FIGURA 47. MAPA DE AMENAZA POR FLUJOS PIRO CLÁSTICOS PARA LA ZONA URBANA. 59
FIGURA 48. REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE MÉXICO (ZEPEDA- RAMOS Y S. GONZÁLEZ. 2001). 60
FIGURA 49. LOCALIZACIÓN DE LOS SISMOS RECIENTES EN EL NORESTE DE MÉXICO (FUENTE: HTTP://ES.EARTHQUAKETRACK.COM/MX-07-SALTILLO/RECENT) 61
FIGURA 50. MAPA DE AMENAZA POR ZONAS SÍSMICAS A NIVEL RURAL. 62
FIGURA 51. MAPA DE AMENAZAS POR ZONAS SÍSMICAS PARA LA ZONA URBANA. 63
FIGURA 52. MAPA DE AMENAZA POR SISMOS PARA EL ÁREA RURAL. 64
FIGURA 53. MAPA DE AMENAZA POR SISMOS PARA LA ZONA URBANA. 65
FIGURA 54. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO EN RELACIÓN A LAS COSTAS DEL GOLFO DE MÉXICO. 66
FIGURA 55. MAPA DE AMENAZA POR ASENTAMIENTOS SUSCEPTIBLES A TSUNAMIS, ZONA RURAL. 67
FIGURA 56. MAPA DE AMENAZA POR ASENTAMIENTOS SUSCEPTIBLES A TSUNAMIS 68
FIGURA 57. PRINCIPALES TIPOS DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS (MENDOZA Y DOMÍNGUEZ, 2006). 69

Figura 58. Datos del MDE (A), Pendientes (B), Altura de los elementos (C) y Diferencial de elevación (D), empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Urbano). 71
Figura 59. Datos del MDE (A), Pendientes (B), Altura de los elementos (C) y Diferencial de elevación (D), empelados en el modelo de Inestabilidad de laderas (Rural). . 72
Figura 60. Modelo del cálculo de las pendientes y alturas para el modelo de inestabilidad de laderas. 73
Figura 61. Mapa de Geoformas calcualdo a partir del MDE de 1 m..... 74
Figura 62. Vista del cerro del pueblo (A), y Acercamiento a la parte superior del cerro del pueblo donde se observa un escarpe (B). 74
Figura 63. Edafología (A), Geología (B), Ángulo diferencia de la discontinuidad (C) y Fallas (D), empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Urbano). 78
Figura 64. Edafología (A), Geología (B), Ángulo diferencia de la discontinuidad (C) y Fallas (D), empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Rural). 79
Figura 65. Datos de Echados (A), Vegetación (B), y Precipitación (C) empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Urbano). 80
Figura 66. Datos de Echados (A), Vegetación (B), y Precipitación (C) empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Rural). 81
Figura 67. Modelo de procesamiento de los datos para el estimación de Amenaza por Inestabilidad de Laderas (Urbano). 82
Figura 68. Modelo de procesamiento de los datos para el estimación de Amenaza por Inestabilidad de Laderas (Rural). 83
Figura 69. Resultado del peligro de inestabilidad de laderas por factores topográficos. 84
Figura 70 . Ejemplos de los nivles de paligro resultantes del modelo de Inestabilidad de laderas, para la zonas del "Cerro del Pueblo y Sierra de Zapaliname. 85
Figura 71. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural..... 86
Figura 72. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área urbana. 87
Figura 73. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 5 años. 88
Figura 74. Mapa de peligro por inestabilidad de laderas para la zona urbana, considerando un Pr de 5 años. 89
Figura 75. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 10 años. 90
Figura 76. Mapa de peligro por inestabilidad de laderas a nivel urbano en un Pr de 10 años. 91
Figura 77. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 20 años. 92
Figura 78. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área urbana con Pr de 20 años. 93
Figura 79. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 50 años. 94
Figura 80. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área urbana con Pr de 50 años. 95
Figura 81. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 100 años. 96
Figura 82. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área urbana con Pr de 100 años. 97
Figura 83. Niveles de amenaza por flujos o lahares, zona rural. 98
Figura 84. Mapa de peligro por flujos o lahares, zona urbana. 99
Figura 85. Modelo empleado para la identificación del peligro de Caídos o Derrumbes. 100
Figura 86. Peligro por caídos o derrumbes, acercamiento al cerro del Pueblo. 100
Figura 87. Peligros por caidos o derrumbes, zona rural. 101
Figura 88. Mapa de amenaza por caídos y derrumbes, para la zona urbana. 102
Figura 89. Hundimiento documentado durante las visitas a campo. 103
Figura 90. Mapa de localización de registros históricos de hundimientos. 104
Figura 91. Mapa de amenaza por hundimientos para el área rural. 105
Figura 92. Mapa de Amenaza por hundimientos para la zona urbana. 106
Figura 93. Diagrama de elementos utilizados para el reconocimiento de zonas con mayor probabilidad de subsidencia. 107
Figura 94. Rejillas utilizadas para procesar la información. a) Área municipal, b) área urbana. 107
Figura 95. Mapa de zonas de veda en el territorio municipal de Saltillo. 108
Figura 96. Mapa de la Densidad de pozos de extracción de agua en Saltillo. 109
Figura 97. Acuíferos que cubren el municipio de Saltillo. 109
Figura 98. Suma de valores Hídricos, dividido en 5 categorías, donde el 5 corresponde a los valores más altos. 110
Figura 99. Mapa de cobertura geológica para la rejilla. a) Tipos de roca dentro del área municipal de Saltillo, b) Reclasificación en base al porcentaje de cobertura dentro de un polígono. 111
Figura 100. Cobertura de estructuras geológicas (como fallas y fracturas) por polígono. 112
Figura 101. Mapa de minas subterráneas presentes en el área municipal de Saltillo. 113
Figura 102. Resultados de Análisis de subsidencia para el área municipal. 114
Figura 103. Resultados de Análisis de subsidencia para zona urbana de Saltillo. 115
Figura 104. Capas utilizadas en la cruza para generar mapa de amenaza por agrietamiento: a) imagen del resultado de aplicar el procedimiento para generar las zonas de mayor amenaza por subsidencia, b) zonas con diferente amenaza por inundaciones pluviales. 116
Figura 105. Localización de zonas propensas a inundaciones pluviales (b) y diferente categorización de amenaza con respecto a la probabilidad de subsidencia, para la zona urbana. 116
Figura 106. Resultado de la sumatoria de los índices de aridez y el índice de sequía, para la zona rural (a) y la zona urbana (b). 117
Figura 107. Resultados para la zona urbana de la sumatoria entre los diferentes grados de probabilidad de subsidencia y las zonas propensas a inundaciones pluviales (a) y los resultados después de agregar la capa de aridez (b). 117
Figura 108. Resultados para la zona rural de la sumatoria entre los diferentes grados de probabilidad de subsidencia y las zonas propensas a inundaciones pluviales (a) y los resultados después de agregar la capa de aridez (b). 117
Figura 109. Mapa de amenaza por agrietamientos para el municipio de Saltillo a nivel Rural. 118
Figura 110. Mapa de amenaza por agrietamientos para el área urbana del Municipio de Saltillo 119

Figura 111. Temperaturas máximas del municipio de Saltillo. 121
Figura 112. Ondas cálidas con Pr de 5 años, zona Rural. 122
Figura 113. Ondas cálidas con Pr de 5 años, zona urbana. 123
Figura 114. Ondas cálidas con Pr de 10 años, zona rural 124
Figura 115. Ondas cálidas con Pr de 10 años, zona urbana. 125
Figura 116. Mapa de amenazas de temperaturas mínimas extremas. 127
Figura 117. Pr de 5 años de los datos de temperaturas mínimas extremas, para el municipio de Saltillo. 128
Figura 118. Amenaza por ondas Gélidas en un Pr de 5 años para el área urbana del Municipio de Saltillo 129
Figura 119. Distribución de la sequía en Junio del 2006 de acuerdo con el NADM (2014). 130
Figura 120. Distribución de la sequía en Julio del 2006 de acuerdo con el NADM (2014). 131
Figura 121. Distribución de la sequía en Junio del 2008 de acuerdo con el NADM (2014). 131
Figura 122. Distribución de la sequía en Julio del 2009 de acuerdo con el NADM (2014). 132
Figura 123. Distribución de la sequía en Agosto del 2009 de acuerdo con el NADM (2014). 132
Figura 124. Distribución de la sequía en Mayo del 2011 de acuerdo con el NADM (2014). 133
Figura 125. Distribución de la sequía en Junio del 2011 de acuerdo con el NADM (2014). 133
Figura 126. Distribución de la sequía en Julio del 2011 de acuerdo con el NADM (2014). 134
Figura 127. Distribución de la sequía en Agosto del 2011 de acuerdo con el NADM (2014). 134
Figura 128. Distribución de la sequía en Junio del 2012 de acuerdo con el NADM (2014). 135
Figura 129. Distribución de la sequía en Julio del 2012 de acuerdo con el NADM (2014). 135
Figura 130. Distribución de la sequía en Agosto del 2012 de acuerdo con el NADM (2014). 136
Figura 131. Imagen compuesta de los modelos de sequía en la región de Junio a Agosto durante los últimos 4 años. Obtenidos del North American Drought Monitor 136
Figura 132. Mapa de intensidad de amenaza por sequía a nivel rural, para el municipio de Saltillo. 137
Figura 133. Mapa de amenaza por sequía para la zona urbana del municipio de Saltillo. 138
Figura 134. Resultados del índice de aridez de Lang, Nivel rural. 140
Figura 135. Amenaza por índice de sequía, a partir del método de Lang, para la zona urbana. 141
Figura 136. Mapa de amenaza por Aridez obtenido a través del índice de Knoche. Nivel rural. 142
Figura 137. Mapa de amenaza por Aridez obtenido a través del índice de Knoche. zona urbana. 143
Figura 138. Mapa de amenaza por Aridez, generado a partir del índice de Martonne, Nivel rural. 144
Figura 139. Mapa de amenaza por Aridez, generado a partir del índice de Martonne, zona urbana. 145
Figura 140. Regiones de mayor peligro por helada en México (más de 50 días al año). Tomado de CENAPRED, Heladas, serie fascículos, 2001 146
Figura 141. Mapa de peligro por heladas para el municipio de Saltillo. 147
Figura 142. Mapa de peligro por heladas para el municipio de Saltillo a nivel urbano. 148
Figura 143. Granizadas, Pr para 5 años. 151
Figura 144. Granizadas, Pr a 5 años, zona urbana 151
Figura 145. Granizadas, Pr para 10 años 152
Figura 146. Granizadas, Pr a 10 años, zona urbana 153
Figura 147. Peligro de granizadas, Municipio de Saltillo. 154
Figura 148. Peligro de granizadas, Municipio de Saltillo, a nivel urbano. 155
Figura 149. Índice de peligro por nevadas a escala municipal (Fuente: CENAPRED, 2012). 156
Figura 150. Registro de datos históricos de nevadas del siglo XV al XIX, tomado de Atlas Nacional de Riesgo, 2007. 157
Figura 151. Registro de datos históricos de nevadas del siglo XX al XXI, tomado de Atlas Nacional de Riesgo, 2007. 157
Figura 152. Amenaza por tormentas de nieve a nivel rural 158
Figura 153. Amenaza de nieve, a nivel urbano. 159
Figura 154. Porcentaje de la población estatal en riesgo por ciclones tropicales (Jiménez Espinoza, et. al 2012 160
Figura 155. Grado de riesgo municipal por ciclones tropicales (Jiménez Espinoza, et. al 2012). 160
Figura 156. Trayectorias históricas de ciclones tropicales cercanos al municipio de Saltillo. 161
Figura 157. Amenaza por ciclones a nivel Rural. 162
Figura 158. Amenaza por ciclones a nivel Urbano. 163
Figura 159. Presencia de tornados en municipios de México (tomada de CENAPRED, 2012). 164
Figura 160. Amenaza por tornados en el área rural de Saltillo. 165
Figura 161. Amenaza por frecuencia de tornados a nivel urbano. 166
Figura 162. Datos de velocidad máxima por día, registrada en la estación Saltillo. 167
Figura 163. Rosa de los vientos para el periodo invernal, estación Saltillo, Coahuila. 168
Figura 164 . Rosa de los vientos para el periodo de primavera, estación Saltillo, Coahuila 168
Figura 165. Rosa de los vientos para el periodo de verano, estación Saltillo, Coahuila. 169
Figura 166. Rosa de los vientos para el periodo de otoño, estación Saltillo, Coahuila. 169
Figura 167. Fotografía tomada de la noticia “Tolvanera causa estragos” en Saltillo, 23 de diciembre de 2013 (Elsiglodetorreón, 2013). 170
Figura 168. Mapa de Intensidad de Amenaza por tormentas de polvo. 171

Figura 169. Acercamiento al área urbana, mapa de intensidad de amenaza por tormenta de polvo. 172
Figura 170. Frecuencia de tormentas eléctricas en el municipio de Saltillo. 174
Figura 171. Frecuencia de tormentas eléctricas en el área urbana del municipio de Saltillo. 175
Figura 172. Tormentas eléctricas, Pr de 5 años 177
Figura 173. Amenaza por Tormentas eléctricas en un Pr de 5 años para el área urbana. 178
Figura 174. Tormentas eléctricas, Pr de 10 años 179
Figura 175.Peligro por tormentas eléctricas en un Pr de 10 años para la zona urbana. 180
Figura 176. Precipitación máxima anual (en 24 Horas) para la estación Saltillo (5048) durante el periodo comprendido entre 1944 y 2008 181
Figura 177. Promedio del total de precipitación por año 182
Figura 178. Mapa de amenaza por lluvias considerando el promedio de precipitación anual, acercamiento a la zona urbana. 183
Figura 179. Lluvia máxima precipitada en 24 hrs. por cada estación. 184
Figura 180. Amenaza por lluvias extremas a nivel urbano. 185
Figura 181. Lluvias extremas esperadas en un Pr de 5 años. 186
Figura 182. Lluvias extremas esperadas en un Pr de 5 años, acercamiento a la zona urbana. 187
Figura 183. Lluvias extremas esperadas en un Pr de 10 años. 188
Figura 184. Lluvias extremas esperadas en un Pr de 10 años. 189
Figura 185. Precipitación máxima esperada en un Pr de 100 años para las estaciones principales que corresponden al área de Saltillo. 190
Figura 186. Precipitación máxima esperada en un periodo de 100 años. 191
Figura 187. Peligro por lluvias, considerando un Pr de 100 años. 192
Figura 188. Mapa de isoyetas de altura máxima en 24 horas (mm) con un período de retorno de 100 años. 193
Figura 189. Ejemplo de infraestructura obstruyendo el arroyo. 194
Figura 190. Cambios drásticos en la dirección de escurrimientos por la construcción de casas habitación. 194
Figura 191. Errores en el diseño de la infraestructura que obstruyen los arroyos. 195
Figura 192. Obstrucciones en la infraestructura hidráulica construida. 195
Figura 193. Escombros arrojados al lecho del arroyo. 195
Figura 194. Basura arrojada en los arroyos. 196
Figura 195. Posesionarios ocupando parte del arroyo. 196
Figura 196. Problemática creada por flujo de arroyo, Col. Parajes de Santa Elena. 197
Figura 197. Acercamiento a una de las zonas de conflicto dentro de Parajes de Santa Elena (termina el arroyo y comienza la calle). 197
Figura 198. Delimitación de la Col. La Esperanza y la Calzada Antonio Narro y su problemática ocasionada por el flujo de agua. 198
Figura 199. Acercamiento a la Colonia La Esperanza y la Calzada Antonio Narro, se muestra el arreglo urbanizado del flujo del arroyo. 198
Figura 200. Col. María del Carmen Cavazos y Calzada Antonio Narro, delimitación de problemas dentro del área, en el círculo 1 se muestra lo que correspondería al punto 139 de CNA, en el círculo 2 se muestran problemas de urbanización en la dirección y posible erosión del cauce. 199
Figura 201. Acercamiento al círculo 1, localidad concordante con el punto de conflicto No. 139 identificado por la CNA. El paso del canal (a) se ve obstaculizado por el relativamente pequeño espacio del drenaje (b). 200
Figura 202. Colonia María del Carmen Cavazos y Calzada Antonio Narro, conflicto por cercanía de la urbanización a la dirección del flujo del arroyo, sumado con un suelo propenso a ser erosionado (zona Sur). 200
Figura 203. Colonia María del Carmen Cavazos y Calzada Antonio Narro, conflicto por cercanía de la urbanización a la dirección del flujo del arroyo, sumado con un suelo propenso a ser erosionado (Zona Norte). 200
Figura 204. Ubicación diversos puntos de CNA (a) y acercamiento especifico al punto 141 CNA (b) donde se observa el cruce del arroyo ahora sin canal dentro de la colonia, un puente debajo de las vías del tren. 201
Figura 205. Calzada Antonio Narro esquina con Enrique Martínez, la zona resaltada con un rectángulo amarillo (1) y que es reportada como zona de conflicto por CNA (punto 144) se encuentra localizada dentro del cauce del arroyo. 202
Figura 206. Pluvial insuficiente (1) para una cuenca de 2 km^2. Vista aérea a gran escala (a) acercamiento desde arriba (c), vista de calle (b), así como un perfil del drenaje (1.6 x 2.4 m) por el que tiene que pasar el arroyo en ese punto (d) 203
Figura 207. Calle Novena esquina con Carlos Salazar, se muestran dos perfiles, antes (A-A') de ser entubado justo donde inicia el alcantarillado del arroyo (B-B') en el cual recorre toda la calle Novena 204
Figura 208. Vista aérea de la calle Novena, en donde el arroyo (línea celeste) recorre su cauce de manera subterránea a través del entubamiento señalado en la Figura 207. 204
Figura 209. Colonia Venustiano Carranza. Urbanización muy cercana al arroyo, en el mapa se muestra una comparación entre las zonas cercanas al arroyo y la cantidad de personas que habitan en ellas. 205
Figura 210. Acercamiento a dos puntos de conflicto correspondientes al punto 178 y 179 CNA 205
Figura 211. Vista de la nube de puntos de las zonas de conflicto 178 y 179 ubicadas por CNA. 206
Figura 212. Vista de perfil de la problemática del punto 179 de CNA. 206
Figura 213. Acercamiento al punto de conflicto 181 de CNA. 206
Figura 214. Punto en la Col. Centro que corresponde al final del pluvial en Av. Presidente Cárdenas. 207
Figura 215. Acercamiento al final del pluvial de Av. Presidente Cárdenas 207
Figura 216. Vista de calle del final del pluvial de Av. Presidente Cárdenas. La flecha amarilla indica la el tubo perteneciente al final del pluvial. 208

Figura 217. Cruce del arroyo canalizado con la Calle José Espinoza Fuente, se observan dos puentes peatonales perjudiciales para el afluente e innecesarios considerando su cercanía con el puente de canalización. 208
Figura 218. Nube de puntos de la zona de conflicto en la Calle José Espinoza, la figura del inciso b muestra un perfil del terreno con los diferentes niveles de puentes, canalizado, de metal y de madera. 208
Figura 219. Asentamientos irregulares dentro de los cauces. 209
Figura 220. Fraccionamiento nuevo construido dentro del cauce, ubicado Dr. Jesús Valdez Sánchez esquina con Santa Gertrudis y Santa Cristina. 210
Figura 221. Acercamiento a fraccionamiento Nuevo que se encuentra construido sobre el cauce del arroyo. 210
Figura 222. Unidades de mapeo de la FAO y Unidades de suelo para la ponderación del suelo. 211
Figura 223. Triángulo de la textura del suelo del USDA, con las texturas de suelo de la FAO superpuestas. 212
Figura 224: Fases del análisis de las imágenes SPOT. 213
Figura 225. Mosaico de imágenes SPOT-5 del área del municipio de Saltillo. 214
Figura 226. Cobertura del suelo 2013-2014 para el municipio de Saltillo. 215
Figura 227. Área estimada de las distintas coberturas del suelo para el municipio de Saltillo - 2013-2014. 216
Figura 228. Mapa de los tipos hidrológicos de suelo 217
Figura 229. Diagrama de flijo seguido para la obtención del número de curva. 218
Figura 230. Mapa del número de curva del municipio de Saltillo, 2013-2014 219
Figura 231. Metodología del análisis hidrológico a partir de MDE. 220
Figura 232. Modelo Digital de Elevación, Original. 221
Figura 233. Proceso de relleno de hondonada. 222
Figura 234. MDE Corregido 222
Figura 235. Mapa de la dirección de flujo. 223
Figura 236. Resultado del proceso de “Acumulación de flujo". 224
Figura 237. Red de drenaje resultante con umbra de área de acumulación de 1 Km^2. 225
Figura 238. Cuenca idealizada de cinco unidades cuadradas (5u2). Su área se estima en base a un caudal a la salida, y el método racional. 228
Figura 239. Nanocuencas resultantes del proceso de generación de la red de drenaje. 231
Figura 240. Solución gráfica a la ecuación del número de curva en a partir de la precipitación (pulgadas). 233
Figura 241. Hidrograma unitario. 235
Figura 242. Porción de una cuenca mostrando las secciones transversales ya editadas para la modelación. 237
Figura 243. Ejemplo de la sección de modelo hidráulico y la altura del agua. 237
Figura 244. Curvas I-D-Tr de la estación Saltillo (5048) 241
Figura 245. Curvas Hp-D-Tr, Estación Saltillo. 241
Figura 246. Red hidrológica corregida para la zona urbana de Saltillo. 242
Figura 247. Delimitación de las nanocuencas en la zona urbana d Saltillo. 243
Figura 248. Mapa de peligro por inundación fluvial, para la zona rural. 244
Figura 249. Ejemplo de inundación fluvial, ejido “La Ventura”, zona rural. 245
Figura 250. Ejemplo de inundación fluvial, ejido “El Fraile”, zona rural. 246
Figura 251. Ejemplo de inundación fluvial, ejido “San Juan de la Vaquería”, zona rural. 247
Figura 252. Ejemplo de inundación fluvial, ejido “Agua Nueva”, zona rural. 248
Figura 253. Mapa de peligro por inundación fluvial, para la zona urbana. 249
Figura 254. Ejemplo de inundación fluvial urbana, Zona “Valle verde – La Esmeralda”. 250
Figura 255. Ejemplo de inundación fluvial, Arroyo de Lourdes, zona urbana. 251
Figura 256. Ejemplo de inundación fluvial, Arroyo del Pueblo, zona urbana. 252
Figura 257. Ejemplo de inundación fluvial, Arroyo de Ceballos y El Cuatro, zona urbana. 253
Figura 258. MDE de Saltillo mostrando dos áreas para el análisis detallado. 255
Figura 259. Valores de pendientes en zonas planas del MDE del CEM 3.0. 256
Figura 260. Perfil longitudinal de los valores de elevación en zona plana a partir del MDE 3.0. 256
Figura 261. Valores de pendientes a partir del MDE CEM 3.0, zona montañosa. 257
Figura 262. Valores de pendientes a partir del MDE de Aster 2.0. 258
Figura 263. Perfiles longitudinales de los datos de pendientes en una zona plana, a partir del Aster DEM, versiones 2 y 1. 258
Figura 264. Diagrama de flujo del análisis de las inundaciones pluviales. 259
Figura 265. Peligro de anegamiento en las zonas rurales del municipio de Saltillo. 260
Figura 266. Histograma de los datos pendientes en la zona urbana de Saltillo. 261
Figura 267. Mapa de los datos de pendientes de la zona urbana de Saltillo 262
Figura 268. Mapa de las geoformas generadas a partir del MDE de alta resolución para la zona urbana de Saltillo. 263
Figura 269. Peligro de anegamiento en la zona urbana de Saltillo. 264
Figura 270. Peligro por anegamiento en la zona sur del área urbana del municipio de Saltillo. 265
Figura 271. Niveles de vulnerabilidad rural en Saltillo. 268
Figura 272. Niveles de vulnerabilidad en la zona urbana de Saltillo. 269
Figura 273. Índice de Susceptibilidad a vulcanismo. 271

Figura 274. Índice de Susceptibilidad a depósitos de ceniza, zona rural. 272
Figura 275. Índice de Susceptibilidad a derrames lávicos, zona rural. 273
Figura 276. Índice de Susceptibilidad a derrames y avalanchas, zona rural. 274
Figura 277. Índice de Susceptibilidad a emanación de vapores. 275
Figura 278. Índice de Susceptibilidad a sismos. 276
Figura 279. Índice de Susceptibilidad a tsunamis. 277
Figura 280. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 5 años. 278
Figura 281. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 5 años 279
Figura 282. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 10 años. 280
Figura 283. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 10 años 281
Figura 284. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 20 años. 282
Figura 285. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 20 años 283
Figura 286. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 50 años. 284
Figura 287. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 50 años 285
Figura 288. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 100 años. 286
Figura 289. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 100 años 287
Figura 290. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 5 años. 288
Figura 291. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con período de retorno de 10 años. 289
Figura 292. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 20 años. 289
Figura 293. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 50 años. 290
Figura 294. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 100 años. 291
Figura 295. Índice de susceptibilidad a Flujos de lodo y Lahares. 292
Figura 296. Índice de susceptibilidad a Flujos de lodo o Lahares, para la zona Urbana de Saltillo. 293
Figura 297. Índice de susceptibilidad a caídos y derrumbes, nivel rural. 295
Figura 298. Índice de susceptibilidad a caídos y derrumbes, nivel Urbano. 295
Figura 299. Número de viviendas y habitantes por nivel de susceptibilidad a Caídos y Derrumbes. 296
Figura 300. Índice de susceptibilidad a Hundimientos para el Municipio de Saltillo 297
Figura 301. Índice de susceptibilidad a riesgo de hundimiento, nivel Urbano. 298
Figura 302. Número de viviendas y habitantes por nivel de susceptibilidad Hundimientos. 299
Figura 303. Índice de susceptibilidad a Subsidencia para la zona rural de Saltillo 301
Figura 304. Índice de susceptibilidad a Subsidencia para la zona urbana de Saltillo. 301
Figura 305. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Subsidencia. 302
Figura 306. Índice de susceptibilidad a Agrietamientos para la zona Rural de Saltillo. 303
Figura 307. Índice de susceptibilidad a Agrietamientos para la zona urbana. 304
Figura 308. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Agrietamientos. 305
Figura 309. Riesgo por ondas cálidas, considerando un Pr a 5 años. 306
Figura 310. Riesgo por ondas cálidas, en un Pr a 5 años en la zona urbana. 307
Figura 311. Niveles de riesgo por temperaturas cálidas extremas, Pr de 10 años. 308
Figura 312. Niveles de riesgo por temperaturas cálidas extremas, Pr 10 años, en la zona urbana. 309
Figura 313. Niveles de riesgo por temperaturas gélidas extremas, Pr de 5 años. 310
Figura 314. Niveles de riesgo por temperaturas gélidas extremas, Pr de 5 años, en la zona urbana. 311
Figura 315. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Ondas Gélidas con período de retorno de 5 años. 312
Figura 316. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Ondas Cálidas con período de retorno de 5 años. 313
Figura 317. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Ondas Cálidas con período de retorno de 10 años. 313
Figura 318. Índice de susceptibilidad a Sequías para la zona rural de Saltillo. 314
Figura 319. Índice de susceptibilidad a sequía para la zona urbana de Saltillo. 315
Figura 320. Índice de susceptibilidad a sequía, en base al índice de Knoche. 316
Figura 321. Índice de susceptibilidad a aridez, Índice de Knoche, para la zona urbana de Saltillo 317
Figura 322. Índice de susceptibilidad a sequía, en base al índice de Lang. 318
Figura 323. Índice de susceptibilidad a aridez, realizado con el índice de Lang, para la zona urbana de Saltillo. 319
Figura 324. Índice de susceptibilidad a sequía, a partir del mapa de peligro por sequía en base al índice de Martonne. 320
Figura 325. Índice de susceptibilidad a Aridez, de acuerdo con el índice de Martonne, para la zona urbana de Saltillo 321
Figura 326. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Sequía. 322
Figura 327.Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Aridez (Knoche. 323
Figura 328. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Aridez (Lang). 323
Figura 329. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad por Aridez (Martonne). 324
Figura 330. Riesgo de granaizadas en zonas rurales, Pr 5 años. 325
Figura 331. Riesgo de granizadas en la zona urbana de Saltillo, Pr de 5 años 326
Figura 332. Riesgo de granaizadas en zonas rurales, Pr de 10 años. 327

Figura 333. Riesgo de granizadas en la zona urbana de Saltillo, Pr de 10 años. 328
Figura 334. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Granizadas con período de retorno de 5 años. 329
Figura 335. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Granizadas con período de retorno de 10 años. 330
Figura 336. Índice de Susceptibilidad a Heladas para la zona rural de Saltillo. 332
Figura 337. Índice de Susceptibilidad a Heladas, para la zona urbana de Saltillo 332
Figura 338. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad por Heladas. 333
Figura 339. Índice de Susceptibilidad por Tormentas de Nieve para la zona rural de Saltillo. 334
Figura 340. . Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Nieve en la zona urbana de Saltillo. 335
Figura 341. Índice de susceptibilidad a ciclones tropicales para la zona rural de Saltillo. 336
Figura 342. Índice de susceptibilidad a Ciclones Tropicales, para la zona urbana de Saltillo 337
Figura 343. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Ciclones. 338
Figura 344. Índice de Susceptibilidad a tornados para la zona rural de Saltillo. 339
Figura 345. Riesgo por Tornados para el área urbana de Saltillo 340
Figura 346. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Tornados. 341
Figura 347. Índice de Susceptibilidad para Tormentas de Polvo. 342
Figura 348. Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Polvo para la zona urbana de Saltillo 343
Figura 349. Número de viviendas y habitantes por nivel de susceptibilidad por Tormentas de Polvo. 344
Figura 350. Riesgo de tormentas eléctricas en zonas rurales de Saltillo, Pr de 5 años. 345
Figura 351. Riesgo de tormentas eléctricas en zonas urbanas de Saltillo, Pr de 5 años. 346
Figura 352. Riesgo de tormentas eléctricas en zonas rurales de Saltillo, Pr de 10 años. 347
Figura 353. Riesgo por Tormentas Eléctricas para la zona Urbana de Saltillo, Pr de 10 años 348
Figura 354. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Tormentas Eléctricas con Pr de 5 años. 349
Figura 355. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Tormentas Eléctricas con Pr de 10 años. 350
Figura 356. Índice de Susceptibilidad a precipitación extrema, calculado a partir del promedio de precipitación anual, para la zona rural de Saltillo. 351
Figura 357. Índice de susceptibilidad a precipitación extrema, calculado a partir del promedio de precipitación anual, para la zona Urbana de Saltillo. 352
Figura 358. Índice de Susceptibilidad a lluvias máximas, área rural de Saltillo, para la zona rural de Saltillo. 353
Figura 359. Índice de Susceptibilidad a lluvias máximas para la zona urbana de Saltillo. 354
Figura 360. Riesgo por lluvias máximas, considerando un Pr a 5 años, para la zona rural de Saltillo. 355
Figura 361. Riesgo por lluvias máximas a 5 años para la zona urbana de Saltillo 356
Figura 362. Riesgo por lluvias extremas. Considerando un Pr a 10 años, para la zona rural de Saltillo. 357
Figura 363. Riesgo por lluvias máximas para un período de 10 años para la zona urbana de Saltillo 358
Figura 364. Riesgo por lluvias extremas, Pr a 100 años, para la zona rural de Saltillo. 359
Figura 365. Riesgo por lluvias máximas para un período de 100 años para la zona urbana de Saltillo 360
Figura 366. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo Lluvias con período de retorno de 5 años. 361
Figura 367. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Lluvias con período de retorno de 10 años. 362
Figura 368. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Lluvias con período de retorno de 100 años. 362
Figura 369. Número de viviendas y habitantes por nivel de susceptibilidad a Lluvias Máximas. 363
Figura 370. Riesgo por inundaciones fluviales, zona rural. 364
Figura 371. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, ejido “La Ventura”, zona rural. 365
Figura 372. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, ejido “El Fraile”, zona rural. 366
Figura 373. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, ejido “San Juan de La Vaquería”, zona rural. 367
Figura 374. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, ejido “Agua Nueva”, zona rural. 368
Figura 375. Riesgo por inundación fluvial, zona urbana. 369
Figura 376. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, zona “Valle Verde-La Esmeralda” 370
Figura 377. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial,Arroyo “Lourdes”, zona urbana. 371
Figura 378. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, Arroyo del Pueblo, zona urbana. 372
Figura 379. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, Arroyo de Ceballos y El Cuatro, zona urbana. 373
Figura 380. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 5 años. 374
Figura 381. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 10 años. 375
Figura 382. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 20 años. 375
Figura 383. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 50 años. 376
Figura 384. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 100 años. 377
Figura 385. Índice de Susceptibilidad a inundaciones pluviales, zonas rurales. 378
Figura 386. Índice de Susceptibilidad a inundaciones pluviales para la zona urbana de Saltillo. 379
Figura 387. Índice de Susceptibilidad a inundaciones pluviales, zona urbana (Sur de Saltillo). 380
Figura 388. Clasificación de la medidas e instrumentos de mitigación (adaptado de Hutter, G. et. al, 2007). 351
Figura 389. Modelo conceptual de la relación entre las superficies impermeables de uso del suelo y la “salud” de los escurrimientos (Adaptado de Schueler, et. al). . 352
Figura 390. Modelo Esquemático de cosecha de agua de lluvia y sistemas de cisternas de captación de agua. 353
Figura 391. Ejemplos de uso de rollos para protección de canales y taludes. 353

Figura 392. Modelo Esquemático de de construcción de gaviones. 354
Figura 393. Ejemplo de construcción de gaviones para protección del cauce. (Tomada de: http://conceptodefinicion.de/gavion/). 354
Figura 394. Esquema de construcción de un filtro y dren. 355
Figura 395. Esquema de construcción de una barrera. 356
Figura 396. Ejemplos de barreras construidas para protección contra inundaciones. 356
Figura 397. Esquema y ejemplo de construcción de una zanja. 357
Figura 398. Construcción de terrazas para control de erosión y escurrimientos. 357
Figura 399. Hidrogramas para las condiciones pre y post urbanización, y efecto de sistemas de retención 358
Figura 400. Estructura típica de una berma. 360
Figura 401. Estructura típica de una trinchera de retención. 360
Figura 402. Estructura típica de una trinchera de retención. 360
Figura 403. Instalación de mallas para protección de taludes. 361
Figura 404. Ejemplo de concreto lanzado en taludes. 361
Figura 405. Protección de taludes con sistemas de llantas ancladas. 361
Figura 406. Efecto de la vegetación protegiendo taludes contra la erosión. 362
Figura 407. Sistema Löffel de protección de taludes 362
Figura 408. Muros criba para protección de taludes. 362
Figura 409. Muros gaviones para protección de taludes. 363
Figura 410. Penetrómetro Dinámico ligero PANDA. 363
Figura 411. Modelo esquemático de un pozo de absorción (modificado de ADOPTA, La gestión durable des eaux pluviales) 364
Figura 412. Modelo esquemático de un dren (modificado de ADOPTA, La gestión durable des eaux pluviales). 364
Figura 413. Ejemplo de construcción de área de absorción en un camellón, Los Ángeles, CA. 364
Figura 414. Patio de maniobras de autobuses urbanos obstruyendo el arroyo Pereyra. 365

Equipo de Trabajo

Dr. D. Fabián Lozano García, Coordinador del proyecto

M.Ing.. Lilia C. Terán del Ángel

Dra. Fabiola D. Yépez Rincón

M. en C. Martha Patricia Vela Coiffier

M. en C. Axayacatl Maqueda

M. en C. Nelly Ramírez

Mayor Nestor F. Brondi Rueda

Biol. Roberto E. Huerta García

Ing. Freddy Lasso Garzón

Agradecimientos

Este trabajo se pudo desarrollar gracias al apoyo de instituciones e individuos con gran dedicación profesional.

Biól. Andrés Rodríguez Gámez
José Tabaré Ibarra Caballero
Ramiro Recio Ugalde
Dr. Sergio Alberto Robles Garza
Martín Aguirre Garza
Ing. Antonio Guerra
Weimar Jiménez Robles
Rosa María Zertuche Cedillo
José Rodríguez Maldonado
Arq. Fernando Pérez Charles
Geog. José Alberto Moreno Saucedo
Ing. Miguel Angel Cruz Pliego
Sergio Marines Gómez
Dr. Alejandro Valdez Dávila
Lic. María Elena Teresita Jiménez Román
Dirección de Infraestructura Urbana
Dirección de Ecología Municipal
Dirección de Desarrollo Urbano
Dirección de Policía Municipal
Dirección de Catastro Municipal
Dirección de Protección Civil
Subdirección de Protección Civil
PROFAUNA
UAAAN
CENAPRED
SEDATU NACIONAL
SEMAR
Secretaría del Ayuntamiento
Gobierno del Estado de Coahuila
INEGI Coahuila
Centro Comunitario Nueva Libertad
Centro Comunitario Oceanía
CONAGUA Delegación Coahuila

1 ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El acelerado crecimiento de los asentamientos humanos en áreas expuestas a peligros naturales, tiende a incrementar el riesgo de los pobladores y sus viviendas frente a amenazas de origen natural y antrópico. Si a lo anterior agregamos que las condiciones socioeconómicas de las familias de escasos recursos, asentadas en áreas con peligros y carentes de infraestructura, servicios así como en viviendas inseguras; origina una combinación que deriva en una alta vulnerabilidad de dichos pobladores a los peligros naturales y antrópicos.

Una herramienta identificada a nivel nacional e internacional para enfrentar y en su caso prevenir los impactos de los fenómenos naturales y antrópicos son los Atlas de Riesgos. Este instrumento permite identificar las áreas más propensas a enfrentar el peligro de un fenómeno natural tales como inundaciones, derrumbes, etc., así como de fenómenos antrópicos, tales como explosiones, derrames, etc.

El Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), con el financiamiento del Municipio de Saltillo, Coah., a través del Instituto Municipal de Planeación, desarrollaron el Atlas de Riesgos del municipio, buscando contar con una herramienta que será clave para actuar en el plano preventivo y el fundamento de estrategias de autoprotección orientadas a reducir los costos económicos y sociales, disminuir las pérdidas humanas que pudieran ocurrir a consecuencia de algún desastre. Este documento hará posible, al mismo tiempo, disminuir el plazo requerido para iniciar las labores de apoyo y reconstrucción de daños, resultado en todo caso de la interacción entre autoridades, damnificados, socorristas y el resto de la sociedad.

El Atlas es una herramienta estratégica, que facilita la integración de información sobre potencial de peligros a nivel municipal y la mancha urbana; en un sistema de información geográfica, lo que permite establecer mejores políticas, planes y programas de planeación urbana, ordenamiento territorial sostenible y estrategias de prevención, mejorando la toma de decisiones para una efectiva planeación y gestión urbana.

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

1.2 Antecedentes (máximo 5 cuartillas)

Saltillo es el centro administrativo del estado de Coahuila, pues ahí residen los poderes estatales. Para el año 2011, contaba con una población de 725,123 habitantes (INEGI, 2014), de acuerdo al Sistema Nacional de Información Municipal de la SEGOB, está clasificado como una localidad “urbana grande”. La población del municipio ha aumentado de poco más de 500 mil habitantes en el año 1990 a cerca de 800 mil en el año 2010. Para el mismo censo se contabilizaron 247 localidades, con niveles poblacionales bajos (menos de 5,000 habitantes), salvo la zona urbana de Saltillo (INAFED 2, 2014).

1.2.1 Marco Legal

1.2.1.1 Leyes Federales

1.2.1.1.1 Ley General de Protección Civil.

La ley General de protección civil, fue decretada por el congreso el 6 de junio de 2012. La ley es de orden público e interés social y tiene por objeto establecer las bases de coordinación entre los tres órdenes de gobierno en materia de protección civil. La ley establece que los sectores privado y social participaran en la consecución de los objetivos de esta Ley, en los términos y condiciones que la misma establece.

1.2.1.1.2 Ley General de Cambio Climático.

La nueva Ley de Protección Civil, publicada en el Diario Oficial de la Federación (6 de junio del 2012), define un atlas de riesgos como “Sistema integral de información sobre los agentes perturbadores y daños esperados, resultado de un análisis espacial y temporal sobre la interacción entre los peligros, la vulnerabilidad y el grado de exposición de los agentes afectables”. Ese mismo instrumento jurídico, en su artículo 19, inciso XXII responsabiliza a la SEDESOL de la supervisión del proceso de generación de los Atlas de Riesgos a los tres niveles de gobierno, y lo caracteriza como un sistema dinámico integrado por un Sistema de Información Geográfica y herramientas para el análisis y simulación de escenarios, y que por su naturaleza deberá mantenerse como un instrumento bajo actualización permanente. Así mismo, la Ley señala que los “atlas de riesgo constituyen el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la Gestión Integral del Riesgo”.

En su artículo 84, la Ley señala que “Se consideran como delito grave la construcción, edificación, realización de obras de infraestructura y los asentamientos humanos que se lleven a cabo en una zona determinada sin elaborar un análisis de riesgos y, en su caso, definir las medidas para su reducción, tomando en consideración la normatividad aplicable y los Atlas municipales, estatales y el Nacional y no cuenten con la autorización de la autoridad correspondiente”. Este señalamiento tendrá implicaciones muy importantes en los procesos de desarrollo urbano, pues vincula a estos últimos primero con la existencia de un Atlas de Riesgos; y segundo condiciona la urbanización en función de los peligros y riesgos identificados en el Atlas de Riesgos.

Esta ley es de orden público, interés general y observancia en todo el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción y establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. Es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de protección al ambiente, desarrollo sustentable, preservación y restauración del equilibrio ecológico.

1.2.1.2 Leyes Estatales

1.2.1.2.1 Programa Especial de Protección Civil 2011-2017 del Estado de Coahuila de Zaragoza.

A nivel estatal, la Ley de Protección Civil del Estado de Coahuila (publicada el 14 de mayo del 2010), hace el siguiente señalamiento con respecto a la definición del Atlas "Sistema integral de información que contiene las características geográficas del Estado, así como el listado de los establecimientos y servicios sujetos al cumplimiento de esta ley, que permita identificar las zonas y presencia de riesgos para las personas, sus bienes y el medio ambiente. El listado de los establecimientos y servicios incluirá el personal y equipo especializado de que dispongan para la atención de desastres". Y responsabiliza a la Secretaría de Gobierno con la supervisión de dicho instrumento y a la Subsecretaría de Protección Civil, con la elaboración y actualización del Atlas.

1.2.1.2.2 Ley de Protección Civil para el Estado de Coahuila de Zaragoza.

Publicada el 27 de diciembre del 2011, en su artículo 5, define el "Atlas Estatal de Riesgos" como: Sistema integral de información que contiene las características geográficas del Estado, así como el listado de los establecimientos y servicios sujetos al cumplimiento de esta ley, que permita identificar las zonas y presencia de riesgos para las personas, sus bienes y el medio ambiente. El listado de los establecimientos y servicios incluirá el personal y equipo especializado de que dispongan para la atención de desastres.

El artículo 13 de la misma ley, señala que Corresponde a los ayuntamientos, por conducto de su presidente municipal, el ejercicio de las siguientes atribuciones, y en su fracción V indica "Identificar y diagnosticar los riesgos a los que está expuesto el municipio y autorizar el Atlas Municipal de Riesgos".

Así mismo, en el artículo 69 de la ley se señalan las atribuciones de las unidades municipales de protección civil, indicando en su fracción XIII que es su atribución elaborar y proponer al Presidente Municipal el Atlas Municipal de Riesgos.

1.2.1.3 Leyes Municipales

1.2.1.3.1 Reglamento de Protección Civil para el Municipio de Saltillo, Coahuila.

Este reglamento indica en su artículo 8, fracción III; que se considera de orden público e interés social, La prevención y control de eventualidades de catástrofes, calamidades o desastres públicos a que se encuentra expuesto el Municipio y que se señalan en el respectivo Atlas Municipal de riesgos previsto en este Reglamento.

A su vez, el artículo 31, fracción V, señala que el Atlas Municipal de Riesgos forma parte del Sistema Municipal de Protección Civil. Y en el artículo 60, fracción 1 se indica que "es competencial de la Unidad Municipal de Protección Civil, el Identificar y diagnosticar los riesgos a los que está expuesta la población, el entorno, la planta productiva y los servicios municipales, provenientes de agentes naturales o humanos que puedan dar lugar a desastres, mediante acciones permanentes y corresponsables entre las diversas autoridades del Municipio y la población en general, utilizando para ello los instrumentos jurídicos previstos en la Ley de la materia, este Reglamento y otras disposiciones aplicables; elaborando y actualizando permanentemente el Atlas Municipal de Riesgos. Y en la fracción XXIII, Elaborar y mantener actualizado el Atlas Municipal de Riesgos, en coordinación con los organismos afines".

El artículo 80, fracción II señala que como parte del Programa Municipal de Protección Civil tiene como objetivo la "Identificación de riesgos y los criterios para integrar y actualizar el Atlas de Riesgos del Municipio."

El artículo 85 del reglamento señala las características del Sistema Integral de Riesgos, indicando que "El Sistema Integral de Riesgos contendrá, como elemento fundamental, el Atlas Municipal de Riesgos, que incluye información georeferenciada y cuantificación de riesgos en términos de vulnerabilidad a la población, bienes, infraestructura básica y medio ambiente; la causa de cada riesgo y las medidas para nulificarlo, reducirlo o mitigarlo."

1.2.2 Talleres de participación ciudadana

La participación ciudadana es un elemento significativo en la elaboración del Atlas de Riesgos y Peligros del municipio, ya que ofrece la alternativa de incorporar información y conocimientos de los ciudadanos en el proceso de elaboración de este tipo de instrumento técnico que servirá como base en la toma de decisiones futuras en materia urbana y territorial.

En este proceso cobra relevancia las características del territorio, el sistema de asentamientos humanos, las características sociales, económicas y ambientales para detectar grandes problemas y buscar alternativas viables para la reducción, prevención y mitigación de riesgos ante los constantes daños ocasionados por los fenómenos naturales en el territorio municipal.

De esta manera, se proyectan diferentes instrumentos como son las entrevistas semiestructuradas y los talleres participativos, donde diferentes sectores y grupos sociales se manifiesten de forma libre aportando información histórica, se busca la opinión del mayor número de grupos de interés, organizaciones civiles, académicos expertos y funcionarios de gobierno preocupados por su municipio.

Las entrevistas y talleres están diseñados para recabar información que sea de utilidad al estudio en un espacio para el diálogo con las autoridades y el equipo técnico encargado de generar el estudio; para construir en común acuerdo las diferentes etapas del mismo.

El municipio de Saltillo a través del Instituto Municipal de Planeación ha definido los representantes de los sectores sociales, productivos y grupos públicos que serán invitados a los talleres participativos, los cuales son:

- El Consejo Consultivo para el Desarrollo Sustentable.
- Profauna A,C.
- Asociación de Usuarios del Agua de Saltillo.
- Museo del Desierto.
- Museo de las Aves de México.
- Habitantes de las colonias más afectadas en las inundaciones.

Se espera asistan 100 participantes.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Desarrollar el Atlas de Riesgos con énfasis en los fenómenos perturbadores identificados con niveles alto y muy alto para el Municipio de Saltillo, Coah., comprendiendo las cuencas alimentadoras del territorio municipal, con prioridad en las microcuencas que drenan hacia la zona metropolitana de Saltillo (ZMS).

1.3.2 Específicos

- Integrar, homologar y estandarizar la información existente (municipal, estatal y federal) relativa a cada uno de los fenómenos perturbadores asociados a los fenómenos por analizar

- Diseñar y construir un Sistema de Información Geográfica (SIG) en plataforma ArcGIS, para la gestión de riesgos.

- Elaborar mapas de zonificación y escenarios de peligro y/o amenaza, conjuntado con la exposición y vulnerabilidad de la población para conformar el nivel de riesgo social en el municipio por fenómeno perturbador, mediante metodologías que permite utilizar los criterios que, a nivel nacional, han definido las instancias con atribuciones en materia de riesgo.

- Facilitar la jerarquización de las zonas expuestas a amenazas y/o peligros de origen natural para que posteriormente, la autoridad correspondiente pueda priorizar estudios de mayor detalle; implementación de acciones estructurales y no estructurales propuestas como medidas de mitigación, examinar y comparar los problemas en diferentes áreas a fin de establecer una política municipal de la gestión integral y reducción del riesgo.

1.4 Alcances

Se pretende la integración de la información disponible y la determinación e identificación de amenazas y peligros de origen natural y la jerarquización del riesgo social. Dando énfasis en los temas de inundación y encharcamiento, que se presentan en la el Municipio de Saltillo, Coahuila, debido a que se encuentra dentro de un área que presenta las condiciones que favorecen el desarrollo y la evolución de estos fenómenos perturbadores. Este documento está circunscrito a los límites de municipales aunque para los objetivos del estudio, los análisis hidrológicos se extienden más allá de dichos límites.

1.5 Metodología

Para la elaboración del presente Atlas se tomará como base la metodología vigente desarrollada a nivel nacional por la SEDATU denominada “Bases para la estandarización en la elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2013”, así como las guías metodológicas publicadas por el CENAPRED, en particular las referentes a los peligros Geológicos e Hidrometeorológicos.

La base para el análisis del riesgo de inundaciones, es la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales del CENAPRED”. Pero ya que se cuentan con información geográfica más detallada que la que considera el CENAPRED se proponen modificaciones a la metodología que se explican más adelante en este documento.

Se emplean métodos básicos de interpretación de los sensores remotos disponibles como son las imágenes de satélite, ortofotos, fotografías aéreas y el modelo digital de elevación, para extraer información relativa a la expresión regional de los peligros y/o amenazas ocasionadas por fenómenos naturales y en la definición de las zonas de peligro en zonas urbanas.

Dentro de los alcances del proyecto es importante mencionar que sólo se profundizará en los peligros calificados con un nivel de análisis de 2 o 3 (según se indica en la sección 2.3 Niveles de Análisis). El análisis del riesgo es un estudio más detallado que requiere más información y un mayor tiempo de trabajo.

El peligro de inundación se analizará en función de las condiciones actuales de la topografía, tipo de suelo y cobertura del suelo. Se entiende por “condiciones actuales” aquellas que existían durante la toma de los datos para la generación de una determinada capa de información. En las zonas urbanas, la topografía puede ser modificada al construir un puente, una carretera o cualquier obra civil que modifique el flujo natural del agua. La cobertura de suelo es modificada al construir en zonas que antes eran matorral o bosque. Estas propiedades del área de estudio tienen una fuerte influencia en el peligro. Por lo tanto sólo se considerarán las condiciones del presente, no del pasado ni de posibles cambios en el futuro. El presente para este proyecto queda definido para la topografía por los datos del Modelo Digital de Elevación (MDE) generado a partir de los datos

Lidar 2007 adquiridos por el INEGI, para la zona urbana de Saltillo, y su equivalente de datos del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (INEGI con resolución de 15m) y para la cobertura de suelo por las imágenes de satélite Landsat-TM (de mediana resolución, pixeles de 30m).

Los datos empleados para la elaboración del atlas de riesgos se muestran en la Tabla 1, en donde se listan las capas de información, los usos que se dará a dicha capa, así como la o las fuentes de cada una de ellas.

Los fenómenos derrumbes se analizaran empleando modelos de caída de rocas en los que se emplea como insumo la información topográfica. Los peligros de inestabilidad de laderas se identificarán empelando la información existente del rumbo y manteo de las capas de rocas, relacionándolas con la existencia de factores que crean inestabilidad, tales como la apertura de caminos y la creación de áreas urbanas.

Los peligros de Inundaciones se analizarán empleando el modelo de HEC-HMS, desarrollado por el “US Army Corps of Engineers”, el cual es un modelo diseñado para el análisis unidimensional de flujos en cuerpos de agua. Los insumos de entrada al modelo son la topografía de la cuenca y el río, las características de textura del suelo, la cobertura del suelo y los datos de precipitación en la cuenca.

Las inundaciones pluviales se analizarán empleando una metodología desarrollada por LabSIG durante el desarrollo del Atlas de Riesgos de Monterrey; en la que se emplean los datos topográficos para la determinación de las áreas planas, así como la información de cobertura del suelo y permeabilidad del mismo y los datos de precipitación para definir el nivel de acumulación de agua en las zonas más planas del territorio municipal.

La información temática del INEGI (Geología y Edafología) se digitalizara a partir de las cartas escala 1:50,000, esto representa la digitalización de trece cartas por cada uno de los temas. De estas cartas se obtendrá la información de características de suelo y rocas, así como de la presencia de estructuras geológicas que puedan representar algún peligro.

Tabla 1. Datos empleados en la elaboración de Atlas de Riesgos de Saltillo, Coah.

Capa	**Requerimiento**	**Fuente**
Topografía	Generación de red hidrológica, límites de cuencas, determinación de secciones transversales de cauces, delimitación de zonas inundables, cálculo de pendientes, determinación de ollas y zonas de inundaciones pluviales por topografía con poca pendiente. Determinación de peligros geológicos (Derrumbes, inestabilidad de laderas, etc.)	Modelo digital de elevaciones (MDE) generado a partir de los datos del INEGI o Lidar 2007, con pixeles de 5 m
Edafología	Estimación de índices de infiltración del suelo.	INEGI 1:50,000
Geología	Determinación de peligros geológicos	INEGI 1:50,000
Cobertura y uso del suelo	Estimación de índices de infiltración del suelo	Imágenes Landsat-TM, pixel 30 m
Planimetría urbana	Determinación del efecto de la traza urbana en el escurrimiento superficial. Posicionamiento geográfico de registros históricos de inundaciones	Catastro
Ortofotos	Corrección de errores en la red hidrológica obtenida a partir del MDE.	INEGI
Meteorología	Datos de lluvia para estimación de curvas I-D-Tr de estaciones Monterrey CNA y Fierro del sistema de alerta hidrometeorológica temprana.	CNA
Datos hidrométricos	Datos hidrométricos para estimación de volúmenes de escurrimiento en las cuencas monitoreadas	CNA, BANDAS; otros estudios hidrológicos
Vías de comunicación	Determinación del efecto de la traza urbana en el escurrimiento superficial. Identificación de posibles puntos de conflicto en cruces de red vial, ferrocarriles y red hidrológica superficial.	INEGI, 1:50,000, Mapa Digital de México.
Límites municipales	Delimitación de jurisdicciones políticas	INEGI 1:50,000, Mapa Digital de México.
Población	Determinación de los niveles de susceptibilidad de la población y determinación del riesgo	INEGI, Censo de población y Vivienda 2010

La información de cobertura y uso del suelo se obtendrá a partir del análisis digital de imágenes del satélite, Landsat-TM, y será complementado con la información que se obtenga de fuentes municipales (Desarrollo urbano).

a) La información topográfica se obtendrá a partir de dos fuentes:
b) Para la zona urbana, se emplearán datos de un vuelo lidar llevado al cabo durante el año de 2007, la densidad de puntos de este vuelo permitirá obtener pixeles de 5 m de resolución, con una resolución en z de 1 metro. La nube de puntos se filtrará empleando software especializado (MARS y LP360).
c) Para la zona rural, se emplearán los datos del Continuo Mexicano de Elevaciones (v 3.0) el cual produce pixeles de 15 m de resolución y 1 m de resolución en Z.

1.6 Participación Ciudadana

La participación ciudadana es un elemento significativo en la elaboración del Atlas de Riesgos y Peligros del municipio, ya que ofrece la alternativa de incorporar información y conocimientos de los ciudadanos en el proceso de elaboración de este tipo de instrumento técnico que servirá como base en la toma de decisiones futuras en materia urbana y territorial.

En este proceso cobra relevancia las características del territorio, el sistema de asentamientos humanos, las características sociales, económicas y ambientales para detectar grandes problemas y buscar alternativas viables para la reducción, prevención y mitigación de riesgos ante los constantes daños ocasionados por los fenómenos naturales en el territorio municipal.

De esta manera, se proyectaron diferentes instrumentos para la implementación de la participación activa del municipio en la elaboración del Atlas de Riesgos de Saltillo, donde diferentes sectores y grupos sociales se manifestaron de forma libre aportando información histórica, se buscó

la opinión del mayor número de grupos de interés, organizaciones civiles, ciudadanos asentados en zonas de riesgo y funcionarios municipales preocupados por su municipio. Los instrumentos fueron diseñados para recabar información de utilidad al estudio y construir en común acuerdo sus diferentes etapas, en un espacio para el diálogo con las autoridades, ciudadanos y el equipo técnico del ITESM.

Los instrumentos implementados para la participación ciudadana fueron los siguientes:

1. La creación de un comité municipal para la gestión de información.
2. Entrevistas semiestructuradas a ONG´s de la localidad.
3. Talleres de participación ciudadana

1.6.1 La Creación de un Comité Municipal para la Gestión de Información

El municipio de Saltillo a través del Oficio No. DDA/250/2014 del 18 de junio del 2014, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 24 [1] ,32 [2] y 33 [3] del Código Municipal para el Estado de Coahuila de Zaragoza (Estado, 1999) y el 32 [4] del Reglamento Interior del R. Ayuntamiento del Municipio de Saltillo(Estado, 2001), estableció un grupo de trabajo, denominado “Comité para el Atlas” con el objetivo de gestionar información de diversas dependencias de la administración pública municipal centralizada.

1.6.1.1 Integración del Comité

Este grupo de trabajo estuvo coordinado por la dirección general del Instituto Municipal de Planeación de Saltillo (IMPLAN) y se integró por representantes de las siguientes direcciones de la administración pública municipal:

- Dirección de Protección Civil
- Dirección de Catastro
- Dirección de Desarrollo Rural
- Dirección de Desarrollo Urbano
- Dirección de Ecología
- Dirección de Policía Municipal y Tránsito
- Instituto Municipal de Planeación de Saltillo

1.6.1.2 Actividades del Comité

Las actividades del Comité para el Atlas se suscribieron dentro de las primeras 17 semanas en el marco del cronograma de trabajo del proyecto Atlas de Riesgos para Saltillo y tuvieron a su cargo las siguientes actividades:

1. Asistir a reuniones semanales del comité con el equipo técnico del ITESM
2. Diseñar actividades de gestión de información en conjunto con el equipo técnico del ITESM
3. Gestionar información útil para la producción del Atlas
4. Diseñar recorridos urbanos y rurales en el territorio municipal
5. Recorrer con el equipo técnico del ITESM los puntos de interés en el territorio municipal
6. Seleccionar a representantes de los sectores sociales, productivos y grupos públicos para entrevistas semiestructuradas
7. Seleccionar los centros comunitarios para llevar a cabo los talleres de participación ciudadana

1.6.1.3 Entrevistas semiestructuradas a ONG´s de la localidad

El municipio de Saltillo a través del Comité para el Atlas definió los representantes de los sectores sociales, productivos y grupos públicos mediante Oficio No. IMPLAN-DG2014 del 8 de julio de 2014, los cuales se convocaron a participar en entrevistas semiestructuradas donde el objetivo central fue captar información histórica de afectaciones a la población ocasionadas por fenómenos naturales en el territorio municipal.

1.6.1.3.1 Selección de representantes de los sectores sociales

Los representantes de la ciudadanía organizada lo conformaron cinco ONG´s de la localidad:

- El Consejo Consultivo para el Desarrollo Sustentable
- Profauna A,C.
- Asociación de Usuarios del Agua de Saltillo
- Museo del Desierto
- Museo de las Aves de México

El Consejo Consultivo para el Desarrollo Sustentable de Coahuila

Es un órgano de consulta de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT, cuyo objeto es lograr la participación corresponsable de todos los sectores de la sociedad para promover la protección, conservación y restauración de los ecosistemas, los recursos naturales, y los bienes y servicios ambientales, a fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable. El consejo en Coahuila está conformado por representantes de los sectores Académico, Empresarial, Organizaciones de Jóvenes, Organizaciones de mujeres y/o con Perspectiva de Género, Organizaciones No Gubernamentales, Pueblos y comunidades Indígenas, Social, Órgano Consultivo Estatal, Poder Ejecutivo Estatal, Poder Legislativo Local y la Delegación de la SEMARNAT en la Entidad (SEMARNAT 2012)

Profauna A,C.

Se constituyó como Asociación civil en 1988 y tiene como objetivo la conservación, supervisión, y asesoramiento para salvaguardar los recursos naturales en el municipio de Saltillo, Coahuila (PROFAUNA 2014)

Asociación de Usuarios del Agua de Saltillo

Fundada en 2001 es un organismo de la sociedad civil organizada, que tiene como objetivos el de contribuir a evaluar y mejorar los servicios de agua y drenaje de la ciudad de Saltillo a través de la observación y el seguimiento de la operación del servicio. (AUAS 2008)

Museo del Desierto, A.C.

Esta organización fue inaugurada en 1999 y tiene como objetivos la difusión científica y la conjugación en sus instalaciones la paleontología, geología, biología, antropología, historia y arte en un profundo conocimiento del desierto.

Museo de las Aves de México

Fundado en 1993, Es una Institución dedicada a difundir la diversidad de las aves de México, así como de la importancia de conservarla

1.6.1.4 Talleres de participación ciudadana

Los Talleres son una técnica participativa que pretenden impulsar el desarrollo local y la democracia participativa a través de la integración de la comunidad al ejercicio de la política. Alberich, T. (2004). Los talleres en ese caso convocan a ciudadanos que, una vez reunidos, proceden a la discusión ordenada y respetuosa sobre los diferentes fenómenos naturales y los daños que causan en el territorio municipal y en los que prevalece el ánimo de colaboración y seguimiento por parte de todos los actores de este ejercicio democrático.

Objetivos

1. Recoger e identificar las percepciones de la población con respecto a los fenómenos ambientales observados en el territorio municipal
2. Recoger e identificar las percepciones de la población con respecto a los riesgos ante fenómenos ambientales
3. Recoger e identificar las percepciones de la población con respecto a daños ocasionados por fenómenos naturales en el municipio
4. Establecer mecanismos de diálogo y comunicación para exponer el proceso de elaboración del proyecto Atlas de Riesgos de Saltillo

1.6.1.4.1 Centros comunitarios

Estos centros ofrecen a la ciudadanía espacios públicos para reunirse a realizar actividades deportivas, educativas y de recreación, así como brindar beneficios de salud ya que dan servicio de consulta médica y de farmacia, ofrecen gratuitamente diversos cursos, talleres, eventos culturares, conferencias, capacitación para el trabajo y asesoría para gestiones administrativas con el gobierno municipio. Las actividades de estos espacios son coordinados por la Dirección de Desarrollo Social municipal, y se encuentran localizados en la zona urbana del municipio donde se despliega una red de 9 centros comunitarios organizados para poder atender a grupos de colonias.

El municipio de Saltillo a través del Comité para el Atlas seleccionó los centros comunitarios donde se realizaron los dos talleres de participación ciudadana, los criterios de selección fueron los siguientes:

1. Con acceso a la población urbana

2. Con área de influencia en las colonias con afectaciones por inundaciones recurrentes

Selección de Centros Comunitarios

- Centro comunitario Oceanía Boulevares
- Centro comunitario Nueva Libertad

Centro comunitario Oceanía Boulevares

Está ubicado en calle virrey y Luis de Velasco esq. Con el Boulevard Oceanía, tiene dentro de su área de influencia las siguientes colonias:

4. Oceanía Bulevares
5. Jacarandas
6. Magnolias
7. Fátima
8. Oceanía
9. Saltillo 400
10. Los Reales
11. Europa
12. Villa Nueva
13. América

Centro comunitario Nueva Libertad

Está ubicado en Calle Jesús R. GLZ. Entre Halita y Plomo, tiene dentro de su área de influencia las siguientes colonias:

14. Nva. Libertad
15. La Libertad
16. Bonanza
17. Real de Villas de la Aurora
18. Villas de la Aurora
19. Nueva Aurora
20. Gustavo Díaz Ordaz
21. La Fragua
22. Ampl. Bonanza
23. Balcones de la Aurora

Diseño talleres de participación ciudadana

1.- Registro de participantes (30 minutos).
2.- Bienvenida y exposición de motivos por parte de las autoridades del municipio de Saltillo y del grupo académico del ITESM (10 minutos)
3.- Presentación de los participantes (20 minutos).
4.- Sesión Plenaria con los siguientes temas:
a) Exposición de los objetivos, principios de trabajo, expectativas, mecánica y programa de trabajo del Taller (15 minutos).
b) Explicación de los diferentes fenómenos naturales que se analizan por parte del grupo académico del ITESM (30 minutos).
4.- Organización de las mesas de trabajo (15 minutos).
5.- Mesas de trabajo por sector para documentar eventos históricos de daños ocasionados por fenómenos naturales en el territorio municipal, (30 minutos).
6.- Sesión Plenaria de resultados de las diferentes mesas de trabajo (30 minutos).
7.- Receso (15 minutos).
8.- Análisis de los fenómenos naturales observados en la localidad (10 minutos)
8.- Análisis de la percepción del riesgo ante fenómenos naturales en la localidad (10 minutos).
8.- Análisis de los daños ocasionados por fenómenos naturales en el territorio municipal (30 minutos).
9.- Ubicación en mapas de los eventos históricos (30 minutos)
10.- Evaluación del Taller (15 minutos).

Duración Total: 4 horas con 50 minutos.

Metodología usada en el taller

Tema	Objetivo	Técnica	Procedimiento	Responsable	Tiempo
1.- Registro de participantes	Obtener los datos de los participantes del Taller	Recopilación de datos en formato diseñado para tal efecto en mesa de registro	El invitado al llegar a la mesa de registro se le proporciona el formato prediseñado para recopilar sus datos y se le entrega un folder que contiene el orden del día y hojas blancas así como una etiqueta auto adherible para que con un marcador escriba su nombre y la adhiera a su ropa.	Personal de apoyo ITESM	30 minutos
2. Bienvenida y exposición de motivos del taller	Dar la bienvenida oficial a los participantes del Taller por parte de las autoridades locales convocantes	Expositiva	En forma expositiva las autoridades municipales dan la bienvenida al pleno, exponiendo la importancia del Taller y presentando al equipo de académicos del ITESM que tendrá bajo su responsabilidad los trabajos a desarrollar	Autoridades del municipio de Saltillo (Lic. Machely Flores) Grupo académico del ITESM (Mtra. Lilia Terán)	10 minutos
3. Presentación de los participantes	Iniciar un proceso de integración entre los asistentes.	En voz alta y de pie cada uno de los participantes dice su nombre y cuál es su actividad o el sector al que pertenece.	El Coordinador del Taller solicitará a los participantes que en forma ordenada y usando un micrófono que les será proporcionado por el personal de apoyo digan su nombre, cuál es su actividad o el sector al que pertenecen así como las expectativas que tienen del Taller.	Grupo académico del ITESM (Mtra. Lilia Terán)	20 minutos
4. Sesión Plenaria con los siguientes temas: a) Exposición de los objetivos, principios de trabajo, expectativas, mecánica y programa de trabajo del Taller b) Explicación de los diferentes fenómenos naturales que se analizan	El Atlas de Riesgos y Peligros para Saltillo, Coahuila	Exposición en plenaria. Preguntas y respuestas en tarjetas.	El facilitador responsable del estudio en forma expositiva explicará los conceptos básicos del Atlas Municipal apoyándose en una presentación digital elaborada para tal efecto. En caso de que existieran preguntas por parte de los participantes, se les solicitará que las escriban en tarjetas diseñadas para tal efecto, respondiéndose posteriormente (en las mesas de trabajo).	Grupo académico del ITESM (Mtra. Lilia Terán)	15 minutos 30 minutos
4. Organización de las mesas de trabajo	Organizar las mesas de trabajo que desarrollarán los trabajos de análisis y discusión de la temática programada.	Conformación y organización de las mesas de trabajo	El facilitador de la mesa de trabajo dará la bienvenida a los participantes y reafirmará los procedimientos establecidos, dando respuesta y orientación a todas las dudas que se expusieran y en su caso se contestarían preguntas	Grupo académico del ITESM (Mtra. Lilia Terán)	15 minutos
5. Mesas de trabajo por sector para documentar eventos históricos de daños ocasionados por fenómenos naturales en el territorio municipal,	Analizar y documentar eventos históricos	Mesas de Trabajo Sectoriales trabajando bajo el procedimiento de lluvia de ideas, utilizando Preguntas Guía para facilitar la participación	Se trabajarán en base a Preguntas Guía previamente diseñadas que serán expuestas y en su caso explicadas por el facilitador, solicitando que los participantes den respuesta por escrito formatos diseñados para este fin. El facilitador y el secretario recibirán las respuestas y las organizarán y clasificarán detectando posibles opiniones que sean similares; esto se repetirá hasta que se dé respuesta a todas las preguntas consideradas para la mesa de trabajo que se trate. Una vez clasificadas las respuestas, el Secretario de Mesa, en hojas de rotafolios, escribirá un resumen integrado de las mismas así como, en su caso, realizará la captura de la información en equipo de cómputo. En la mesa de trabajo se nombrará un Relator entre los asistentes para que exponga los resultados en la Sesión Plenaria correspondiente.	Grupo académico del ITESM (Mtra. Lilia Terán)	30 minutos
6. Sesión Plenaria de resultados de las diferentes mesas de trabajo	Clasificar y en su caso validar los resultados de las diferentes mesas de trabajo	Expositiva	El relator designado por cada mesa expondrá los resultados obtenidos de los trabajos de análisis (preguntas, respuestas mayoritarias y otros aspectos de relevancia) con el apoyo de hojas de rotafolio con la información correspondiente. Asimismo dará respuesta a las preguntas que le sean formuladas, contando con el apoyo del facilitador de su mesa de trabajo.	Grupo académico del ITESM (Mtra. Lilia Terán)	30 minutos

			El Coordinador General del Taller fungirá como mediador de la Sesión Plenaria y tendrá intervenciones para dar turno a los relatores y en su caso organizar las intervenciones que se presenten por parte de los asistentes.		
7. Receso					15 minutos
8. Análisis de los eventos históricos de daños ocasionados por fenómenos naturales en el territorio municipal	Integrar los eventos repetitivos y daños ocasionados por los fenómenos naturales y en su caso validar los eventos correspondientes	Plenaria	El relator designado por cada mesa expondrá los resultados obtenidos de los trabajos de análisis (preguntas, respuestas mayoritarias y otros aspectos de relevancia) con el apoyo de hojas de rotafolio con la información correspondiente. Asimismo dará respuesta a las preguntas que le sean formuladas, contando con el apoyo del facilitador de su mesa de trabajo. El Coordinador General del Taller fungirá como mediador de la Sesión Plenaria y tendrá intervenciones para dar turno a los relatores y en su caso organizar las intervenciones que se presenten por parte de los asistentes.	Grupo académico del ITESM (Mtra. Lilia Terán)	30 minutos
9.- Ubicación en mapas de los eventos históricos	Ubicar con coordenadas geográficas los diferentes eventos		Personal académico del ITESM ubicará los puntos geográficos de los eventos identificados por las mesas de trabajo	Grupo académico del ITESM (Dra. Fabiola Yépez Rincón)	30 minutos
10. Evaluación del Taller	Conocer la opinión de los participantes del taller en los diferentes aspectos de su realización	Evaluación en formatos para que los asistentes respondan las siguientes preguntas: • ¿Qué me gustó del Taller? • ¿Qué no me gustó del Taller?	El personal de apoyo les proporcionará un formato para ser contestado por escrito por los participantes al Taller, mismo que será recogido y resguardado	Personal de apoyo ITESM	(15 minutos).

Los resultados de las entrevistas y reuniones con personal de las distintas dependencias del municipio, así como con ciudadanos y ONG's se muestran en el anexo 2.

2 DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ANÁLISIS Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

2.1 Localización y Límites Políticos

Saltillo, capital del Estado de Coahuila, recibe su nombre debido a un pequeño salto de agua que aún existe (INAFED 1, 2014). El municipio de Saltillo está localizado en la región sureste del estado de Coahuila (Figura 1), colinda con los municipios de General Cepeda, Ramos Arizpe, Arteaga y Parras, en Coahuila; Galeana (Nuevo León) y Mazapil, El Salvador y Concepción del Oro (Zacatecas). Ocupa una superficie de 5,652 Km^2, lo que representa el 3.72 % de la superficie estatal. Se encuentra a una altura promedio de 1,600 m.s.n.m., en la porción suroriental de la provincia del Desierto Chihuahuense. Se encuentra a unos 350 Km de distancia de las costas del Golfo de México. La zona urbana de Saltillo se localiza en la porción noreste del territorio municipal, conectada con las zonas urbanas de Ramos Arizpe y Arteaga.

2.2 Determinación de la Zona de Estudio

La zona de estudio está definida por los límites políticos del municipio (Figura 1 y mapa 1 del anexo cartográfico), sin embargo otros factores pueden hacer que partes del estudio se extiendan más allá de los límites políticos, en particular cabe señalar la extensión de las cuencas hidrológicas que encontramos en el municipio, así como la información meteorológica requerida para las modelaciones climáticas, ya que esta información deberá de extenderse a las estaciones localizadas en la periferia del municipio.

En lo referente a las cuencas hidrológicas, en Saltillo se localizan los inicios de varias cuencas, lo que permite restringir el estudio prácticamente los límites políticos municipales, sin necesidad de extender el análisis hidrológico más allá de estos límites.

2.3 Niveles de Análisis

Los niveles de análisis de los fenómenos perturbadores están definidos por dos elementos: la probabilidad de ocurrencia de los peligros en el territorio municipal, y la disponibilidad de datos requeridos para el análisis del mismo.

Los fenómenos perturbadores y el nivel de análisis por desarrollar se muestran en la Tabla 2. Los problemas críticos señalados por las autoridades municipales son los relacionados con las inundaciones (Lluvias extremas, Inundaciones fluviales y pluviales), así como la posibilidad de caídos, derrumbes e inestabilidad de laderas. El resto de los fenómenos perturbadores son, o de muy poca probabilidad de ocurrencia (i.e. Vulcanismo, Tsunamis, Tornados), o su nivel de afectación abarca todo el territorio municipal (Sismos, Sequías, Ciclones tropicales); o su ocurrencias es muy aleatoria (Heladas, Tornados, Tormentas de Granizo o Nieve) en lo que respecta a su ubicación geográfica) y por tanto su predicción y modelación no es posible con los datos que existen actualmente.

Tabla 2. Lista de Fenómenos perturbadores y niveles de afectación

Fenómeno Perturbador	**Nivel***	**Desarrollo y evidencias en el municipio**	**Análisis**
Vulcanismo	Muy Bajo	No encontramos evidencia documental	Nivel 1
Sismos y/o maremotos	Muy Bajo	Afectaciones aisladas, se anexa evidencia documental	Nivel 1
Tsunamis	Muy Bajo	No encontramos evidencia documental	Nivel 1
Inestabilidad de laderas	Muy Bajo	Afectaciones aisladas, se anexa evidencia documental	Nivel 2
Flujos	Muy Bajo	No encontramos evidencia documental	Nivel 1
Caídos o Derrumbes	Alto	Afectaciones recurrentes en carretera Mty-Saltillo. Se anexa evidencia documental. Se necesita evaluar el riesgo de asentamientos urbanos	Nivel 2
Hundimiento	Bajo	No encontramos evidencia documental	Nivel 1
Subsidencia	Bajo	No encontramos evidencia documental	Nivel 1
Agrietamientos	Bajo	No encontramos evidencia documental	Nivel 1
Ondas cálidas o gélidas.	Alto	Afectaciones recurrentes, se anexa evidencia documental	Nivel 2
Sequías	Medio	Afectaciones recurrentes, se anexa evidencia documental	Nivel 1
Helada	Bajo	Afectaciones aisladas, se anexa evidencia documental	Nivel 1
Tormentas de Granizo	Bajo	Afectaciones aisladas, se anexa evidencia documental	Nivel 1
Tormentas de Nieve	Muy Bajo	Afectaciones muy aisladas	Nivel 1
Ciclones tropicales	Medio	Afectaciones aisladas, se anexa evidencia documental	Nivel 1
Tornados	Muy Bajo	No encontramos evidencia documental	Nivel 1
Tormentas de Polvo	Medio	Afectaciones aisladas, se anexa evidencia documental	Nivel 1
Tormentas eléctricas	Medio	Afectaciones recurrentes, se anexa evidencia documental	Nivel 1
Lluvias Extremas	Medio	Afectaciones aisladas	Nivel 2
Inundaciones Fluviales	Alto	Afectaciones recurrentes de desbordamientos de arroyos por lluvias de temporal.	Nivel 3
Inundaciones Pluviales	Alto	Afectaciones recurrentes en las zonas planas	Nivel 2

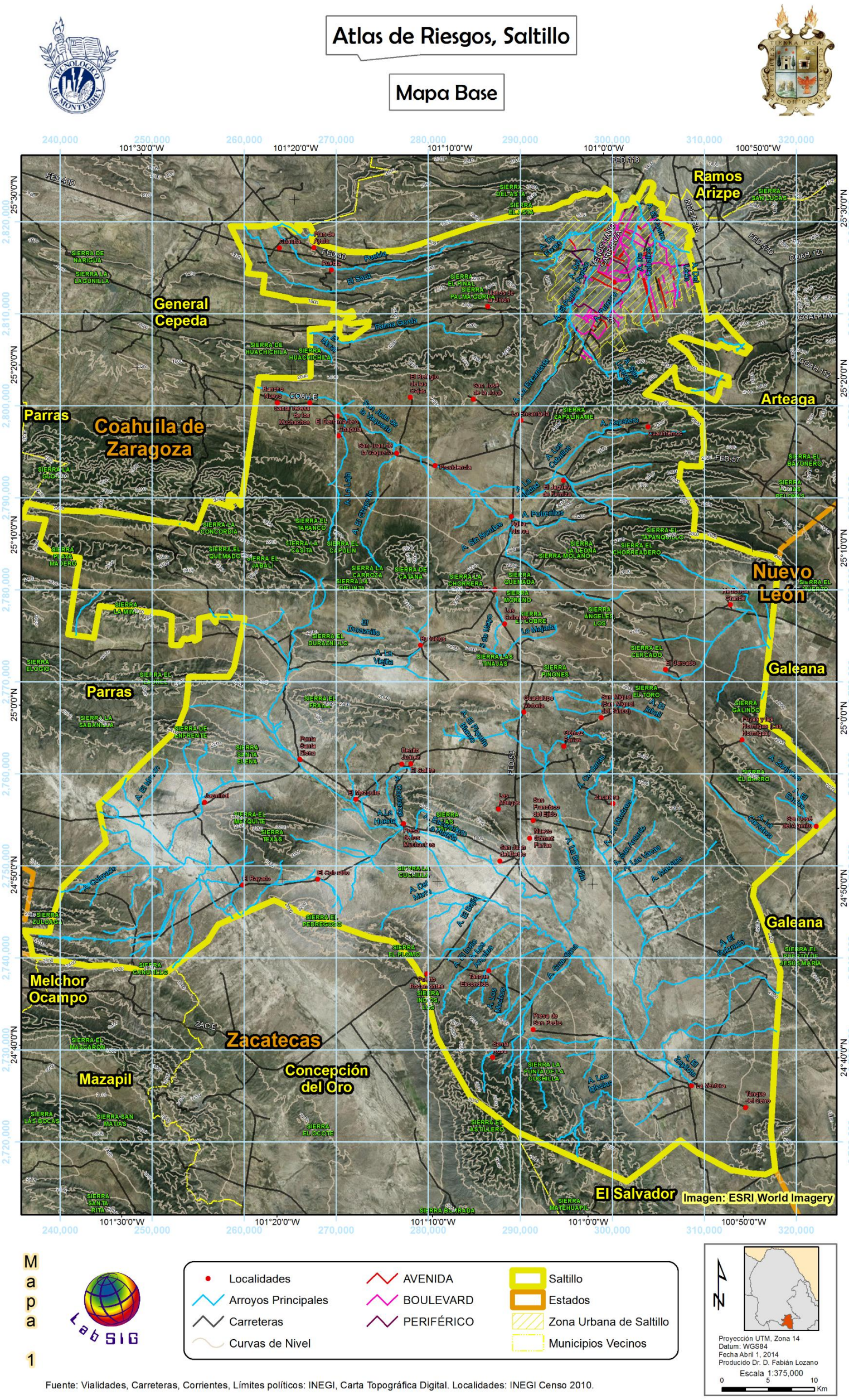


Figura 1. Mapa base del municipio de Saltillo, Coahuila.

El atlas se integrará a dos niveles de resolución: el nivel regional en donde se analizará la totalidad del territorio municipal, en el que se evaluarán todos los fenómenos perturbadores independientemente de su probabilidad de ocurrencia, la escala geográfica de trabajo será de *1:50,000.* El segundo nivel será el de “detalle” en donde se analizará la ciudad de Saltillo, así como las áreas relacionadas con la infraestructura carretera para los fenómenos perturbadores de Caídos o Derrumbes, Fallas y Fracturas, Inundaciones fluviales y pluviales. La escala de trabajo cartográfica para este parte del estudio dependerá del área que se esté abordando y podrá variar *en 1:15,000 hasta 1:5,000.*

En lo que respecta al primer elemento, en la Tabla 2 se listan los fenómenos perturbadores y el nivel de peligro identificado para cada uno dentro del territorio municipal. Esta tabla fue consensada con el comité técnico del Atlas de Riesgos.

3 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL

3.1 Fisiografía

El territorio municipal es atravesado por la Sierra Madre Oriental (Figura 3 y mapa 2 del anexo cartográfico), en dirección este-oeste, justo al sur de la zona metropolitana de Saltillo (ZMS). En este sistema se encuentra la Sierra de Zapaliname, y al oeste de esta la Sierra de Playa Madero, la cual se continúa hacia el oeste en el municipio de Parras de la Fuente. En la porción sureste del territorio municipal se encuentran las sierras de "El Astillero" y "Matehuapil", mientras que en la región suroeste esta las sierras de "Texas", "Zuloaga" y "La Prieta".

Las elevaciones máximas se encuentran en la Sierra de La Concordia (al oeste del municipio), alcanzando una elevación de más de 3,100 m.s.n.m., las elevaciones más bajas se encuentran en la ZMS, llegando a los 1,400 m.s.n.m.

Además de las áreas relativamente planas en la ZMS, al sureste del municipio se localizan grandes extensiones muy planas que dan origen a una cuenca endorreica que drena a la denominada "Laguna El Hundido" (con elevación cercana a los 1,720 m.s.n.m.). Mientras que en la zona suroeste hay otra área con topografía muy plana (con una elevación de alrededor de 1,650 m.s.n.m.), que drena a la laguna "Tecolotes".

La topografía de la ZMS (Figura 4 y mapa 3 del anexo cartográfico) está dominada por la Sierra de Zapaliname hacia el sur, y las sierras del "Asta" y "Palma Gorda" hacia el oeste. Las elevaciones varían desde los 1,420 m.s.n.m. en la porción noreste del área urbana, hasta los 2,020 m.s.n.m. al pie de monte de la sierra de Zapaliname.

El territorio municipal también está dividido en cuatro subprovincias fisiográficas distintas como se muestra en la Tabla 3 y en la Figura 6 y mapa 5 del anexo cartográfico, la mayor parte del territorio corresponde a la subprovincia de Sierras Transversales, cubriendo un 69.9% del municipio.

Tabla 3. Sub provincias fisiográficas y su cobertura en porcentaje con respecto al municipio.

Sub provincias	**Cobertura**	
	(km^2)	Porcentaje
Gran sierra plegada	372.81	6.63%
pliegues Saltillo-Parras	1282.11	22.80%
Sierras Transversales	3928.99	69.88%
Sierras y Llanuras occidentales	38.57	0.69%

3.2 Geomorfología

El municipio de Saltillo se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica de "Sierra Madre Oriental" (SMO), y en las subprovincias de "Pliegues Saltillo-Parras", "Gran Sierra Plegada", "Sierras Transversales" y "Sierras y Llanuras Occidentales" (Figura 6 y mapa 5 en el anexo cartográfico). El municipio está mayoritariamente cubierto por geoformas del sistema cárstico (25.9%) y de piedemonte (21%) como se muestra en la Figura 2.

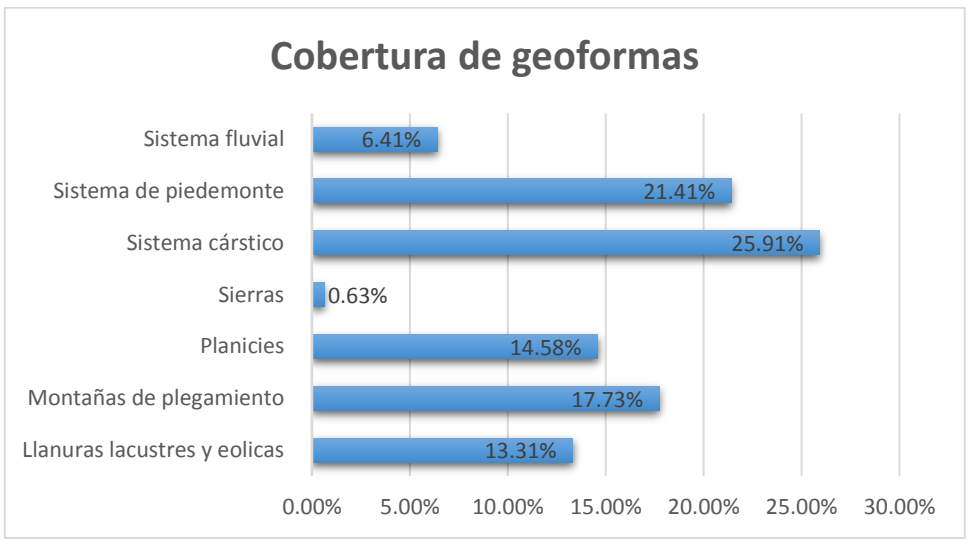


Figura 2. Porcentajes de cobertura de geoformas con respecto al Municipio.

Fisiográficamente está compuesto por varios grupos y geoformas tal y como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Grupos y geoformas presentes en el municipio de Saltillo.

Grupos	Geoformas
Llanuras Lacustres	Llanura Lacustre Interior
Montañas de plegamiento	Elevaciones Bajas y/o Lomeríos
	Premontaña
	Montaña
Sierras	Montaña Bloque
Sistema de piedemonte	Abanicos Aluviales
	Rampa Acumulativa con procesos de sedimentación
	Rampa Erosiva con procesos de socavación
Sistema Fluvial	Valle Aluvial
	Valle Amplio
	Valle de Montaña
	Valle Intermontano
Sistema cárstico	Relieve Cárstico Denudatorio
Planicies	Relieve Mesiforme de estructura tabular

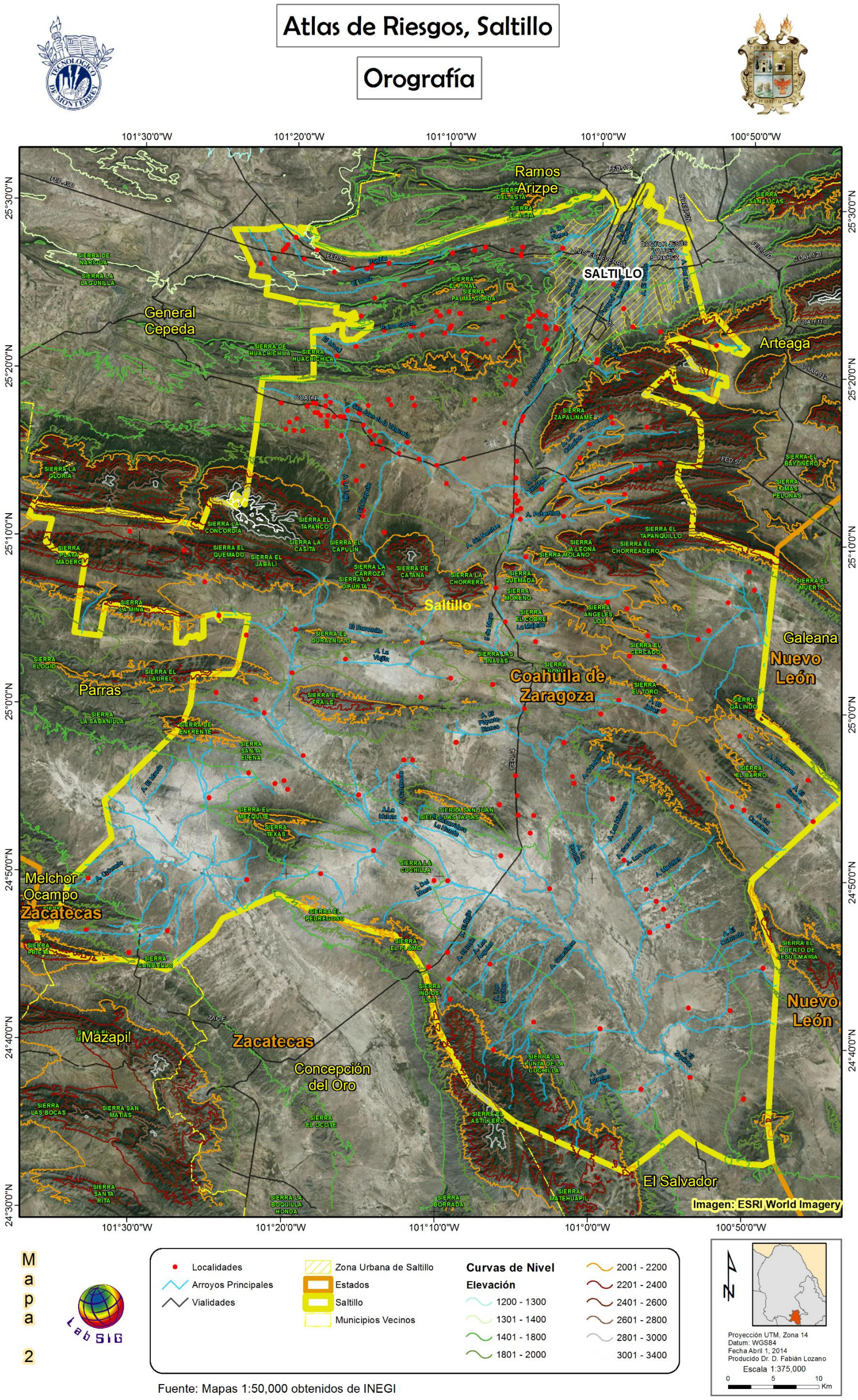


Figura 3. Topografía general del municipio de Saltillo.

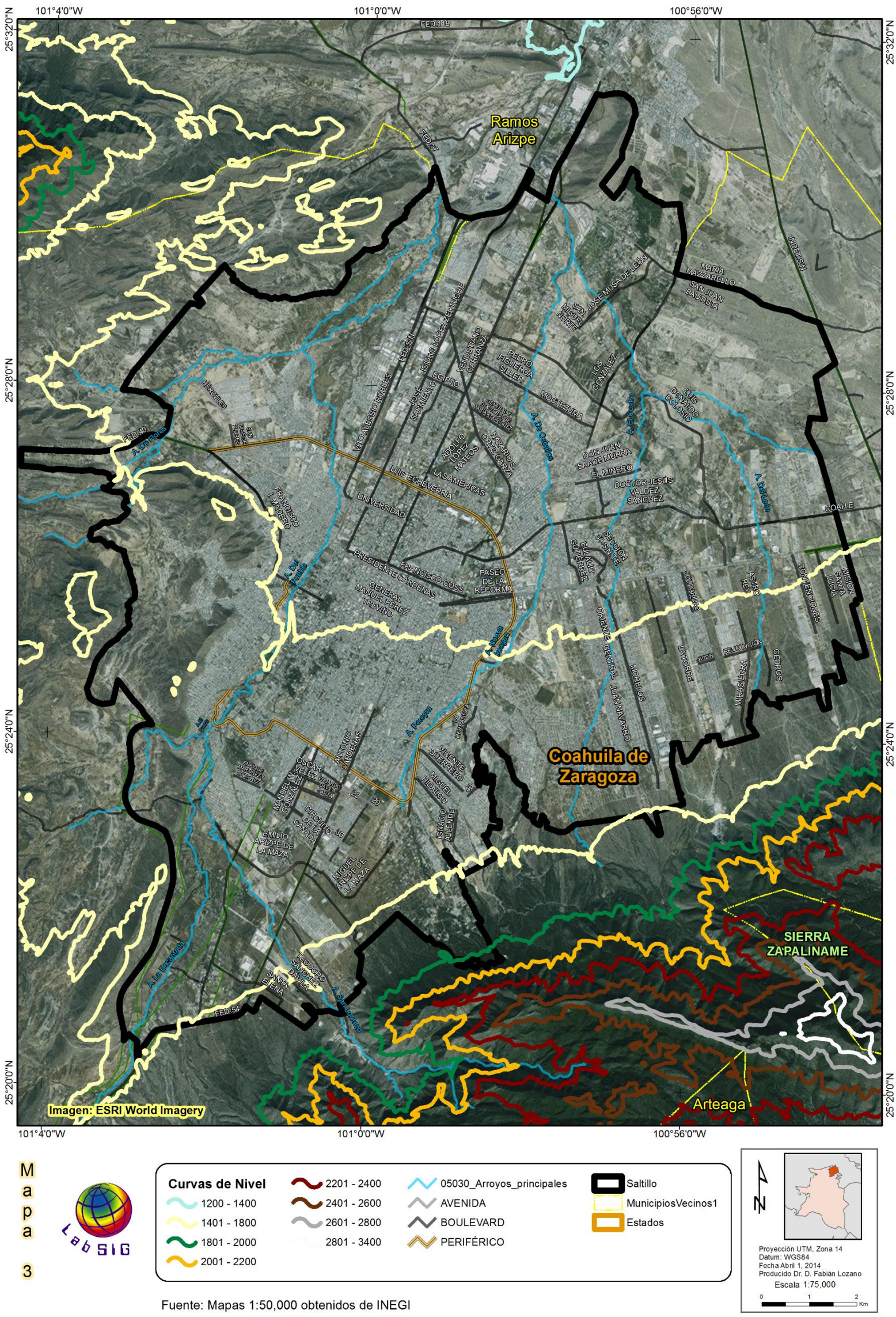
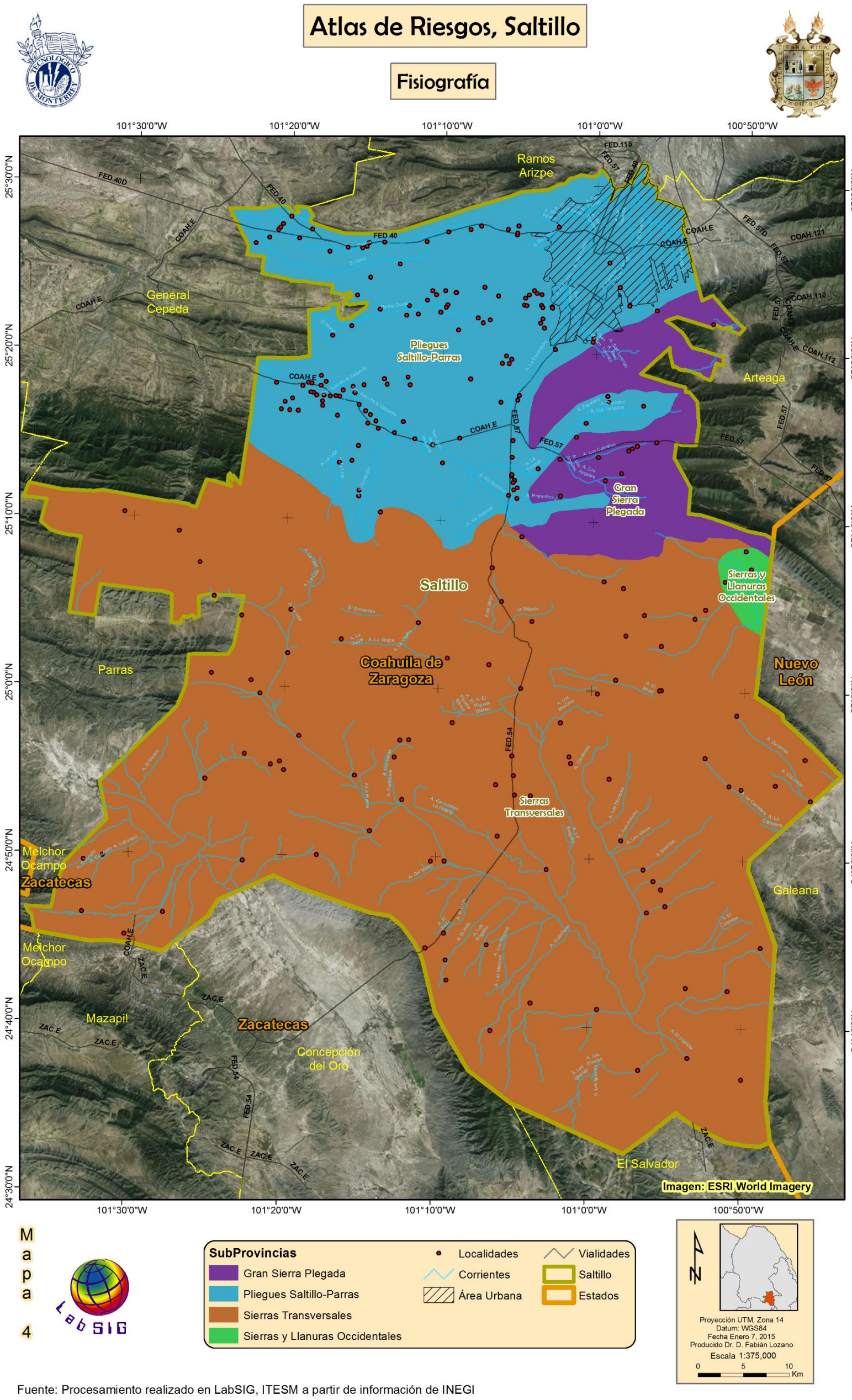


Figura 4. Topografía general del municipio de Saltillo, acercamiento a la zona urbana.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información de INEGI

Figura 5. Mapa de subprovincias fisiográficas.

La ZMS, se encuentra localizada en la subprovincia de los Pliegues Saltillo-Parras, y en ella se encuentran tres topoformas: “Elevaciones bajas con lomeríos”, “Rampa Acumulativa con procesos de sedimentación, y “Rampa acumulativa con procesos de socavación lateral”.

La primara rodea a las otras dos y está ubicada al sur, suroeste y este del área urbana, y corresponde a los zonas de pie de monte de la sierra de Zapliname, produciendo un drenaje casi paralelo en dirección al noreste, el cual coalesce en la parte más norteña del municipio, dando origen a los procesos de sedimentación que están representados por la segunda topoforma antes mencionada.

Esta condición es relevante para entender el proceso de acumulación de aguas de lluvia en el norte del municipio (y del ZMS), y poder explicar más adelante algunos de los peligros; particularmente el de inundación pluvial (encharcamientos) e inundación fluvial en esta zona.

En la zona rural del municipio, aparecen varias áreas identificadas como “Llanura lacustre interior”, lo que representa zonas de potencial inundación; estas zonas muy planas son empeladas para distintas actividades agrícolas y pecuarias.

En lo que respecta a los peligros geológicos, las topoformas identificadas como Montaña, Montaña bloque y Relieve cárstico denudatorio representan formaciones que por la disección de los sistemas fluviales pueden generar áreas con potencial de peligro de derrumbe.

3.3 Geología

Las rocas superficiales dominantes en el municipio son de tipo de “Suelos” (60.97%) (Figura 7 y mapa 5 del anexo cartográfico), seguidas por las rocas sedimentarias (32.92%) y un porcentaje muy bajo de rocas ígneas (0.7%). Dentro del grupo de suelos, destacan los aluviones, ocupando el 60.92%). En lo que respecta a las rocas sedimentarias, las más abundantes son las calizas (20.56%), seguidas de las Lutitas-Areniscas (8.97%) y el Conglomerado (5.41%).

Todas estas formaciones forman parte del sistema de la SMO, misma que ha presenta una gran cantidad de plegamientos, los cuales han modificado significativamente la orientación de las capas (echado), se encuentran rocas con echados de 0 hasta 90 grados. La Figura 8 y mapa 6 en el anexo cartográfico) muestra la distribución de los datos de echados, observándose una distribución heterogénea. Hay una concentración de puntos con echados de 80° a 90° en las sierras de Zapaliname, Molano, Los Ángeles; El Duraznillo y El Fraile. Rocas con echados de entre 60° a 80° se encuentran en el noreste del municipio (Sierras El Pinal, Palma Gorda), así como las sierras de El Chorradero, El Jabalí, El Fraile, El Mezquite (entre otras). Cercanos a la ZMS encontramos rocas con echados de 30° a 60° predominantemente, tanto en la sierra de Zapaliname, como en la de El Pinal y Palma Gorda.

Las estructuras geológicas presentes en el municipio de Saltillo, consisten principalmente de fallas, fracturas, concentradas en la porción norte y centro del municipio (Figura 9 y mapa 7 en el anexo cartográfico). Estas estructuras están asociadas con los plegamientos de la SMO.

La combinación de tipos de rocas, echado y fracturamiento representa una combinación muy importante al analizarse los peligros geológicos, en particular aquellos relacionados con la inestabilidad de laderas.

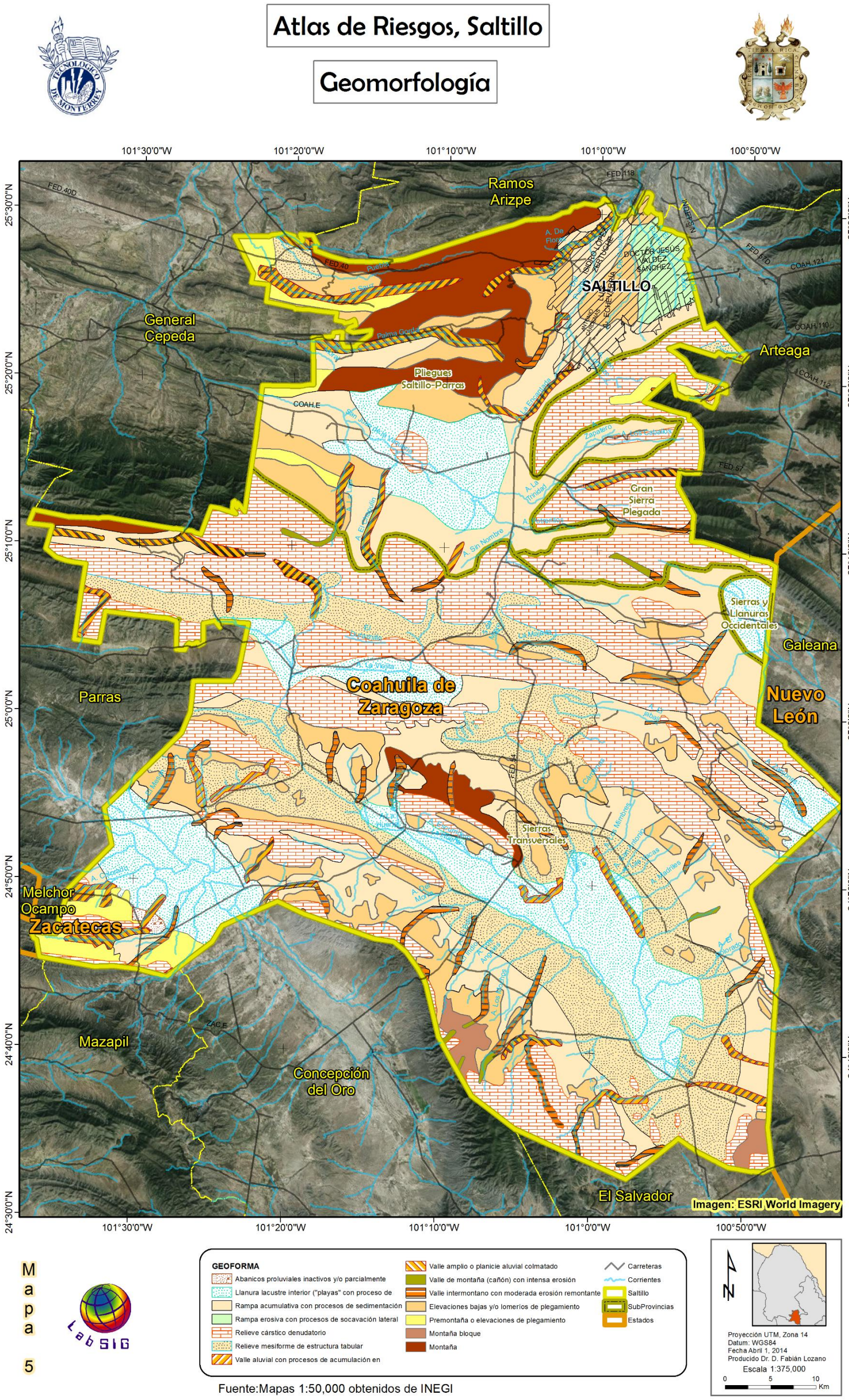


Figura 6. Geomorfología del municipio de Saltillo, Coahuila.

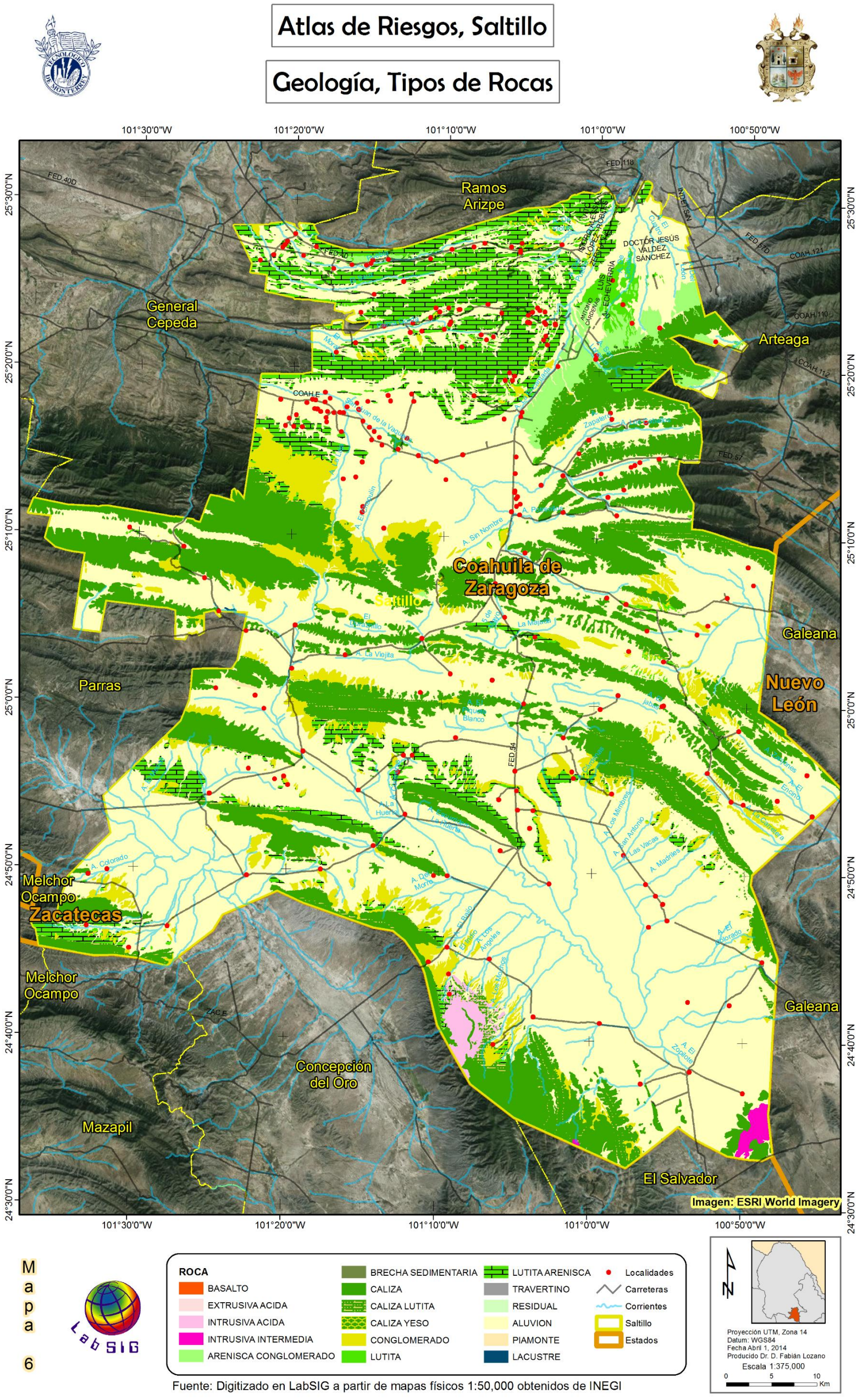
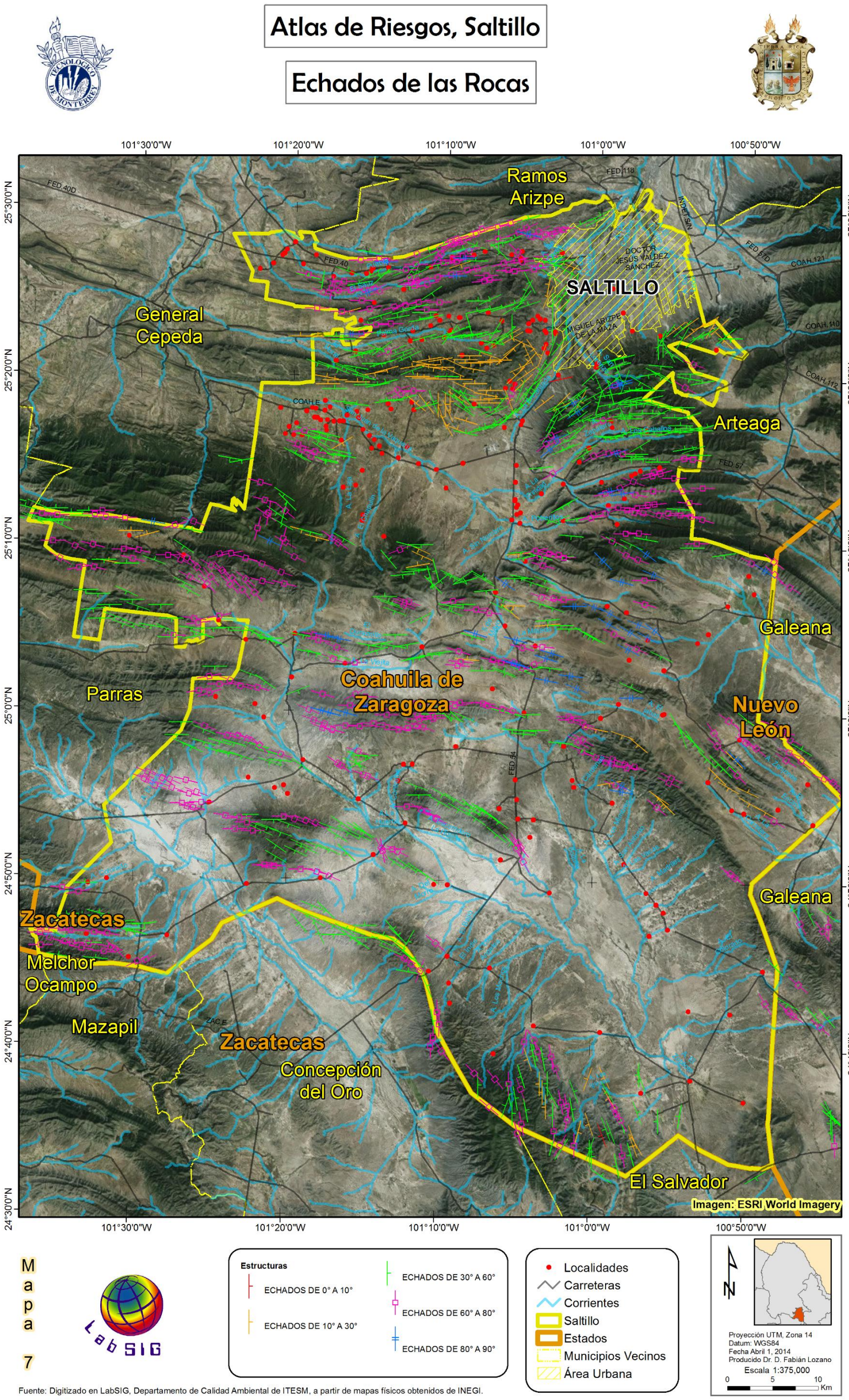


Figura 7. Rocas presentes en el municipio de Saltillo, Coahuila.



Fuente: Digitizado en LabSIG, Departamento de Calidad Ambiental de ITESM, a partir de mapas físicos obtenidos de INEGI.

Figura 8. Echados de las rocas presentes en el municipio de Saltillo, Coahuila.

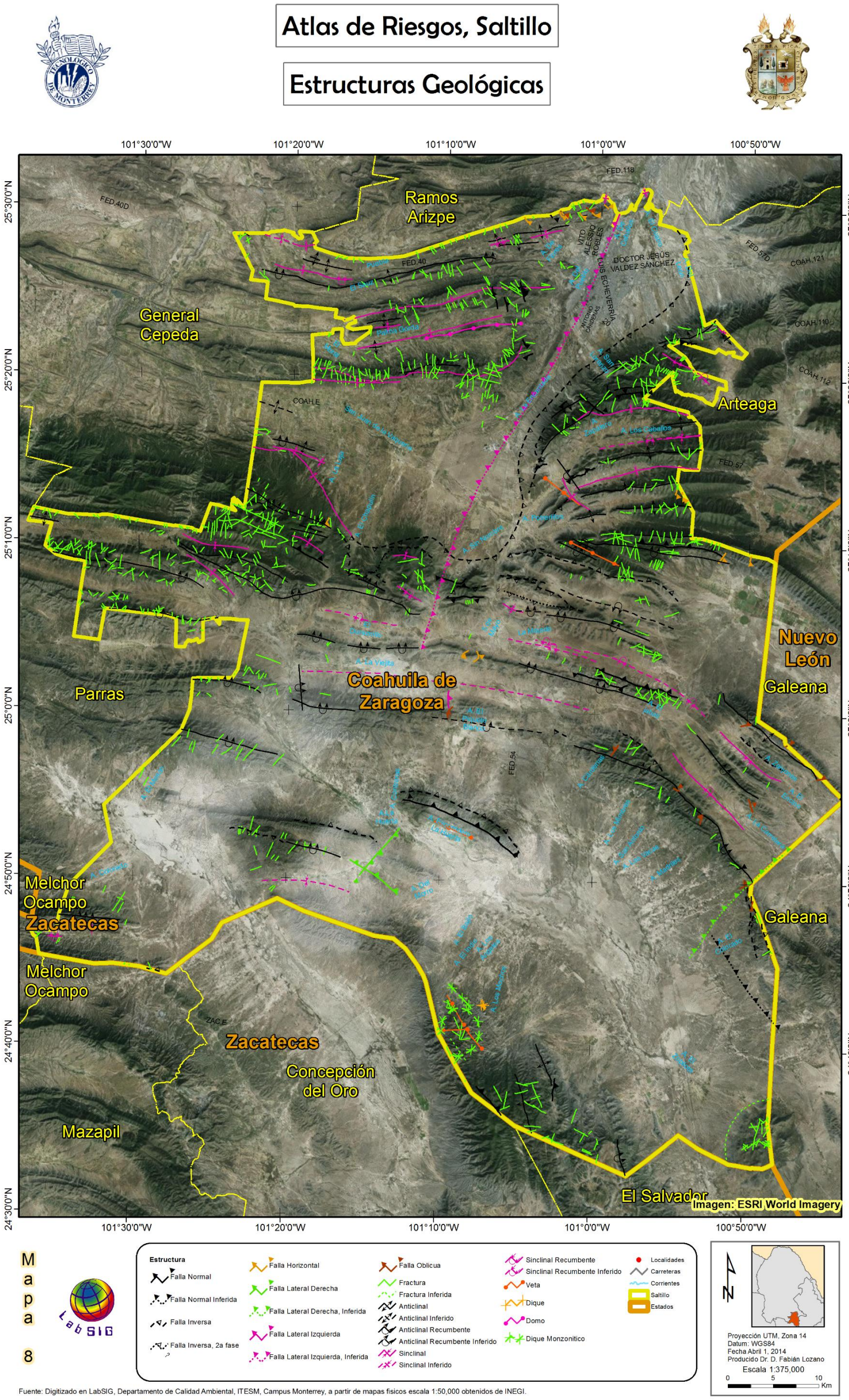


Figura 9. Estructuras geológicas presentes en el municipio de Saltillo, Coahuila.

3.4 Edafología

Los suelos dominantes en el municipio de Saltillo son los Xerosoloes, ocupando poco más del 42% de la superficie municipal, le siguen los Litosoles con el 35% del área. Los demás tipos de suelos, ocupan superficies comparativamente pequeñas, menores a las 40,000 Ha. (Figura 10).

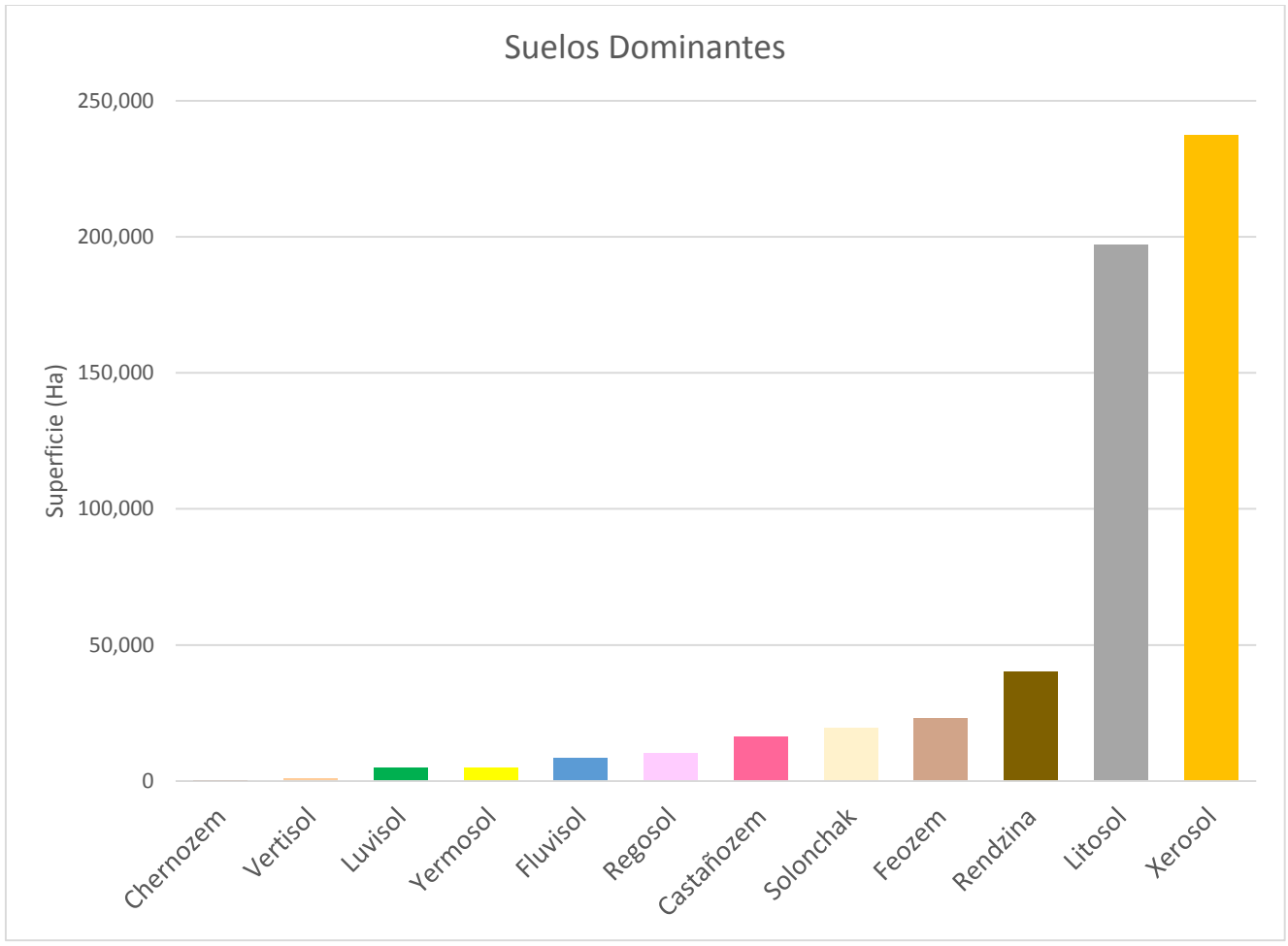


Figura 10. Suelos dominantes en el municipio de Saltillo, Coahuila.

Geográficamente, la distribución de los suelos está altamente relacionada con la topografía. Los Litosolles se encuentran a lo largo de las sierras, mientras que los demás tipos de suelos se localizan en terrenos planos o de poca pendiente (Figura 11 y mapa 8 en el anexo cartográfico).

3.5 Hidrografía

De acuerdo al INEGI, no existen escurrimientos permanentes en el territorio municipal, todos los escurrimientos están clasificados como arroyos (Figura 12 y mapa 9 del anexo cartográfico), Los principales escurrimientos (con base en el orden hidrológico) son Arroyo Salto del Moro (al sur del territorio municipal), arroyo “Los Cuatitos” (al suroeste del territorio municipal), Arroyo “San Juan de la Vaquería” (al oeste del territorio municipal).

En la ZMS, se encuentran varios arroyos que drenan desde la Sierra de Zapaliname (al sur de la ciudad), y Sierra del Asta (al oeste de la ciudad) (Figura 13 y mapa 10 del anexo cartográfico). El arroyo del pueblo atraviesa toda el área metropolitana en una dirección norte por la zona oeste de la ciudad, el arroyo De Ceballos, recorre la ciudad en la misma dirección norte por la parte centro de la ciudad, mientras que arroyo Del Cuatro, hace lo propio por la zona este del área metropolitana. Otros arroyos presentes son arroyo Del león, Martillo, La Esperanza, Santa Teresa, San Lorenzo, Presa Los Narro y Blanco. Todos estos escurrimientos confluyen fuera del territorio municipal, poco antes de la zona urbanizada de Ramos Arizpe.

No existen mediciones de gasto de estos escurrimientos, sin embargo, con base en la información recopilada de eventos extraordinarios, así como por los comentarios vertidos por los integrantes del consejo técnico de este estudio y de personas entrevistadas sobre la problemática, así como por las visitas de campo, se determinó que existen peligros de crecidas e inundaciones a lo largo del cauce de los arroyos que atraviesan la ciudad, así como una problemática seria de encharcamientos en las zonas planas a donde drena buena parte de estos escurrimientos.

Parte de la problemática está relacionada con la fisiografía de la zona de estudio, pero en lo que respecta a la zona metropolitana, otro de los aspectos que acrecienta esta problemática son las invasiones de los cauces de los arroyos por asentamientos humanos (regulares e irregulares), el relleno con materiales de desecho de los cauces, en muchas ocasiones con la autorización de las autoridades; así como el extendido uso de los arroyos como tiraderos clandestinos.

La problemática de la zona rural está más relacionada con los cambios de la cobertura del suelo en las partes altas de las cuencas hidrológicas, lo que aumenta los escurrimientos superficiales durante los eventos de tormenta, generando inundaciones y encharcamientos en las tierras bajas de las cuencas.

Otro factor que en el futuro, estará influenciando esta problemática, es el cambio climático, proceso que modificara los patrones climáticos regionales, con la posibilidad de que eventos de lluvia muy severos puedan incrementar tanto su frecuencia, como su magnitud.

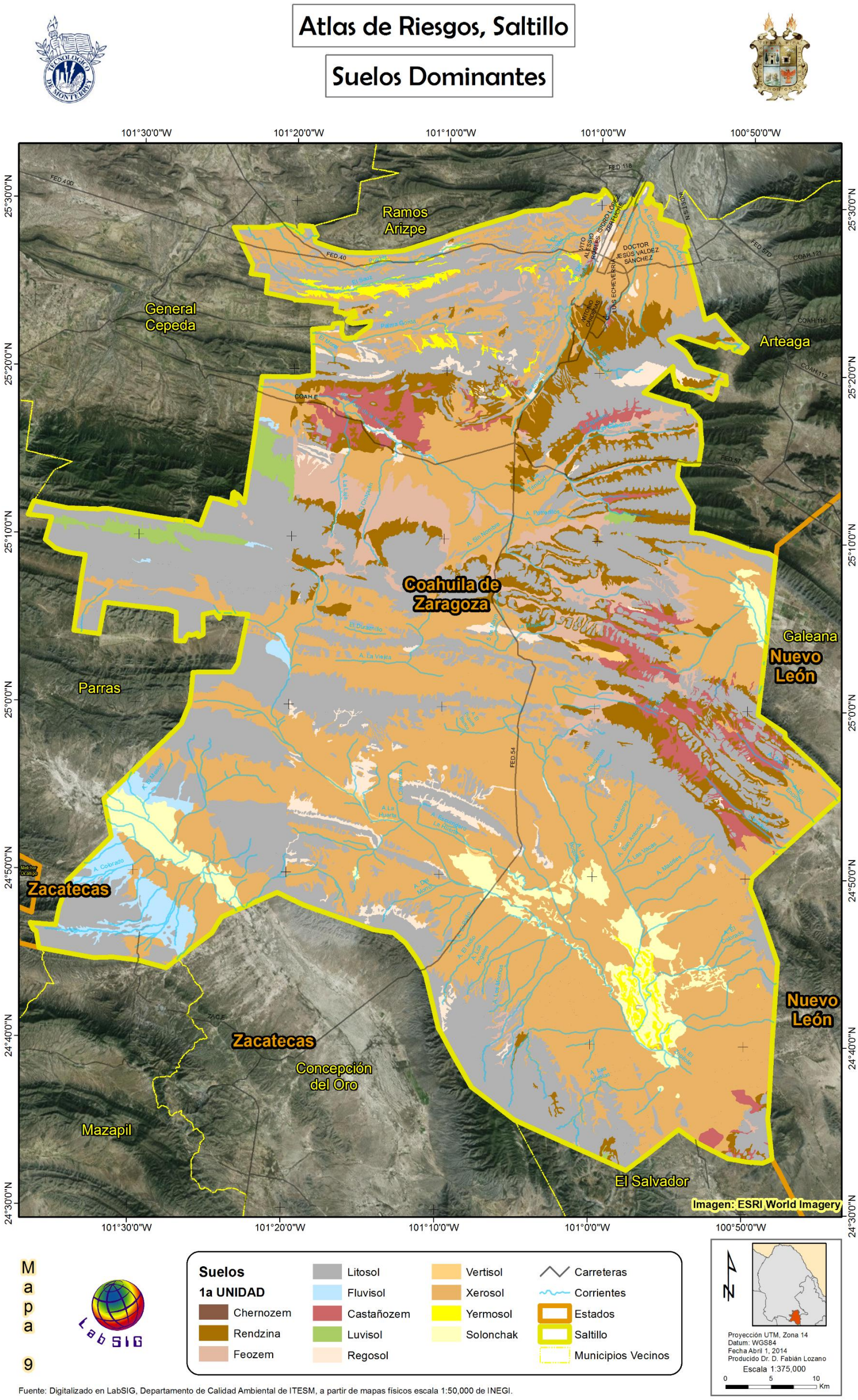
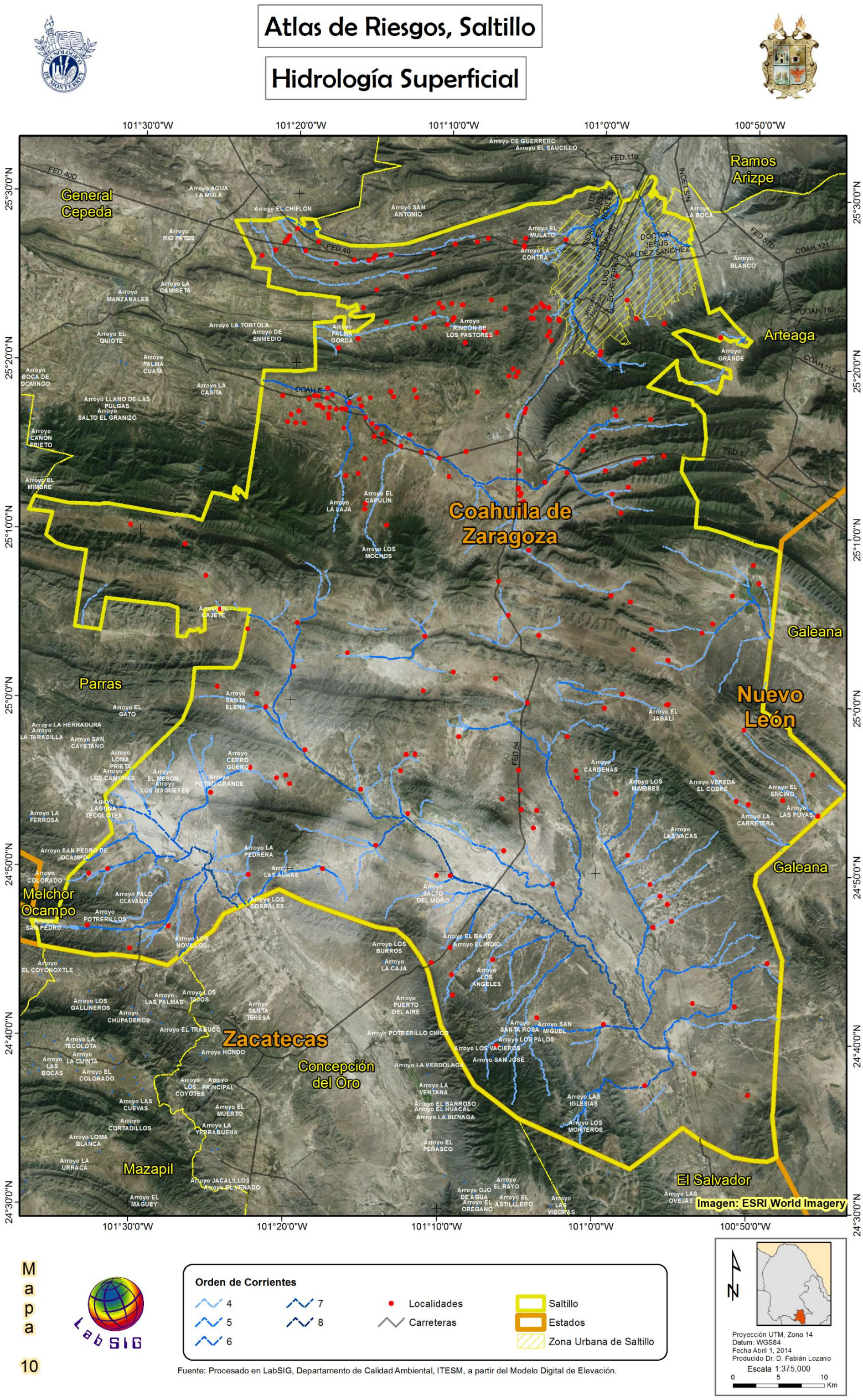


Figura 11. Mapa de suelos dominantes en el municipio de Saltillo, Coahuila.



Fuente: Procesado en LabSIG, Departamento de Calidad Ambiental, ITESM, a partir del Modelo Digital de Elevación.

Figura 12. Hidrología superficial del municipio de Saltillo, Coahuila.



Figura 13. Hidrología superficial del área metropolitana de Saltillo, Coahuila.

3.6 Cuencas y Subcuencas

Las cuencas localizadas en el municipio de Saltillo, pertenecen a tres regiones hidrológicas: Bravo-Conchos, El Salado y Nazas-Aguanaval. La porción norte del municipio drena hacia la cuenca del Río San Juan, al sur se encuentra la cuenca de la “Sierra de Rodríguez”; el parteaguas entre estas dos cuencas se encuentra en la Sierra de Zapaliname. Estas dos son las cuencas que ocupan la mayor parte de la superficie municipal. Las otras cuencas son las de San Pablo y otras, Matehuala y Lago de Mayrán y Viesca (Figura 14 y mapa 11 del anexo cartográfico).

A su vez, las subcuencas localizadas en el territorio municipal son: El Porvenir-Águila, La Casita-El Rosario, Pino Solo- Saltillo y San José del Valle-Arroyo Grande; para la cuenca del Río Bravo-San Juan. Para la cuenca de la “Sierra de Rodríguez”, se encuentran las subcuencas del Potrero San Isidro, Sierra Buñuelos y Estanque de Bonanza. En la cuenca de Lago de Mayrán y Viesca, se encuentran las subcuencas de Laguna de Viesca y Estanque de León – Tanque Nuevo. Para la cuenca de San Pablo y otras, se encuentran las subcuencas de San Nicolás y Puerto Flores. Y para la cuenca de Matehuala se encuentra la subcuenca de El Soldado.

Una característica importante del municipio de Saltillo, es que en su territorio es en donde se originan varias cuencas que eventualmente forman río de importancia fuera del territorio municipal, esto implica que los análisis hidrológicas de potencial de inundaciones se centrará en escurrimientos con régimen intermitente (como se mencionó anteriormente, no se reportan ríos permanentes en el municipio).

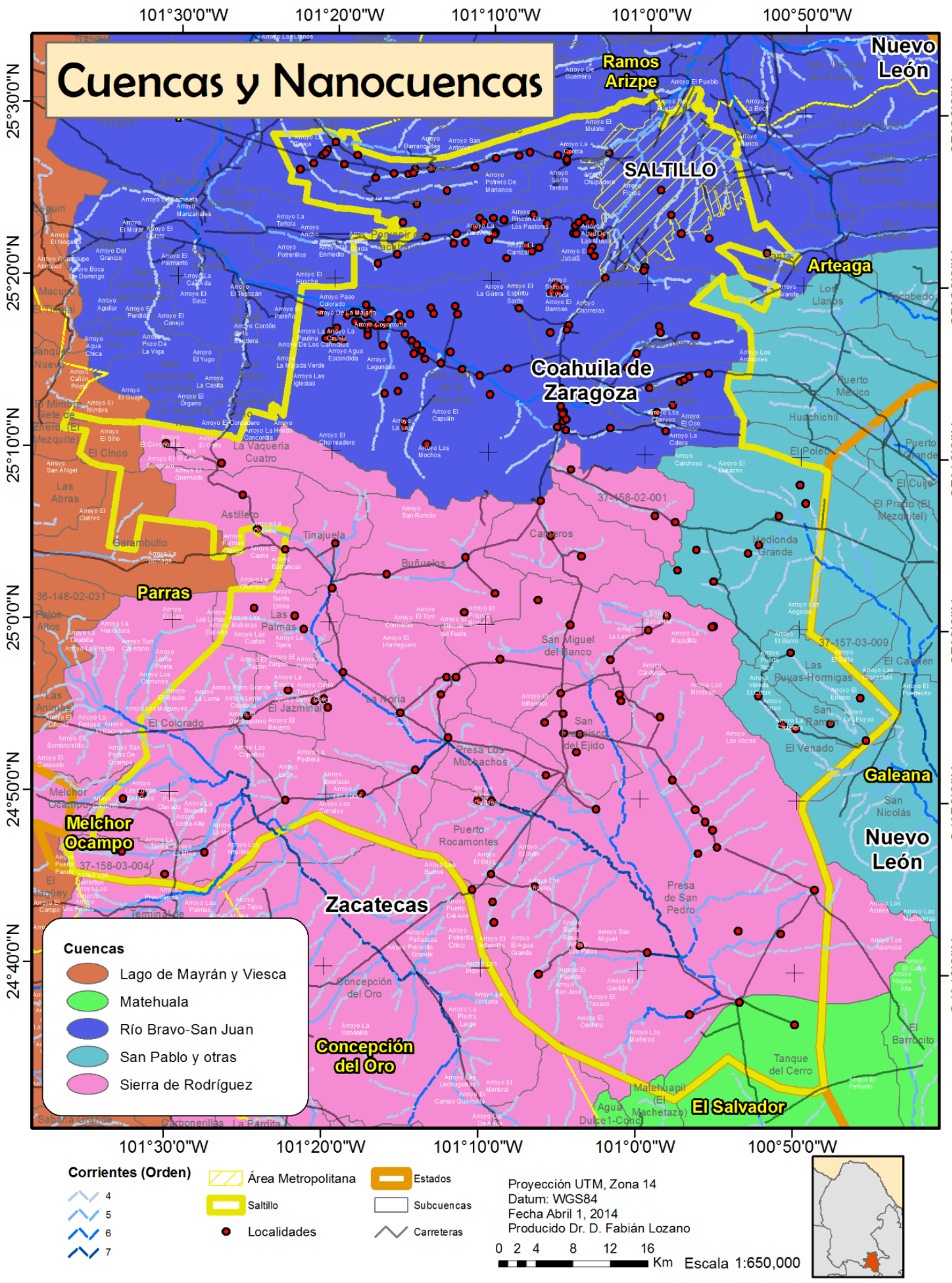


Figura 14. Cuencas hidrológicas del municipio de Saltillo, Coahuila.

3.7 Clima

El municipio de Saltillo presenta climas de tipo Secos y Templados. El municipio se puede dividir en tres grandes áreas en lo que respecta a las condiciones climáticas: las porciones norte, centro y sur (Figura 17 y mapa 12 en el anexo cartográfico). Esta división obedece a las condiciones topográficas originadas por la presencia de la Sierra Madre Oriental en el centro del municipio, dando origen a climas de tipo templado en la zona centro, por las elevaciones de la sierra. Al norte del municipio se encuentra climas del tipo seco, predominando los climas BS1 y BS0 (Semisecos y Semicalidos respectivamente). Al sur también predominan los climas Secos, siendo los más frecuentes los de tipo BS1kx', BSokx' y BSohx' (Semiseco templado con lluvias escasas todo el año; Seco templado con lluvias escasas todo el año; y Seco semicalido, con lluvias de verano respectivamente). Otros tipos de climas presentes en la porción suroeste del municipio son los de tipo BSohw, BWhw y BS1kw (Seco semicalido con lluvias de verano; Seco templado, con lluvias escasas todo el año; y Semiseco templado, con lluvias de verano respectivamente.

La ZMS tiene un clima predominantemente seco, correspondiente a los tipos BS1kx', BSokx' y BSohx' (Semiseco templado con lluvias escasas todo el año; Seco templado con lluvias escasas todo el año; y Seco semicalido, con lluvias de verano). La distribución de la temperatura y precipitación a lo largo del año se muestra en la Figura 15, en esta se observa que la mayoría de la precipitación se concentra en los meses de junio a septiembre, coincidiendo con los máximos de temperatura.

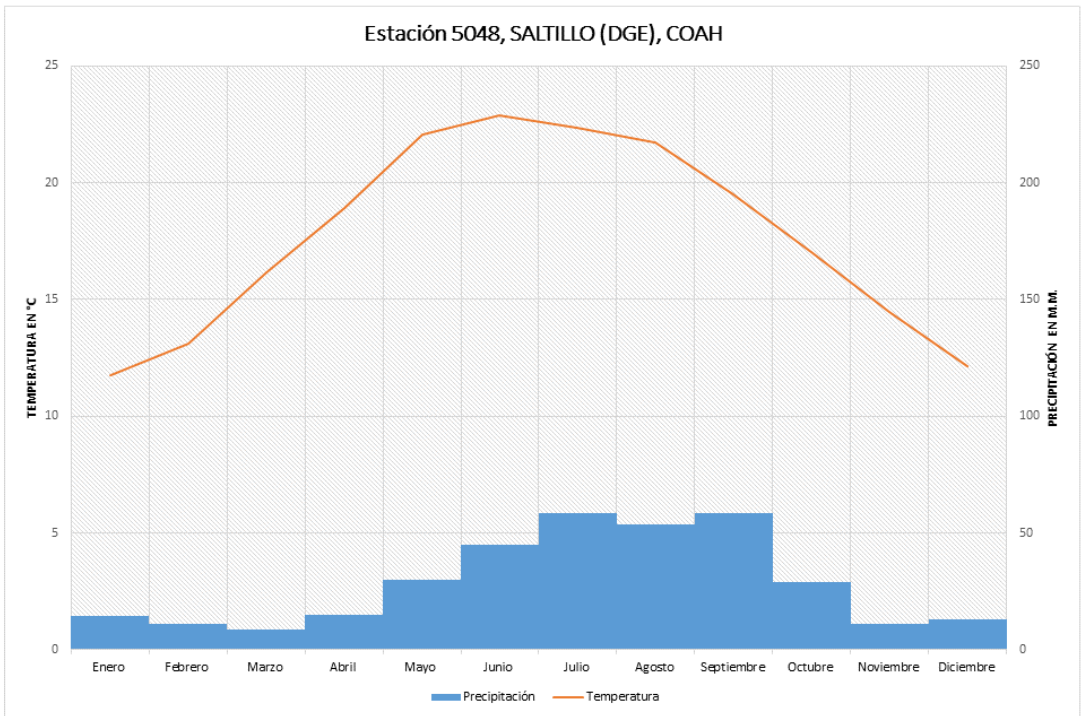


Figura 15. Climograma de la estación Saltillo, Coahuila.

3.8 Uso de Suelo y Vegetación

De acuerdo a la cartografía del INEGI escala 1:250,000, la vegetación predominante en el municipio son los matorrales, presentándose dos tipos de vegetación de esta fisonomía: Matorral Desértico Micrófilo Matorral Desértico Rosetófilo (Figura 16). Hay extensas áreas de agricultura, tanto de temporal como riego, esta última dedicada a la producción de Manzanos y Nogales. A lo largo de la Sierra madre Oriental se localizan áreas de bosques de Pino, Encino, Ayarín y Táscate, principalmente (Figura 18 y mapa 13 En el anexo cartográfico).

Las superficies ocupadas por los distintos tipos de vegetación y usos del suelo se muestran en la Figura 16. Los matorrales ocupan la mayor área en el territorio municipal, con poco más de doscientas noventa y dos mil Ha., seguidos por las zonas agrícolas con poco más de setenta y seis mil ha. Los bosques, y vegetación secundaria cubren áreas ligeramente mayores a cincuenta y tres mil ha., mientras que los pastizales tienen poco más de cincuenta y cinco mil Ha.

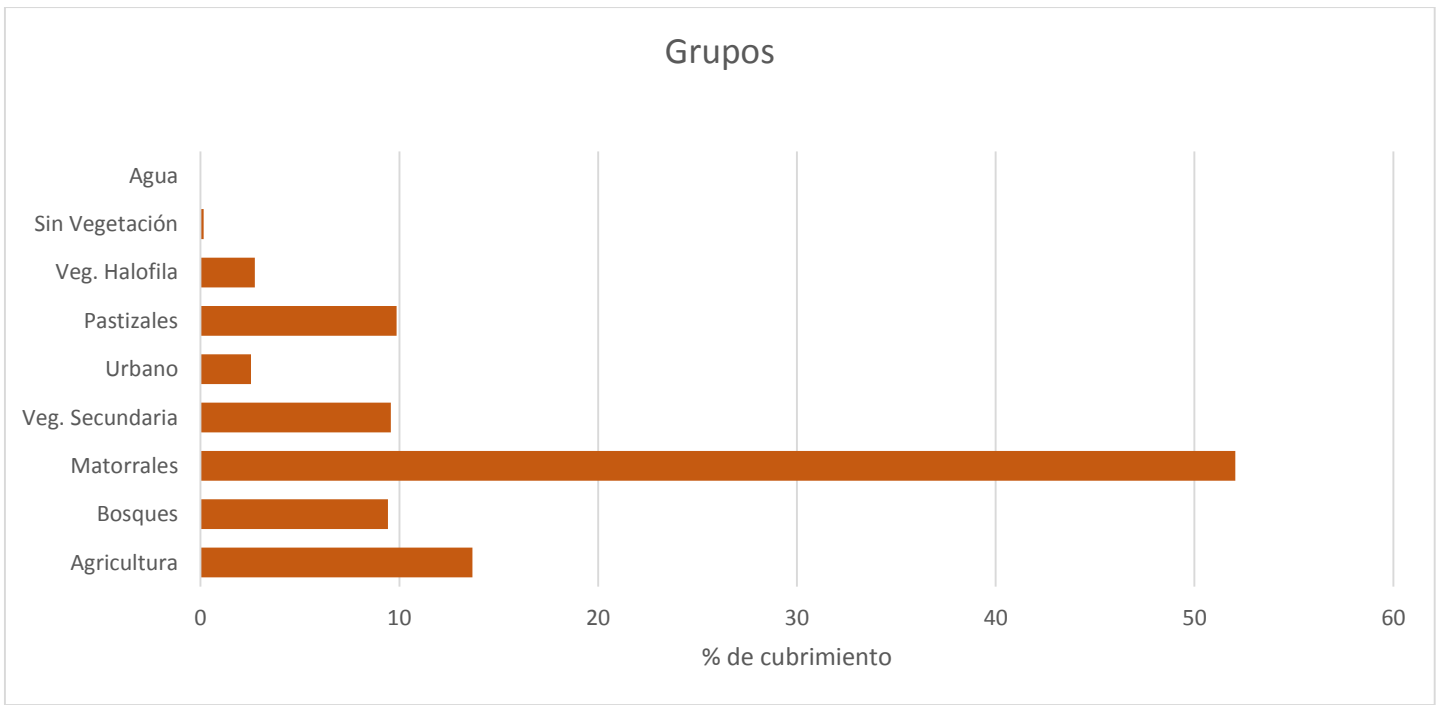


Figura 16. Porcentage de cobertura de la vegetación del municipio de Saltillo, Coah.

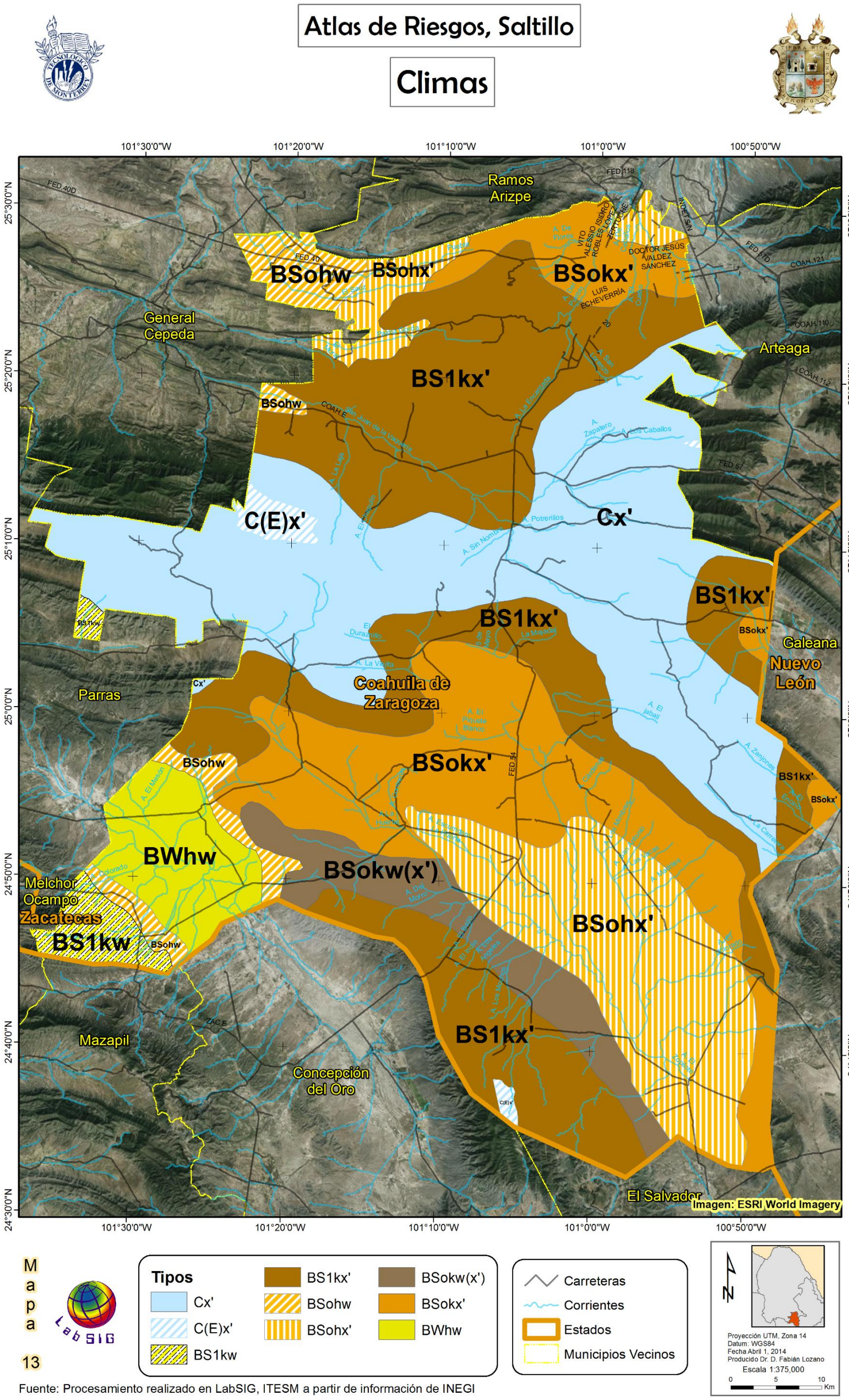
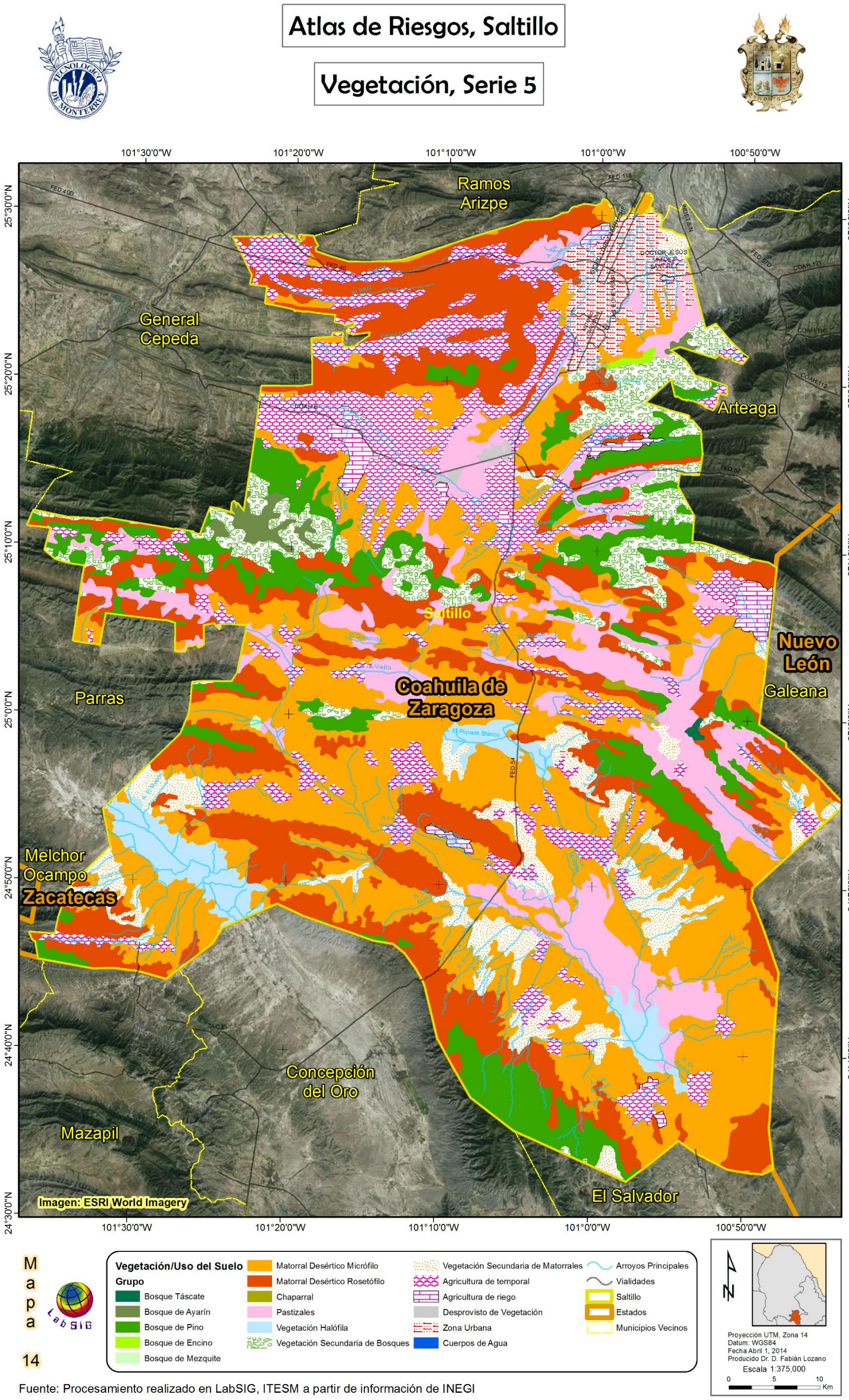
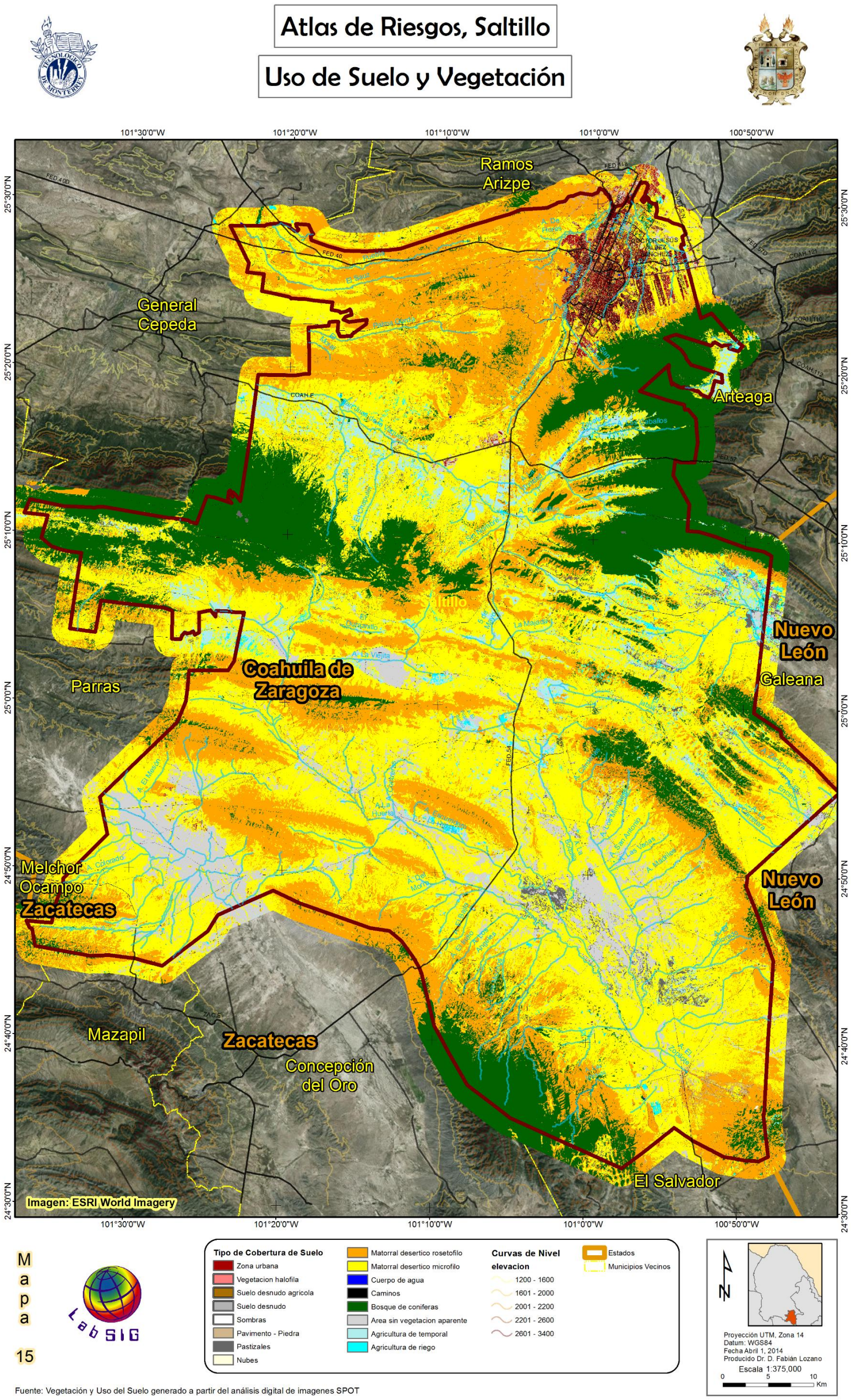


Figura 17. Tipo climáticos presentes en el municipio de Saltillo, Coahuila.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información de INEGI

Figura 18. Mapa de la vegetación del municipio de Saltillo, Coahuila.



Fuente: Vegetación y Uso del Suelo generado a partir del análisis digital de imagenes SPOT

Figura 19. Mapa de vegetación y uso del suelo generado a partir del análisis digital de imágenes SPOT.

3.9 Áreas Naturales Protegidas

Coahuila se sitúa como la tercera entidad de mayor extensión territorial de la República Mexicana, después de los estados de Chihuahua y Sonora. Para Noviembre del 2013, Coahuila, reportaba decretadas diez ANPs que cubrían en su conjunto el 18% de la superficie del estado, colocándolo por encima de la media nacional en cuanto al porcentaje que por estado se encuentra protegida por leyes federales y estatales y la cual promedia en 9%. De las 10 ANPs de Coahuila, siete de ellas son de competencia federal y 3 de competencia estatal. **ANPs de competencia Federal:** 1) Área de Protección de Flora y Fauna Maderas del Carmen, decretada en 1994, 2) Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas decretada en 1994, 3) Parque Nacional Los Novillos, decretada en 1940, 4) Área de Protección de Flora y Fauna Ocampo decretada en 2009, 5) Reserva de la Biósfera de Mapimí, 6) Monumento Natural Rio Bravo del Norte y 7) Región Prioritaria para la Conservación de la Sierra de Arteaga. **ANPs protegidas por la competencia estatal:** 1) Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sierra de Zapalinamé, 2) Zona de Restauración Zapalinamé y 3) Cañón y Sierra de Jimulco (en Torreón).

De acuerdo con las diferentes fuentes de información geográfica manejadas para este estudio la Sierra de Zapalinamé, es la única área que cuenta con la protección legal aunque el municipio tiene otras áreas que son consideradas por su diversidad biológica y estatus de conservación como corredores biológicos y áreas de importancia para la conservación de especies de aves, mamíferos y vegetación. En la Figura 21, se esquematizan estas áreas: 1) Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sierra de Zapalinamé, 2) Zona de Restauración Zapalinamé, 3) Praderas de Tokio, 4) Sierra de Arteaga y 5) Humedales intermitentes del Desierto.

Sierra de Zapalinamé. La importancia de Zapalinamé se decretó desde 1937 como zona protectora forestal por el Diario Oficial de la Federación (Semarnap, 2000), y Decretada el 15 de Octubre de 1996 por el Gobierno del Estado de Coahuila como Zona Sujeta a Conservación Ecológica con una superficie de 25,384.38 hectáreas ubicadas en los municipios de Saltillo y Arteaga del Estado de Coahuila. Aunque más tarde, el 30 de noviembre de 2007, se añadió un segundo párrafo al artículo 69 de la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Coahuila, con el objeto de realizar adecuaciones respecto a la delimitación del ANP (Periódico Oficial del Estado de Coahuila, 2008), en las cuales se disminuye el área del polígono protegido. La Sierra de Zapalinamé también se encuentra registrada como una de las AICAs (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves), corresponde el AICA 234 con superficie de 40,388.00 Ha. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) considera que Zapalinamé cumple con las características de importancia para la investigación científica y como zona de recreación de los habitantes de la ciudad de Saltillo. Sin embargo, por su cercanía con la ciudad, el área de Zapalinamé se encuentra bajo presión constante de los desarrolladores y de posesionarios de tierras, así como a los incendios forestales.

Otras áreas dentro del municipio que son consideradas de importancia para la conservación de los recursos naturales son: Praderas de Tokio, Sierra de Arteaga y los Humedales intermitentes del desierto.

En el caso de Praderas de Tokio, es considerada un AICA por la CONABIO y es reconocida por varias asociaciones gubernamentales como un corredor biológico, sin embargo, actualmente no cuenta con ningún esquema de protección estatal o federal como ANP. El área cuenta con una superficie de 504,730 Ha, donde se registran, según la ficha de CONABIO, 210 especies de importancia.

Además de las áreas de importancia a nivel municipal, en el área conurbada de Saltillo, se han concretado en acuerdos gubernamentales áreas de conservación para el esparcimiento y educación ambiental de la población saltillense dentro de la zona conurbada, tales como: El Gran Bosque Urbano (Figura 20). De acuerdo con el Periódico Oficial del Gobierno del Estado (2013), el Gran Bosque Urbano (GBU) es un Parque Estatal dentro de un predio de 51.40 Ha, administrado por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Coahuila, con la participación del Patronato del Bosque Urbano, el Ejercito Mexicano y las dependencias que conforme a la Ley resulten aplicables. El GBU, representa el área verde urbana más grande de Saltillo. Un espacio con vegetación característica del estado, la cual alberga pinos, encinos, fresnos, palos blancos y pirul. Es un predio que ha sido manejado con acciones de reforestación desde hace más de una década; actualmente cuenta con 7,200 árboles.

En el GBU, se llevan a cabo las siguientes actividades:

1) Recreación y esparcimiento ordenado.
2) Conservación y manejo: Promoviendo la conservación y manejo de los recursos naturales, así como de los servicios ambientales.
3) Recuperación de recursos naturales y servicios ecosistémicos: Promoviendo el incremento del área verde, así como la recuperación de la diversidad biológica y de los servicios ambientales.
4) Educación y Cultura ambiental: Promoviendo una cultura ambiental hacia los visitantes.
5) Investigación y monitoreo: Promoviendo la investigación y el monitoreo de los recursos naturales, así como de otros factores que ocurren dentro del Parque Estatal.
6) Promoción del deporte, Cultura, y Recreación: ¨Promoviendo las actividades de recreación, deportivas y culturales.
7) Manejo del área verde urbana.

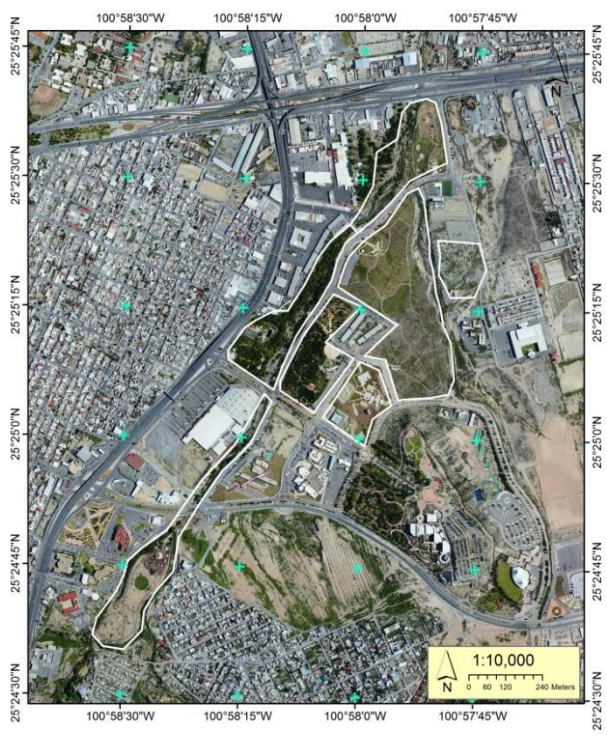


Figura 20. Ubicación del "Bosque Urbano".

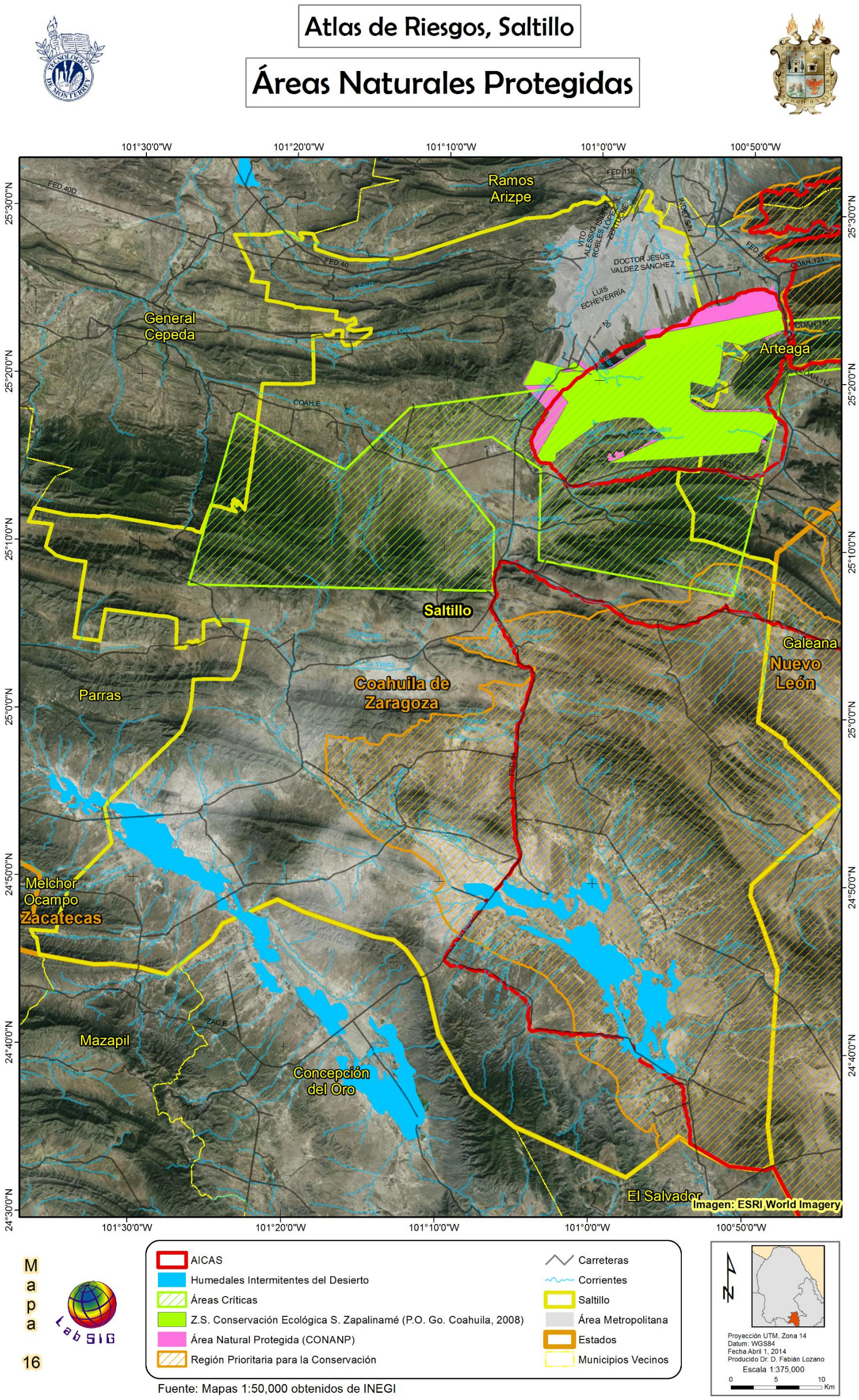


Figura 21. Áreas naturales protegidas en el municipio de Saltillo, Coahuila.

4 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS

Desde 1980 la tasa de crecimiento demográfica en Coahuila ha sido superior al índice nacional, tal crecimiento no ha sido homogéneo. Las variaciones de concentración espacial y procesos de avance y retracción en la velocidad del crecimiento demográfico que, en cualquier caso, muestran la consolidación de tres polos de población a saber, sureste, suroeste y noreste de Coahuila (UAdeC, 2004).

Coahuila se subdivide en Regiones por sus actividades productivas como a continuación se desglosan:

1. Región Norte: Allende, Guerrero, Hidalgo, Acuña, Jiménez, Morelos, Nava, Piedras Negras, Villa Unión y Zaragoza.
2. Región Carbonífera: Juárez, Múzquiz, Progreso, Sabinas y San Juan de Sabinas.
3. Región Centro: Abasolo, Candela, Castaños, Escobedo, Frontera, Lamadrid, Monclova, Nadadores, Sacramento y San Buenaventura.
4. Región Desierto: Cuatro Ciénegas, Ocampo y Sierra Mojada.
5. Región Laguna: Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón y Viesca.
6. Región Sureste: Arteaga, General Cepeda, Parras de la Fuente, Ramos Arizpe y Saltillo.

En los últimos años ha crecido la Región Sureste estimándose que superará a la Región Laguna para el año 2013. La región carbonífera ha mantenido un nivel bajo y constante de población. Según las proyecciones de la CONAPO (2004) analizadas por (UAdeC, 2004), en los Censos de Población 1970, 1980, 1990, 2000 (Figura 22).

4.1.2 Población

El municipio de Saltillo tiene una población total de 725,122 habitantes, de los cuales el 97.87% se encuentra concentrada al Norte en la ciudad de Saltillo (capital del Estado de Coahuila) de acuerdo con el Censo 2010 del INEGI. El otro 2.13% de la población municipal se localiza en el área rural, distribuida en 245 de localidades rurales con un total de 15,451 personas, como se observa en la Figura 23.

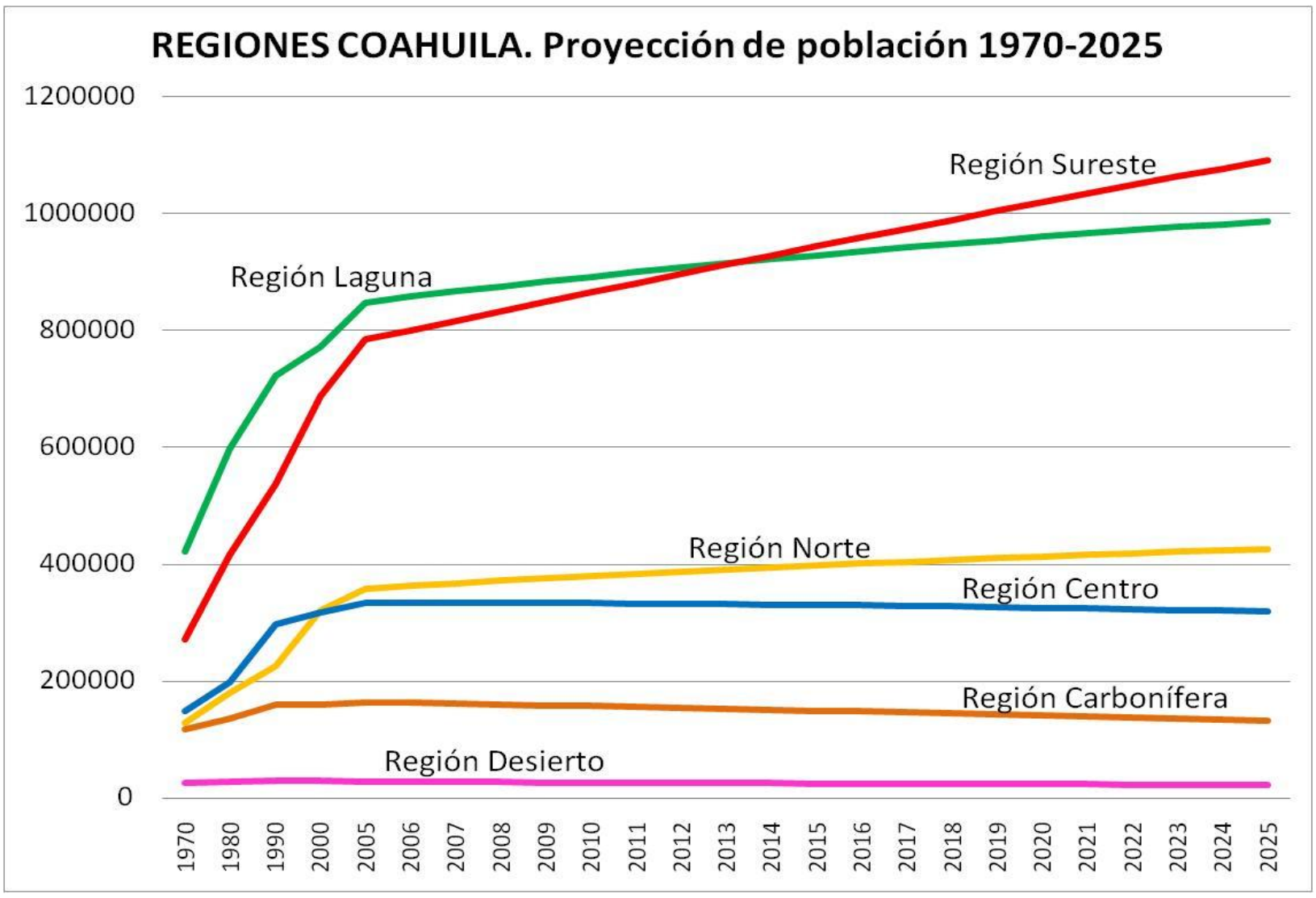


Figura 22. Proyección de crecimiento poblacional regional, 1970 a 2025. (UAdeC, 2004).

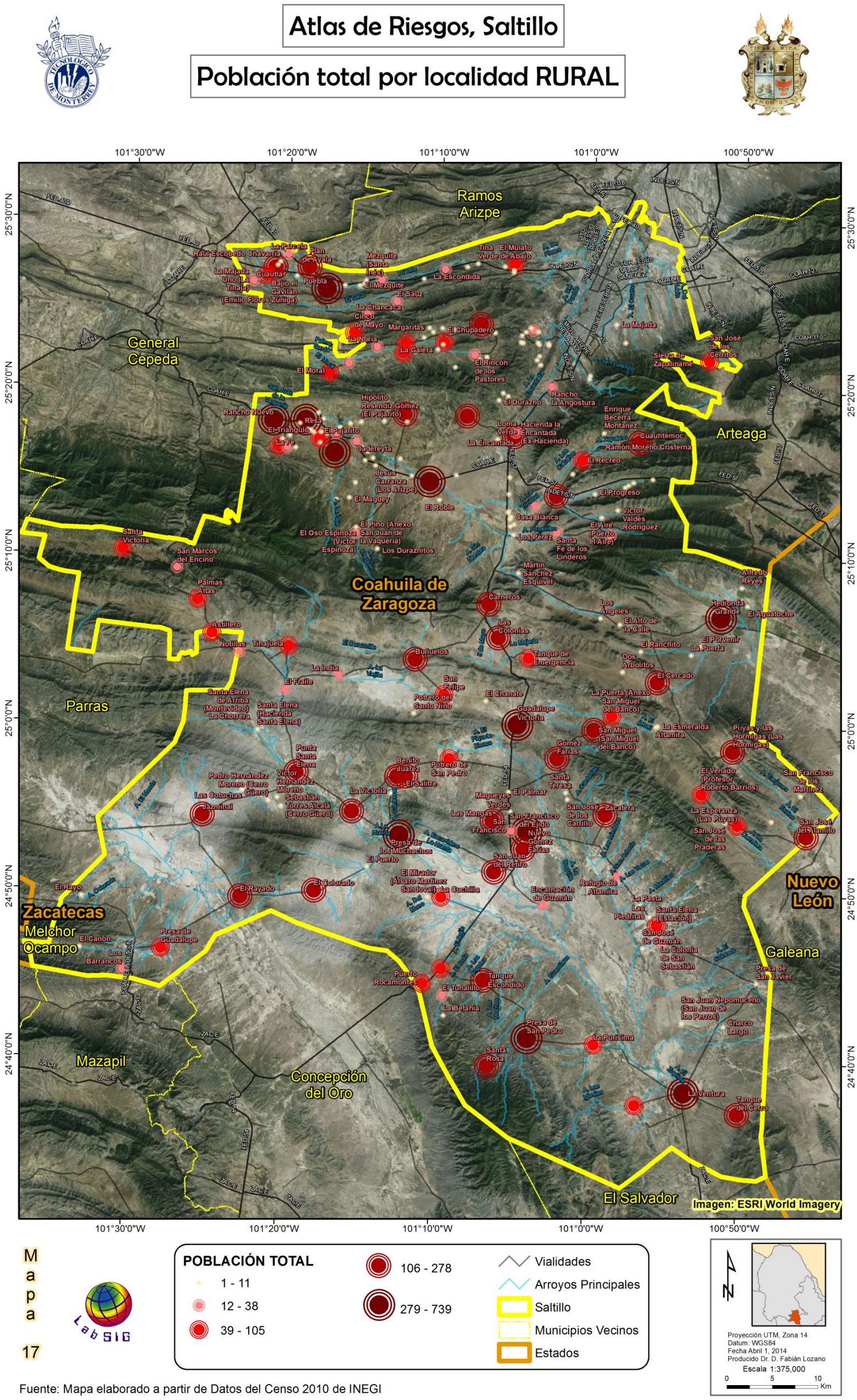


Figura 23. Distribución de la población rural del Municipio de Saltillo

Las 10 comunidades rurales de mayor importancia con respecto al número a población se presentan en la Tabla 5:

Tabla 5. Población total, hombres y mujeres de las principales localidades.

Localidad	Población Total	Población Masculina	Población Femenina
Agua Nueva	1465	746	719
San Juan de la Vaquería	1077	526	551
El Derramadero	879	468	411
Presa de los Muchachos	494	254	240
Santa Teresa de los Muchachos	429	215	214
Chapula	409	202	207
Providencia	397	211	186
San Francisco del Ejido	386	202	184
Rancho Nuevo	349	182	167
Presa San Pedro	338	180	158

La población urbana se concentra en 10,890 manzanas en el polígono urbano, como se aprecia en la Figura 24. Las manzanas que concentran la mayor cantidad de población se encuentran distribuidas por todo el polígono urbano, con un máximo de 1,164 habitantes por manzana y una media de densidad poblacional de 64.8 personas por manzana (Tabla 6).

Tabla 6. Las 10 manzanas con mayor población (hombres y mujeres) del área urbana de Saltillo.

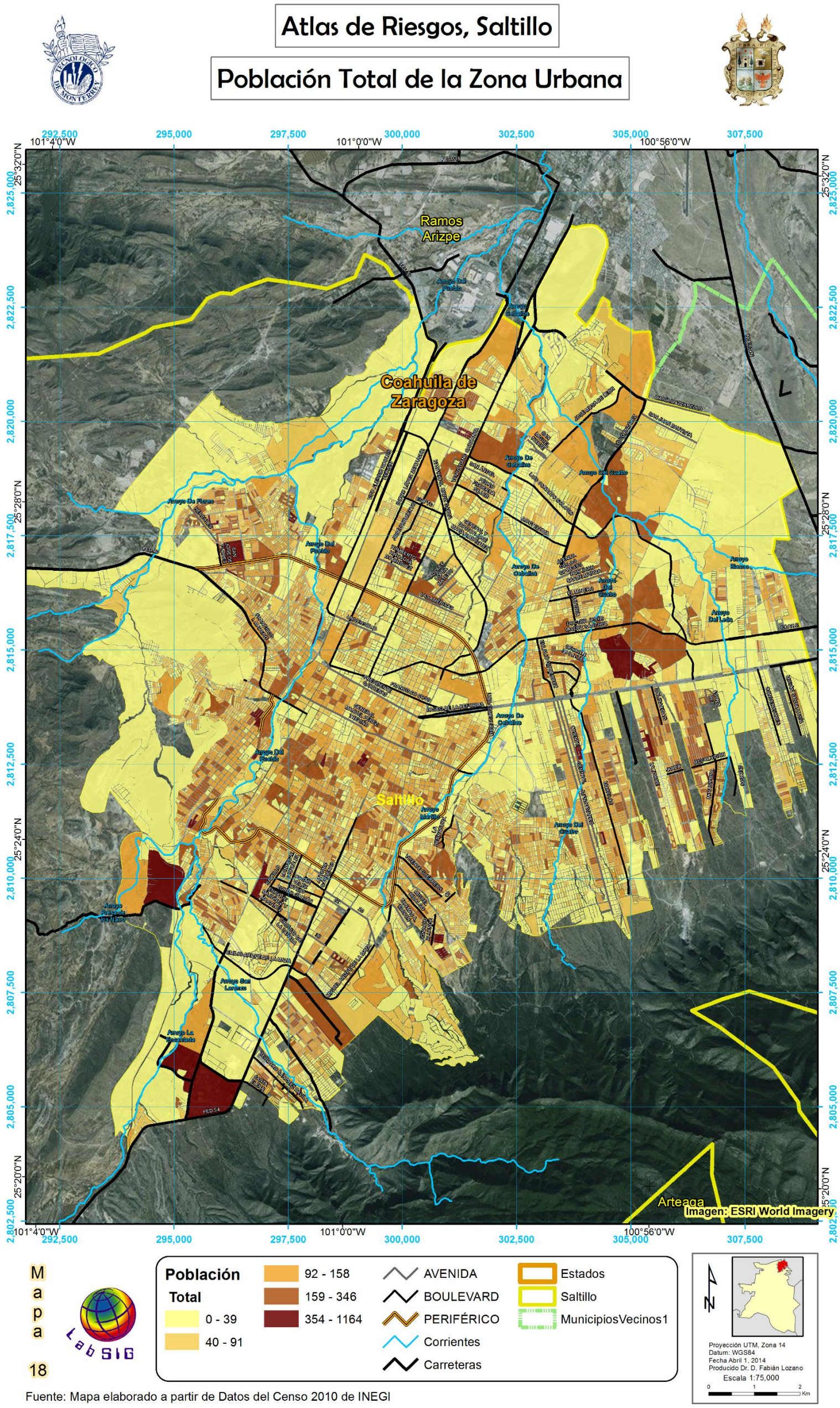
Manzana	Clave	Población Total	Población Masculina	Población Femenina
017	CVEG0503000014486017	1164	594	570
006	CVEG0503000014486006	1144	568	576
003	CVEG0503000014486003	524	251	273
002	CVEG0503000014486002	520	*	*
015	CVEG0503000014486015	519	247	272
001	CVEG0503000014486001	516	258	258
009	CVEG0503000014486009	497	251	246
029	CVEG0503000014486029	483	250	233
012	CVEG0503000014486012	469	224	245
051	CVEG0503000014486051	455	235	220
047	CVEG0503000014486047	454	209	245

La población de la ciudad se distribuye en un área que cubre 16,165.53 ha. El área urbanizada tiene un uso de suelo en su mayoría habitacional y comercial, la industria que representa un sector importante para la generación de empleos, se concentra en gran parte en la zona norte pues el municipio vecino de Ramos Arizpe ubicado al norte de Saltillo aglutina esta actividad desde 1970. En la zona se pueden encontrar empresas que representan a los mayores clusters automotrices de México, General Motors, Fiat Group, Chrysler, Daimler, Freightliner, Delphi, Nemak, Plastic Omnium. La zona conurbada de Saltillo-Ramos Arizpe concentra el tercer nivel del cluster automotriz que a su vez son proveedores de las llamadas Tier One (Unger y Chico, 2004 citado por Carbajal Suárez, 2013).

De acuerdo con Infonor (2012), la Biol. Eglantina Canales expresa “Todo el crecimiento de la parte suroriente de Saltillo, de lo que está del periférico y la carretera 57, ahora Paseo de la Reforma, toda esa parte ha sido un crecimiento enorme, más o menos 200 mil personas viven en ese sector”, es decir “estamos hablando de una cuarta parte de los habitantes de Saltillo y esos terrenos fueron tomados de las faldas de la sierra (Zapalinamé); el impacto ha sido tremendo”.

Aguilar, A. (2011), del Heraldo de Saltillo menciona “de seguir al ritmo actual, en menos de 30 años solo la ciudad de Saltillo, sin contar su zona metropolitana, alcanzaría una población de un millón 500 mil habitantes, quizás más de lo que los recursos de la ciudad puedan sostener. Por eso es que el crecimiento se vislumbra hacia dos polos principales, al norte en Ramos Arizpe, y al sur en Derramadero, dónde se planea construir una nueva ciudad”.

Por otra parte, la zona sur del municipio con dirección a Zacatecas, cuenta con el parque Industrial Derramadero, el cual ha crecido en los últimos años y se proyecta seguirá expandiéndose pues representa un atractivo de inversión para empresas tanto nacionales como extranjeras y de las cuales pueden ser los mismos proveedores del clúster automotriz quienes han instalado dentro de la cadena una estrategia de mercado que les evite desplazarse desde lugares lejanos, además de generar fuentes de empleo y crear una nueva imagen para el sur de Coahuila.



Fuente: Mapa elaborado a partir de Datos del Censo 2010 de INEGI

Figura 24. Concentración de la población urbana por manzana en la ZMS.

4.1 Demografía

4.1.1 Dinámica Demográfica

De acuerdo con Pichardo (2014), desde 1960, cuando comenzaba la industrialización de Saltillo, hasta el 2010, la población de la ciudad creció 5.67 veces. La población de Saltillo se ha multiplicado en los últimos en 40 años de acuerdo con la Tabla 7, se puede observar cómo fue creciendo durante el último siglo, con base en los datos de población de los censos de población.

Tabla 7 Crecimiento poblacional del municipio de Saltillo.

Año		**Población**	**Fuente**
1900	a*	42,727	II Censo General de Población
1910	b*	89,564	III Censo General de Población
1921		60,705	IV Censo General de Población
1930	c*	45,272	V Censo General de Población
1940		49,430	VI Censo General de Población
1950		98,603	VII Censo General de Población y Vivienda
1960		127,772	VIII Censo General de Población y Vivienda
1970		190,994	IX Censo General de Población y Vivienda
1980		321,758	X Censo General de Población y Vivienda
1990		440,920	XI Censo General de Población y Vivienda
1995		527,979	I Conteo de Población y Vivienda
2000		578,046	XII Censo General de Población y Vivienda, 2000
2005		648,929	II Conteo de Población y Vivienda, 2005
2010		725,122	XIII Censo General de Población y Vivienda, 2010

Donde a* son las cifras que se refieren a la municipalidad, b* las que se refieren al distrito del centro de la capital, y c*se refieren a la capital. Fuente: INEGI (2009) Estadísticas históricas de México.

4.1.2 Proyección de la población según CONAPO.

La Proyección de hogares de México y las entidades federativas 2010-2030, fue realizada por la Dirección General de Estudios Sociodemográficos y Prospectiva perteneciente Consejo Nacional de Población (CONAPO). Realizando una consulta interactiva en este organismo, se obtuvieron las estadísticas para el estado de Coahuila con respecto al tipo de hogar (Tabla 8) clasificado por el sexo del jefe (Tabla 9), por año (2015-2030), así como las estadísticas por tamaño del hogar (Tabla 10) mostradas de manera gráfica en la Figura 25.

Tabla 8. Hogares totales por tipo de hogar, según el año, para el estado de Coahuila (CONAPO).

Año	**Hogares totales**	**Nucleares**	**Ampliados**	**Compuestos**	**Corresidentes**	**Unipersonales**
2015	815615	528811	194341	11236	3283	77943
2016	831201	535825	199282	11703	3376	81016
2017	846726	542663	204243	12178	3470	84172
2018	862255	549391	209225	12662	3564	87413
2019	877809	556034	214223	13156	3657	90739
2020	893410	562625	219228	13660	3749	94148
2021	909029	569158	224221	14173	3840	97639
2022	924640	575613	229193	14695	3929	101208
2023	940251	581993	234156	15227	4017	104858
2024	955819	588262	239103	15768	4103	108582
2025	971258	594368	244014	16316	4188	112372
2026	986525	600307	248860	16870	4270	116219
2027	1001616	606081	253634	17431	4350	120120
2028	1016533	611664	258367	17999	4427	124076
2029	1031239	617014	263064	18572	4503	128085
2030	1045717	622138	267712	19152	4577	132138

Tabla 9. Tipo de Hogares clasificados por sexo del jefe, según el año, para el estado de Coahuila.

	Total	Nucleares	Ampliados	Compuestos	Corresidentes	Unipersonales
	Hogares con jefaturas masculinas					
2015	634157	445778	133430	9013	1945	43991
2016	644023	450663	136368	9384	2000	45609
2017	653752	455379	139295	9760	2056	47262
2018	663398	459979	142214	10143	2113	48949
2019	672978	464485	145120	10534	2169	50671
2020	682527	468934	148008	10931	2225	52428
2021	692035	473330	150869	11336	2280	54220
2022	701475	477651	153697	11749	2335	56044
2023	710845	481892	156494	12168	2390	57901
2024	720098	486016	159257	12593	2444	59787
2025	729164	489978	161968	13023	2498	61697
2026	738020	493776	164609	13458	2550	63627
2027	746665	497416	167177	13897	2601	65574
2028	755087	500864	169691	14340	2651	67541
2029	763245	504080	172156	14786	2701	69523
2030	771144	507077	174564	15235	2749	71519
	Hogares con jefaturas femeninas					
2015	181458	83033	60911	2223	1338	33953
2016	187178	85162	62915	2319	1376	35407
2017	192974	87284	64948	2418	1414	36911
2018	198857	89412	67011	2519	1451	38464
2019	204832	91549	69104	2623	1488	40068
2020	210883	93690	71220	2728	1524	41720
2021	216994	95828	73351	2836	1560	43419
2022	223165	97963	75497	2947	1594	45165
2023	229407	100102	77661	3060	1627	46957
2024	235721	102246	79846	3175	1659	48795
2025	242094	104391	82046	3292	1690	50675
2026	248505	106530	84251	3412	1720	52592
2027	254951	108665	86457	3534	1749	54546
2028	261447	110800	88676	3659	1776	56536
2029	267994	112934	90908	3787	1803	58562
2030	274574	115061	93148	3917	1829	60619

Tabla 10. Tamaño promedio de hogar por sexo del jefe de familia, para el estado de Coahuila.

Año	Hogares Totales	Hogares con jefatura masculina	Hogares con jefatura femenina
2010	3.77	3.92	3.21
2011	3.74	3.89	3.19
2012	3.71	3.86	3.17
2013	3.68	3.83	3.14
2014	3.66	3.81	3.12
2015	3.63	3.78	3.10
2016	3.60	3.75	3.08
2017	3.58	3.73	3.06
2018	3.55	3.70	3.04
2019	3.52	3.68	3.02
2020	3.50	3.65	3.00
2021	3.47	3.63	2.98
2022	3.45	3.60	2.96
2023	3.42	3.58	2.94
2024	3.40	3.56	2.92
2025	3.38	3.54	2.90
2026	3.35	3.51	2.88
2027	3.33	3.49	2.86
2028	3.31	3.47	2.85
2029	3.29	3.45	2.83
2030	3.27	3.43	2.81

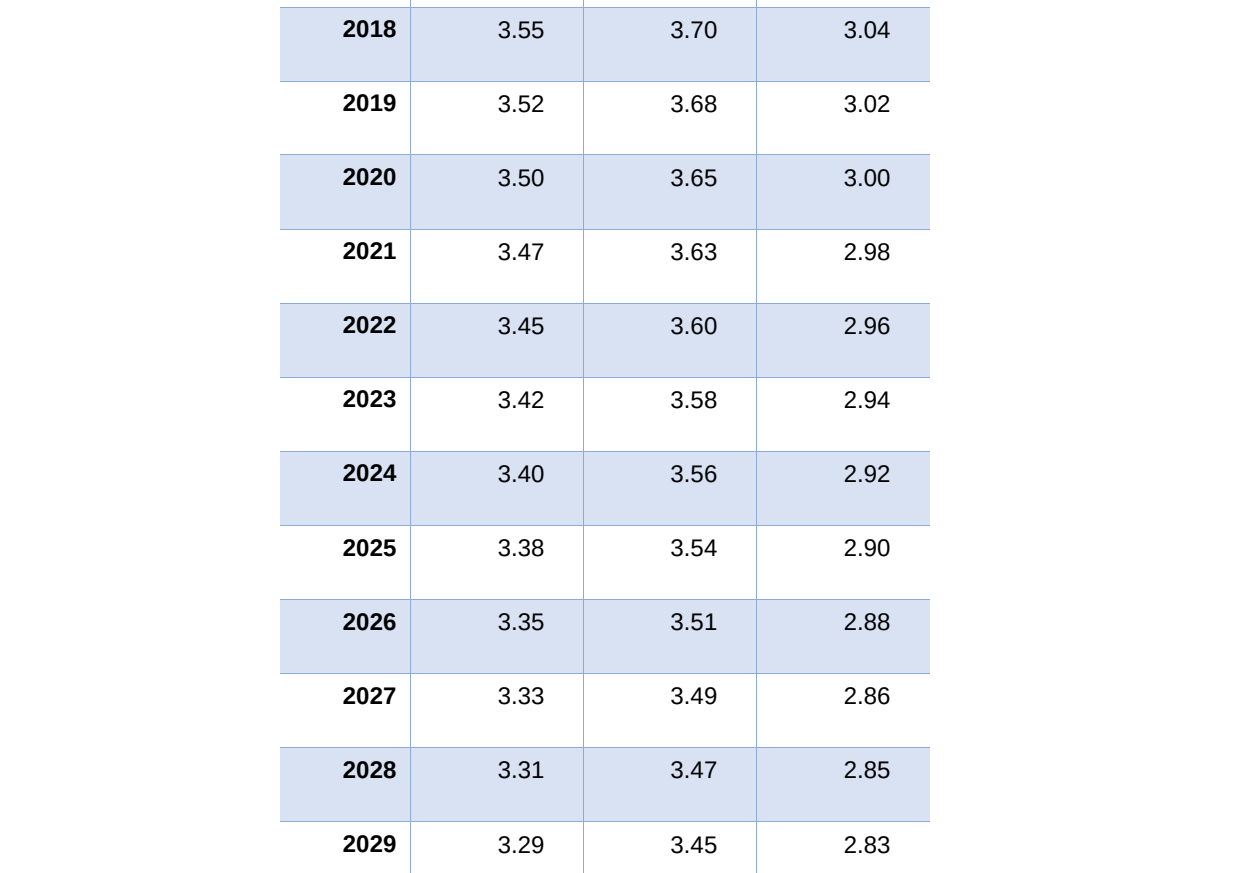


Figura 25. Grafica de Tamaño promedio de hogar por sexo del jefe de familia para el estado de Coahuila.

4.1.3 Distribución de la Población

La población económicamente activa del municipio (Tabla 11) se concentra en el 53.8%, es decir al menos 384 mil personas trabajan, de las cuales el 73% son hombres y otro 35.4% son mujeres (INEGI 2011). Por otra parte, 54 de cada 100 personas que son mayores a los 12 años participan en actividades económicas y de estas 100, al menos 94 tienen ocupación.

Tabla 11 Población económicamente activa en el municipio de Saltillo.

	Total (%)	**Hombres (%)**	**Mujeres (%)**
Económicamente activa	53.8	73.0	35.4
Ocupada	94.0	93.1	95.7
No ocupada	6.0	6.9	4.3
No económicamente activa	45.8	26.6	64.2
Condición de actividad no especificada	0.4	0.4	0.4

En Saltillo por otra parte 46 personas de cada 100 que son mayores a 12 años, no participan en actividades económicas y el 64.2% son mujeres. Del total de la población que no se considera económicamente activa, al menos el 49% se dedican a quehaceres del hogar, el 37.6% son estudiantes y otros 8.9% son jubilados o pensionados (Figura 26).

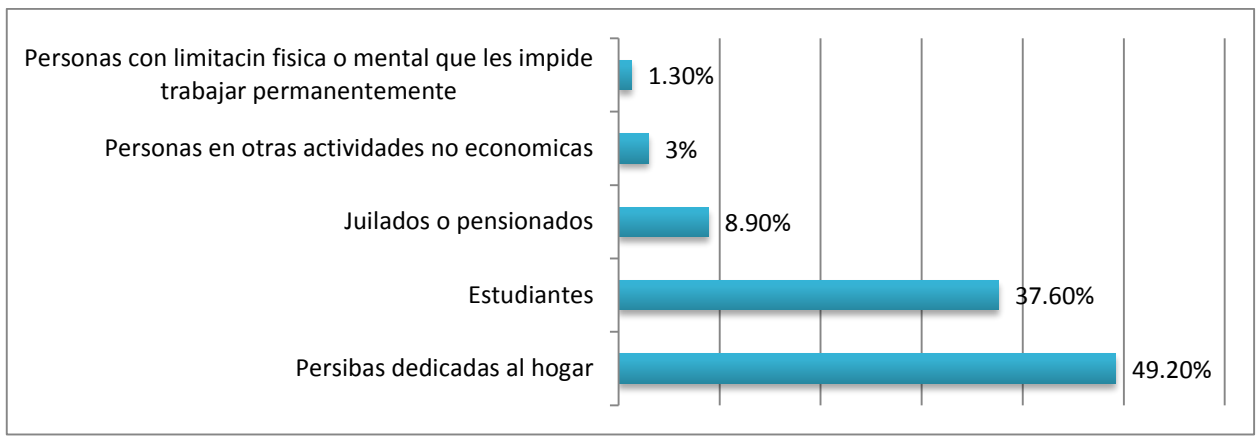


Figura 26. Personas de con actividades economicamente no activas.

4.1.4 Pirámide de edades

Los saltillenses son una población joven como se demuestra en la pirámide de edad obtenida del reporte de INEGI (2011), donde se observa que la población se concentra en los primeros cohortes quinquenales de 5 a 49 años y sobresaliendo los de las poblaciones en edad de 5-9, 15-19, 30-34 (Figura 27 y

Tabla 12).

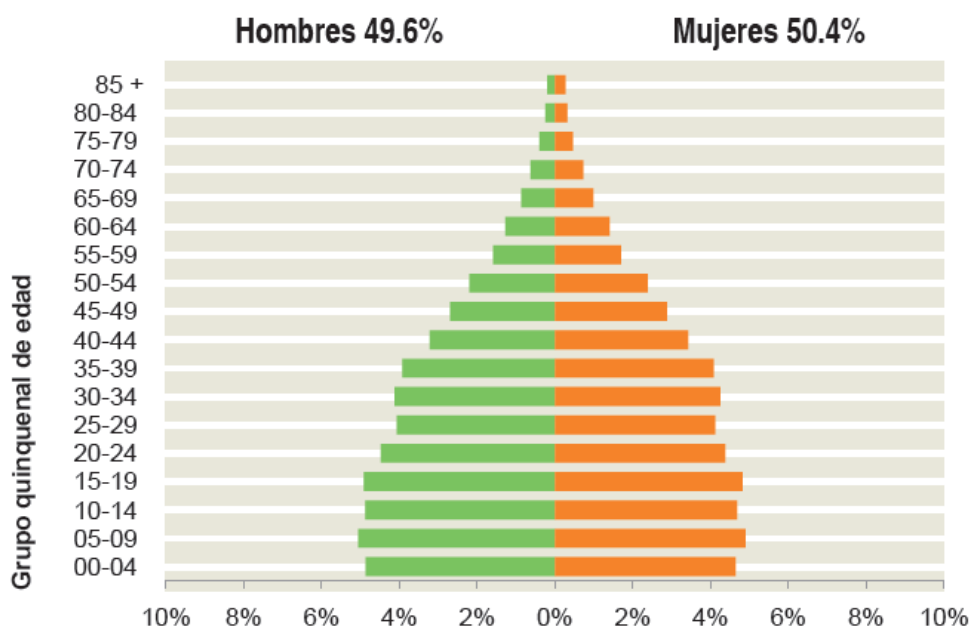


Figura 27. Pirámide de edad por género de la población del municipio de Saltillo

Tabla 12. Análisis demográfico del Municipio de Saltillo.

Saltillo

Población total, 2010	725,123
Población total hombres, 2010	359,366
Población total mujeres, 2010	365,757
Porcentaje de población de 15 a 29 años, 2010	26.8
Porcentaje de población de 15 a 29 años hombres, 2010	27.1
Porcentaje de población de 15 a 29 años mujeres, 2010	26.4
Porcentaje de población de 60 y más años, 2010	7.8
Porcentaje de población de 60 y más años hombres, 2010	7.2
Porcentaje de población de 60 y más años mujeres, 2010	8.3

4.1.5 Mortalidad

Según datos de Mortalidad del INEGI, para el Estado de Coahuila, el número de defunciones se incrementó aproximadamente en seis mil durante el período de 1900 a 2013, de 9,770 defunciones en el año de 1990 a 15,760 en el 2013.

Para el año 2011[1], en el estado se registraron 13,899 defunciones. El municipio de Saltillo fue el segundo municipio, después de Torreón, en número de defunciones con 1,745 defunciones de personas de sexo masculino y 1,347 del género femenino y una no especificada, totalizando 3,093 defunciones en ese año. En cuanto a las principales causas de defunción, casi el 30% se debieron a enfermedades del sistema circulatorio (932), seguidas por las enfermedades endócrinas (16.71%), nutricionales y metabólicas con 551 defunciones (17%), tumores (14%), causas externas de morbilidad y de mortalidad (10.5%)[2], enfermedades del sistema digestivo (9.58%) y enfermedades del sistema respiratorio con 6.82%. Otras causas como enfermedades del sistema nervioso, enfermedades del sistema genitourinario, malformaciones, y otras fueron causa cada una de menos del 3% de las defunciones (Tabla 13).

Tabla 13. Consulta de defunciones generales y Causas detalladas CIE por entidad y municipio de ocurrencia registrados durante el año 2011.

Causas	No. Defunciones	%
Enfermedades del ojo y sus anexos (H00-H59)	1	0.03
Enfermedades de la piel y del tejido subcutáneo (L00-L99)	6	0.18
Embarazo, parto y puerperio (O00-O99)	7	0.21
Trastornos mentales y del comportamiento (F00-F99)	16	0.49
Enfermedades de la sangre y de los órganos hematopoyéticos, y ciertos trastornos que afectan el mecanismo de la inmunidad (D50-D89)	23	0.70
Enfermedades del sistema osteomuscular y del tejido conjuntivo (M00-M99)	33	1.00
Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas (Q00-Q99)	36	1.09
Síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte (R00-R99)	44	1.33
Ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal (P00-P96)	70	2.12
Enfermedades del sistema genitourinario (N00-N99)	72	2.18
Enfermedades del sistema nervioso (G00-G99)	79	2.40
Ciertas enfermedades infecciosas y parasitarias (A00-B99)	82	2.49
Enfermedades del sistema respiratorio (J00-J99)	225	6.82
Enfermedades del sistema digestivo (K00-K93)	316	9.58
Causas externas de morbilidad y de mortalidad (V01-Y98)	348	10.55
Tumores (neoplasias) (C00-D48)	457	13.86
Enfermedades endócrinas, nutricionales y metabólicas (E00-E90)	551	16.71
Enfermedades del sistema circulatorio (I00-I99)	932	28.26
Total CIE-10/2	**3,298**	100.00

[1] Tomado como ejemplo del Registro de Mortalidad (INEGI).
[2] Accidentes, Caídas, Obstrucción de la respiración, Quemaduras, Envenenamiento, Agreciones, Suicidios, etc.

4.1.6 Densidad de Población

De acuerdo con el análisis de la población urbana con los datos del INEGI 2010, la densidad de la población efectivamente se encuentra concentrada en las faldas de las Sierras de Zapalinamé, pero también en la zona sur y en la zona de las faldas de la Sierra El Asta, es decir, la población creció hacia las orillas, dejando el centro de Saltillo con densidades que varían de 21-89 personas por hectárea, mientras que las áreas mencionadas en las faldas de las sierras pueden tener urbanizaciones que reportan más de 225 habitantes por habitante, como se demuestra en la Figura 29.

4.2 Caracterización Social

4.2.1 Escolaridad

El 37,6% de la población no activa en Saltillo y que son mayores a los 12 años, son estudiantes. Los niños de 12 a 14 años concentran una población de 37,790 estudiantes de nivel secundaria, de los cuales el 49% son mujeres. Sin embargo, en la población de 15 años y más (127,427) la población femenina aumenta el porcentaje al 54.5% al terminar la educación básica. En Saltillo, 26 de cada 100 ciudadanos que tienen 15 años y más tienen algún grado aprobado en educación superior (Figura 28). Sin embargo, los hombres al ingresar a la Educación Superior superan a las mujeres, pues de 100,918 estudiantes ingresando a la universidad el 52.4% son varones.

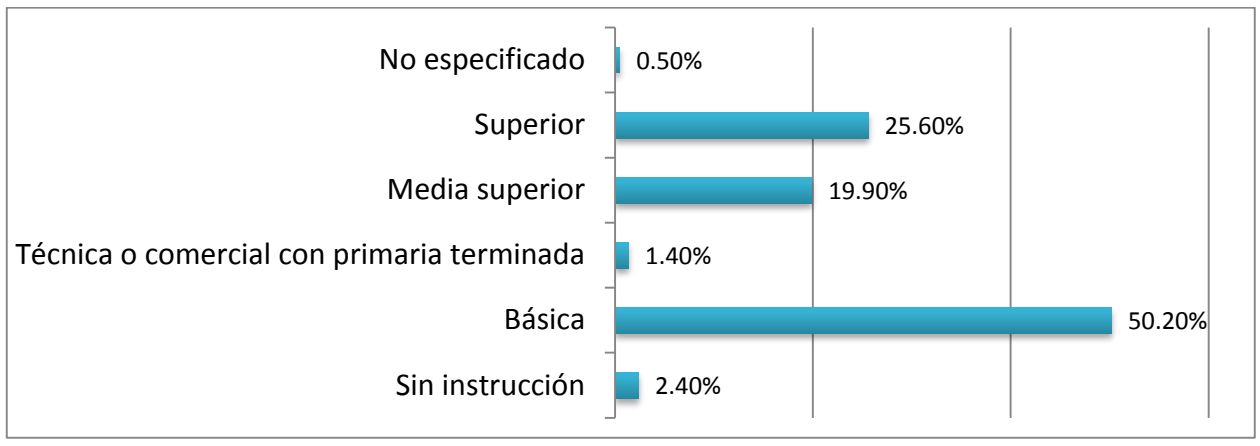


Figura 28. Distribución de la población de 15 años y más de acuerdo a su nivel de escolaridad.

De acuerdo con INEGI (2011), 99 de cada 100 habitantes de 25 años y más saben leer y escribir un recado (Tabla 14) y 98 de cada 100 entre los 6 los 11 años de edad asisten a la escuela (Tabla 15).

Tabla 14. Tasa de alfabetización por grupo de edad

Grupo	**Porcentaje**
15 a 24 años	98.7
25 años y más	96.7

Tabla 15. Asistencia escolar por grupo de edad.

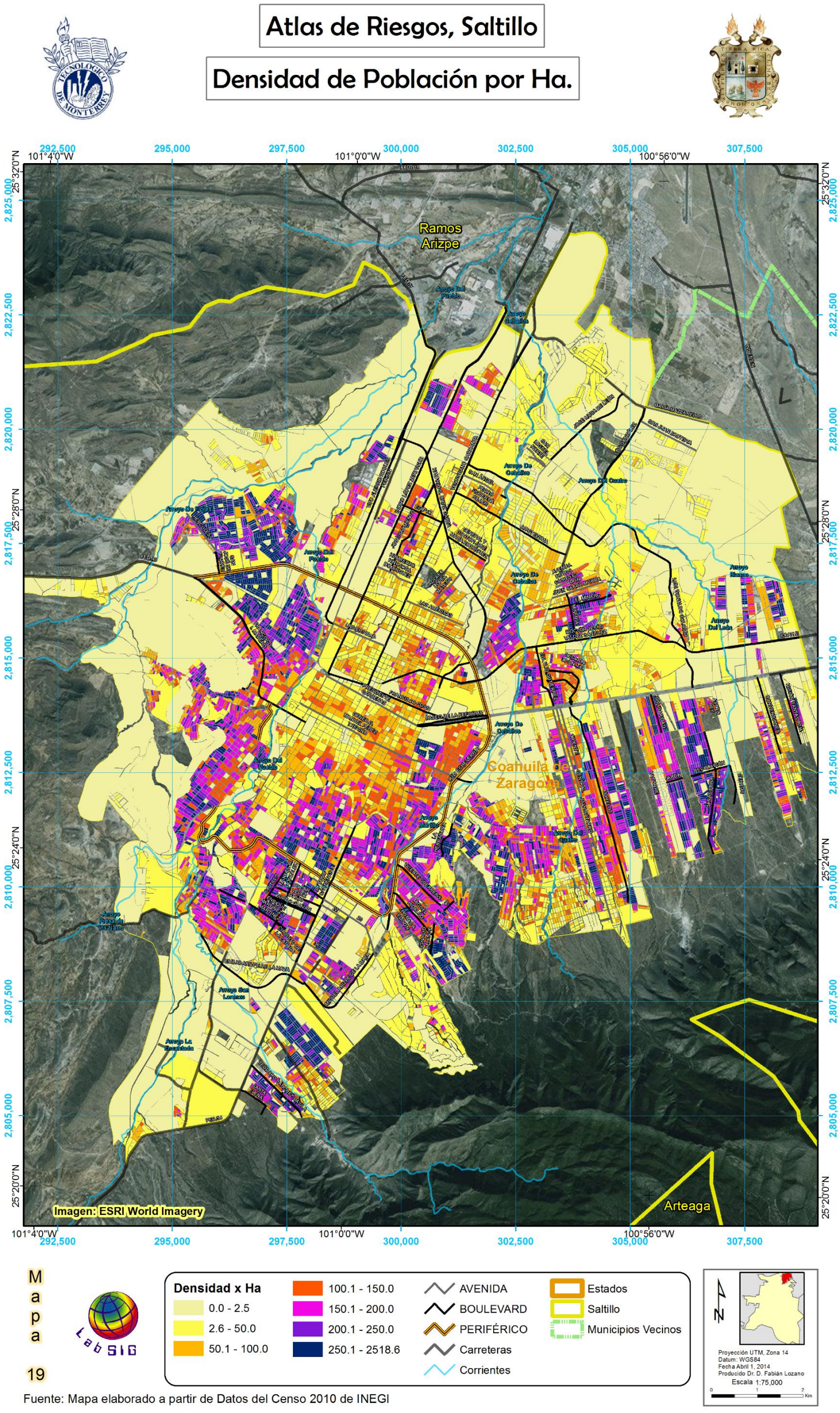
Grupo	**Porcentaje**
3 a 5 años	56.8
6 a 11 años	97.6
12 a 14 años	94.5
15 a 24 años	44.5

4.2.2 Hacinamiento

El hacinamiento se asocia con un bajo número de metros cuadrados por persona, tasas altas de ocupación (número de personas que comparten una habitación), y un alto número de unidades habitacionales de un solo cuarto. Se considera que un hogar provee suficiente espacio para sus habitantes si tres o menos personas comparten habitación.

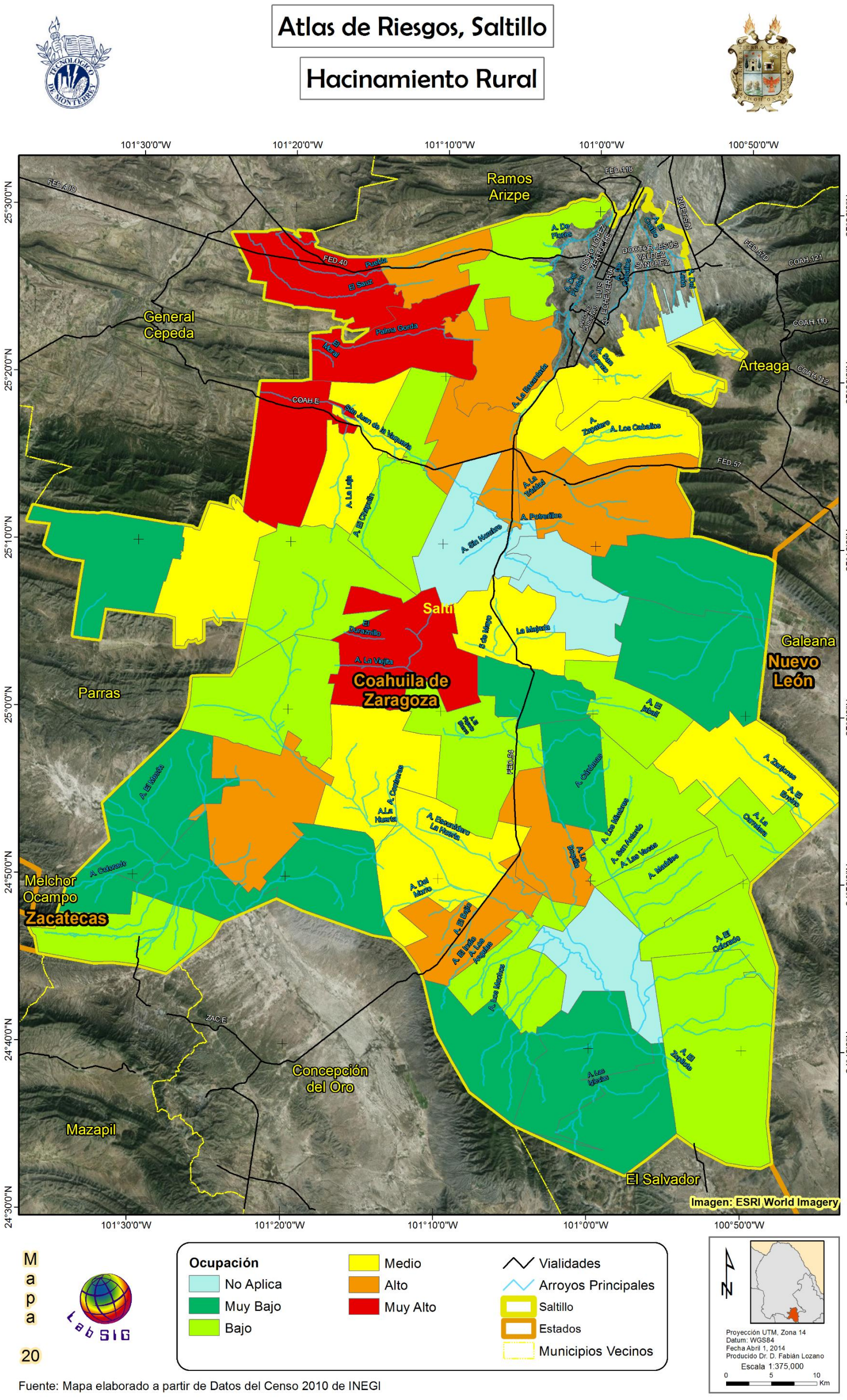
En Saltillo existen 187,764 viviendas habitadas con un promedio de 3.9 ocupantes por vivienda. En la zona urbana de Saltillo, la ocupación por cuarto se mide por medio del siguiente indicador: “Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas” (PRO_OCUP_C), arrojando las siguientes estadísticas: Media: 0.89 habitantes por cuarto, Máximo: 2 habitantes por cuarto, Desviación estándar: 0.29 habitantes por cuarto. En las zonas rurales del municipio, las estadísticas de ocupación son las siguientes: Media: 2.76 habitantes por cuarto, Máximo.88 habitantes por cuarto y desviación estándar: 2.35 habitantes por cuarto.

Siguiendo la nomenclatura usada a lo largo de este documento, en las Figura 30 y Figura 31 se muestran los valores de esta variable del censo del 2010



Fuente: Mapa elaborado a partir de Datos del Censo 2010 de INEGI

Figura 29. Densidad urbana de la zona por manzanas en el área conurbada de Saltillo



Fuente: Mapa elaborado a partir de Datos del Censo 2010 de INEGI

Figura 30. Niveles de hacinamiento en zonas rurales del municipio de Saltillo.

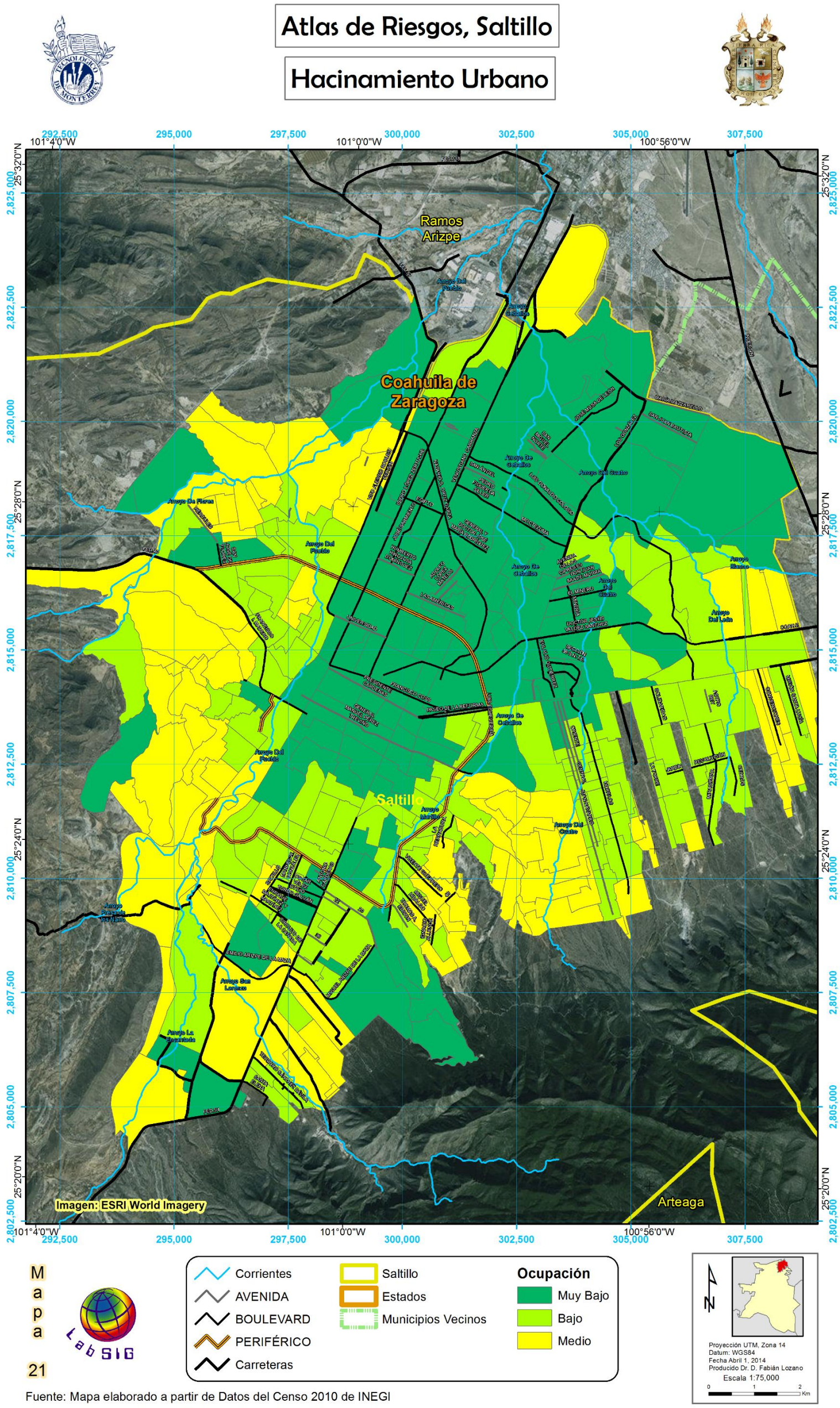


Figura 31. Niveles de hacinamiento en la zona urbano de Saltillo.

4.2.3 Población con discapacidad

En Saltillo 25 mil 303 personas padecen algún tipo de discapacidad (física o mental). Ésta cifra representa el 4.6% de la población, es decir que 5 de cada 100 personas en Satillo tienen algún tipo de limitación, este dato fue obtenido con el cuestionario ampliado del INEGI (2011) durante el XIII Censo de Población y Vivienda del 2010.

Los servicios de salud cuentan con cobertura para al menos 77.3% de la población, es decir que más de 152,253 personas no cuentan prestaciones médicas o servicios de salud.

Del porcentaje de población derechohabiente, el 59.7% tiene derecho a servicios médicos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), 7.9% al Instituto de Seguro Social para Trabajadores del Estado (ISSSTE) y 5.4% tienen seguro popular de acuerdo con el siguiente gráfico modificado del Panorama Coahuilense de INEGI 2010 (Figura 32).

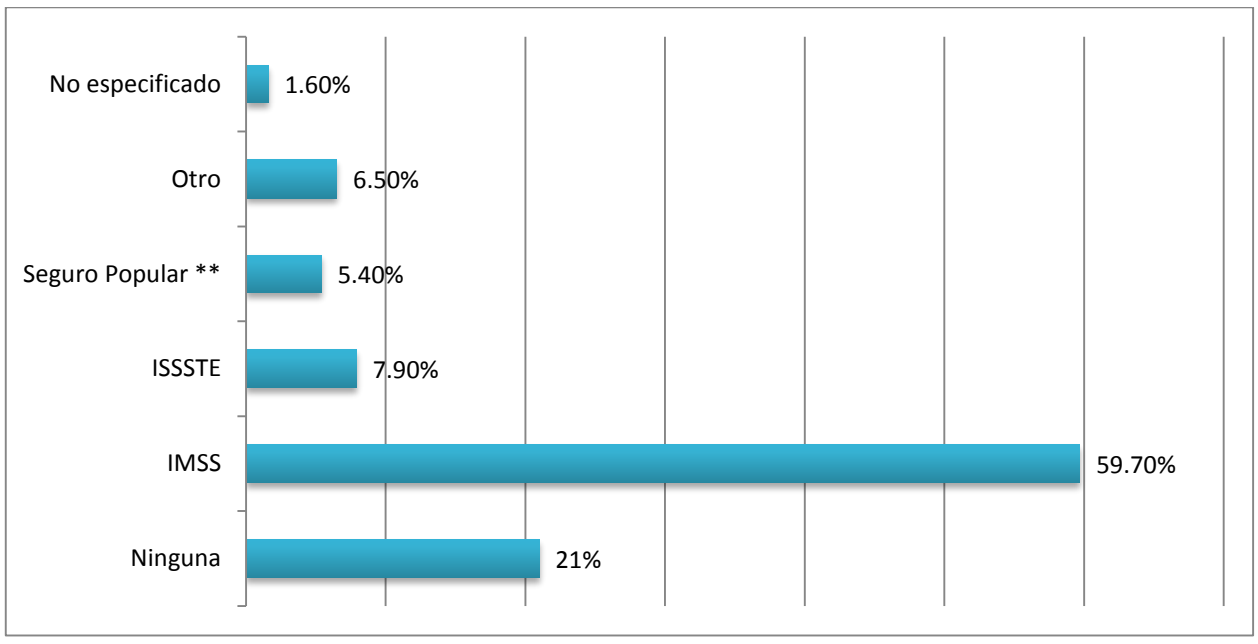


Figura 32. Porcentajes de población con algún tipo de servicio de salud.

4.2.4 Marginación y Pobreza

El estado de Coahuila tiene el cuarto nivel nacional con menos personas en pobreza extrema, aun así, existen 93 mil coahuilenses en condiciones de pobreza extrema, de los cuales un 40% se distribuyen en los municipios de Saltillo y Torreón (Ruiz Coronado, 2014; Apundia, 2014). Por tal razón, el estado ha ingresado recursos durante el presente año mediante el programa Cruzada Nacional Contra el Hambre con acciones que combaten la pobreza.

En el 2011 un archivo del diario Vanguardia reportaba que Saltillo, de acuerdo con los datos estadísticos de la Comisión Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), habían 177, 905 personas que vivían en pobreza (23.5% de la población), de los cuales 16, 678 se ubicaban en el rango de pobreza extrema y 161, 228 en pobreza moderada. En la ciudad el 9% de la población, es decir, 68,456 personas tienen un ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo, mientras que otras 272,390 están por debajo de la línea de bienestar.

En contraparte y a nivel general del país los resultados del Censo 2010, no sólo revelan que Saltillo ocupa el segundo lugar a nivel nacional en cuanto a población mayor cantidad de años escolares, sino que también se ubica a la capital coahuilense como uno de los 10 municipios con menores índices de marginación en el país. Estos datos también se ven reflejados en la capacidad de las personas a la disponibilidad de servicios en sus viviendas. De acuerdo con la Figura 33, un alto porcentaje de la población cuenta con los servicios básicos (electricidad, agua potable, drenaje y servicios sanitarios), todos estos por encima de la media nacional.

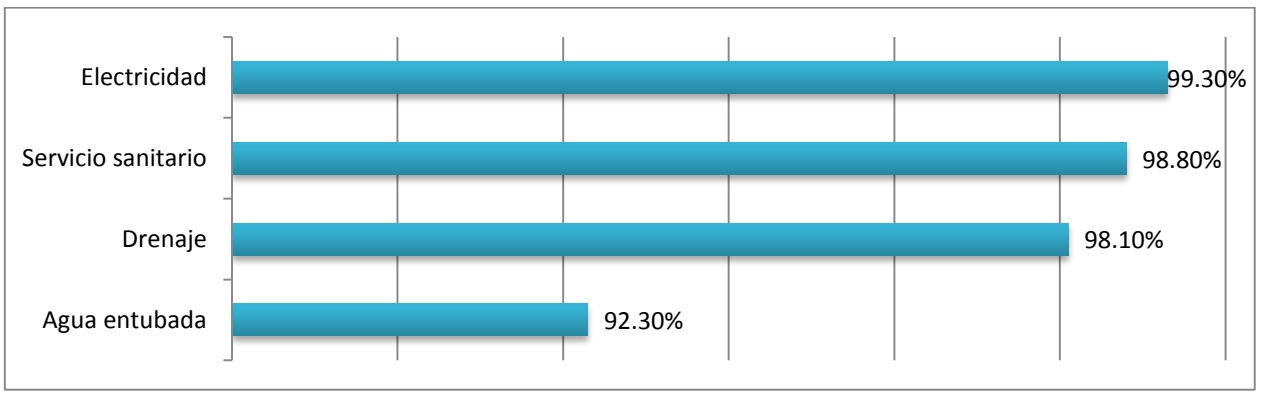


Figura 33. Disponibilidad de servicios en la vivienda.

En lo que respecta a servicios de comunicación (telefonía, internet, etc.) los valores de la Figura 34 muestran que la cobertura celular tiene más del 70% en la población, mientras que el uso del internet apenas llega al 28%.

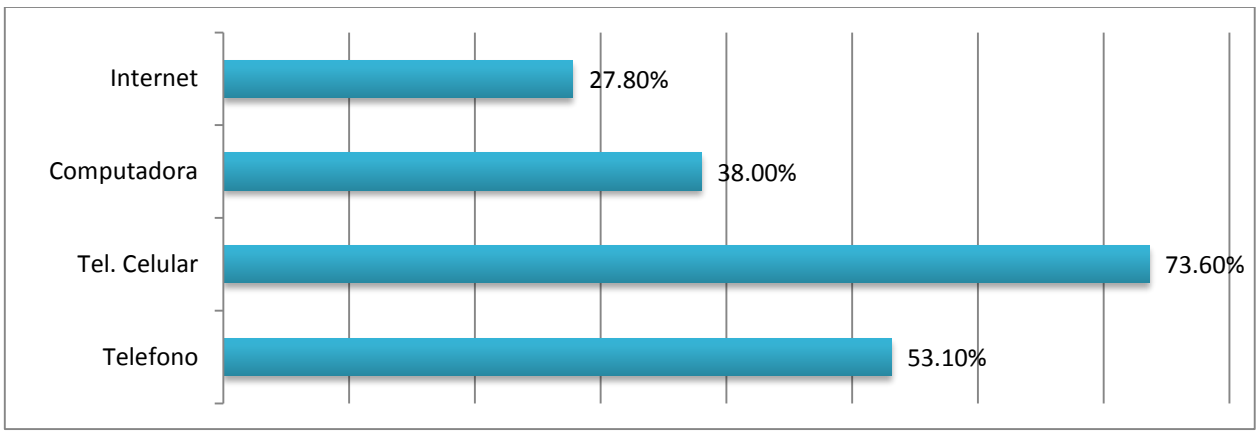


Figura 34. Tecnologías de información y comunicación.

4.3 Actividades Económicas

Forma Parte del denominado “Corredor del TLC”, integrado por las ciudades zonas metropolitanas de Saltillo, Monterrey, los dos Laredos, San Antonio, Austin y Dallas/Ft Worth. En Saltillo y zonas aledañas se encuentran varios sistemas carreteros de gran importancia, en particular la carretera federal # 57 que conecta a Monterrey con la Cd. de México, y la carretera federal # 40 que conecta con la ciudad de Torreón y eventualmente Durango y Mazatlan en la costa del Mar de Cortés.

5 IDENTIFICACIÓN DE RIESGO SOCIAL, AMENAZAS, PELIGROS, Y VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL

5.1 Disponibilidad de datos para la elaboración del Atlas de Riesgos del Municipio de Saltillo, Coahuila

Tabla 16. Datos disponibles para la elaboración del Atlas de Riesgos de Saltillo, Coahuila.

Capa	Requerimiento	Fuente
Topografía	Generación de red hidrológica, límites de cuencas, determinación de secciones transversales de cauces, delimitación de zonas inundables, cálculo de pendientes, determinación de ollas y zonas de encharcamiento por topografía con poca pendiente.	Modelo digital de elevaciones (MDE) generado a partir de los datos del sensor INEGI o ASTER, pixel 30m
Edafología	Estimación de índices de infiltración del suelo.	INEGI 1:50,000
Cobertura y uso del suelo	Estimación de índices de infiltración del suelo	Imágenes SPOT, pixel 10 m
Planimetría urbana	Determinación del efecto de la traza urbana en el escurrimiento superficial. Posicionamiento geográfico de registros históricos de inundaciones	Catastro
Ortofotos	Corrección de errores en la red hidrológica obtenida a partir del MDE.	INEGI
Meteorología	Datos de lluvia para estimación de curvas I-D-Tr de estaciones Monterrey CNA y Fierro del sistema de alerta hidrometeorológica temprana.	CNA
Datos hidrométricos	Datos hidrométricos para estimación de volúmenes de escurrimiento en las cuencas monitoreadas	CNA, BANDAS; otros estudios hidrológicos
Vías de comunicación	Determinación del efecto de la traza urbana en el escurrimiento superficial. Identificación de posibles puntos de conflicto en cruces de red vial, ferrocarriles y red hidrológica superficial.	INEGI, 1 :50,000
Límites municipales	Delimitación de jurisdicciones políticas	INEGI 1:50,000

5.2 Fenómenos Geológicos

5.2.1 Vulcanismo

El territorio de Saltillo está localizado en una zona carente de aparatos volcánicos, la mayoría de las rocas presentes en el municipio son de origen sedimentario. Según el CENAPRED, dieciséis volcanes han desarrollado alguna actividad en tiempos históricos; la mayoría de ellos se encuentran en zonas de subducción (de las placas) y en la cordillera volcánica localizada en el centro del país (Figura 35) (Zepeda Ramos, O. y S. González Martínez, 2001).

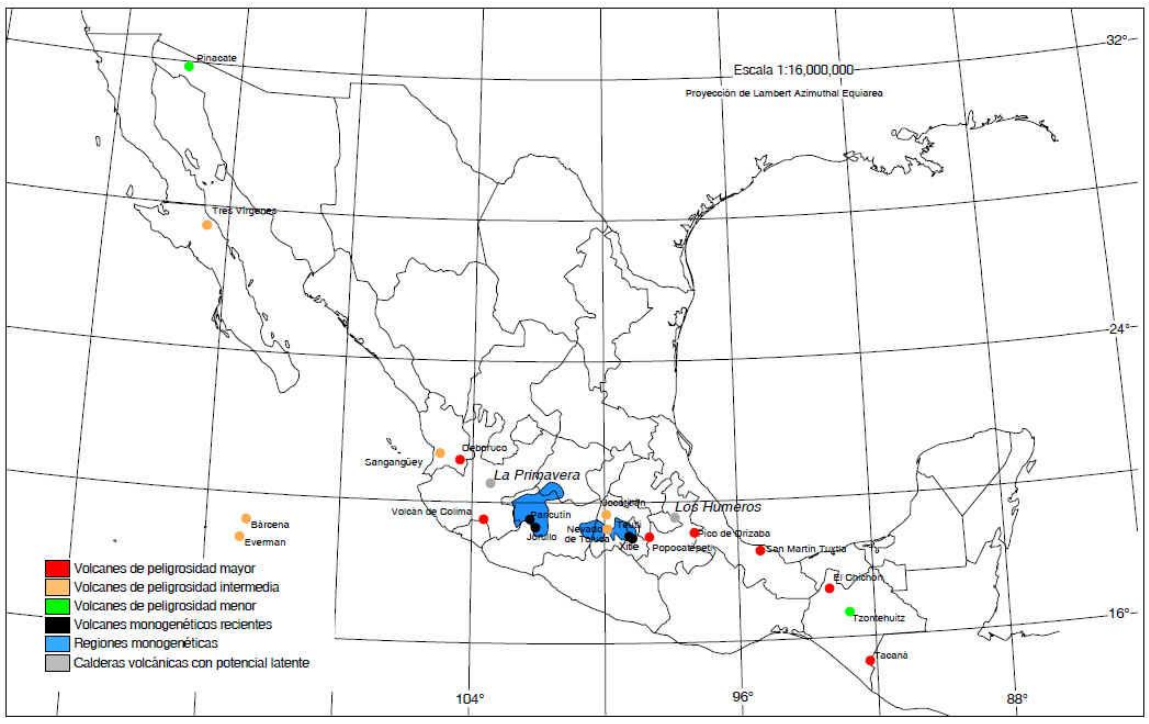
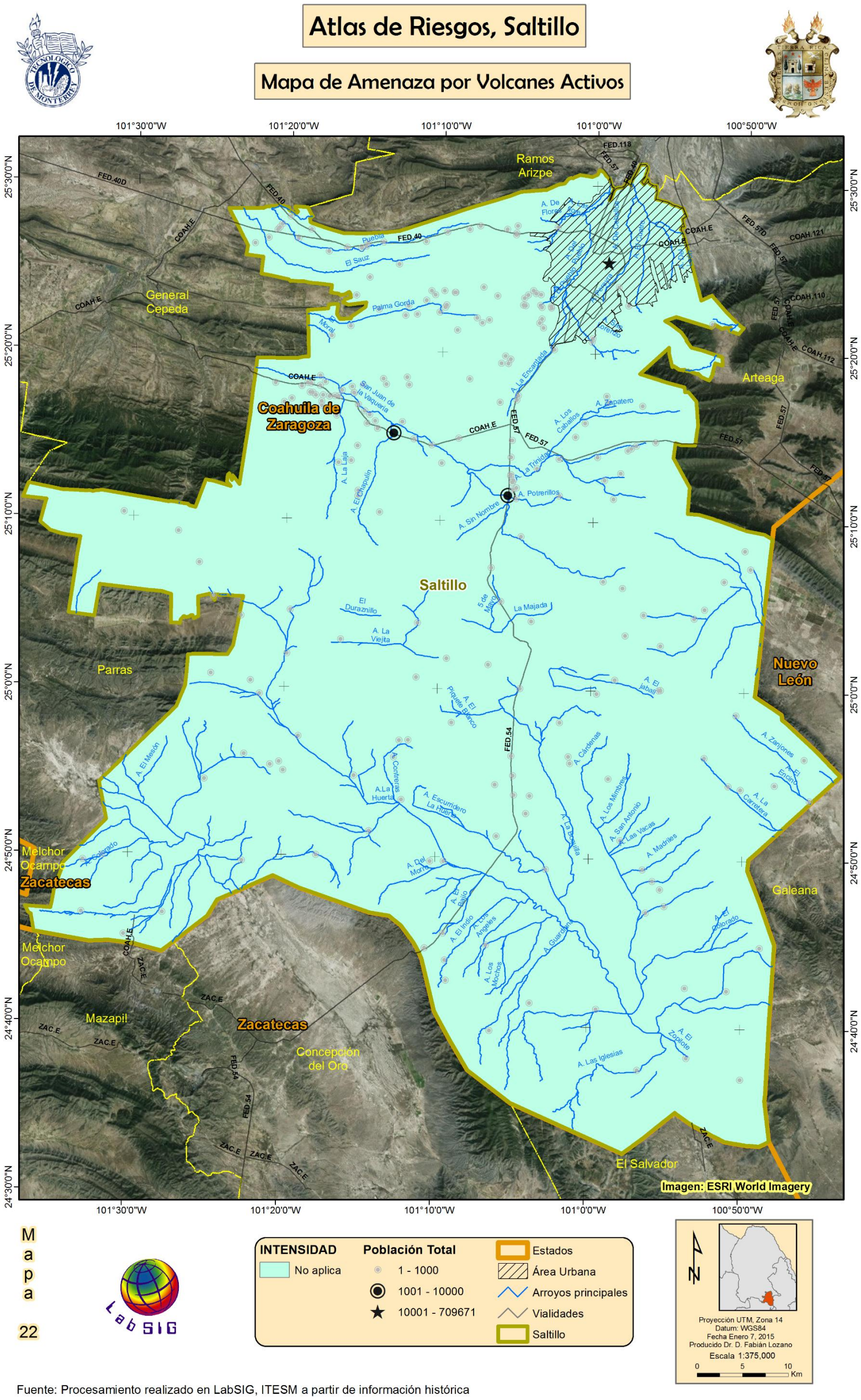


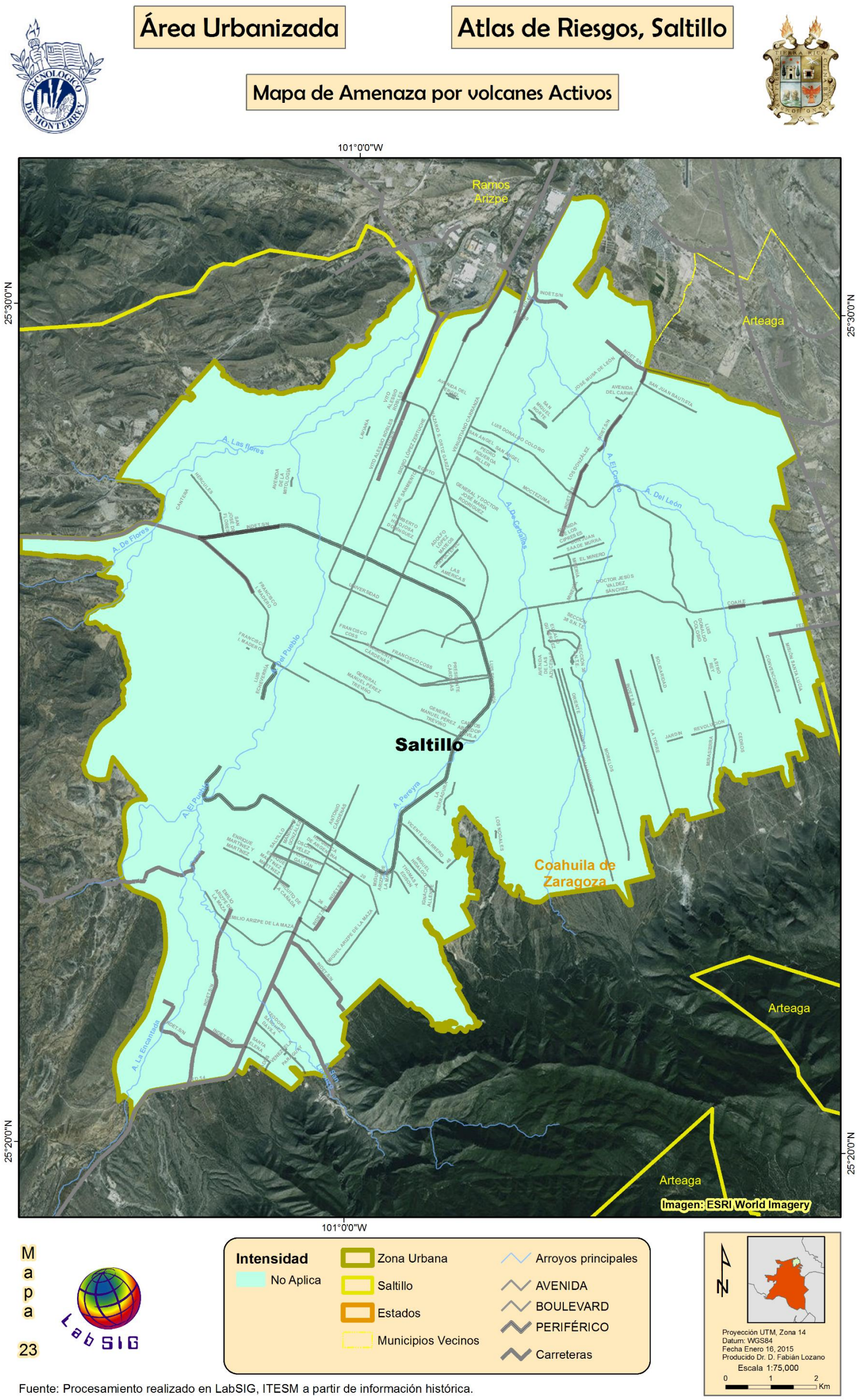
Figura 35. Volcanes de México con actividad eruptiva en tiempos históricos. Tomado de Zepeda- Ramos y S. González. 2001

En el territorio municipal, solo en la porción sureste aparecen evidencias de rocas ígneas intrusivas ácidas e intermedias (Figura 7). No hay evidencia en las imágenes satelitales de aparatos volcánicos cercanos al territorio municipal. En la Figura 36 y Figura 37 se observa el mapa resultante de amenaza por volcanes activos que en este caso es considerada como nula.



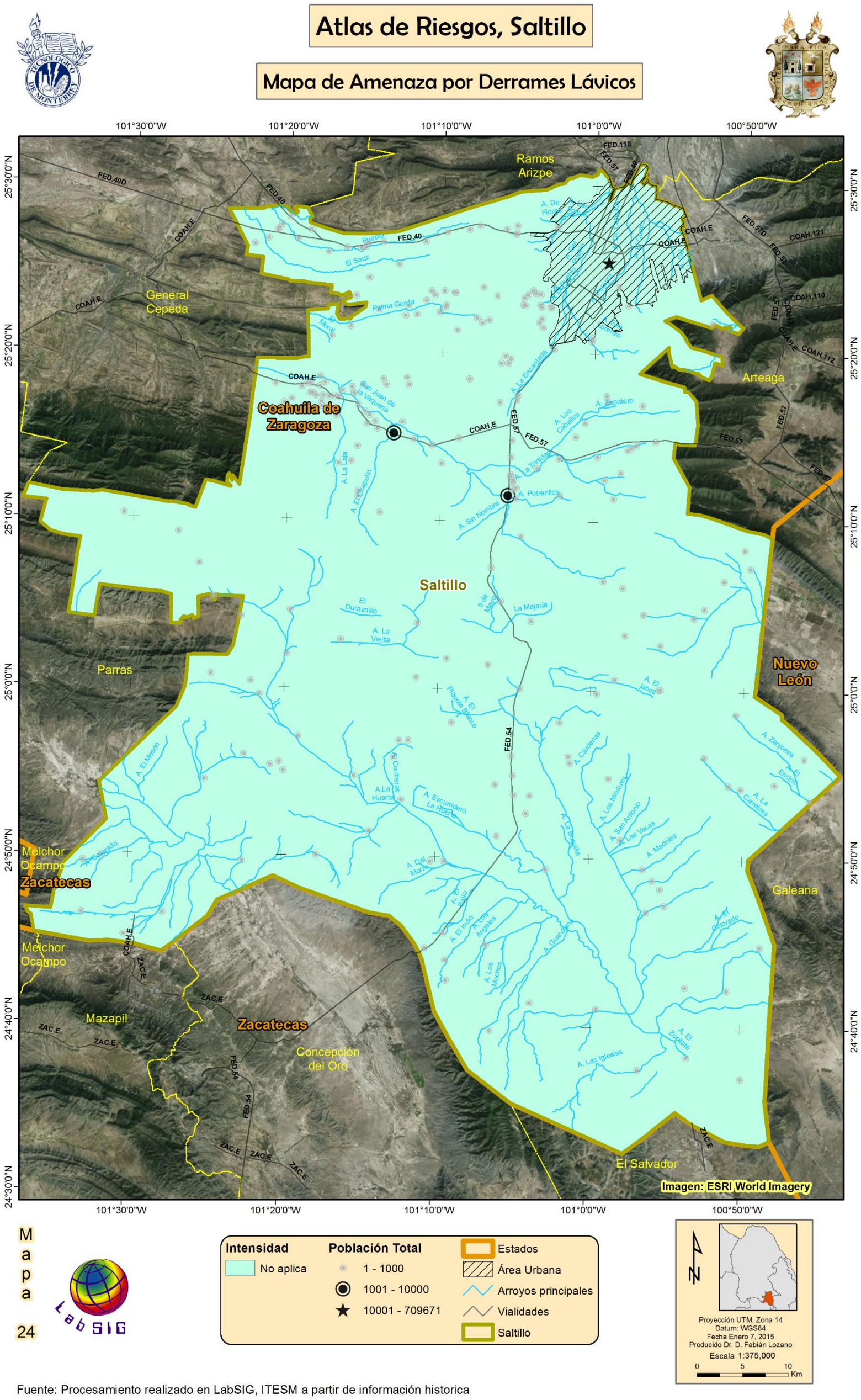
Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 36. Mapa de amenaza por volcanes activos a nivel rural.



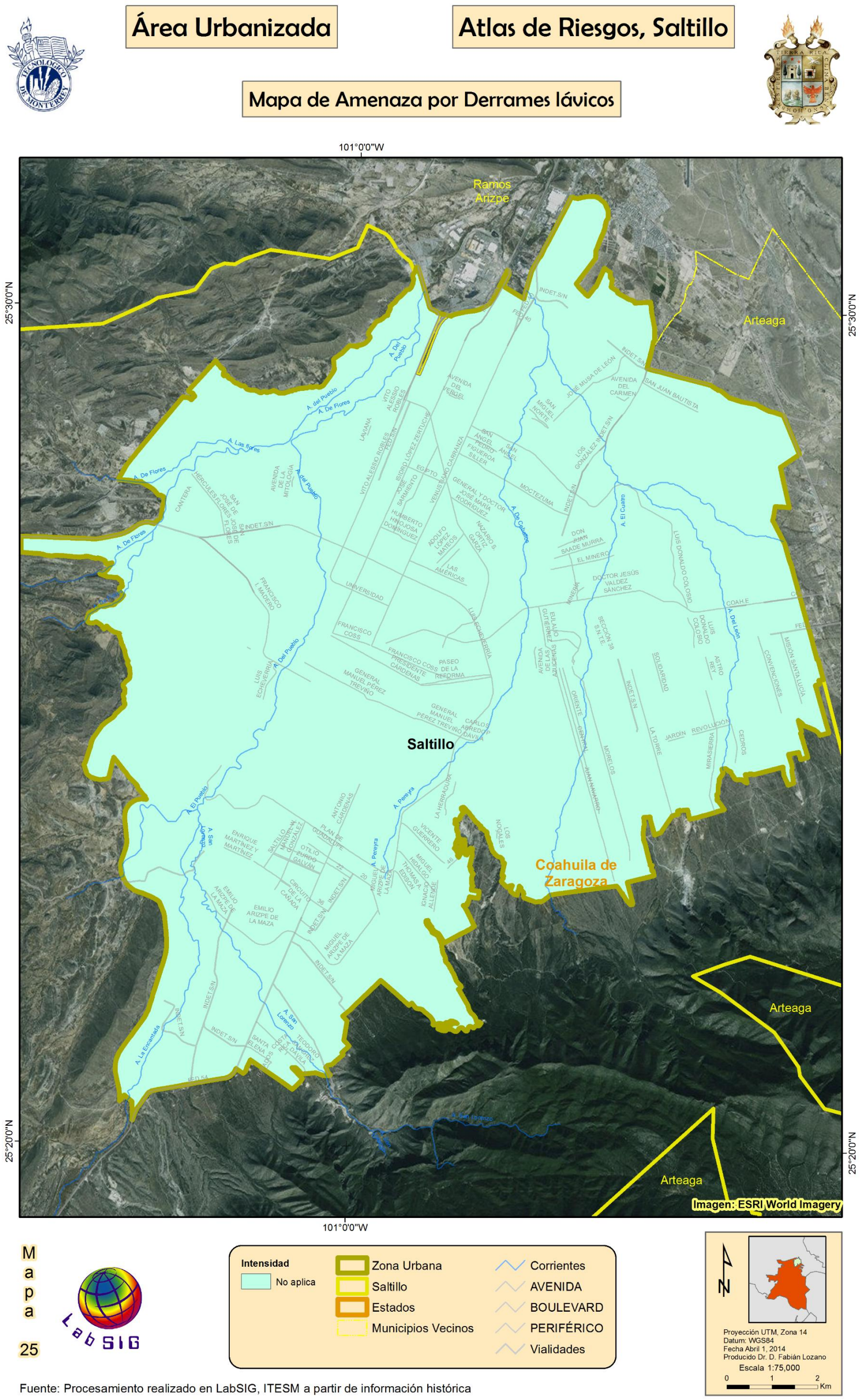
Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica.

Figura 37. Mapa de amenaza por volcanes activos a nivel urbano.



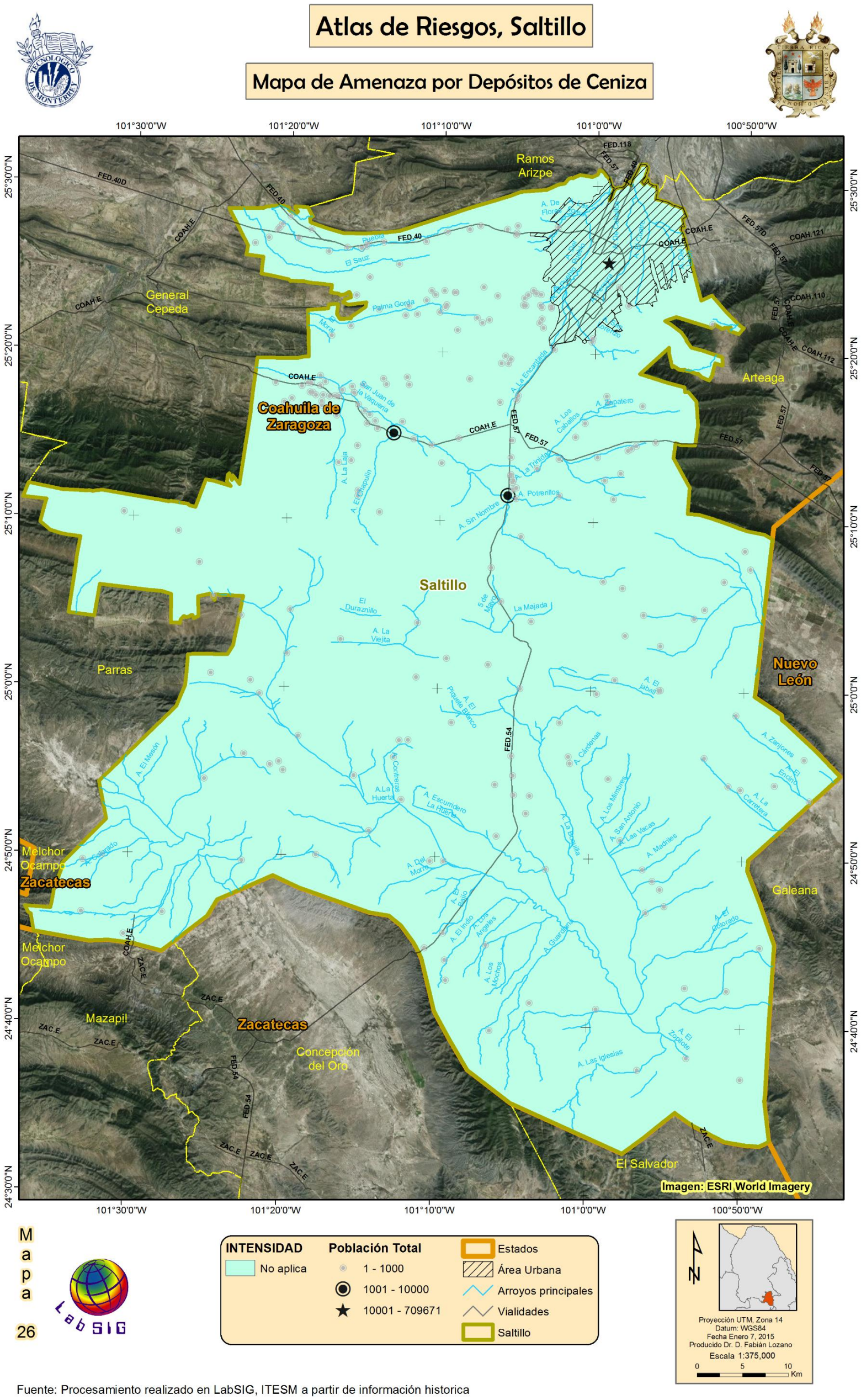
Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información historica

Figura 38. Mapa de amenaza por derrames lávicos.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 39. Mapa de amenaza por derrames lávicos a nivel urbano.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información historica

Figura 40. Mapa de amenaza por depósitos de ceniza.

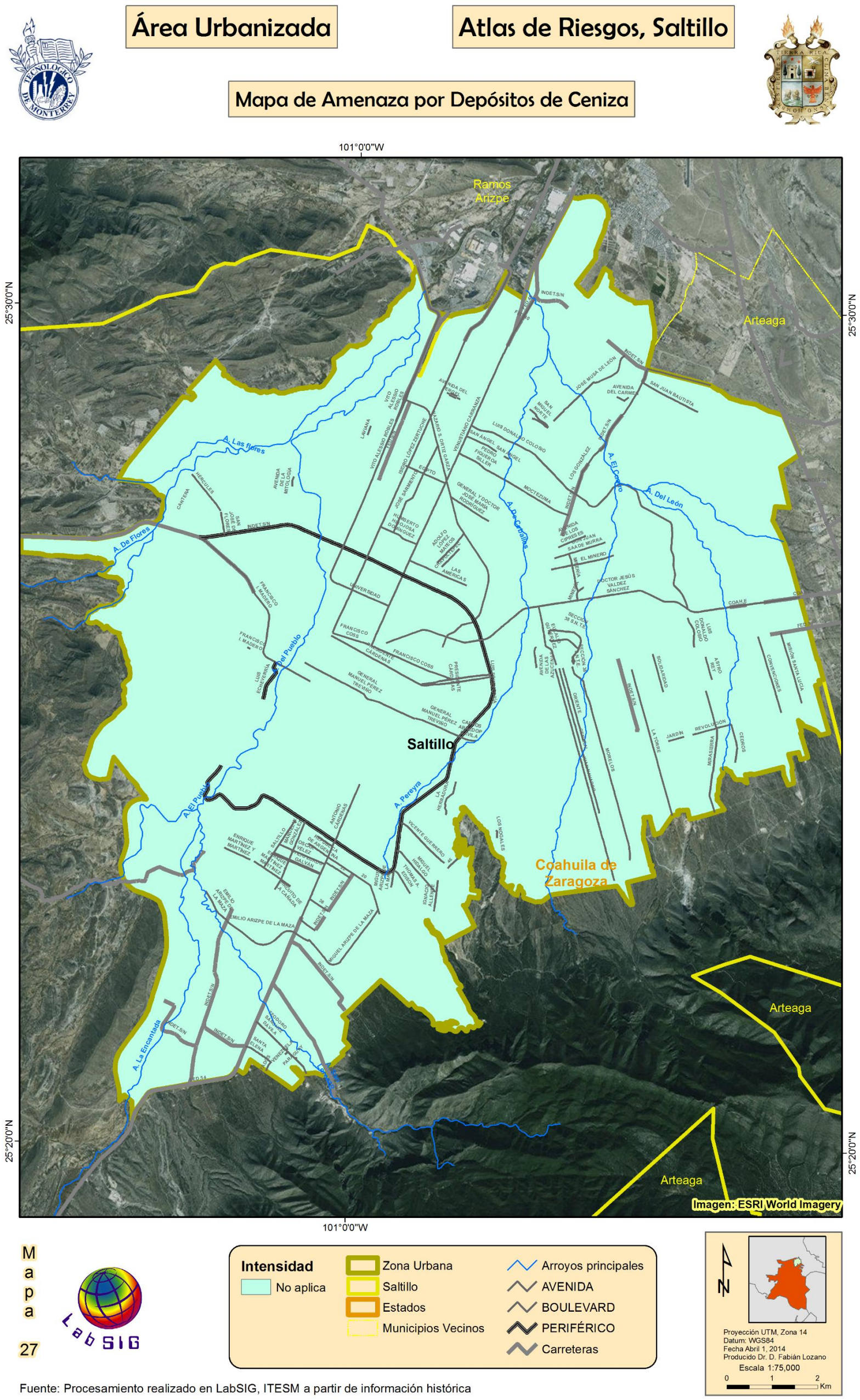
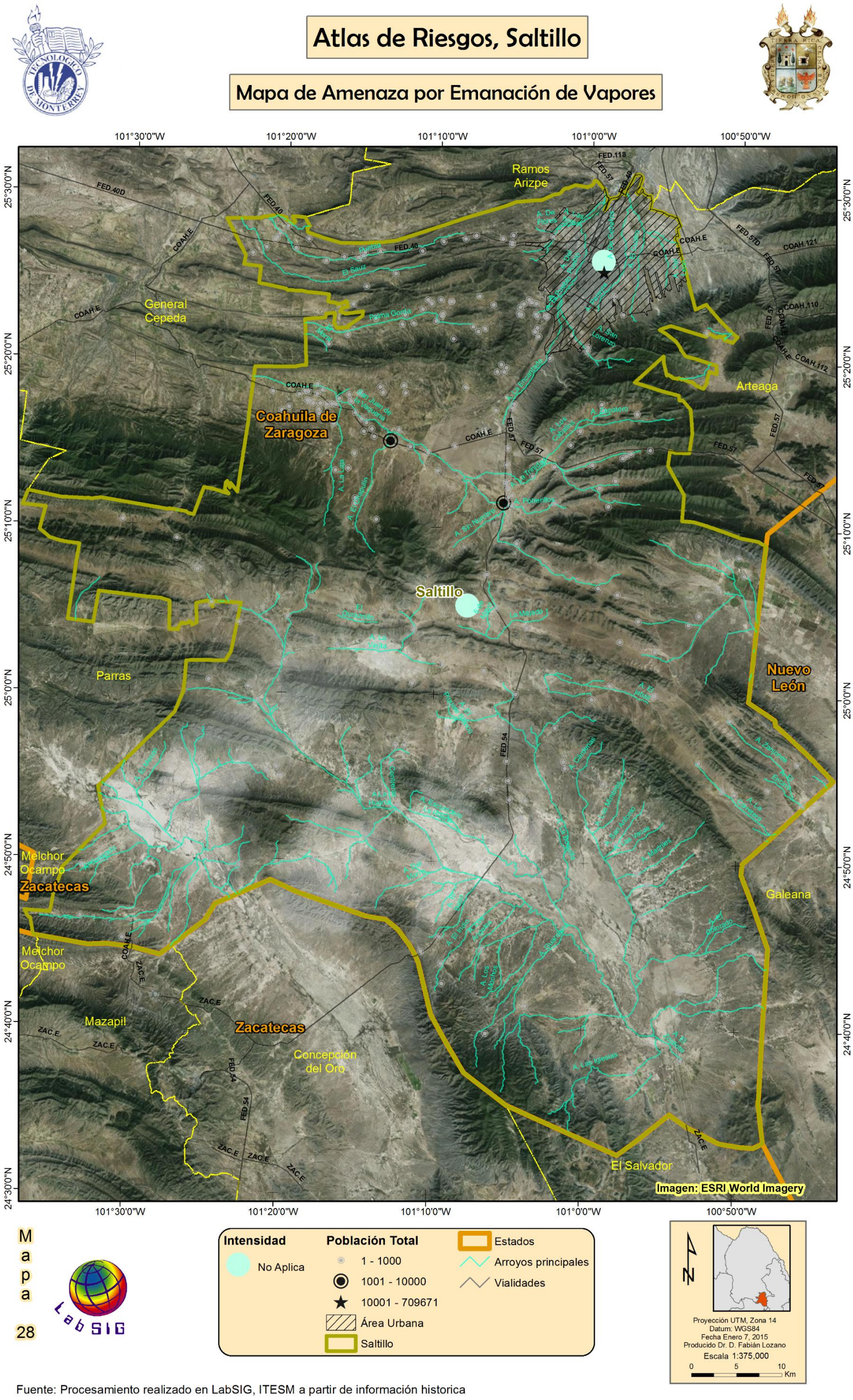


Figura 41. Mapa de amenaza por depósitos de ceniza a nivel urbano.

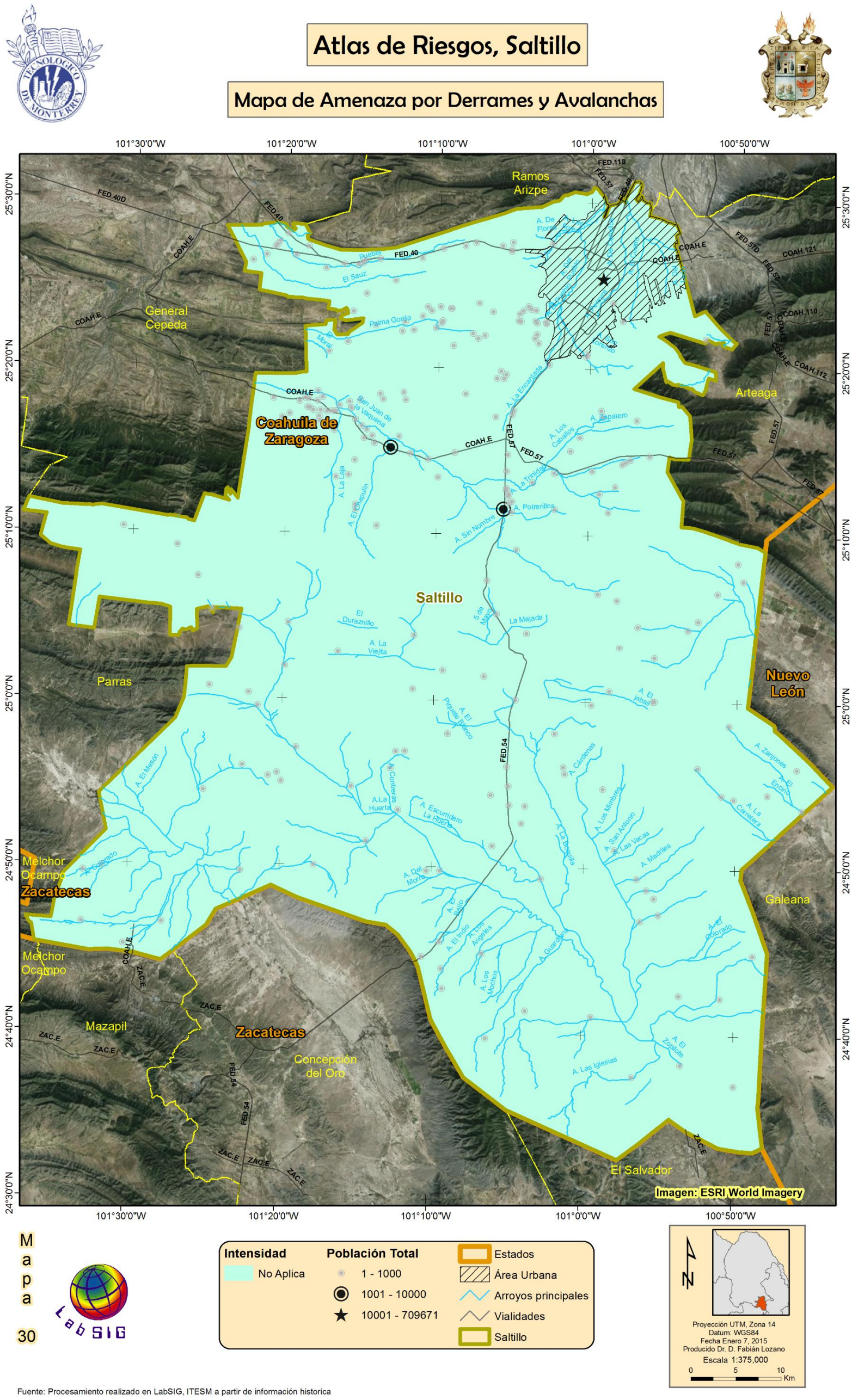


Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información historica

Figura 42. Mapa de amenaza por emanación de vapores.

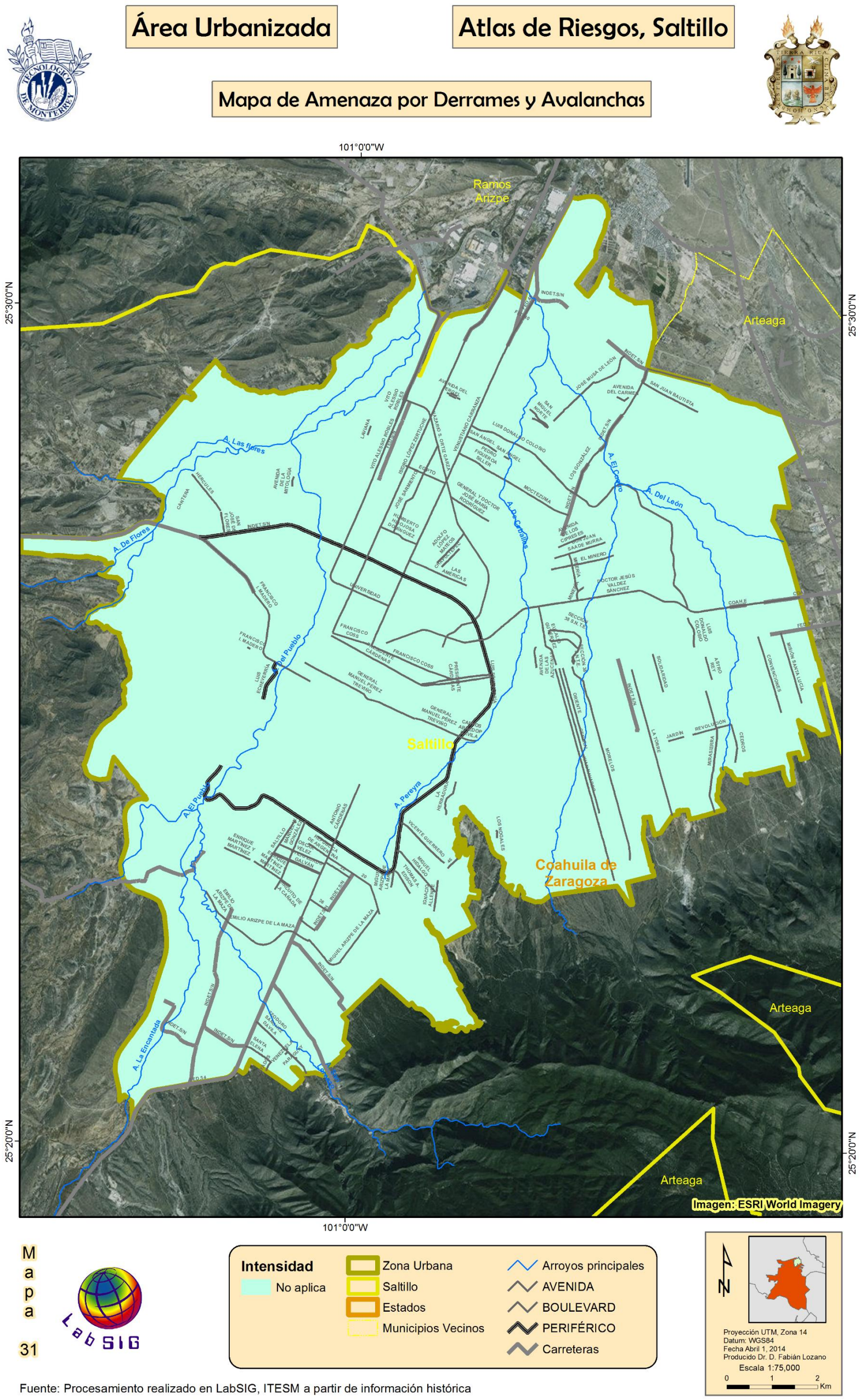


Figura 43. Mapa de amenaza por emanación de vapores a nivel urbano.



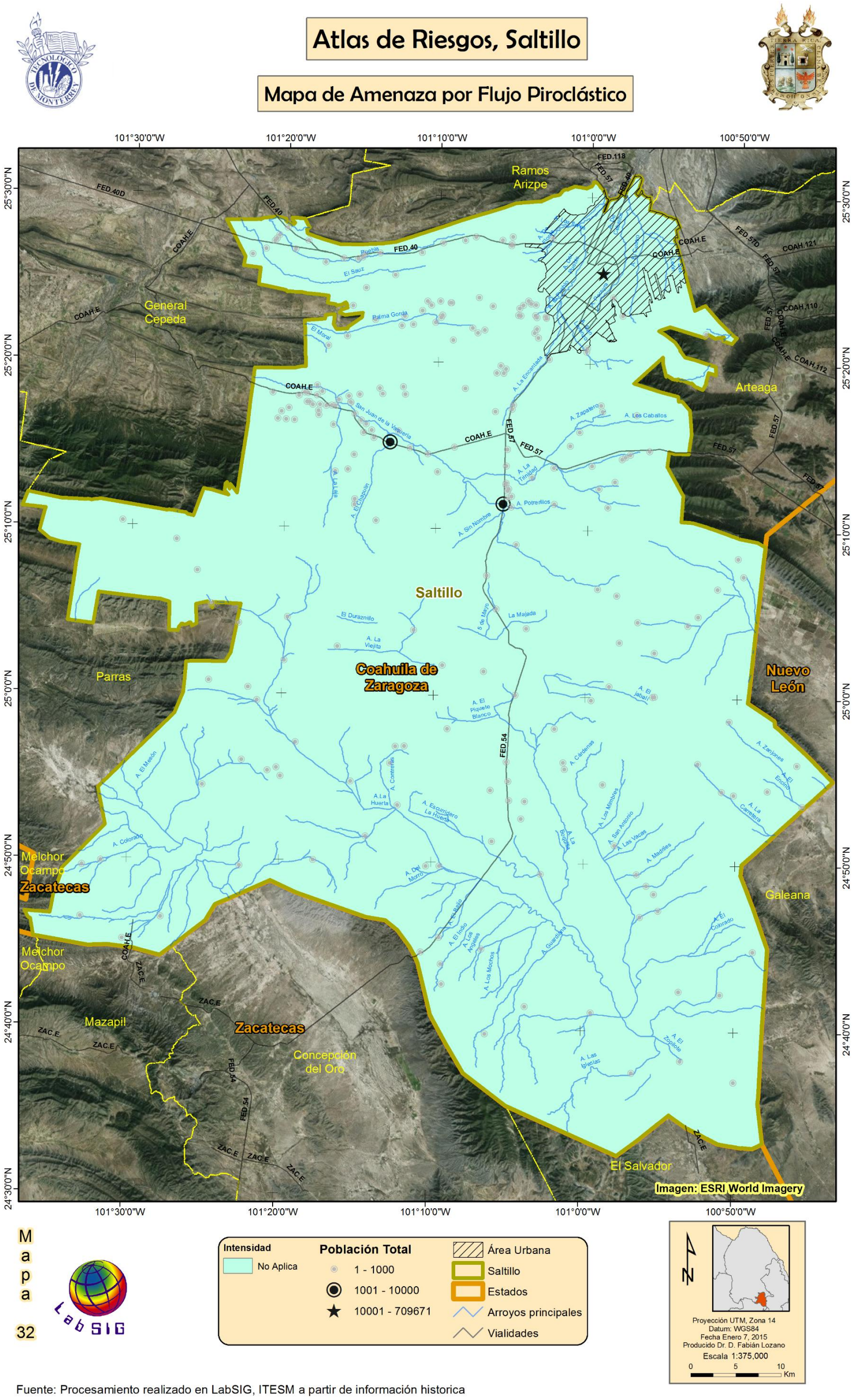
Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información historica

Figura 44. Mapa de amenaza por derrames y avalanchas.



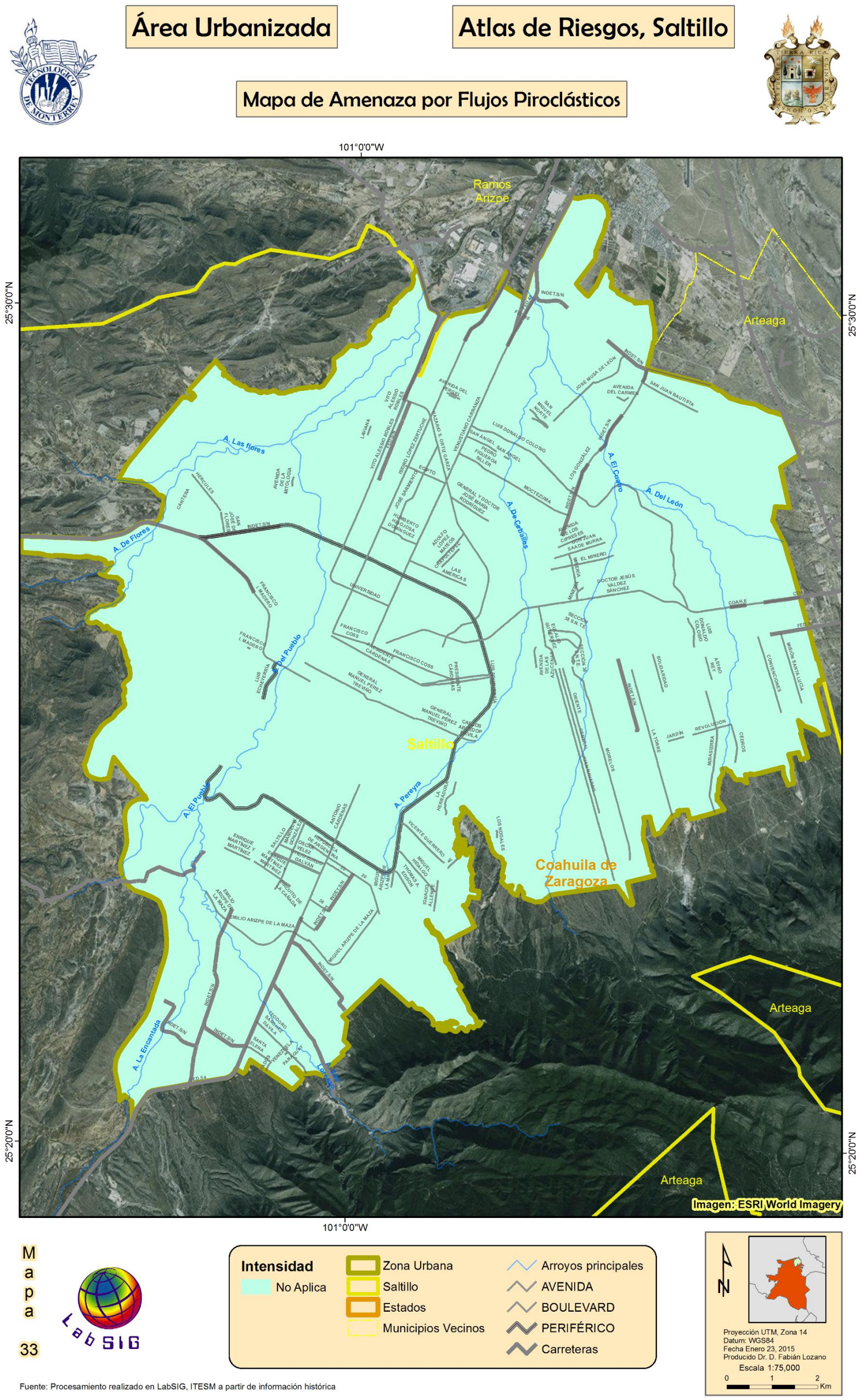
Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 45. Mapa de amenaza por derrames y avalanchas a nivel urbano.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información historica

Figura 46. Mapa de amenaza por flujos piroclásticos.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 47. Mapa de amenaza por flujos piro clásticos para la zona urbana.

5.2.2 Sismos

De acuerdo al mapa de Regionalización Sísmica de México del Servicio Sismológico Nacional de la UNAM (Figura 48), el municipio de Saltillo está localizado en la región A, correspondientes a una zona en donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos grandes en los últimos ochenta años.

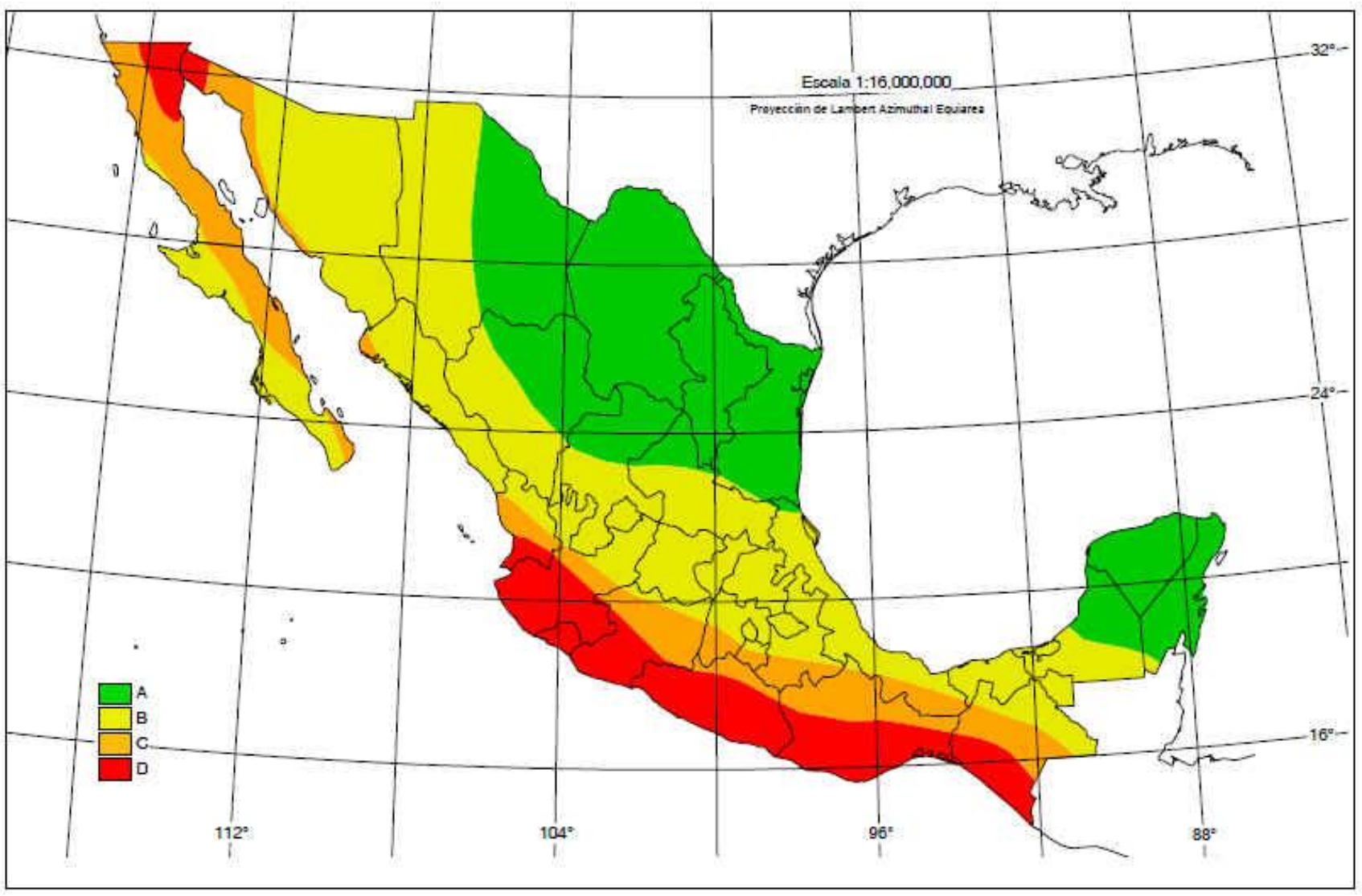


Figura 48. Regionalización Sísmica de México (Zepeda- Ramos y S. González. 2001).

Recientemente se han registrado sismos en la región noreste de México, en particular en la región citrícola del estado de Nuevo León. La Figura 49 muestra la ubicación de sismos recientes en el noreste de México, uno de estos tuvo su epicentro en la ciudad de satillo, con una magnitud de 4.6 grados y a una profundidad de 33 km.

En su trabajo “patrones de Sismicidad en la curvatura de Monterrey, noreste de México”, Ramos-Zúñiga et.al (2012), concluyen que ”La ubicación de la sismicidad en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas se restringe a la SMOr (Sierra Madre Oriental) y la zona de transición entre la SMOr y la LlCGN (Llanura Costera del Golfo)”, estos mismos autores señalan que esta sismicidad puede estar correlacionada con las fallas cartografiadas en la zona, funcionando estas como un sistema complejo interactuando en esta compleja región.

No se han reportado sismos (de magnitudes elevadas) en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores (SSN, 2012). Por lo tanto se concluye que el Municipio de Saltillo está libre de cualquier peligro, amenaza o riesgo por eventos sísmicos, consecuentemente se ha categorizando la amenaza como nula. Los mapas correspondientes se muestran en la Figura 50 y Figura 52 para la zona rural y en la Figura 51 y Figura 53 para la zona urbana.

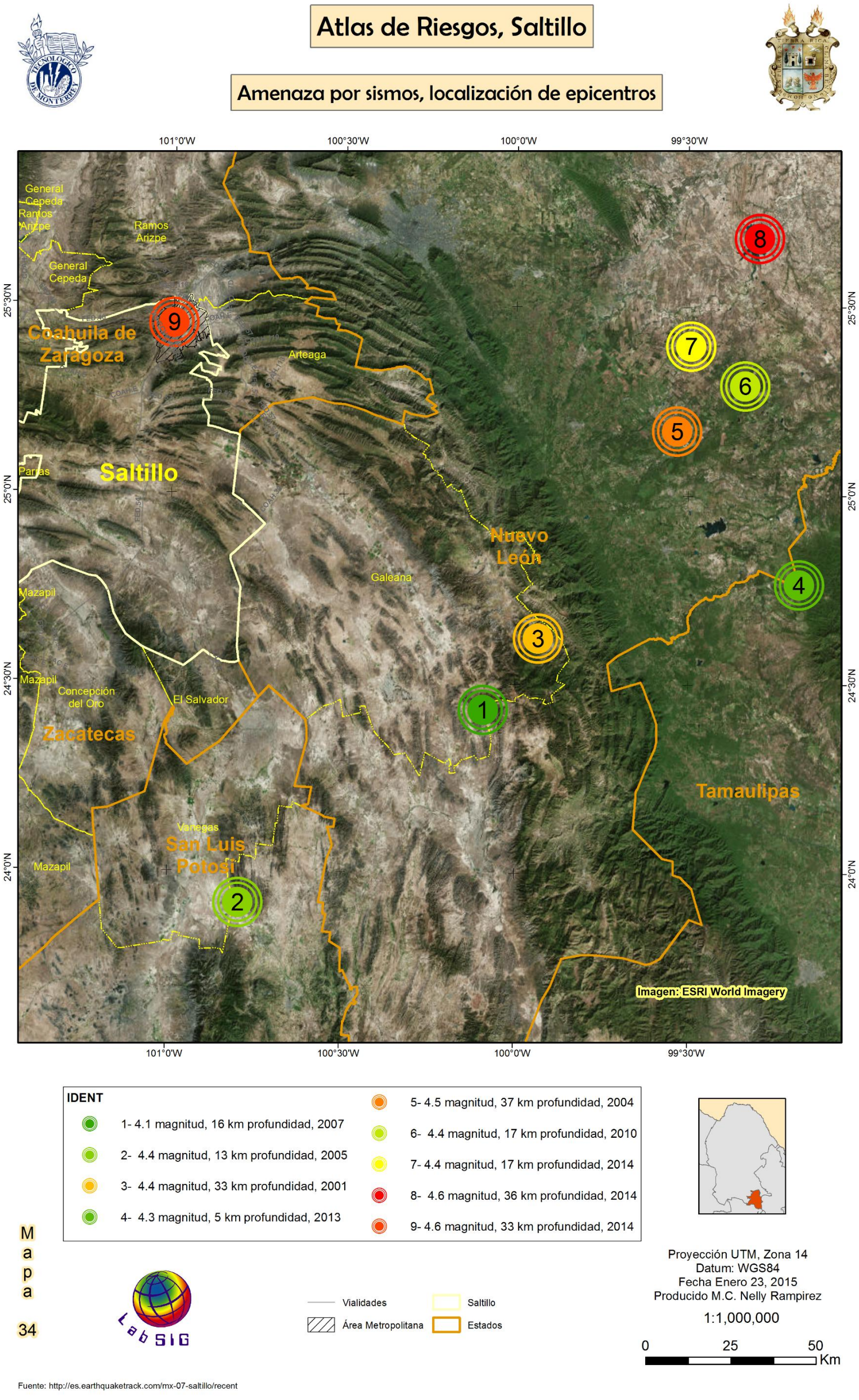


Figura 49. Localización de los sismos recientes en el noreste de México (Fuente: http://es.earthquaketrack.com/mx-07-Saltillo/recent)

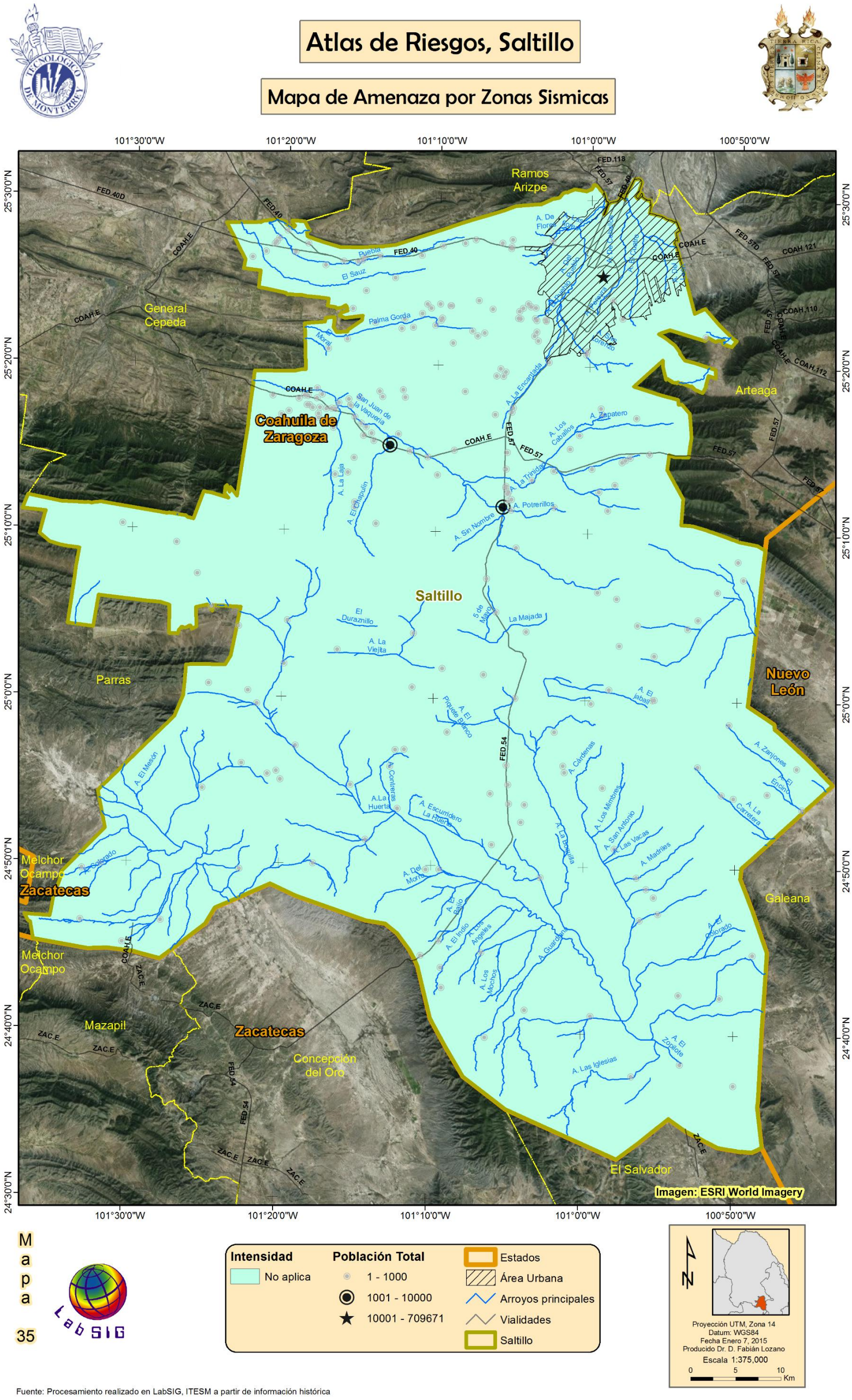
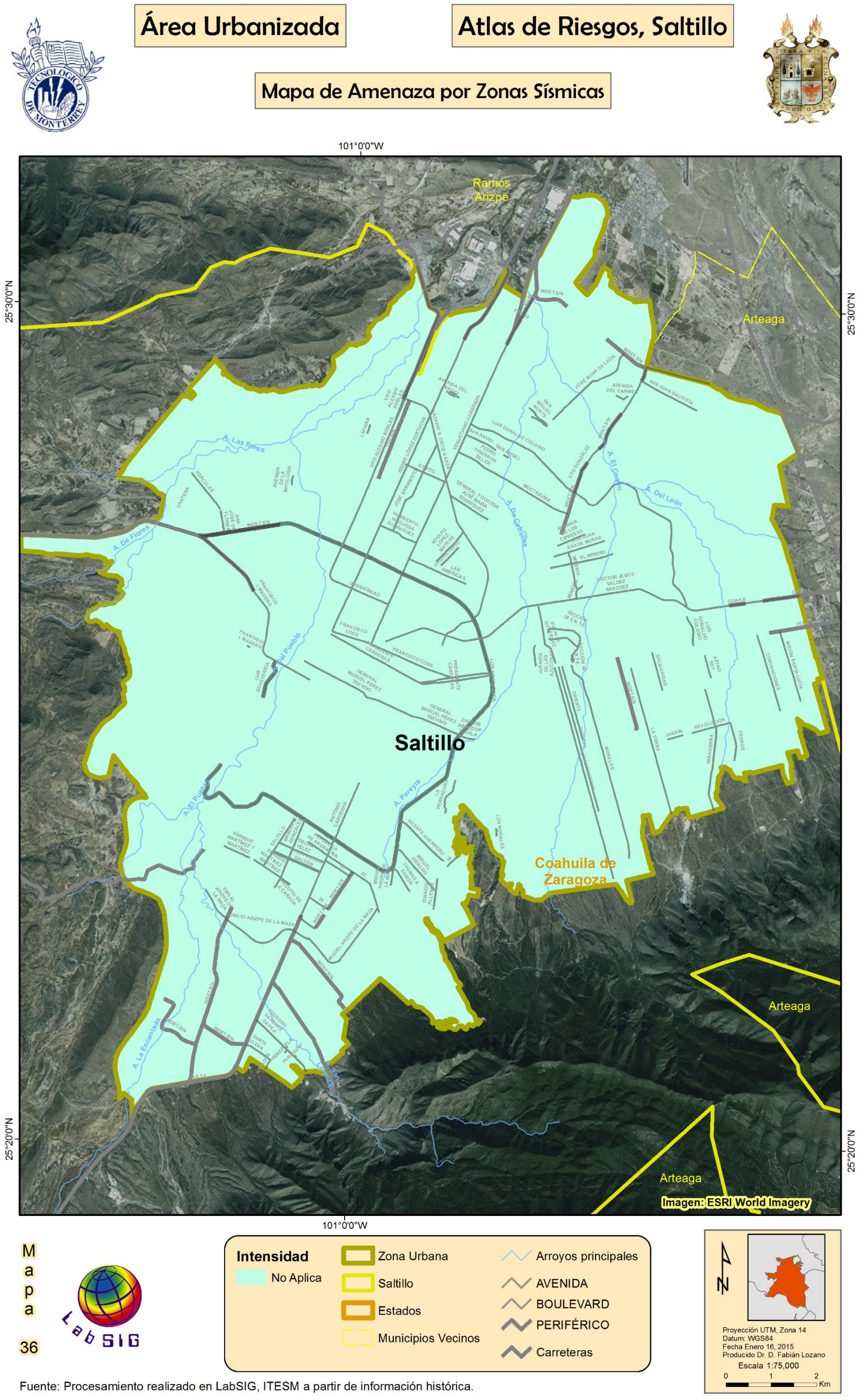
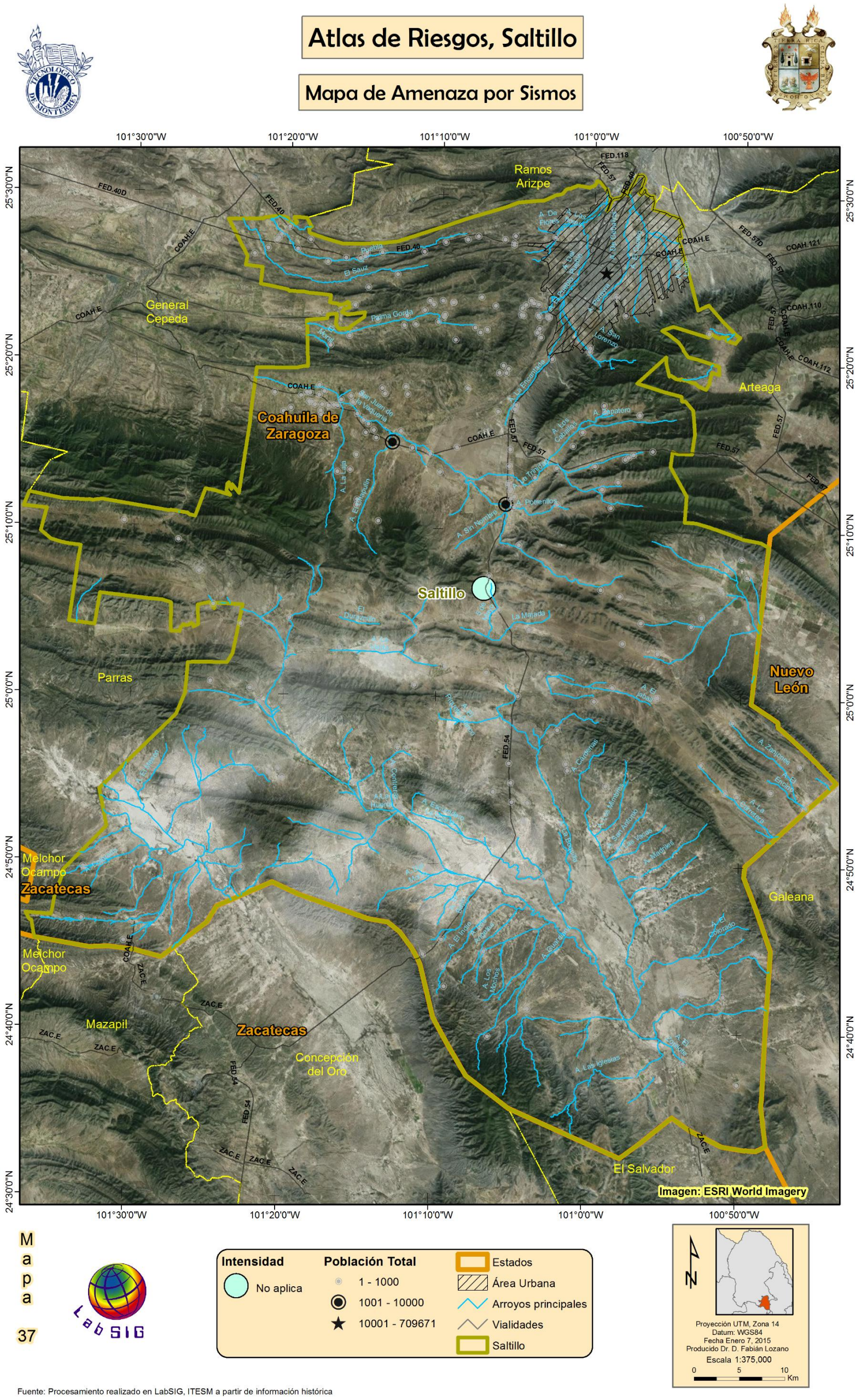


Figura 50. Mapa de amenaza por zonas sísmicas a nivel rural.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica.

Figura 51. Mapa de amenazas por zonas sísmicas para la zona urbana.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 52. Mapa de amenaza por sismos para el área rural.

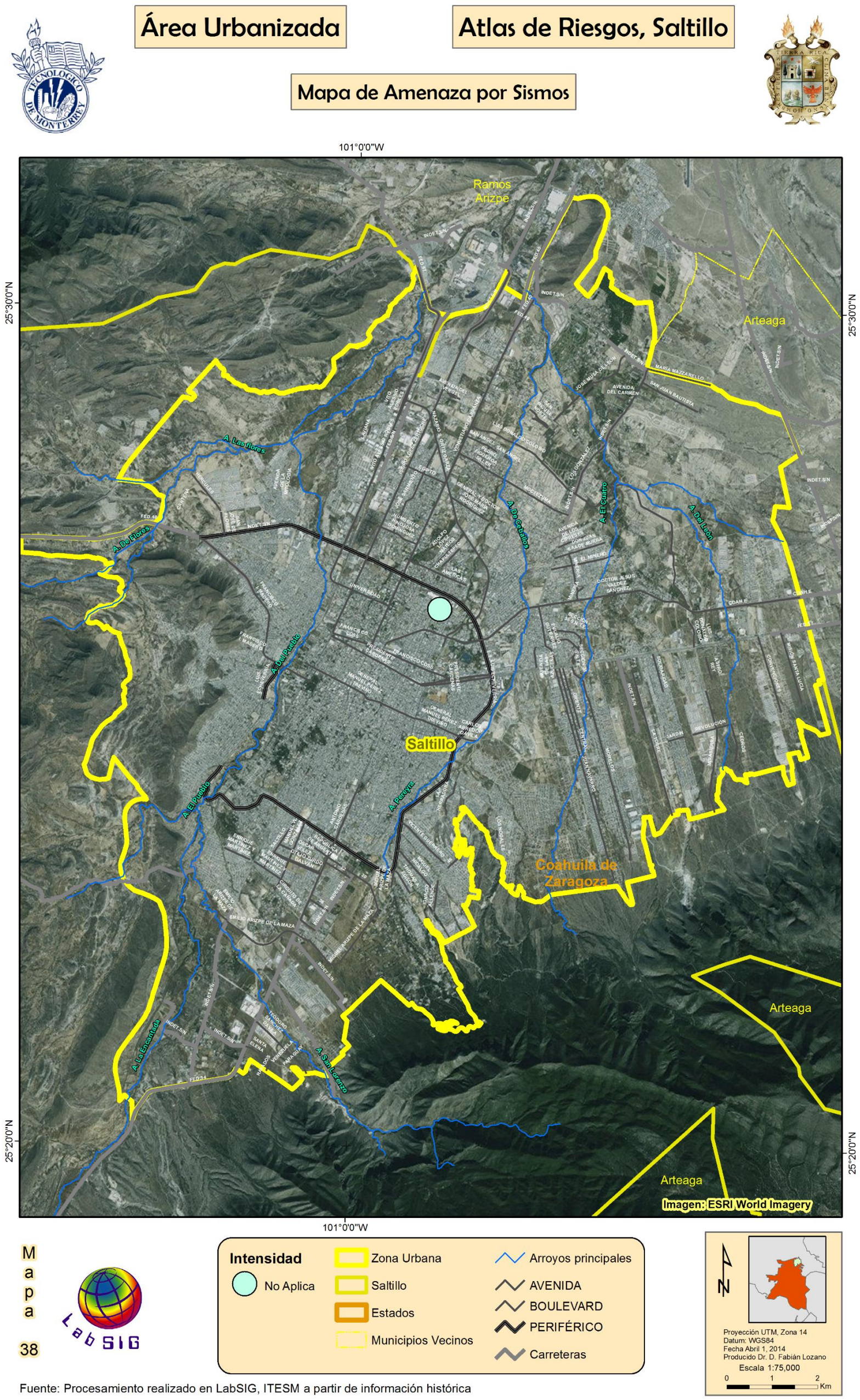


Figura 53. Mapa de amenaza por sismos para la zona urbana.

5.2.3 Tsunamis

El municipio de Saltillo está localizado a más de 350 Km de distancia de la línea de costa en el Golfo de México, y a una elevación promedio de 1,400 m.s.n.m. (Figura 54). Solo con la ocurrencia de un mega evento catastrófico a nivel planetario, el territorio municipal se vería expuesto a este tipo de peligros. Por lo tanto se concluye que el Municipio de Saltillo se encuentra libre de cualquier peligro, amenaza o riesgo por eventos de esta naturaleza.

En base a esto, se categorizó el nivel de amenaza para este fenómeno como nulo, o en este caso “no aplica” para la realización de los mapas correspondientes, mapas representando las zonas con asentamientos susceptibles a tsunamis a nivel rural en la Figura 55 y a nivel urbano en la Figura 56.



Figura 54. Localización general del municipio en relación a las costas del Golfo de México.

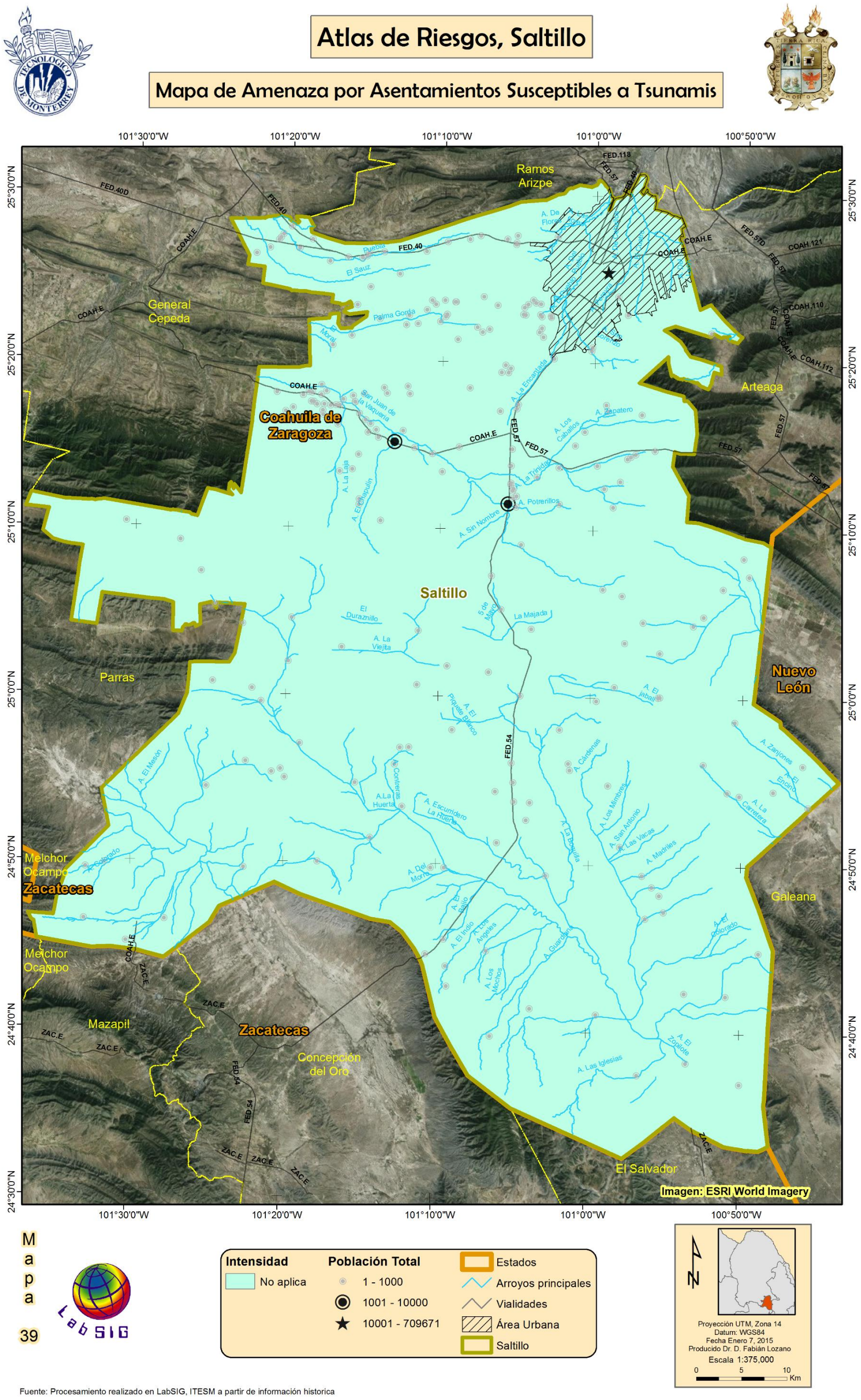


Figura 55. Mapa de amenaza por asentamientos susceptibles a tsunamis, zona rural.

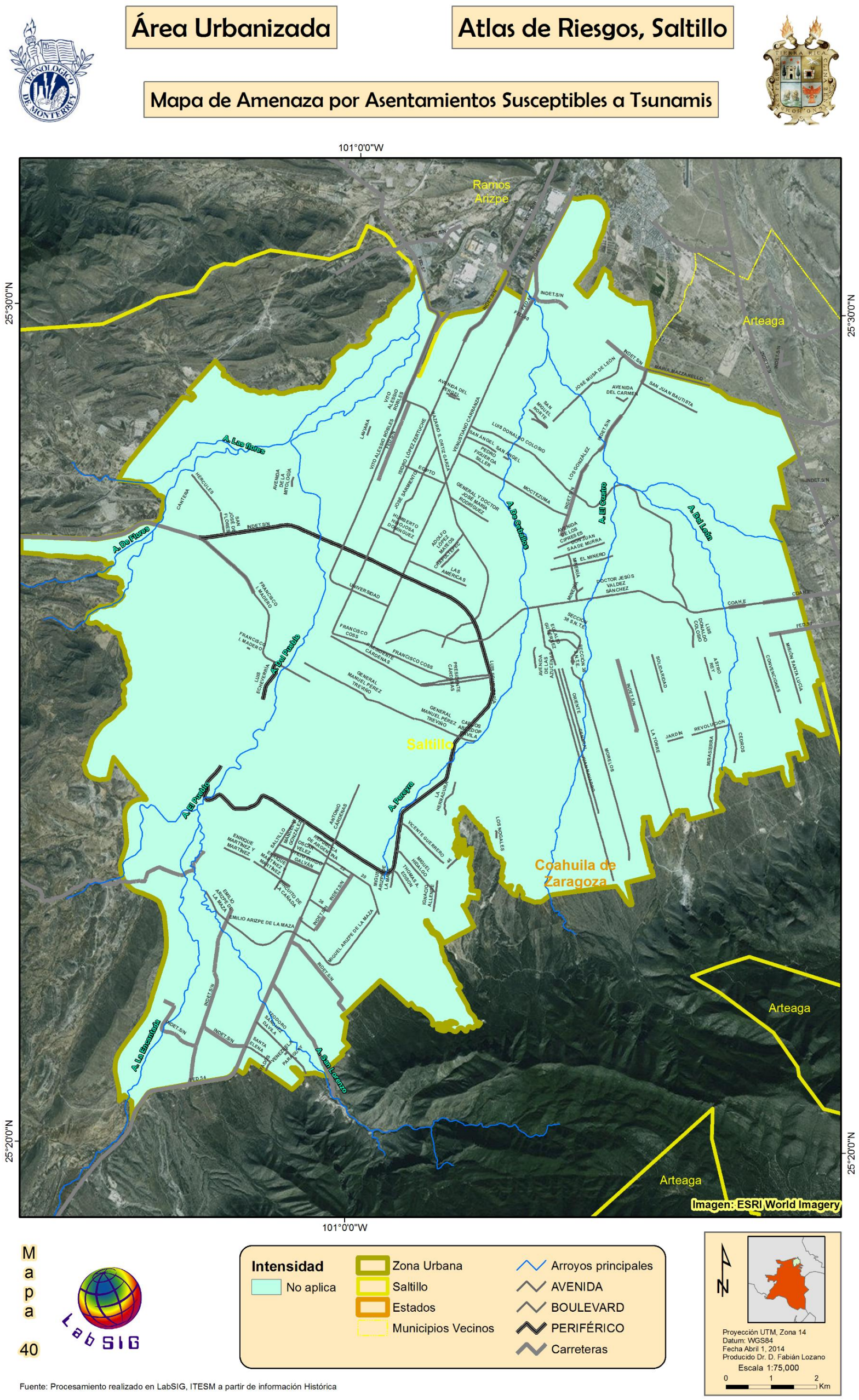


Figura 56. Mapa de amenaza por asentamientos susceptibles a tsunamis

5.2.4 Inestabilidad de Laderas

El fenómeno geológico “inestabilidad de laderas” es también conocido como procesos de remoción en masa, definida también como la pérdida de la capacidad del terreno natural para auto-sustentarse, derivándose en reacomodos y colapsos del terreno natural. Éste tipo de procesos se origina en zonas donde la pendiente es pronunciada y donde pueden observarse los caídos, deslizamientos y flujos, los cuales son diferentes tipos de inestabilidad de laderas.

El grado de estabilidad de una ladera depende de factores internos y externos que directa o indirectamente influyen a la firmeza o factor de seguridad de una ladera (Gutiérrez Martínez et al. (2006). Los factores internos son las propiedades de los suelos y rocas, la estratigrafía y estructuras geológicas o el mecanismo de falla por aumento de presión de agua. Los factores externos se generan por sistemas ajenos a ladera pero que perturban su estabilidad como son las lluvias prolongadas, topográficas, geotécnicas y ambientales, los cuales condicionan en un área determinada el peligro de éste tipo de fenómeno geológico.

Algunas de las variables topográficas como las pendientes del terreno, diferencias de elevación y altura de los elementos son clave para entender la remoción. Entre las variables geotécnicas se encuentran el tipo de rocas, el grado de intemperismo, grado de meteorización de suelo y roca, ángulos de los echados y las diferencias angulares entre las direcciones de echados y de talud de las montañas. Y, aunque la geología y las geoformas son clave para que se presenten los procesos de remoción en masa, es conocido que otros factores externos influyen con variables ambientales como el clima, la actividad volcánica y los sismos, así como la cobertura y uso del suelo, la cual generalmente se define por el grado de impacto antropogénico

De acuerdo con CENAPRED los deslizamientos de laderas son de los fenómenos geológicos más frecuentes en el país y su tasa tiene una mayor ocurrencia es en la temporada de lluvias. Sin embargo en zonas urbanas donde el terreno ha sido modificado por actividades urbanas con cortes, colocación de sobre carga, escurrimientos, filtraciones de agua o excavaciones se pueden también presentar el fenómeno de remoción de masas.

Para el estudio de Saltillo, se mapeó la inestabilidad de laderas para el área rural y para el área urbana, considerando los mismos factores topográficos, geotécnicos y ambientales, con la diferencia de que se usaron dos tipos de resolución para el DEM, 15m para el modelo rural y 1m para el modelo urbano, y únicamente se utilizó información climática de precipitación máxima para el área rural, pues la densidad de estaciones climáticas no permitió tener mejores datos para el área urbana.

Los deslizamientos en las laderas se refiere “…al movimiento de una masa de roca, tierra o detritos pendiente abajo”, es decir que una porción de los materiales que componen una ladera se deslizan ladera abajo por acción de la gravedad (Cruden, D. M, 1991).

Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, no es raro que se presenten en laderas de poca pendiente. Son primariamente ocasionados por fuerzas gravitacionales, y resultan de una falla por corte a lo largo de la frontera de la masa en movimiento, respecto a la masa estable; se alcanza un estado de falla cuando el esfuerzo cortante medio aplicado en la superficie potencial de deslizamiento, llega a ser igual a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo o roca.

5.2.4.1 Los tres tipos básicos de deslizamientos

Existen tres tipos de deslizamientos, los cuales están tipificados como: Caídos o Derrumbes, Deslizamiento, y Flujos (Figura 57).

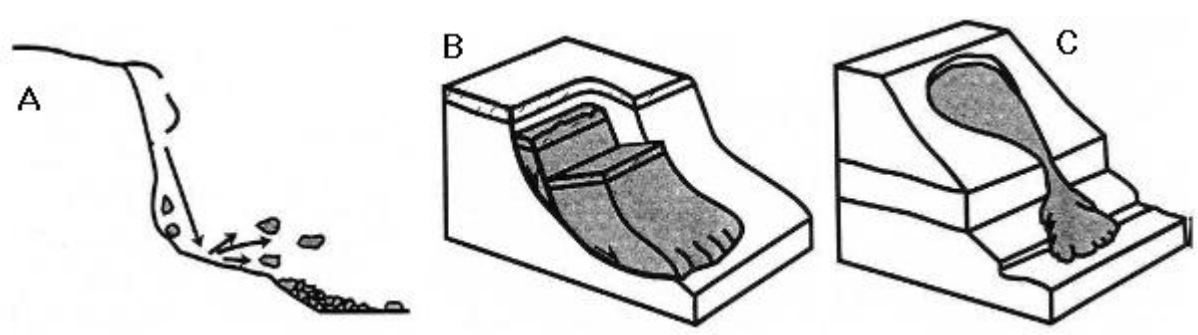


Figura 57. Principales tipos de deslizamientos de laderas (Mendoza y Domínguez, 2006).

5.2.4.1.1 Caídos o derrumbes

Son movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, (Figura 57A), por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando; incluye:

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

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

5.2.4.1.2 Deslizamientos

Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera, Figura 57B. Por la forma de la superficie de falla, se distinguen:

• **Rotacionales:** Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava hacia arriba (forma de cuchara o concha), definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima de su centro de gravedad. A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas muy intemperizadas.

• **Traslacionales**: Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplazan hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie de falla más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de diferente alteración o meteorización de las rocas, con echado propicio al deslizamiento.

5.2.4.1.3 Flujos

Son movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas, pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla, Figura 57C. Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos.

5.2.4.2 Metodología

Los procesos de remoción en masa son todos aquellos movimientos de materiales térreos, que pueden ser roca o suelos, pendiente abajo a través de la acción directa de la gravedad (CENAPRED, 2006).

5.2.4.2.1 Factores que determinan la inestabilidad de laderas

Existe una gran variedad de factores que afectan la estabilidad de una ladera, en términos generales se dividen en internos y externos, los primeros están directamente relacionados con el origen y las propiedades del material que forma la ladera; mientras que los segundos son aquellos que perturban su estabilidad, ya sean fenómenos naturales: lluvias intensas, sismos, actividad volcánica, o actividades antropogénicas.

Un factor importante para la generación de movimientos en masa es la pendiente, generalmente las zonas con pendientes más pronunciadas tienen mayor probabilidad de que ocurran procesos de remoción; mientras que en zonas con pendientes suaves tienen una menor probabilidad de ocurrencia; sin embargo, esta variable no es una condicionante, pues deben incluirse otros factores como son: altura de las estructuras, tipo de roca, características estructurales de la ladera y vegetación.

Para generar el mapa de susceptibilidad es necesario realizar la sobre posición de mapas temáticos de los factores involucrados en los movimientos de laderas, que para este caso son:

- Factores topográficos
- Factores geotécnicos
- Factores ambientales
- Factores de infraestructura

A continuación se describen brevemente cada uno.

5.2.4.2.1.1 Procedimiento

Una buena parte del procedimiento fue propuesto por *el SGM y el Gobierno del Estado de Tamaulipas* para la determinación de los procesos de inestabilidad de laderas en el estado de Tamaulipas (Figura 60), y además se integraron algunas recomendaciones reportadas en artículos científicos o tesis (Corominas, et.al., 2014), así como la experiencia del equipo de trabajo. Este procedimiento fue adaptado a las condiciones del presente estudio.

Se clasificaron los factores en intervalos otorgándoles a cada uno un valor relativo de acuerdo a 5 niveles (1 a 5), donde el 1 representa el valor con más baja y 5 con más alta posibilidad de que suceda una inestabilidad de laderas. Sin embargo, cada uno de los factores tuvo el mismo peso en el modelo, funcionando el álgebra de rasters como una suma total celda por celda. Los valores totales fueron finalmente ranqueados utilizando la herramienta reclassify, que permite otorgarle nuevamente una ponderación a las sumas finales.

Factores topográficos

Los factores topográficos fueron generados a partir de los modelos de elevación digital de 1m, para el análisis urbano, (Figura 58A) y 15 m para el análisis rural. (Figura 59A)

Pendientes

Para la zona urbana, las pendientes se obtuvieron del DEM de 1m y se reclasificaron a las cinco categorías de pendientes definidas en el modelo (Figura 58B). Aunque el área total de la zona urbana fue procesada para cada uno de los factores, se reclasificó asignando los rangos manejados por CENAPRED (2006) en la “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos” que se muestran en la Tabla 9 del citado documento. Para el caso de las pendientes se utilizó una modelación de pendientes por grados, los resultados fueron clasificados de 0-90°, sin embargo, sólo aquellos valores mayores a 15° representaron algún nivel de riesgo, como se menciona en la Tabla 17 (Figura 58B y Figura 59B).

Altura de los elementos

Para determinar la **altura**, fue tomado el MDE como referencia de los elementos es decir para cada una de las zonas montañosas su valor fue calculado en metros desde la base del elemento (cerro o montaña) hasta el pixel con el valor de elevación más alto (Figura 58C y Figura 59C).

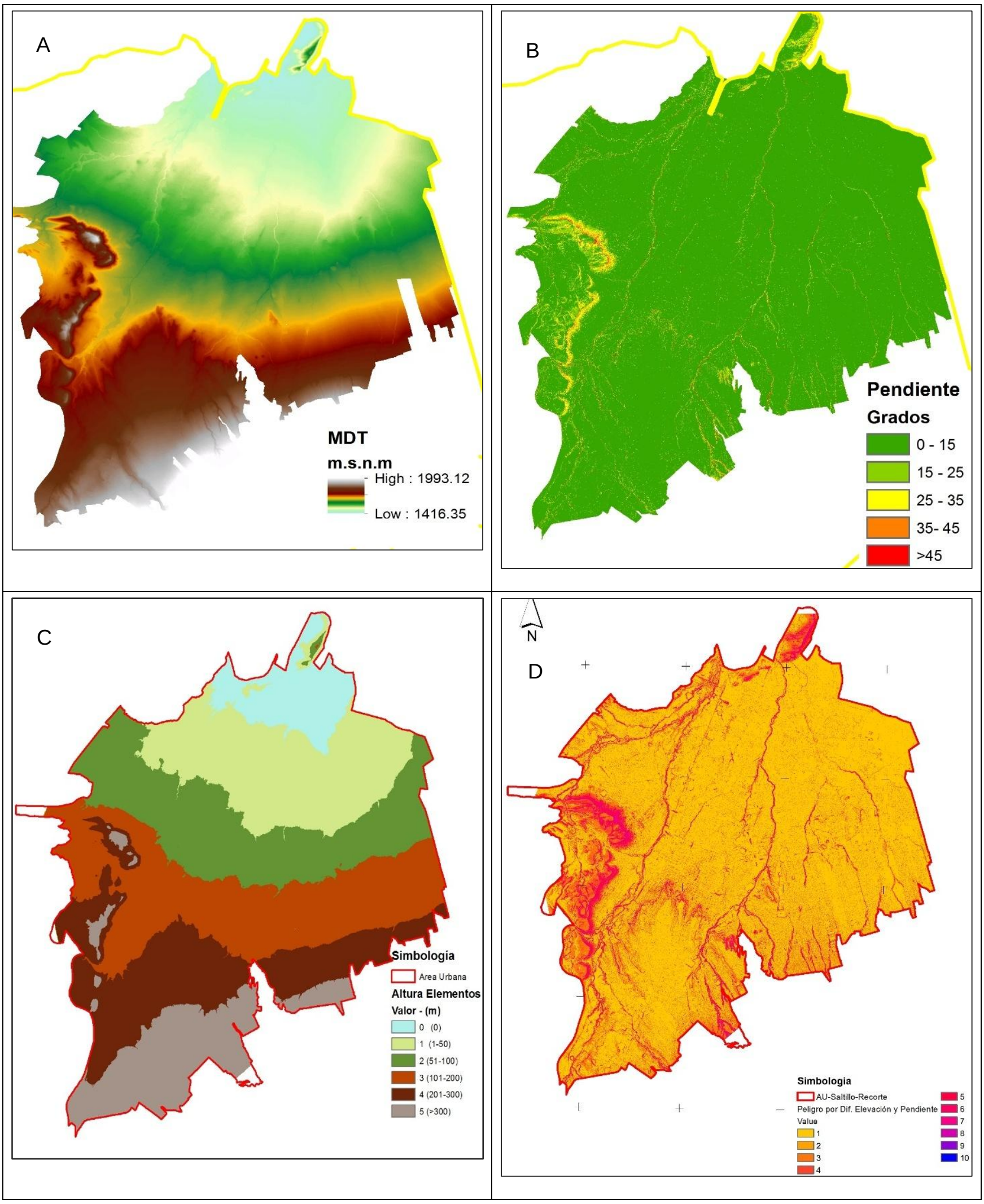


Figura 58. Datos del MDE (A), Pendientes (B), Altura de los elementos (C) y Diferencial de elevación (D), empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Urbano).

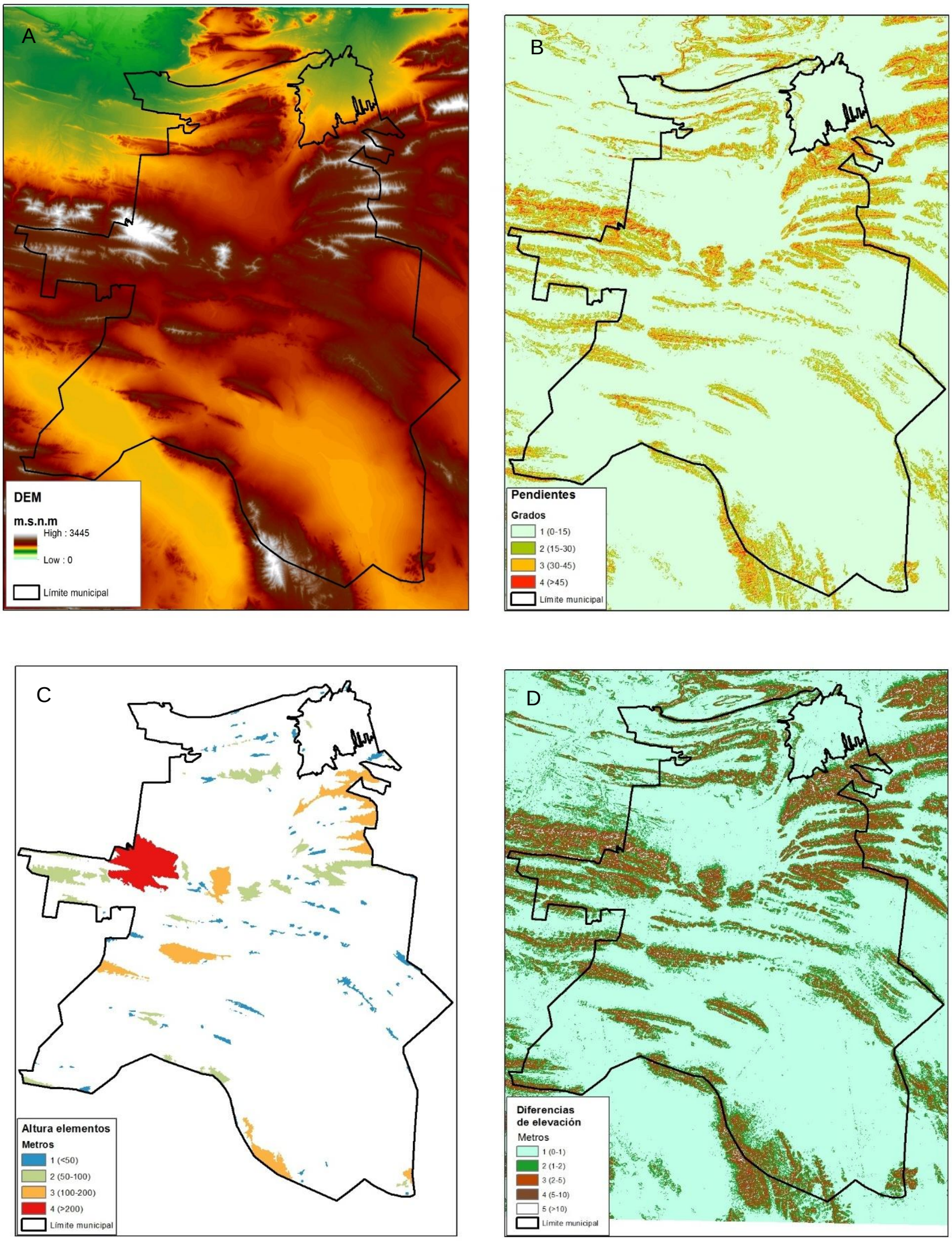


Figura 59. Datos del MDE (A), Pendientes (B), Altura de los elementos (C) y Diferencial de elevación (D), empelados en el modelo de Inestabilidad de laderas (Rural).

Tabla 17. Factores topográficos clasificados por intervalos y valor relativo otorgado de acuerdo al grado de peligro que representa, donde 1 es el más bajo y 5 es el valor más alto.

Factor	Intervalos	Atributo relativo
Pendientes	>45°	5
	35-45°	4
	25-35°	3
	15-25°	2
	< 15°	1
Altura	>200 m	4
	100-200 m	3
	50-100 m	2
	< 50 m	1
Diferencia de elevación	0-1 m	1
	1-2 m	2
	2-5 m	3
	5-10m	4
	>10m	5

Diferencial de altura entre celdas

La capa de diferencial de alturas se calculó a partir del modelo digital de elevación (urbano y rural) usando la herramienta de “Focal Statistics”, con una celda cuadrada de 2x2 pixeles. Esta herramienta realiza una operación de vecindad que calcula un ráster de salida en donde el valor para cada celda de salida es una función de los valores de todas las celdas de entrada que están en una vecindad especificada alrededor de esa ubicación. Para el estadístico de “rango (range), los valores para cada ubicación de celda en el raster de salida se determinan celda por celda al aplicar esta simple fórmula: Rango focal = Máximo focal – Mínimo focal (Figura 58D y Figura 59D).

El resultado es un archivo en formato raster conteniendo los valores de las diferencias en elevación entre pixeles. Para el caso en cuestión, esta capa de información muestra los acantilados presentes en la zona de estudio, mismos que representan áreas susceptibles a inestabilidades que pueden resultar en caídas de rocas o deslizamiento de laderas.

Los rasters de las pendientes y las diferencias de alturas fueron sumados con el algoritmo de Spatial Analyst que suma los valores de cada raster, celda por celda, como se representa en la Figura 60.

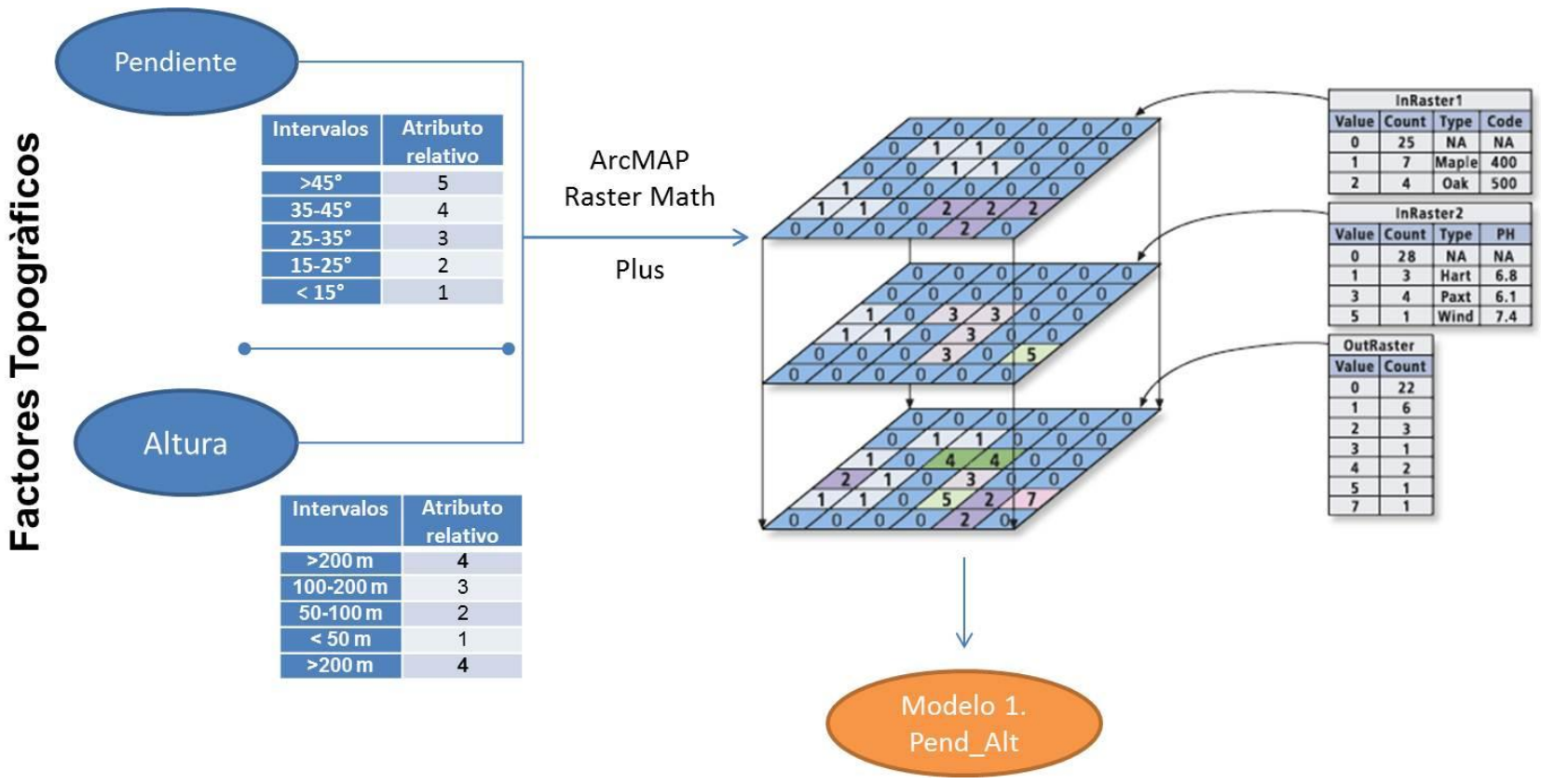


Figura 60. Modelo del cálculo de las pendientes y alturas para el modelo de inestabilidad de laderas.

Las **diferencias de alturas** entre píxeles fue representado como una discontinuidad que da origen a procesos de inestabilidad. Para obtener estos datos se empleó el algoritmo de “LandForm Classification”. Se empleó un área circular con rangos de metros para el valor de vecindad menor y de 25 metros para el valor de vecindad mayor. Un ejemplo de estos datos se muestra en las Figura 61 y Figura 62 en donde aparece el cerro del Pueblo en la porción centro-poniente de la zona de estudio y en la Figura 61 se observa un acercamiento a esta misma estructura en donde se observa la franja superior que genera una mayor diferencia entre las elevaciones.

De esta capa se seleccionaron aquellos pixeles correspondientes a “Open Slopes, Upper Slopes, Mesas, U-Shaped Valleys, y Mountain Tops, High Ridges”, las cueles fueron reclasificadas para obtener una capa de zonas montañosas. Este tipo de datos es conocido también como geoformas como aparece en la Figura 61.

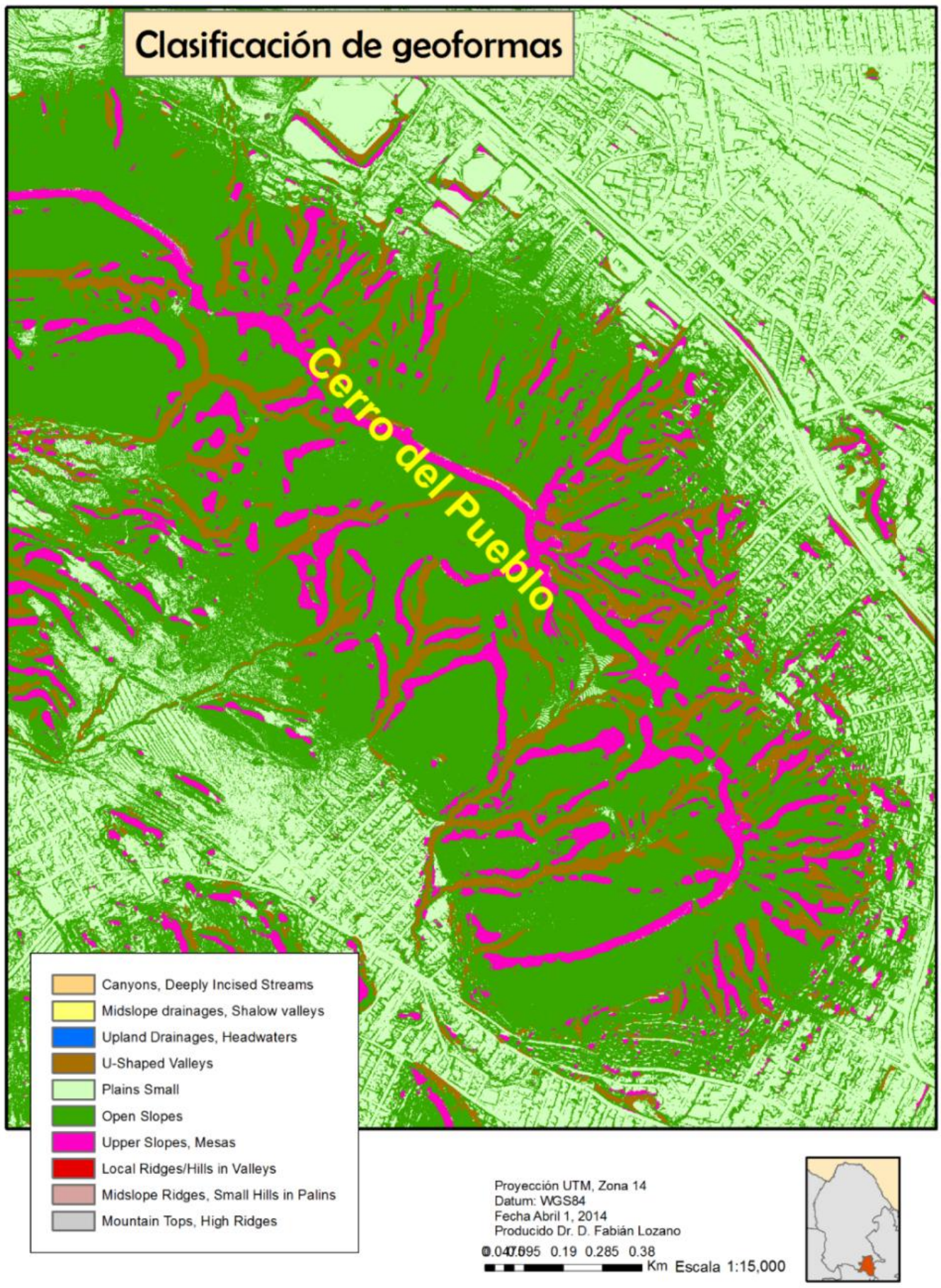


Figura 61. Mapa de Geoformas calcualdo a partir del MDE de 1 m.



Figura 62. Vista del cerro del pueblo (A), y Acercamiento a la parte superior del cerro del pueblo donde se observa un escarpe (B).

5.2.4.2.1.2 Factores geotécnicos

Los factores de suelos y geología se denominaron geotécnicos, y en ellos se examinan la permeabilidad, erodabilidad, formación geológica su posición y rumbos para conocer las posibilidades de peligro.

5.2.4.2.1.3 Suelos

Se digitalizó la información de suelos de las cartas de INEGI, escala 1:50,000, produciendo una capa que contiene la información de los tipos de suelos (hasta tres por cada polígono), más los datos de textura, fases físicas y químicas. Los datos vectoriales se convirtieron posteriormente a formato de celdas (para facilitar los procesos de sobre posición en el SIG), codificando únicamente los datos de textura (Figura 58D). La erodabilidad de los suelos está dada por varios factores intrínsecos a cada pendón, siendo los factores más importantes la textura del suelo y su capacidad de retención de agua. Los suelos localizados en el territorio municipal se muestran en la Tabla 18, además la capa de suelos de INEGI tiene información sobre la textura (Tabla 19), estos datos permiten darle un valor a los suelos de acuerdo a su grado de erodabiliad considerando las tablas de la FAO (Tabla 18), y finalmente otorgarle un valor como atributo relativo a cada tipo de suelo (Figura 63A y Figura 64A).

Tabla 18. Clasificación de suelos y grado de erodabilidad.

CLAVE	NOMBRE	Erodabilidad	Fuente
Kh	Castanozem haplico	II	a
Kl	Castanozem luvico	II	a
C	Chernozem	II	
Hc	Feozem calcarico	II	b
Hh	Feozem haplico	II	b
Hl	Feozem luvico	II	b
Jc	Fluvisol calcarico	II	b
Jg	Fluvisol gleyico	II	b
I	Litosol	II	b
I	Litosol eutrico	II	b
I	Luvisol cálcico	III	b
Lo	Luvisol ortico	III	b
Lv	Luvisol vertico	III	b
Rc	Regosol calcarico	II	b
E	Rendzina	II	b
Zo	Solonchak ortico	II	b
Vc	Vertisol cromico	I	b
Xk	Xerosol calcico	III	a
Xg	Xerosol gypsico	III	a
Xh	Xerosol haplico	III	a
Xl	Xerosol luvico	III	a
Yk	Yermosol calcico	III	a
Yh	Yermosol haplico	III	a

Tabla 19. Clasificación de la textura del suelo.

Textura del suelo	Gruesa	Media	Fina
Clave	1	2	3
Clasificación	0.2	0.3	0.1

Tabla 20. Clases de erodabilidad de los suelos.

Valor	0.5	1.0	2.0
Clasificación	Ligera	Moderada	Severa

Tabla 21. Factores geotécnicos del suelo clasificados de acuerdo al grado de vulnerabilidad, donde 1 es el más bajo y 5 es el valor más alto.

Tipo de roca o suelo	Atributo relativo
Igneas	1
Metamorficas	1
Rocas sedimentarias	2
Depósitos no consolidados	3
Castanozem haplico	2
Castanozem luvico	2
Litosol	2
Xerosoles	3
Yermosoles	3

5.2.4.2.1.4 Geología

En la geología se tomaron en cuenta dos variables: la litología (tipos de roca) y los lineamientos (fallas y fracturas). Dentro del territorio estatal afloran varios tipos de rocas, por lo que fueron agrupadas en seis tipos, analizándolas desde el punto de vista geotécnico y grado de meteorización, en: a) rocas metamórficas, b) rocas ígneas, c) rocas sedimentarias, d) intercalaciones, e) rocas cársticas y f) suelos no consolidados (Figura 63B y Figura 64B).

- Calizas: Son rocas sedimentarias solubles en las que se presenta la subsidencia del terreno, sin embargo sus manifestaciones son a largo plazo; se presentan en una gran porción del territorio.
- Yesos: Roca sedimentaria evaporítica, altamente soluble en agua, mucho más soluble que la caliza, pero con una menor presencia en el área.
- Rocas Sedimentarias: Agrupa las rocas sedimentarias no solubles.
- Rocas Ígneas: Comprende las rocas intrusivas y extrusivas, tienen poca extensión en el área de estudio, son muy estables y no son solubles.
- Rocas Metamórficas: Al igual que las rocas ígneas, son estables, no solubles y con poca extensión.

Los depósitos no consolidados (suelo) se agrupan en diferentes tipos de sedimento, que son compresibles, fácilmente erosionables y son los que se usan preferentemente para emplazar los aprovechamientos de agua subterránea. La zona urbana conserva un 60% de su cobertura con este tipo de material, que en el caso de la inestabilidad de laderas son de alta susceptibilidad de deslave. Específicamente se caracterizan por suelos de aluvión, el cual es representan la mayor parte de y son susceptibles a inestabilidad (Figura 58C).

Con el fin de facilitar la interpretación de la influencia de las distintas unidades geológicas en los procesos de remoción, fue conveniente agruparlas por zonas homogéneas, esto es la conjunción de unidades litológicas con comportamiento geomecánico similar. Las rocas sedimentarias, debido a su característica principal que es la estratificación, son las que presentan más sistemas de discontinuidad y por lo tanto son las más susceptibles a mecanismos de inestabilidad. Así mismo el arreglo geométrico entre las discontinuidades presentes en el talud o ladera determina el tipo de inestabilidad que se puede presentar en un lugar determinado, por lo que es de suma importancia la relación del sistema discontinuidad-talud ó ladera.

Se utilizó la información de las geoformas y el ángulo de los echados así como el rumbo de las discontinuidades. Los valores de los ángulos de los echados se encontraron en la capa de Geología del INEGI, escala 1:50,000, mientras que el rumbo de los echados se obtuvo de las cartas del INEGI con la ayuda de un transportador y la posterior digitalización de cada punto.

5.2.4.2.1.5 Angulo diferencial de la discontinuidad

El ángulo diferencial es la relación angular existente entre la pendiente natural del terreno o en su caso la inclinación del talud (Figura 63C y Figura 64C), con respecto a la inclinación de la discontinuidad principal (Tabla 22), dependiendo de este valor así como del ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud (Tabla 23), se conocerá el arreglo geométrico de la ladera (Figura 63D y Figura 64D).

Tabla 22. Angulo entre diferencial entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección de talud.

Tipo de Angulo	Tipo de falla		Atributo relativo
	Plana	**Por volteo**	
Paralelo	0 - 45	-0 a -45	1
Oblicuo	45– 90	-45 a -90	2
Oblicuo	90 - 135	-90 a -135	2
Perpendicular	135 - 180	-135 a -180	3
Paralelo	180 - 225	-180 a -225	1
Perpendicular	225 - 360	- 225 a -360	3

Tabla 23. Aspectos estructurales de formaciones rocosas

	Conversión de rangos		Atributo relativo
Echado de discontinuidad Angulo diferencial	>80°	>45°	4
	60-80°	35-45°	4
	30-60°	25-35°	3
	10-30°	15-25°	2
	0-10°	< 15°	1
Angulo diferencial Angulo entre las discontinuidades	Falla Plana (-)	Falla por Volteo (+)	
	60-90	60-90	5
	45-60	45-60	4
	30-45	30-45	3
	16-30	16-30	2
	15-30	15-30	1
Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección de talud	Falla Plana (+)	Falla por volteo (-)	
	0-45	0-45	1
	45-90	45-90	2
	135-180	135-180	2
	90-135	90-135	3
	180-225	180-225	1
	225-360	225-360	3

5.2.4.2.1.6 Rumbo

Se calcularon los datos de rumbos con el algoritmo de “Aspect” de las herramientas de 3D Analyst de ArcMAp. La capa resultante se muestra en la Figura 65A y se reclasificó para obtener la información de rumbos de acuerdo a la Tabla 24.

Tabla 24. Valores de pendientes para el cálculo de los echados.

Grados	**Clase**	**Rumbo**
Float	-1	Plano
0-22.5	1	Norte
22.5-67.5	2	Noreste
67.5-112.5	3	Este
112.5-157.5	4	Sureste
157.5-202.5	5	Sur
202.5-247.5	6	Suroeste
247.5-292.5	7	Oeste
292.5-337.5	8	Noroeste
337.5-360	1	Norte

5.2.4.2.1.7 Vegetación.

El último factor involucrado en este proceso de estimación del peligro por inestabilidad de laderas es la vegetación, una zona con vegetación densa contribuye a una mejor estabilidad de la ladera, debido a que sus raíces actúan como anclas al macizo rocoso, además evita la erosión de los materiales que forman la misma ladera, por lo que una zona deforestada aunada a la combinación de los demás factores involucrados es más propensa a sufrir inestabilidad.

La vegetación actúa como un buffer en el proceso de retención de agua, por lo que su presencia y condición puede determinar en cierta medida el proceso de caído o deslizamientos. Las imágenes SPOT fueron adquiridas durante junio 2013 y febrero del 2014, por lo que se generó la capa de cobertura vegetal a partir de la clasificación de las imágenes (Figura 65B y Figura 66B) y las clases utilizadas se generalizaron en la clasificación conforme a la Tabla 25:

Tabla 25. Clasificación de la cobertura vegetal y las clases usadas en el modelo

Valor	Clase	Tipo de vegetación de la clasificación	Atributo Relativo
0	Otro	Sobras y agua	0
1	Vegetación intensa	Bosque de coníferas	1
2	Vegetación moderada	Matorral desértico rosetófilo, pastizales y Vegetación halófita	2
3	Cultivos anuales	Agricultura de temporal y de riego	2
4	Zona urbana	Zona urbana, caminos, pavimentos	3
	Rocas con raìces		
	Àreas deforestadas	Suelo desnudo, área sin vegetación aparente, suelo desnudo agrícola	

5.2.4.2.1.8 Precipitación

Los datos de precipitación fueron obtenidos a partir de las isoyetas a nivel nacional con periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años proporcionados por CENAPRED. La información fue rasterizada a 1 m (urbana) (Figura 65C) y 10 m (rural) (Figura 66C). Se realizó una reclasificación para cada uno de acuerdo a los rangos señalados en la Tabla 26 y Tabla 27.

Tabla 26. Clasificación de la precipitación máxima en mm por número de años y por hora para el área rural.

Clase / Atributo relativo	1	2	3	4	5
Pr 100	50-60	60-70	70-80	80-90	90-120
Pr 50	50	50-60	60-70	70-80	80-100
Pr 20	40	40-50	50-60	60-70	70-80
Pr 10	30	30-40	40-50	50-60	
Pr 5	20	20-30	30-40		

Tabla 27. Clasificación de la precipitación máxima en mm por hora y Pr para el área urbana.

Clase / Atributo relativo	1	2	3	4	5
Pr 100	60	60-70	70-80	80-90	90-100
Pr 50	50	50-60	60-70	70-80	80-90
Pr 20	40	40-50	50-60	60-70	
Pr 10	30	30-40	40-50		
Pr 5	20	20-30	30-40		

5.2.4.2.1.9 Vías férreas y caminos

Las líneas derivadas de los datos de infraestructura y los caminos y carreteras se les otorgaron un tributo de acuerdo con el nivel de vibración de causa del uso de la infraestructura como se indica en la Tabla 28.

Tabla 28. Clasificación de vías férreas y caminos y carreteras.

Vía férrea	Caminos y carreteras	Atributo relativo
Vía fuera de uso		2
	Carretera de jurisdicción no determinada, de 1 o 2 carriles en terracería y operación	3
	Carretera federal o estatal de 2 a 4 carriles, pavimentada y en operación	4
Vía sencilla y en operación		5

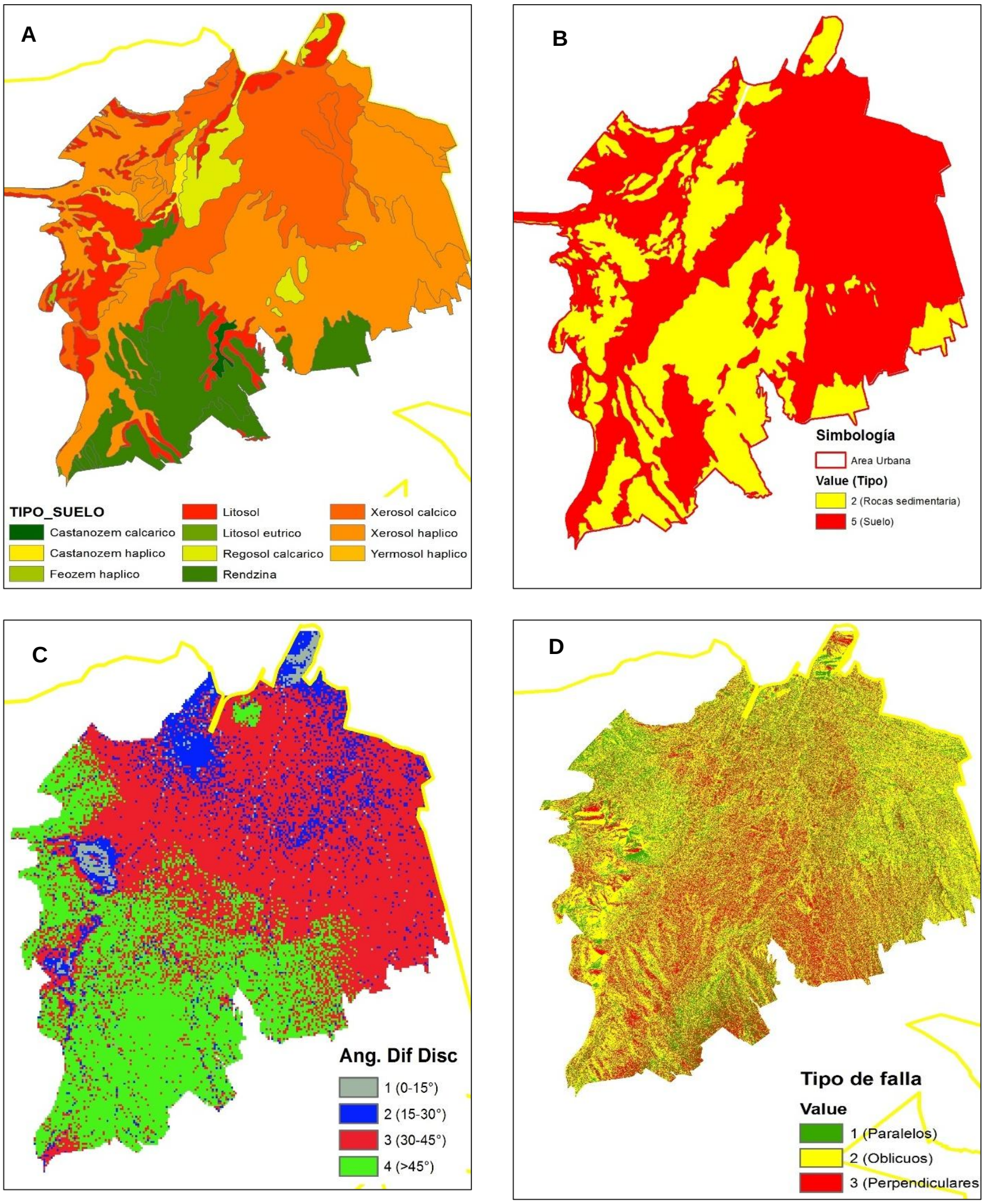


Figura 63. Edafología (A), Geología (B), Ángulo diferencia de la discontinuidad (C) y Fallas (D), empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Urbano).

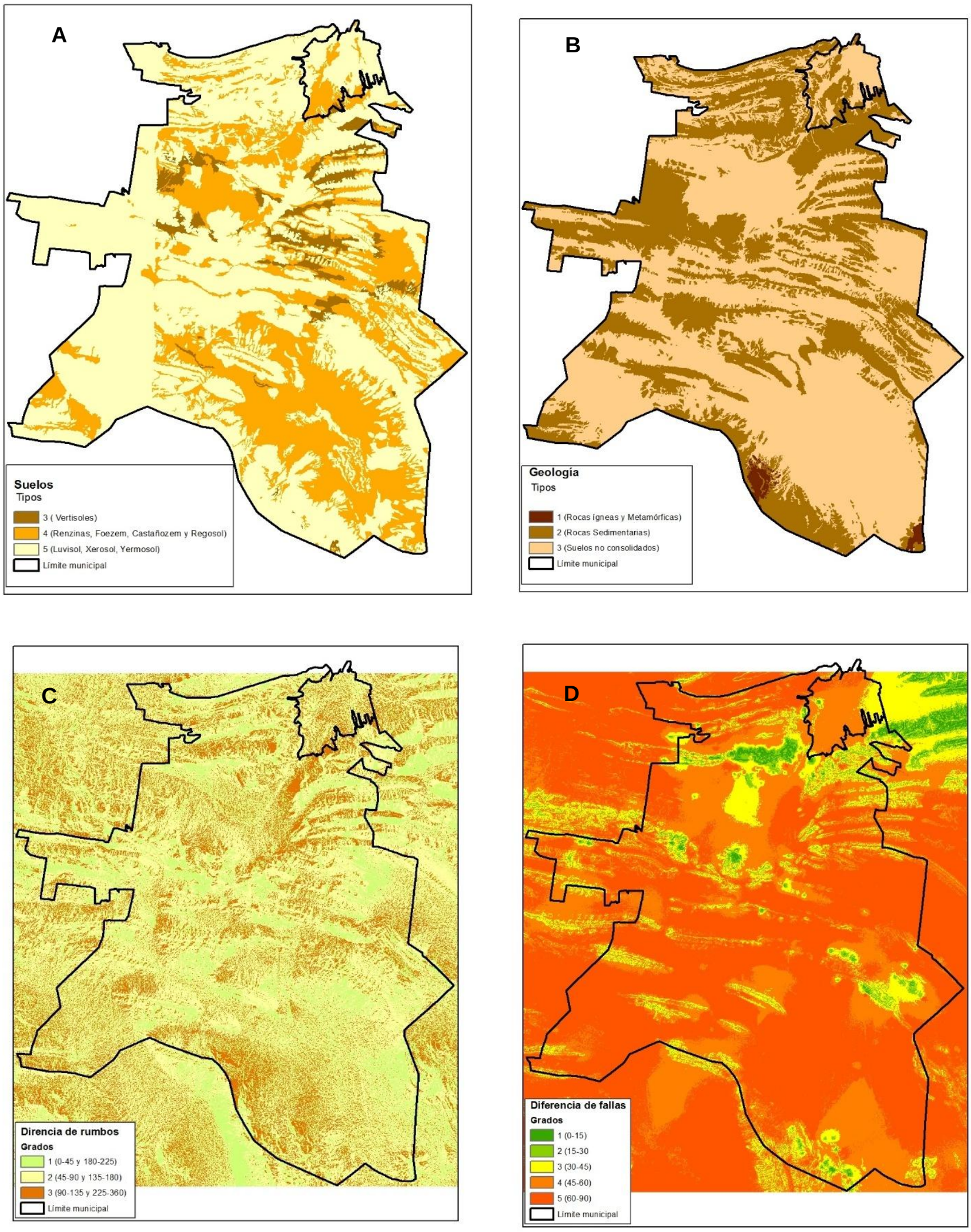


Figura 64. Edafología (A), Geología (B), Ángulo diferencia de la discontinuidad (C) y Fallas (D), empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Rural).

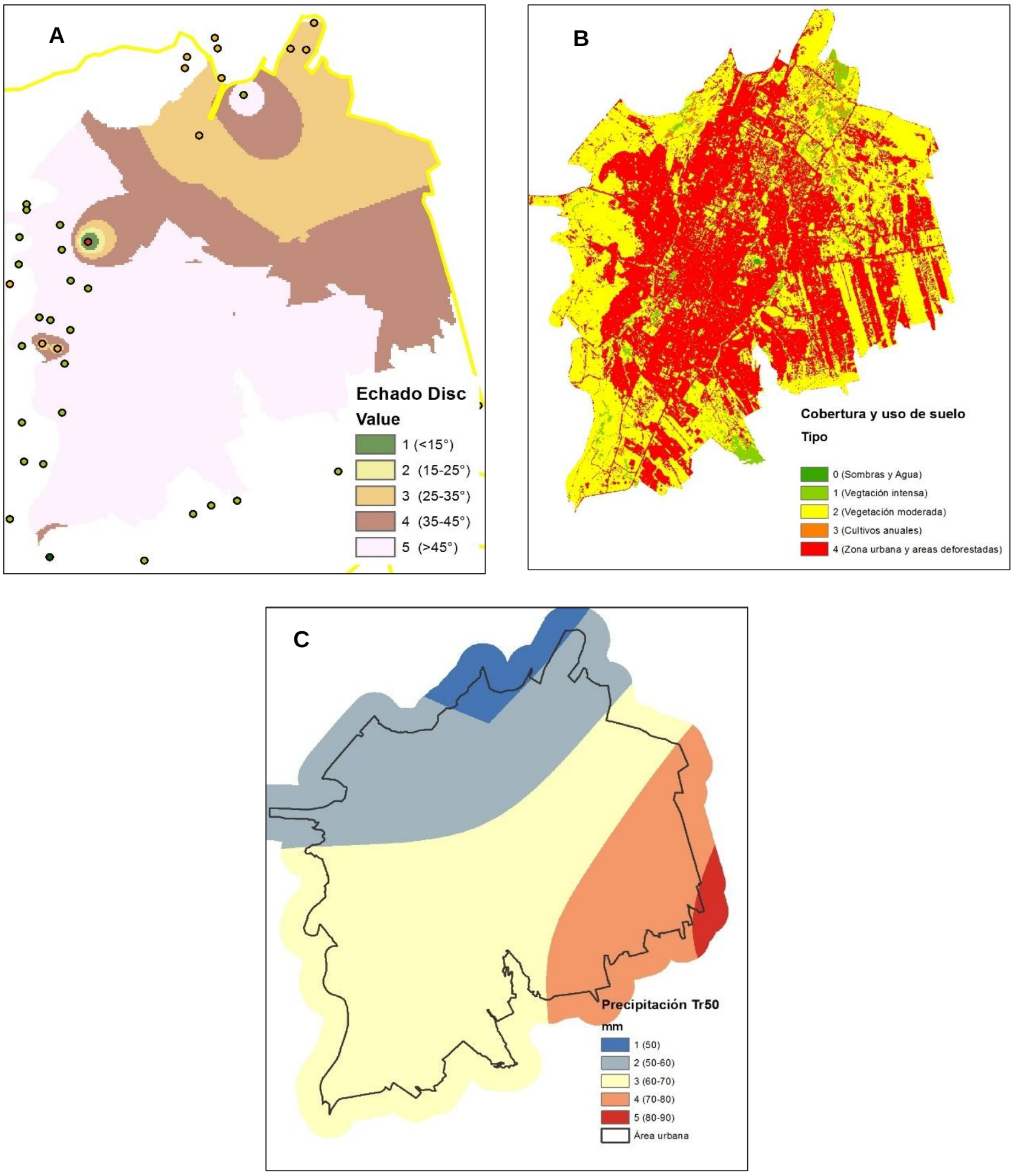
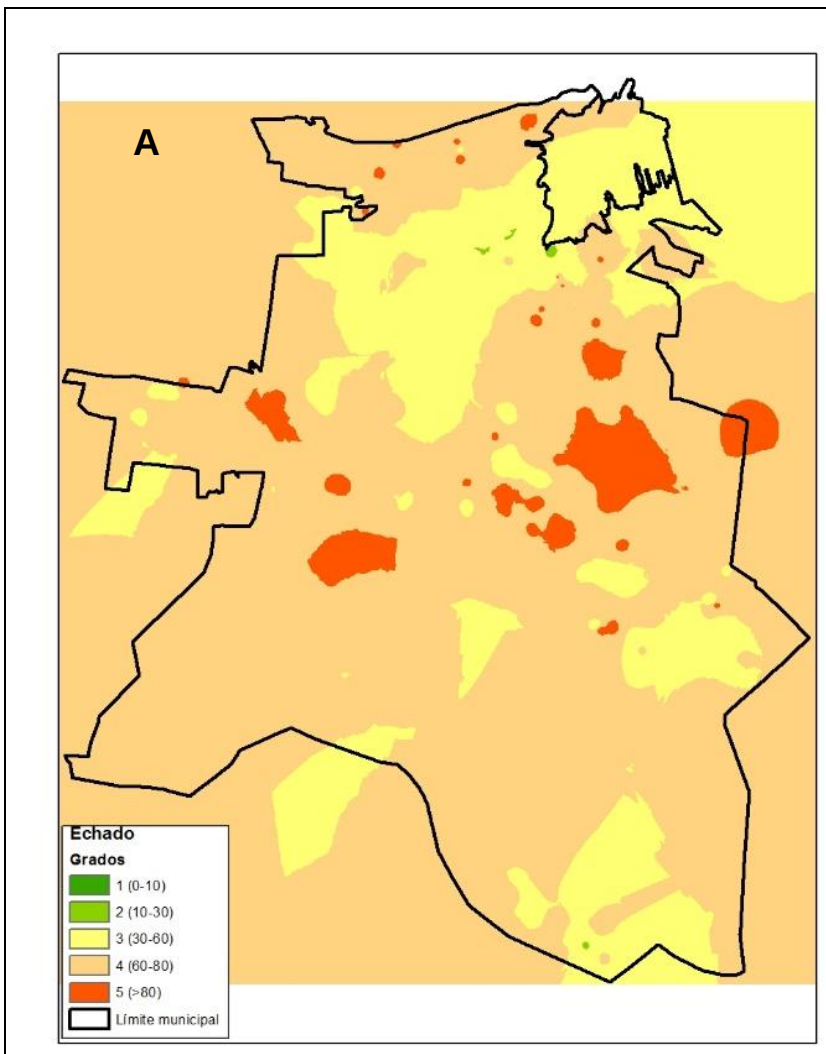
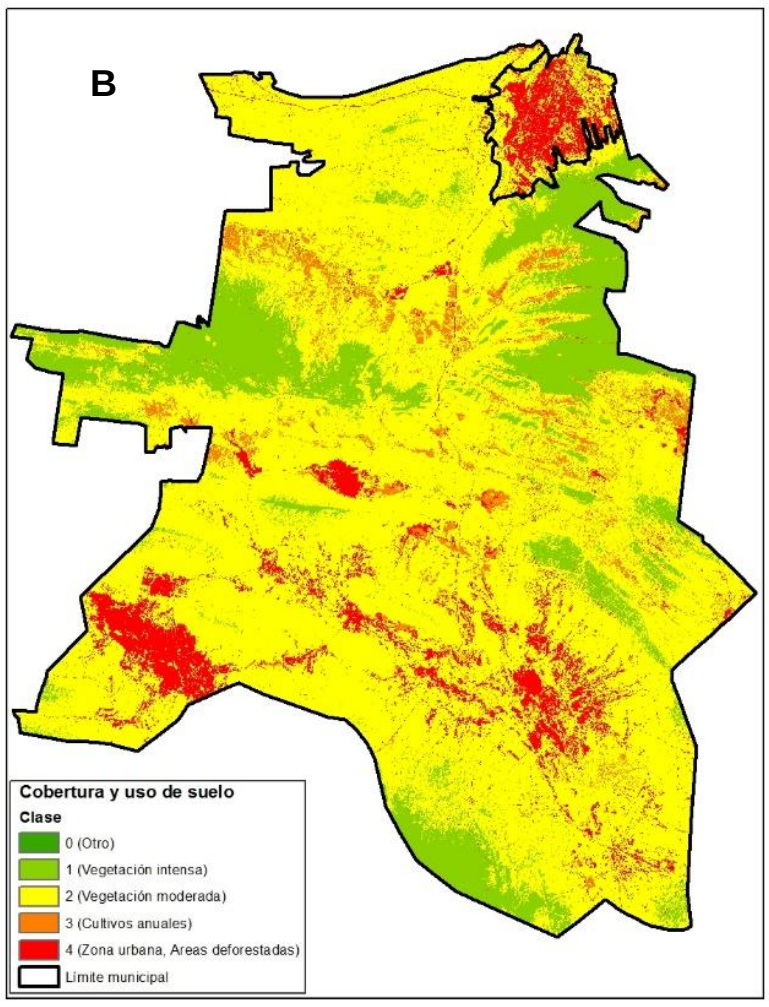


Figura 65. Datos de Echados (A), Vegetación (B), y Precipitación (C) empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Urbano).





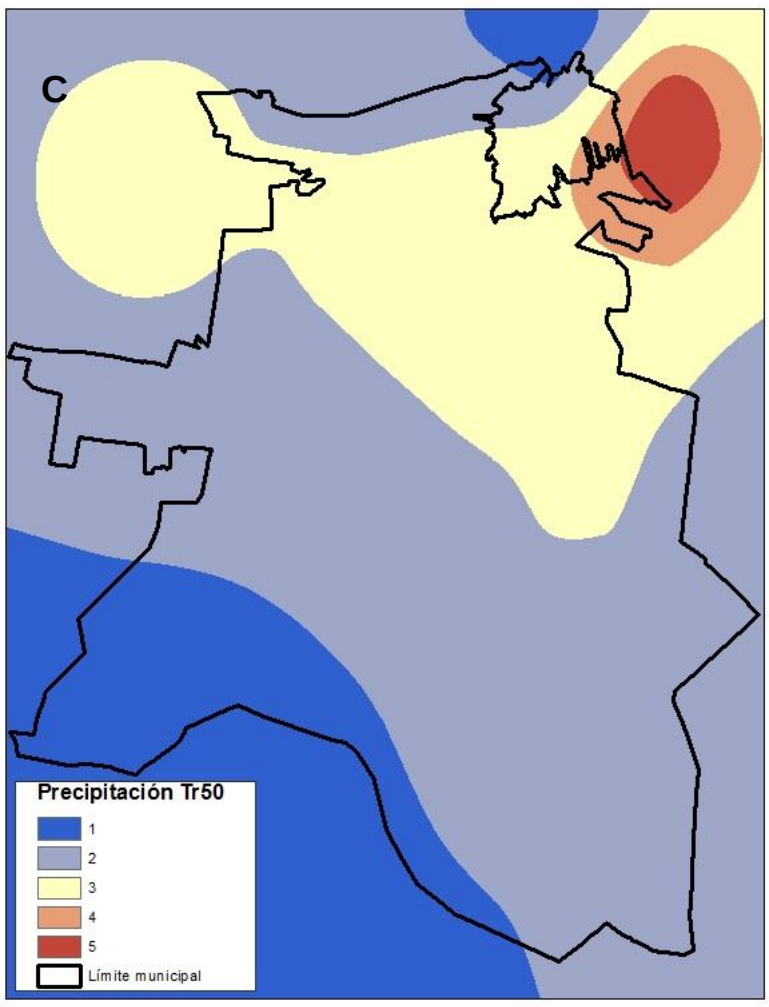


Figura 66. Datos de Echados (A), Vegetación (B), y Precipitación (C) empleados en el modelo de Inestabilidad de Laderas (Rural).

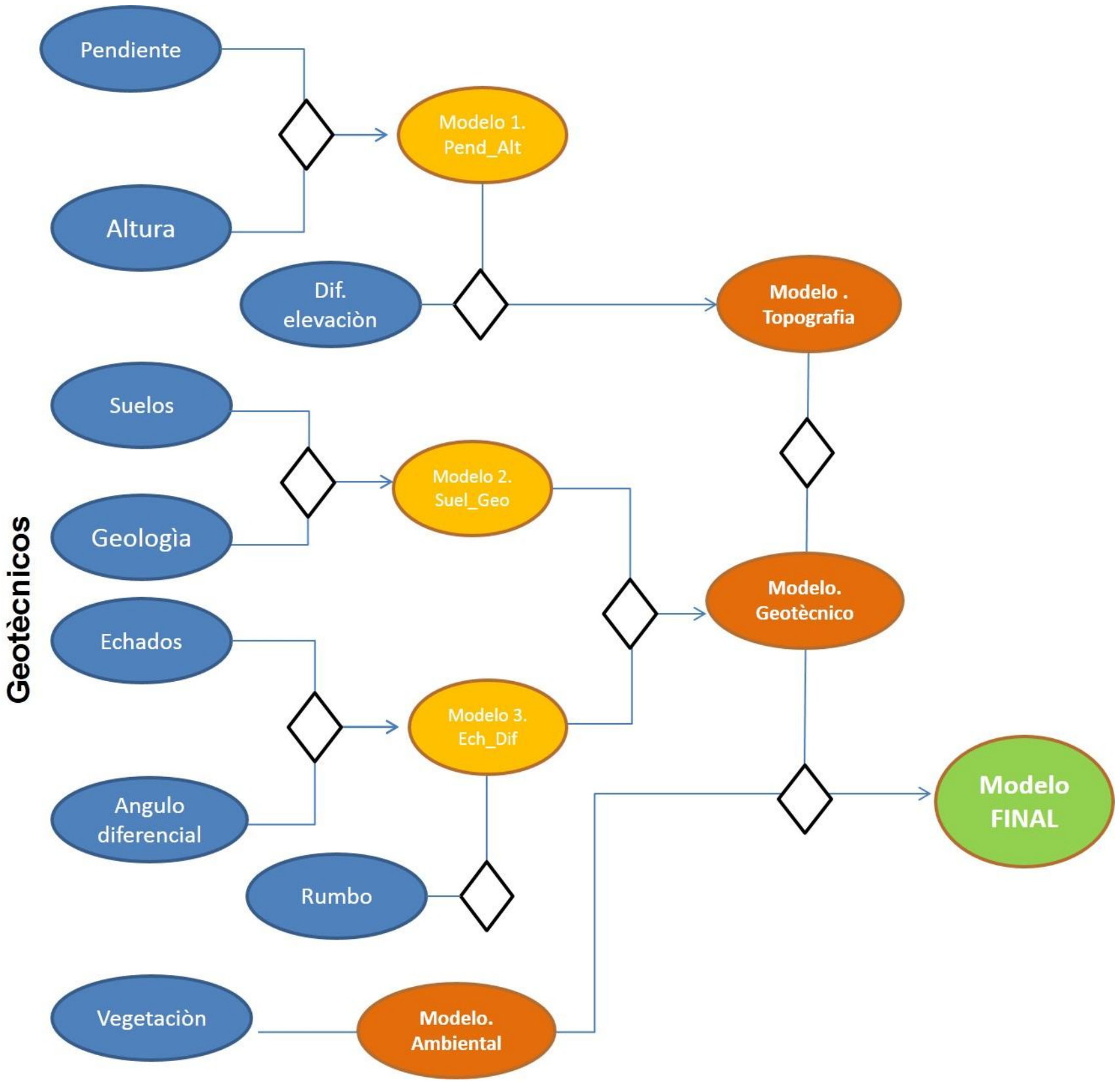


Figura 67. Modelo de procesamiento de los datos para el estimación de Amenaza por Inestabilidad de Laderas (Urbano).

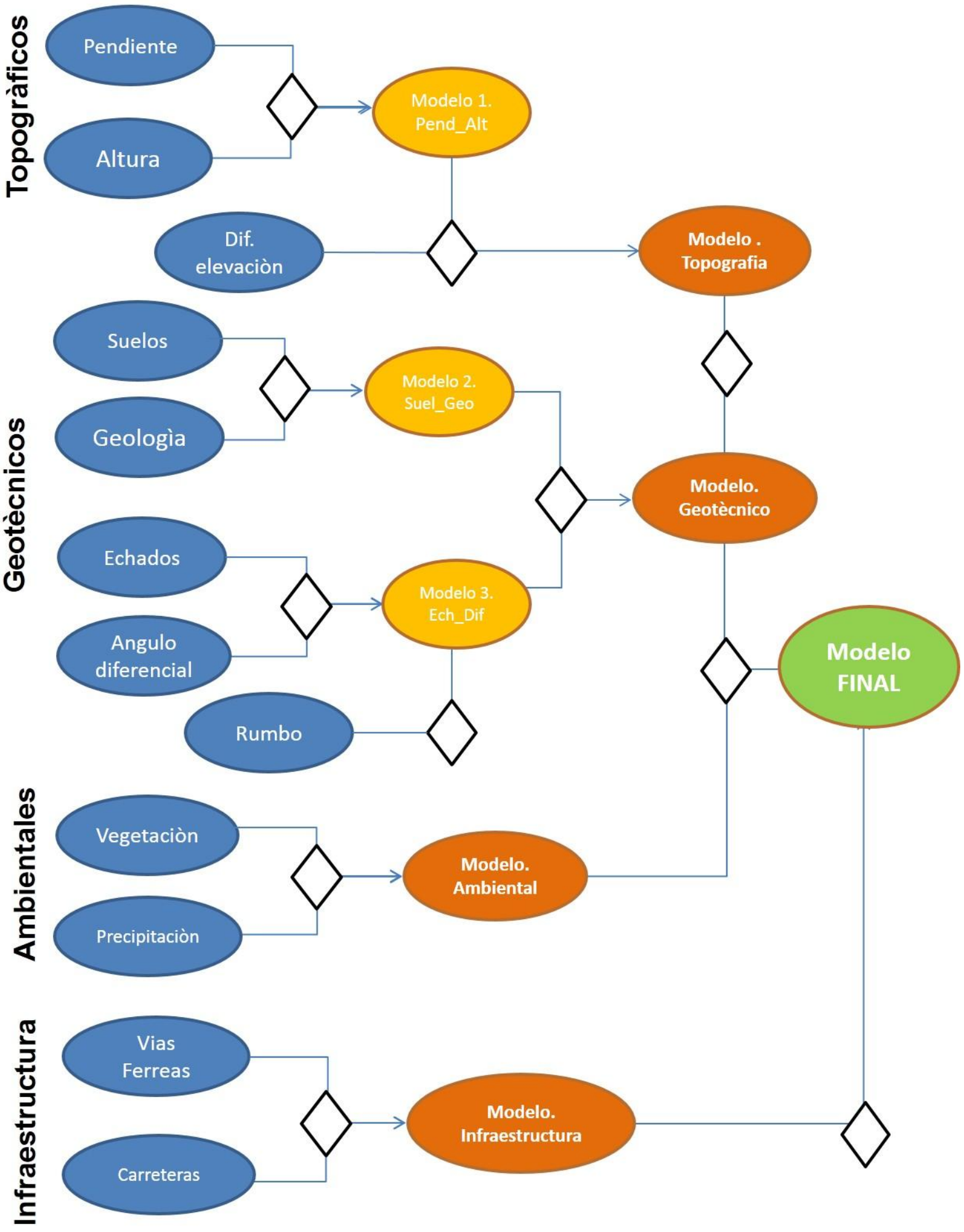


Figura 68. Modelo de procesamiento de los datos para el estimación de Amenaza por Inestabilidad de Laderas (Rural).

La Figura 67 muestra el diagrama de flujo del análisis de deslizamiento de laderas para el modelo Urbano, y la Figura 68 para el modelo Rural. Inicialmente se calcularon los datos de pendiente usando las herramientas de “DEM Surface tools” producida por Jeff Jenness (http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm), empleando el algoritmo de Sharpnack & Akin’s. La Figura 69 muestra los resultados para una zona plana en la porción sureste del municipio. De esta capa se extrajeron los pixeles correspondientes a pendientes menores o iguales a 3 %, de acuerdo a lo plantado por Soil Survey Manual (1993) (en donde se define a un terreno plano como aquel con pendientes entre 0 y 3%); para crear una capa binaria que contenga las zonas planas vs no-planas.

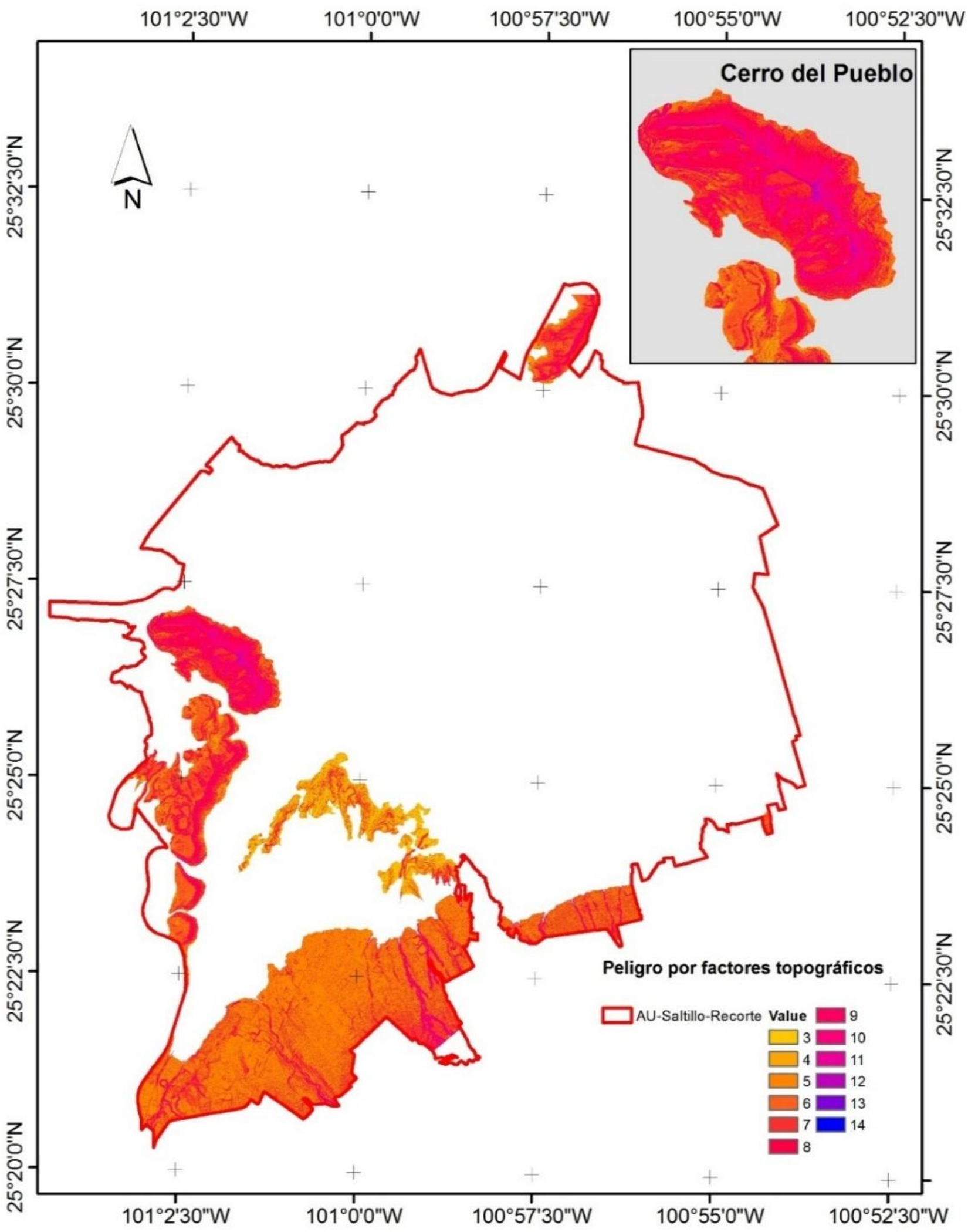


Figura 69. Resultado del peligro de inestabilidad de laderas por factores topográficos.

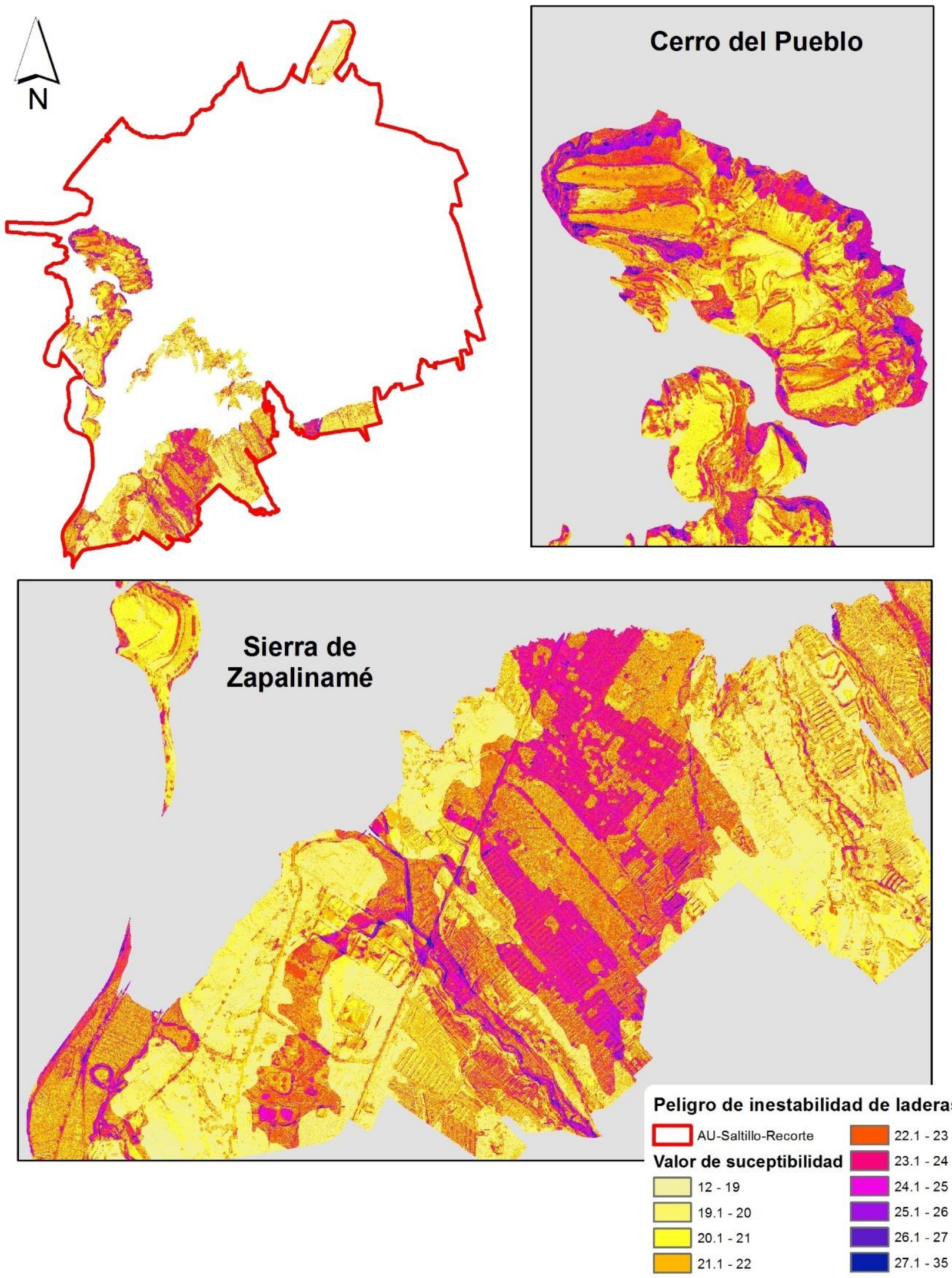


Figura 70 . Ejemplos de los nivles de paligro resultantes del modelo de Inestabilidad de laderas, para la zonas del "Cerro del Pueblo y Sierra de Zapaliname.

Para generar la cartografía de la amenaza del primer mapa donde se incluyeron todos los factores (excepto la variabilidad temporal que dan los periodos de retorno), como se muestra en el modelo (Figura 67) ubicando las principales zonas dentro de las áreas montañosas del municipio. La Sierra de Zapalinamé presenta un nivel de amenaza muy alto en gran parte de su cobertura (Figura 71).

En el caso del área urbana (Figura 72), la amenaza por inestabilidad de laderas se presenta en dos áreas de importancia para la ciudad de Saltillo, 1) una al sur de la ciudad en las faldas de la Sierra de Zapalinamé con intensidades que varían de Alto a Medio y 2) otra con menor cobertura pero con intensidades de nivel Muy Alto a Alto en el Cerro del Pueblo ubicado en la parte medio oeste. Ambas se encuentran a escasos metros de áreas urbanizadas y con tendencia al crecimiento.

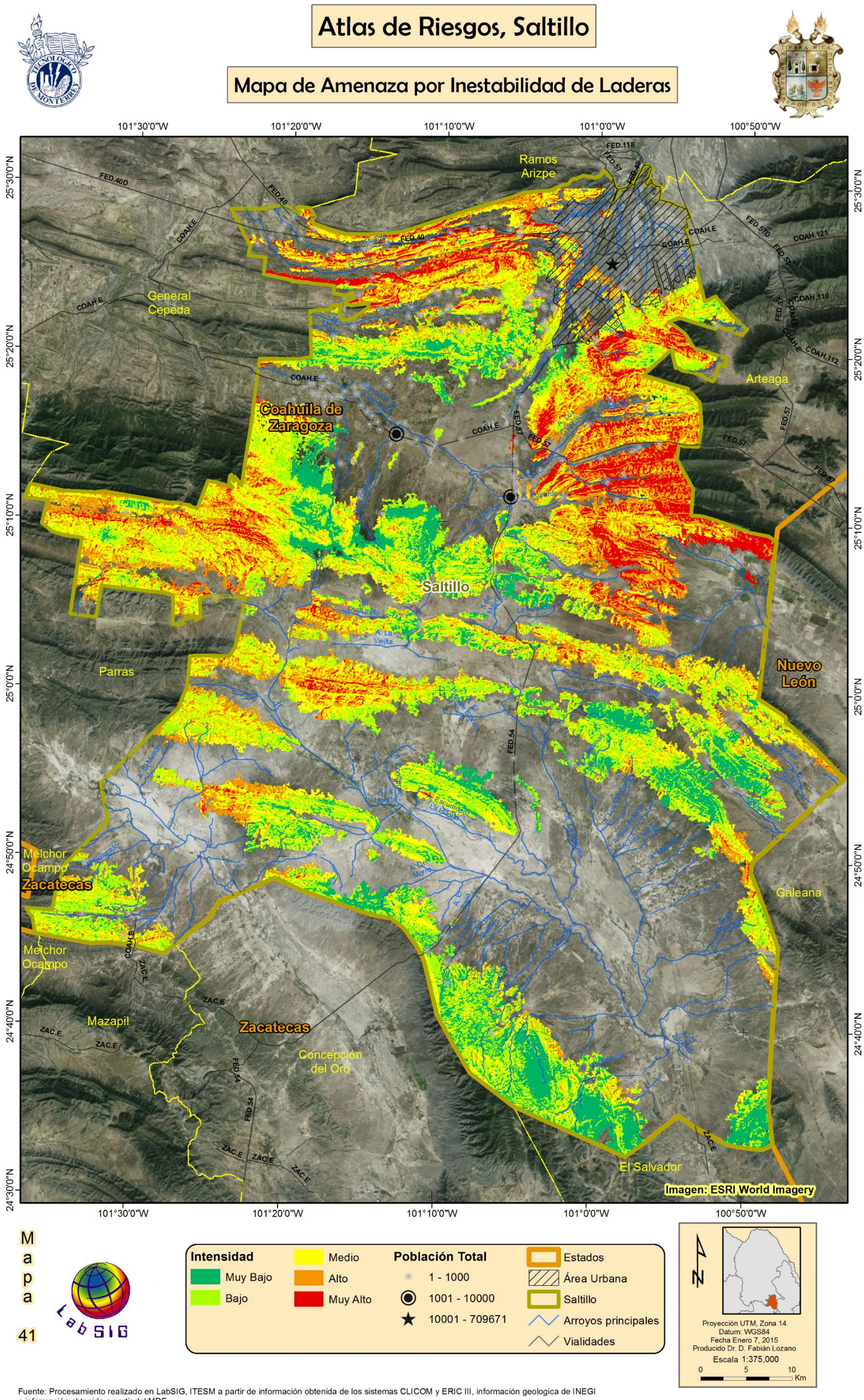


Figura 71. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural.

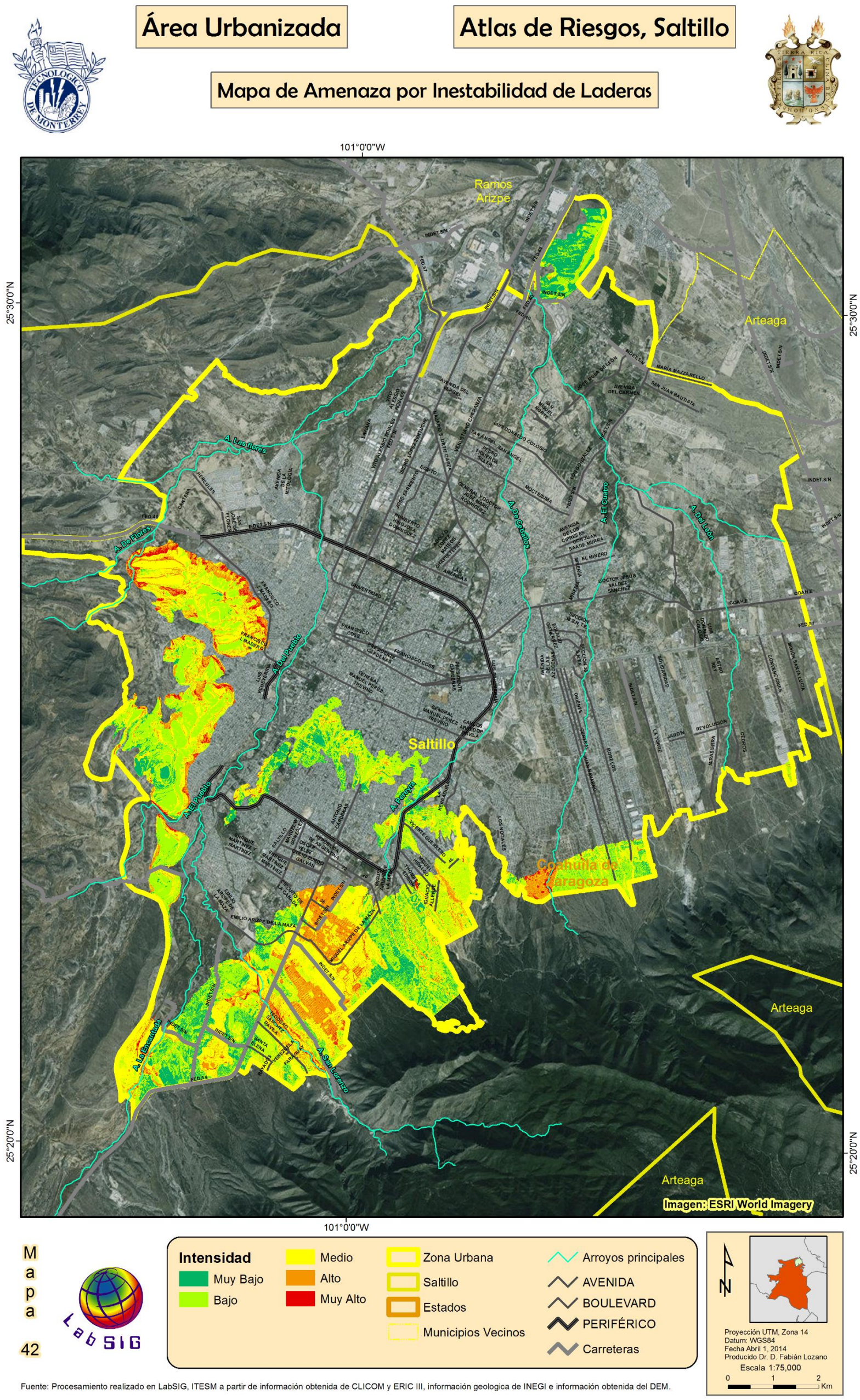
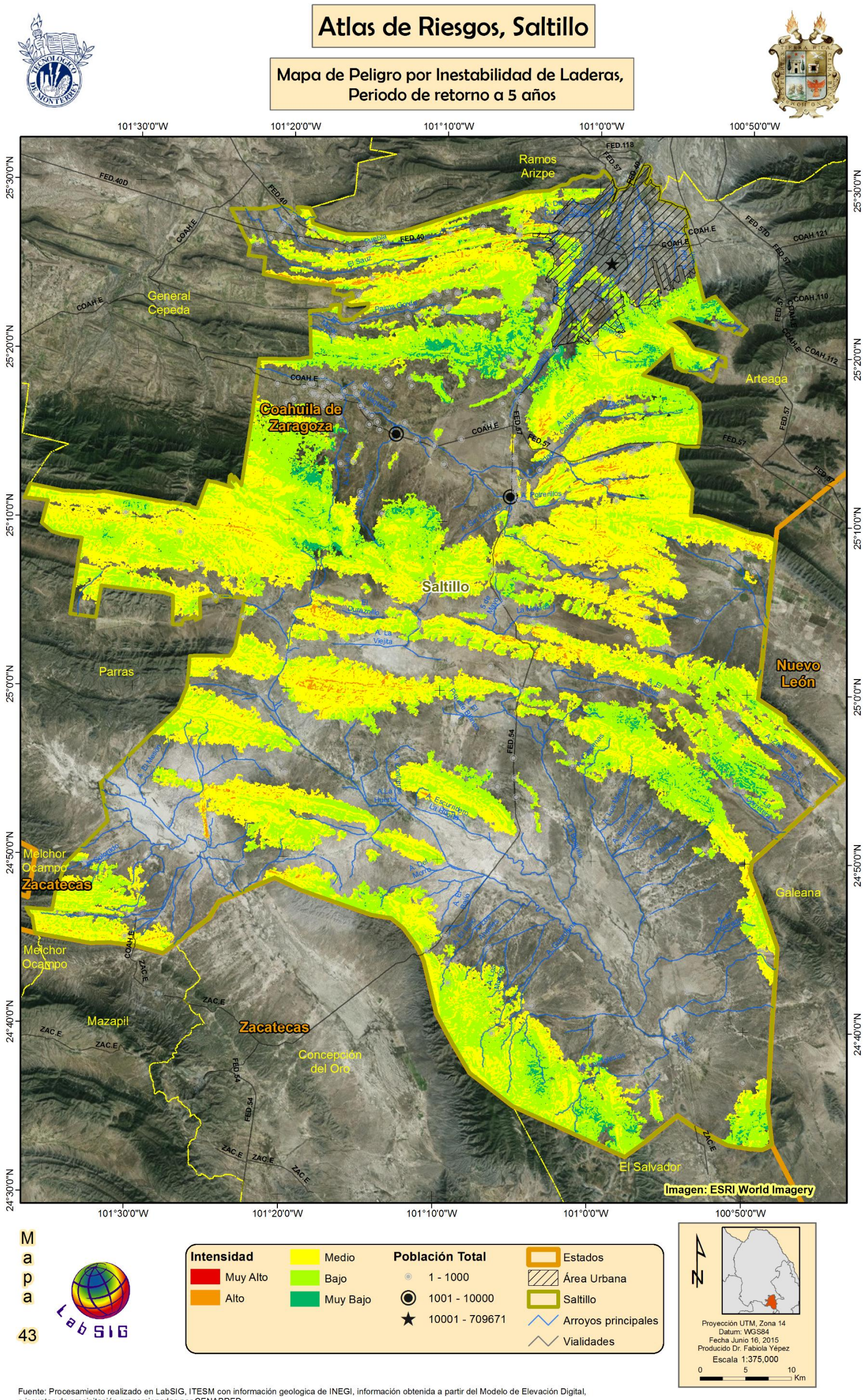


Figura 72. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área urbana.

Para cartografiar el peligro se anexó la temporalidad con los periodos de retorno, representados por un ráster que contenía las isoyetas de precipitación en mm/h. Los resultados de esta nueva variable, señalan que el peligro presenta una mayor cobertura en las serranías del Municipio. La variabilidad de superficie y su ubicación presentó diferencias menores entre los períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, como se muestra de la Figura 73 a la Figura 82.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM con información geologica de INEGI, información obtenida a partir del Modelo de Elevación Digital, e isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED

Figura 73. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 5 años.

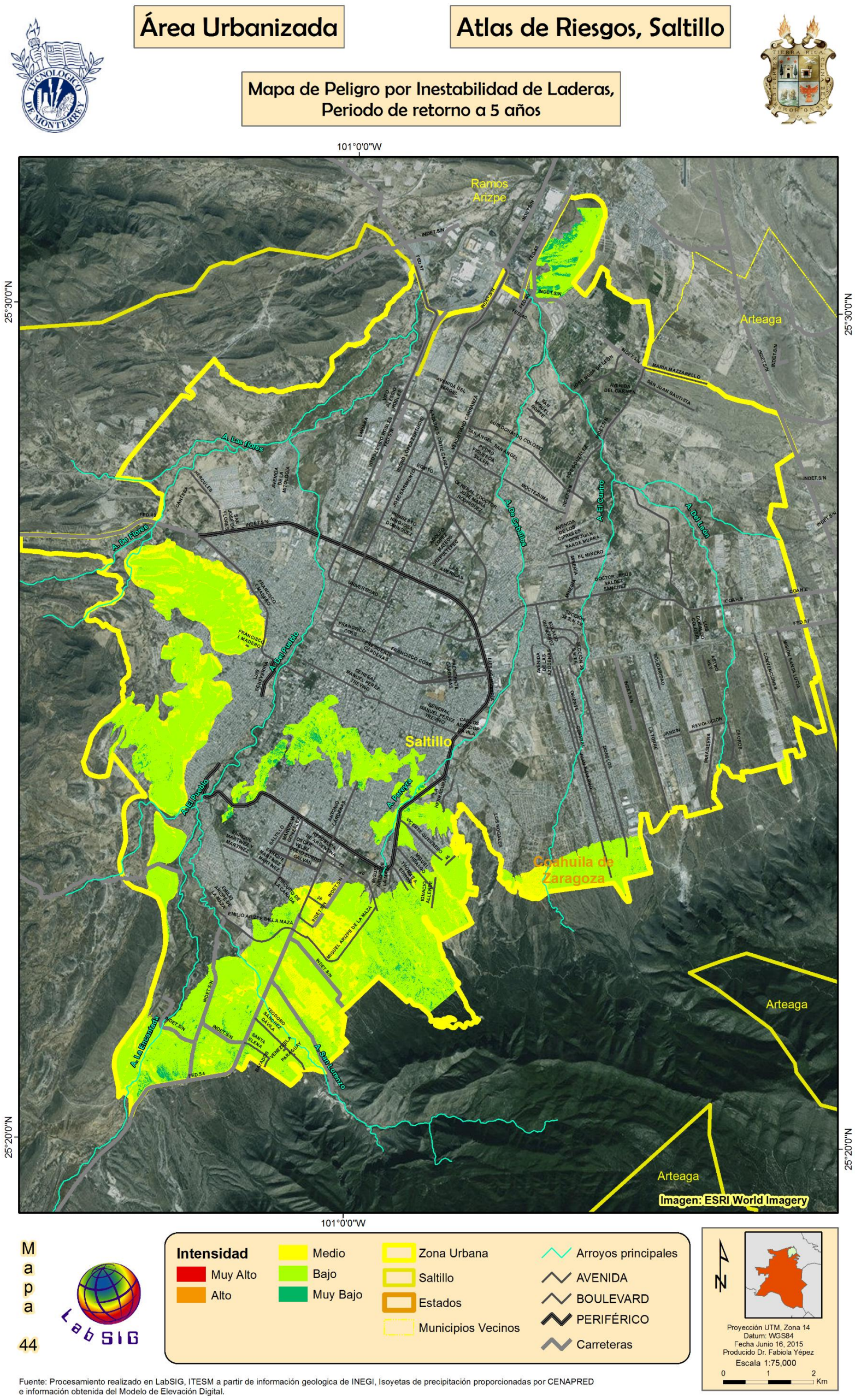
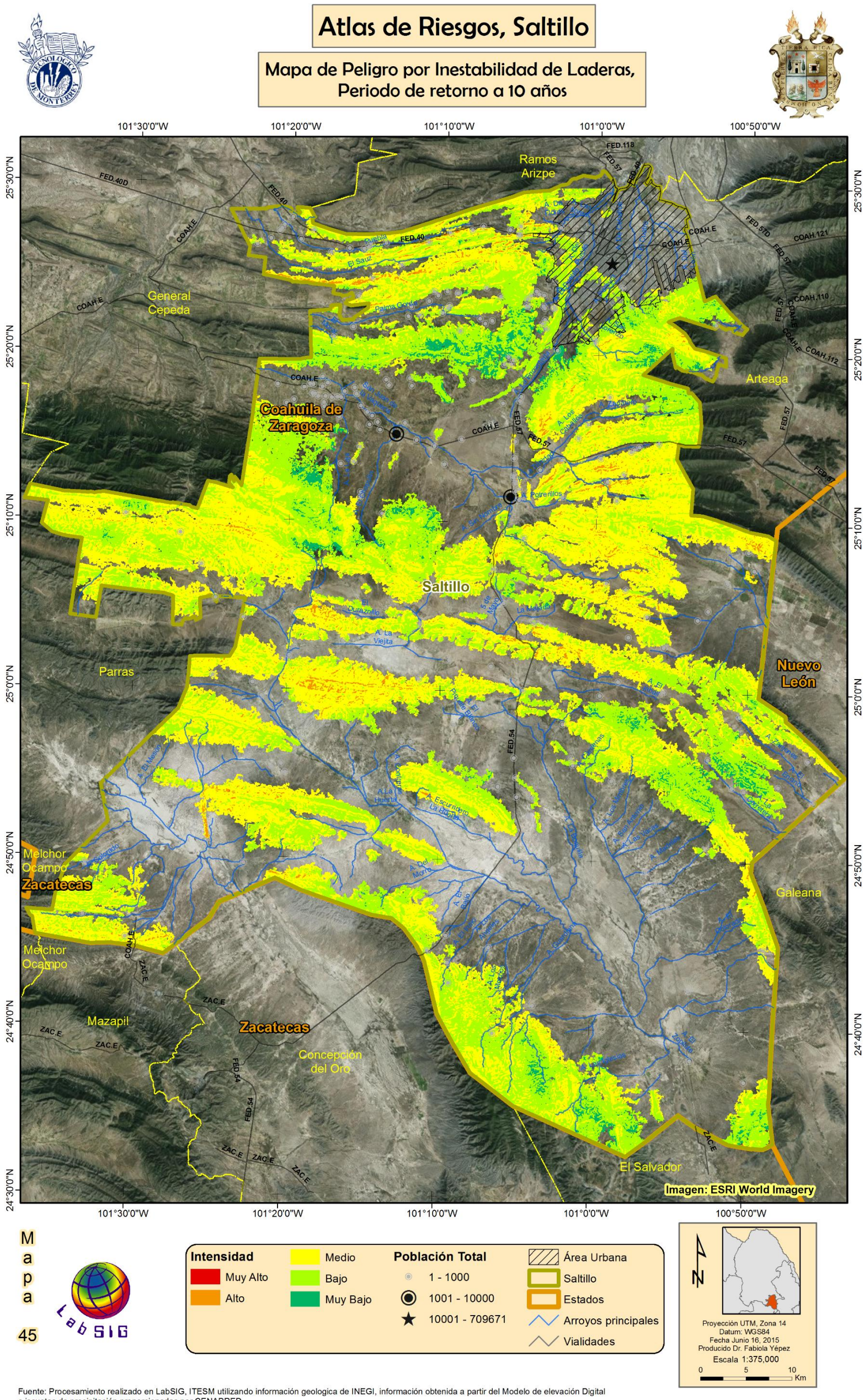


Figura 74. Mapa de peligro por inestabilidad de laderas para la zona urbana, considerando un Pr de 5 años.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM utilizando información geologica de INEGI, información obtenida a partir del Modelo de elevación Digital e isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED.

Figura 75. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 10 años.

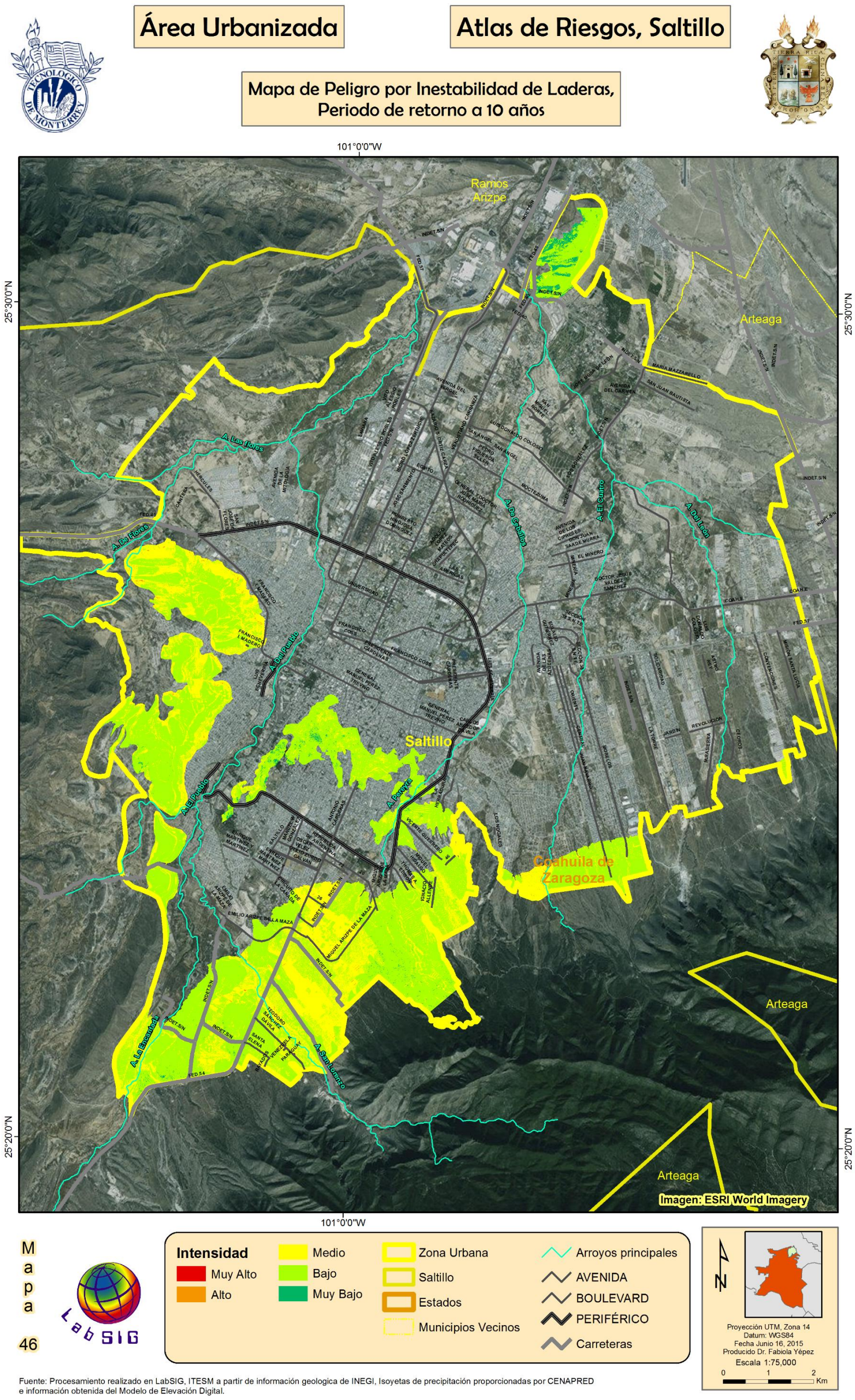
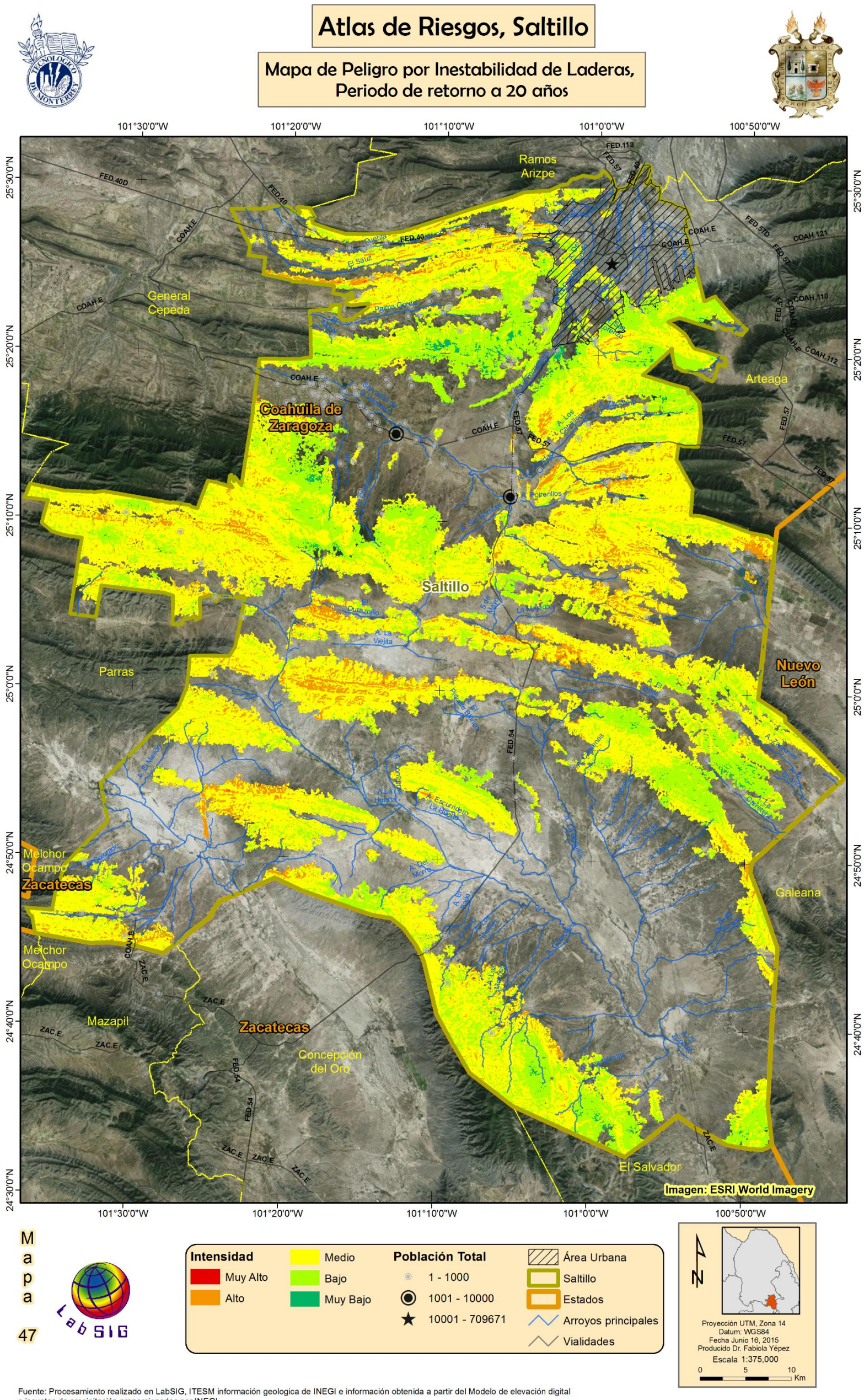
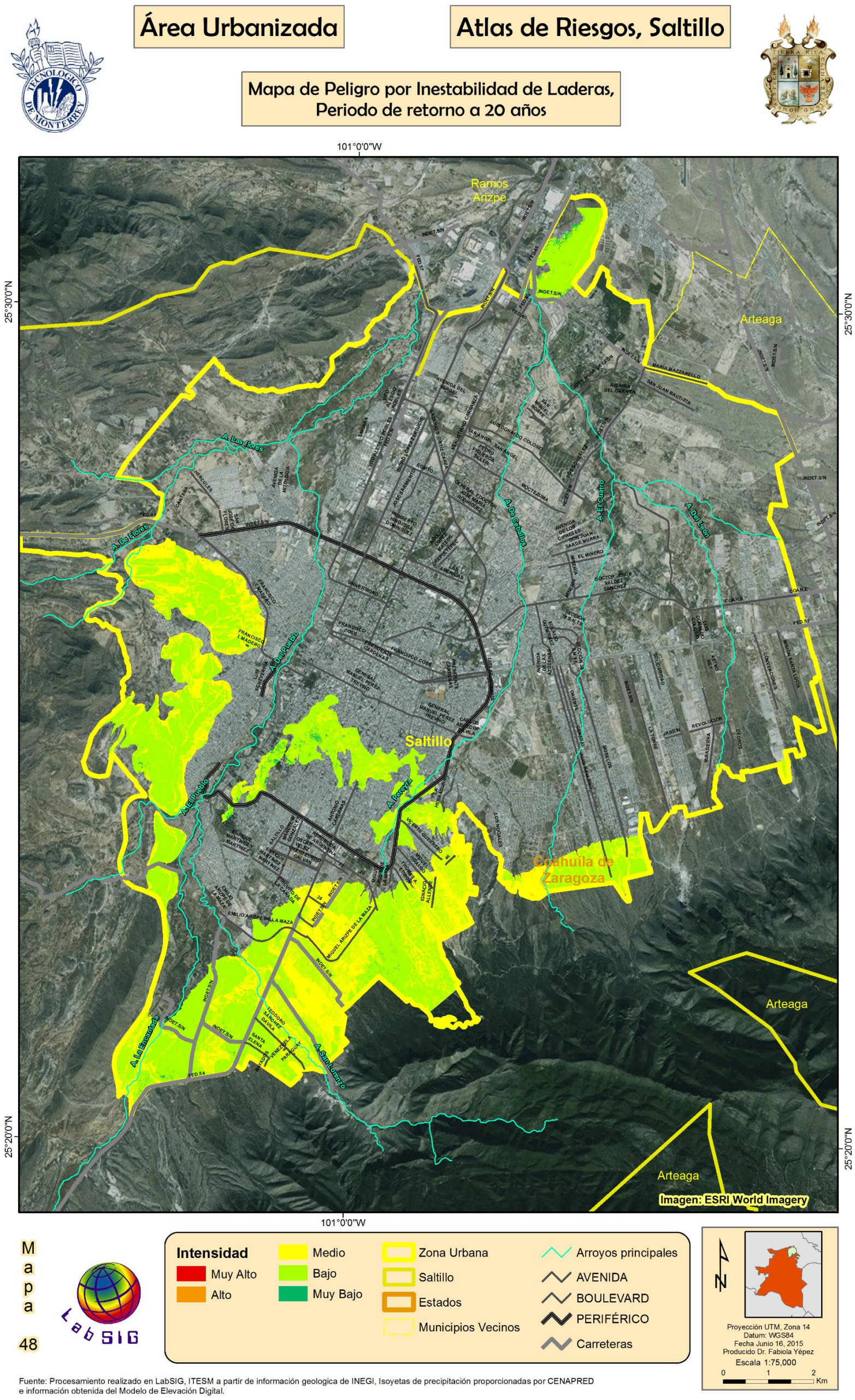


Figura 76. Mapa de peligro por inestabilidad de laderas a nivel urbano en un Pr de 10 años.



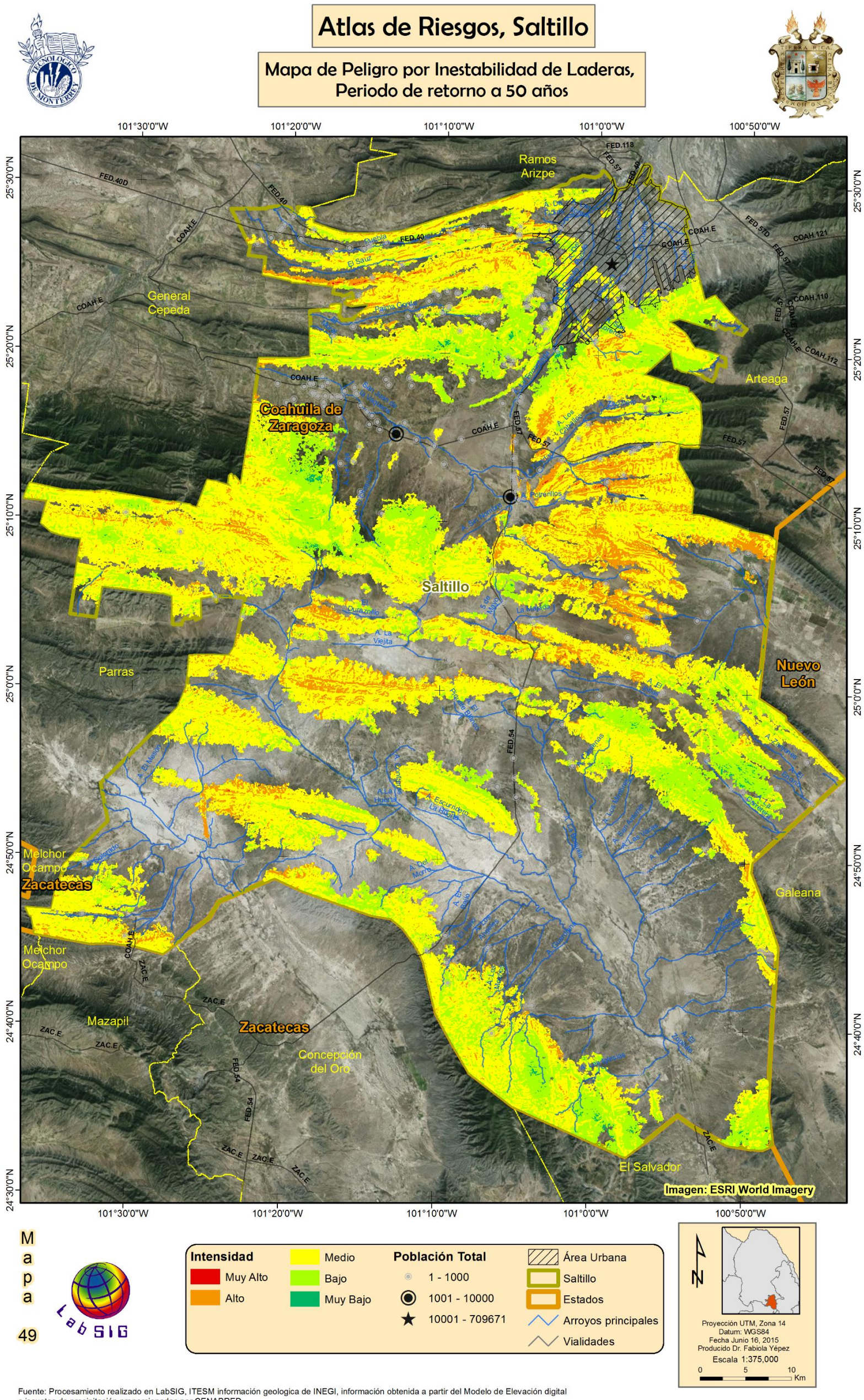
Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM información geologica de INEGI e información obtenida a partir del Modelo de elevación digital e isoyetas de precipitación proporcionadas por INEGI

Figura 77. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 20 años.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información geologica de INEGI, Isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED e información obtenida del Modelo de Elevación Digital.

Figura 78. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área urbana con Pr de 20 años.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM información geologica de INEGI, información obtenida a partir del Modelo de Elevación digital e isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED.

Figura 79. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 50 años.

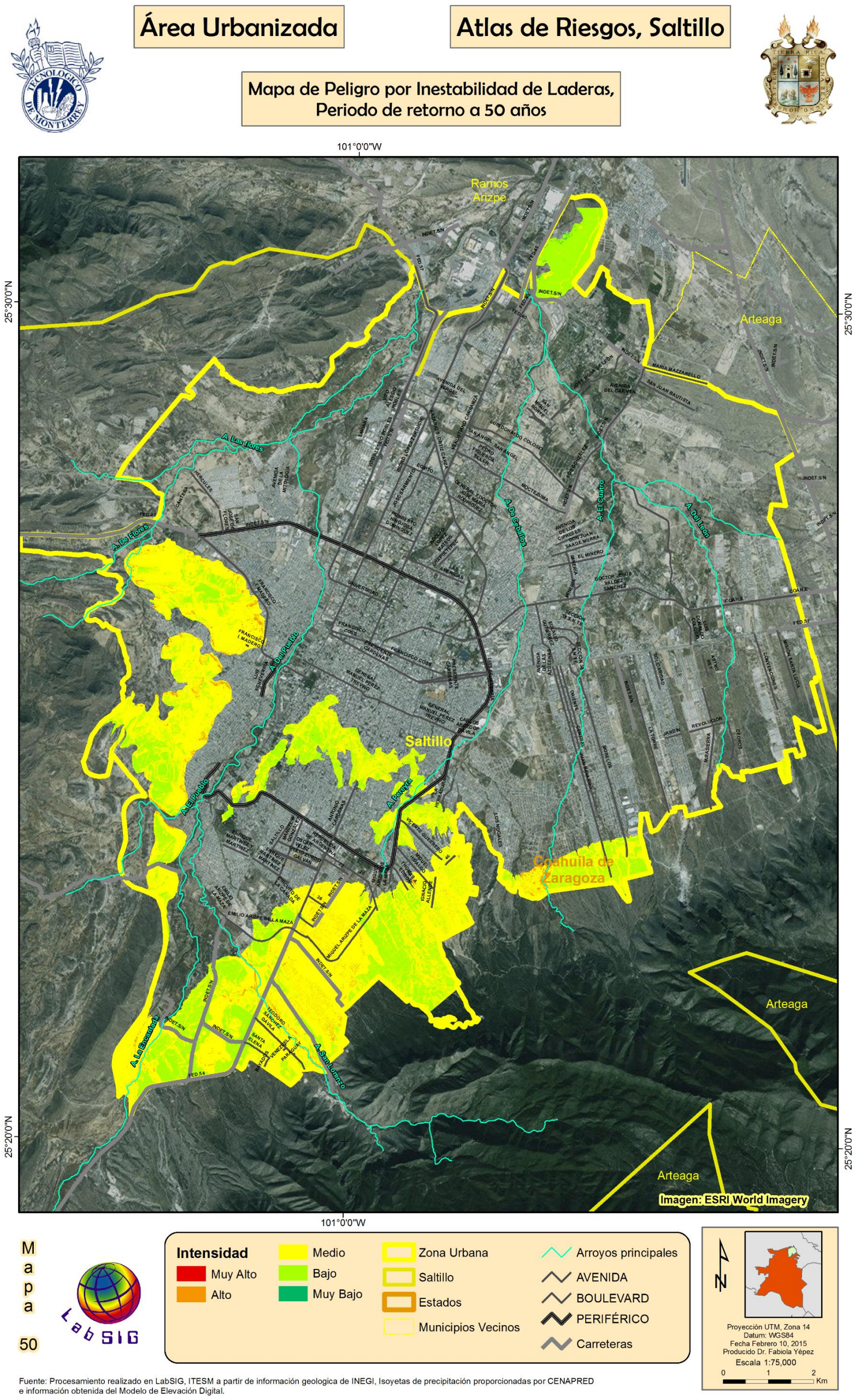
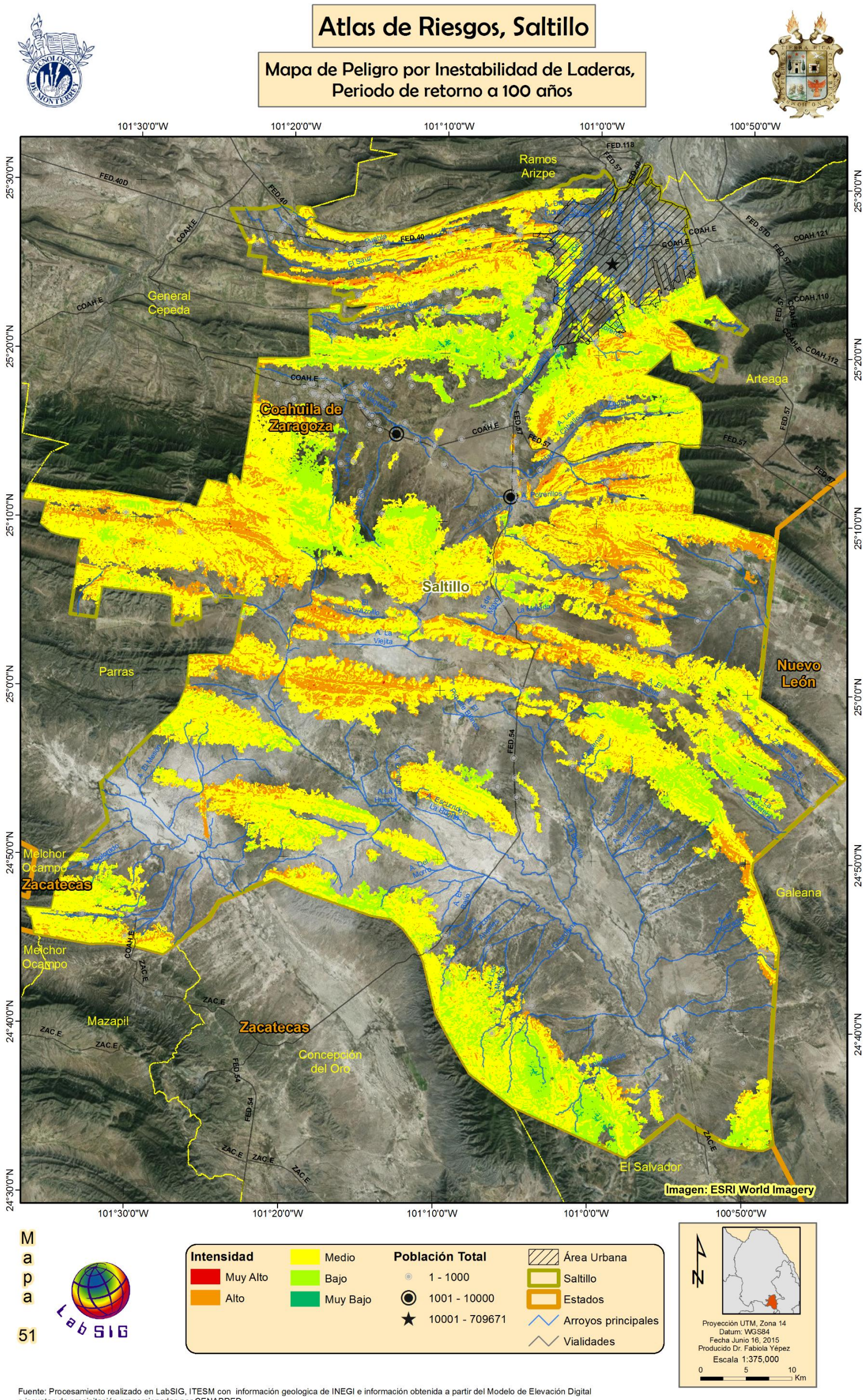
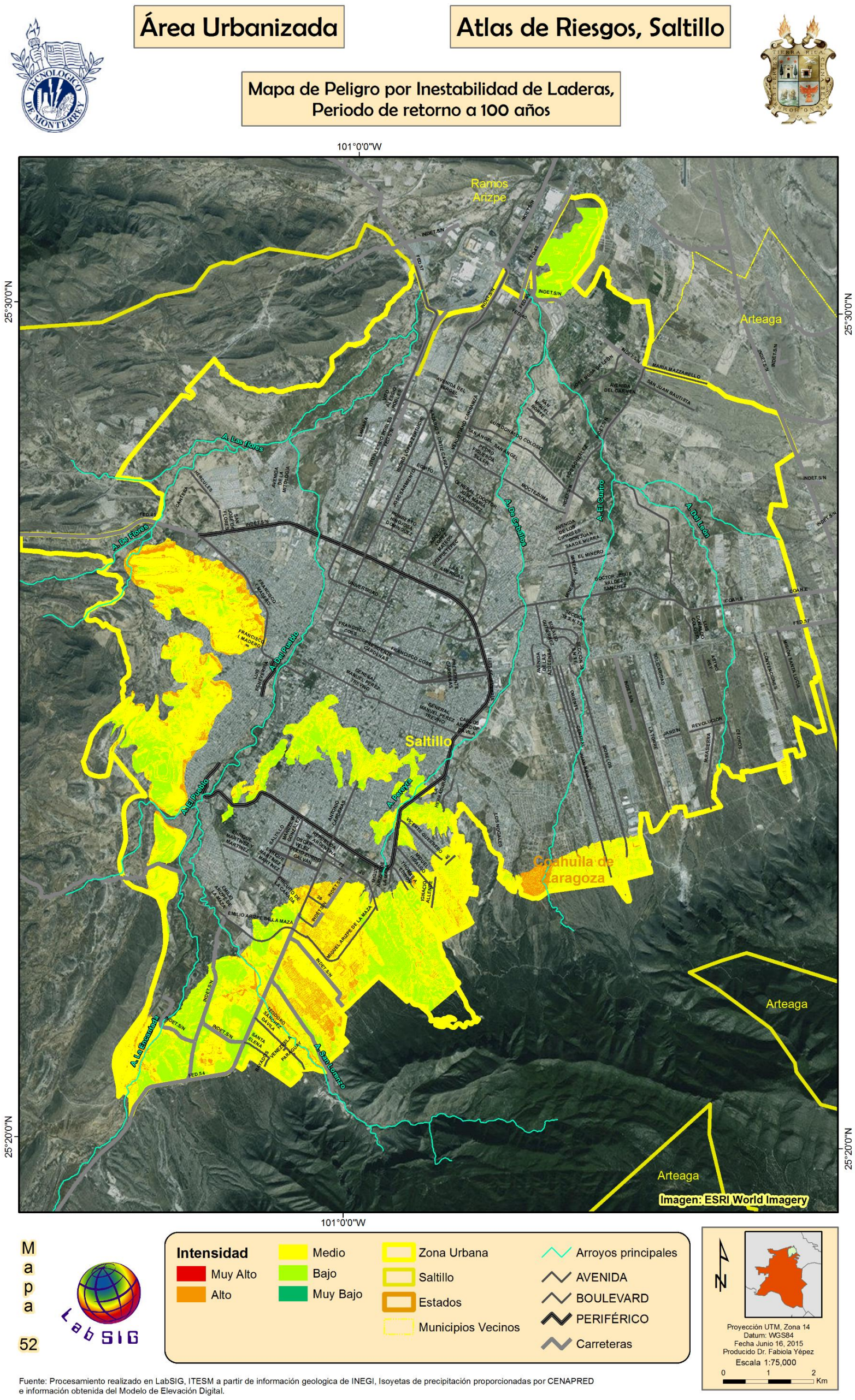


Figura 80. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área urbana con Pr de 50 años.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM con información geologica de INEGI e información obtenida a partir del Modelo de Elevación Digital e isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED.

Figura 81. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área rural con Pr de 100 años.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información geologica de INEGI, Isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED e información obtenida del Modelo de Elevación Digital.

Figura 82. Mapa de amenaza por inestabilidad de laderas para el área urbana con Pr de 100 años.

5.2.5 Flujos de lodo o Lahares.

La ocurrencia de flujos de tierra o lahares está altamente relacionado con los factores climáticos, en particular la presencia de altos niveles de precipitación que a su vez tienden a saturar las capas de rocas produciéndose entonces el deslizamiento de los materiales. Para el municipio de Saltillo, no existen las condiciones de altos niveles de precipitación o acumulación de agua o nieve, por lo que este peligro no está presente en el territorio municipal. En base a lo anterior se ha categorizado la amenaza como nula o “no aplica” para realizar los mapas de amenaza para la zona rural (Figura 83) y para la zona urbana mostrada aquí en la Figura 84.

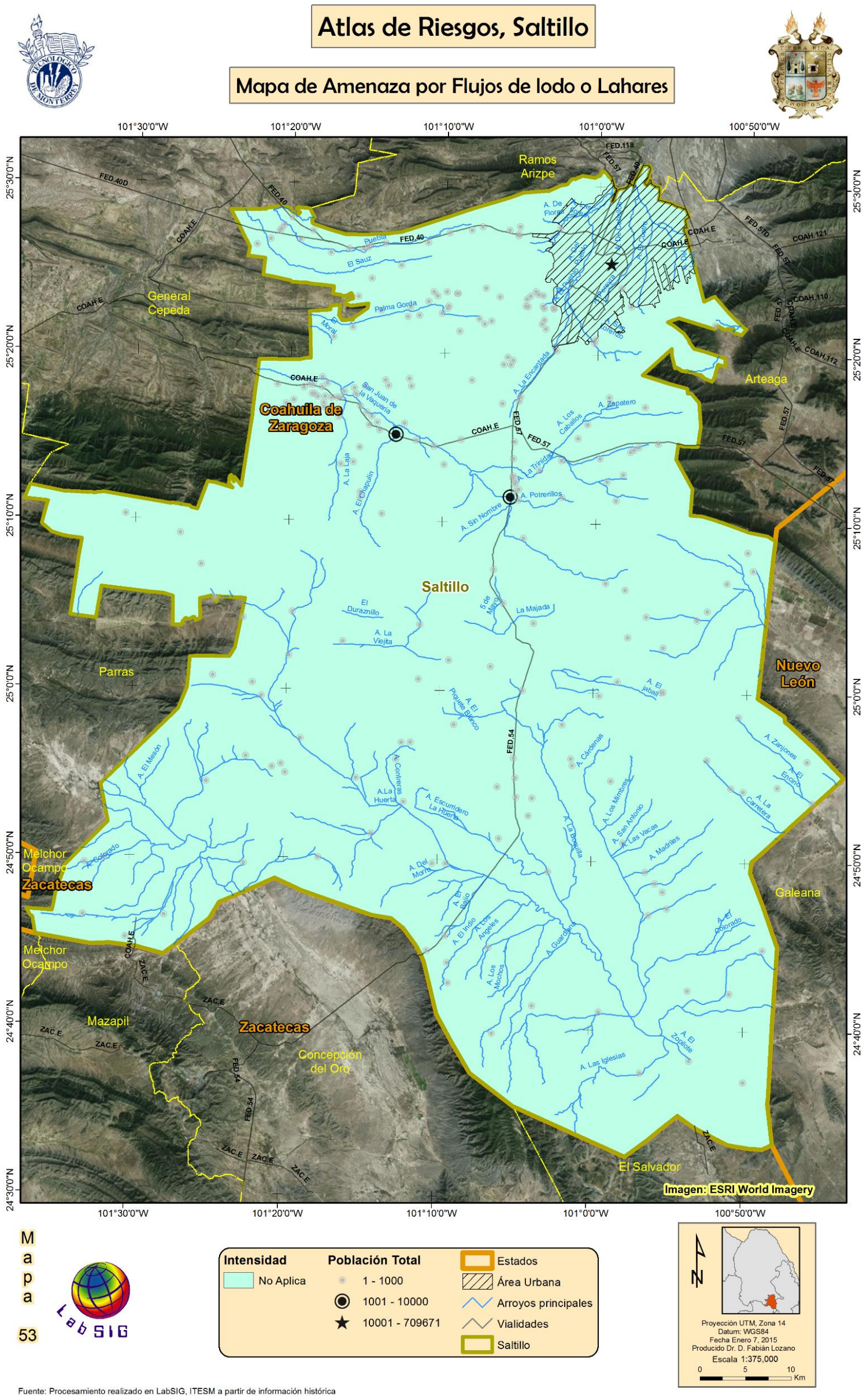
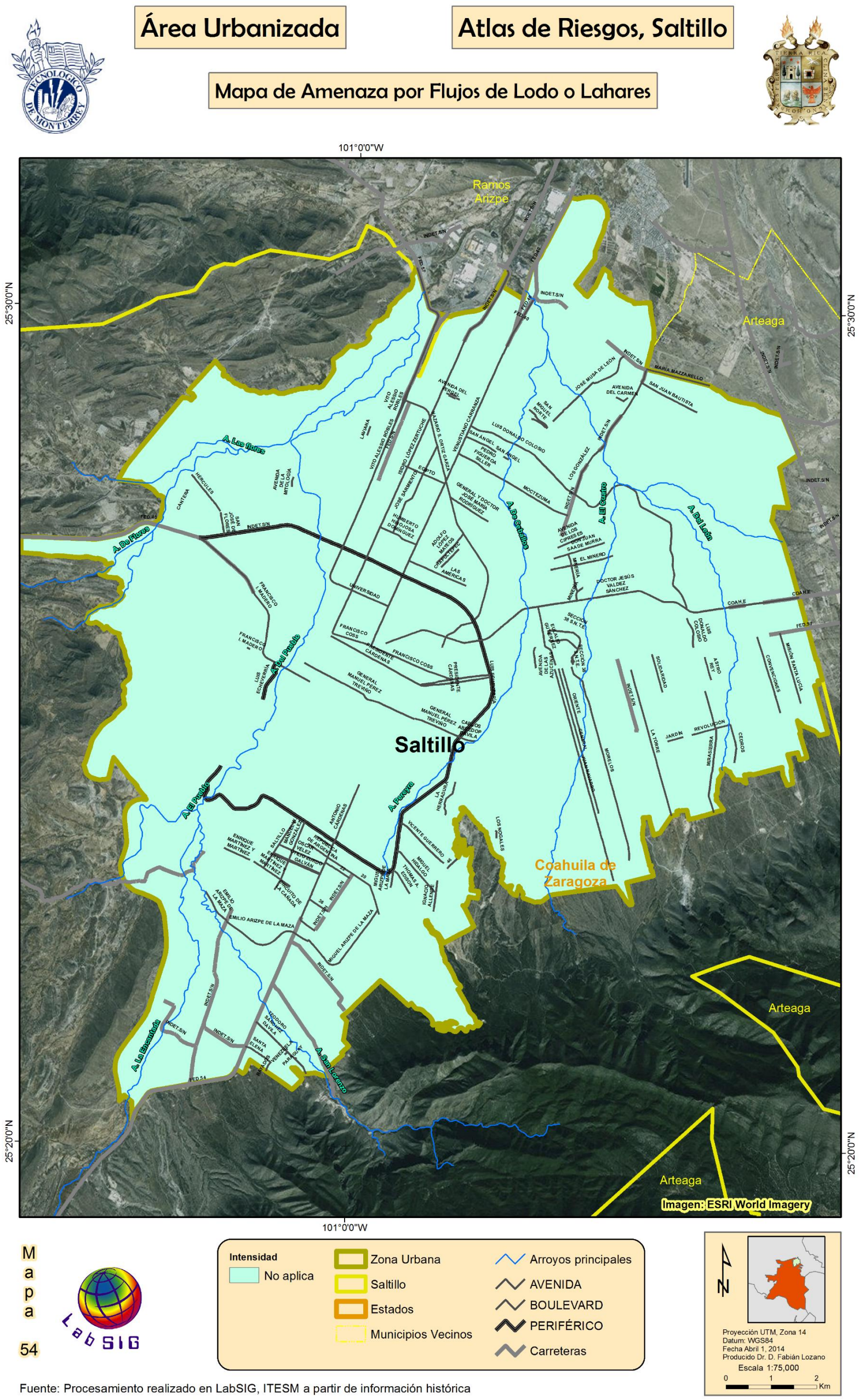


Figura 83. Niveles de amenaza por flujos o lahares, zona rural.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 84. Mapa de peligro por flujos o lahares, zona urbana.

5.2.6 Caídos o Derrumbes

La metodología propuesta para los caídos incluyó la clasificación de tres capas de información en formato ráster, con una máscara para los elementos con elevaciones mayores a 50 m.

Debido a que por definición los derrumbes y caídos son movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, y que algunas veces tienen un impacto y movimiento de caída libre, de rotación o rebote.

Los tipos de caídos son:

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

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

En el modelo utilizado (Figura 85) las capas fueron: a) Pendientes, b) Elevación en cotas y c) Diferencia de elevación entre pixeles. La Figura 88 y

Figura 86 muestran los resultados de este modelo para la zona urbana de Saltillo y en la Figura 87 para la zona urbana.

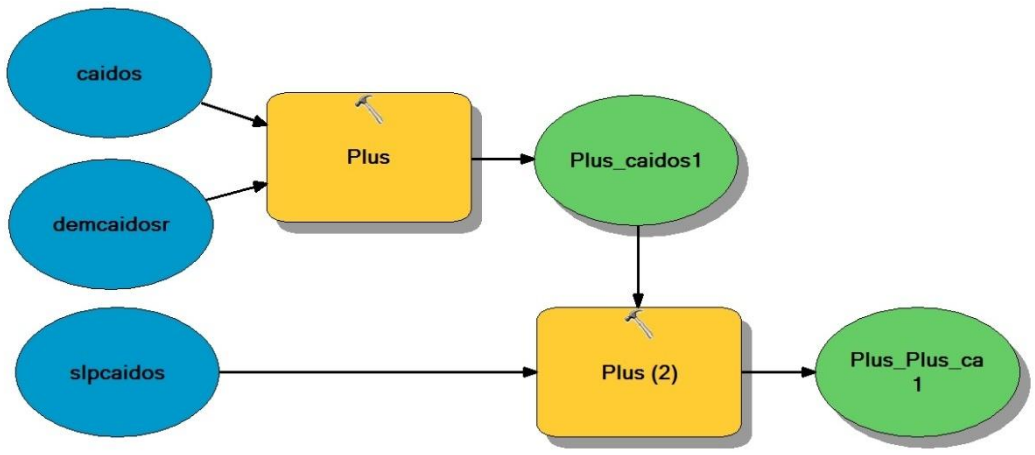


Figura 85. Modelo empleado para la identificación del peligro de Caídos o Derrumbes.

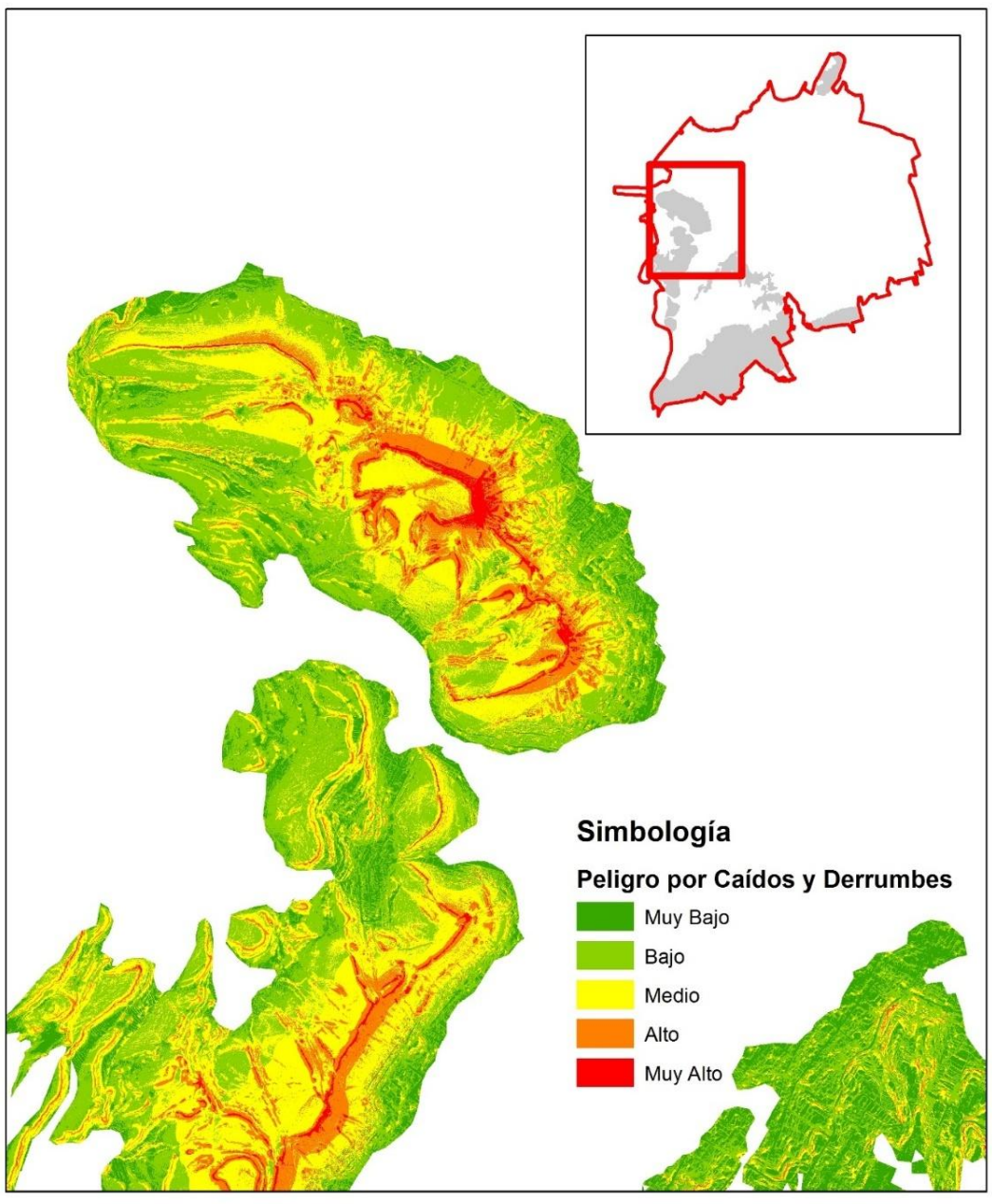


Figura 86. Peligro por caídos o derrumbes, acercamiento al cerro del Pueblo.

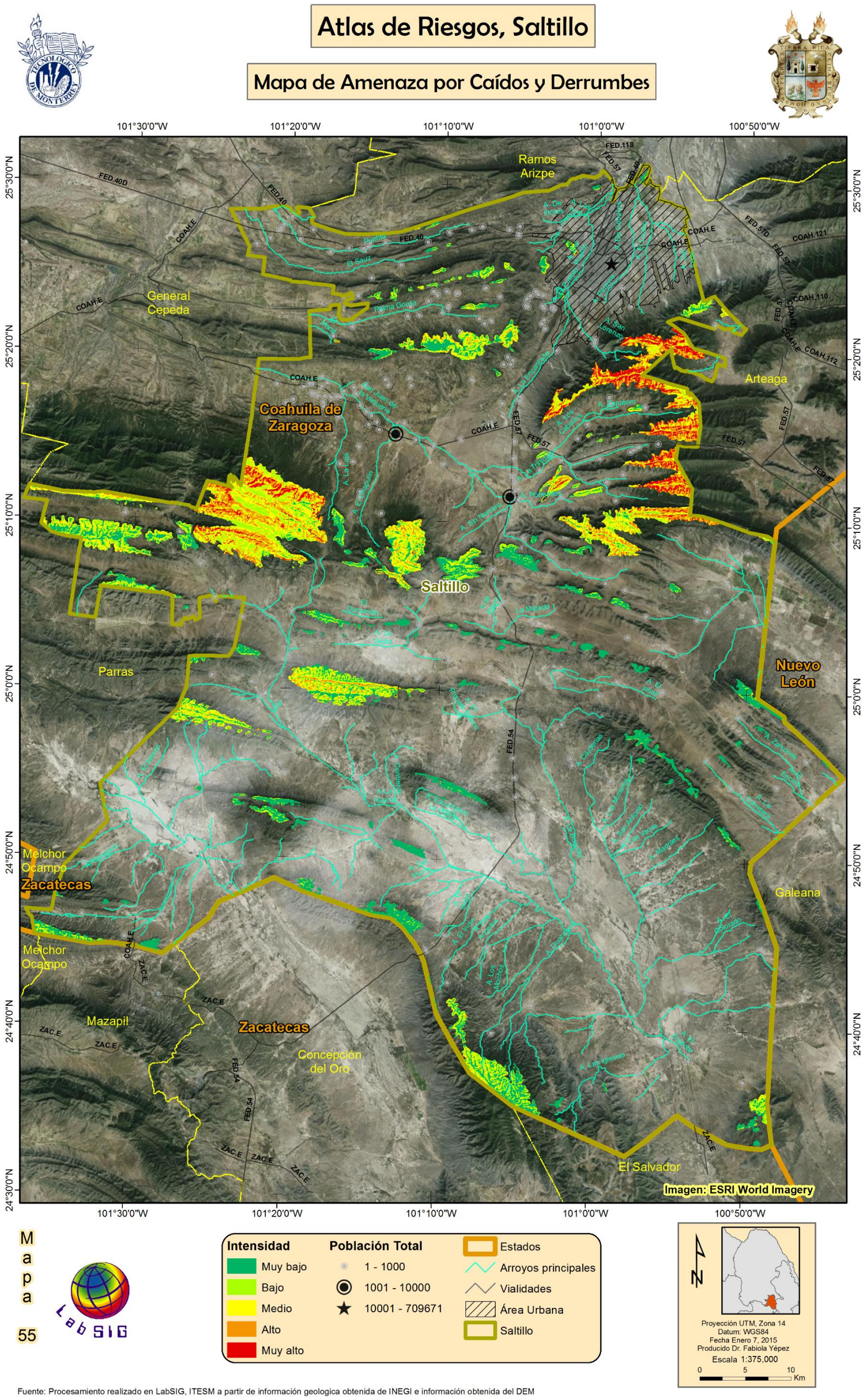


Figura 87. Peligros por caidos o derrumbes, zona rural.

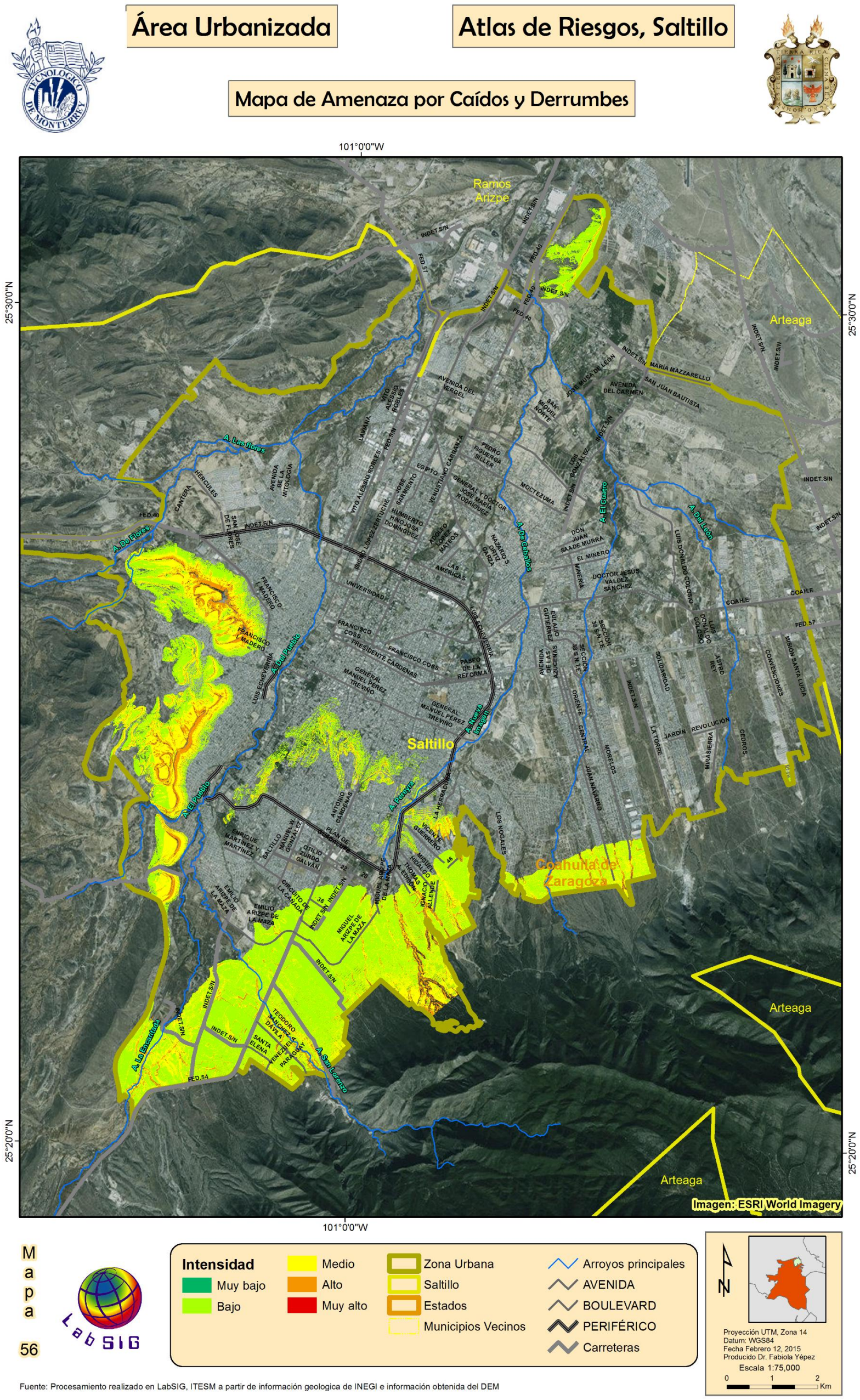


Figura 88. Mapa de amenaza por caídos y derrumbes, para la zona urbana.

5.2.7 Hundimientos

Hasta el momento no existe una fuente de datos sobre hundimientos en el territorio municipal de Saltillo, sin embargo como se ha visto en las visitas en campo, el hundimiento si es un fenómeno que ocurre dentro del municipio un ejemplo de esto se puede observar en la Figura 89. Debido a esto se decidió realizar una búsqueda de eventos de este tipo en los principales medios de comunicación de la región y por internet, los resultados de esta búsqueda se muestran en la Tabla 29 y de manera gráfica en la Figura 89.



Figura 89. Hundimiento documentado durante las visitas a campo.

Debido a la baja cantidad de información con respecto al fenómeno se categorizó todo el municipio bajo un mismo nivel de amenaza “nivel bajo”, con el cual se realizaron los mapas por amenaza de hundimientos a nivel rural en la Figura 91 y a nivel urbano en la Figura 92.

Tabla 29 Eventos de hundimientos registrados en el territorio municipal.

ID	Fecha	Localización	Evento	Referencia
1	19/02/2014	Colonia Manantiales del valle (25º, 30’, 58.28’’ N 100º,56’, 15.42’’O)	-Hundimientos en las colonias mencionadas -Gran cantidad de lluvias, y fallas en las tuberías provocaron hundimientos -Hundimientos de longitud de 30 metros -150 afectados en viviendas -El problema lleva sin solución aproximadamente 14 años	http://www.elheraldodeSaltillo.mx/coahuila/p2_articleid/86237 http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/aseguran-hay-mas-casas-danadas-por-los-hundimientos-1396164645 http://www.elheraldodeSaltillo.mx/ramos_arizpe/p2_articleid/86368
2	02/01/2014	Puente del Distribuidor “El Sarape” (25º, 25’ 39.44’’ N 100º, 58’, 11.63’’O)	-Hundimiento del puente distribuidor Se presentó un hundimiento de aproximadamente 25 centímetros en la orilla del carril -Ocasionado por las lluvias de varios días	http://www.vanguardia.com.mx/reportanhundimientoenpuentedeldistribuidorelsarapeenSaltillo-1914780.html
3	26/02/2014	Parque Las Maravillas (25º,24’,45.58’’ N 100º,57’,40.14’’ O)	-Desnivel en la totalidad de un carril de la entrada al Auditorio del Parque -Descubierta parte de la tubería de drenaje -Hundimiento de aproximadamente 4 metros de longitud	http://www.elheraldodeSaltillo.mx/Saltillo/p2_articleid/86699
4	16/07/2013	Zona Centro, Arroyo La Tórtola (25º,25’,02.39’’ N 100º 59’, 44.08’’ O)	Por una mala compactación de suelo, que cedió por las lluvias y la humedad, provocando un “derrumbe importante de 40 metros cuadrados”	http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/repararan-estado-y-municipio-de-Saltillo-hundimiento-en-zona-centro-1374008
5	13/11/2013	Colonia Saltillo 2000 (25º,27’,48.14’’ N 101º,01’,38.36’’ O)	Muchos hundimientos en la calle Nectarina, esquina con el Bulevar Javier García Narro Gas Natural, introdujo la línea de gas, pero por el mal compactamiento del suelo, provocan grandes baches	http://www.rcg.com.mx/nota/vecinos-de-Saltillo-2000-denuncian-hundimientos-en-obras-de-gas-natural



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica.

Figura 90. Mapa de localización de registros históricos de hundimientos.

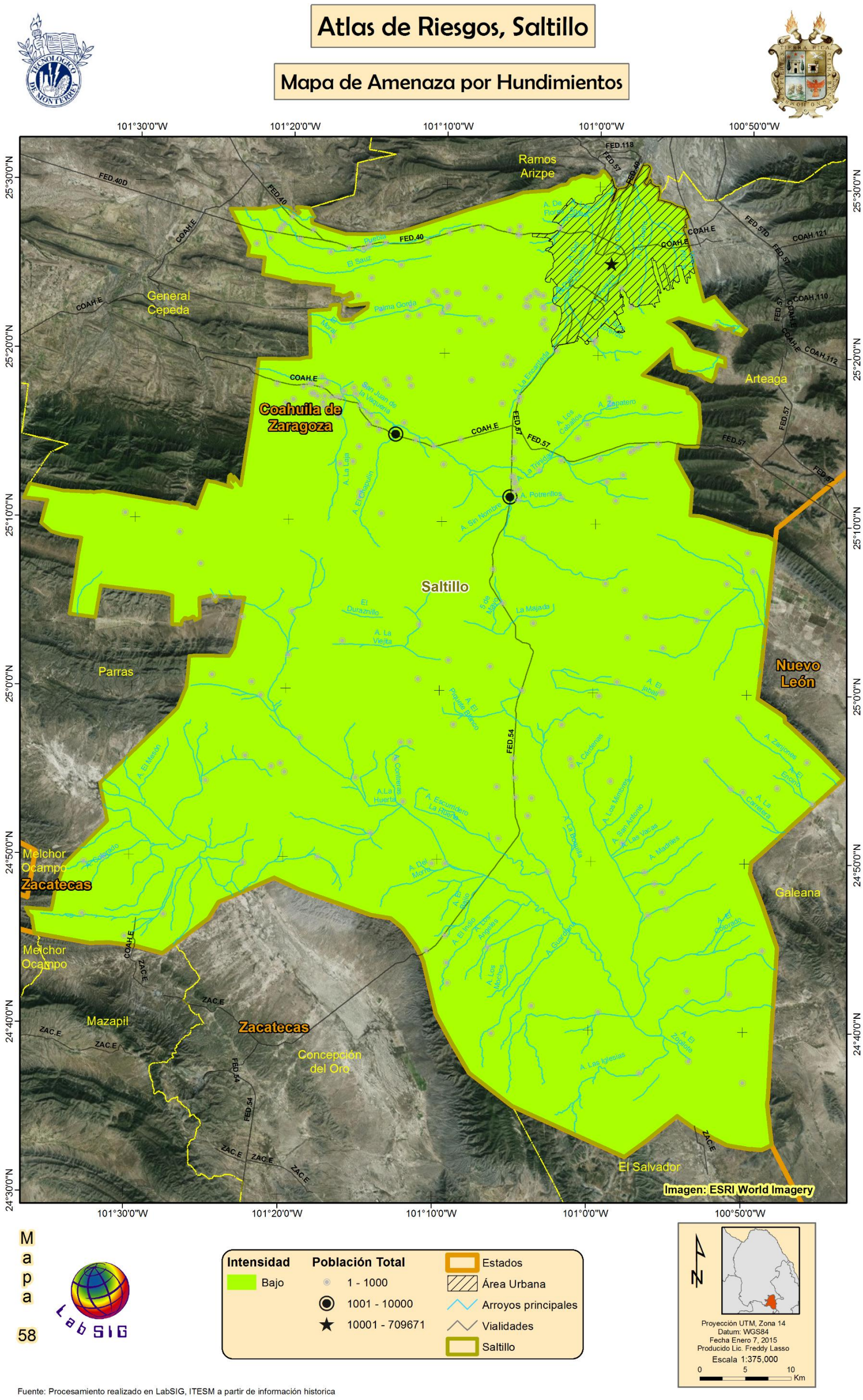


Figura 91. Mapa de amenaza por hundimientos para el área rural.

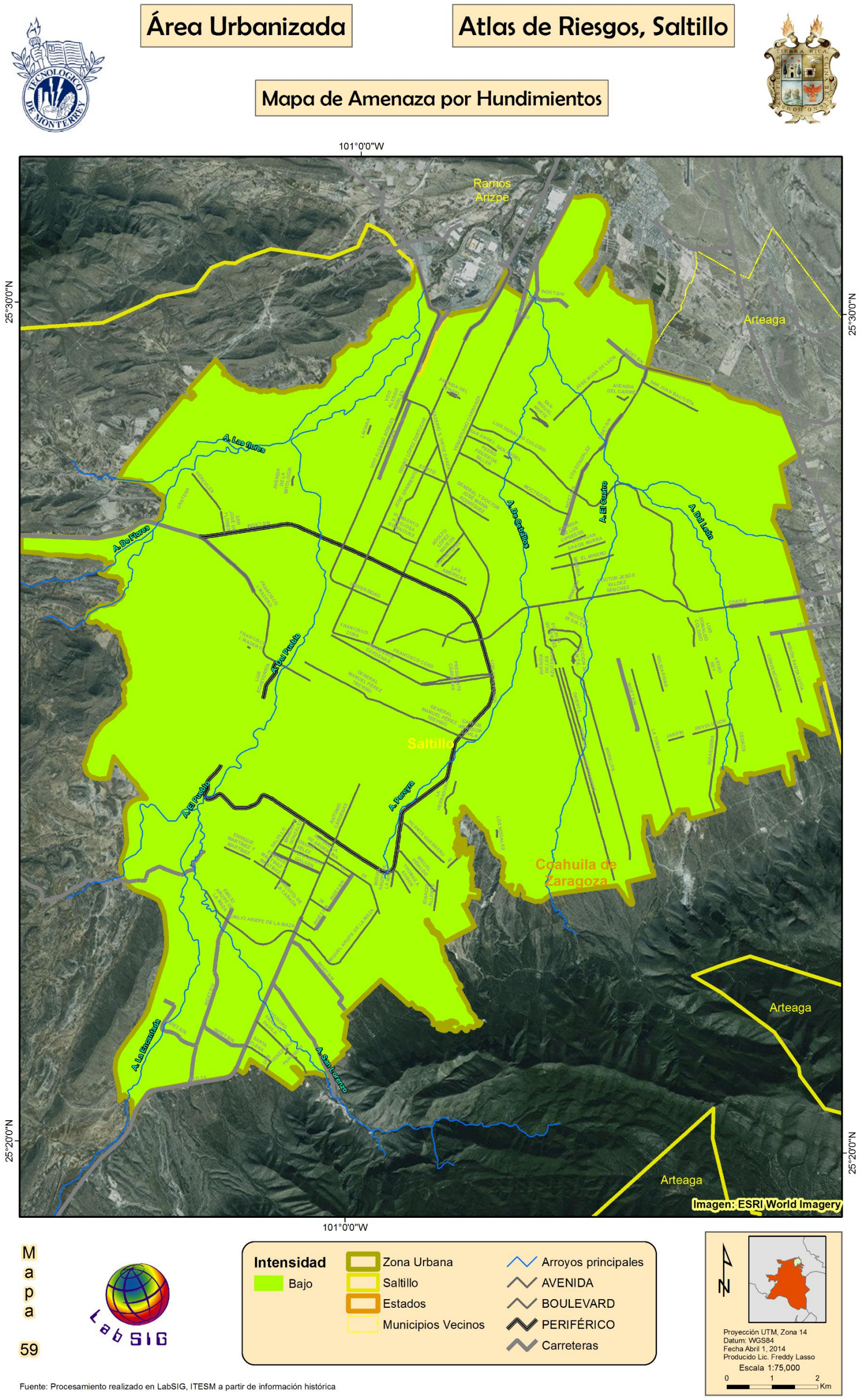


Figura 92. Mapa de Amenaza por hundimientos para la zona urbana.

5.2.8 Subsidencia

Los fuertes regímenes de extracción de sistemas acuíferos pueden producir hundimientos del terreno y aunado a ello se pueden generar fallas y fracturas en la infraestructura urbana visible así como también a las tuberías, drenajes y poliductos.

Se tomaron en cuenta tres aspectos: Información de pozos de agua (zonas de veda, volumen de extracción, densidad de pozos), geología (rocas y lineamientos) y minería subterránea (Figura 93).

Para poder realizar el siguiente procedimiento y comparar los diferentes tipos de información, fue necesario crear una rejilla, en las cuales se intersecto la información puntual de pozos y minas, información lineal de estructuras geológicas y polígonos correspondientes a la información de cobertura de rocas y acuíferos. Se utilizó una rejilla de 20 hectáreas para la zona urbana del municipio y una rejilla de 5 Km^2 para el resto del Municipio (Figura 94).

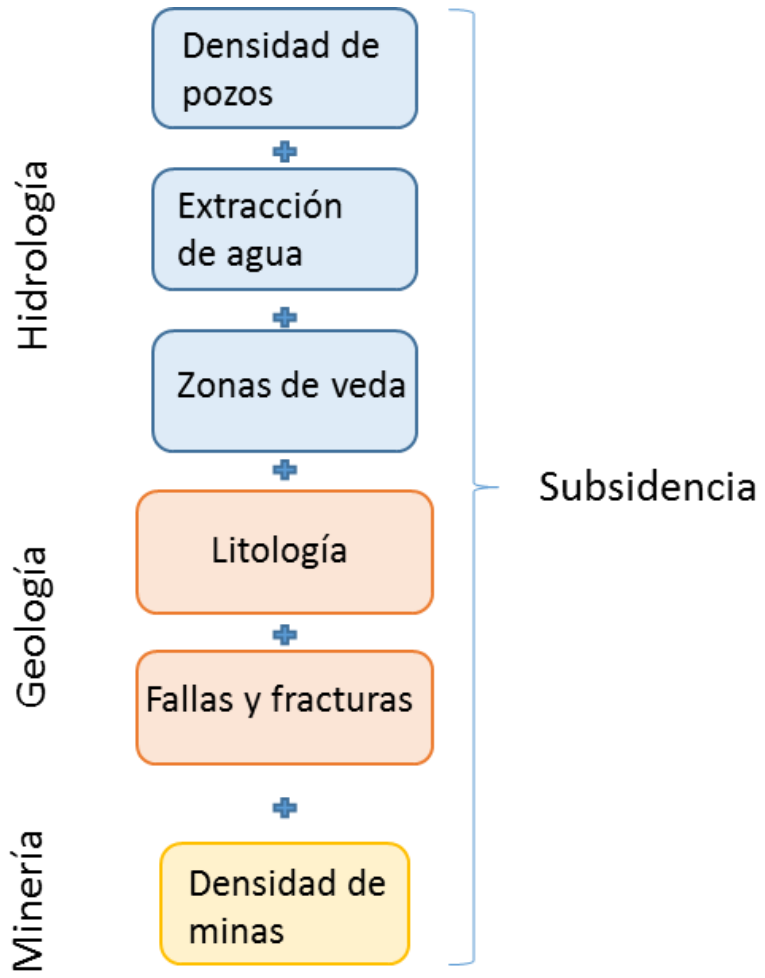


Figura 93. Diagrama de elementos utilizados para el reconocimiento de zonas con mayor probabilidad de subsidencia.

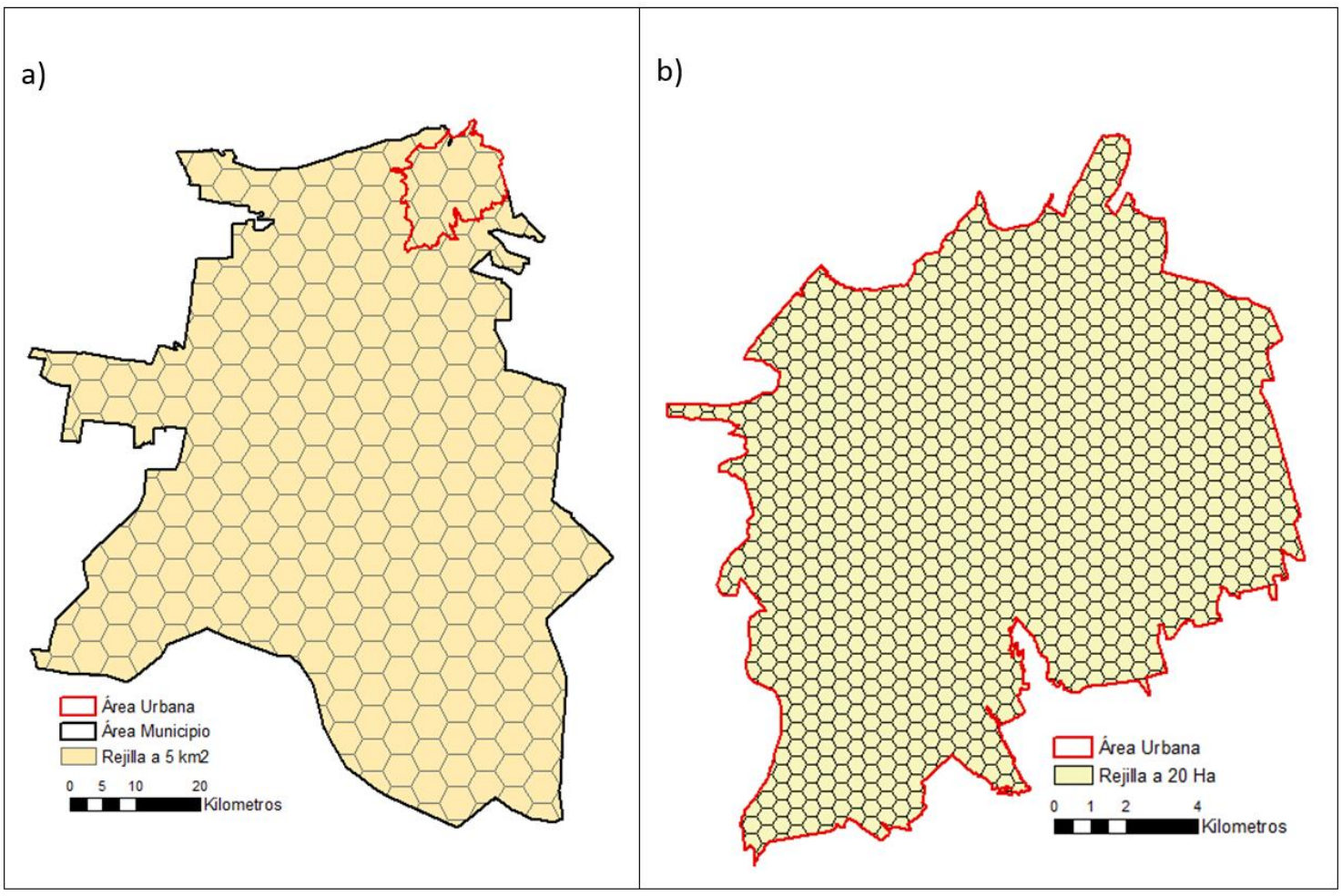


Figura 94. Rejillas utilizadas para procesar la información. a) Área municipal, b) área urbana.

5.2.8.1 Hidrología

El fenómeno de subsidencia está estrechamente ligado a la sobre explotación de agua del subsuelo, para poder medir este fenómeno fue necesario recolectar y revisar determinada información. En este caso para obtener la componente hidrológica del municipio de Saltillo, se tomaron en cuenta las zonas de veda asignadas dentro del municipio, el número de pozos de extracción de agua, su ubicación y volumen de extracción correspondiente y los acuíferos dentro en los cuales se ubican estos pozos.

5.2.8.2 Zonas de Veda

Existen dos zonas de veda que cubren entre ellas la totalidad del municipio de Saltillo, tanto dentro de la zona urbana como fuera de ella, listada en la Tabla 30 y mostradas de manera gráfica en la Figura 95. Al estar todo el municipio bajo la misma condición de vedas, se despreció esta variable del cálculo al considerarse este riesgo de manera homogénea dentro de toda la zona.

Tabla 30. Zonas de Veda en el territorio municipal de Saltillo.

Nombre	Nombre Oficial
Cd. Saltillo	Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en los terrenos de la ciudad de Saltillo, Coah., en la zona que el mismo delimita.
Ampliación de Cd. Saltillo	Decreto por el que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas subterráneas, de la zona no vedada por el diverso publicado el 7 de febrero de 1952, en el área que ocupa el Municipio de Saltillo, Coah., y se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en dicha zona.

Pozos

A partir de la información de los pozos localizados dentro del Municipio de Saltillo, se obtuvieron 2 parámetros, densidad de pozo, en base al número de pozos ubicados dentro de cada polígono de la rejilla y se obtuvo también el volumen de extracción por polígono, en base al total de extracción por acuífero, y la suma total de extracción dentro del municipio.

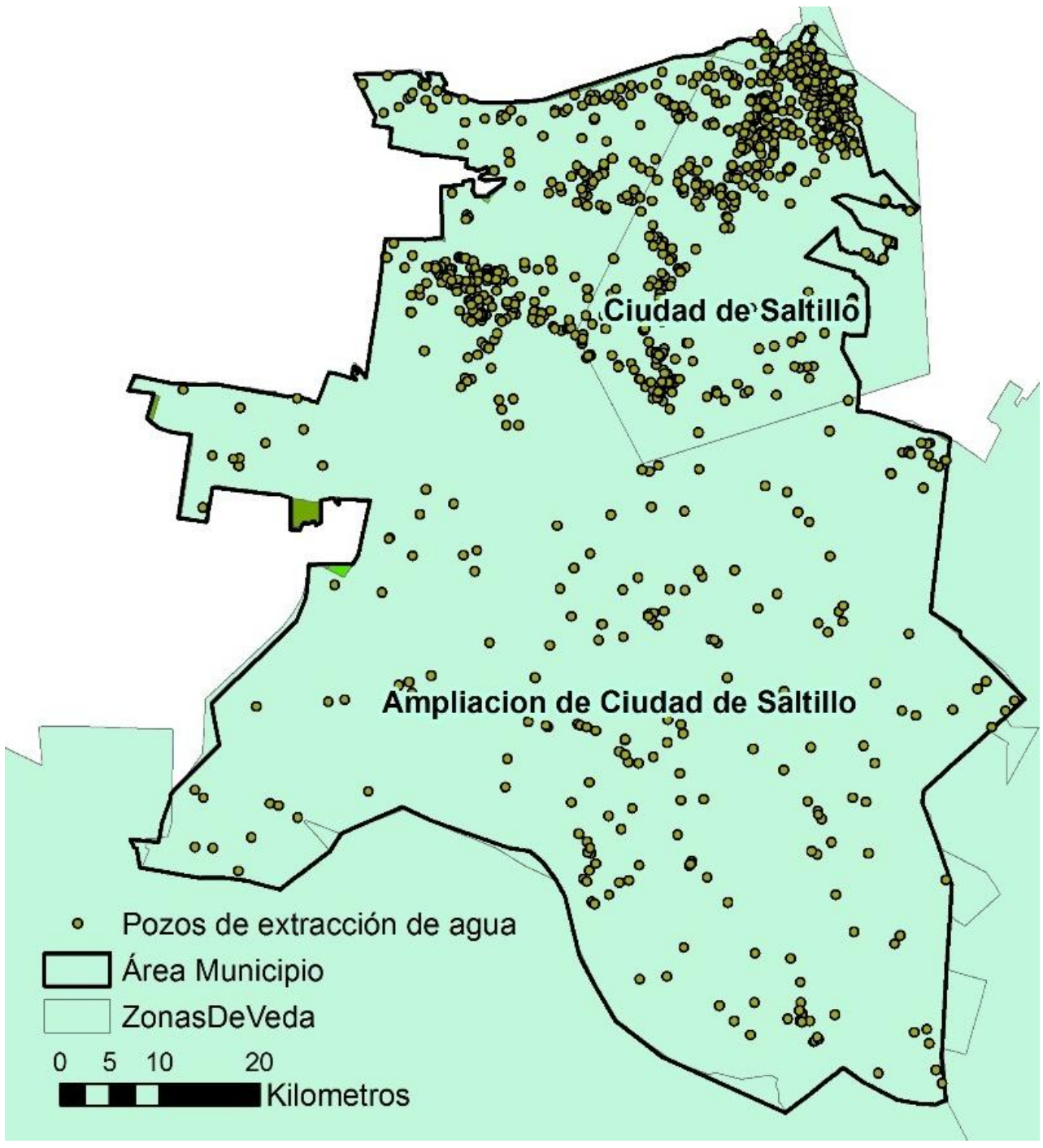


Figura 95. Mapa de zonas de veda en el territorio municipal de Saltillo.

Para obtener la densidad de pozo por polígono se realizó un cálculo simple que consiste en contar el número de pozos contenidos en cada polígono de la rejilla y dividirlo entre la suma total de pozos ubicados en el municipio. En total se contabilizaron 405 Pozos dentro del área urbana

y 1095 para todo el municipio, con ese dato se calculó la densidad de pozos por polígono (Figura 96) la relación de clave de densidad contra número de pozos se muestra en la Tabla 32.

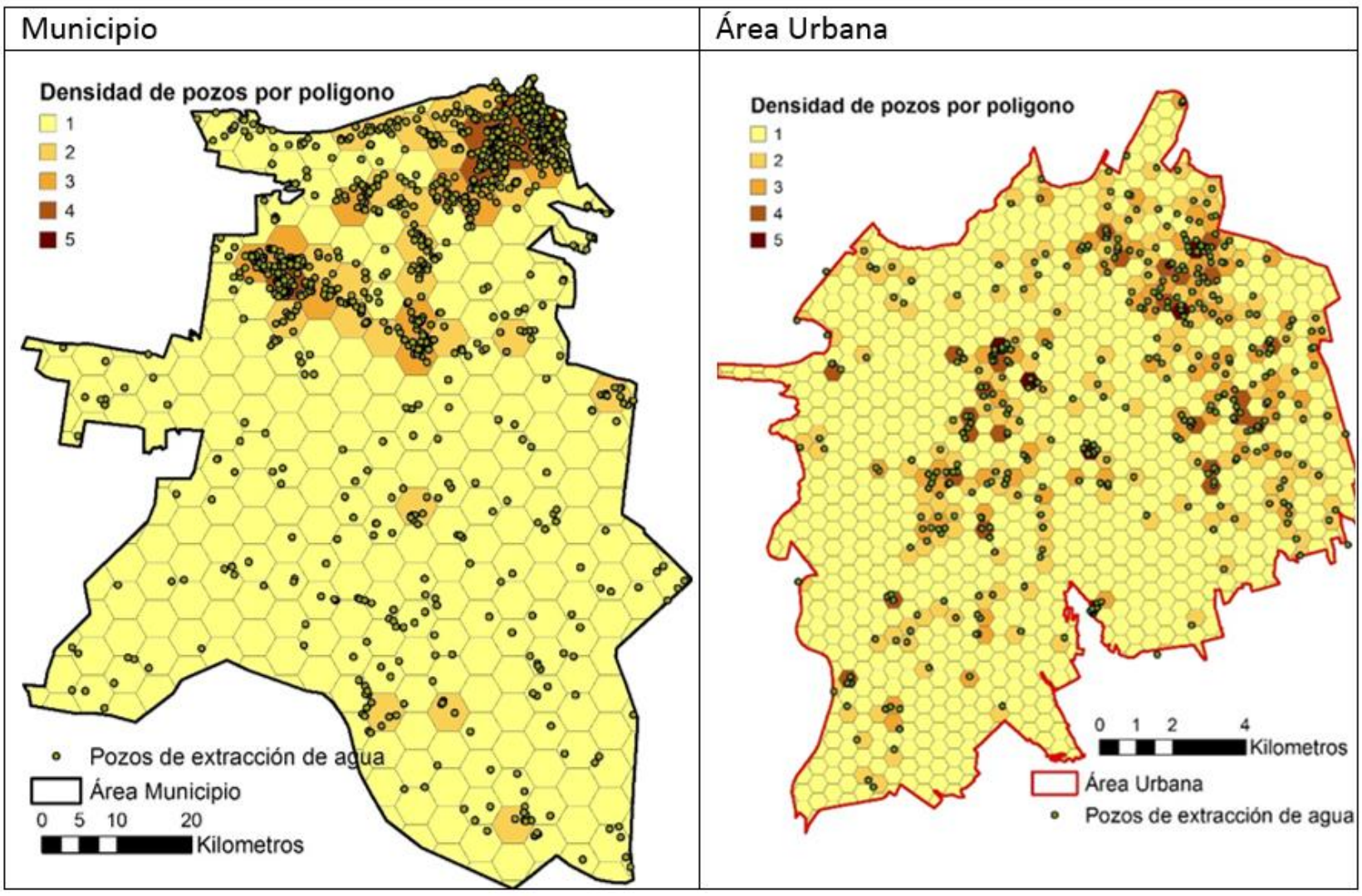


Figura 96. Mapa de la Densidad de pozos de extracción de agua en Saltillo.

Para comparar el volumen de extracción se obtuvo el porcentaje de extracción de los pozos con respecto al total del acuífero al que pertenece cada punto (los acuíferos que tienen relación con el municipio de Saltillo se muestran en la Figura 97) y el porcentaje con respecto al total del volumen de extracción del municipio. En el caso del cálculo para el área urbana se decidió utilizar la suma de extracción total únicamente de la misma área urbana.

Los datos utilizados como máximos se muestran en la Tabla 31, mientras que la distribución de rangos y categorías se muestran en la Tabla 32 para la relación de pozos por polígonos y en la Tabla 33 para la relación de extracción por polígono.

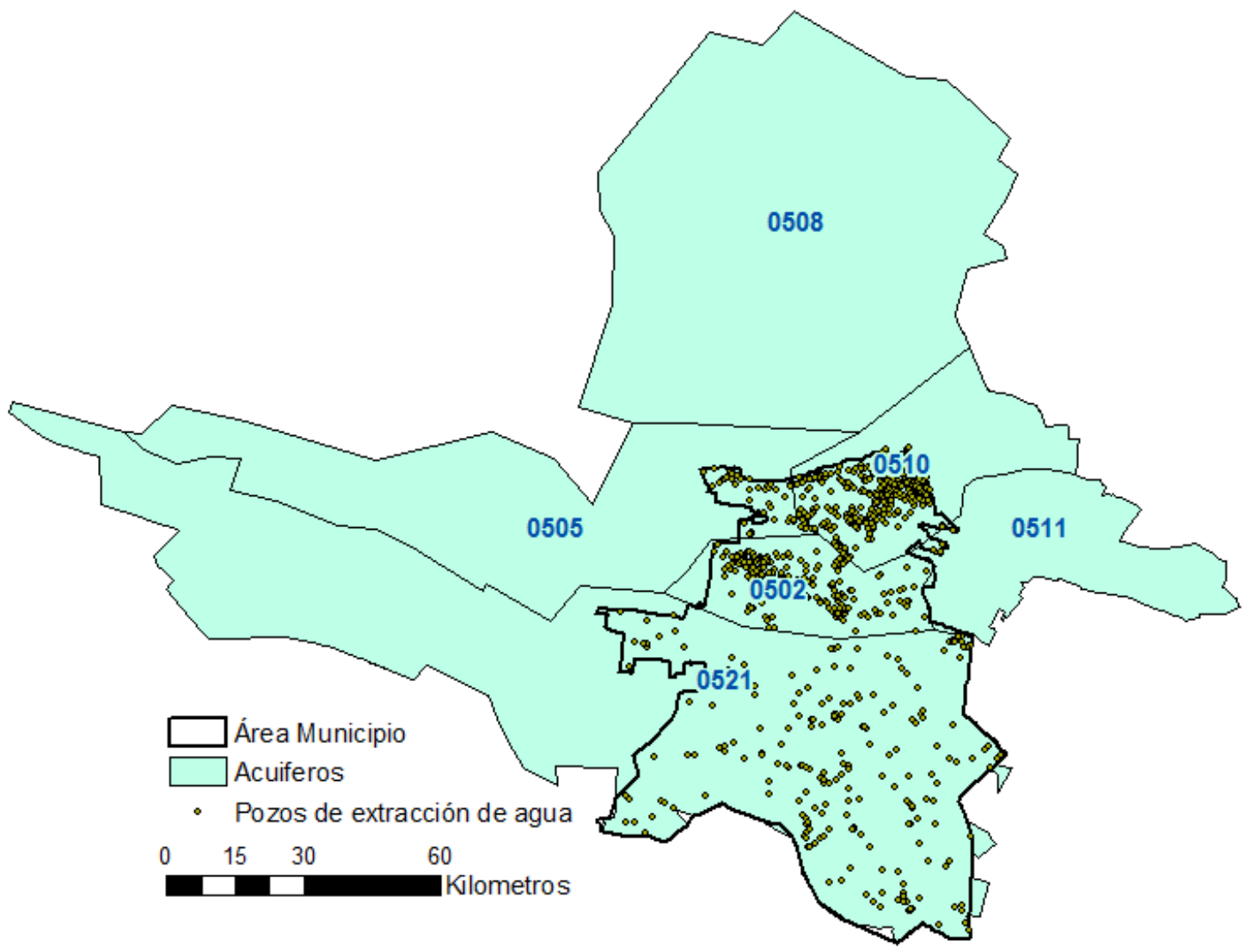


Figura 97. Acuíferos que cubren el municipio de Saltillo.

Tabla 31. Resultados totales de susceptibilidad por factores Hidrogeológicos.

Área Urbana						
Máximo Numero de Pozos por polígono	**Máximo Densidad de pozo por polígono**	**Volumen de extracción total (l/s)**	**Máximo Vol. De Extracción (l/s)**	**Máximo % de extracción por área urbana**	**Máximo % de extracción por acuífero**	**Máximo % de extracción por municipio**
7	1.72	8,312,924	420,000	5.03	2.48	0.99
Municipio						
Máximo Numero de Pozos por polígono	Máximo Densidad de pozo por polígono	Volumen de extracción total (l/s)	Máximo Vol. De Extracción (l/s)	Máximo % de extracción por acuífero	Máximo % de extracción por municipio	
92	8	42,088,370	2,844,800	26.90	6.75	

Tabla 32. Relación Pozos por polígono (Wp)..

Área Urbana			**Municipio**		
Número de Pozos	**Densidad de Pozo**	**Clave (Wp)**	**Número de Pozos**	**Densidad de Pozo**	**Clave (Wp)**
0	0-0.246	1	0	0	1
1	0.246-0.493	2	1-23	0-2.1	2
2	0.493-0.74	3	23-46	2.1-4.2	3
3-4	0.74-0.98	4	46-58	4.2-6.3	4
5-7	0.98-1.728	5	58-92	6.3-8.4	5

Tabla 33 . Relación Extracción por polígono.

Área Urbana				**Municipio**			
Por Área Urbana (extracción de agua)	**Clave**	**Por Acuífero (extracción de agua)**	**Clave**	**Por Municipio**	**Clave**	**Por acuífero**	**clave**
0 - 0.004318	1	0 - 0.000753	1	0	1	0	1
0.004318 - 0.4857	2	0.000753 - 0.143325	2	0-7.5	2	0-1.7	2
0.4857 - 1.43951	3	0.143325 - 0.349967	3	7.5-15	3	1.7-3.4	3
1.43951 - 2.974658	4	0.349967 - 0.84	4	15-22.5	4	3.4-5.1	4
2.97 - 5.0377	5	0.84 - 2.48	5	22.5-30	5	5.1-6.8	5

Se realizó una suma de las claves de cada uno de los componentes, en la Figura 98 se observa el resultado de la suma de valores hidrometeorológicos, dividido en 5 categorías, donde el 5 corresponde a los valores más altos.

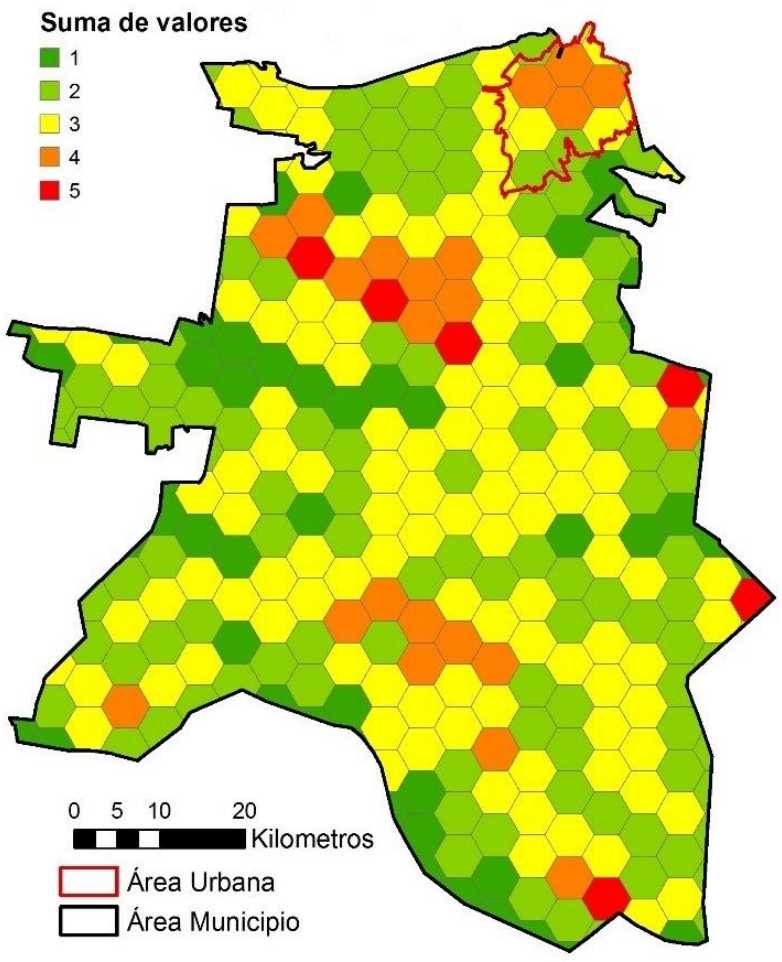


Figura 98. Suma de valores Hídricos, dividido en 5 categorías, donde el 5 corresponde a los valores más altos.

5.2.8.3 Litología

Se intersectó la capa de la geología con la capa que presenta los polígonos de 20 ha para el área urbana y 5 km^2 para el área municipal. En el caso de coexistir 2 tipos de roca distintos en un mismo polígono, entonces el polígono conserva la clave de la roca que abarca una mayor cobertura sobre el mismo.

Las claves utilizadas se muestran en la Tabla 34, el resultado de calcular la clave para cada uno de los polígonos, para la zona municipal se muestra en la Figura 99.

Tabla 34. Tipos de rocas y relaciones.

Grupo	Tipo de roca	Clave (Wr)
Depósitos no consolidados	Aluvial	5
	Conglomerado	
	Lacustre	
	Residual	
Calizas	Caliza	4
Yesos	Residual	3
Rocas Sedimentarias	Arenisca	2
	Arenisca-Conglomerado	
	Caliza-Lutita	
	Lutita	
	Litita-Arenisca	
	Travertino	
Rocas Ígneas	Andesita	1
	Basalto	
	Basalto-Brecha volcánica básica	
	Brecha volcánica ácida	
	Brecha volcánica básica	
	Dacita	
	Diorita	
	Granito	
	Granodiorita	
	Latita	
	Pórfido riolítico	
	Riodacita	
	Riolita	
	Riolita-Toba ácida	
	Sienita	
	Toba ácida	
	Toba básica	
	Tonalita	
Rocas Metamórficas	Cuarcita	1
	Esquisto	

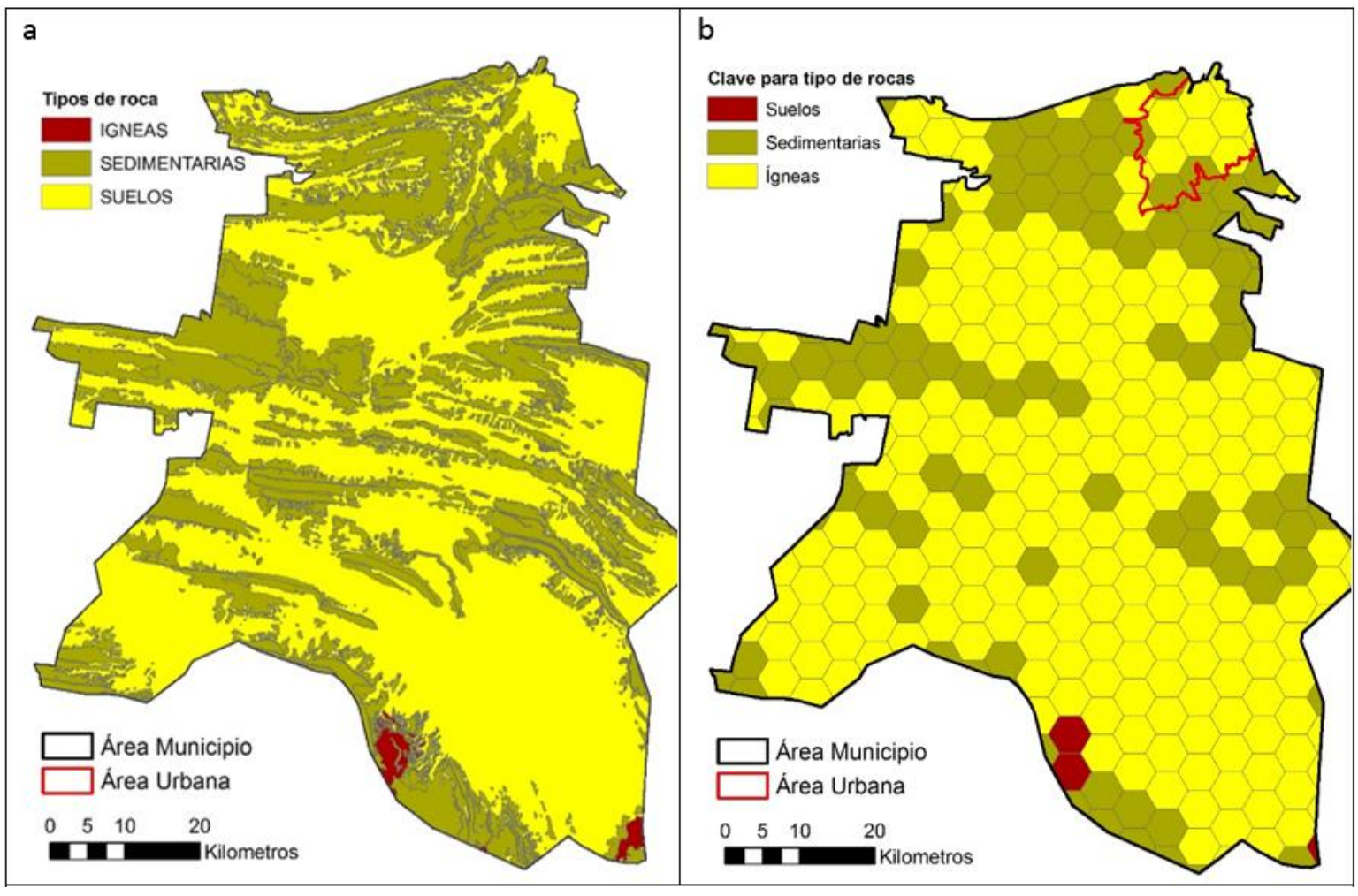


Figura 99. Mapa de cobertura geológica para la rejilla. a) Tipos de roca dentro del área municipal de Saltillo, b) Reclasificación en base al porcentaje de cobertura dentro de un polígono.

5.2.8.4 Estructuras

Por estructuras se tomaron en cuenta todas las fallas y fracturas de la zona, obtenidas de los Mapas Geológicos elaborados por INEGI. A partir las estructuras se tomó en cuenta un área de influencia a 300 metros alrededor de estas y posteriormente se calculó el porcentaje de área que cubren las estructuras geológicas dentro de cada polígono. Se muestra como ejemplo el mapa resultante para el área urbana en la Figura 100.



Figura 100. Cobertura de estructuras geológicas (como fallas y fracturas) por polígono.

5.2.8.5 Minería

Existen casi 30 reportes de minas aparentemente subterráneas dentro del Municipio, reportándose la mayoría abandonada y apenas 5 aún en producción (tabla 23).

Tabla 35. Minas reportadas en el área municipal d Saltillo.

Substancia	Cantidad
Yeso	2
Pb, Zn, Au	1
Pb, Zn	2
Fosforita	13
Barita	4
Au, Cu	4
Au, Cu, Ag	1
Ag, Cu, Fe	1
Se desconoce	2
Total	30

Para el área urbana del municipio de Saltillo no se consideró esta variable, pues no se cuenta con la información necesaria. El mapa resultante de la ubicación de las minas registradas se observa en la Figura 101. Este mapa está categorizado según la cantidad de minas que se encuentren dentro de cada polígono, el valor más alto corresponde a tres minas por una sola casilla.

5.2.8.6 Resultados

Se generaron dos resultados, uno para la parte hídrica, derivada de la información de pozos, y la otra parte envuelve las componentes geológicas, entendiendo por estas la litología, las estructuras y la minería. A este resultado se le agrega una componente más que son las estructuras geológicas.

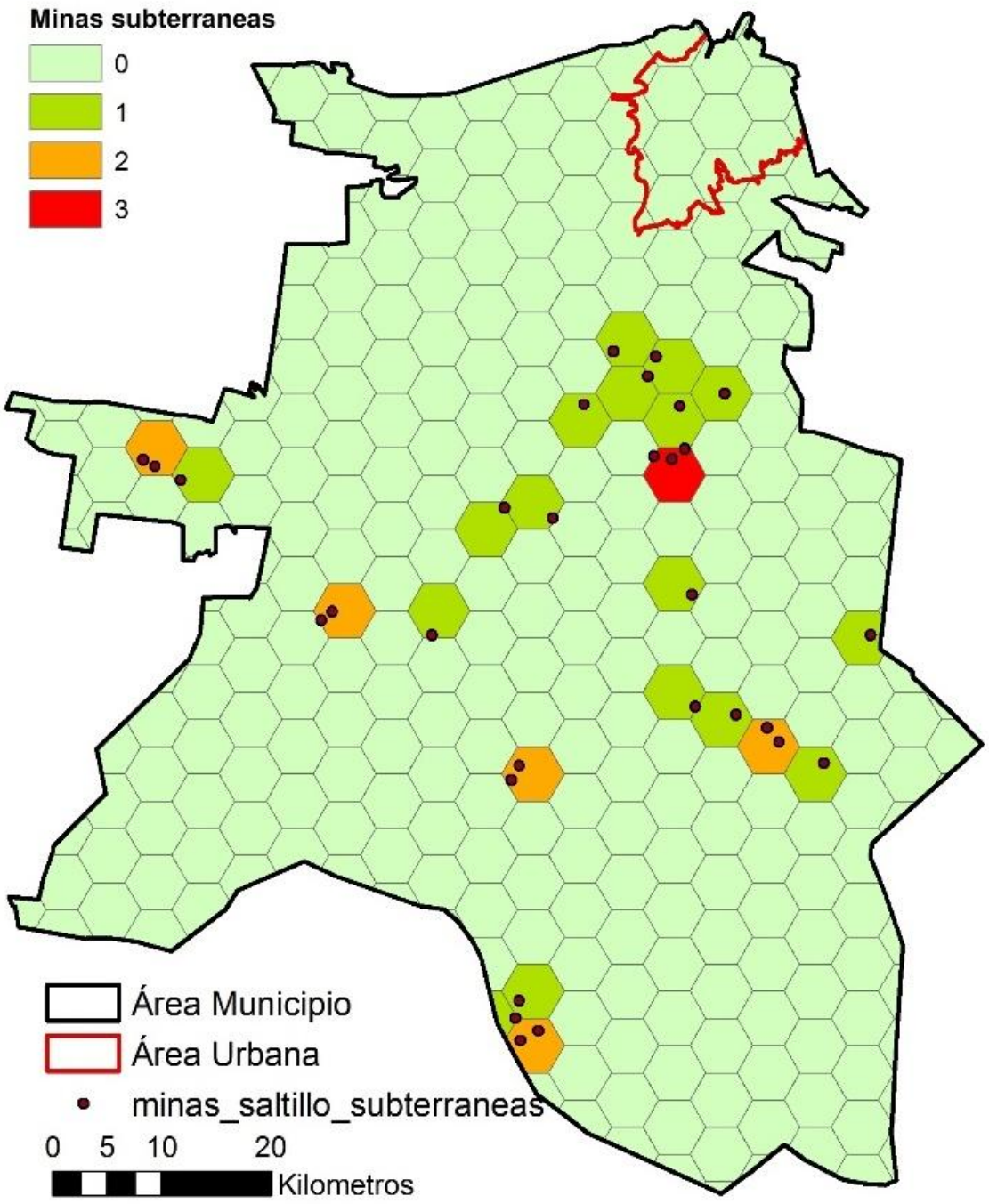


Figura 101. Mapa de minas subterráneas presentes en el área municipal de Saltillo.

Finalmente el resultado es la suma de todos los componentes (hidrogeología y geología) que después fueron categorizados de muy Alto a nivel muy bajo, la categorización de los resultados se puede observar a más detalle en la Tabla 36.

Tabla 36. Categorización de los resultados finales del análisis de peligro de Subsidencia.

Área Urbana		**Municipio**	
Suma total	Categoría	Suma total	Categoría
0-4	Muy Baja	0-6	Muy Baja
4.01-8	Baja	6-9	Baja
8.01-12	Media	9-12	Media
12.01-16	Alta	12-14	Alta
16.01-20	Muy Alta	14-23	Muy Alta

Dentro del municipio de Saltillo existen zonas que son vulnerables ante el fenómeno de la subsidencia, derivado de un conjunto de los diferentes factores como mayor cantidad de extracción de agua, tipos de roca que son solubles ante el agua, fallas y fracturas presentes y estructuras subterráneas. En este caso los resultados se obtuvieron tomando en cuenta las zonas en las que oficialmente existen datos sobre estructuras subterráneas, sin embargo podría haber más oquedades subterráneas no documentadas, como cavernas naturales o túneles subterráneos que puedan afectar la estabilidad del terreno.

El mapa resultante del presente procedimiento se muestra en la Figura 102 para el área municipal y en la Figura 103, que comprende únicamente el área urbana.

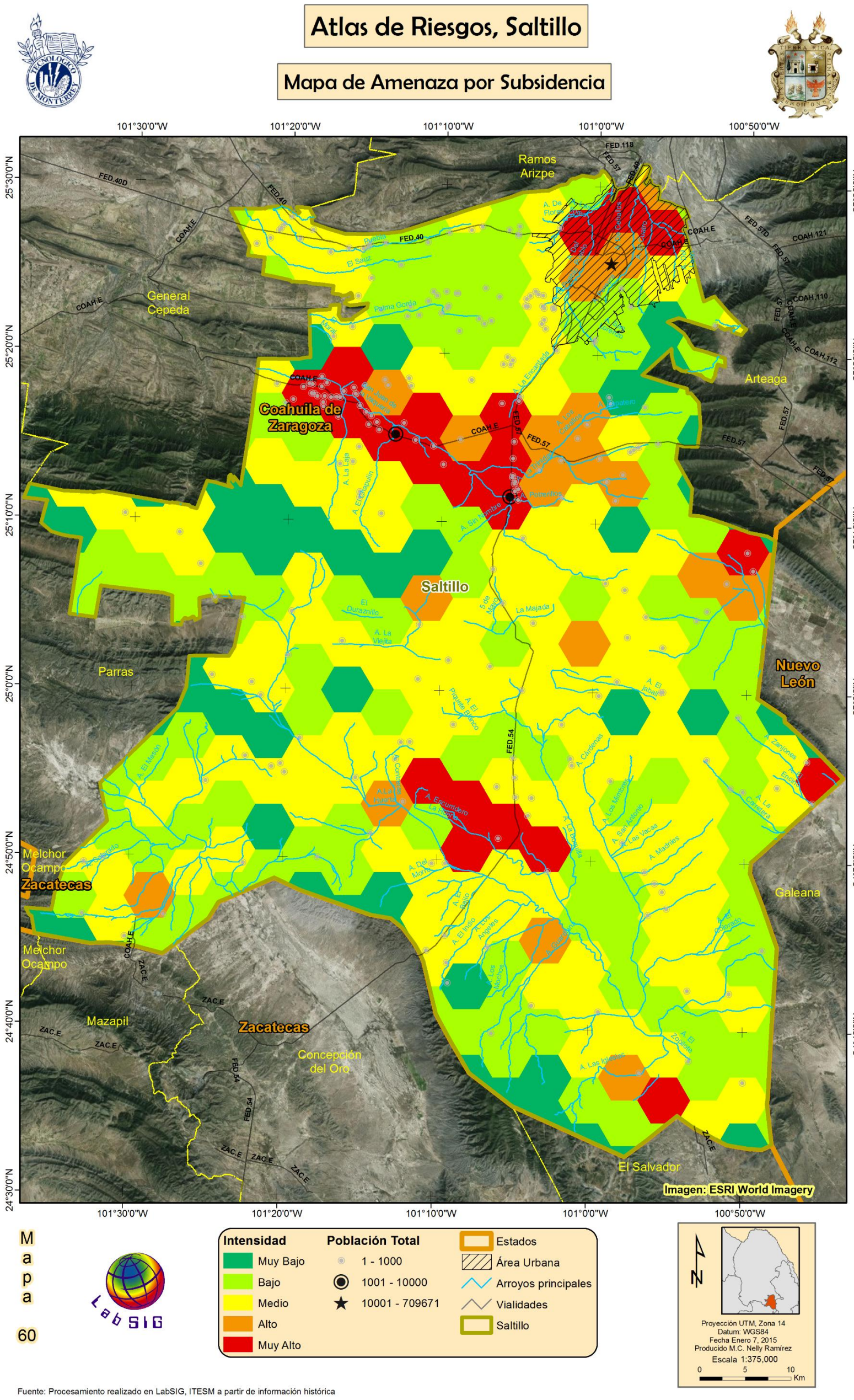


Figura 102. Resultados de Análisis de subsidencia para el área municipal.

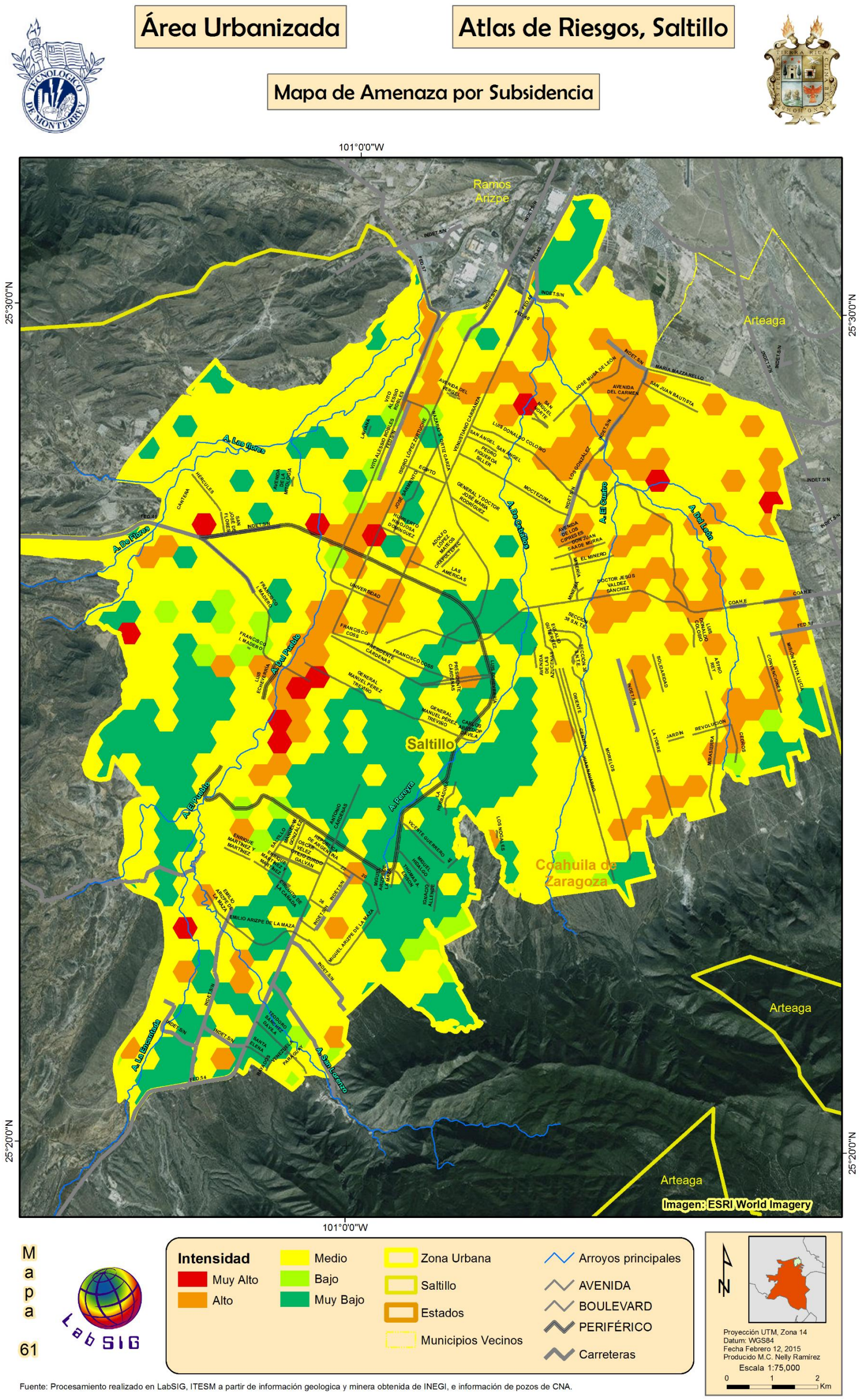


Figura 103. Resultados de Análisis de subsidencia para zona urbana de Saltillo.

5.2.9 Agrietamientos

Según el atlas de riesgo nacional “el agrietamiento del terreno es la manifestación superficial y en ocasiones a profundidad, de una serie de esfuerzos de tensión y distorsiones que se generan en el subsuelo debido a las fuerzas y deformaciones inducidas por el hundimiento regional, la desecación de los suelos, los deslizamientos de laderas, la aplicación de sobrecargas, la ocurrencia de sismos, la presencia de fallas geológicas, la licuación de suelos, la generación de flujos subterráneos, las excavaciones subterráneas, entre otros..” Considerando el cubrimiento de estos factores se realizó una cruza de la información ya generada y presentada en el Capítulo 5.2.8 con el afán de localizar zonas con diferente grado de probabilidad de ocurrencia de agrietamientos.

La capa con mayor relación en este caso es la subsidencia (Figura 104 A), (cuyo procedimiento se encuentra mejor explicado en el Capítulo 5.2.8) que involucra las zonas donde es mayor la explotación y cantidad por pozos de extracción de agua, las zonas donde las rocas son más vulnerables a este tipo de procesos por su composición y por la cercanía a estructuras geológicas, tales como fallas y fracturas.

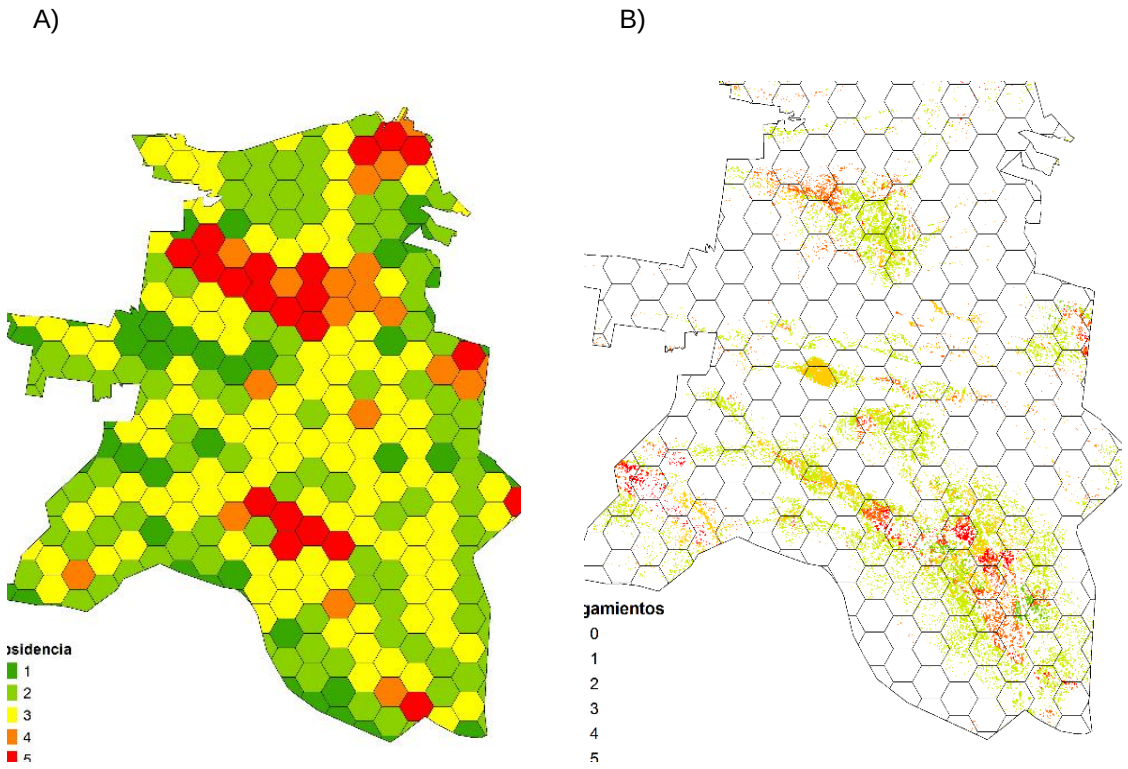


Figura 104. Capas utilizadas en la cruza para generar mapa de amenaza por agrietamiento: a) imagen del resultado de aplicar el procedimiento para generar las zonas de mayor amenaza por subsidencia, b) zonas con diferente amenaza por inundaciones pluviales.

Este proceso anterior fue mezclado con las zonas propensas a la generación de inundaciones pluviales (Figura 104B), proceso para el cual se muestra su procedimiento en el capítulo 5.3.11, en donde se explica que para generar estas zonas se tomaron en cuenta consideraciones como cobertura de suelo, zonas planas (en relación a la pendiente y geoforma), y nivel de escurrimiento. Para poder llevar a cabo la cruza de ambas capas, estas fueron convertidas a formato ráster, en donde cada pixel toma el valor agregado de una capa con respecto a la otra, las zonas que coinciden con el mayor valor en ambas capas (5) resultan en un valor de 10, este último número es considerado el valor máximo de amenaza hasta el momento.

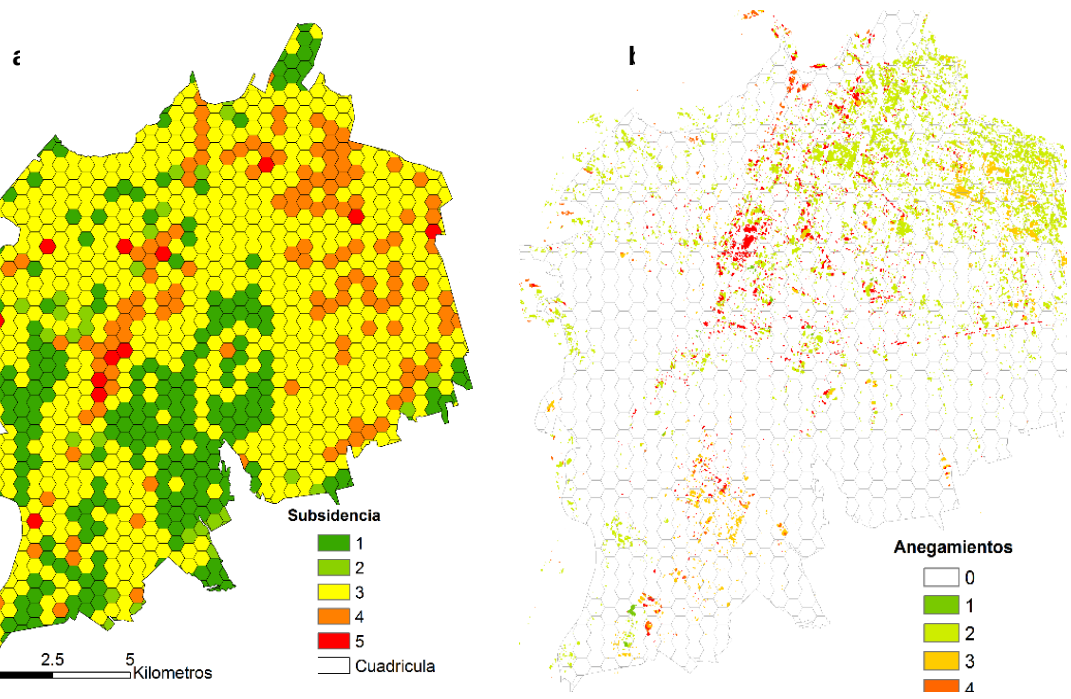


Figura 105. Localización de zonas propensas a inundaciones pluviales (b) y diferente categorización de amenaza con respecto a la probabilidad de subsidencia, para la zona urbana.

La tercera característica considerada en este procedimiento es la Aridez (capítulo 5.3.2.1), las cuales se distinguen por la presencia de muy altas temperaturas combinadas con precipitación escasa, además es característico que las zonas que presentan un grado alto de aridez, como es el caso del Municipio de Saltillo, también presentan temporadas de heladas o temperaturas mínimas extremas en sus etapas invernales. Las temperaturas extremas y sus cambios abruptos consecuentemente generan una desecación de los suelos y aumentan notablemente la generación de agrietamientos.

Se tomaron en cuenta 4 diferentes índices de delimitación de este problema, el Índice de Lang, Martonne, Knoche y el índice identificador de zonas de sequía, los cuales involucran parámetros como temperatura, días de lluvia al año y cantidad de precipitación al año (suma total o promedio). Estos parámetros fueron sumados desde su archivo ráster y re categorizados, para delimitar las zonas áridas recurrentes (Figura 106).

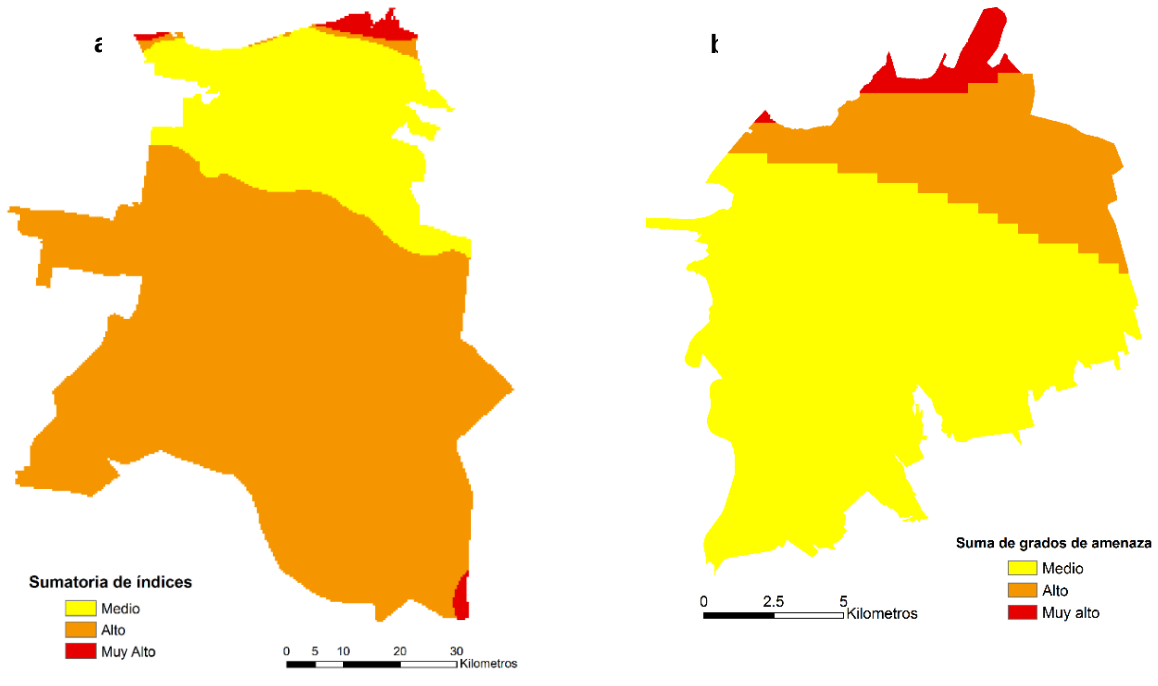


Figura 106. Resultado de la sumatoria de los índices de aridez y el índice de sequía, para la zona rural (a) y la zona urbana (b).

Finalmente los resultados de las capas son sumados, dos a la vez, se realizó primero la sumatoria de las capas de anegamientos y subsidencia, para posteriormente sumarlo a la capa de aridez resultante. Los resultados de dichas sumatorias a nivel urbano se encuentran en la Figura 107 y en la Figura 108 se muestran los resultados a nivel rural.

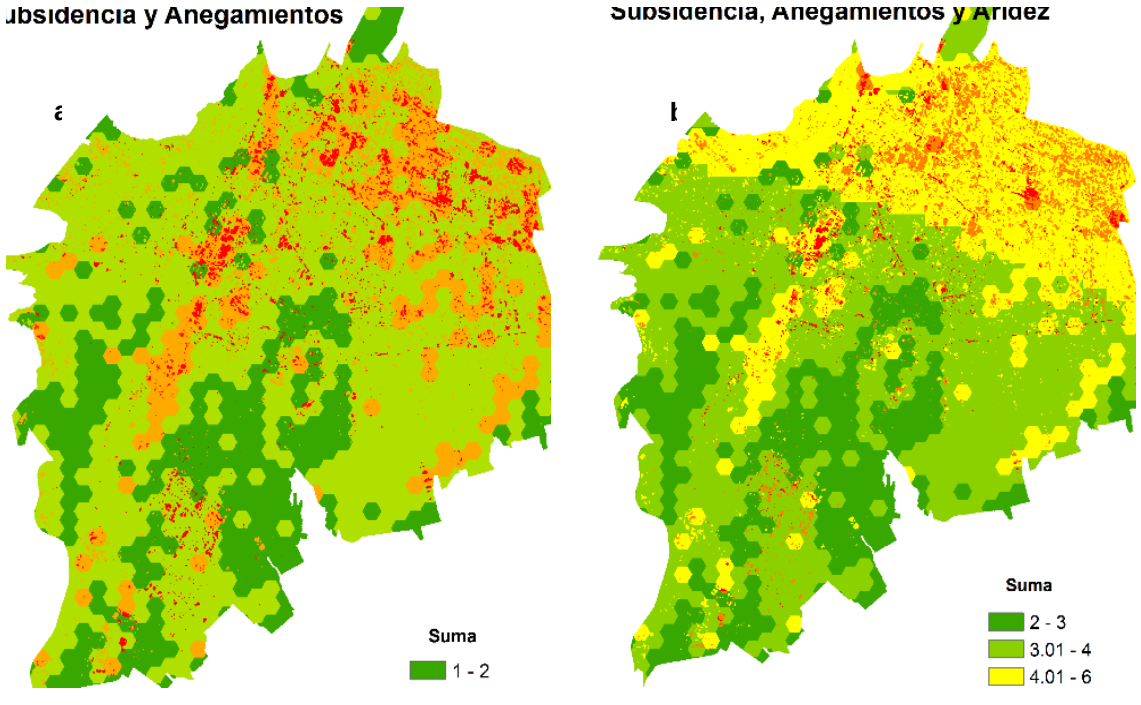


Figura 107. Resultados para la zona urbana de la sumatoria entre los diferentes grados de probabilidad de subsidencia y las zonas propensas a inundaciones pluviales (a) y los resultados después de agregar la capa de aridez (b).

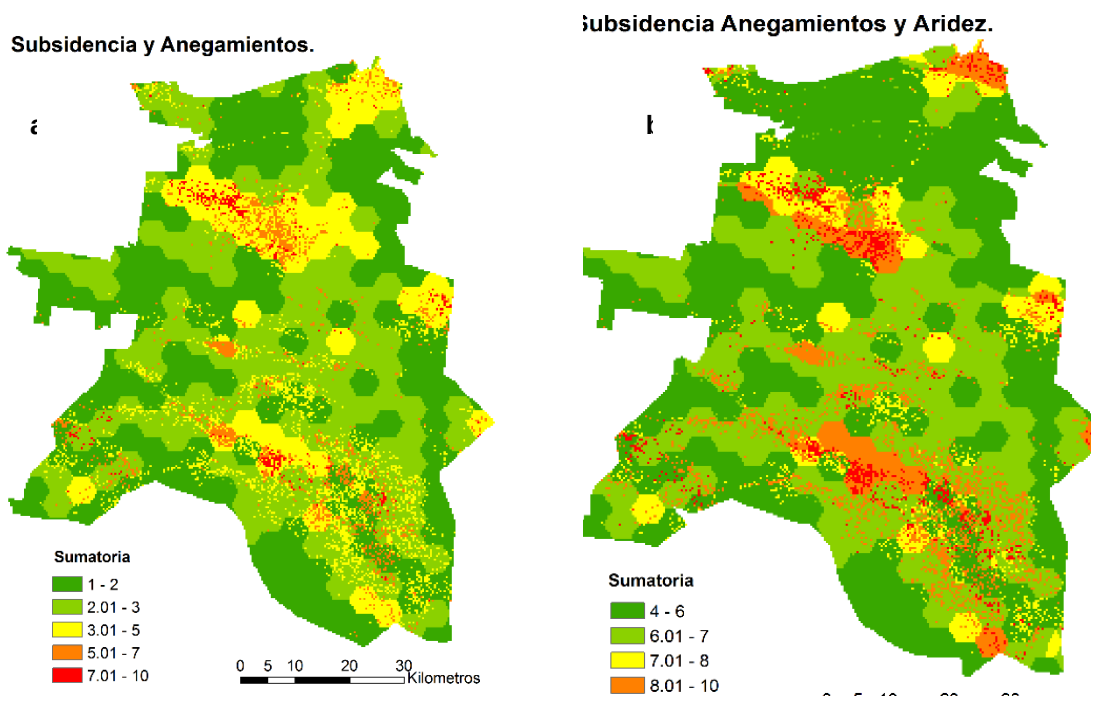
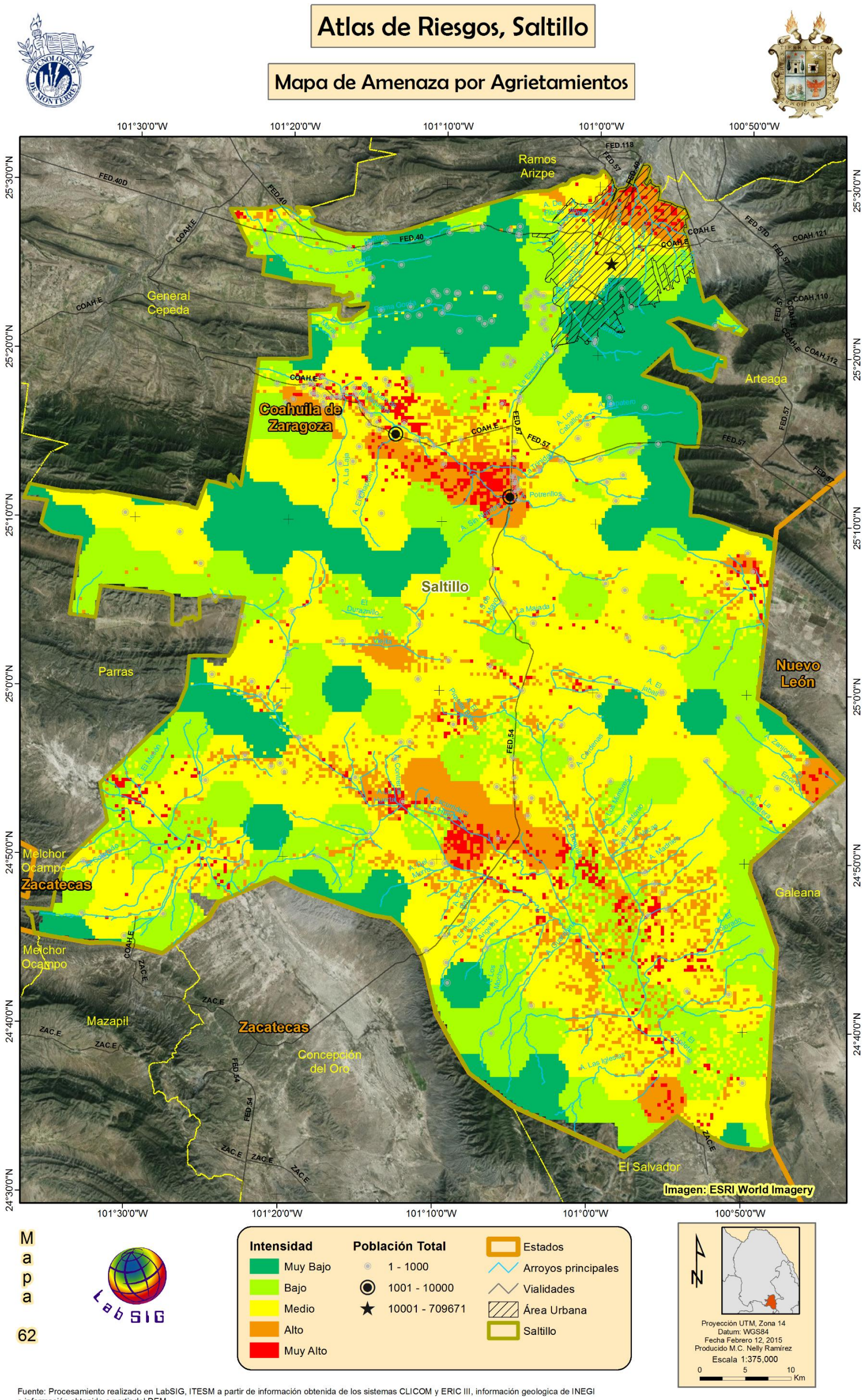
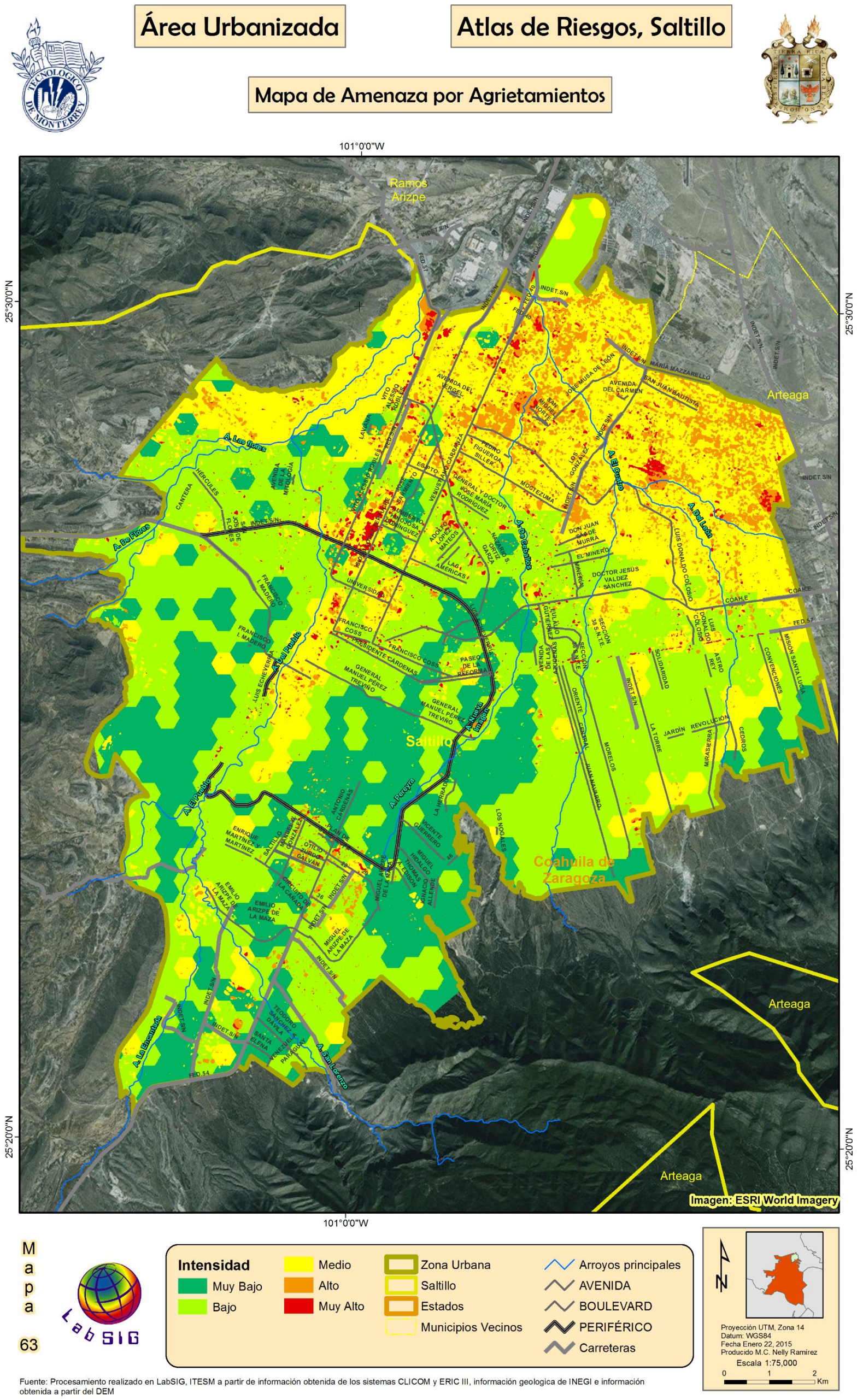


Figura 108. Resultados para la zona rural de la sumatoria entre los diferentes grados de probabilidad de subsidencia y las zonas propensas a inundaciones pluviales (a) y los resultados después de agregar la capa de aridez (b).



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III, información geologica de INEGI e información obtenida a partir del DEM

Figura 109. Mapa de amenaza por agrietamientos para el municipio de Saltillo a nivel Rural.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III, información geologica de INEGI e información obtenida a partir del DEM

Figura 110. Mapa de amenaza por agrietamientos para el área urbana del Municipio de Saltillo

5.3 Fenómenos Hidrometeorológicos

5.3.1 Ondas Cálidas o Gélidas

5.3.1.1 Ondas Cálidas

Saltillo reporta ondas cálidas durante la temporada de primavera- verano, aunque de acuerdo con los eventos históricos varían tanto la prolongación como la intensidad de las sequías. Al tener conocimiento de una onda cálida, el Servicio Meteorológico Nacional alerta a los Saltillenses por las temperaturas pronosticadas, especialmente cuando las temperaturas que se esperan superan los 39°C, considerándose ondas de calor importantes.

De acuerdo con el Vocabulario Meteorológico Internacional (OMM, 1993) una onda de calor es un calentamiento importante de aire, o invasión de aire caliente, sobre un área extensa y suele durar de unos días hasta semanas. El peligro con este tipo de eventos, son las temperaturas alta, las cuales disminuyen la humedad ambiental y pueden provocar efectos adversos en la vegetación como desecación, incendios forestales, perdida de cultivos, pérdida de ganado y en la población humana se manifiestan desde la pérdida de confort hasta la deshidratación extrema.

Aunque de manera general, la sequía impacta la salud o bienestar de la gente, la vulnerabilidad por sequía se presenta mayormente en los sectores socioeconómicamente bajos, impacta más a niños y personas de la tercera edad que suelen deshidratarse en éstas épocas, afecta a la agricultura en general y aumenta el consumo energético de la ciudad. En la Tabla 37, elaborada por CENAPRED, 2014 se mencionan algunos efectos asociados a los umbrales de temperatura y a la vulnerabilidad:

Tabla 37. Umbrales de temperaturas máximas y sus efectos negativos

Temperaturas	Designación	Vulnerabiliad
28-31°C	Incomodidad	La evapotranspiración de los seres vivos se incrementa. Aumentan dolores de cabeza en humanos.
31.1-33°C	Incomodidad extrema	La deshidratación se torna evidente. Las tolvaneras y la contaminación por partículas pesadas se incrementan presentándose en ciudades.
33.1-35°C	Condición de estrés	Las plantas comienzan a evapotranspirar con exceso y se marchitan. Los incendios forestales aumentan.
>35°C	Límite superior de tolerancia	Se producen golpes de calor, con inconciencia en alguanas personas. Las enfermedades aumentan.

En Saltillo, las temperaturas máximas extremas pueden llegar a más de 39°C. En la Figura 111 , se presenta el mapa mostrando la distribución geográfica de las temperaturas extremas. Cabe señalar que hay dos área que alcanzan valores extremos; una porción en el noreste del territorio municipal justo en la ciudad de Saltillo, y otro en la zona noroeste del municipio. En contraste, la zona de la Sierra madre y sierra de Zapaliname presenta temperaturas máximas de 26°C.

Las ondas cálidas en México se han citado por estudios como el de Pérez Vidal, et.al. (2010) donde identifican a los 26°C como la temperatura umbral para ser considerada onda cálida, se modifica al agregar el umbral de nulo por presentarse temperaturas por debajo de los 26°C.

Tabla 38. Umbrales de temperatura utilizados para el conteo de ondas de calor.

Intervalos de temperatura °C	Tipo o grado de severidad	Clase
<25.9	0	Nulo
26.0 – 29.9	1	Bajo
30.0-33.9	2	Medio
34.0-34.9	3	Alto
>40	4	Muy Alto

Se analizaron 116 de 156 estaciones meteorológicas en el noreste de la república generadas con una combinación de datos de Eric III y Clicom. Las temperaturas máximas se extrajeron y fueron calculados los periodos de retorno para 5 y 10 años. Con el resultado, se realizaron interpolaciones con los algoritmos de Kriging (Tr=10 años) e IDW (Tr=5 años) de los valores obtenidos de temperaturas máximas por cada estación, se realizó también la reclasificación del ráster y la vectorización del mismo. Las temperaturas se ordenaron de acuerdo a la tabla modificada de la clasificación propuesta por Vidal, et.al. (2010). El resultado para el peligro de onda cálidas considerando un Pr de 5 años (Figura 112 y Figura 113) muestra que el 54% del territorio de Saltillo presenta rangos altos y muy altos para peligro por ondas cálidas y el 31% se encuentra dentro del rango medio; el mayor riesgo se concentra en 31 localidades las cuales concentran una población total de 3,192 habitantes, sobre saliendo San Juan de la Vaquería con el 34%. Por otro lado, el peligro de onda cálidas considerando un Pr de 10 años se demuestra en la Figura 114 y Figura 115, donde se observa que el 97% del territorio tiene un grado de peligro alto por ondas cálidas, y el 3% restante es muy alto, y se ubica en la parte norte del municipio coincidente con una parte importante de la población urbana.

En relación a la zona urbana (Figura 113 y Figura 115); para el Pr de 5 años, la mayor parte de la ciudad cae dentro de las categorías medio y bajo; solo una pequeña porción al norte de la ciudad es considerada como alta y muy alta. Mientras que para el Pr de 10 años, los valores son alto para la mayor parte de la ciudad, y muy alto para la porción oriente de la misma.

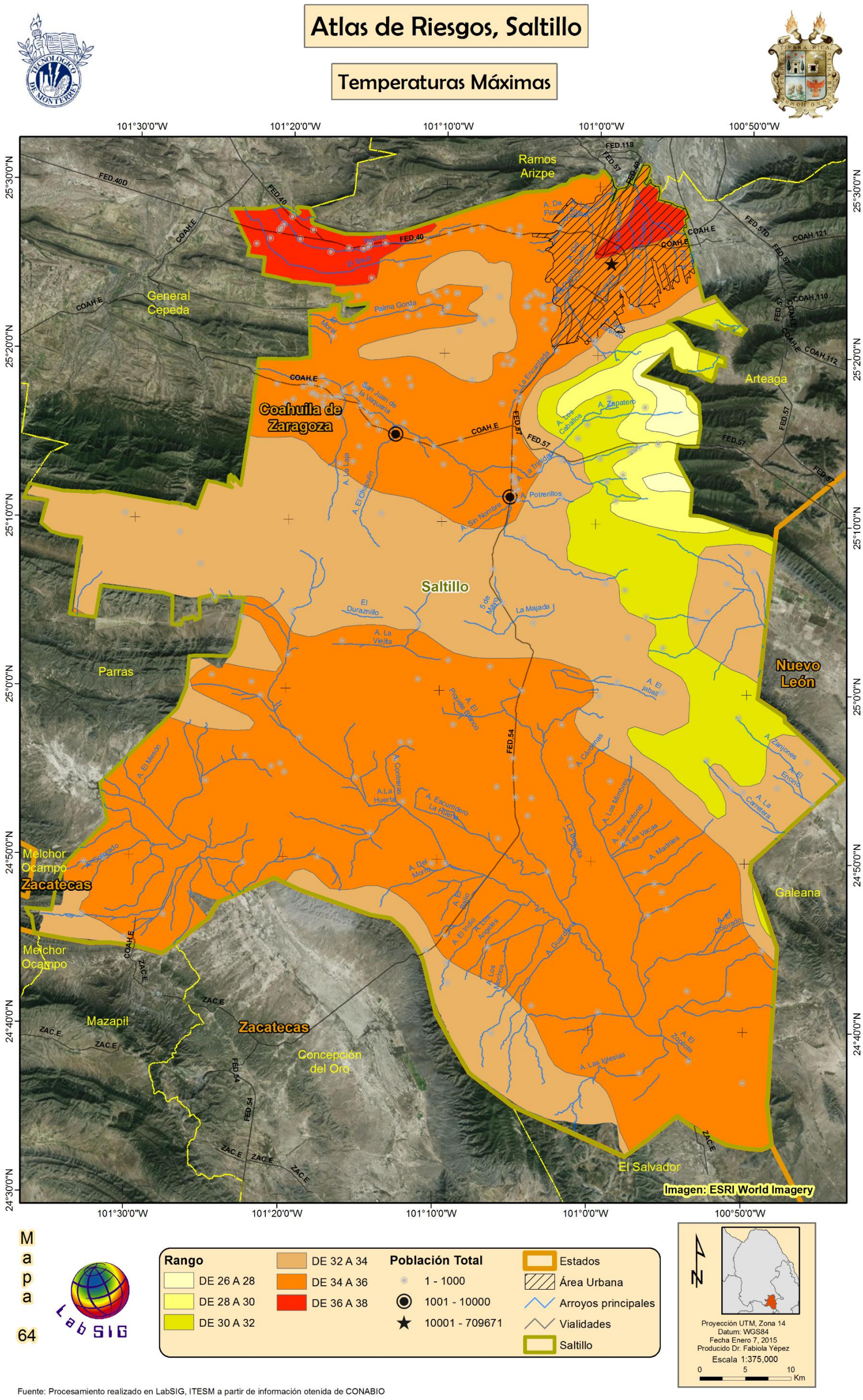


Figura 111. Temperaturas máximas del municipio de Saltillo.

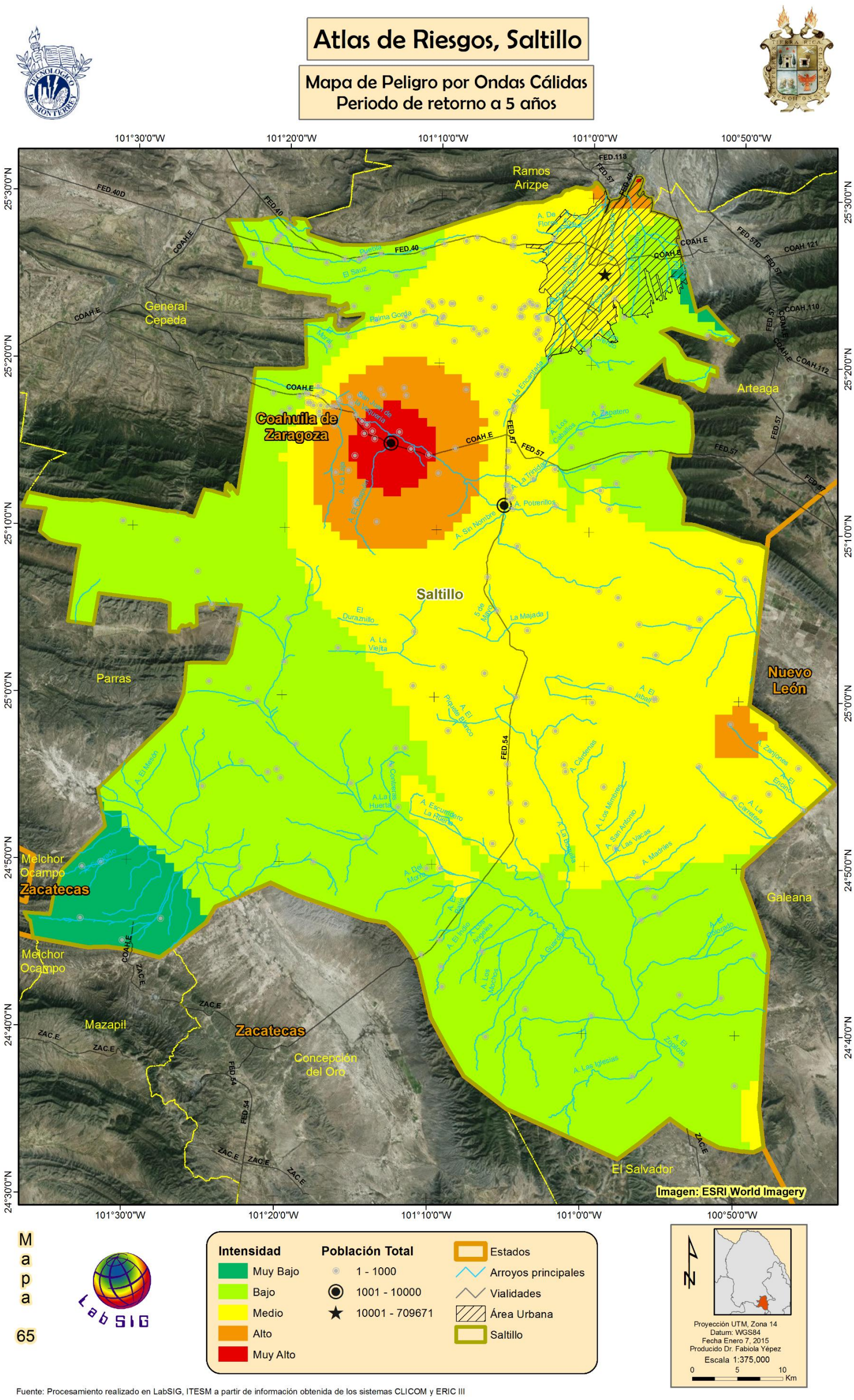


Figura 112. Ondas cálidas con Pr de 5 años, zona Rural.

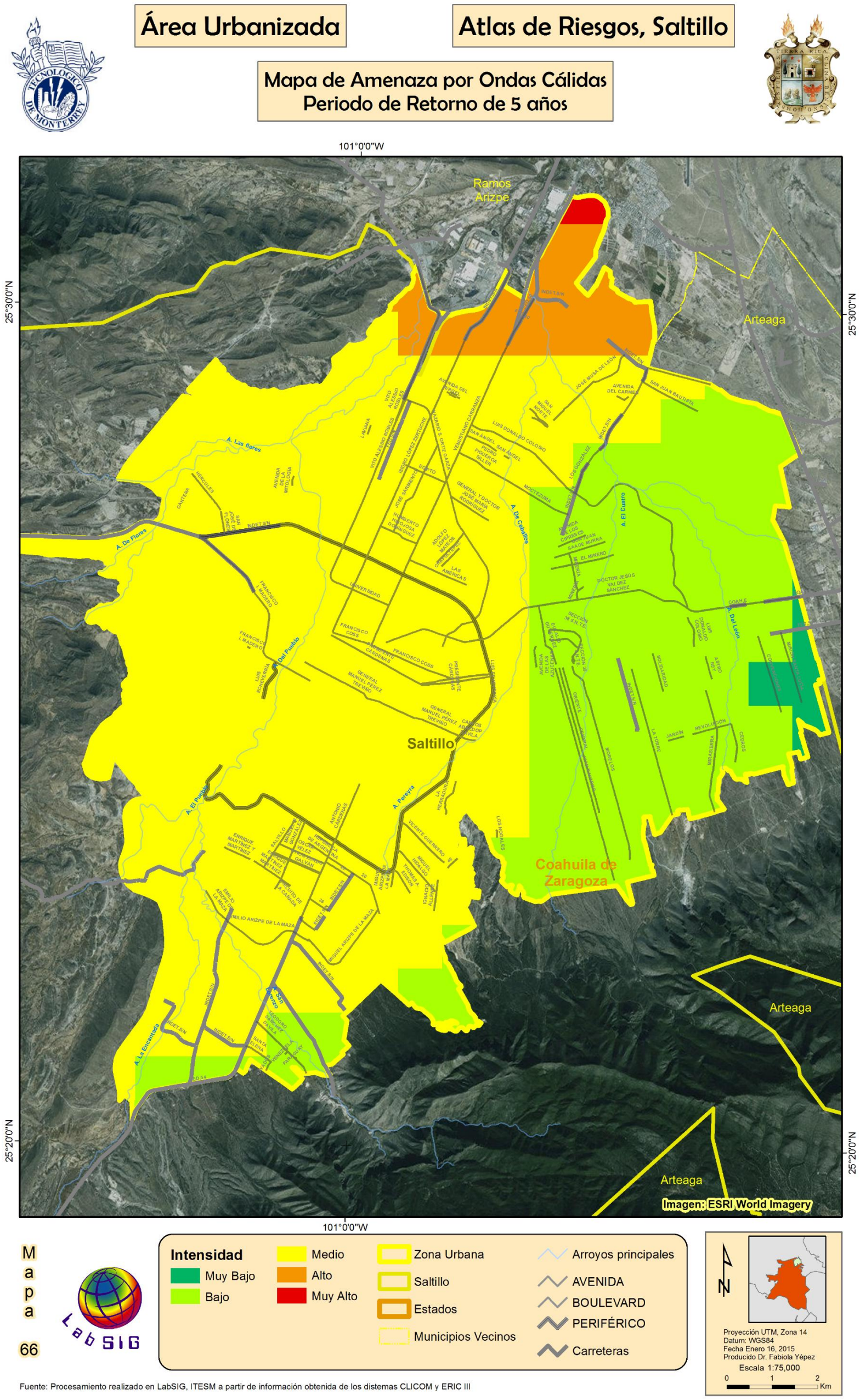
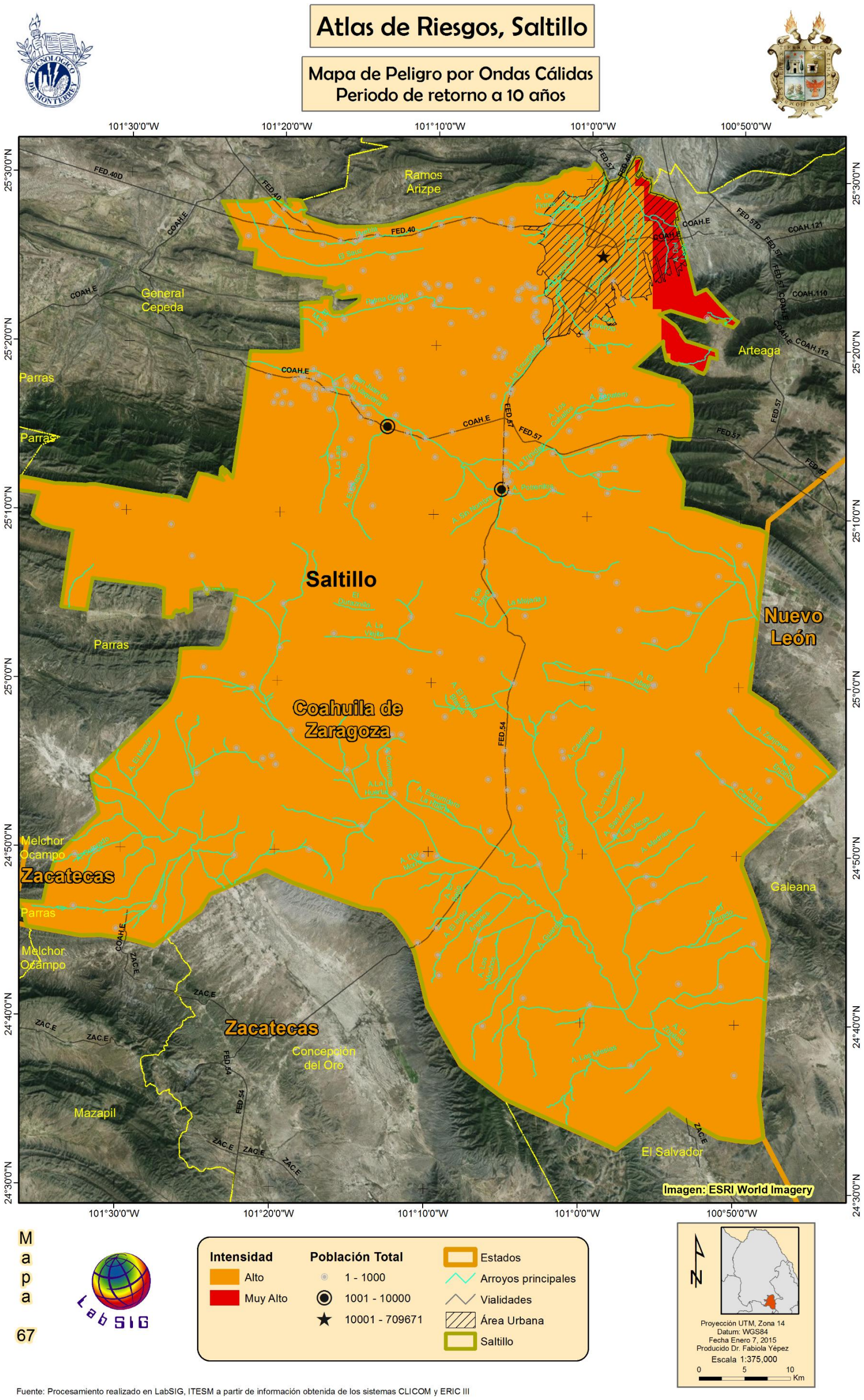


Figura 113. Ondas cálidas con Pr de 5 años, zona urbana.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III

Figura 114. Ondas cálidas con Pr de 10 años, zona rural

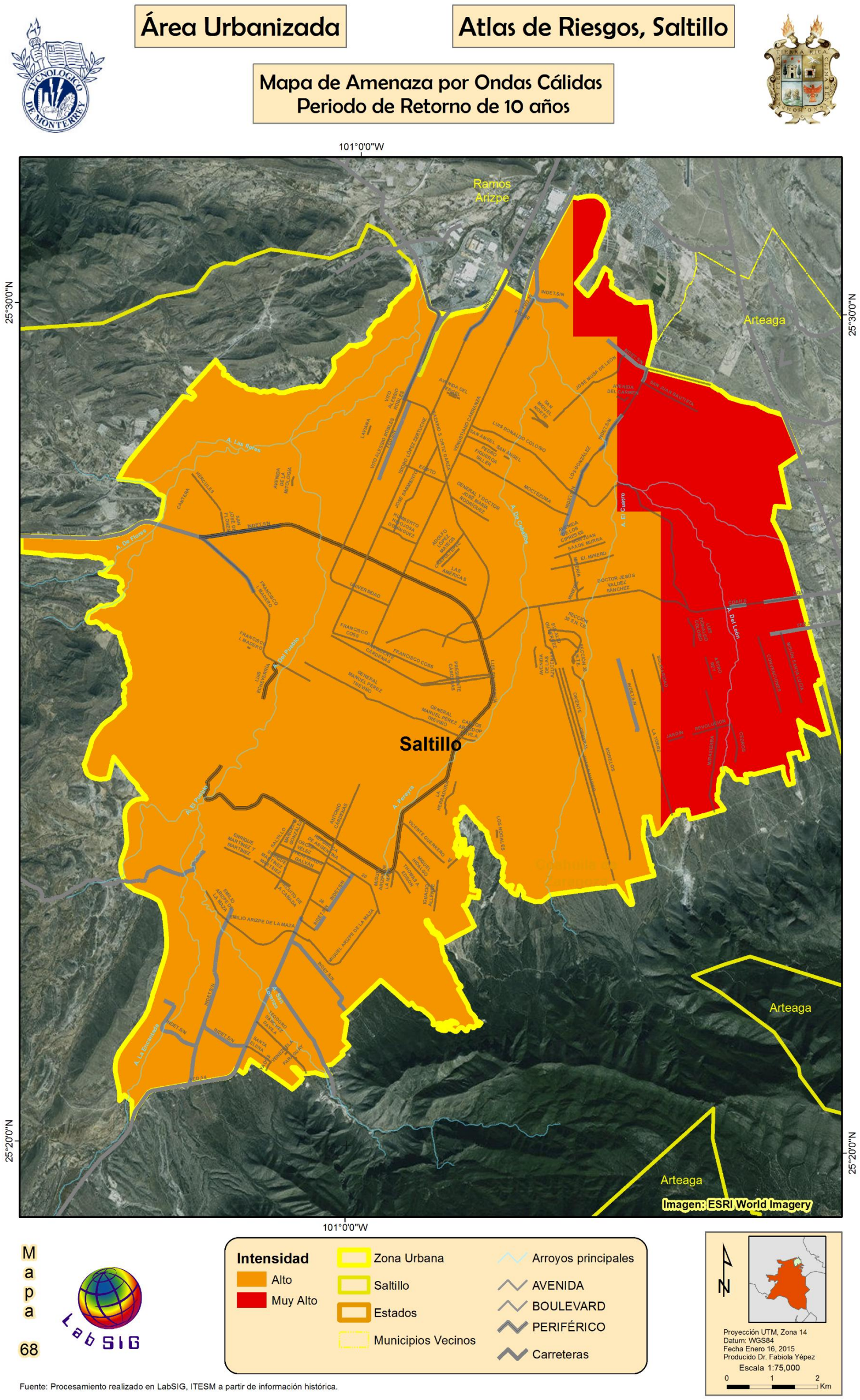


Figura 115. Ondas cálidas con Pr de 10 años, zona urbana.

5.3.1.2 Ondas Gélidas

Las temperaturas mínimas extremas se asocian a corrientes de aire helado que se presenta en temporada invernal. Para el municipio de Saltillo, las temperaturas mínimas extremas se presentan en zonas montañosas del municipio como se aprecia en la Figura 116. Donde se indica que las temperaturas mínimas extremas de la zona se presentan en las áreas asociadas a las montañas, como es el caso de la Sierra de Zapalinamé y la Sierra de Arteaga donde se presentan temperaturas por debajo de los -8°C durante la temporada invernal.

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional. 2008, las heladas por sus cualidades gélidas pueden clasificarse por peligrosidad ambiental, desde ligera a muy severa (Tabla 39), las cuales son clases que presentan diversos efectos ambientales, y que merman la salud humana como se señala a continuación:

Tabla 39. Rangos de ponderación de los datos de temperaturas mínimas extremas.

Temperatura	Designación	Vulnerabilidad
0-3.5°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 6.4°C	Moderada	Los pastos, las hierbas y hojas de plantas se marchitan y aparece un color café o negruzco en su follaje. Aparecen los problemas de enfermedades en los humanos de sus vías respiratorias. Se comienza a utilizar la calefacción.
-6.5 a -11.5°C	Severa	Los daños son fuertes en las hojas y frutos de los árboles frutales. Se rompen algunas tuberías de agua por aumento de volumen del hielo. Se incrementan las enfermedades respiratorias. Existen algunos decesos por hipotermia.
< 11.5°C	Muy severa	Muchas plantas pierden todos sus órganos. Algunos frutos no protegidos se dañan totalmente. Los daños elevados en las zonas tropicales.

En este análisis se utilizaron 126 de las 156 estaciones meteorológicas en el noreste de la república generada con una combinación de datos de Eric III y Clicom con las temperaturas mínimas para generar los periodos de retorno de 5 años. Se interpoló con IDW (Tr=5 años), se reclasificó y vectorizó el ráster resultante. Las temperaturas se organizaron de 0 al 4, en los que el 0 representó a las temperaturas de 0 a -3.5°C y el nivel 4 a las menores a 11.5°C.

El resultado para el peligro de onda gélidas considerando un Pr de 5 años se demuestra en la Figura 117, donde se precia que el 54% del territorio de Saltillo presenta rangos altos y muy altos para peligro por ondas frías y el 31% rango medio. El mayor riesgo se concentra en 31 localidades las cuales concentran una población total de 3,192 habitantes, sobre saliendo San Juan de la Vaquería con el 34%.

Considerando dicha clasificación se reajustó a los datos locales, para así clasificar los peligros. El resultado arroja que el 55% del municipio presenta temperaturas menores a 0°C y hasta -3.5° C en el Pr de 5 años, mientras que el resto del municipio presenta peligro muy bajo, pues son aquellos registros mayores a 0°C.

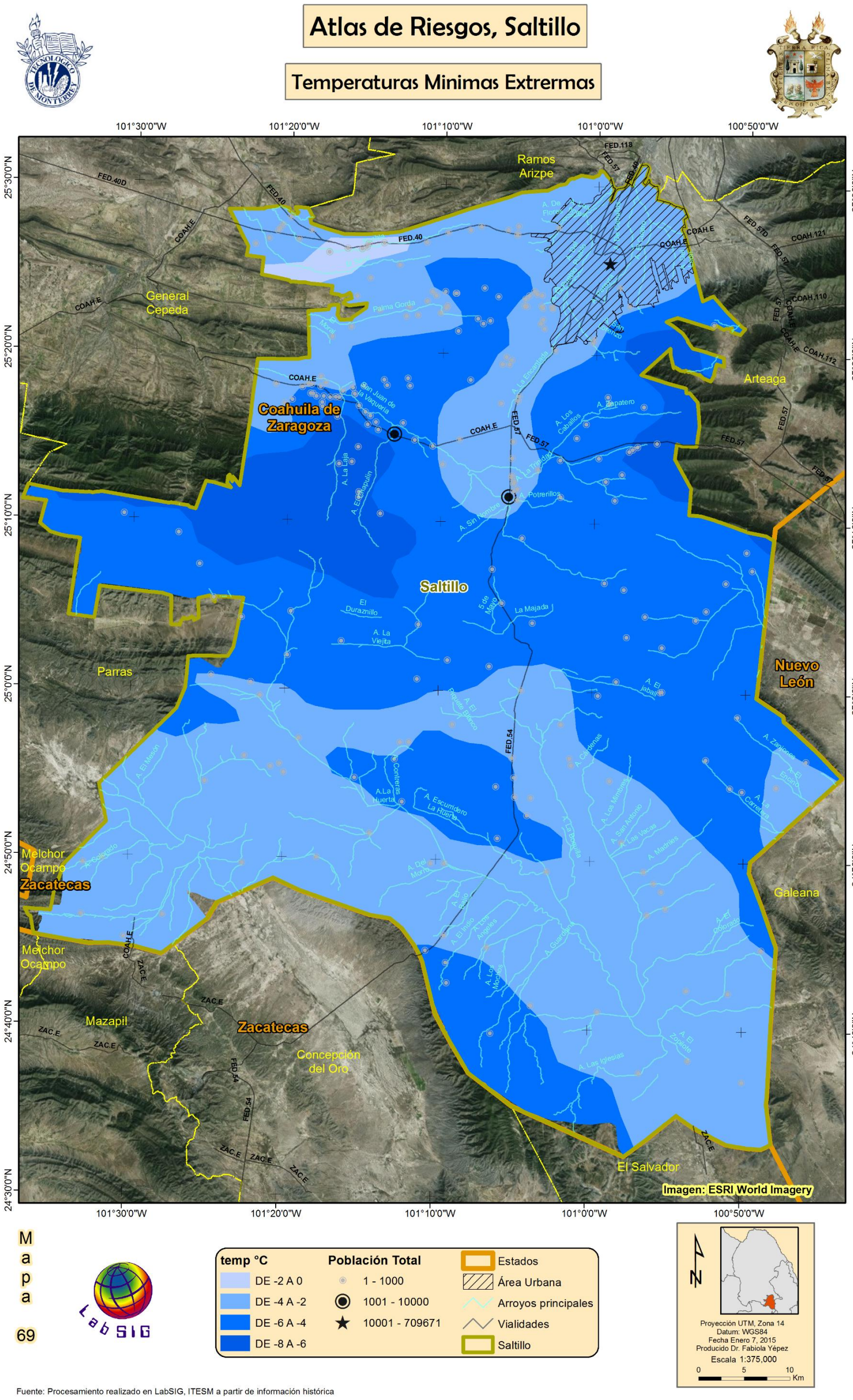


Figura 116. Mapa de amenazas de temperaturas mínimas extremas.

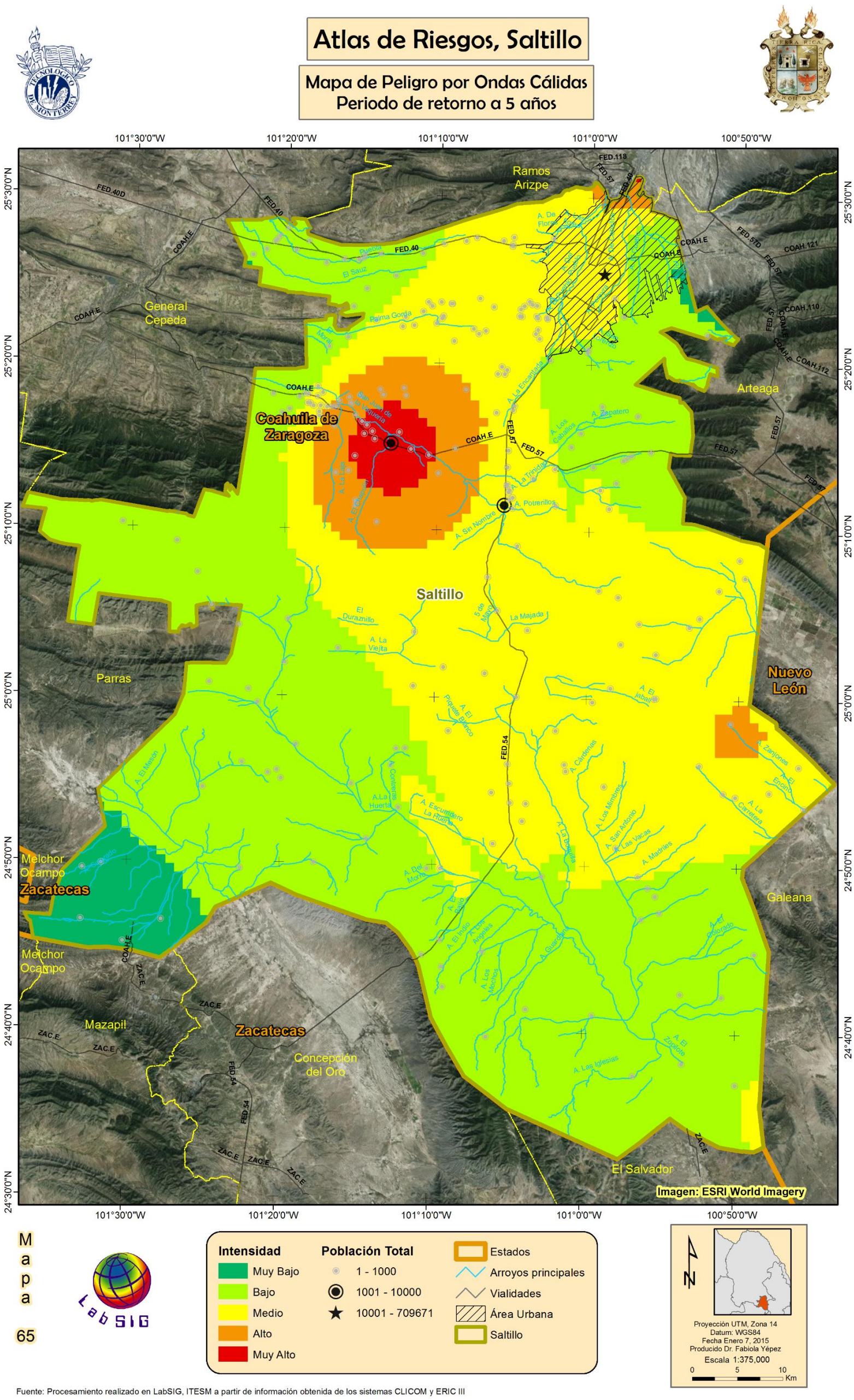


Figura 117. Pr de 5 años de los datos de temperaturas mínimas extremas, para el municipio de Saltillo.

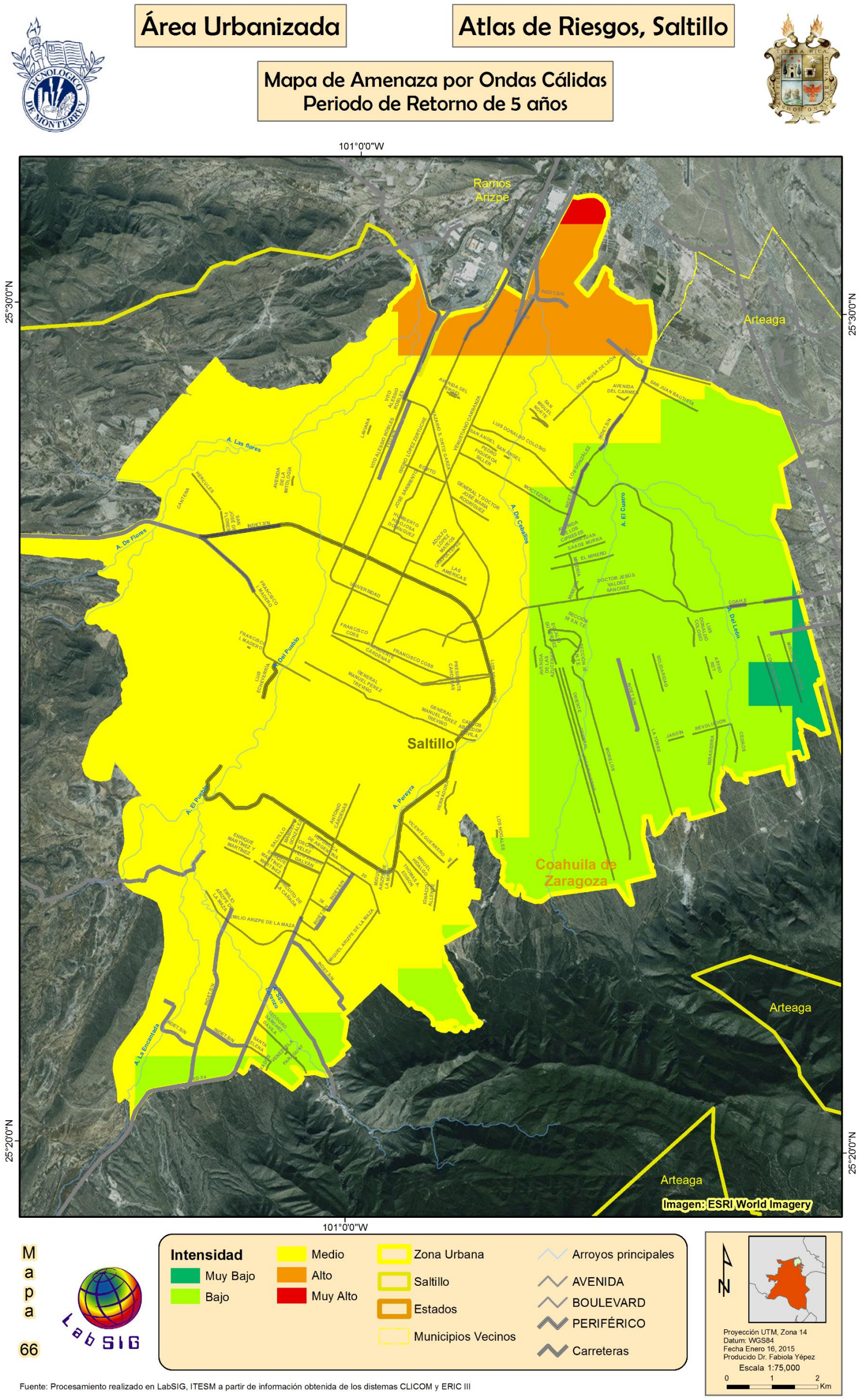


Figura 118. Amenaza por ondas Gélidas en un Pr de 5 años para el área urbana del Municipio de Saltillo.

5.3.2 Sequías

Las sequia se define como un conjunto de condiciones ambientales atmosféricas de muy poca humedad que se extienden durante un periodo suficientemente prolongado como para que la falta de lluvias cause un grave desequilibrio hidrológico y ecológico (Campos-Aranda, D. F., 2012). Son fenómenos regionales que afectan a la totalidad del territorio, por lo que el indicador de riesgo es la presencia de asentamientos humanos, así como en las actividades agropecuarias realizadas en el territorio municipal.

La sequía a nivel nacional se ha analizado por autores como Escalante Sandoval, et. al. (2005) y Hernández Cerda et al. (2010) los cuales han realizado una evaluación en cada uno de los municipios tomando en cuenta el déficit de lluvia y la duración de la misma.

En Saltillo existen 84 ejidos y 15 anexos rurales, los cuales pasan por un problema grave de sequía, como consecuencia de esto 2 mil cabezas de ganado han muerto, "estamos en situación de emergencia", así lo declaró Reynaldo Rosas, secretario de Desarrollo Rural del Municipio.

En la Figura 132 Se muestra el mapa a nivel rural del municipio de Saltillo, en la Figura 133 se muestra un acercamiento al área metropolitana.

Tabla 40. Relación de las sequias que han afectado al territorio municipal desde el año 2000.

Porcentaje del municipio afectado por nivel de sequía

Fecha	Sin sequía	D0	D1	D2	D3	D4
Junio 2006	45	55				
Julio 2006		45	55			
Junio 2008			100			
Julio 2009	35	65				
Agosto 2009	35	65				
Mayo 2011					100	
Junio 2011					100	
Julio 2011				100		
Agosto 2011				100		
Junio 2012		100				
Julio 2012	35	65				
Agosto 2012	35	65				

Donde= D0 es Anormalmente seco, D1 Sequia moderada, D2 Sequia severa, D3 Sequía extrema y D4, Sequía excepcional.

La información de sequías fue obtenida del North American Drought Monitor, se usaron los modelos de sequía de los periodos de verano (Junio a Agosto) durante los últimos 6 años (2006-2012) como se muestra en la Tabla 40. Se eligieron los mapas más representativos de la problemática para el municipio (Figura 119 a Figura 130) y se organizaron en un solo esquema para ver la expansión de la sequía en la Figura 131.

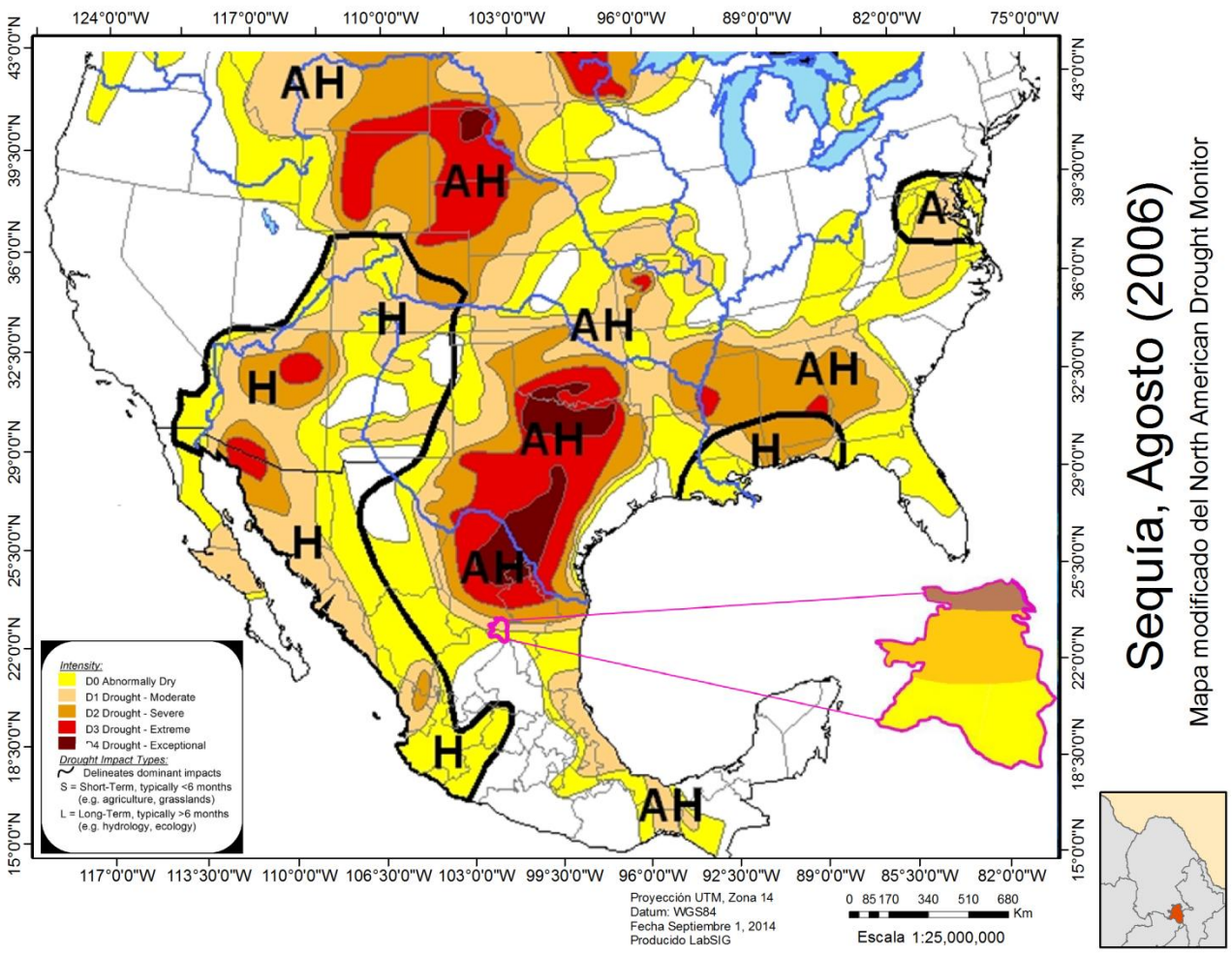


Figura 119. Distribución de la sequía en Junio del 2006 de acuerdo con el NADM (2014).

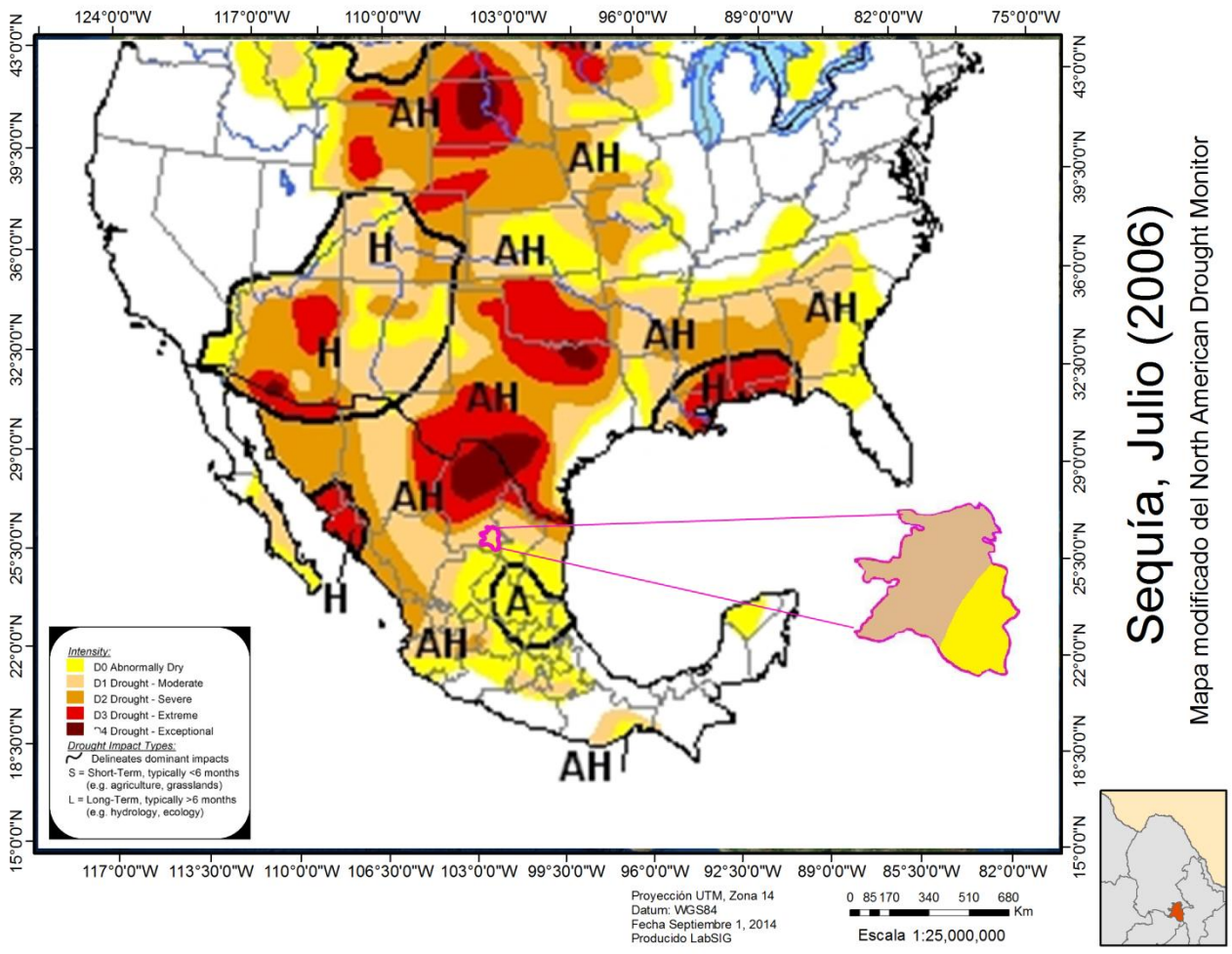


Figura 120. Distribución de la sequía en Julio del 2006 de acuerdo con el NADM (2014).

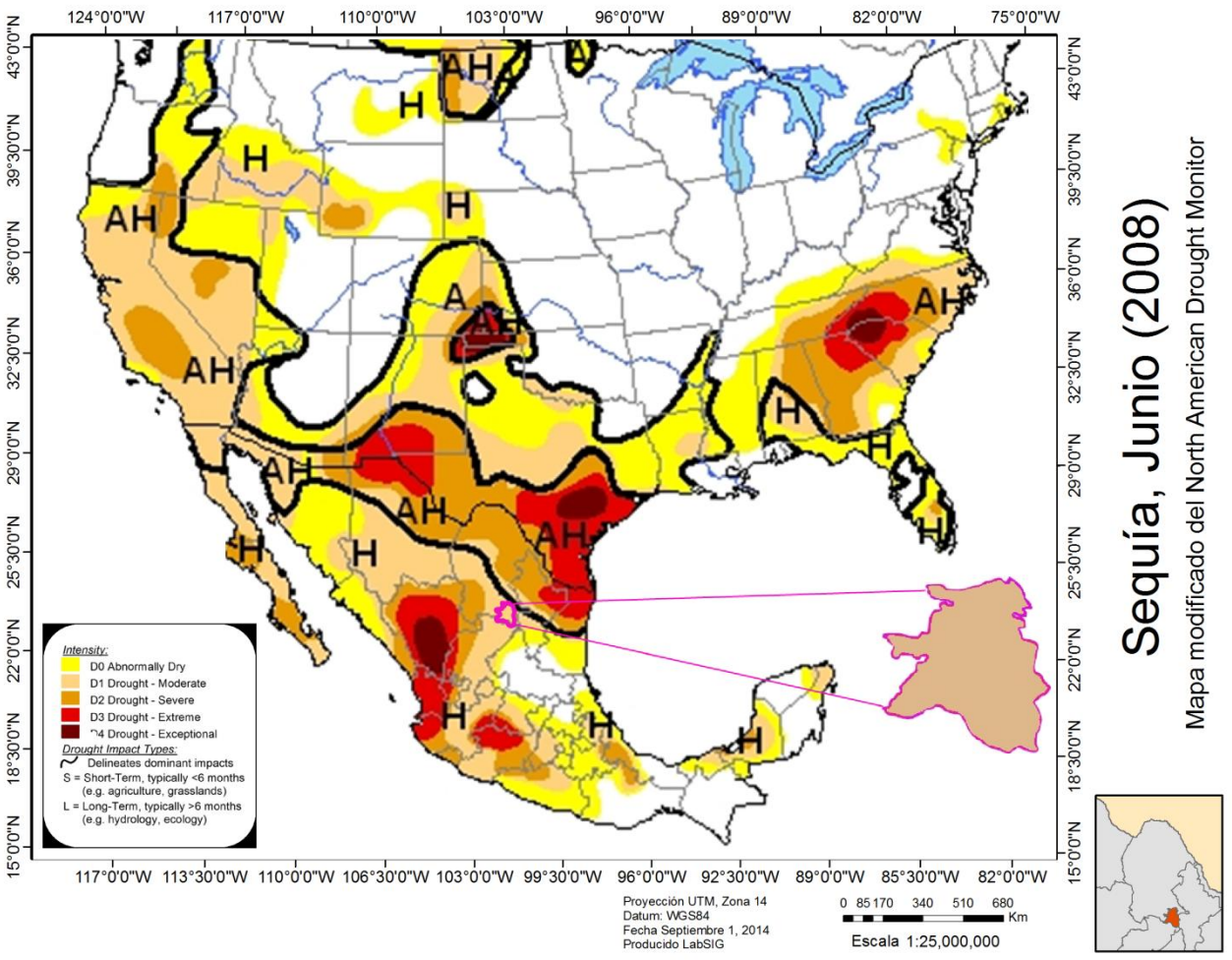


Figura 121. Distribución de la sequía en Junio del 2008 de acuerdo con el NADM (2014).

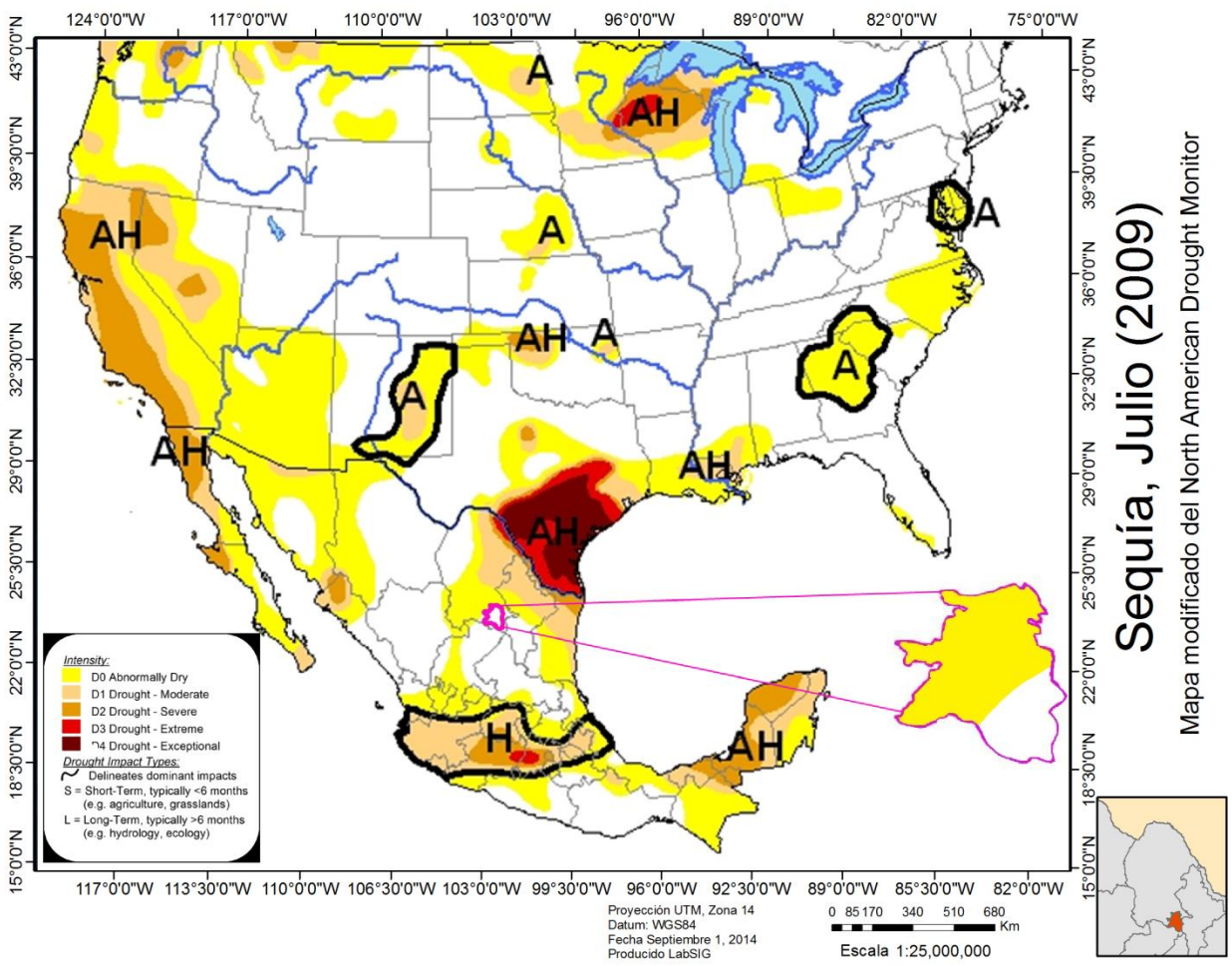


Figura 122. Distribución de la sequía en Julio del 2009 de acuerdo con el NADM (2014).

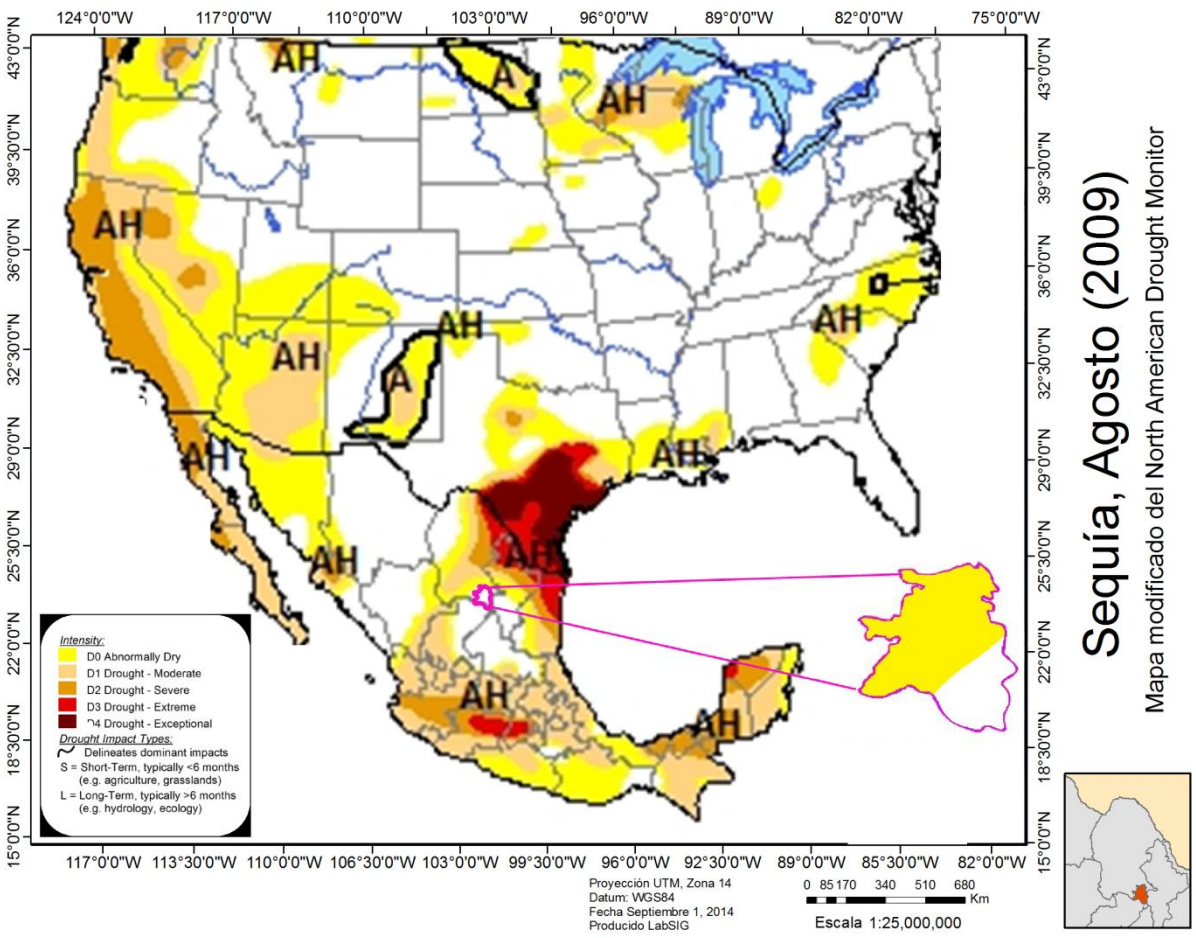


Figura 123. Distribución de la sequía en Agosto del 2009 de acuerdo con el NADM (2014).

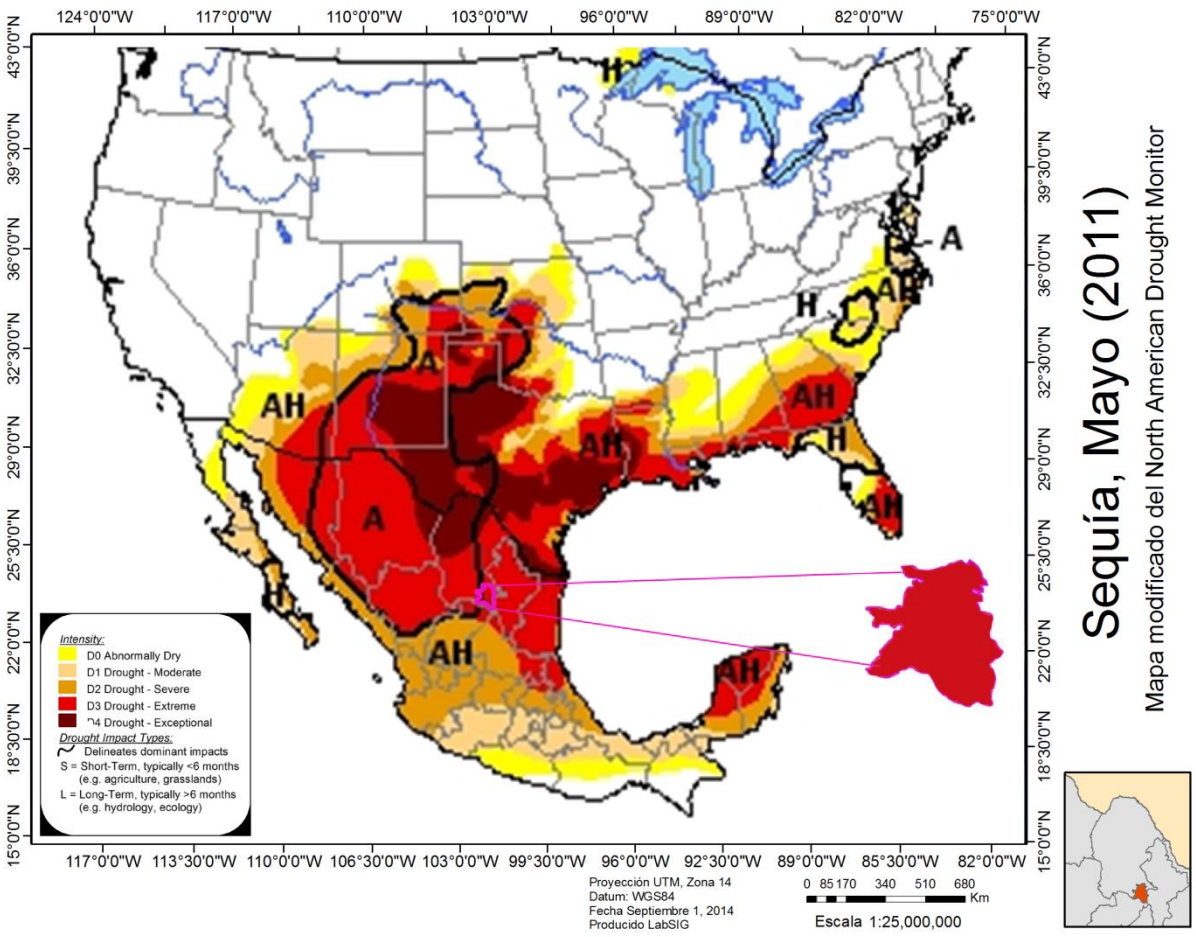


Figura 124. Distribución de la sequía en Mayo del 2011 de acuerdo con el NADM (2014).

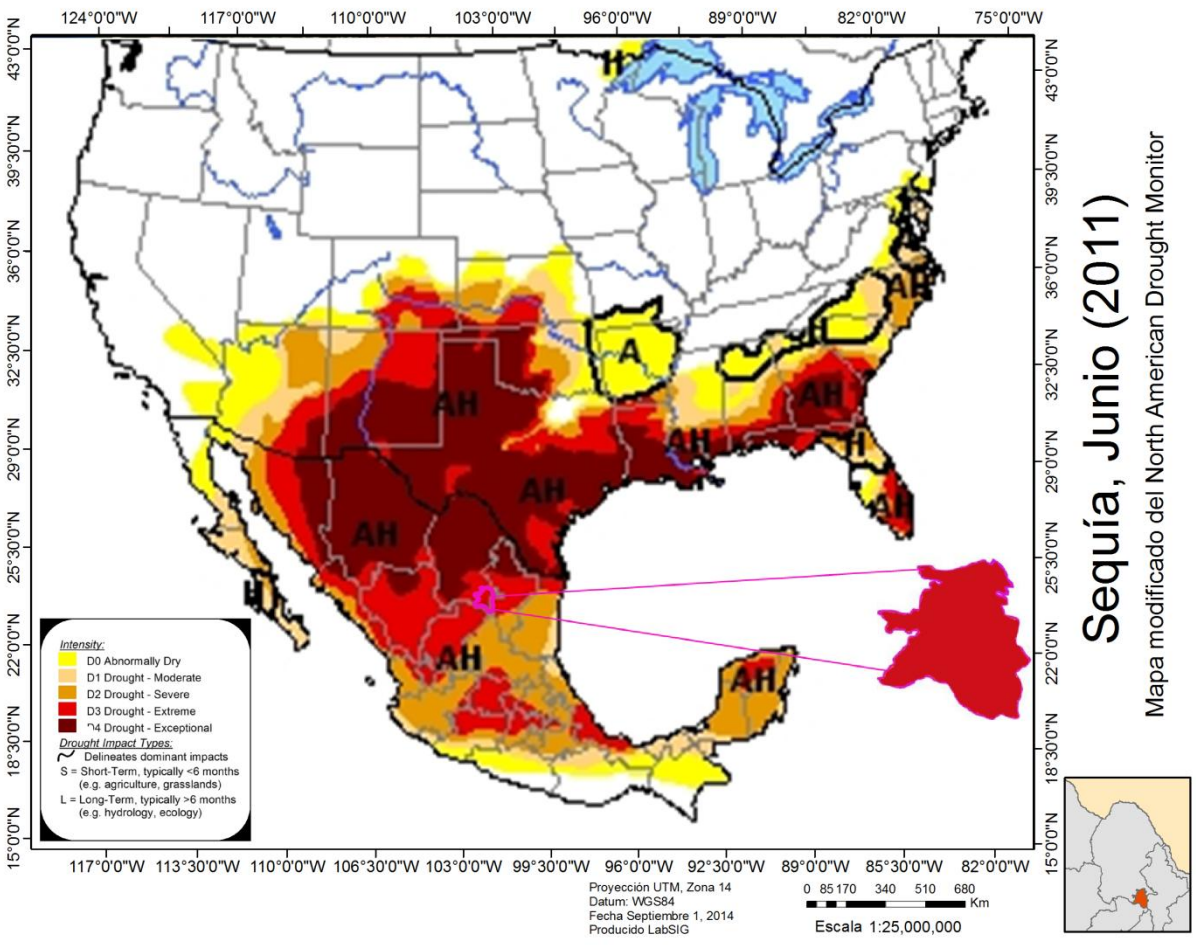


Figura 125. Distribución de la sequía en Junio del 2011 de acuerdo con el NADM (2014).

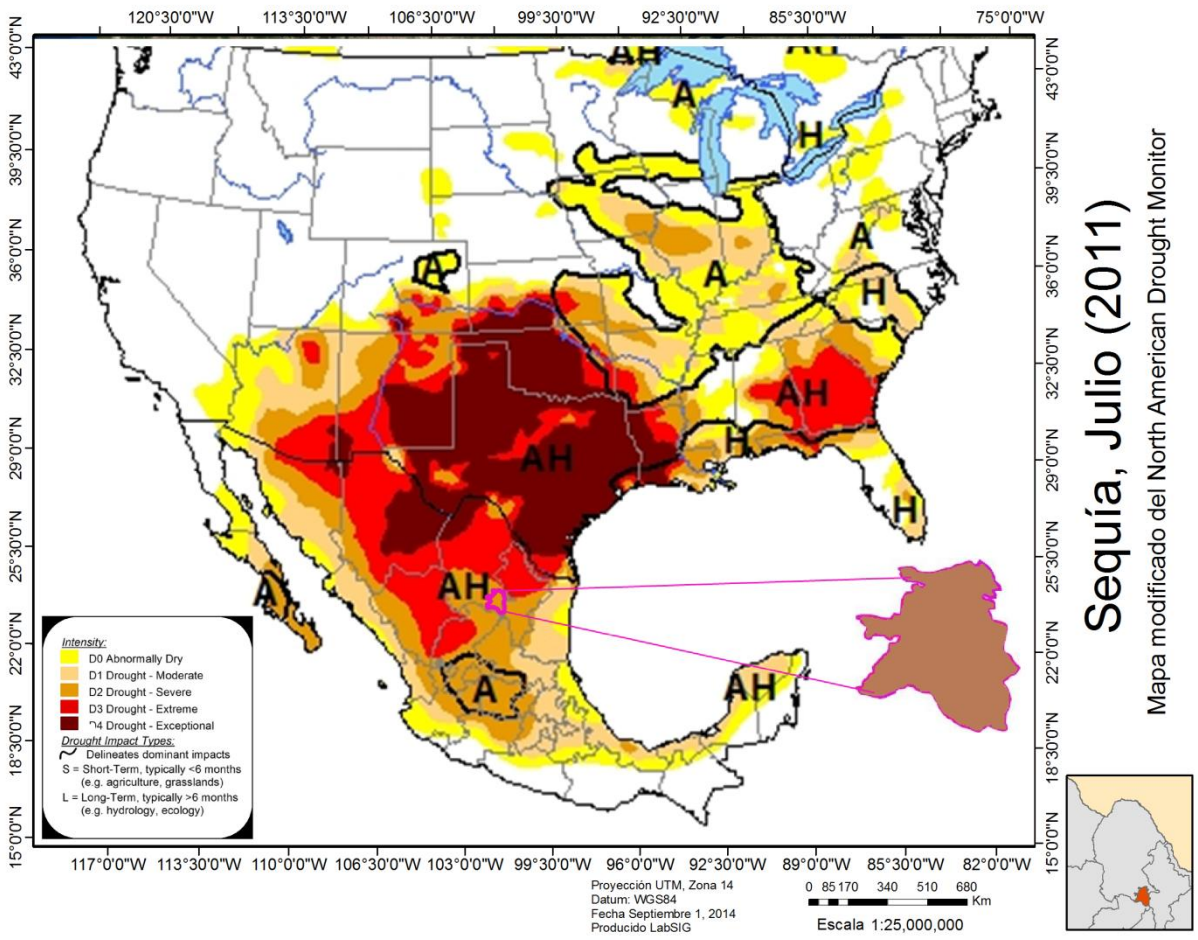


Figura 126. Distribución de la sequía en Julio del 2011 de acuerdo con el NADM (2014).

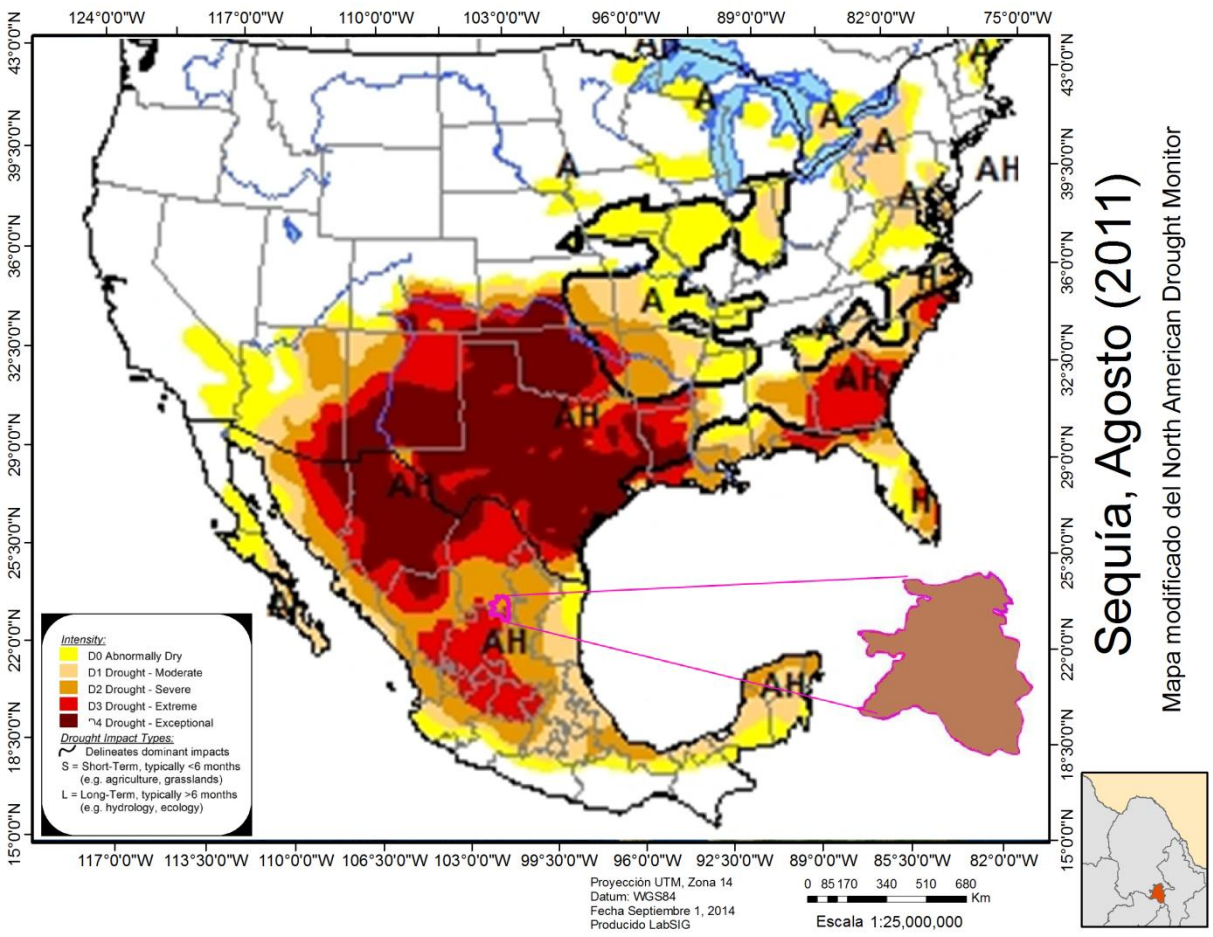


Figura 127. Distribución de la sequía en Agosto del 2011 de acuerdo con el NADM (2014).

La sequía del 2011-2012, de acuerdo con la SAGARPA citado por Infonor (2014) para Junio del 2012 ya había acumulado la muerte de unas 24 mil 900 cabezas de ganado en el estado, de las cuales cerca del 10% pertenecían al municipio de Saltillo.

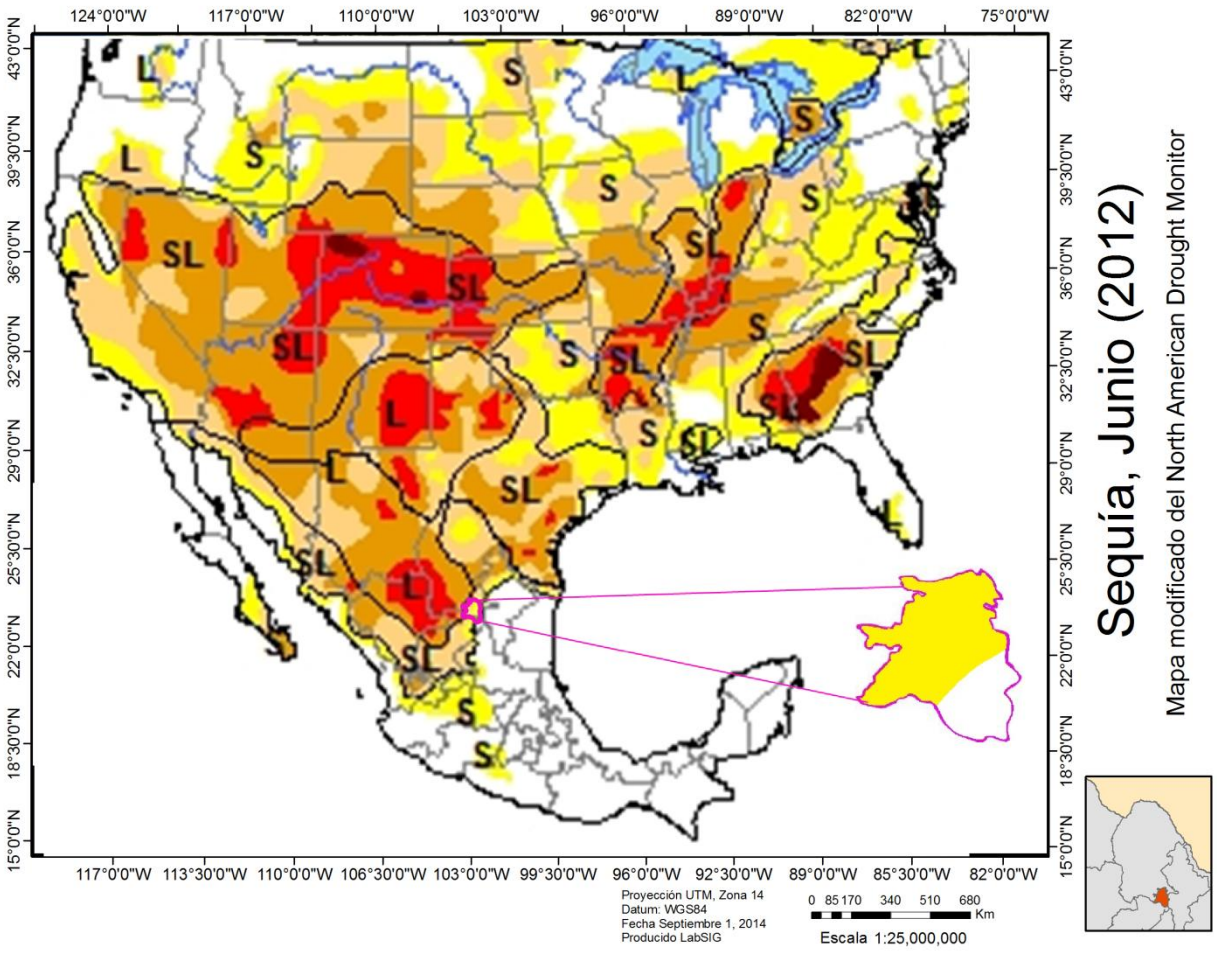


Figura 128. Distribución de la sequía en Junio del 2012 de acuerdo con el NADM (2014).

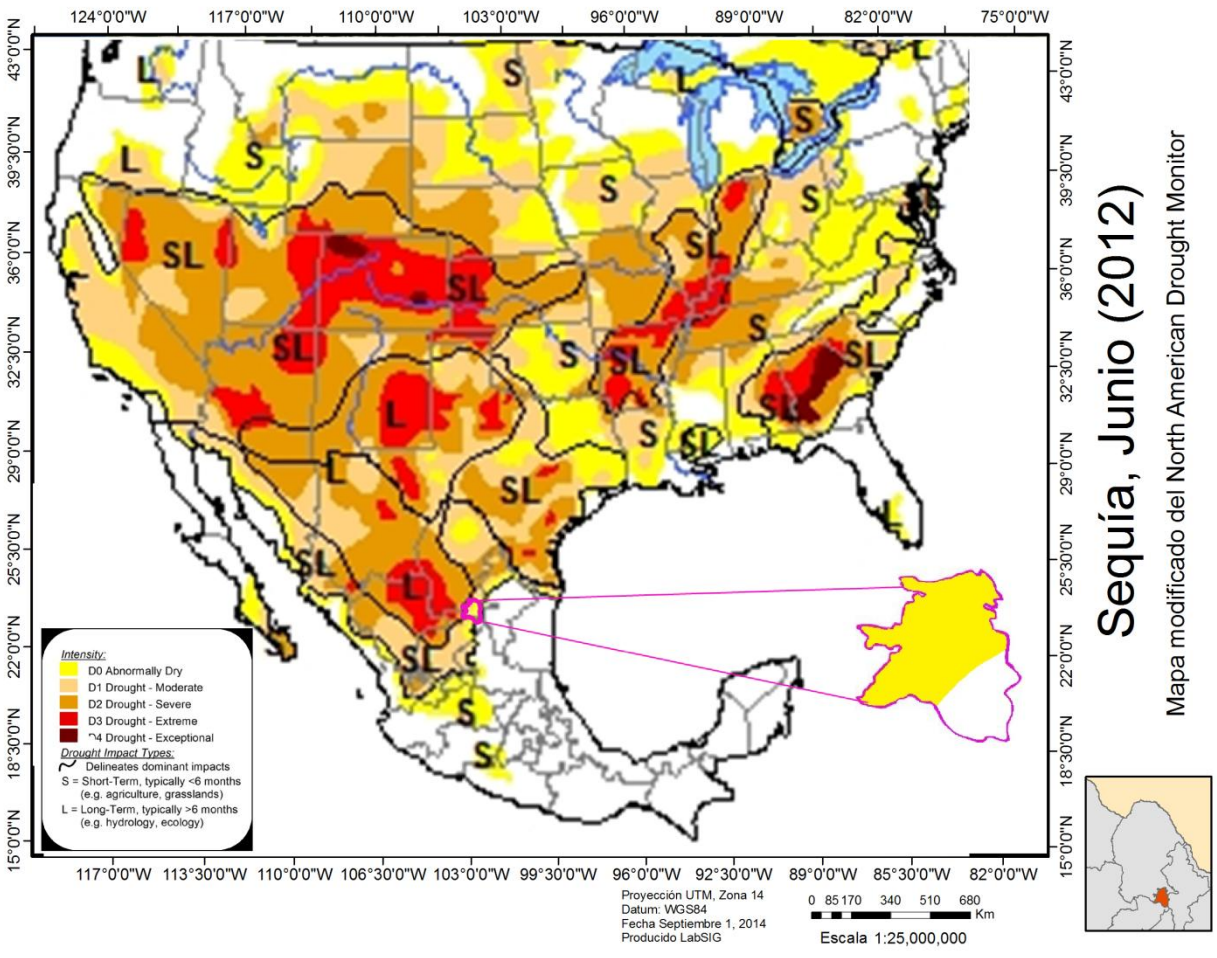


Figura 129. Distribución de la sequía en Julio del 2012 de acuerdo con el NADM (2014).

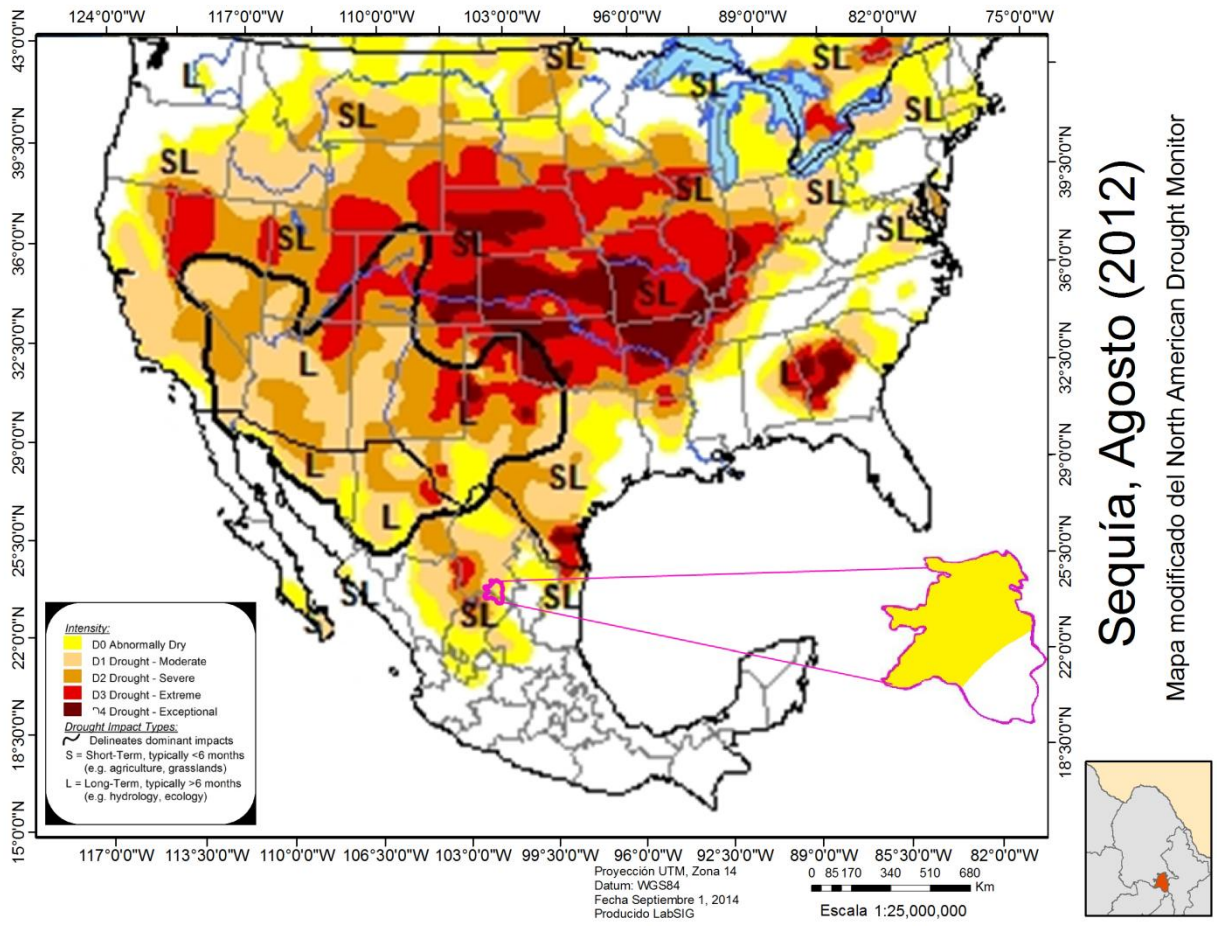


Figura 130. Distribución de la sequía en Agosto del 2012 de acuerdo con el NADM (2014).

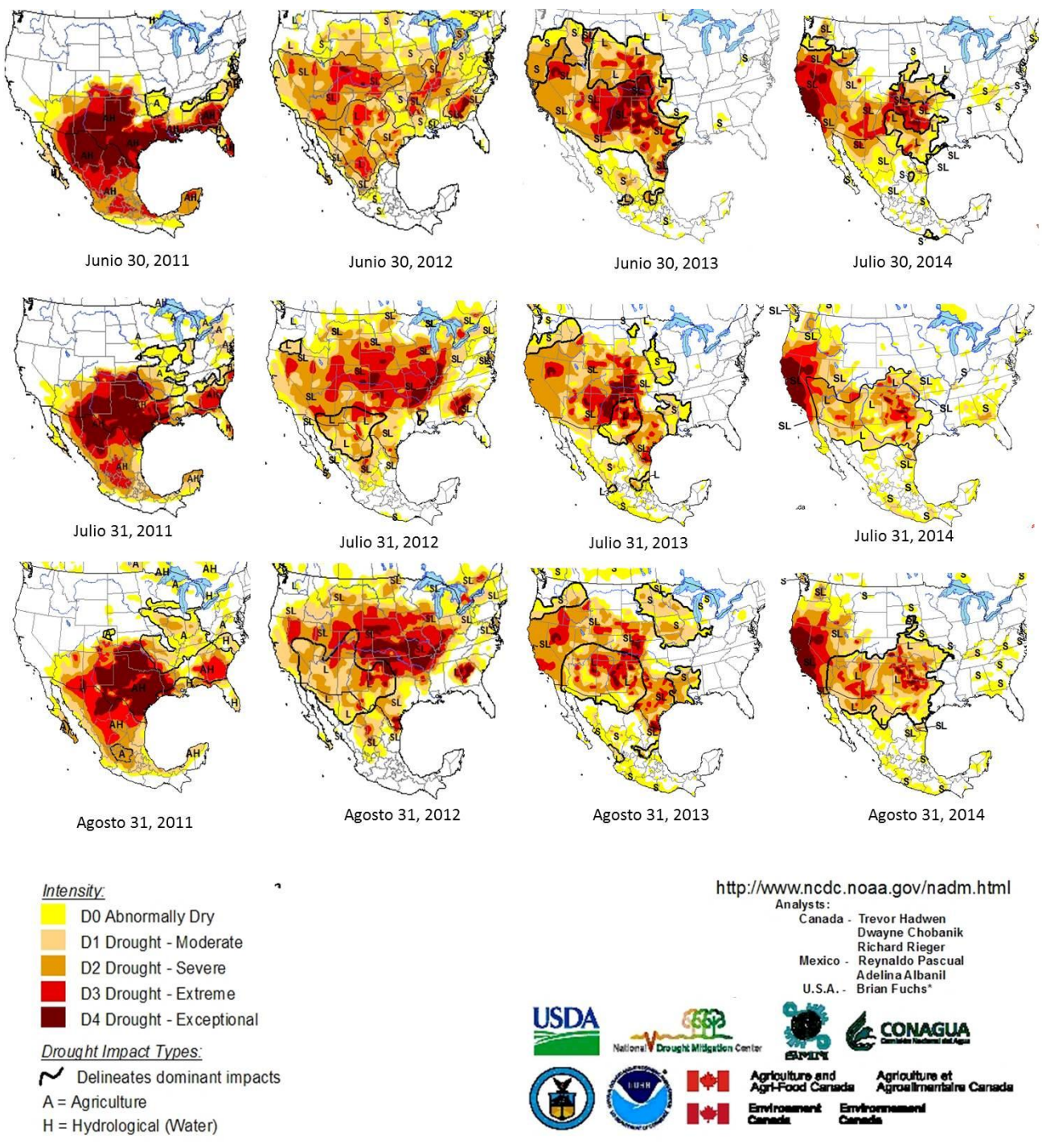
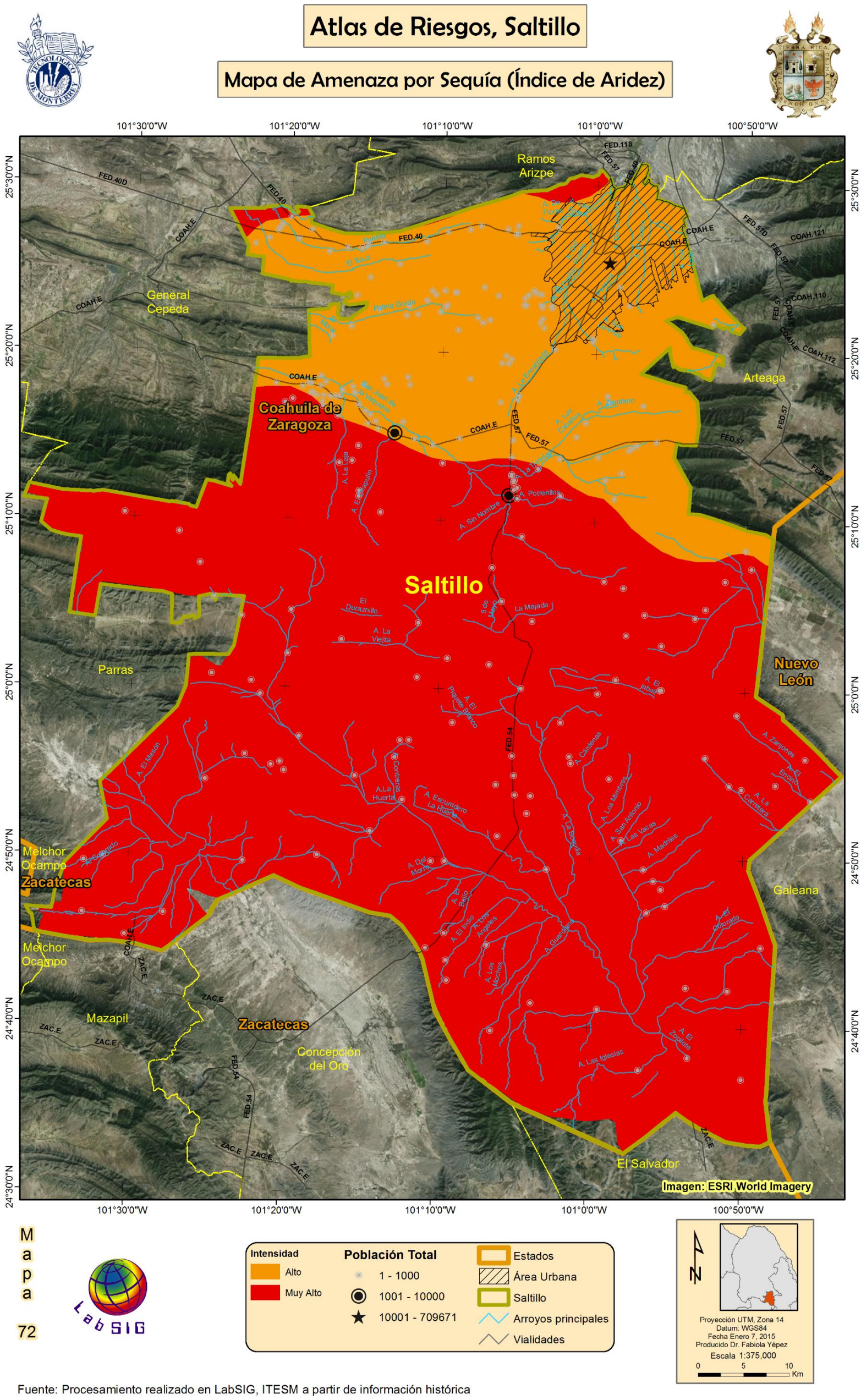
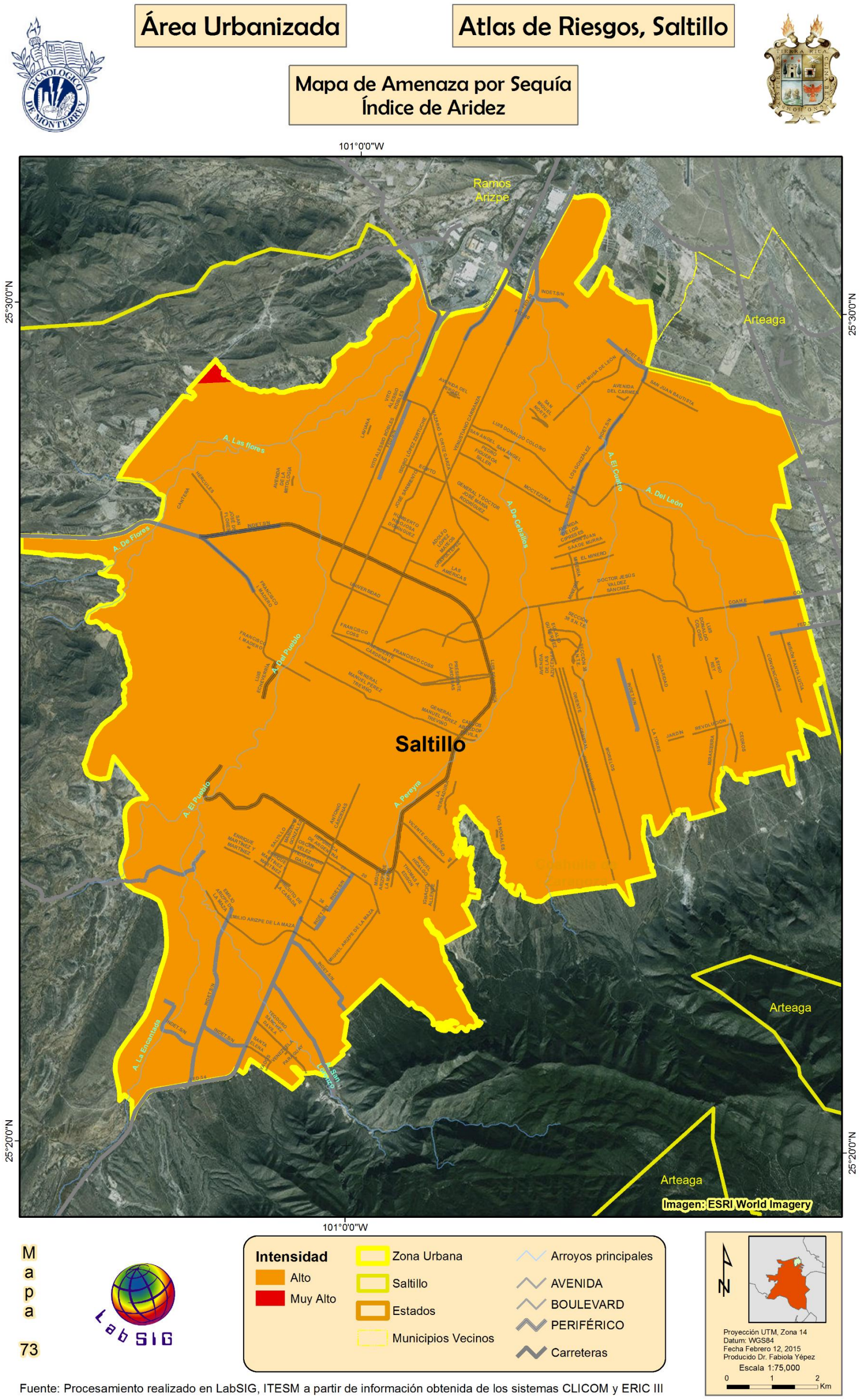


Figura 131. Imagen compuesta de los modelos de sequía en la región de Junio a Agosto durante los últimos 4 años. Obtenidos del North American Drought Monitor



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 132. Mapa de intensidad de amenaza por sequía a nivel rural, para el municipio de Saltillo.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III

Figura 133. Mapa de amenaza por sequía para la zona urbana del municipio de Saltillo.

5.3.2.1 Aridez

Las condiciones de temperaturas y precipitación del territorio determinan los rangos de aridez. El municipio de Saltillo ha sido determinado como un municipio que presenta sequias extremas durante temporadas prolongadas, por lo que el índice de aridez es un dato fundamental para entender el clima de la región.

Para calcular la aridez se tomaron en cuenta tres diferentes tipos de estimadores desarrollados en una plataforma SIG. Estos cálculos denominados índices de aridez se describen a continuación, catalogados como índice de Lang, Knoche y Martonne. Con base a los resultados obtenidos de estos tres métodos se determinó que el índice de Knoche, aunque difiere muy poco con los resultados del índice de Lang, representa la realidad del municipio con mayor veracidad y coincide con las modelaciones de sequía que se reportan durante los últimos 10 años en la región.

5.3.2.1.1 Índices de aridez

Los índices de aridez consideran como dato fundamental las precipitaciones caídas a lo largo del año (como fuente de agua) y las temperaturas (como indicador de la capacidad para evaporar del clima). Los índices de aridez utilizados fueron:

5.3.2.1.1.1 Índice de Lang

El índice de Lang (IL) se basa en la relación entre la variable *P* que se refiere a la precipitación media anual en mm y *tm* que es la temperatura media anual en °C. El resultado de aplicar esta ecuación se muestra en la Figura 134 (rural) y Figura 135 (zona urbana). La expresión está definida como:

$$\boldsymbol{IL = \frac{P}{tm}}$$

Los resultados de Lang se clasifican en distintas zonas, las cuales se presentan en la Tabla **41**

➢

Tabla 41. Clasificación de resultados a partir del método de Lang.

Valor de IL	Zona
0 - 20	Desiertos
20 - 40	Árida
40 - 60	Húmedas de estepa y sabana
60 - 100	Húmedas de bosques claros
100 - 160	Húmedas de grandes bosques
➢ 160	Perhúmedas con prados y tundras

5.3.2.1.1.2 Índice de Knoche

Para generar este índice se utiliza la temperatura (*T*) anual en °C, la precipitación determinada como *P* y medida en mm al año y el número de días de lluvia en el año denominado aquí como la variable *n*. La siguiente ecuación define el índice de Knoche (IK):

$$\boldsymbol{IK = \frac{n * P}{(100 * (T + 10))}}$$

Los resultados obtenidos de esta ecuación se dividen en diversos tipos los cuales se presentan en la Tabla **42**.

Tabla 42. Clasificación de resultados a partir del índice de Knoche.

Valor de IK	Tipo de aridez
0 - 25	Extrema
25 - 50	Severa
50 – 75	Normal si
75 - 100	Moderada si
➢ 100	Pequeña si

En este caso y debido a la poca disponibilidad de los datos el valor de *n* fue bajo, los resultados de la aplicación del presente índice sobre el municipio se presentan en el Mapa de la Figura 136 y Figura 137

5.3.2.1.1.3 Índice de Martonne.

El índice de Martonne, identificado aquí como IM se define por una relación entre las variables T y P que corresponden a la Temperatura anual (en °C) y la precipitación (medida en litros por año) respectivamente. Esta relación se define a partir de la siguiente formula:

$$\boldsymbol{IM = \frac{P}{(T + 10)}}$$

Martonne propone diferentes tipos de clasificación, los cuales son presentados en la Tabla **43**.

Tabla 43. Clasificación de resultados a partir del índice de Martonne (Salinas-Zavala, 1998).

Valor de IM	Tipo de aridez
> 40	Húmeda
30-40	Subhúmeda
20-30	Semiárida
10-20	Árida o esteparia
5-10	Subdesértica
0-5	Desértica

Los diferentes niveles de peligro obtenidos a partir del presente índice se muestran en la Figura 138 y Figura 139. En donde los valores en este caso se clasifican acorde al nivel de peligro que representan (medio, alto y muy alto) de entre los cuales el nivel alto es el que predomina sobre la mayor parte de la superficie del mapa.

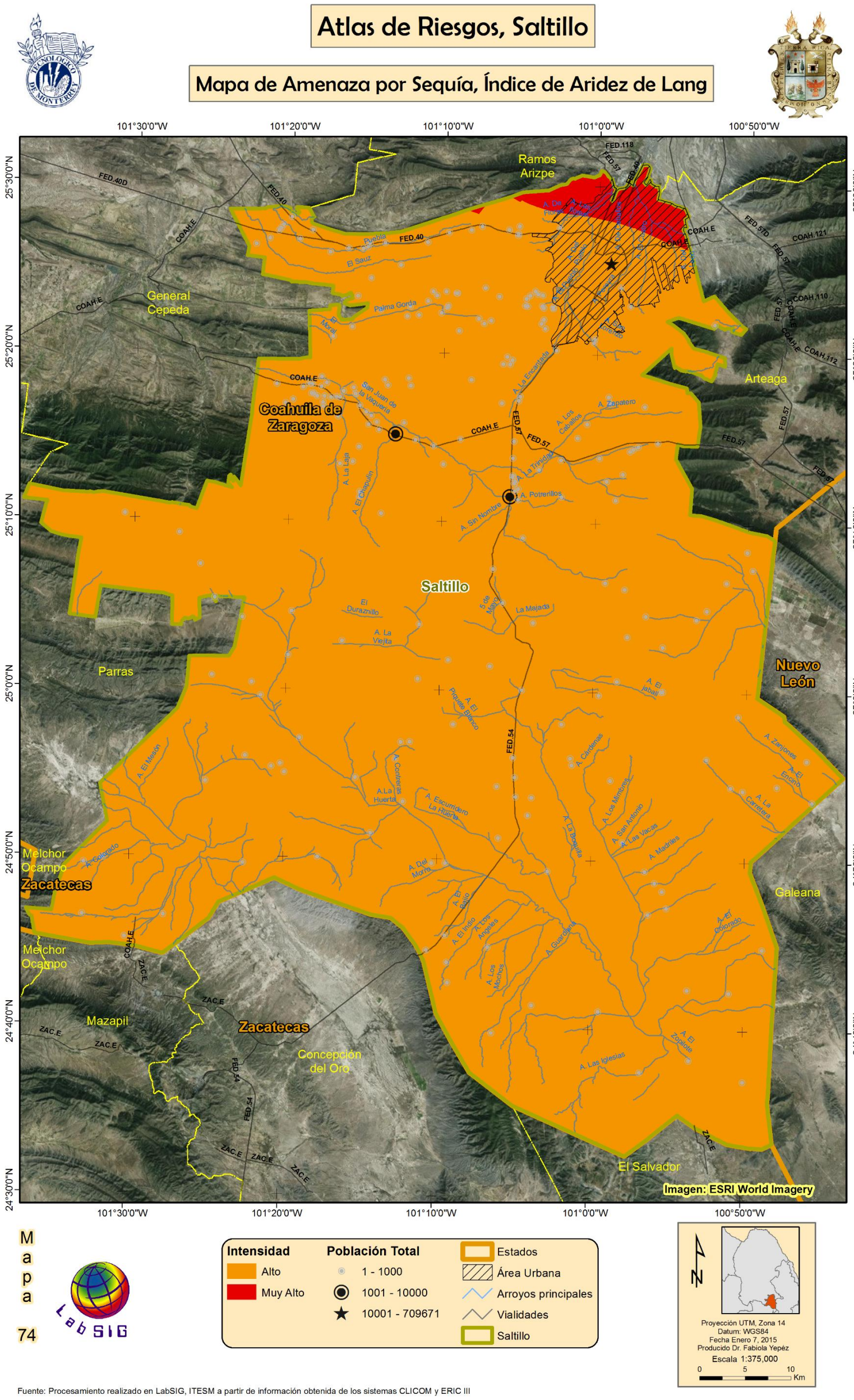


Figura 134. Resultados del índice de aridez de Lang, Nivel rural.

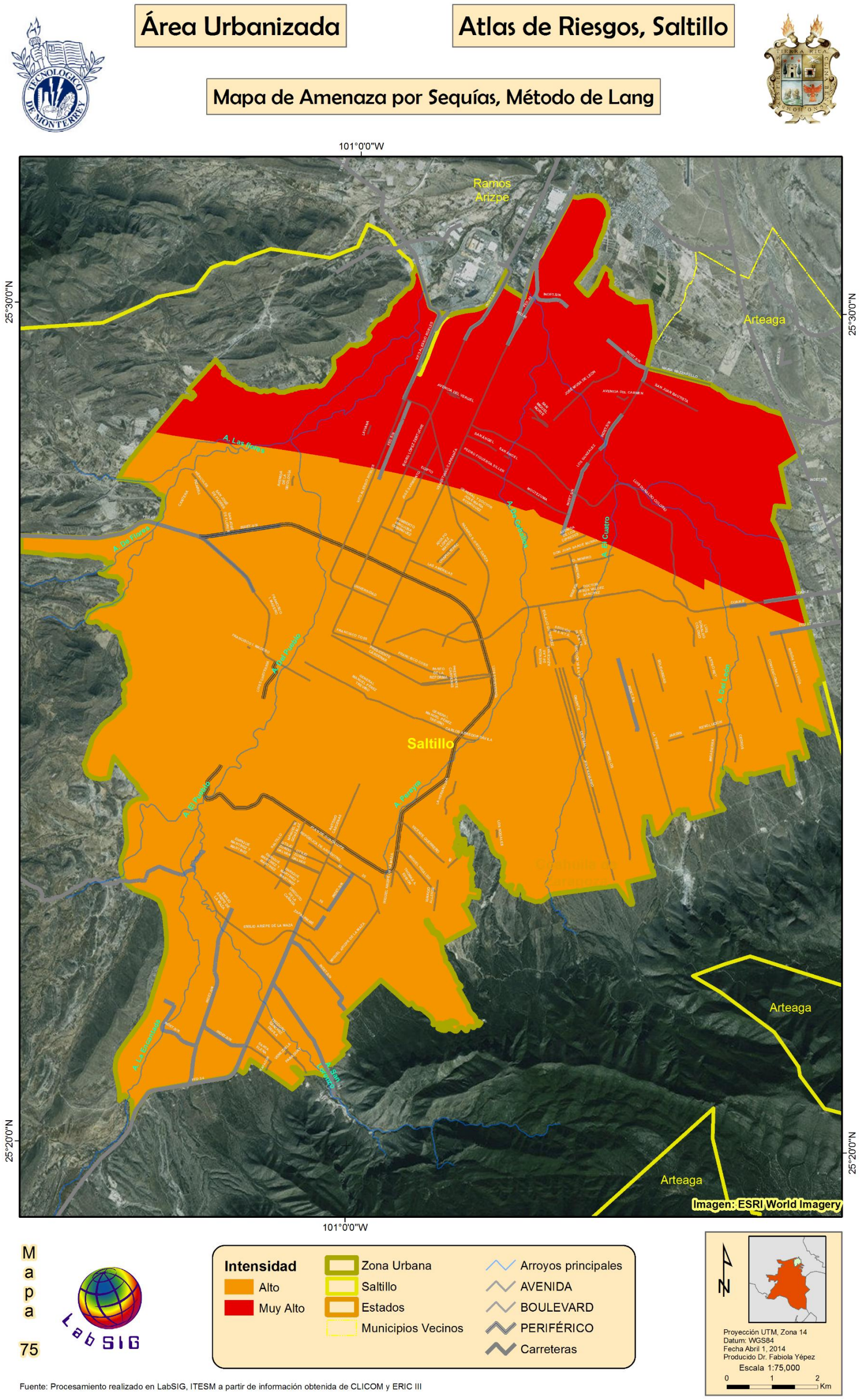


Figura 135. Amenaza por índice de sequía, a partir del método de Lang, para la zona urbana.

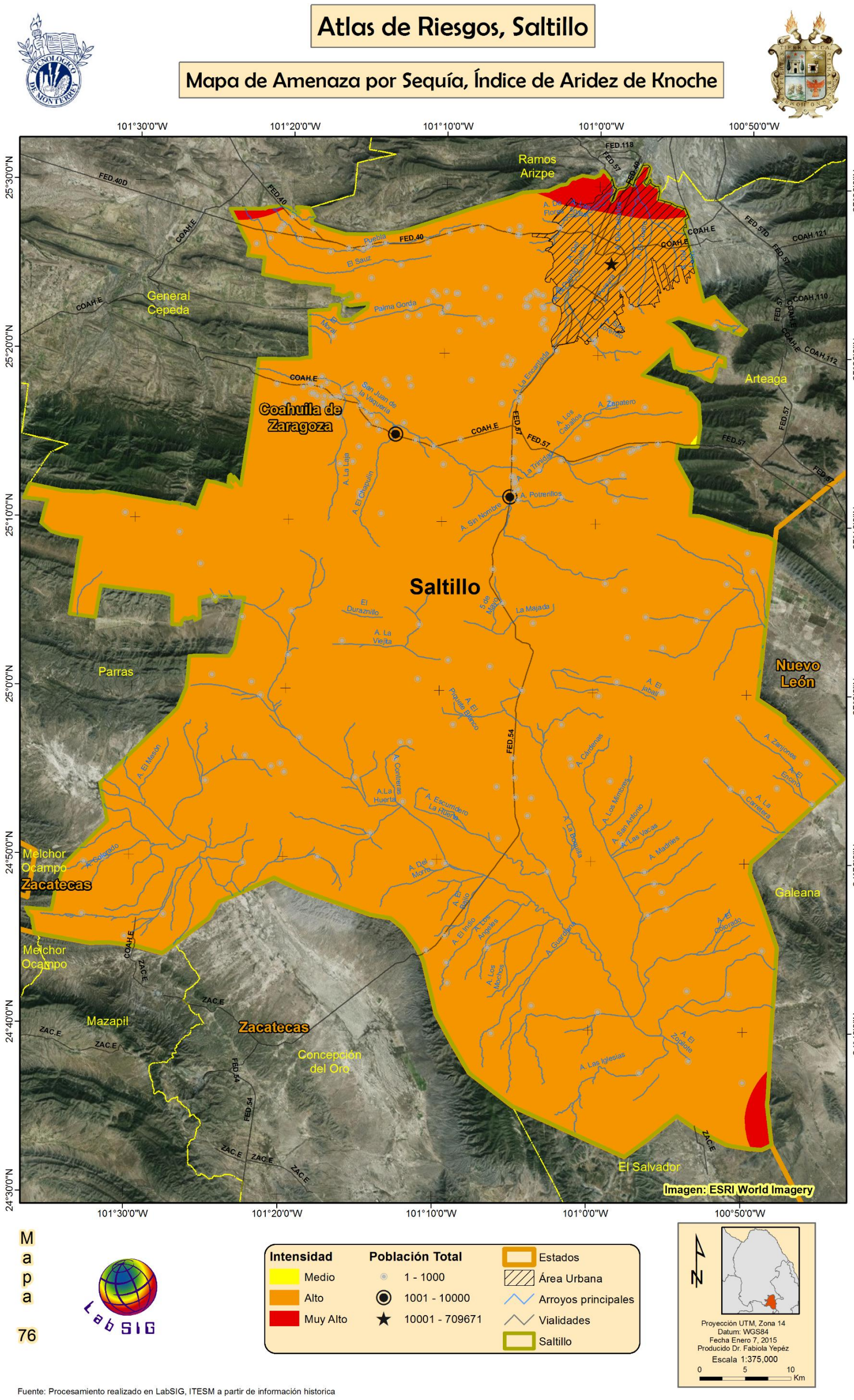


Figura 136. Mapa de amenaza por Aridez obtenido a través del índice de Knoche. Nivel rural.

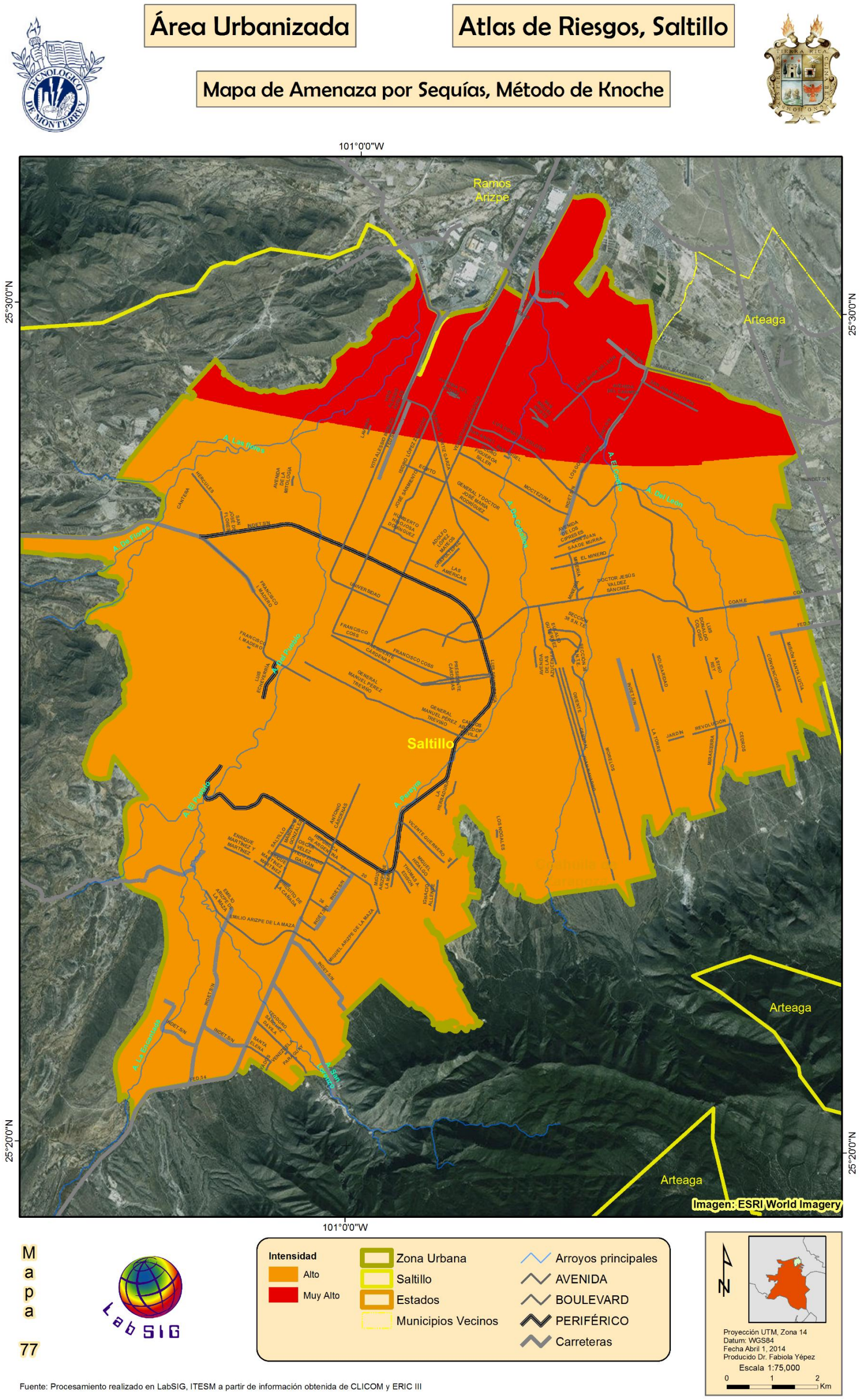


Figura 137. Mapa de amenaza por Aridez obtenido a través del índice de Knoche. zona urbana.

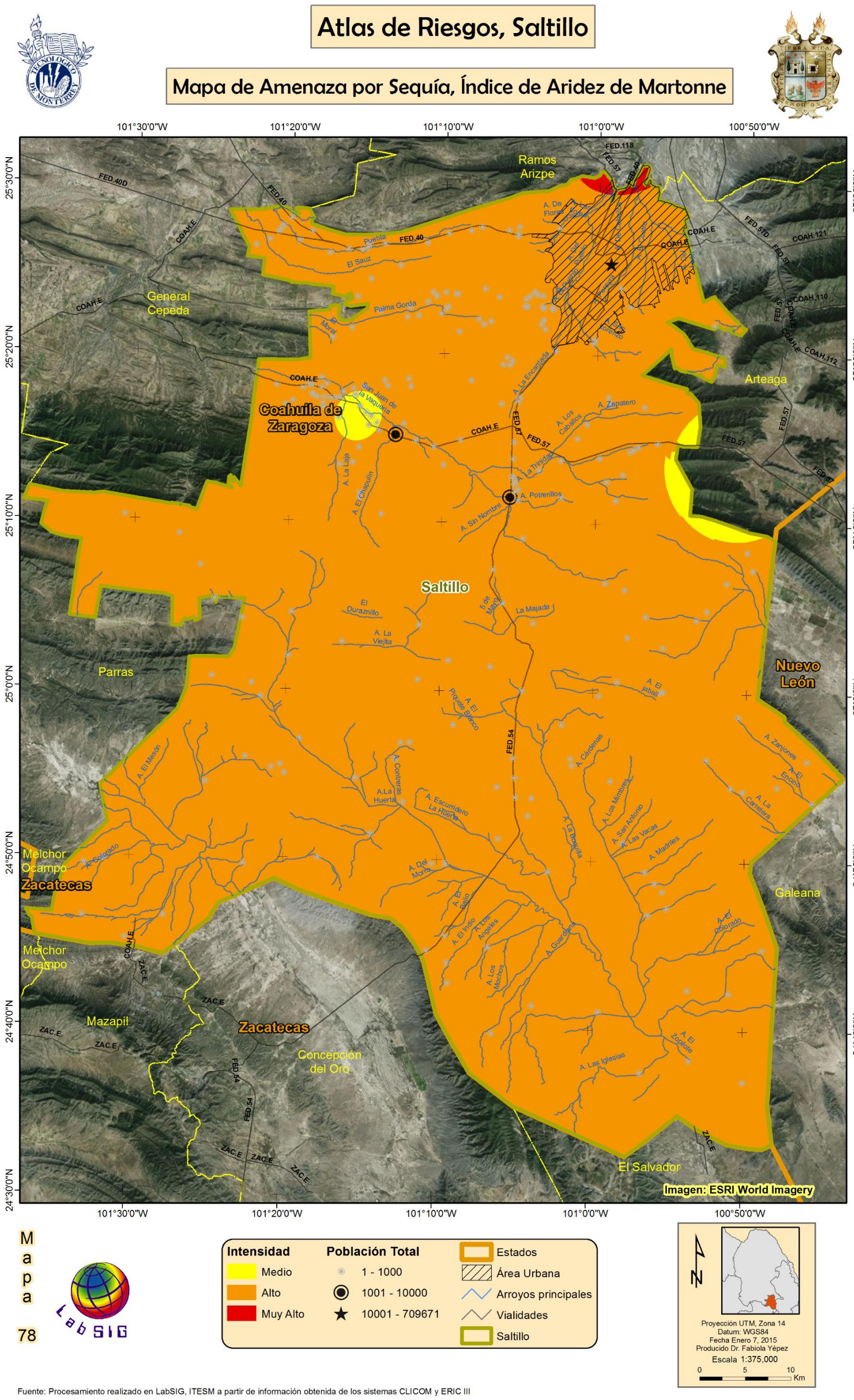


Figura 138. Mapa de amenaza por Aridez, generado a partir del índice de Martonne, Nivel rural.

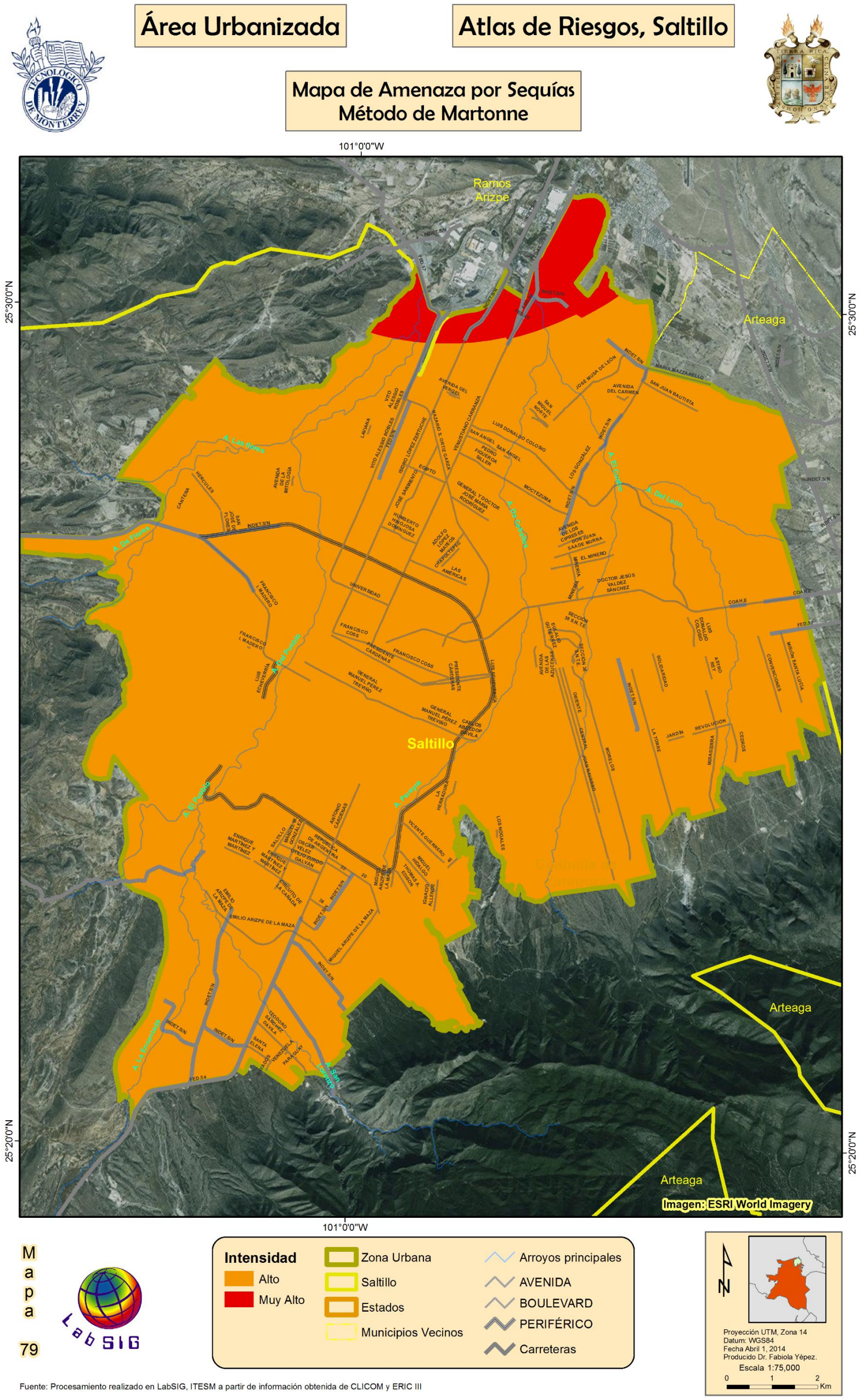


Figura 139. Mapa de amenaza por Aridez, generado a partir del índice de Martonne, zona urbana.

5.3.3 Heladas

La temporada de heladas dentro de la parte norte y centro de la republica ocurre entre los meses de Noviembre y Febrero, debido al ingreso de aire polar continental, proveniente de Estados Unidos. La región sur del Municipio de Saltillo, como se muestra en la Figura 140, se encuentra catalogada como una región de riesgo por presentar una temporada de heladas de más de 50 días en promedio por año (CENAPRED, Heladas, serie fascículos, 2001).

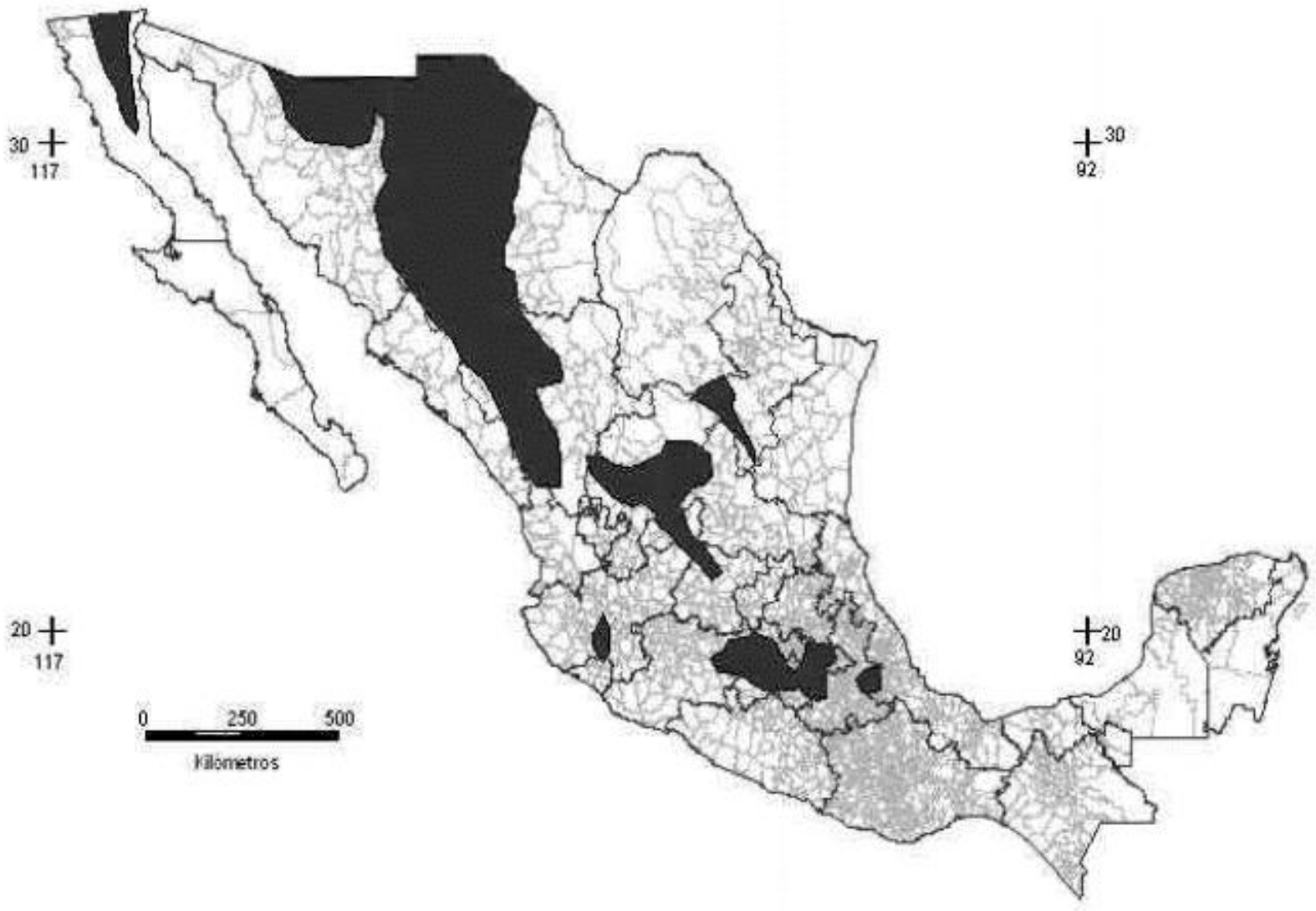


Figura 140. Regiones de mayor peligro por helada en México (más de 50 días al año). Tomado de CENAPRED, Heladas, serie fascículos, 2001.

La helada es la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua (0°C). Durante las heladas no ocurre precipitación (a diferencia de las nevadas) debido a que el vapor de agua contenido en el aire en lugar de ascender, se congela y se deposita en el piso.

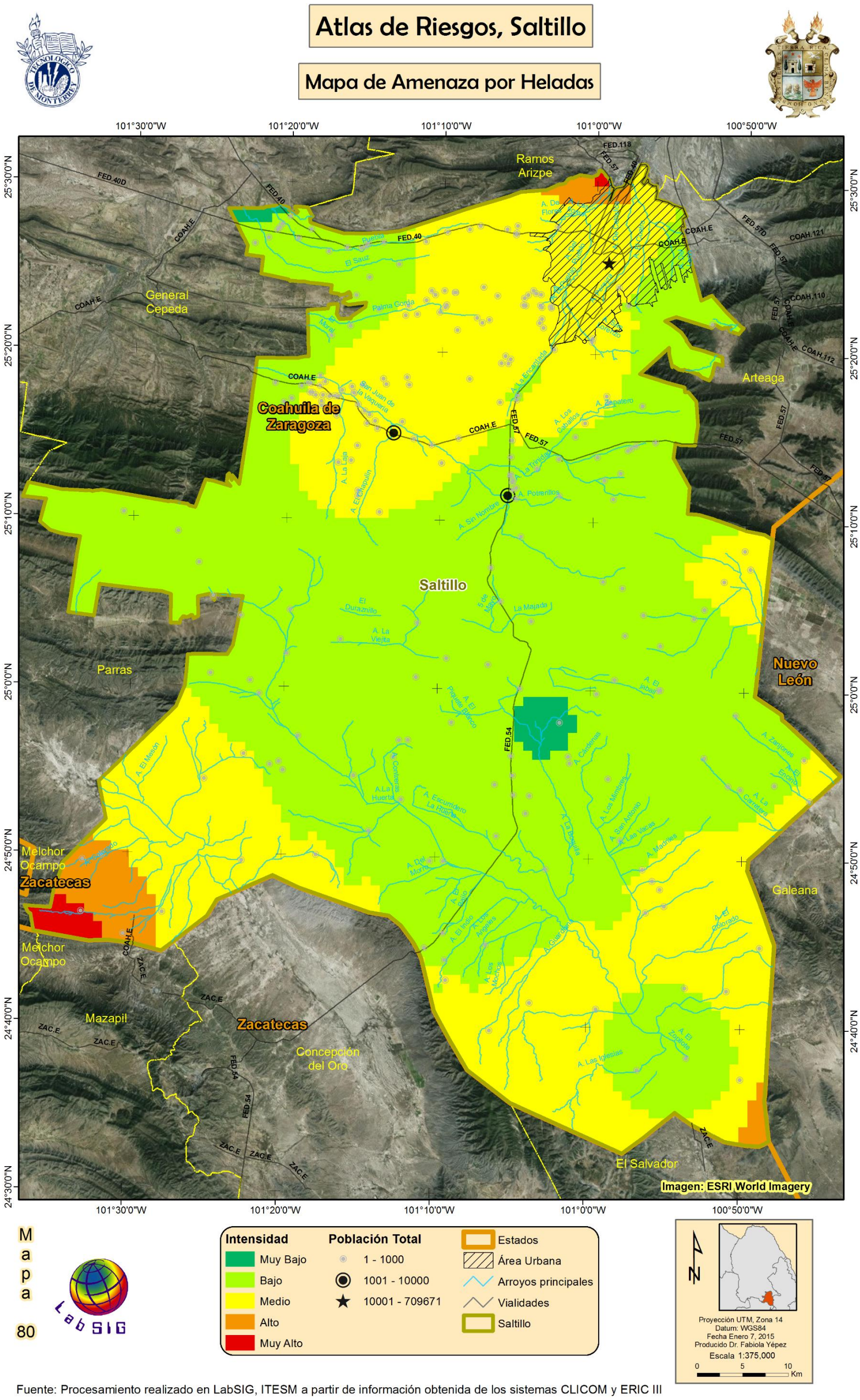
Desde el punto de vista agroclimático, es importante considerar a dicho fenómeno, ya que los cultivos son vulnerables a las heladas, con efectos como la deshidratación, perdida de hojas y tallos tiernos, destrucción de hojas, frutos, flores e incluso la muerte total de la planta. También es relevante, aunque en menor grado, las afectaciones a la salud de la población que son influenciadas por las olas de frío (CENAPRED, 2001).

Para generar un mapa de peligro por heladas para el Municipio de Saltillo y debido a la falta de información puntual confiable dentro de la zona se tomaron en cuenta únicamente los valores de temperaturas mínimas registradas por las estaciones ubicadas dentro y alrededor de los límites del municipio. Las estaciones utilizadas son producto de una combinación de información proveniente del sistema CLICOM y del sistema ERIC III.

A partir de la información recolectada se sabe que los valores de temperatura mínima se encuentran por debajo de los 4 grados bajo cero. En la Tabla 44 se muestra la categorización que se le ha dado a los diferentes rangos de temperaturas mínimas que finalmente se muestran en el mapa de peligro por heladas, presentado aquí en la Figura 141.

Tabla 44. Valores reclasificados de temperaturas mínimas utilizados para generar el mapa de peligro por heladas.

Valor de temperatura mínima	**Reclasificación por nivel de peligro**	
-4 a -8.5	1	Muy Bajo
-8.5 a -13	2	Bajo
-13 a -17.5	3	Medio
-17.5 a -21.9	4	Alto
-21.9 a -30.9	5	Muy Alto



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III

Figura 141. Mapa de peligro por heladas para el municipio de Saltillo.

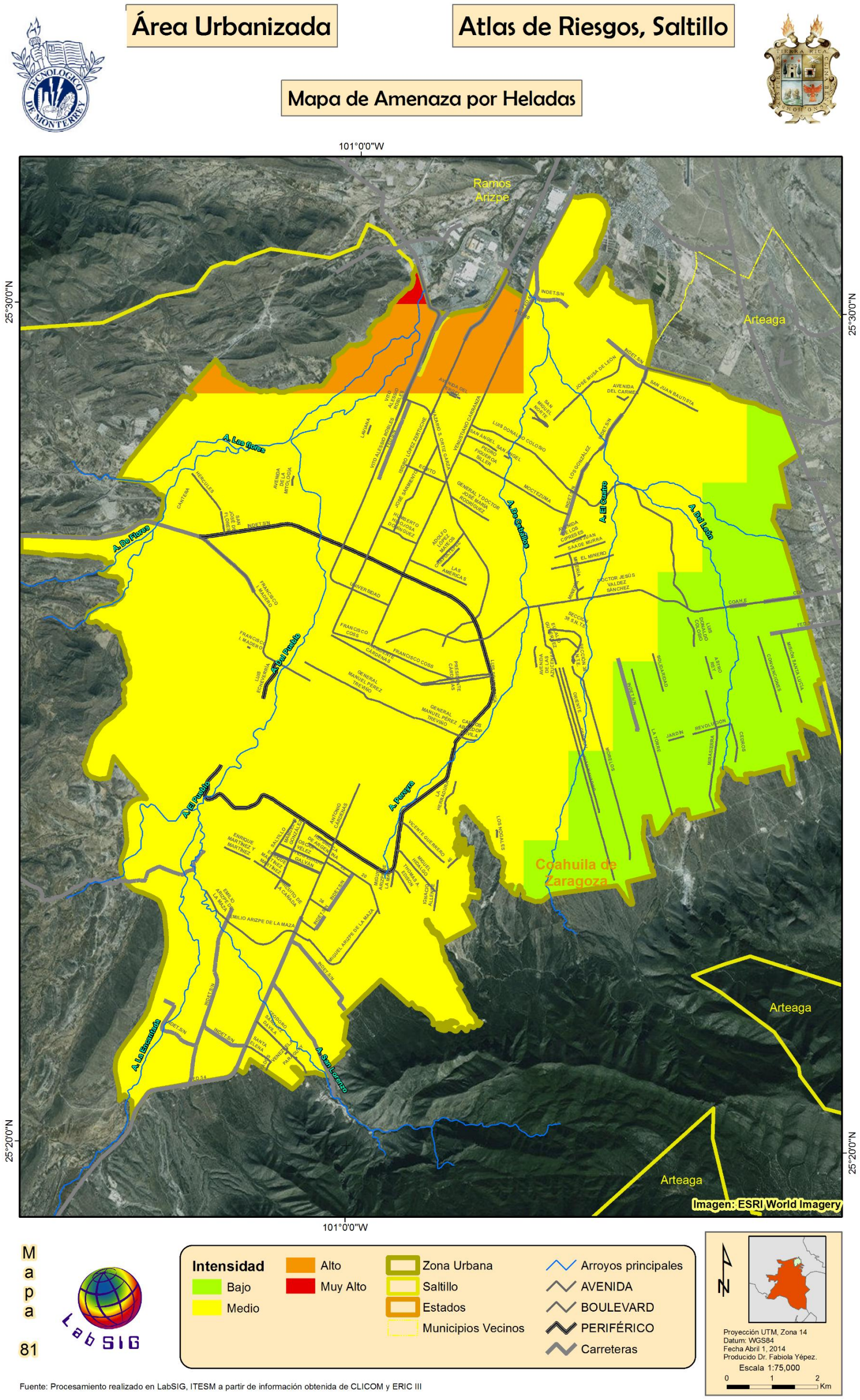


Figura 142. Mapa de peligro por heladas para el municipio de Saltillo a nivel urbano.

5.3.4 Tormentas de Granizo

El granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo. El granizo se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulunimbus son arrastrados por corrientes ascendentes y descendentes de aire. (CENAPRED, 2012).

La metodología consistió en dos etapas, durante la primera se calculó los periodos de retorno para 5 y 10 años. La de información de los eventos se obtuvo de la base de datos CLICOM administrado por el Servicio Meteorológico Nacional. El valor del Pr se determina en función de la variable aleatoria en una tabla de valores, estos valores ordenados de mayor a menor, de acuerdo como se muestra en el ejemplo (Tabla 45) con base en las siguientes relaciones:

$$T = n + 1 / m \qquad y \qquad P = m / n + 1$$

Donde:
T = Período de retorno (años).
n = Número de años registro.
m = Número de orden.
P = Probabilidad.

El resultado del análisis de las estaciones que se encuentran ubicadas dentro del Municipio de Saltillo, con Pr de 5 y 10 años se muestra en la Tabla 45:

Tabla 45. Periodos de retorno de 5 y 10 años, Granizadas.

N°	Edo.	Clave	Nombre de la estación	Prob (%)	PR-5 años	Prob (%)	PR- 10 años
1	Coah.	5048	SALTILLO, SALTILLO (DGE)	17.86	3	8.93	4
2	Coah.	5060	DERRAMADERO E.T.A. 10	18.75	4	9.80	0
3	Coah.	5081	CARNEROS, SALTILLO	22.22	0	11.11	0
4	Coah.	5136	LAS HORMIGAS, SALTILLO	20.00	0	10.00	0
5	Coah.	5141	GOMEZ FARIAS, SALTILLO	19.05	0	9.52	0
6	Coah.	5145	S. JUAN DE LA V.SALTILLO	20.00	0	10.00	0
7	Coah.	5175	LA VENTURA, SALTILLO	22.22	0	11.11	0

Los resultados de los periodos de retorno se emplearon para generar una capa de información para todo el municipio. Se usó la herramienta de IDW (Ponderación de Distancia Inversa) del programa Arcgis, la cual interpola la información clasificada para generar la cartografía con la estimación de periodos de retorno para 5 y 10 años (Figura 143, Figura 145).

De la comparación de ambas imágenes podemos apreciar que existe la posibilidad de presentarse mayor cantidad de eventos de granizada en un Pr de 10 años, particularmente en la zona Sureste del municipio.

Para llevar a cabo el cálculo de días de peligro por granizadas, se empleó como parámetro el promedio de días por año y por cada estación, considerando los intervalos que se muestran en la Tabla 46.

Tabla 46. Relación entre días con granizada, valor, índice y categoría.

Días	**Valor**	**Índice**	**Categoría**
> 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	Muy bajo o nula

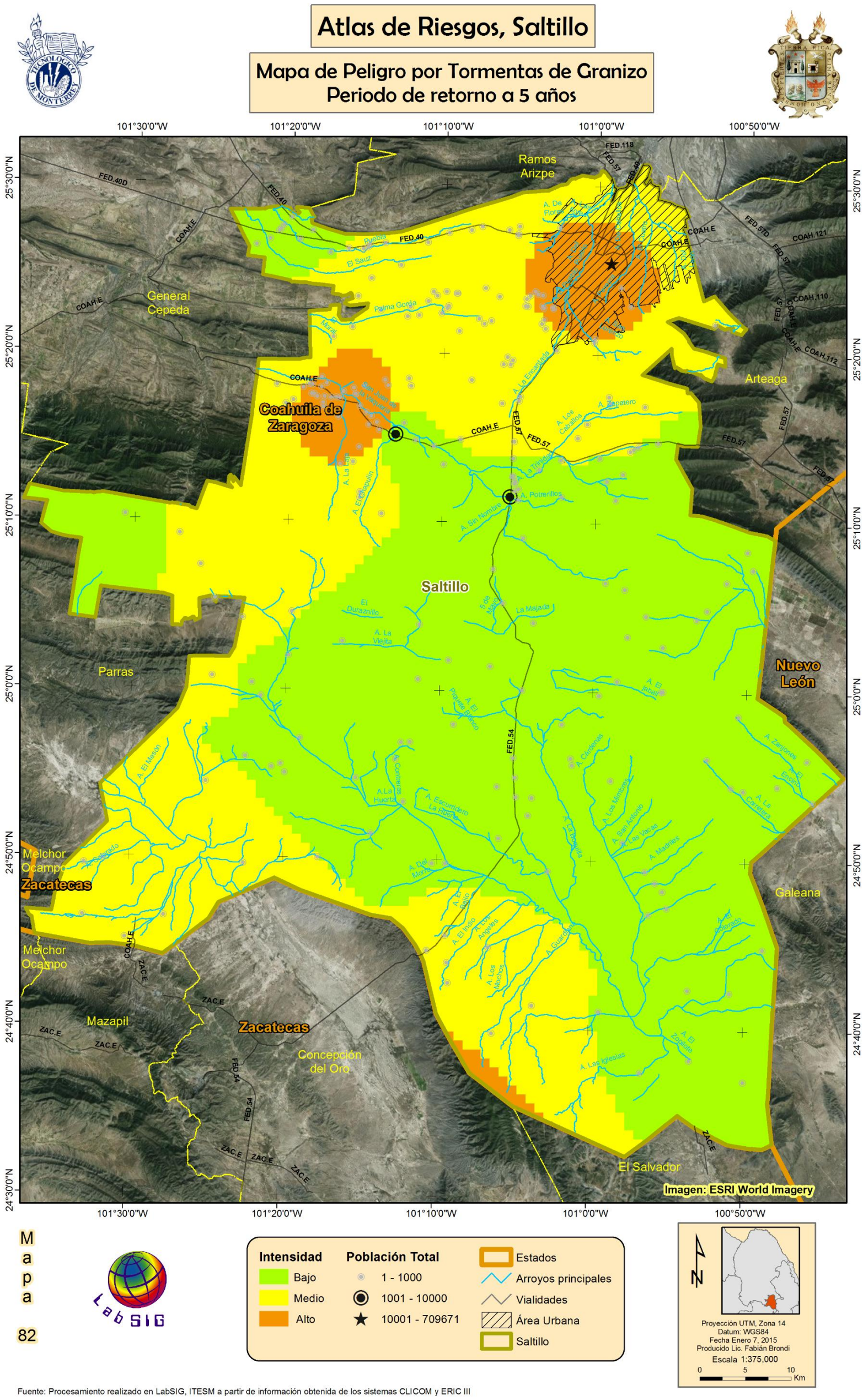
Fuente: Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometereológicos - CENAPRED 2012.

El resultado del análisis de los datos de las estaciones que se encuentran ubicadas dentro del Municipio de Saltillo se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47. Promedio de días por año relacionado con índice, valor y categoría.

N°	Clave	Nombre de la estación	Años	Promedio días x año	Valor	Índice	Días	Categoría
1	5048	SALTILLO, SALTILLO (DGE)	77	1.55	1.5	0.2	1-2	Medio
2	5060	DERRAMADERO E.T.A. 10	36	2.13	3.5	0.47	2-4	Alto
3	5081	CARNEROS, SALTILLO	12	0.00	0	0	0	Muy bajo o nula
4	5136	LAS HORMIGAS, SALTILLO	48	0.05	0.5	0.07	0 - 1	Bajo
5	5144	SANTA TERESA DE SOFIA	44	0.13	0.5	0.07	0 - 1	Bajo
6	5145	S. JUAN DE LA V.SALTILLO	26	0.16	0.5	0.07	0 - 1	Bajo
7	5175	LA VENTURA, SALTILLO	30	0.18	0.5	0.07	0 - 1	Bajo

Con la información procesada del promedio de días por año y por cada estación, los resultados se analizaron a través del software Arcgis con la herramienta IDW (Ponderación de Distancia Inversa), se interpolan los datos para generar la cartografía con la estimación de peligro por granizada (de la Figura 143 a la Figura 148)



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III

Figura 143. Granizadas, Pr para 5 años.

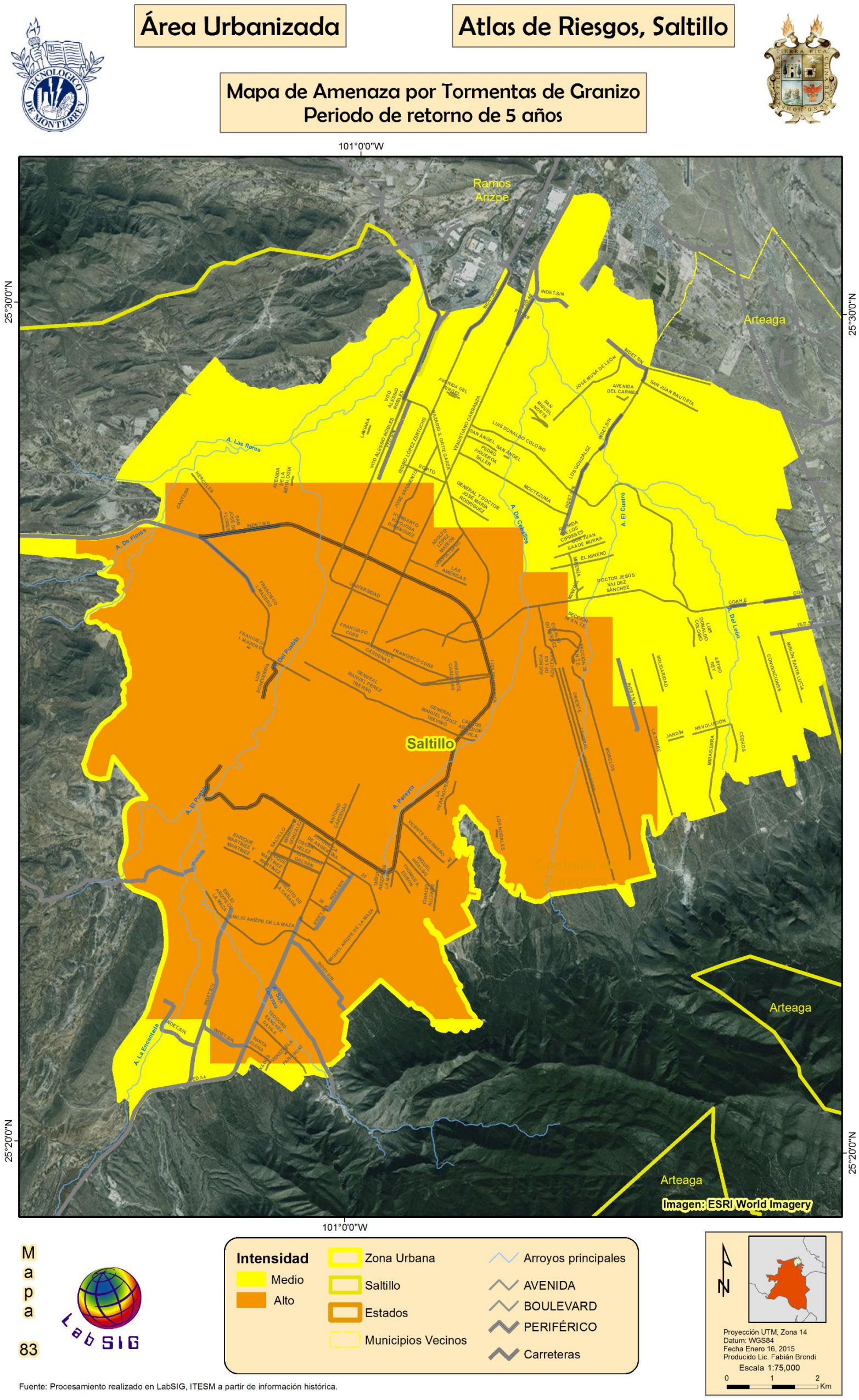


Figura 144. Granizadas, Pr a 5 años, zona urbana.

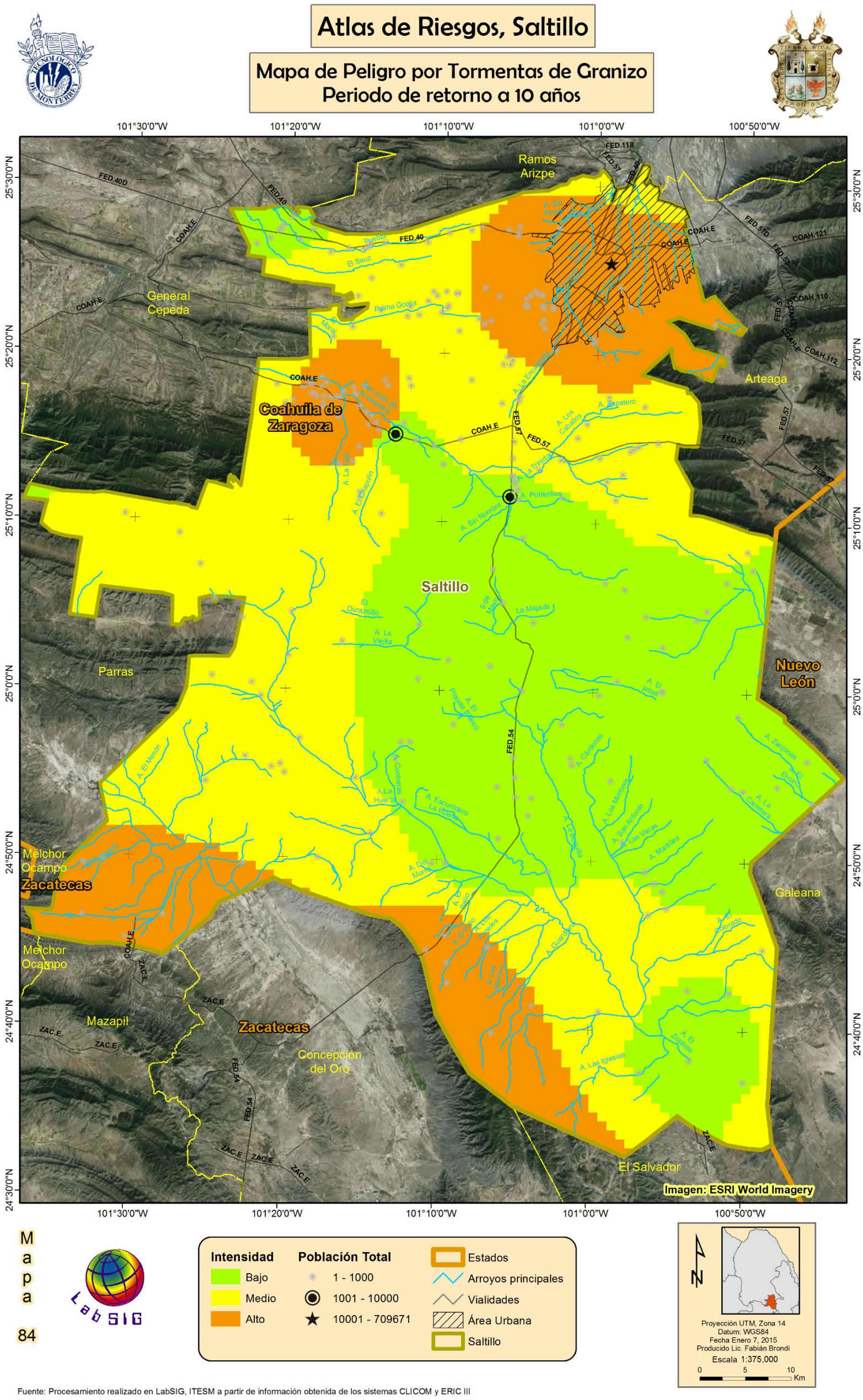
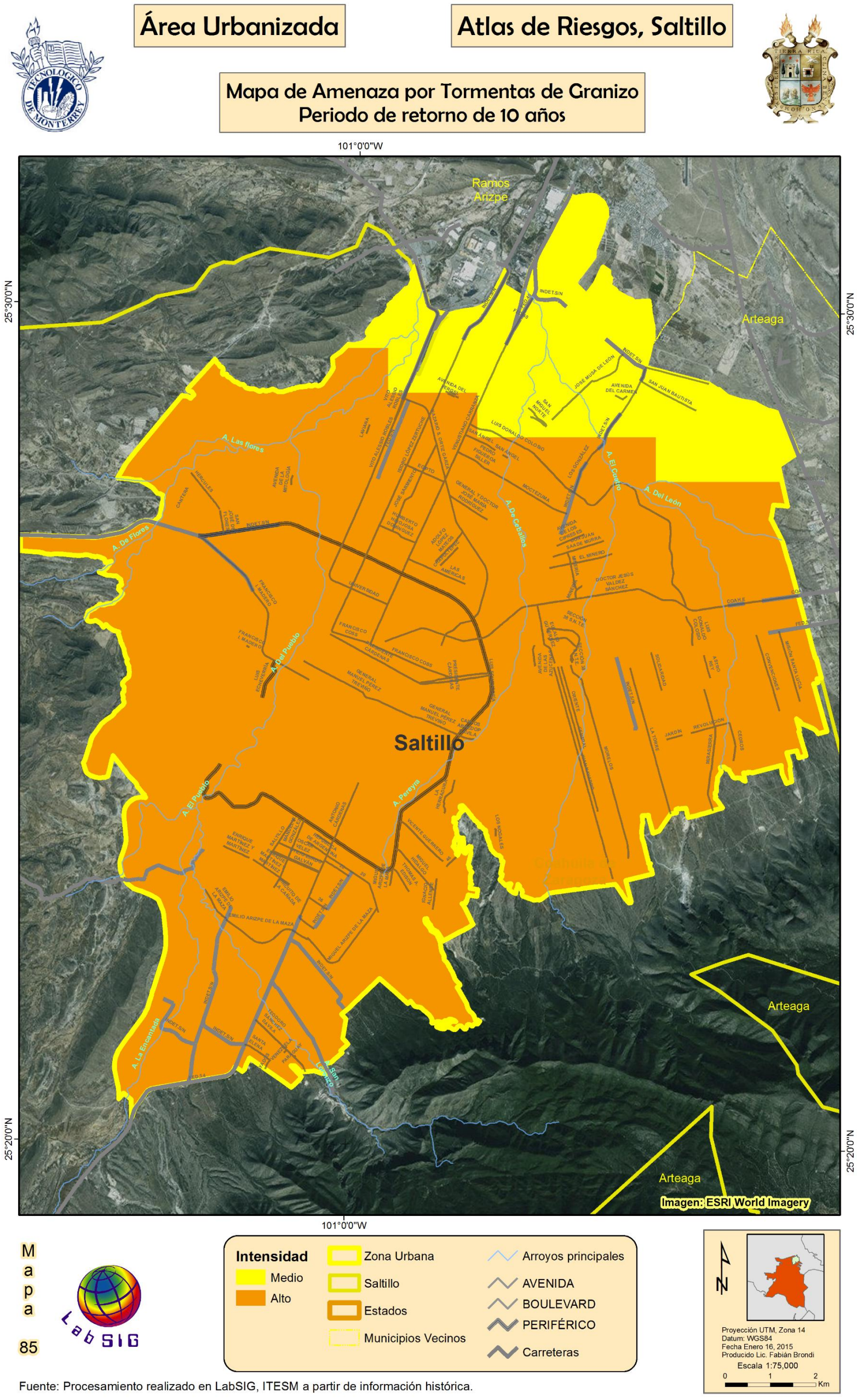


Figura 145. Granizadas, Pr para 10 años



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica.

Figura 146. Granizadas, Pr a 10 años, zona urbana.

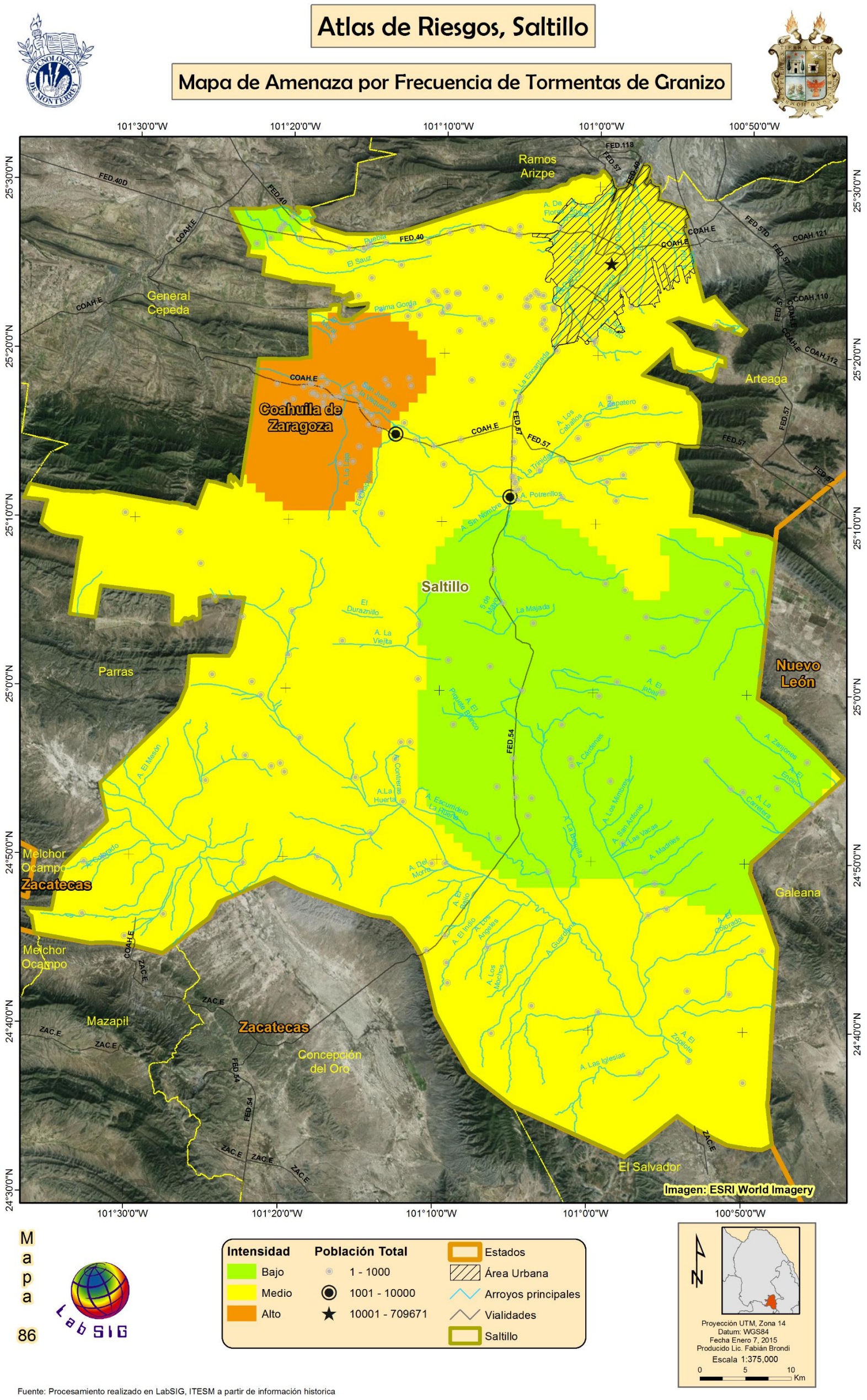


Figura 147. Peligro de granizadas, Municipio de Saltillo.

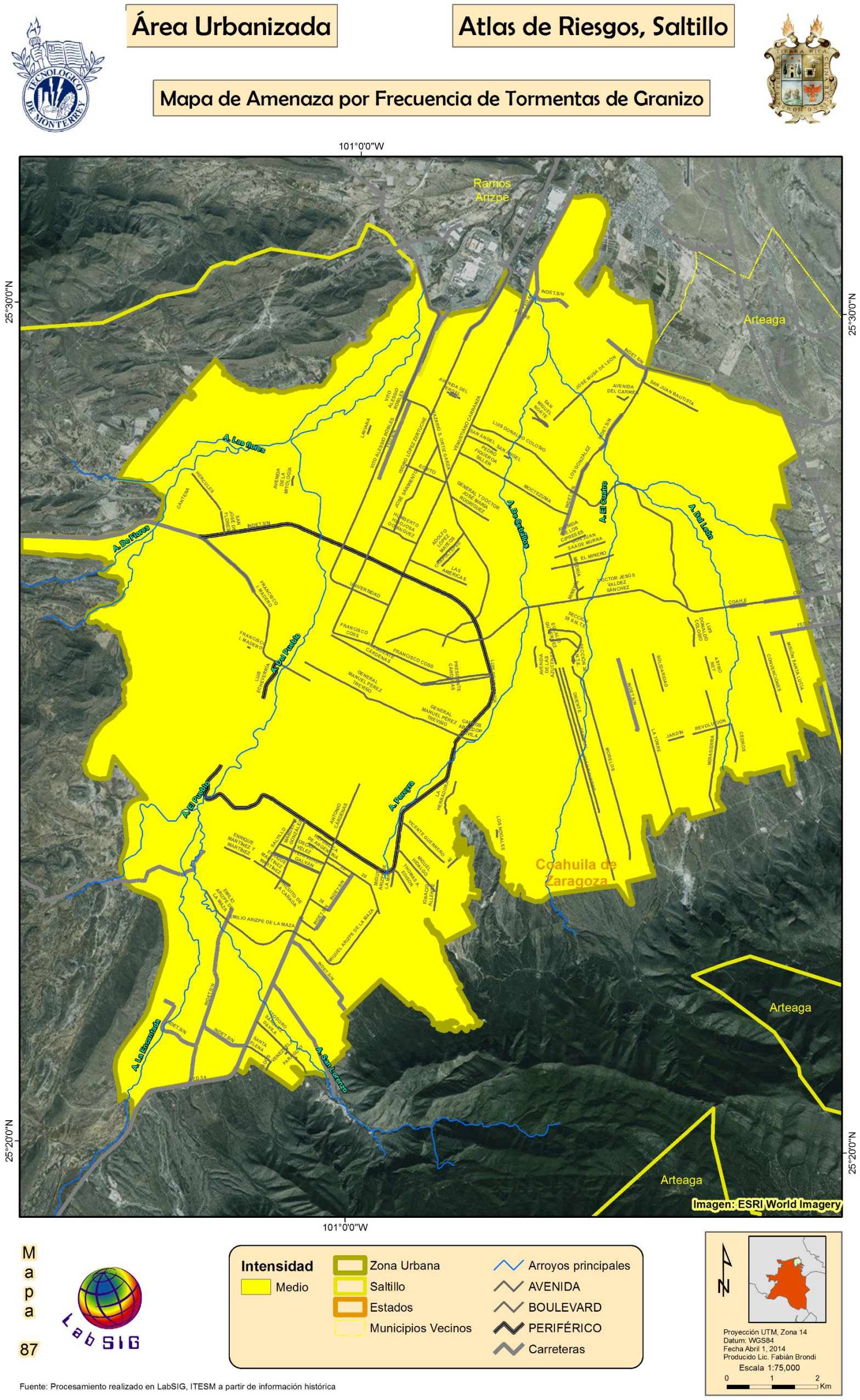


Figura 148. Peligro de granizadas, Municipio de Saltillo, a nivel urbano.

5.3.5 Tormentas de Nieve

La nieve es la precipitación de agua en forma de cristales que se origina, cuando las temperaturas son menores al punto de congelación del agua, es decir 0° Celsius, lo que provoca que el vapor de agua se condense directamente en hielo sin pasar por el estado líquido (NSIDC, 2014). La acumulación de nieve da origen a diversos problemas como taponamientos en el sistema de drenaje, representando una alteración en el régimen fluvial. La escorrentía originada a partir de la fundición de los cúmulos de nieve se ve retrasada con respecto a la escorrentía de la precipitación normal porque depende de los factores térmicos.

Dentro del territorio mexicano se tienen localizadas en algunas zonas que presentan probabilidades más altas de Nevadas; la mayor parte de éstas zonas se ubican en el Noroeste, y aunque en el centro del país las nevadas son escasas también pueden presentarse en Toluca y Zinacantepec (CENAPRED, 2012). En la Figura 149 se presenta el territorio mexicano dividido por índices de frecuencia de nevada, en éste mapa se representa al municipio de Saltillo como una zona de peligro grado medio.

Debido a que las estaciones climatológicas disponibles para el municipio de Saltillo no cuentan con información sobre nieve o nevadas, se llevó a cabo una investigación bibliográfica que muestra los datos históricos del municipio. Durante la investigación se consultaron diversas fuentes, como noticias de periódicos locales del municipio y el Atlas Nacional de Riesgo del 2007. Este último se basó en parte en recopilaciones históricas las cuales se muestran en las

Figura 150 y Figura 151, en las que se demuestra la presencia de nevadas dentro del municipio, registrándose desde el siglo XIX, y que se siguen registrando para el siglo XXI (Figura 149).

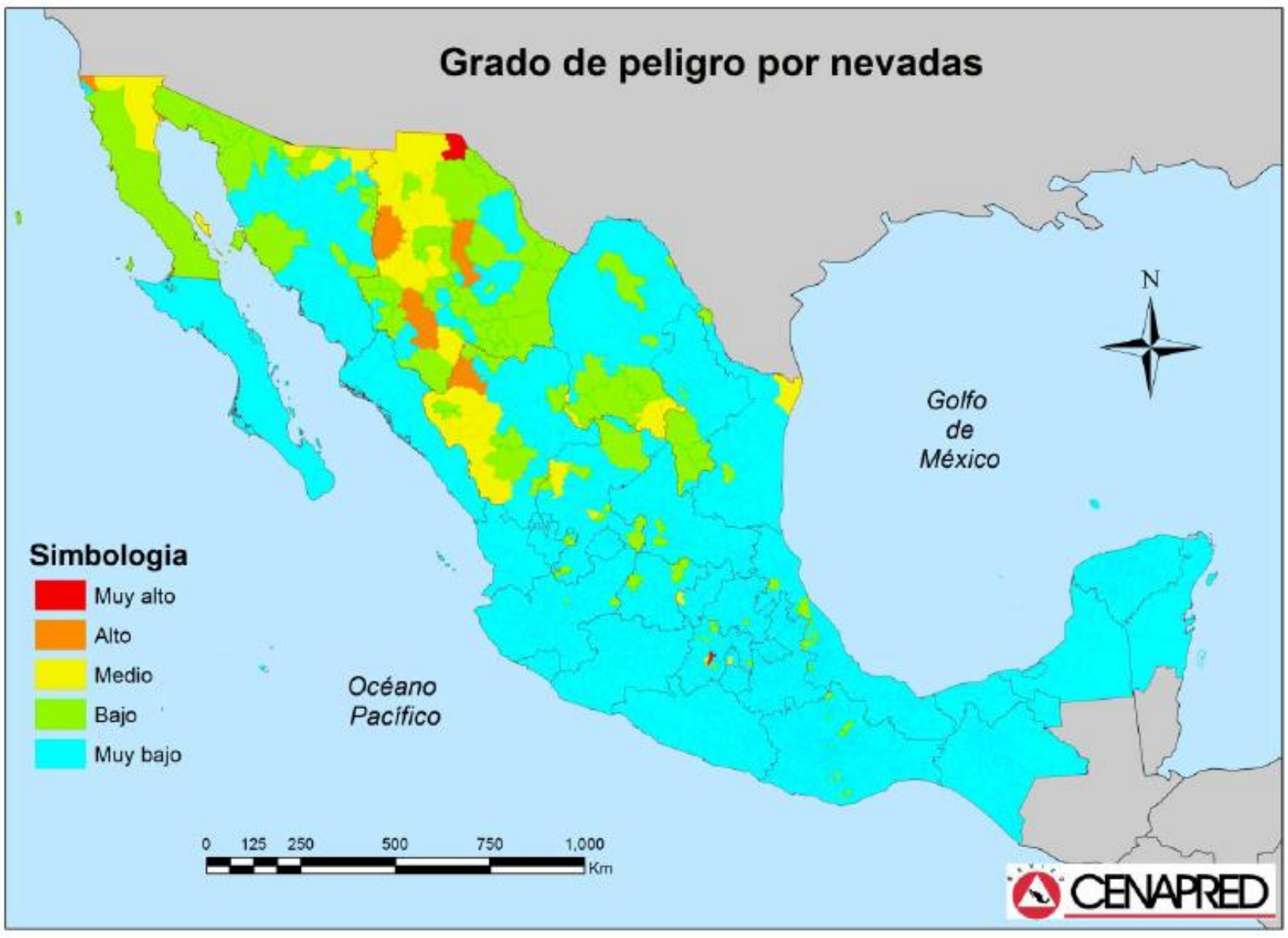


Figura 149. Índice de peligro por nevadas a escala municipal (Fuente: CENAPRED, 2012).

En la Tabla 48 se muestra una recopilación de noticias de periódicos acerca de las nevadas que se han precipitado dentro del municipio, por lo tanto las conclusiones que se tomen a partir de esta información deben ser tomadas a consideración puesto que no pueden ser validadas. La Tabla 48 también muestra las fechas en las que se ha reportado la presencia de nieve, junto con la temperatura registrada el día del evento. En estos datos se puede observar que la temporada de mayor probabilidad de presencia de nevadas, corresponde a los meses de diciembre a febrero.

Dado lo anterior, se infiere que el municipio es propenso a nevadas, por lo que se utilizó un único grado de amenaza para todo el territorio municipal y considerando un nivel “bajo”, aunque se realizaron los mapas por amenaza a nivel rural (Figura 152) y a nivel urbano (Figura 154).



Figura 150. Registro de datos históricos de nevadas del siglo XV al XIX, tomado de Atlas Nacional de Riesgo, 2007.

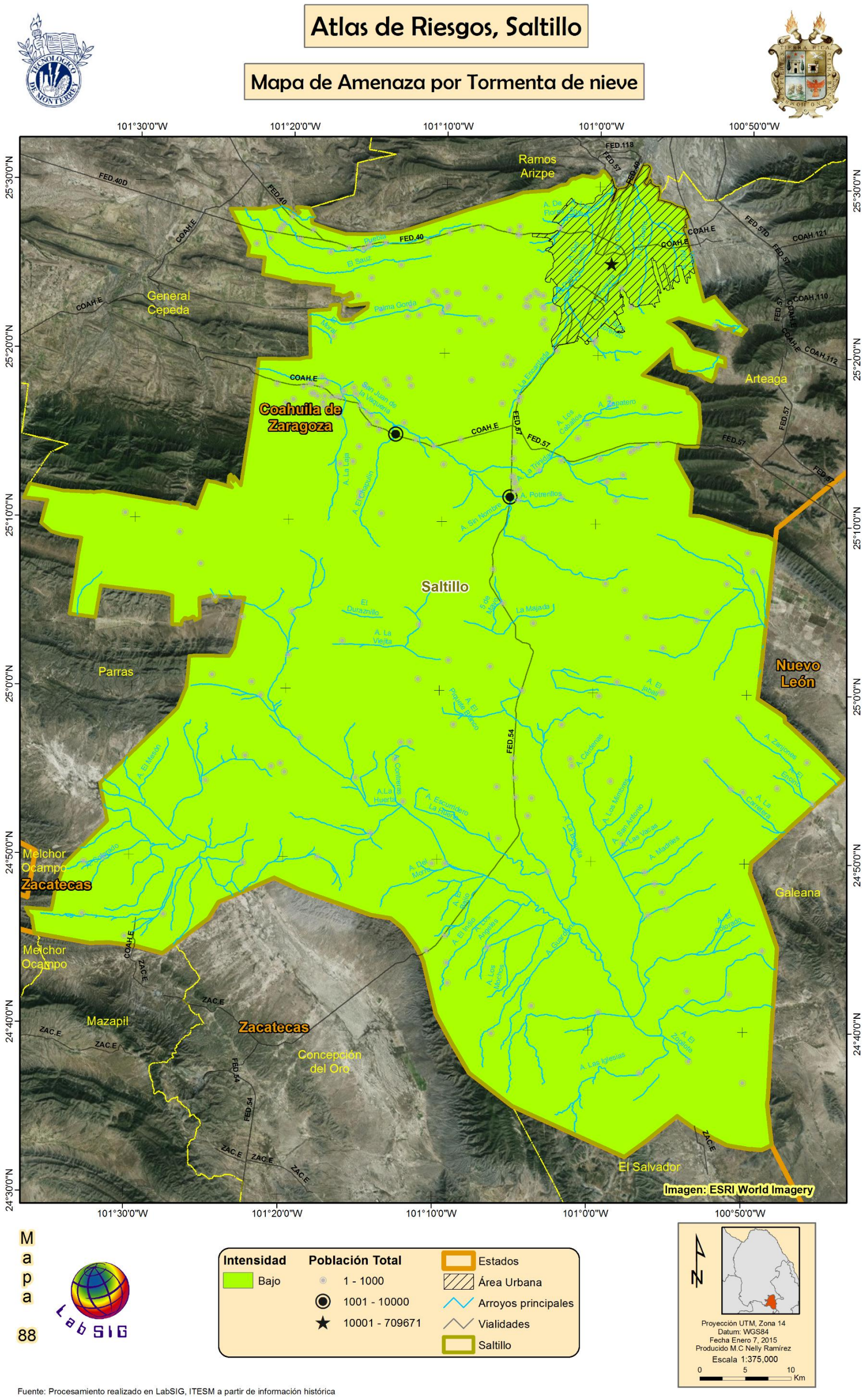


Figura 151. Registro de datos históricos de nevadas del siglo XX al XXI, tomado de Atlas Nacional de Riesgo, 2007.

Tabla 48. Registro histórico de nevadas, obtenido de diversas fuentes provenientes de artículos periodísticos.

Año	Fecha	Temperatura real (°C)
2013	10 de febrero	-14
2010	08 de enero	-5 a -2
2007	16 de enero Se registran dos días de nevada °	-5 a -2
2006	Se registra un día de nevada °	-
2001	02 de febrero Se registran tres días de nevada °	0 a 2
2000	Se registran dos días de nevada °	-
1997	13 de enero 12 de diciembre	-4 a -2 -6 a -5
1996	02 de enero 03 de enero	-2 a 7 -3 a 9
1988	06 de febrero	-4 a -3
1987	21 de enero	-2 a 0
*1986**	05 a 06 de febrero	¿?
*1985**	¿? diciembre	¿?
*1983**	23 a 24 de diciembre	-17 (Temperatura récord)
1981	17 de enero 06 de octubre	-1 0 a 26
1967	11 de enero	Nevada más intensa (75 cm)

Fuente: http://www.wunderground.com/history/airport/MMIO (Registro meteorológico 1973-2014)
* Fuente: http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/continuan-posibilidades-de-nevadas-en-la-region-afirmo-ricardo-garza-bermea (Noticia)
° Fuente: http://www.tutiempo.net/clima/Saltillo_Coah/763900.htm



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 152. Amenaza por tormentas de nieve a nivel rural

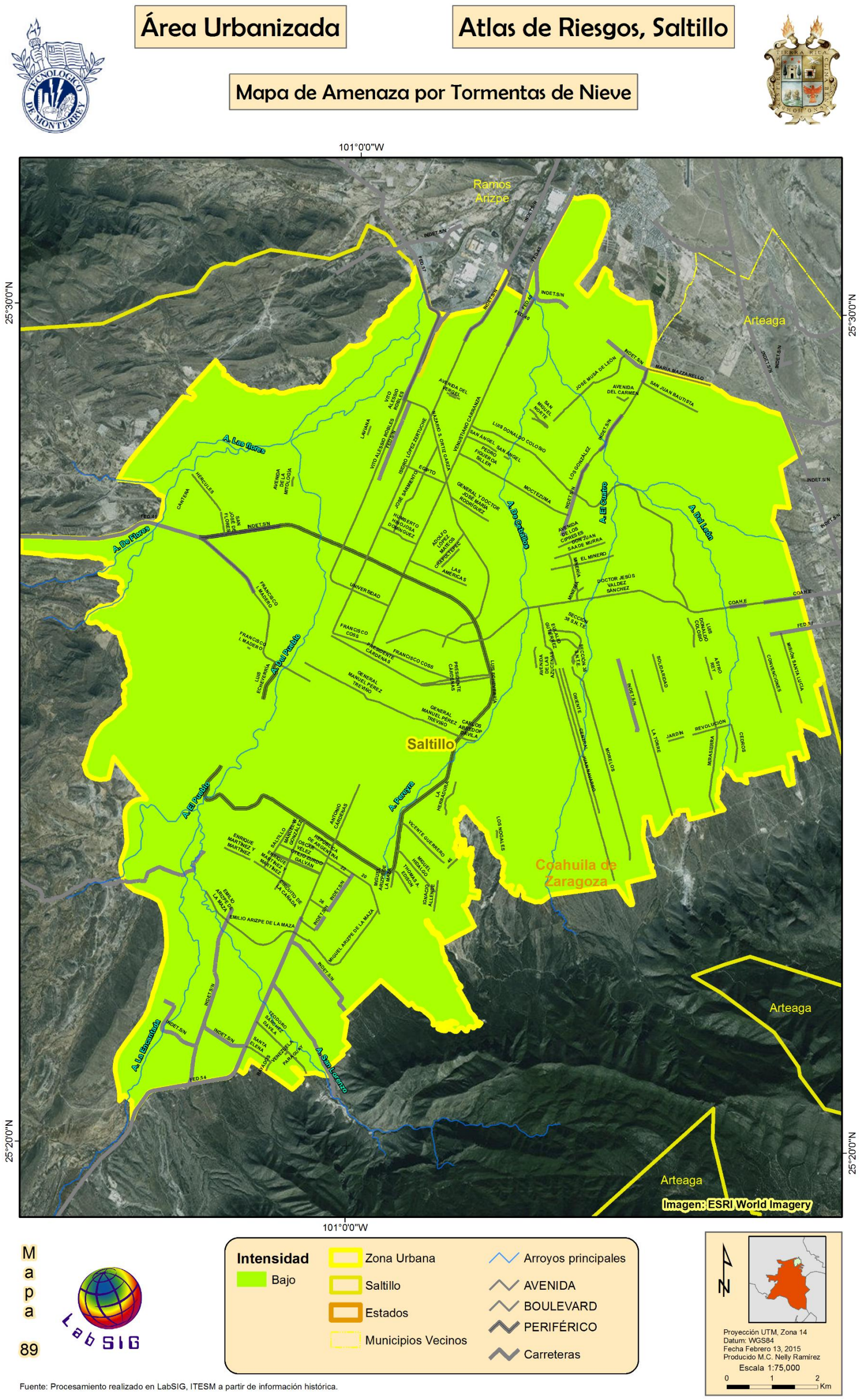


Figura 153. Amenaza de nieve, a nivel urbano.

5.3.6 Ciclones Tropicales

A nivel estatal y de acuerdo con el reporte de Jiménez Espinoza, et. al (2012) elaborado para el Sistema Nacional de Protección Civil del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Coahuila es uno de los 6 estados de la República con menor grado de riesgo a ciclones tropicales (Figura 154), ya que presenta un 88% de riesgo muy bajo y un 12% de riesgo bajo ante éste tipo de fenómenos.

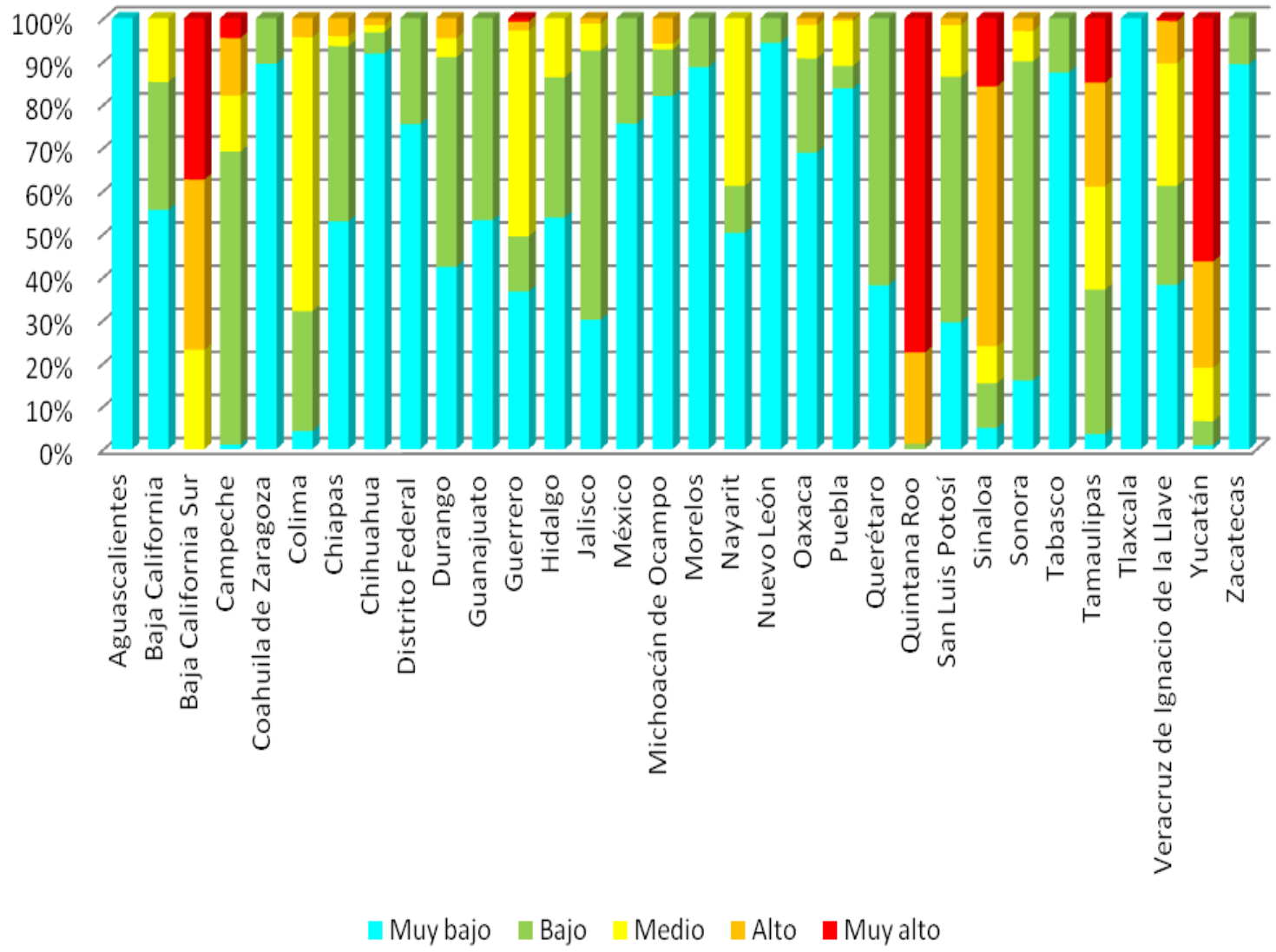


Figura 154. Porcentaje de la población estatal en riesgo por ciclones tropicales (Jiménez Espinoza, et. al 2012.

Las estadísticas se obtuvieron como resultado del análisis geográfico de las trayectorias de los huracanes. Sin embargo, el reporte subraya que el riesgo fue calculado para demostrar cuales estados serían los afectados ante los riesgos causados por los efectos directos de los ciclones, tales como viento, oleaje, marea de tormenta y lluvia, con lo cual se puede esperar el resultado del mapa siguiente, en el que los estados costeros resultan los más vulnerables (Figura 155).

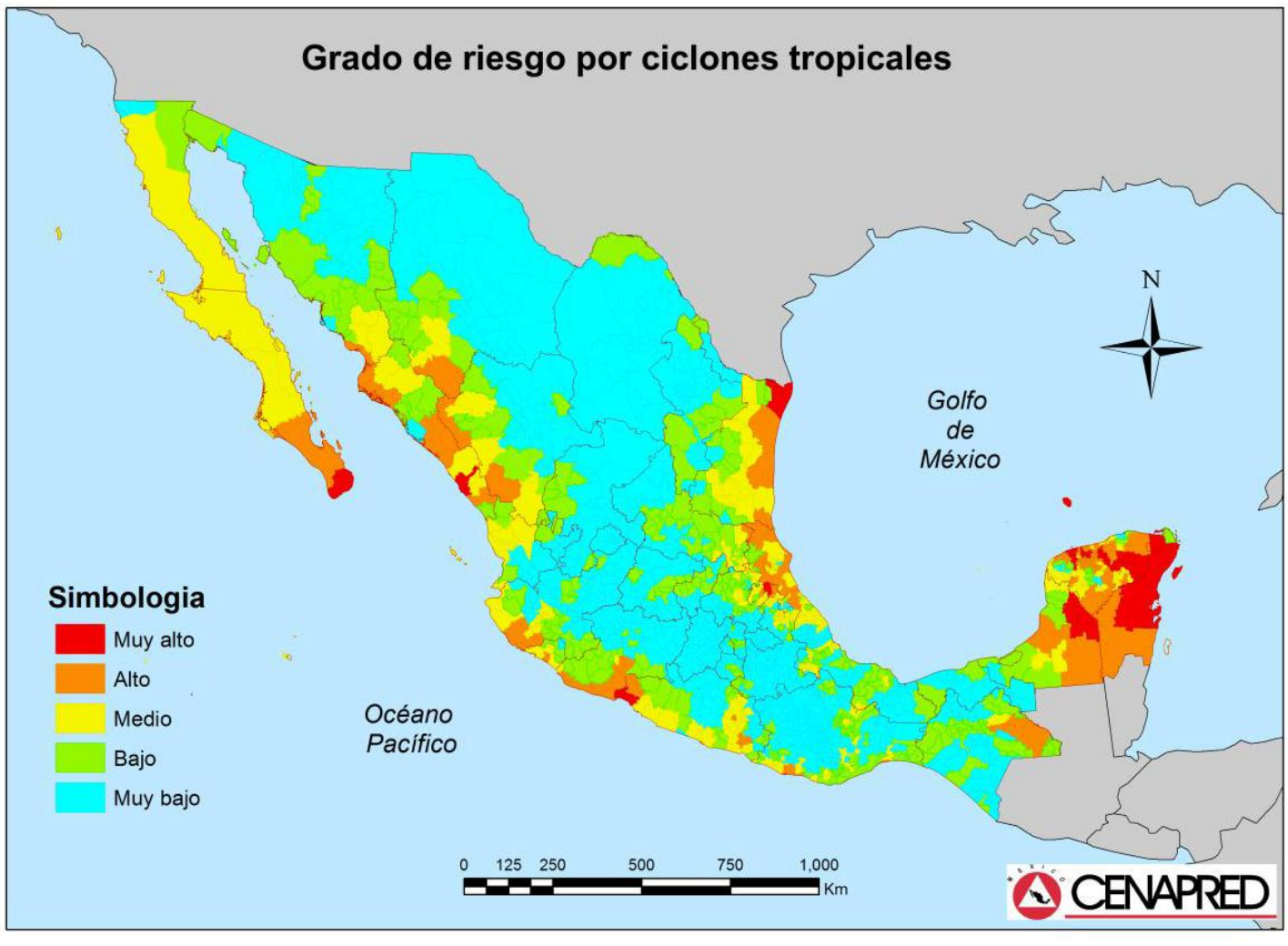


Figura 155. Grado de riesgo municipal por ciclones tropicales (Jiménez Espinoza, et. al 2012).

No obstante, el mapa anterior no demuestra el peligro que se generarían en las ciudades o estados como consecuencia de las lluvias y vientos que vienen con el huracán, es decir los efectos indirectos, como son los desplazamientos, inundaciones, flujos de escombros, avenidas repentinas, anegamiento, etc. Éste tipo de fenómenos son característicos del noreste de México por su cercanía con áreas montañosas se encuentran en riesgo por el desprendimiento de rocas por acumulación de agua.

En el caso de Saltillo, la incidencia de huracanes es baja, de acuerdo con el registro de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). La Tabla 49 reporta eventos de tormentas tropicales que han tenido un impacto sobre el municipio como son el Huracán Gilberto (1988) y Emily (2005), los cuales durante su trayectoria cruzaron por el territorio municipal, sin embargo dentro de un buffer de 150 kilómetros existen otras tormentas como Two, Barry, Erika, Bert y Ella que durante el periodo histórico han influido en la meteorología del municipio y algunas tormentas que incluso fuera de ese rango han impactado al municipio por la intensidad de lluvias que dispersan en el territorio con su llegada, como el Huracán Alex, el cual incluso su trayectoria se encontraba a 250 km de la ciudad de Saltillo pero causó estragos con los remanentes (Figura 156).

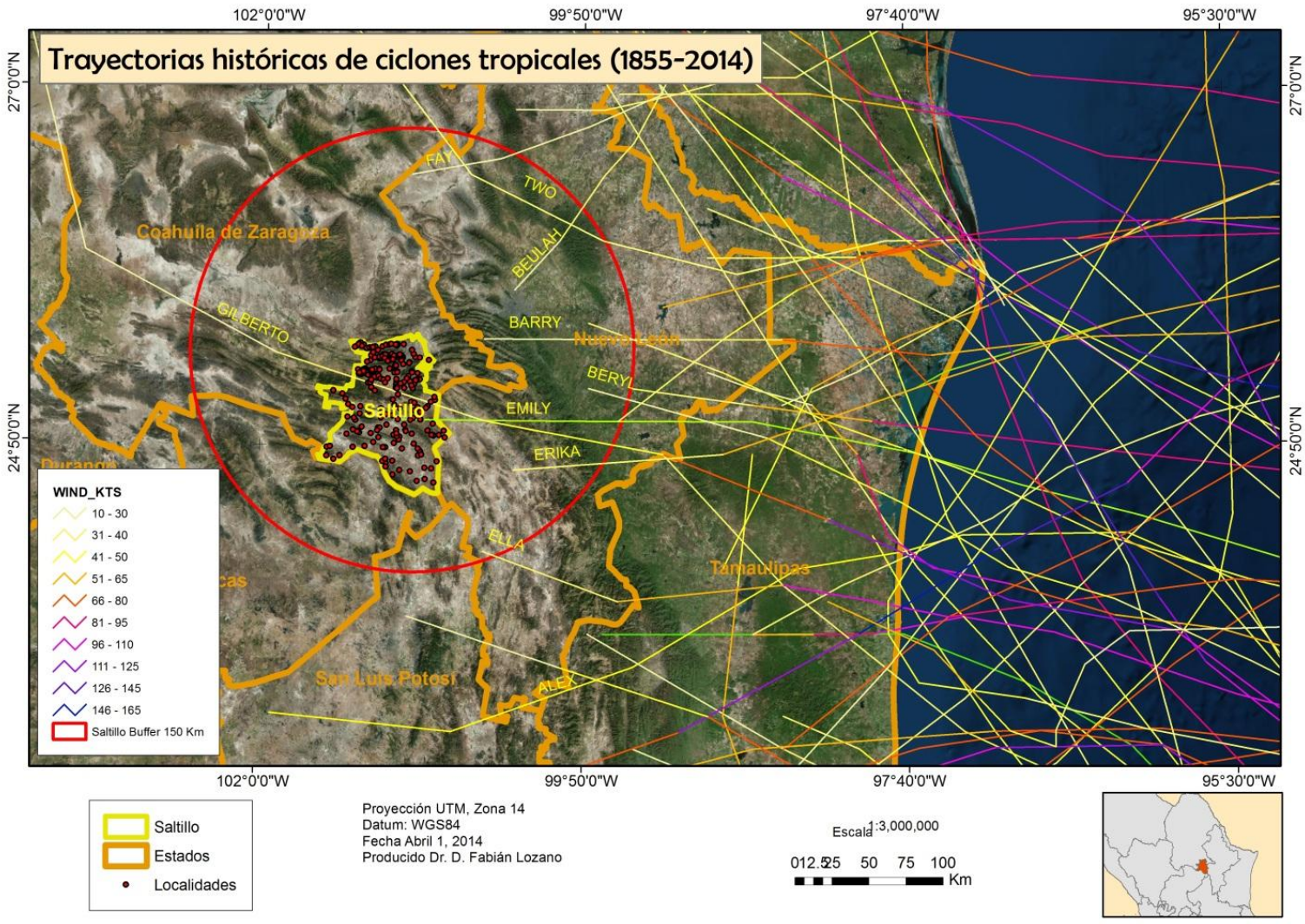


Figura 156. Trayectorias históricas de ciclones tropicales cercanos al municipio de Saltillo.

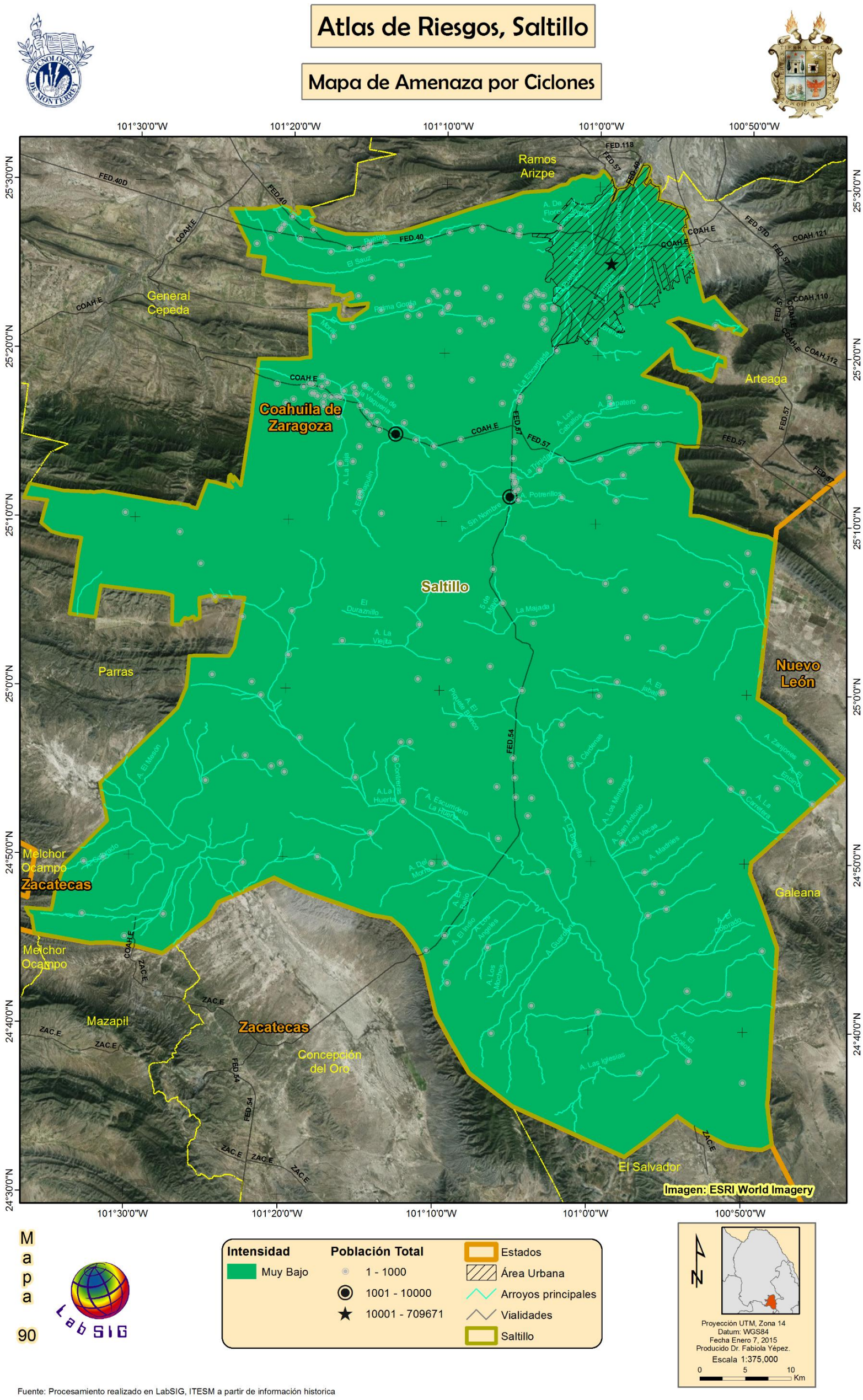
Tabla 49. Tormentas tropicales que ingresaron al territorio y afectaron al municipio de Saltillo en un periodo de 40 años.

Nombre	**Año**	**Vientos máximos km/h**	**Presión máxima (hPa)**	**Categoría**	**Estimación de daños en México (Dólares)**	**Fallecimientos directos**
BEULAH	1967	260	923	5	1,000 mill	58
ELLA	1970	195	1003			
TWO	1970	210				
BARRY	1983	130	985		-	0
GILBERT	1988	295	988		10,000 mill	341
BERYL	2000	85	1010			
FAY	2002	90	1008			
ERIKA	2003	120	986	5		
EMILY	2005	260	929	3	1,000 mill	6
ALEX	2010	175	946	2	1,985 trillón	34

Huracán Beulah: Fue considerado el huracán más fuerte de la Temporada de huracanes en el Atlántico de 1967. Se debilitó antes de llegar a Texas, donde diseminó alrededor de 115 tornados. Las lluvias de Beulah provocaron daños por inundaciones en toda la región noreste de México y sureste de Texas. Los daños ascendieron a mil millones de dólares y provocaron 58 decesos directos.

Huracán Gilberto: En tan sólo 3 días Gilberto destrozó el noreste de México, presentando rachas con velocidades hasta de 250 km/h y la categoría 5 de Saffir-Simpson cuando entrara al territorio nacional. Aunque ,para cuando llegó a Saltillo se encontraba “debilitado”, el viento y las torrenciales lluvias dejaron 8 muertos y daños económicos estimados en 3 mil millones de dólares (Rodolfo Gutiérrez, 2013 del Zócalo de Saltillo)

Huracán Alex: Este evento es uno de los más recientes y el último que causó daños en 26 colonias, especialmente en 17 arroyos en los que el agua alcanzó niveles hasta de 4m. Alex dejó daños valuados en más de 100 millones de acuerdo con el Gobierno Estatal.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información historica

Figura 157. Amenaza por ciclones a nivel Rural.

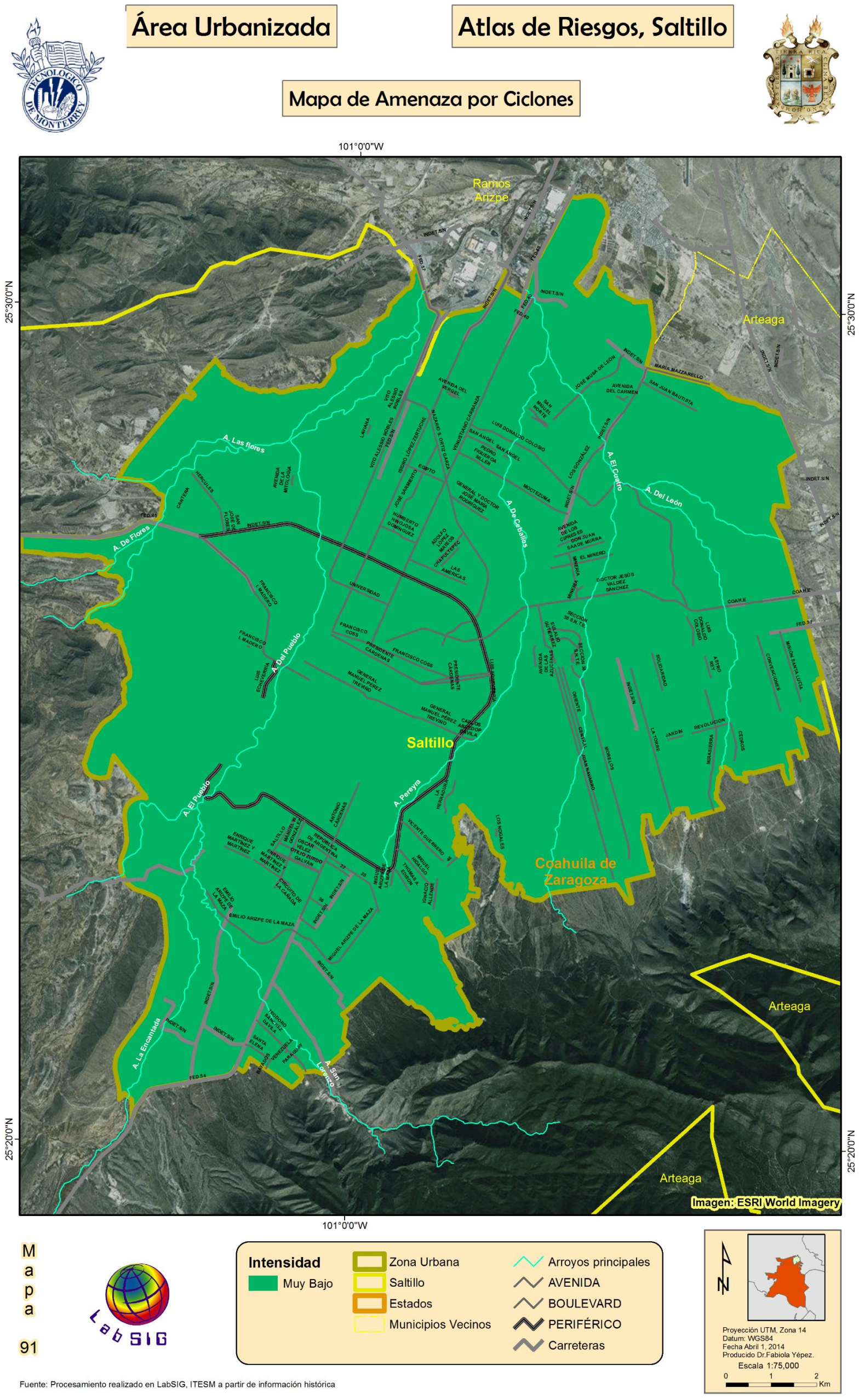


Figura 158. Amenaza por ciclones a nivel Urbano.

5.3.7 Tornados

Los tornados se forman cuando chocan masas de aire con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad, generando un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste. El resultado es, una perturbación atmosférica en forma de vórtice en la base de una nube de tipo cumuliforme (CENAPRED, 2014), que son nubes planas y de apariencia muy densa.

Los tornados son considerados una fuente de riesgo, ya que pueden ocasionar diversos tipos de daños a su paso, de los cuales se resaltan las pérdidas económicas a la agricultura, a la vivienda e infraestructura urbana e inclusive lesiones y pérdidas humanas (CENAPRED_2, 2014).

El territorio mexicano es propenso a éste tipo de eventos, aunque aún no se cuenta con una base de datos con el registro o mediciones del fenómeno. En la Figura 159 se muestra un mapa de México señalando los municipios en los que se han registrado la ocurrencia de tornados.

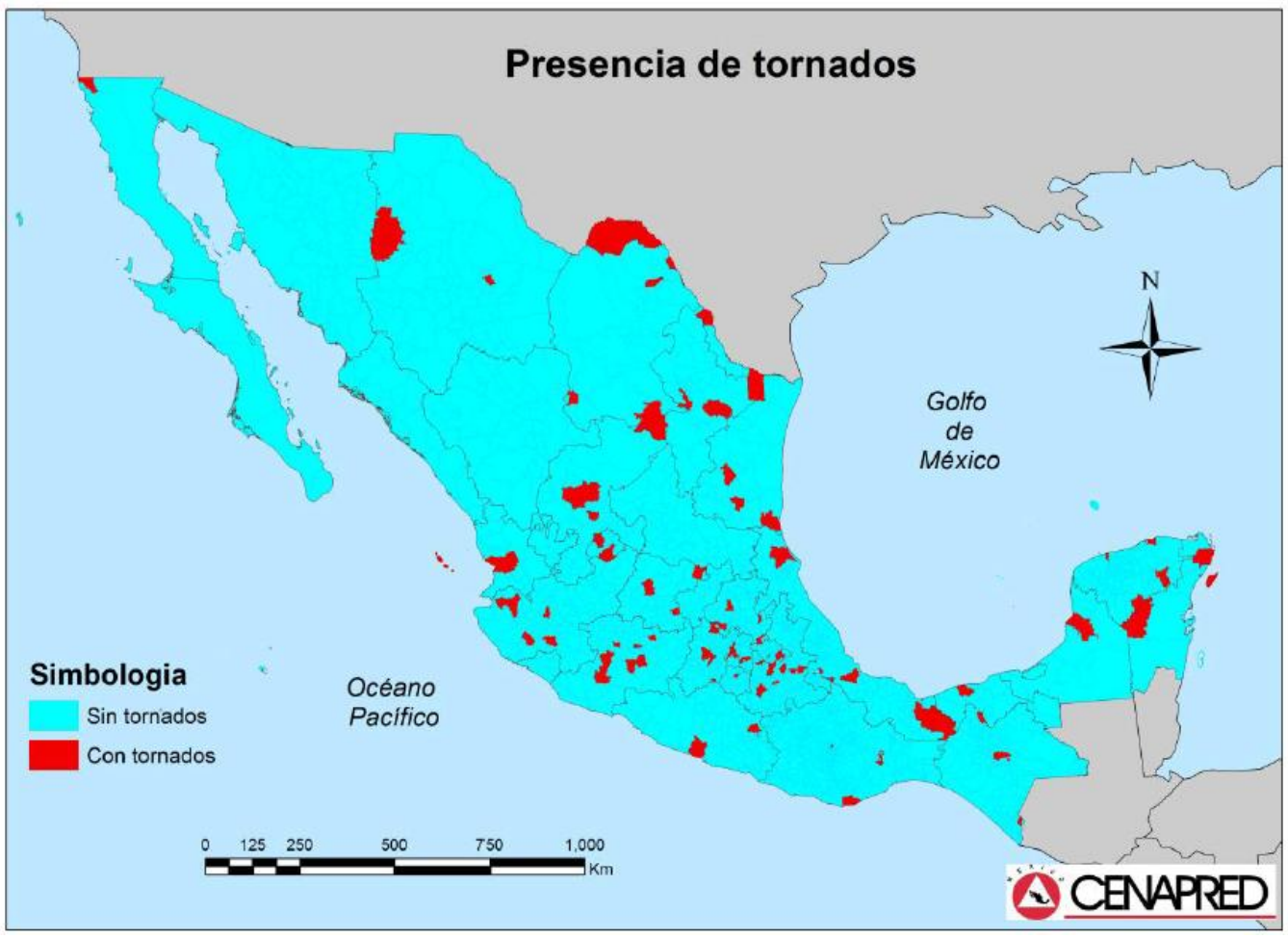


Figura 159. Presencia de tornados en municipios de México (tomada de CENAPRED, 2012).

El municipio de Saltillo cuenta con las condiciones necesarias para la formación de los tornados (p.e. ubicación, topografía, meteorología), aunque al igual que el resto del país, no se cuenta con información a detalle para estimar frecuencias, intensidades o localización geográfica de los eventos, ya que hasta el momento los incidentes ocurridos han sido pocos y su trayectoria no ha sido graficada.

Para poder estimar en este estudio el fenómeno de tornados se realizó una recopilación de información existente entre noticias de periódicos y testimonios populares por lo que no se puede considerar que hay una validación para cada uno de los eventos mencionados.

5.3.7.1 Registros de tornados en Saltillo y cercanías.

Registros “en” o “cerca de” Saltillo

El 23 de Abril del 2014 a las 14:05 hrs. se registra un tornado con una duración de 10 minutos, ubicado en el kilómetro 3 del libramiento La Carbonera que conecta las carreteras 57 y 40. A la altura de la localidad La Sabanilla. Se reportaron condiciones previas de frío, calor, lluvia, viento, así como la presencia de granizo.

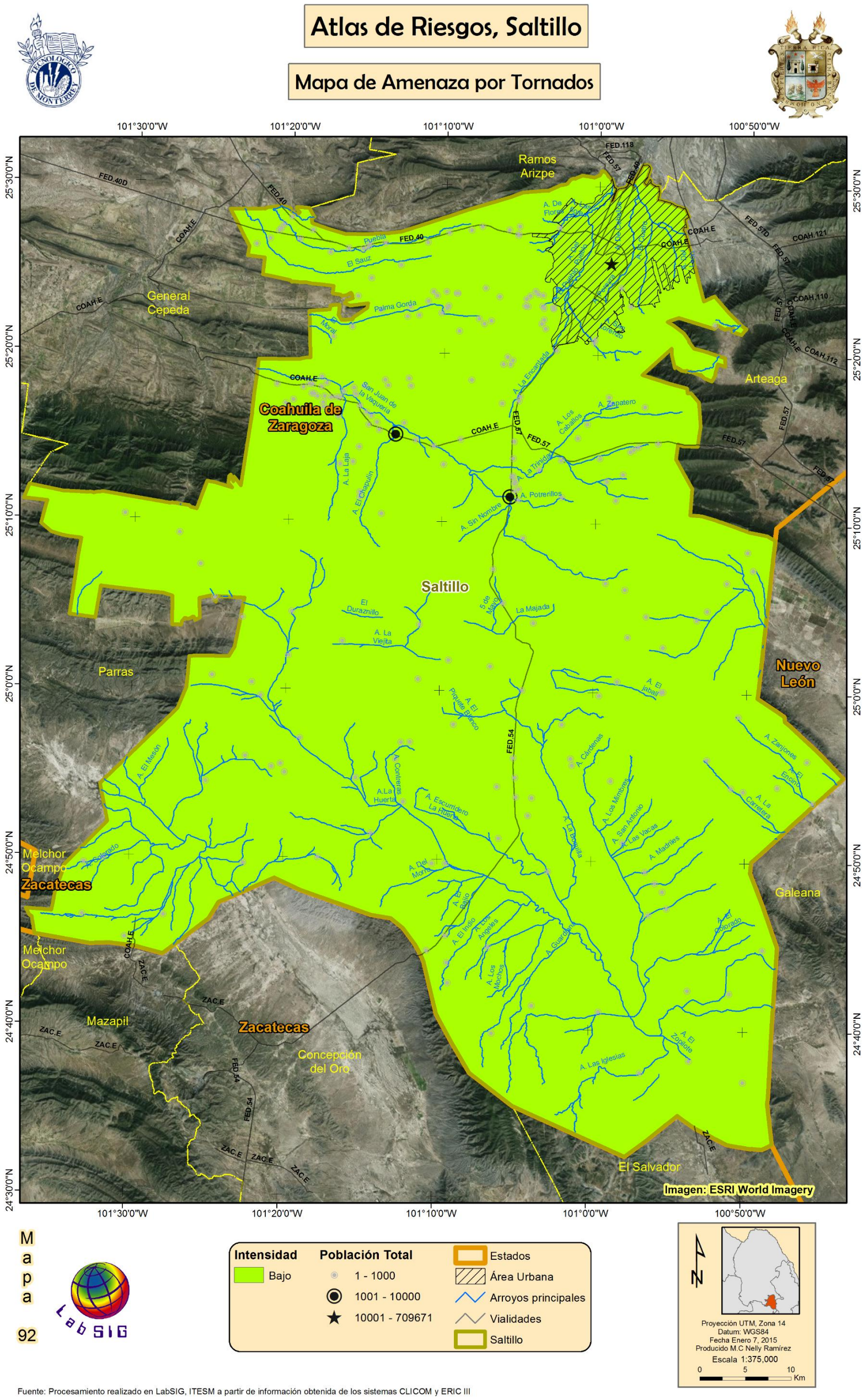
En Mayo de 2008 se registra un tornado que no alcanza a tocar tierra, aunque no existe un registro oficial, el evento es mostrado en un video en línea (http://www.youtube.com/watch?v=DziS1xaf2Jc) que indica haber sido grabado en Saltillo.

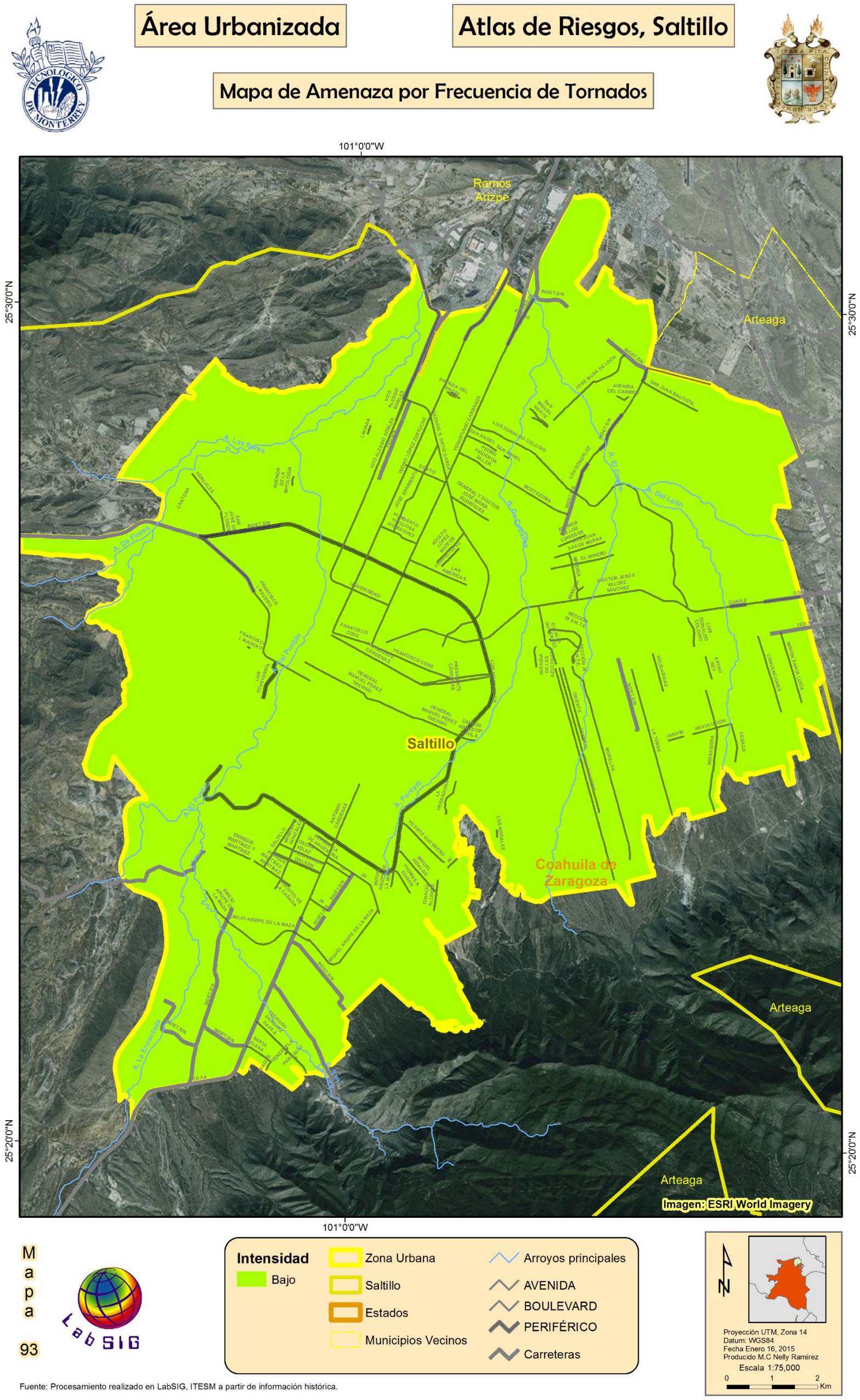
El 25 de Abril del 2008 se registra otro tornado en el municipio de Saltillo que no alcanza a tocar tierra y también es grabado en video. (http://www.youtube.com/watch?v=F61nWEVl2NM)

Registros en Coahuila

Hasta el 2013, se tienen tan sólo 5 registros oficiales de tornados en todo el estado de Coahuila.

- El más devastador fue el tornado génesis supercelda de abril del 2007 en Piedras Negras, categorizado en la escala Fujita Mejorada como EF3. Dejó 254 heridos y 3 muertos y afectó 1,380 viviendas (Macías Medrano y Avendaño García 2013).
- Otro evento ocurrió en mayo del 2013, entre Cloete y Sabinas (Rodríguez, 2013, Periódico Vanguardia).
- Anteriormente, en 1899, se registró un tornado en El Hondo, a 100 millas al sur de Eagle Pass, Texas (Los Angeles Herald Num. 224, 12 mayo de 1999).
- En mayo del 2008 también se presentó un tornado en Piedras Negras (Periódico vanguardia 15 de mayo 2008).


Atlas de Riesgos, Saltillo
Mapa de Amenaza por Tornados
101°30'0"W
101°20'0"W
101°10'0"W
101°0'0"W
100°50'0"W
25°30'0"N
25°20'0"N
25°10'0"N
25°0'0"N
24°50'0"N
24°40'0"N
24°30'0"N
Ramos Arizpe
General Cepeda
Coahuila de Zaragoza
Arteaga
Saltillo
Parras
Nuevo León
Melchor Ocampo
Zacatecas
Galeana
Mazapil
Concepción del Oro
El Salvador
Puebla
El Sauz
Palma Gorda
El Moral
San Juan de la Vaquera
A. La Encantada
A. Zapatero
A. Los Caballos
A. La Trinidad
A. Potrerillos
A. Sin Nombre
A. La Laja
A. El Chapulín
El Durazznillo
5 de Mayo
La Majada
A. La Vieja
A. El Mesón
A. El Piquete Blanco
A. El Jabalí
A. Cárdenas
A. Zanjones
A. El Encino
A. La Carretera
A. Los Mimbres
A. San Antonio
A. Las Vacas
A. Madrileña
A. La Boquilla
A. Escurridero La Huerta
A.La Huerta
A. Conteras
A. Del Monte
A. El Indio
A. Los Angeles
A. El Gallo
A. Guardiana
A. Los Monchos
A. El Colorado
A. Las Iglesias
A. El Zopilote
A. De Flores
A. Pueblo Viejo
A. Las Cruces
A. Las Norias
A. Los Pilares
A. Los Charcos
A. Los Pilares
A. Los Charcos
A. Los Pilares
A. Los Charcos



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica.

Figura 161. Amenaza por frecuencia de tornados a nivel urbano.

5.3.8 Tormentas de Polvo

5.3.8.1 Vientos

Los datos obtenidos para esta fase del estudio pertenecen a la estación meteorológica denominada Saltillo, Coahuila. Los datos se encuentran en formato Synop, conteniendo un rango de tiempo de registro que abarca desde el año 2005 hasta Agosto de 2014. Los datos utilizados en esta sección provienen del servidor de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), los cuales se encuentran de manera pública y gratuita a través de la página meteomanz.com.

En la Figura 162 se muestra la velocidad máxima registrada en 24 horas por la estación Saltillo, la página de donde se tomaron los datos ofrece la opción para obtener el valor de velocidad más alto por cada día, tomando en cuenta que la toma del dato empieza desde las 12 UTC del día indicado hasta las 12 UTC del día siguiente, por cuestión de practicidad y por mostrar un ejemplo de los datos utilizados, se tomó en cuenta el periodo entre Agosto de 2013 y Agosto de 2014, el último año en el que se tienen registros de la estación Saltillo a la fecha de consulta (Enero, 2015).

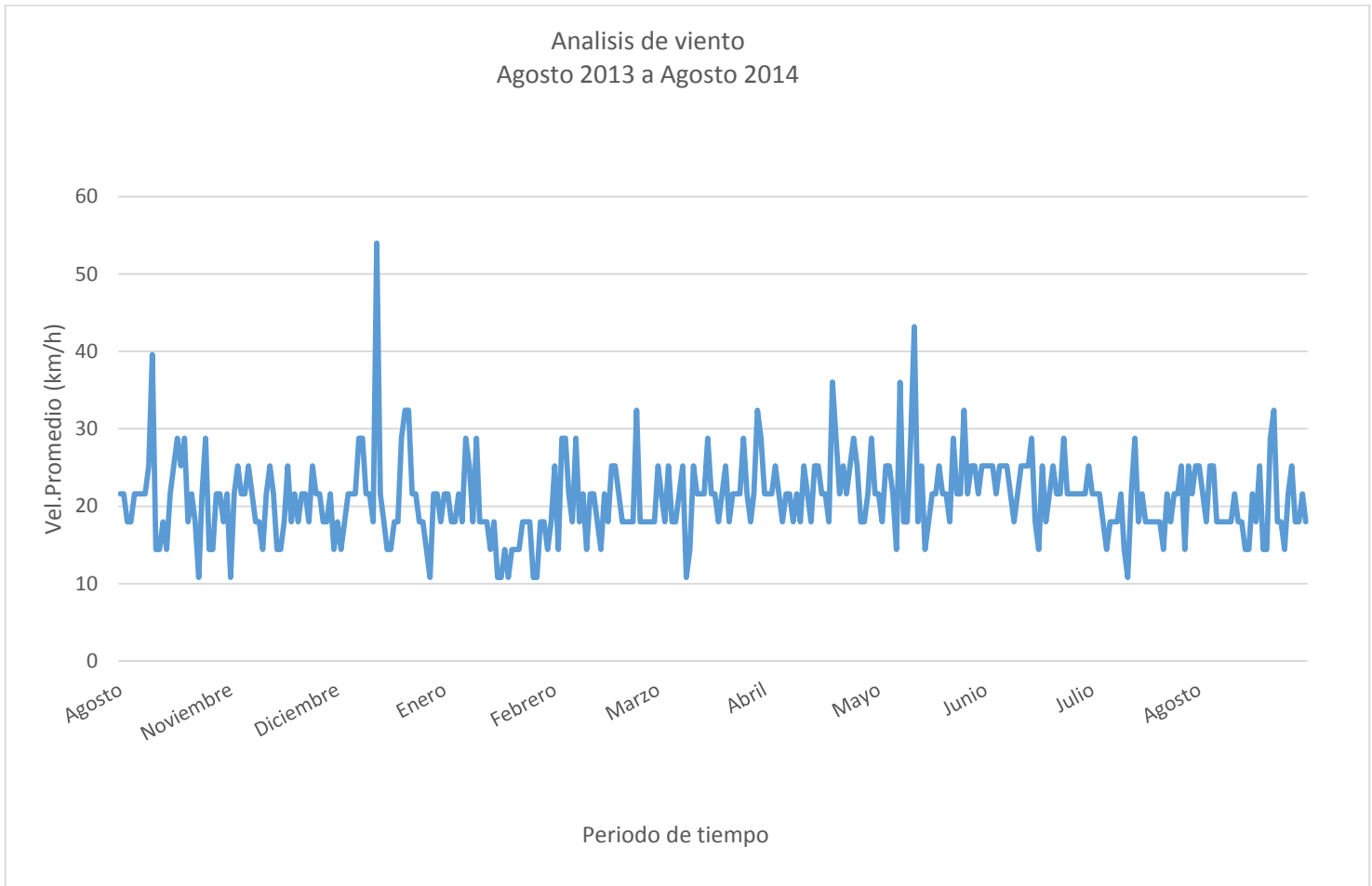


Figura 162. Datos de velocidad máxima por día, registrada en la estación Saltillo.

El promedio total de velocidad diaria (tomando en cuenta los datos del 2005 al 2014 que se encuentran fuera del rango de la Figura 162) es de 12.74 km/h donde el valor más alto registrado es de 352.8 km/h y fue tomado el 1° de Febrero de 2007. Sólo el 0.07% de éstos datos diarios superan los 100 km/h. El porcentaje del total de días de calma contemplando todos los datos registrados es de 3.24%.

También se muestran las rosas de vientos para diferentes periodos estacionales, para el invierno en la Figura 163 (diciembre a febrero); primavera, Figura 164 (marzo a mayo); verano, Figura 165 (junio a agosto) y otoño en la Figura 166 (septiembre a noviembre), tomando en cuenta todos los años de registro de la estación (Enero 2005 – Agosto 2014, a la fecha de consulta).

Las rosas de vientos en las figuras mencionadas arriba muestran la cantidad de ocurrencia de velocidad promedio diaria del viento, tomando en cuenta diferentes rangos (0 a 5 ,6 a 15, 16 a 25, 26 a 40 y arriba de 41 km/h) en cada una de las direcciones principales (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, N). Al centro se muestra el porcentaje de días en los que se registró viento en calma.

Se observa en los datos resultantes una predominancia en la dirección Sur y Sureste para los periodos de invierno y primavera, así como un incremento en la frecuencia de la dirección noreste para los periodos verano y otoño, la mayor parte de las velocidades registradas se encuentran en el rango de 6 a 15 km/h.

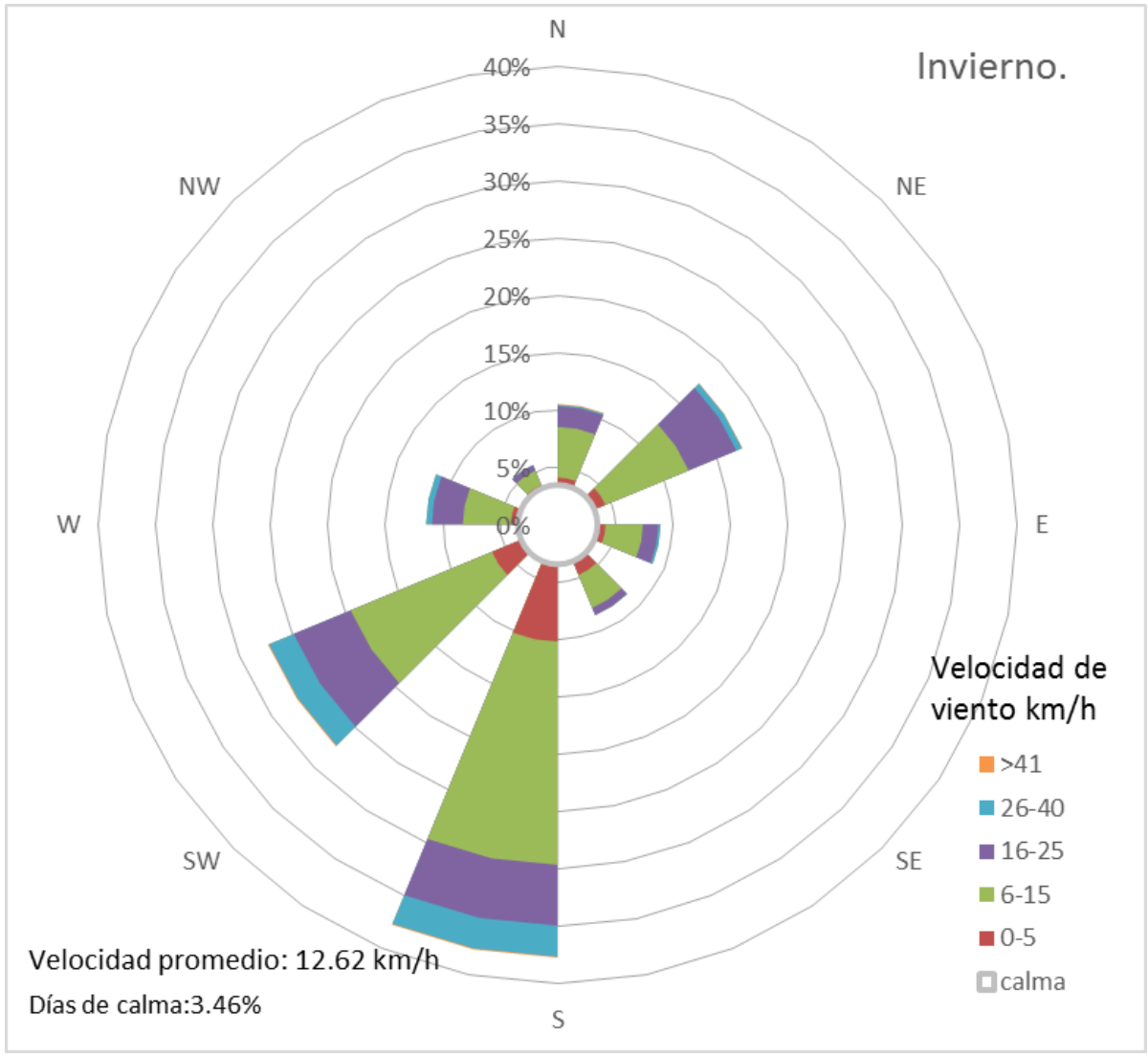


Figura 163. Rosa de los vientos para el periodo invernal, estación Saltillo, Coahuila.

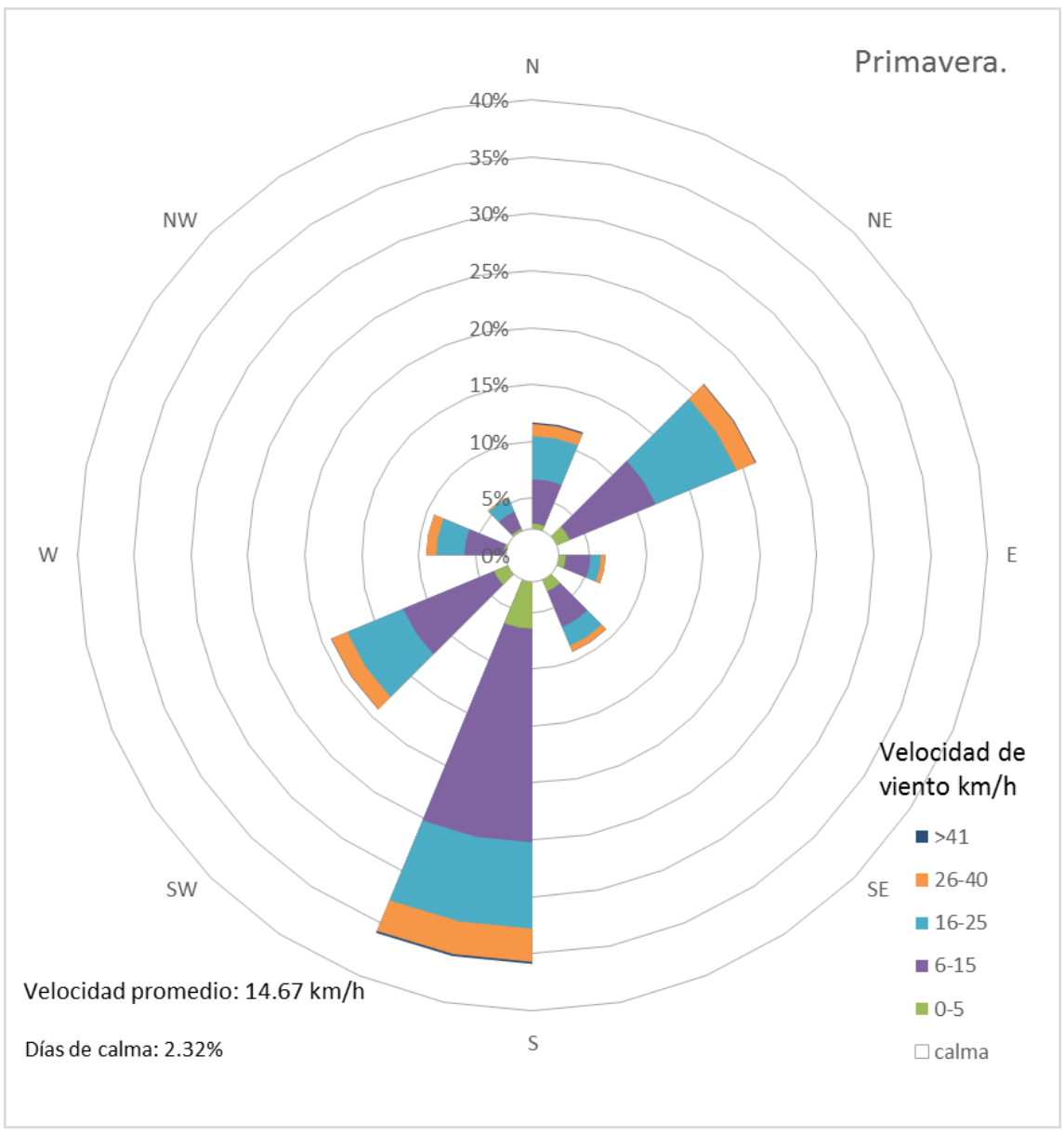


Figura 164 . Rosa de los vientos para el periodo de primavera, estación Saltillo, Coahuila

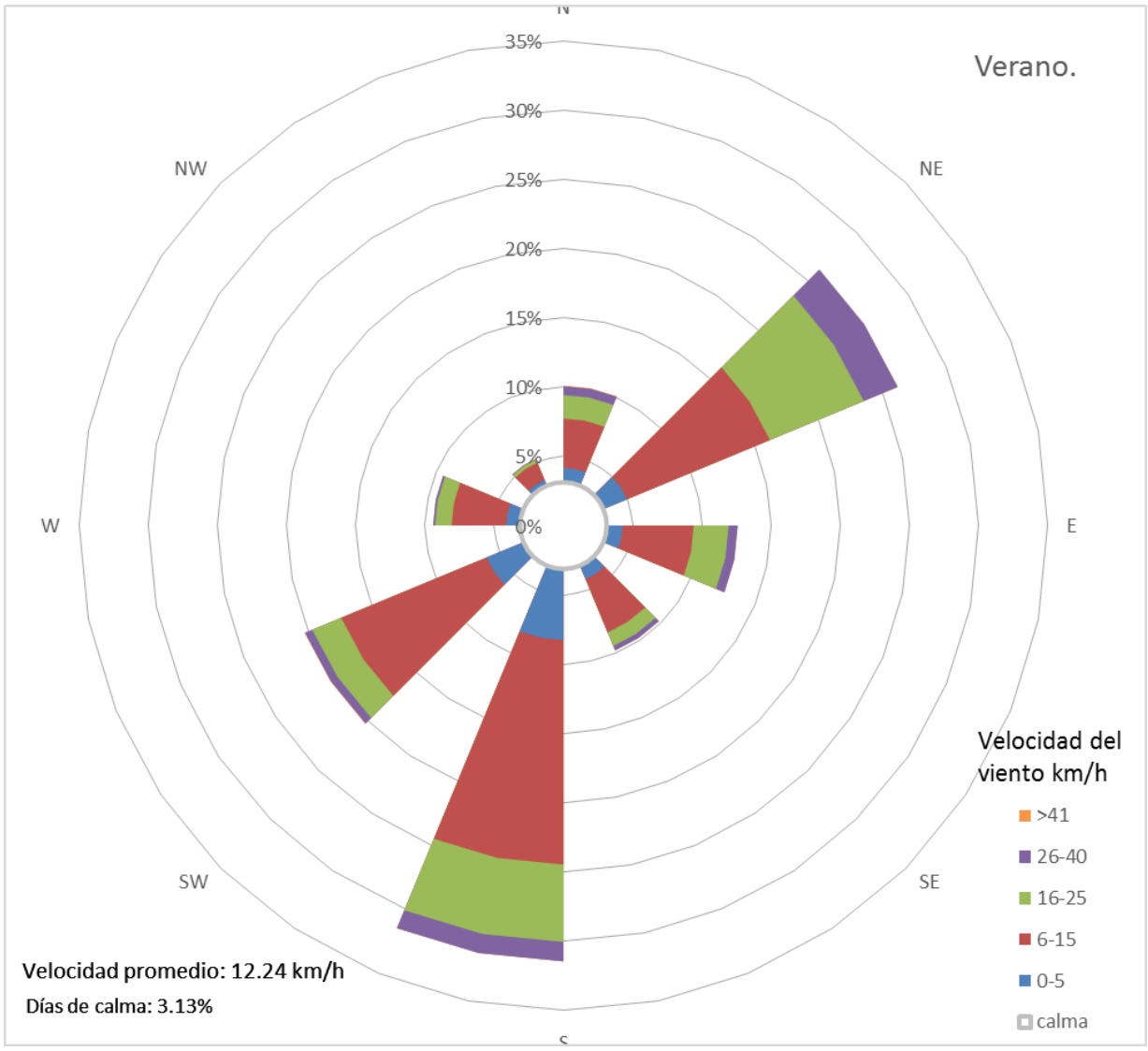


Figura 165. Rosa de los vientos para el periodo de verano, estación Saltillo, Coahuila.

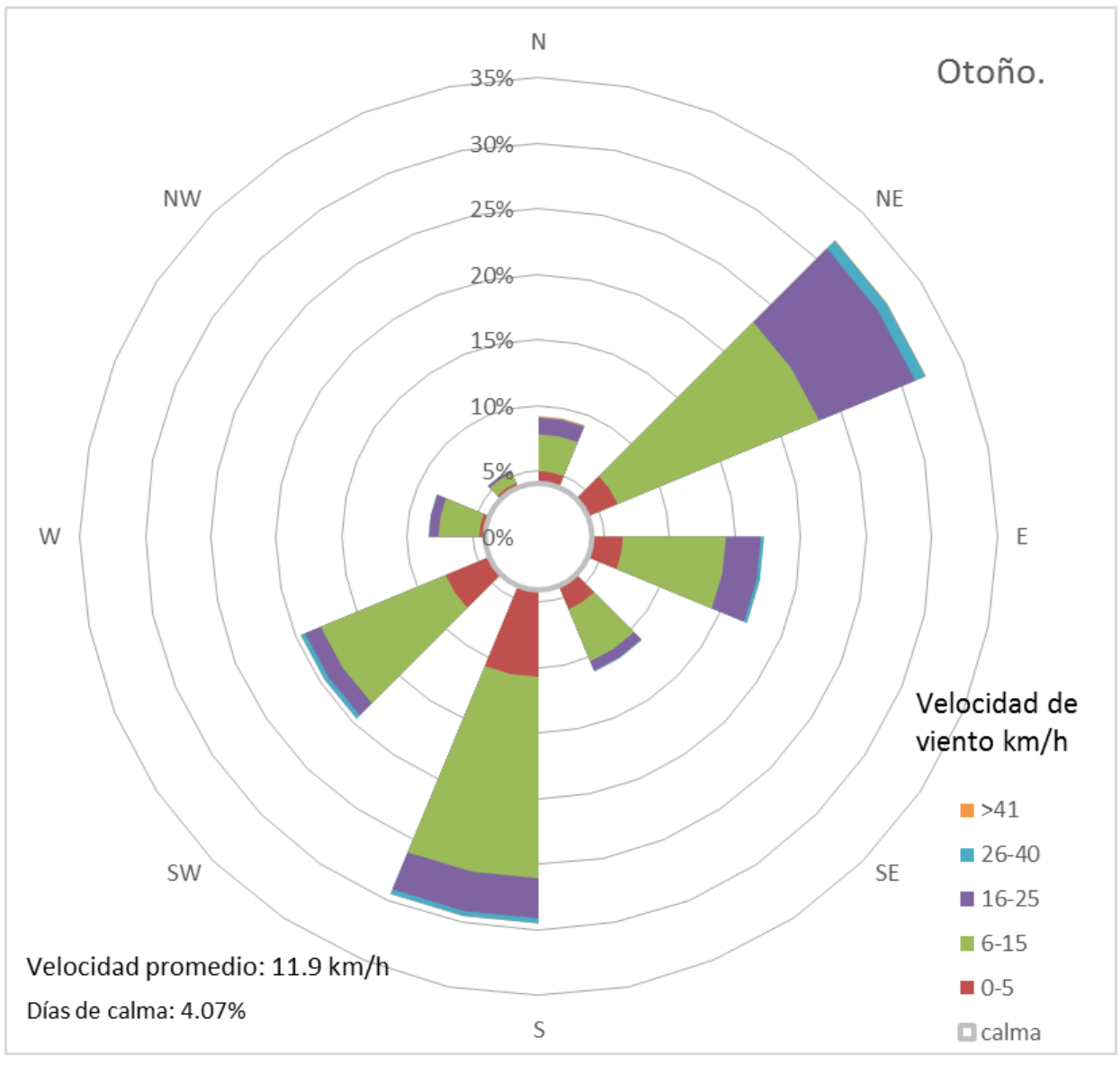


Figura 166. Rosa de los vientos para el periodo de otoño, estación Saltillo, Coahuila.

5.3.8.2 Tormentas de polvo

Las tormentas de polvo, también conocidas como tolvaneras, son un evento meteorológico provocado por diferentes factores tales como vientos fuertes y sequía, que en conjunto con el tipo de suelo genera un levantamiento del polvo más fino. Este tipo de fenómenos pueden causar daños en infraestructura provocando caída de espectaculares, árboles, luminarias y daños derivados de accidentes viales al reducirse la visibilidad por la presencia del polvo.

El Estado de Coahuila es frecuentemente afectado por las tolvaneras, municipios son repetidamente citados en los periódicos debido al gran número de tolvaneras que se registran en la zona, como: Piedras Negras y Torreón y Saltillo no es la excepción. En la Figura 167 se observa una fotografía tomada en Saltillo para el periódico “El Siglo de Torreón”, en ella se puede observar uno de los eventos conocidos como tolvaneras, en las que el polvo más fino se levanta, reduciendo la visibilidad y poniendo en riesgo a los automovilistas. Debido a la falta de información puntual o estaciones que midan directamente el fenómeno, se realizó una investigación bibliográfica derivada de noticias de periódicos, tomando en cuenta que no todas las tolvaneras son registradas, solo aquellas en las que se ha ocasionado algún percance.



Figura 167. Fotografía tomada de la noticia “Tolvanera causa estragos” en Saltillo, 23 de diciembre de 2013 (Elsiglodetorreón, 2013).

En la Tabla 50 se muestra una breve descripción de diferentes notas periodísticas en las que las tolvaneras han sido causantes de percances dentro del municipio. En algunas de ellas, la estación meteorológica del aeropuerto de la ciudad de Saltillo ha contribuido a determinar la velocidad del viento al momento del percance, registrando vientos entre 50 y 60 km/hr, lo cual se considera como viento muy fuerte en la escala de Beaufort de la Fuerza de los vientos (CIESE, 2014). Dentro de las más zonas más afectadas se encuentran las carreteras, estimándose que el 3.5% de los accidentes son ocasionados directamente por las tolvaneras (Zócalo, 2014).

Tabla 50. Recopilación de noticias de periódicos acerca de tolvaneras ocurridas en Saltillo.

Año	Fecha	Km/ hr	Incidente	Ubicación	Fuente
2014	02 de Abril	60	Pronostico de viento, como consecuencia de inestabilidad al norte de Coahuila.	Estados de Chihuahua, Nuevo León, Durango, Zacatecas y Coahuila	http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/frente-frio-48-trae-a-coahuila-tolvaneras-1396457837
2013	22 de Diciembre		Fuerte viento tumba espectaculares, arboles, luminarias.	Saltillo	http://www.elsiglodetoelsig.com.mx/noticia/994556.tolvanera-causa-estragos.html
2013	06 de Marzo		Choque / perdida de visibilidad por tolvanera	Justo a la altura de la empresa Comimsa	http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/tolvanera-lo-deja-grave-choca-contra-luminaria-1362561723
2011	31 de Mayo	≈ 50	Desplome de circo en Saltillo, se presume por viento	Saltillo	http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/sin-establecer-responsabilidad
2011	08 de Marzo	50	Pronostico de viento, como consecuencia del frente frío Número 34.	Región norte de Saltillo.	http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/alertan-sobre-posibles-tolvaneras-derivadas-del-frente-frio-numero-34
2010	31 de Diciembre		Una tolvanera cubrió por completo la carretera	carretera a Zacatecas en su entronque con Derramadero	http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/polvo-y-riesgo-en-carretera1
2010	23 de Abril	50	Choque múltiple / mega carambola / perdida de visibilidad por tolvanera	en la carretera libre Torreón-Saltillo, tramo San Pedro-La Cuchilla	http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/518352.chocan-el-percance-se-debio-a-la-fuerte-tolvanera.html
2010	23 de Abril	50	Viento derriba a niña de 14 años	colonia Luis Donaldo Colosio, de Torreón	http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/Caos-y-muerte-por-tolvaneras-megacarambola-de-40-vehiculos
2009	11 de Abril		Ventarrón azota a la ciudad. Árboles caídos, desperfectos en el servicio de energía eléctrica, semáforos sin funcionar y tierra	Saltillo	http://www.vanguardia.com.mx/ventarronazotaalaciudaddeSaltillo-333710.html
2008	18 de Marzo		Constantes tolvaneras y rachas de fuerte viento	Saltillo	http://info7.mx/a/noticia/26988

En la Figura 168 se muestra el mapa de amenaza por tormenta de polvo resultante para el municipio de Saltillo, en el cual, de acuerdo con lo descrito anteriormente, se categorizó a todo el municipio con un riesgo bajo, y así también el área metropolitana que se muestra en la Figura 169.

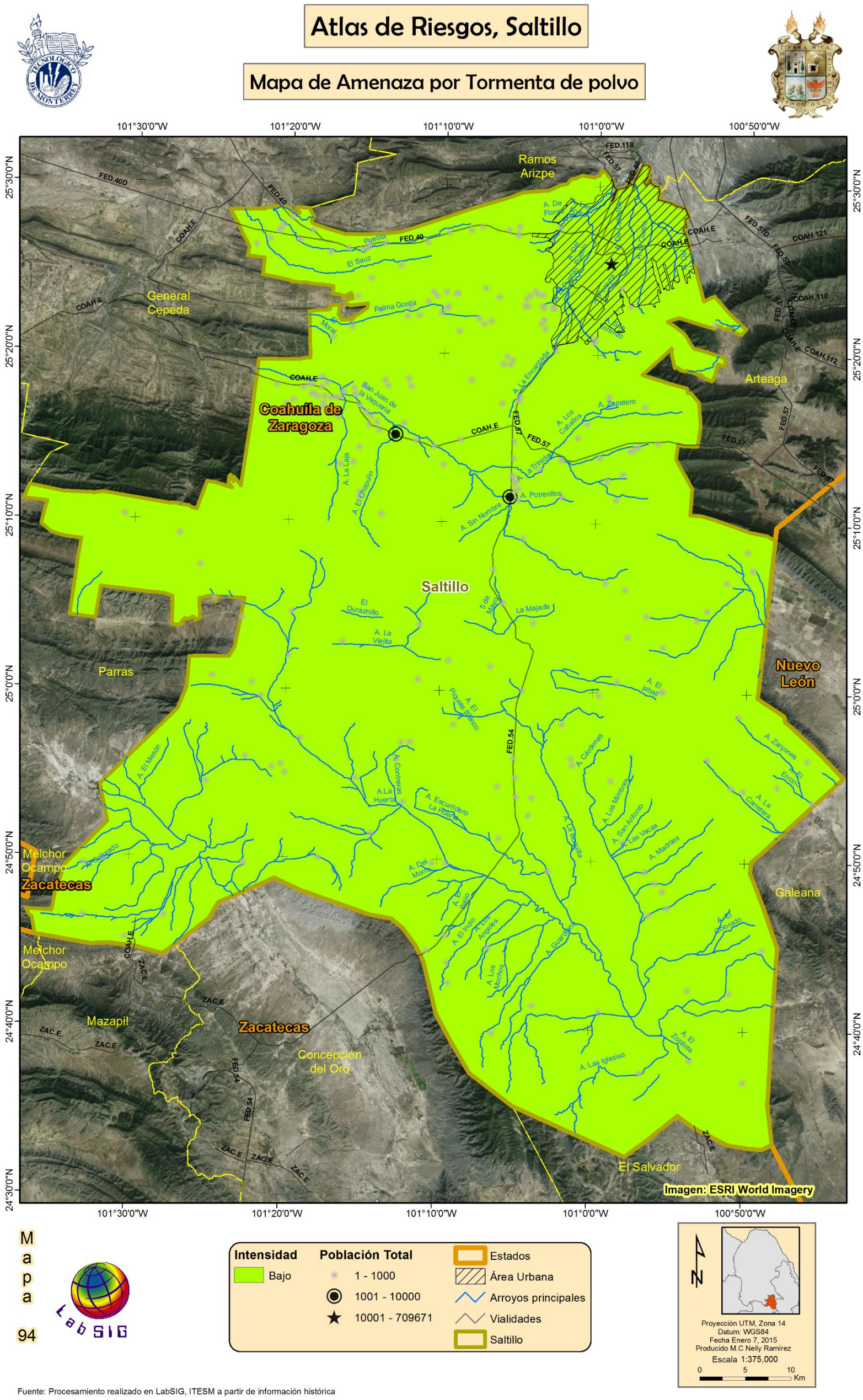


Figura 168. Mapa de Intensidad de Amenaza por tormentas de polvo.

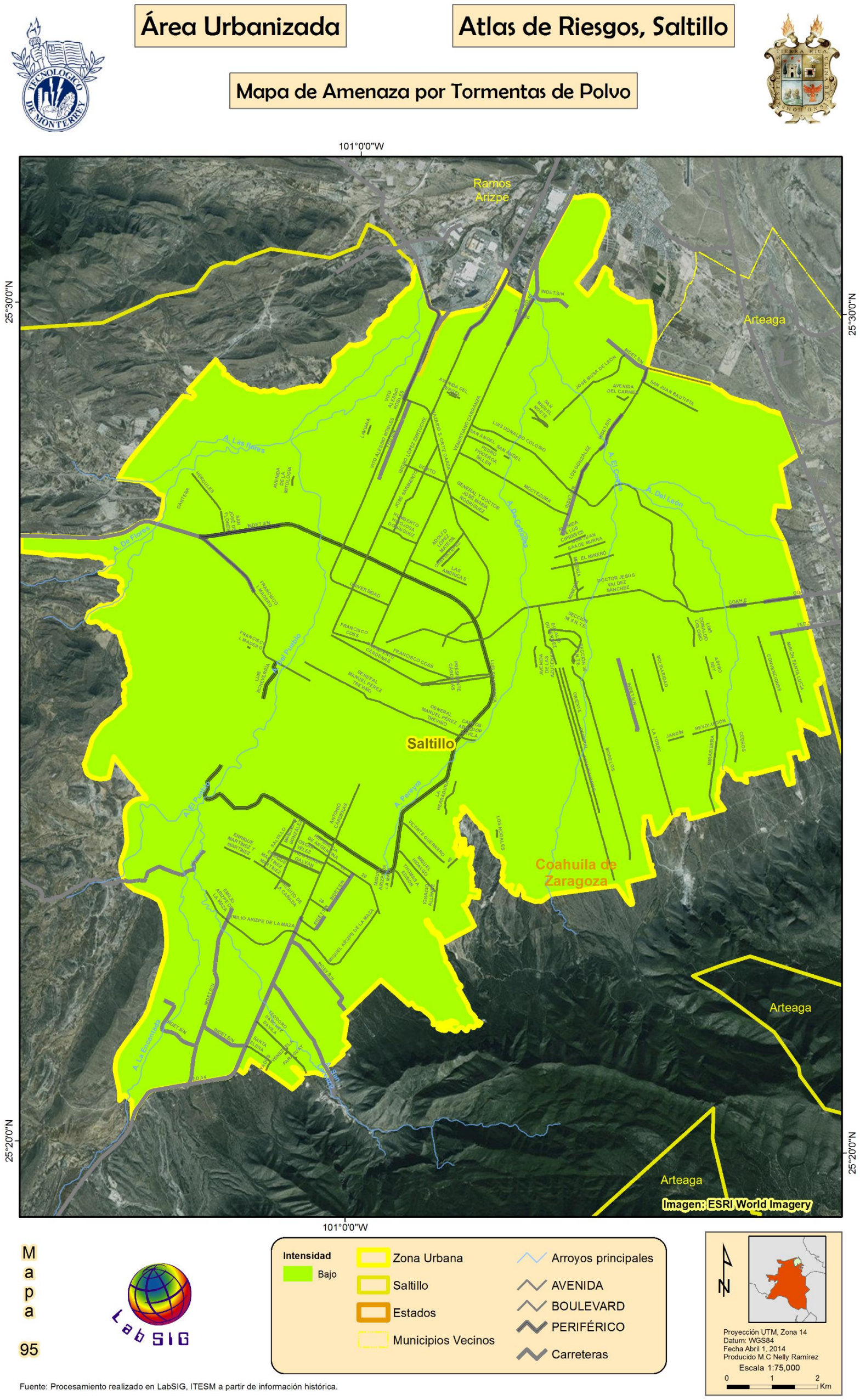


Figura 169. Acercamiento al área urbana, mapa de intensidad de amenaza por tormenta de polvo.

5.3.9 Tormentas Eléctricas

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) (CENAPRED, 2014). Estos se pueden presentar en áreas de varios kilómetros cuadrados. La duración de las tormentas eléctricas puede abarcar límites de entre una o dos horas, y que durante su duración pueden causar daños materiales y de infraestructura para la población, lesiones graves a personas e incluso la muerte.

Para construir el índice de peligro de tormentas eléctricas, se utilizaron los datos climatológicos existentes, contenidos en la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la cual es posible consultar a través del programa ERIC III (IMTA, 2006).

Con base en el análisis y datos proporcionados por Eric III, se tomaron 129 estaciones en total, divididas en los Estados de: San Luis Potosí (1), Coahuila (35), Nuevo León (81) y Zacatecas (12), y se realizó el cálculo del número de días promedio al año, por cada estación, cuyos registros cubren el período 1907 al 2004. Para efectos de estudio, se muestran únicamente en la Tabla 51, las estaciones más influyentes para el Municipio de Saltillo.

Tabla 51. Estaciones meteorológicas consideradas en el análisis de Tormentas Eléctricas.

Estado	**Clave Estación**	**Nombre Estación**	**Longitud**	**Latitud**	**Altitud**	**Años**	**Suma Anual**	**Promedio Días Anual**
Coahuila	5003	Arteaga, Arteaga (smn)	-100.85	25.433	1720	51	835	16.373
Coahuila	5016	Gral. Cepeda, Gral. Cepeda	-101.467	25.367	1405	52	213	4.096
Coahuila	5032	Ramos Arizpe (smn)	-100.983	25.533	1494	77	379	4.922
Coahuila	5048	Saltillo, Saltillo (dge)	-101	25.417	1589	55	499	9.073
Coahuila	5060	Derramadero e.t.a. 10	-101.25	25.267	1750	15	78	5.200
Coahuila	5081	Carneros, Saltillo	-101.109	25.12	2100	17	0	0.000
Coahuila	5136	Las hormigas, Saltillo	-100.833	24.967	2110	19	0	0.000
Coahuila	5140	Ramos Arizpe (dge)	-100.95	25.533	1400	19	29	1.526
Coahuila	5141	Gómez Farias, Saltillo	-101.05	24.967	1920	20	0	0.000
Coahuila	5145	S. Juan de la v.Saltillo	-101.217	25.25	1760	19	0	0.000
Coahuila	5146	Huachichil, Arteaga	-100.833	25.233	2100	19	208	10.947
Coahuila	5148	Potrero de Abrego	-100.733	25.367	1760	19	0	0.000
Coahuila	5160	Arteaga, Arteaga	-100.833	25.45	N.D.	10	11	1.100
Coahuila	5162	Dos de abril	-101.567	25.35	1550	19	0	0.000
Coahuila	5175	La ventura, Saltillo	-100.883	24.633	1740	17	5	0.294
Nuevo León	19129	El peñuelo, Galeana	-100.75	24.583	153	25	1	0.040
Zacatecas	32036	Mazapil, mazapil	-101.6	24.7	2250	60	135	2.250
Zacatecas	32087	Concepción del oro	-101.4	24.617	2070	37	409	11.054
Zacatecas	32141	San salvador	-100.867	24.55	2000	7	36	5.143

Los datos se calcularon, dividiendo el número de años con los que la estación tenía mediciones, para el total de medidas tomadas del evento (ocurrencia diaria del mismo), dando como resultado el número de días promedio al año donde se presentan tormentas eléctricas por estación. Los datos se interpolaron a través de ArcMap, en donde se utilizó la herramienta de interpolación IDW (Ponderación de Distancia Inversa), que determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente del conjunto de puntos de muestra, para este caso, la columna de Promedio Diario de la tabla (Figura 170) y se calculó también para la zona urbana en la (Figura 171).

También se realizó el cálculo de Período de Retorno histórico del Evento o Intervalo de recurrencia (T), que es una medida estadística sobre la base de los datos históricos tomados por las estaciones, que denotan el intervalo promedio de recurrencia durante un período prolongado de tiempo. Para efectos de éste estudio, se realizó para un período de 5 (Figura 172 y Figura 173) y 10 años (Figura 174 y Figura 175, acercamiento a zona rural y zona urbana respectivamente), debido a que la cantidad de datos colectados por las estaciones fueron las necesarias para realizar el cálculo.

El valor del período de retorno se calcula mediante la selección de una variable aleatoria (Suma Anual, en la tabla), cuyos datos fueron ordenados de mayor a menor y de acuerdo a esta disposición, se asigna un valor (de 1 a n) para cada orden, para posteriormente utilizar esos datos en la siguiente formula:

$$T = \frac{n+1}{m}$$

Donde:
T = Período de Retorno (años)
n = Número de años de registro
m = Número de Orden

Los resultados de la Tabla 52, muestran los resultados del Pr para 5 y 10 años para las estaciones más cercanas al Municipio de Saltillo, sin embargo, se tomaron a las 129 estaciones para el estudio.

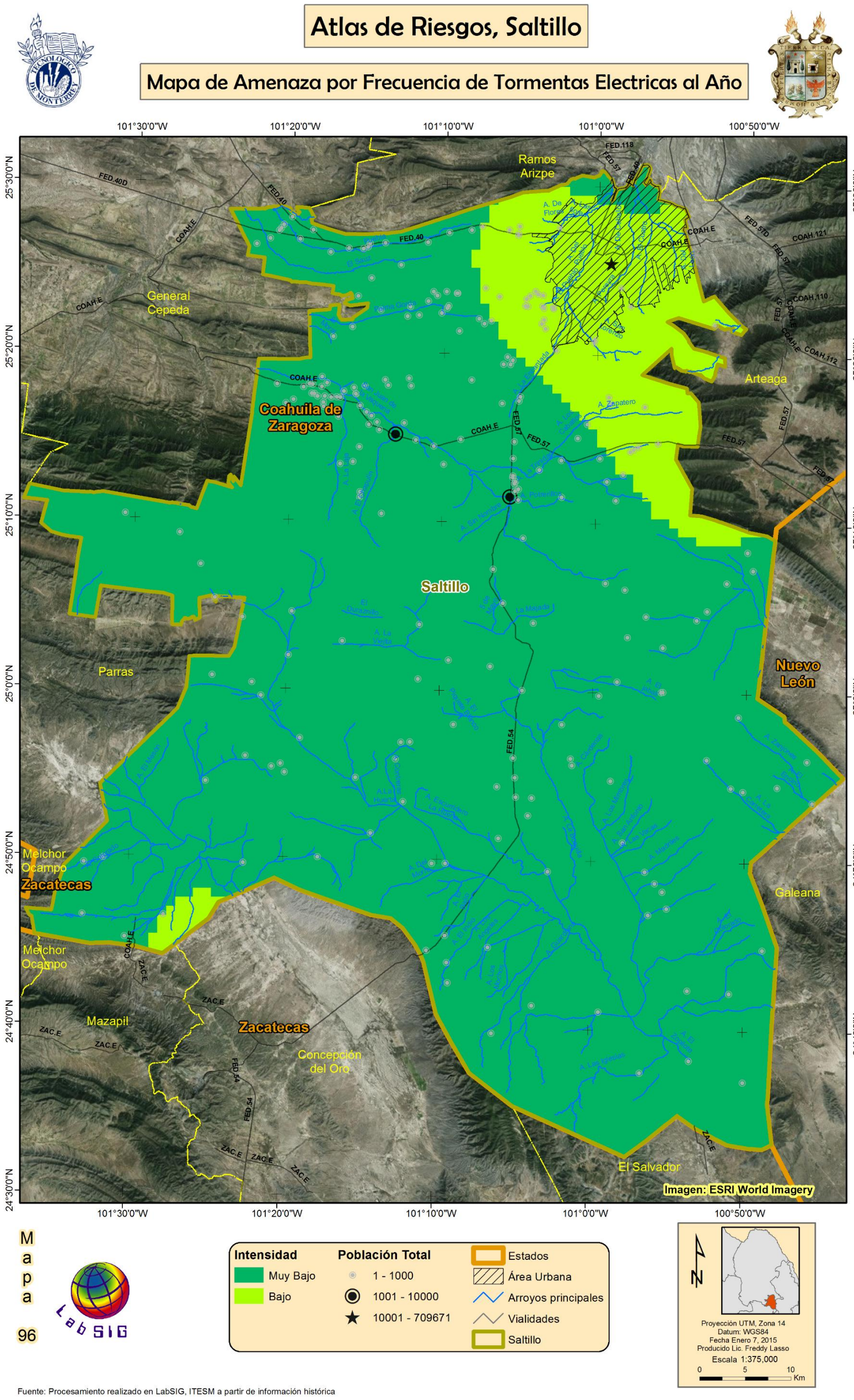


Figura 170. Frecuencia de tormentas eléctricas en el municipio de Saltillo.

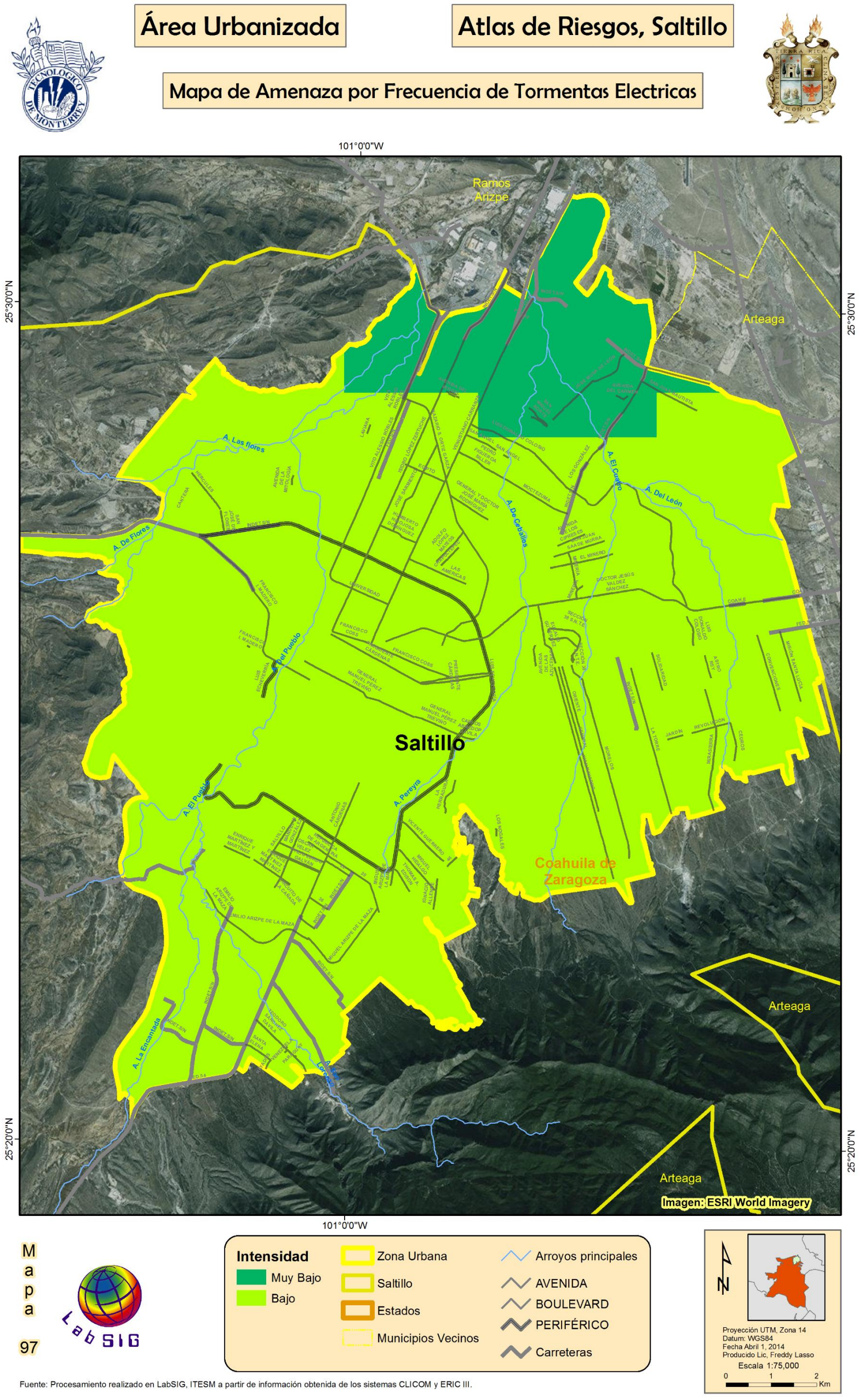
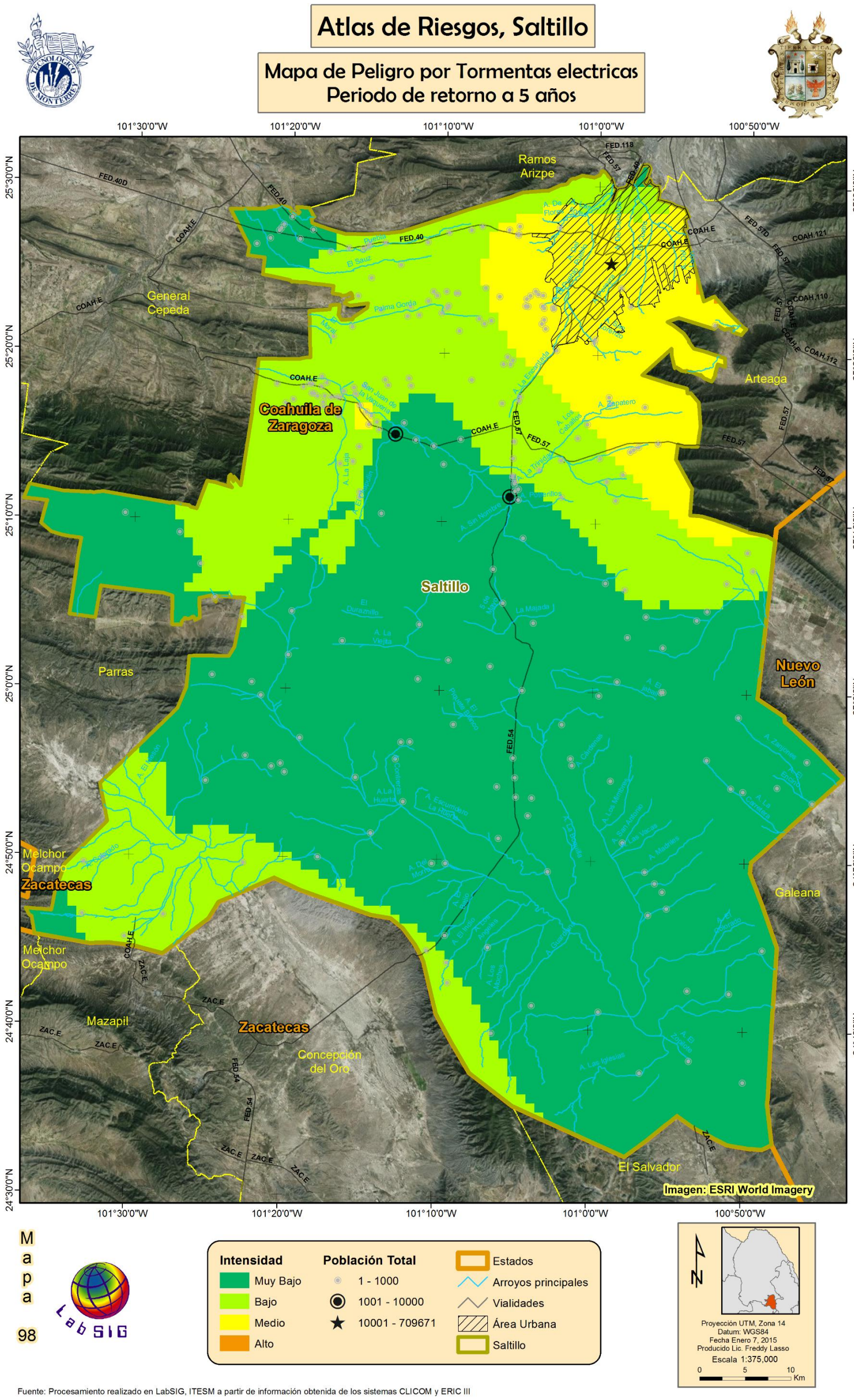


Figura 171. Frecuencia de tormentas eléctricas en el área urbana del municipio de Saltillo.

Tabla 52. Periodos de retorno (5 y 10 años) del fenómeno de Tormentas Eléctricas.

Estado	Clave Estación	Nombre Estación	Años	Suma Anual	Promedio Días Anual	P.R. 5	P.R. 10
Coahuila	5003	Arteaga, Arteaga (smn)	51	835	16.373	39	38
Coahuila	5016	Gral. Cepeda, Gral. Cepeda	52	213	4.096	9	13
Coahuila	5032	Ramos Arizpe (smn)	77	379	4.922	7	11
Coahuila	5048	Saltillo, Saltillo (dge)	55	499	9.073	17	19
Coahuila	5060	Derramadero e.t.a. 10	15	78	5.200	11	18
Coahuila	5081	Carneros, Saltillo	17	0	0.000	0	0
Coahuila	5136	Las hormigas, Saltillo	19	0	0.000	0	0
Coahuila	5140	Ramos Arizpe (dge)	19	29	1.526	1	12
Coahuila	5141	Gómez Farias, Saltillo	20	0	0.000	0	0
Coahuila	5145	S. Juan de la v. Saltillo	19	0	0.000	0	0
Coahuila	5146	Huachichil, Arteaga	19	208	10.947	20	27
Coahuila	5148	Potrero de Abrego	19	0	0.000	0	0
Coahuila	5160	Arteaga, Arteaga	10	11	1.100	0	0
Coahuila	5162	Dos de abril	19	0	0.000	1	10
Coahuila	5175	La ventura, Saltillo	17	5	0.294	0	2
Nuevo León	19129	El peñuelo, Galeana	25	1	0.040	0	0
Zacatecas	32036	Mazapil, mazapil	60	135	2.250	4	6
Zacatecas	32087	Concepción del oro	37	409	11.054	15	40
Zacatecas	32141	San Salvador	7	36	5.143	3	6



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III

Figura 172. Tormentas eléctricas, Pr de 5 años

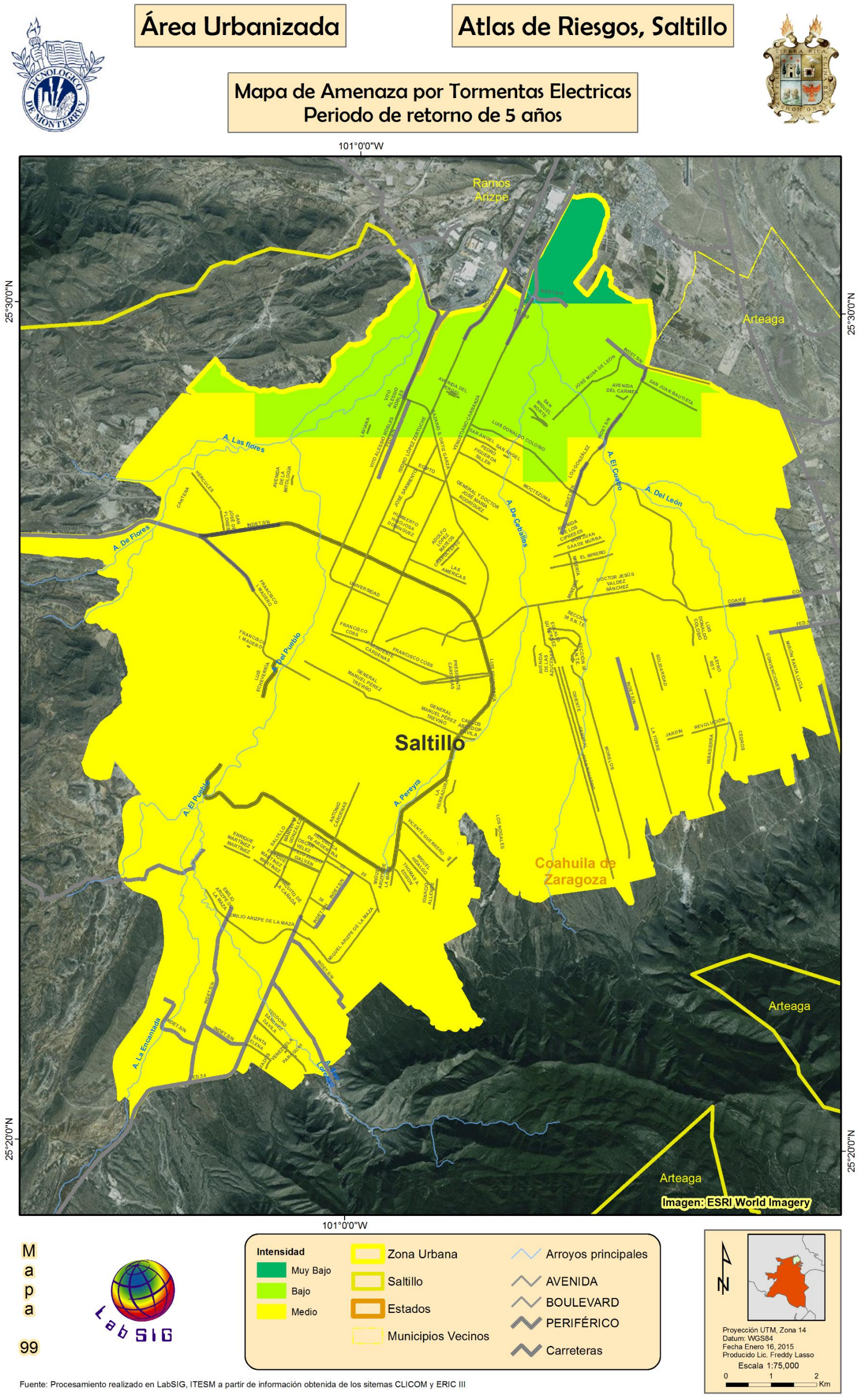


Figura 173. Amenaza por Tormentas eléctricas en un Pr de 5 años para el área urbana.

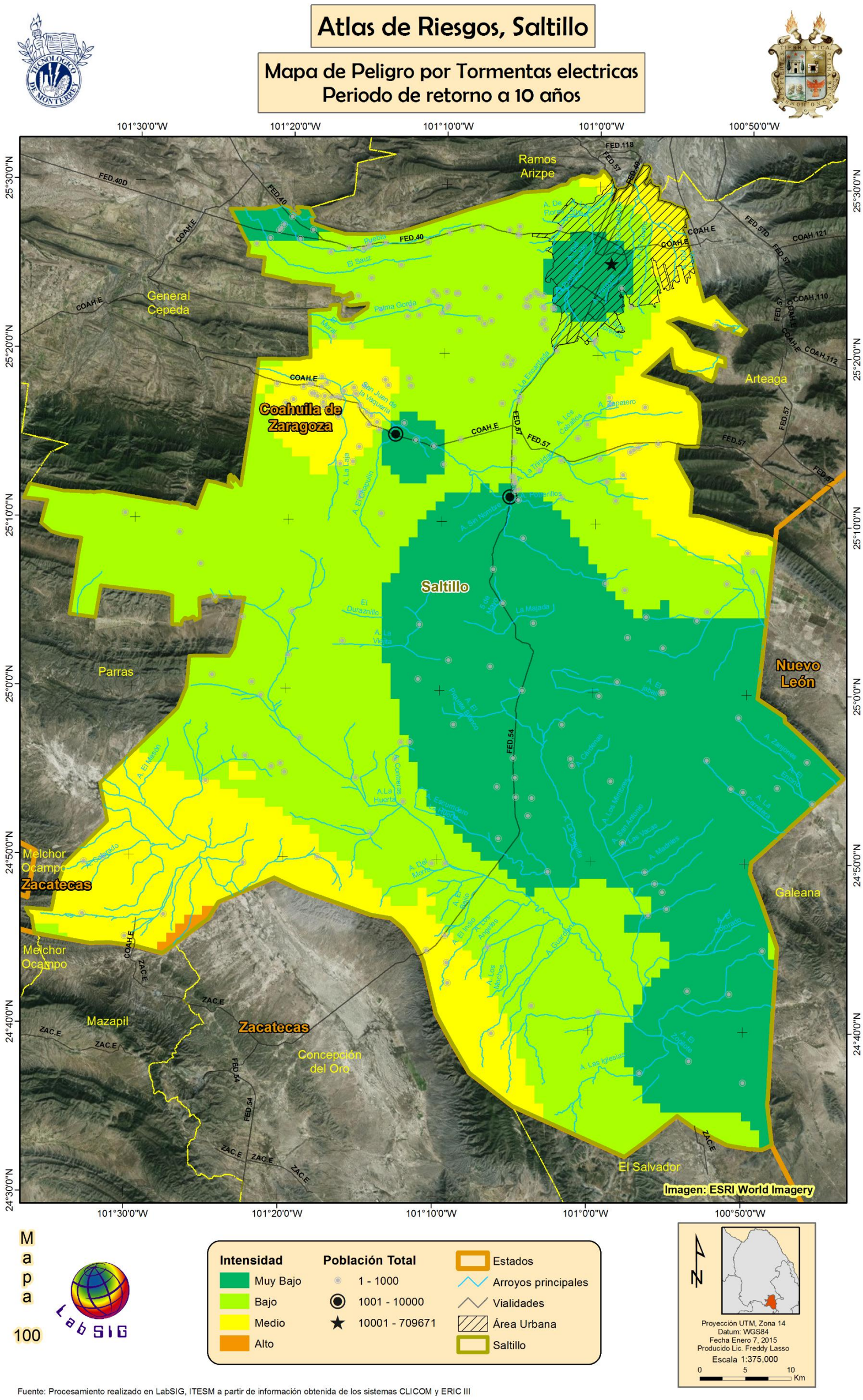


Figura 174. Tormentas eléctricas, Pr de 10 años

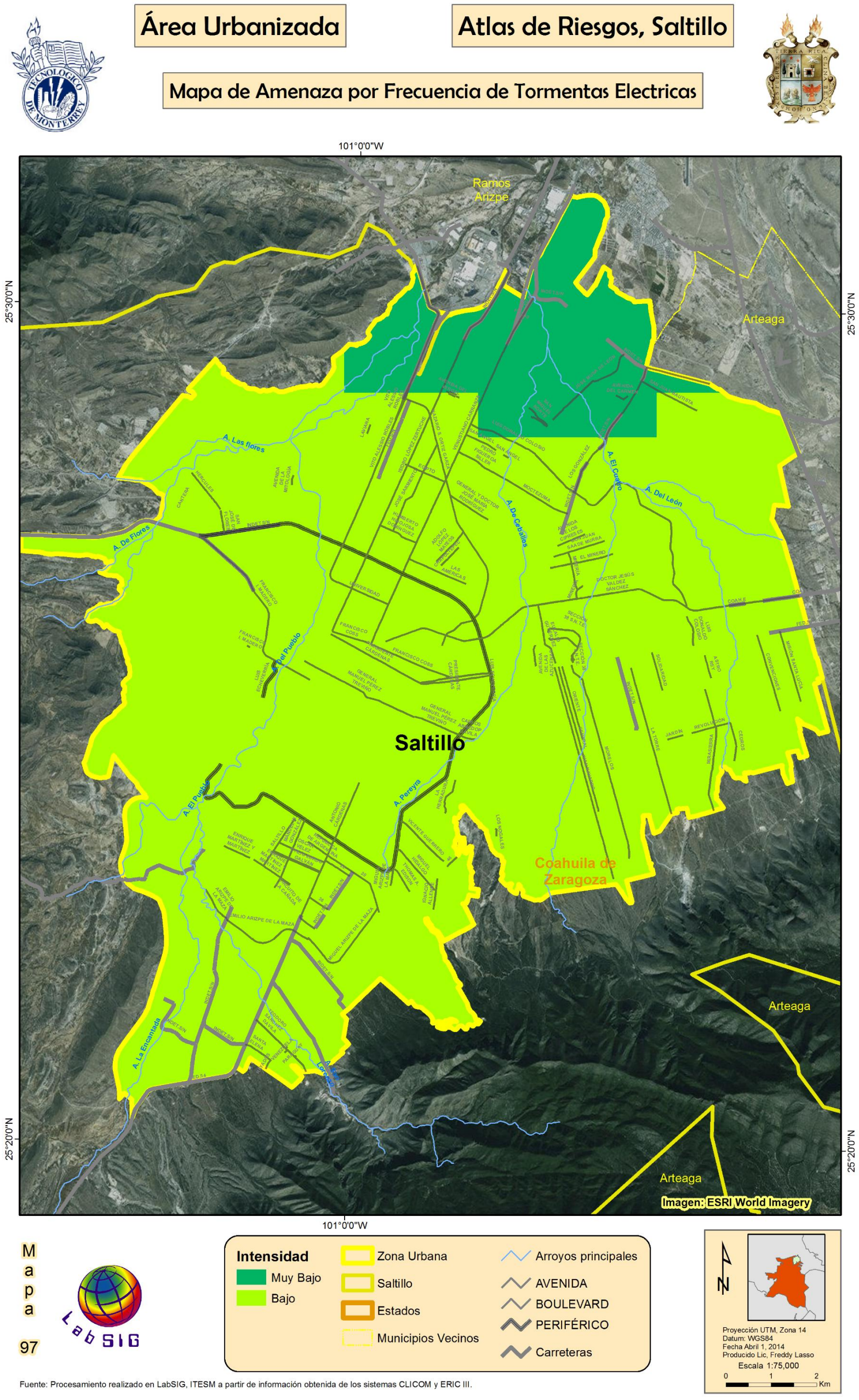


Figura 175.Peligro por tormentas eléctricas en un Pr de 10 años para la zona urbana.

5.3.10 Lluvias Extremas

Las precipitaciones pluviales extremas pueden dar lugar a diferentes peligros como lo son el desencadenamiento de flujos sedimentarios en las laderas de las montañas e intensas corrientes que pueden causar daños en infraestructura como destruir casas, puentes y tramos de carreteras, etc. Para predecir su comportamiento se utilizó el Pr, calculando el lapso de tiempo que en promedio transcurre para que el evento observado se repita con una intensidad similar (CENAPRED, 2001).

El municipio de Saltillo recibe en promedio una precipitación total entre 300 y 350 mm al año, en la Figura 177 se muestran la precipitación promedio anual interpolada de cada una de las estaciones, las zonas de mayor precipitación llegan a recibir arriba de los 500 mm por año.

Se considera con el término “precipitación” a cualquier estado del agua que cae desde las nubes a la tierra, aunque normalmente se clasifican en tres tipos: lluvia, granizo y nieve. Dentro de la categoría de lluvia también se tienen diferentes tipos de clasificación, según CENAPRED, 2014, la lluvia máxima acumulada en 24 horas entre 70 y 150 mm se le considera como lluvia intensa y valores acumulados arriba de 150mm se considera lluvia torrencial. En la Figura 179 se observa que la máxima acumulación de precipitación que se ha registrado en 24 h para la mayor parte del municipio de Saltillo es entre 120 y 180 mm. La estación No. 5048 se encuentra ubicada en el centro del área urbana del municipio de Saltillo.

Para generar los Pr, se utilizó la información proveniente de la Base de Datos Climatológica Nacional (SISTEMA CLICOM) en conjunto con los datos obtenidos del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III) administrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). En la Figura 176 se muestran un ejemplo de los datos utilizados de precipitación máxima por año, durante el periodo de 1944 a 2008 obtenidas de la estación No. 5048. Esta estación se considera de mayor relevancia para la zona urbana puesto que se encuentra ubicada en el centro de la misma.

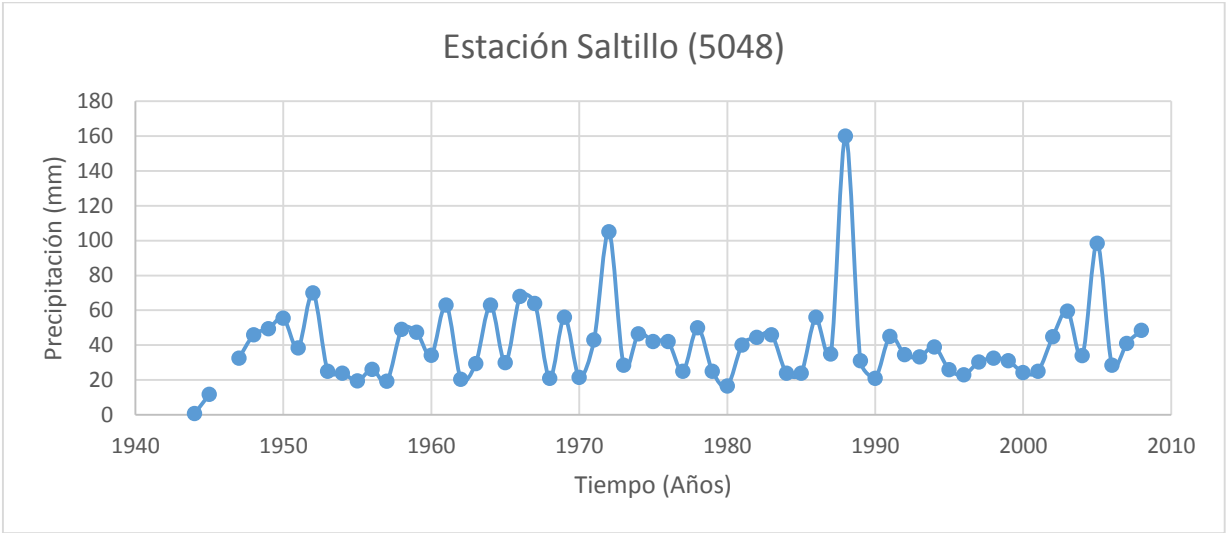


Figura 176. Precipitación máxima anual (en 24 Horas) para la estación Saltillo (5048) durante el periodo comprendido entre 1944 y 2008

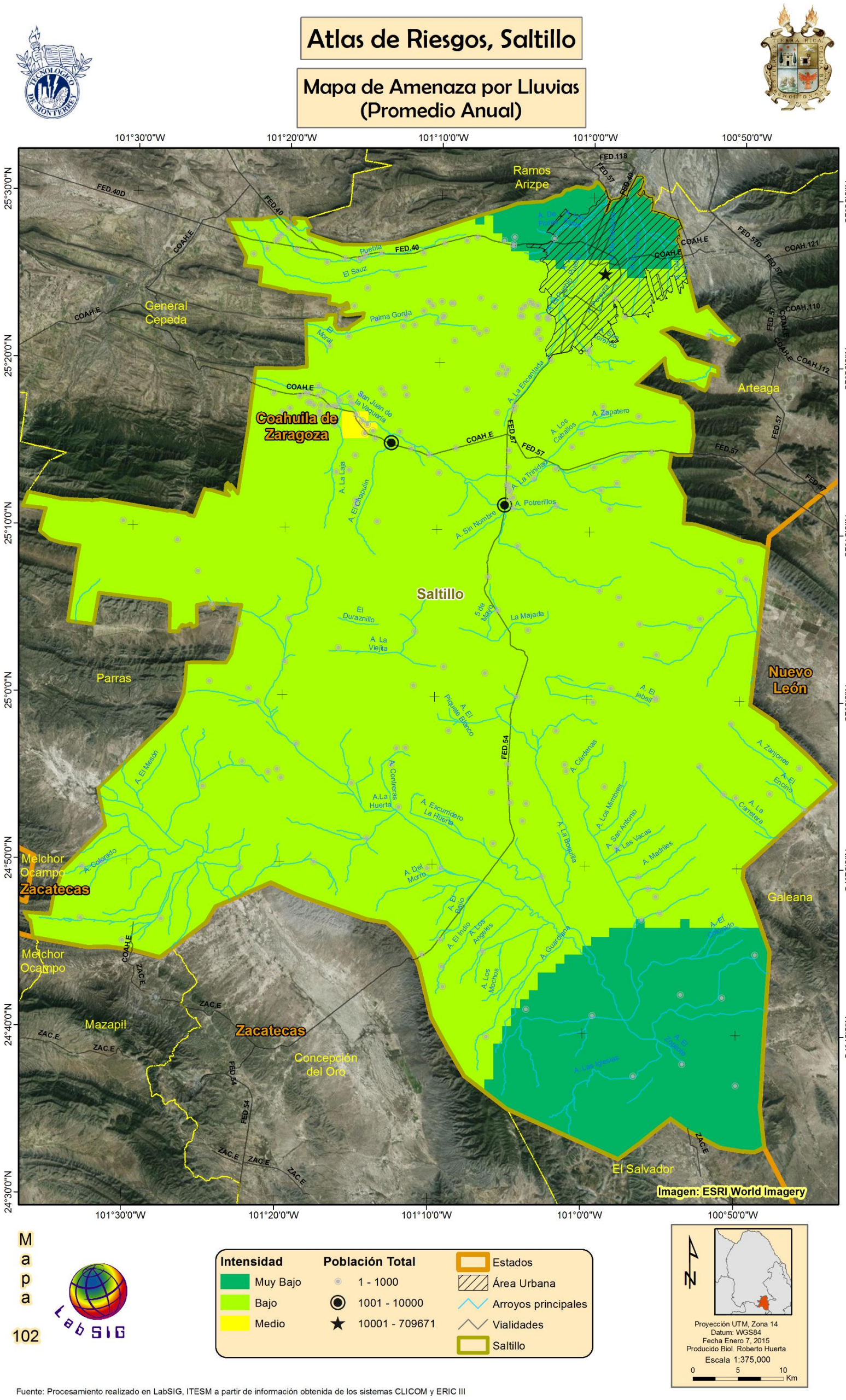
El cálculo del Pr se realizó mediante dos métodos distintos (SAGARPA y Gumbel), para ambos casos se utilizaron los días con mayor intensidad de mm/día por año por cada estación. Una vez calculado el Pr para cada estación, los datos se analizaron a través del software ArcGIS con la herramienta IDW (Ponderación de Distancia Inversa), se interpoló la información para generar la cartografía del peligro que representan las lluvias extremas. Con la herramienta Contour (isolíneas) se crearon líneas de curvas de nivel a partir del ráster obtenido en el análisis IDW.

El primer método se utilizó para obtener Pr para 5 y 10 años, para este método se tomó como referencia el Instructivo de Hidrología Aplicada a las pequeñas obras Hidráulicas, publicado por la SAGARPA, en este trabajo se indica que el valor del Pr se determina en base a la posición de la variable con respecto a la misma tabla de valores a la que pertenece pero ordenados de mayor a menor. Una vez reordenados los datos, el Pr se obtiene en función de las siguientes relaciones:

$$T = \frac{n+1}{m} \qquad (1)$$

$$P = \frac{m}{n+1} \qquad (2)$$

Donde T es el Periodo de retorno (Pr) medido en años, n es el número de años de registro, m es el número de orden y P es la probabilidad.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III

Figura 177. Promedio del total de precipitación por año

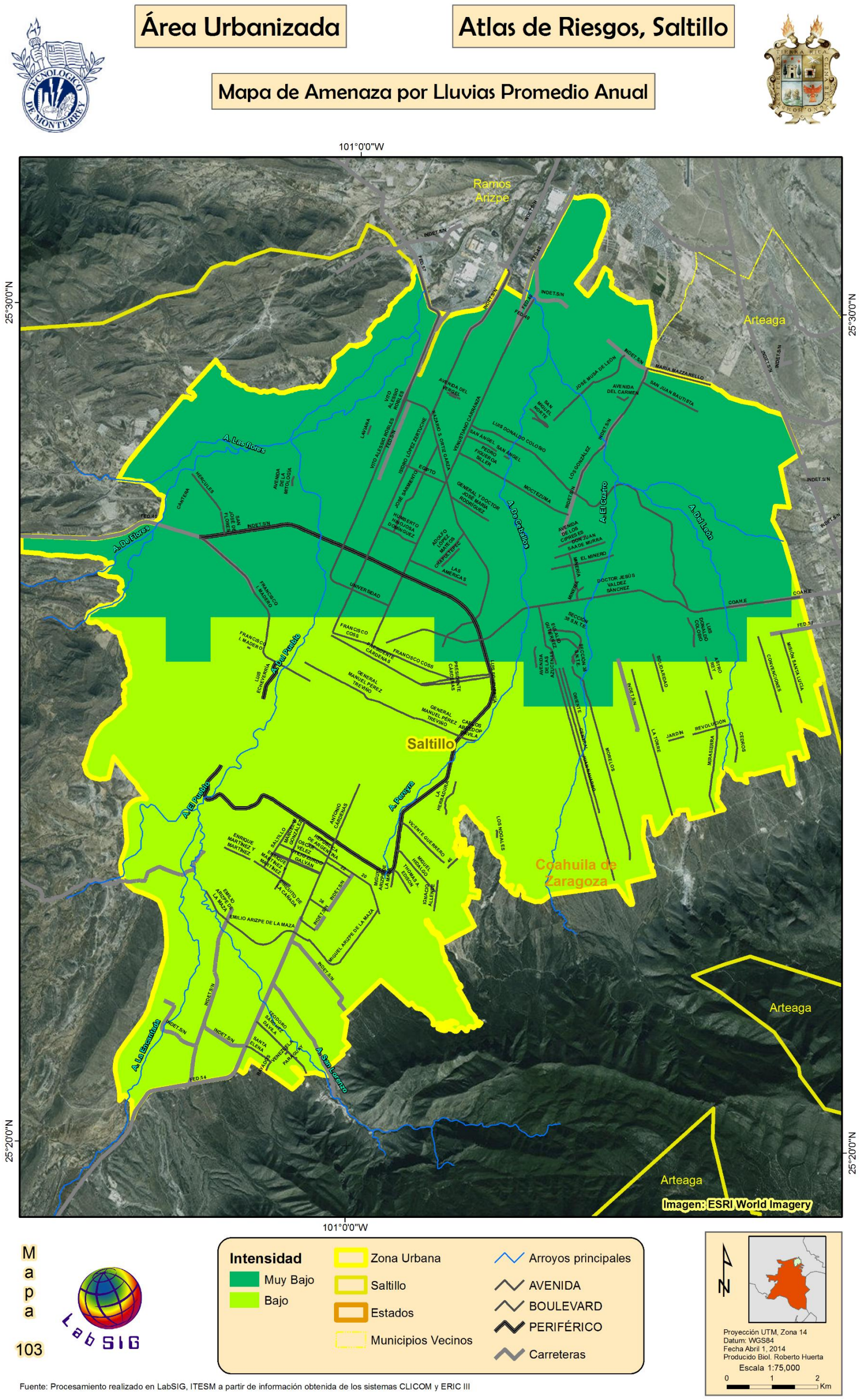


Figura 178. Mapa de amenaza por lluvias considerando el promedio de precipitación anual, acercamiento a la zona urbana.

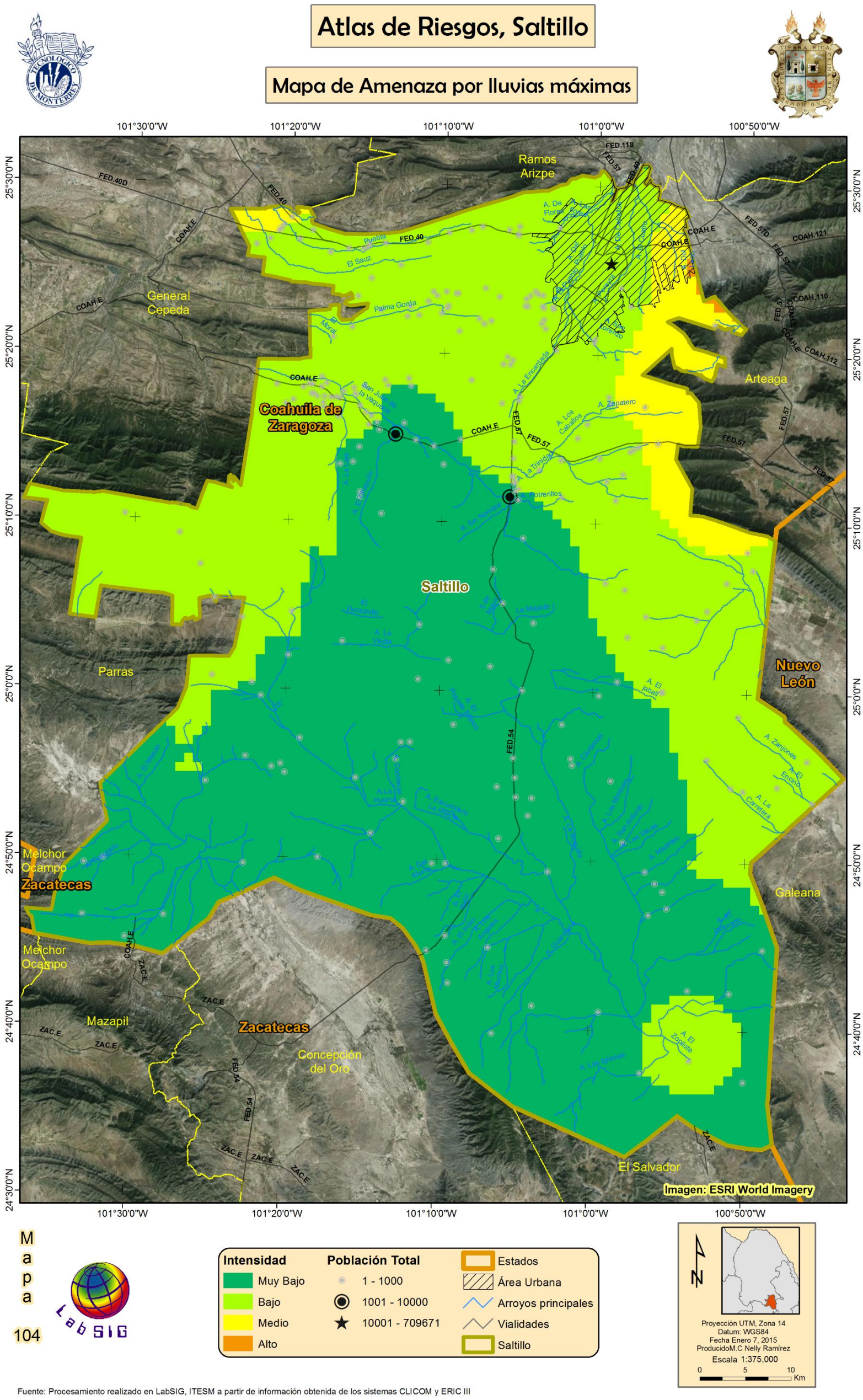


Figura 179. Lluvia máxima precipitada en 24 hrs. por cada estación.

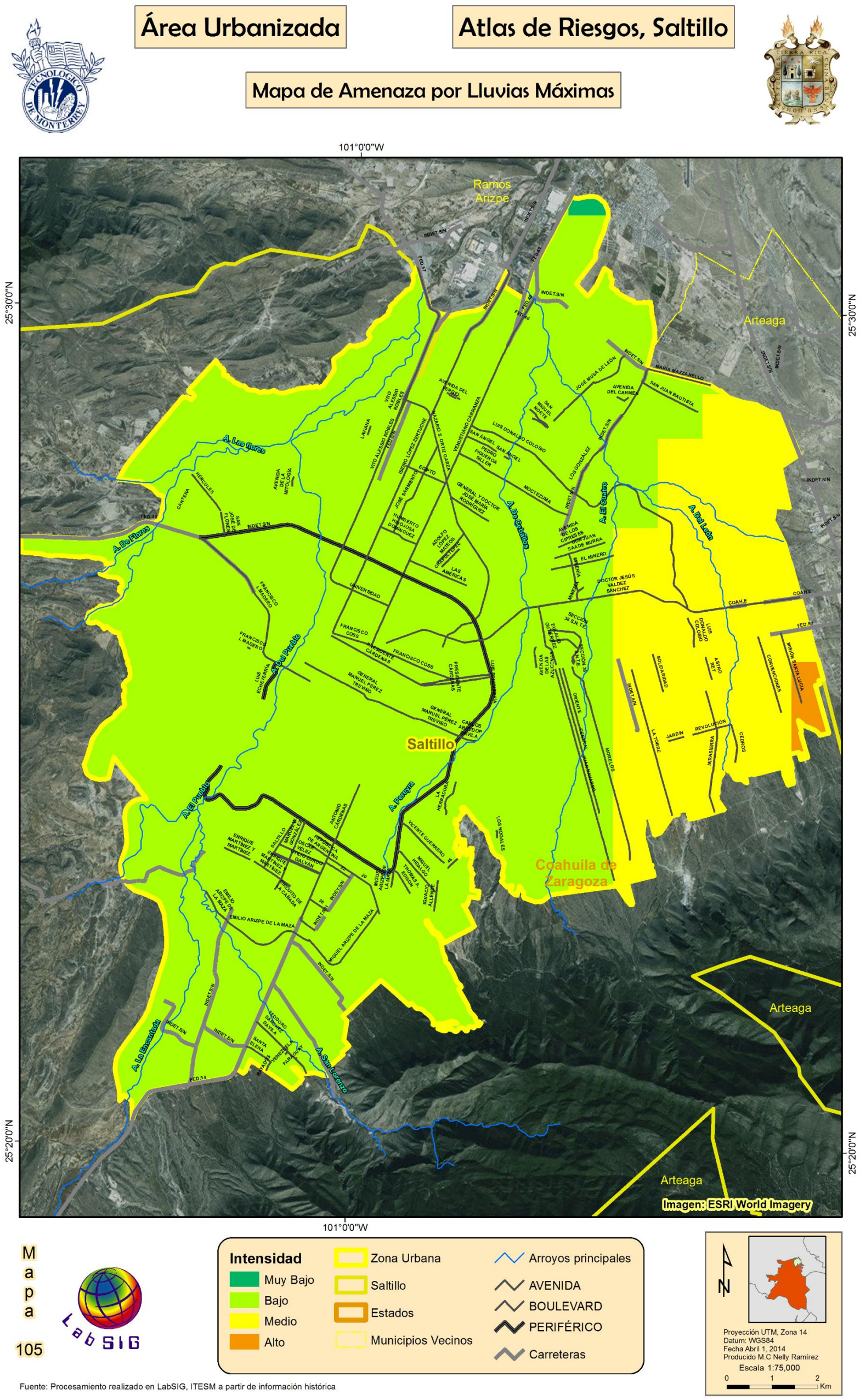


Figura 180. Amenaza por lluvias extremas a nivel urbano.

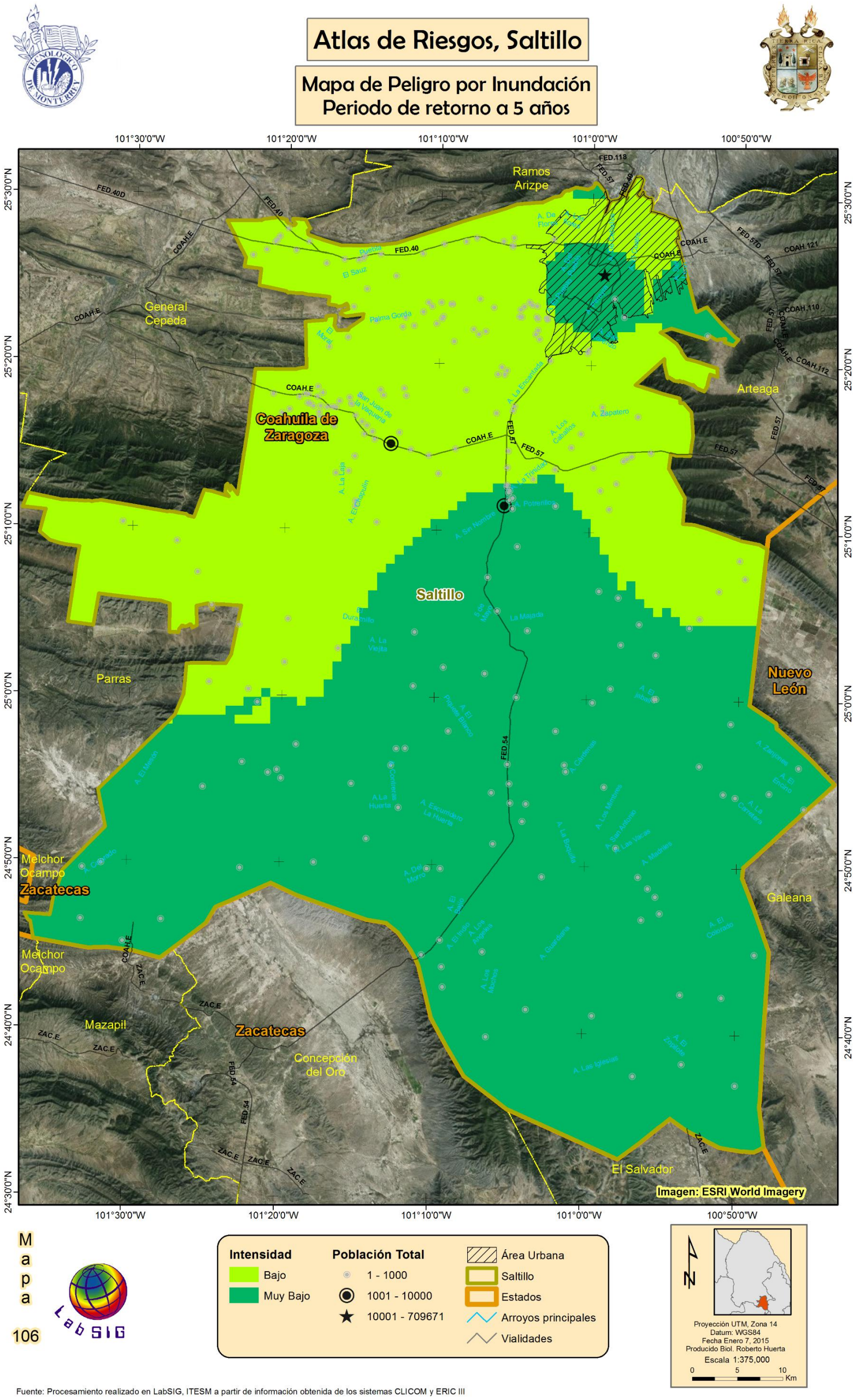


Figura 181. Lluvias extremas esperadas en un Pr de 5 años.

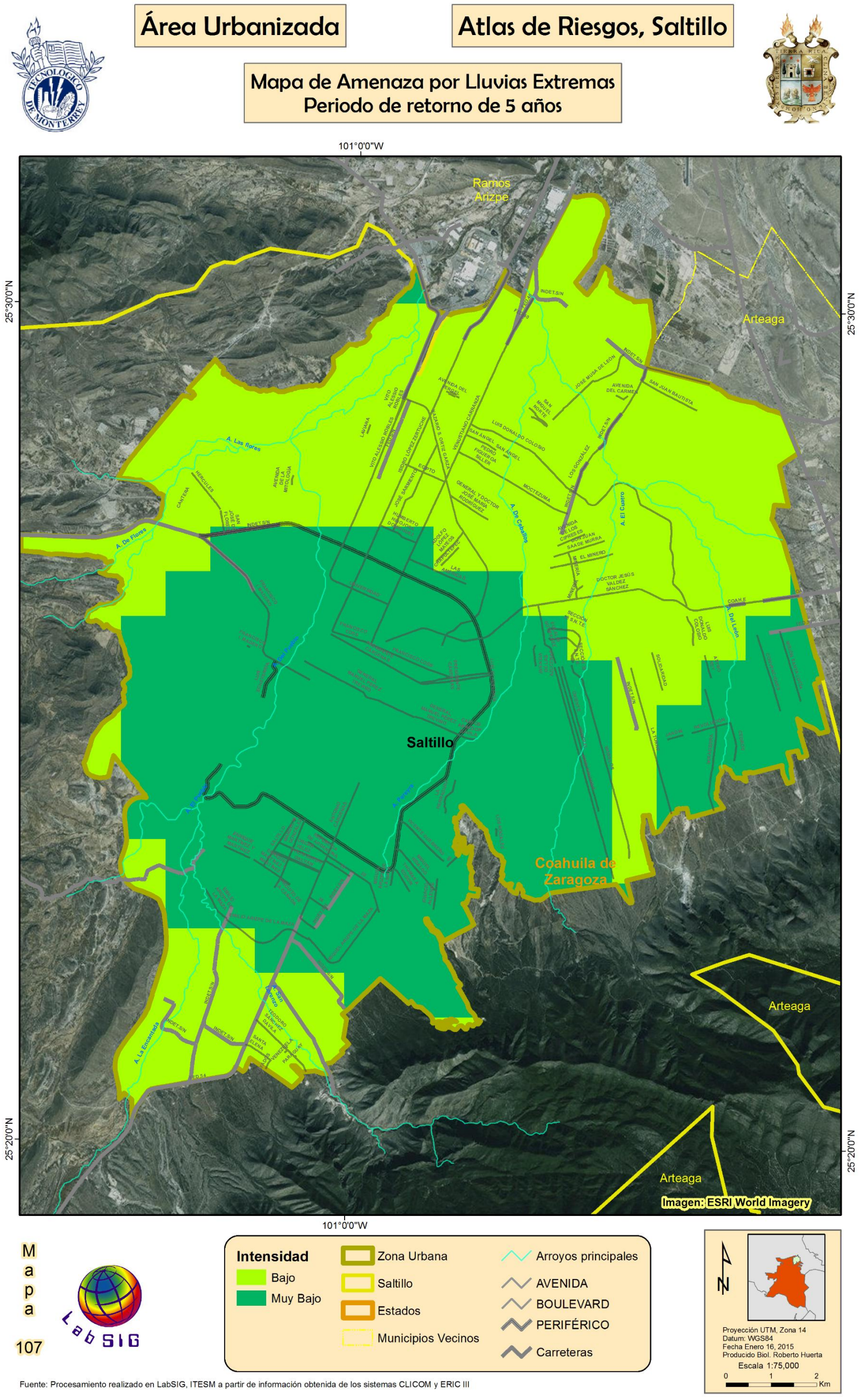


Figura 182. Lluvias extremas esperadas en un Pr de 5 años, acercamiento a la zona urbana.

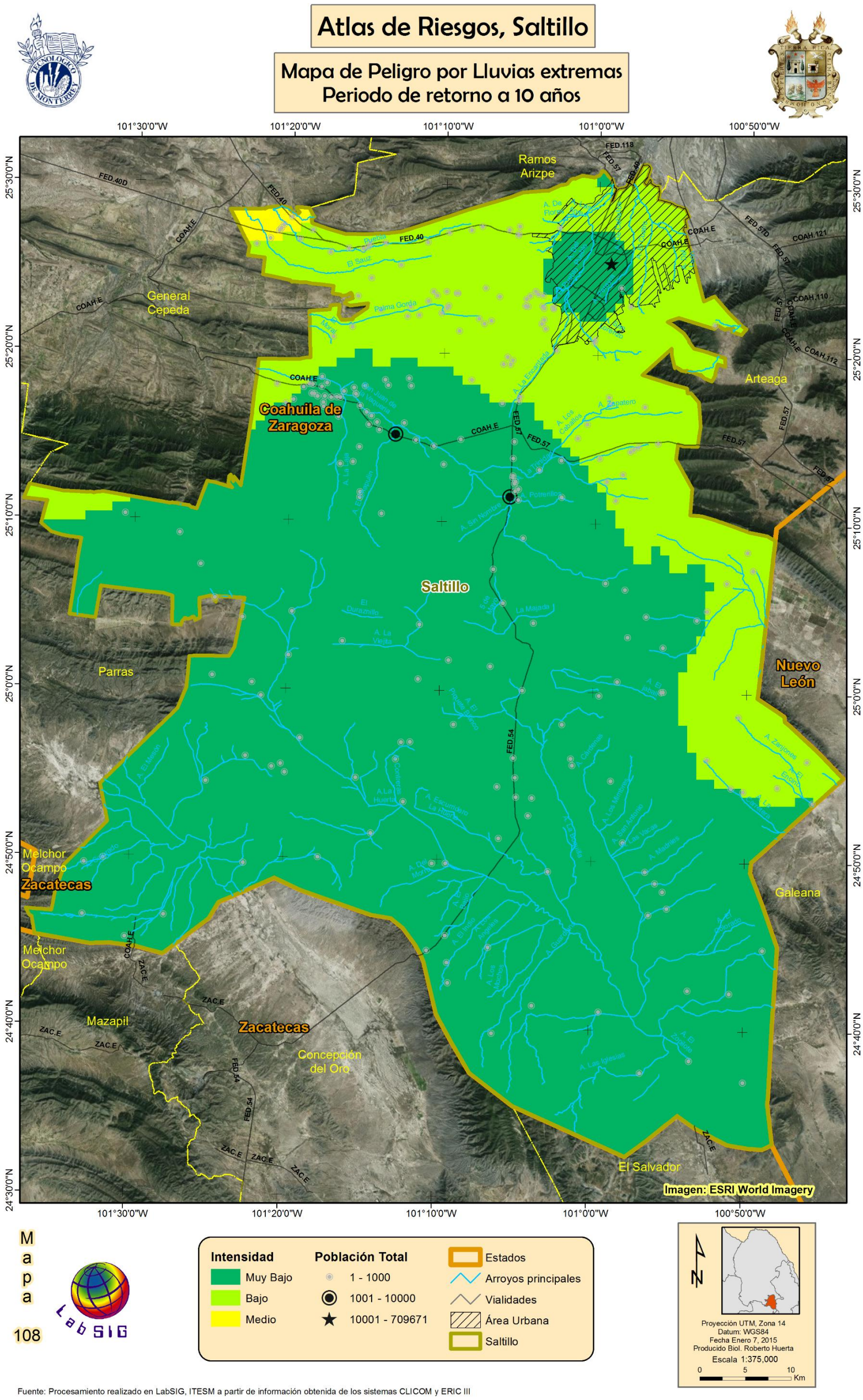


Figura 183. Lluvias extremas esperadas en un Pr de 10 años.

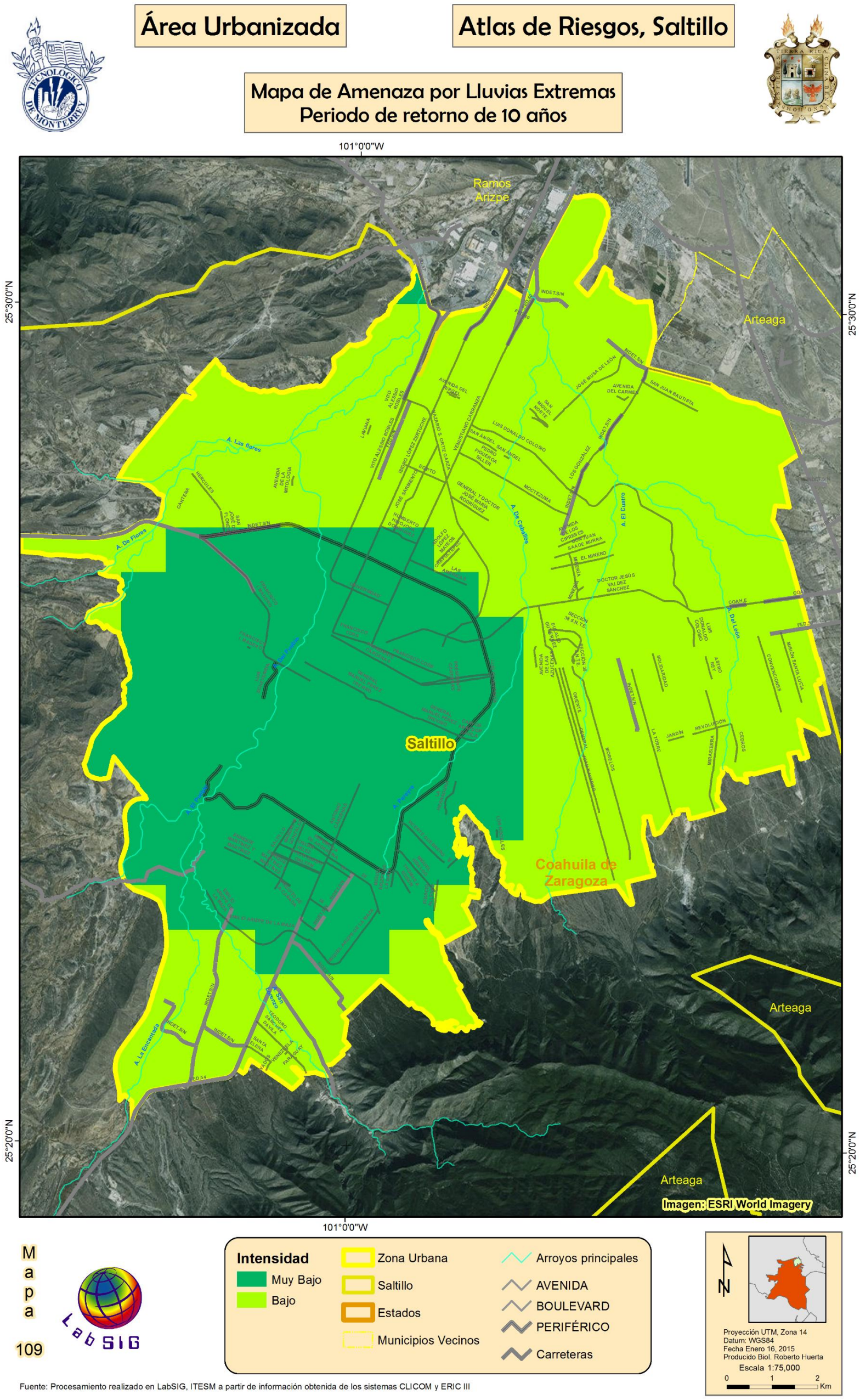


Figura 184. Lluvias extremas esperadas en un Pr de 10 años.

Los resultados del cálculo de Pr para 5 años se muestran en la Figura 181, donde se observa una acumulación máxima en la zona Noroeste y sureste del municipio. La distribución de la acumulación cambia en los resultados para 10 años (Figura 183), donde se muestra que la acumulación migra hacia el norte en las mismas direcciones, noreste y noroeste.

Para calcular el Pr a 100 años se utilizó el método de Gumbel (segundo método) el cual se describe con más detalle en Anexos.

Los resultados finales del cálculo de Pr para las estaciones urbanas se muestran en la Figura 185, donde la estación 5048 es la más representativa de la ciudad de Saltillo por estar ubicada en el centro del área urbana. Las estaciones con mayor acopio son 5003, 5140 y 5148, pues registran una precipitación máxima acumulada en 24 h cercana a los 200 mm.

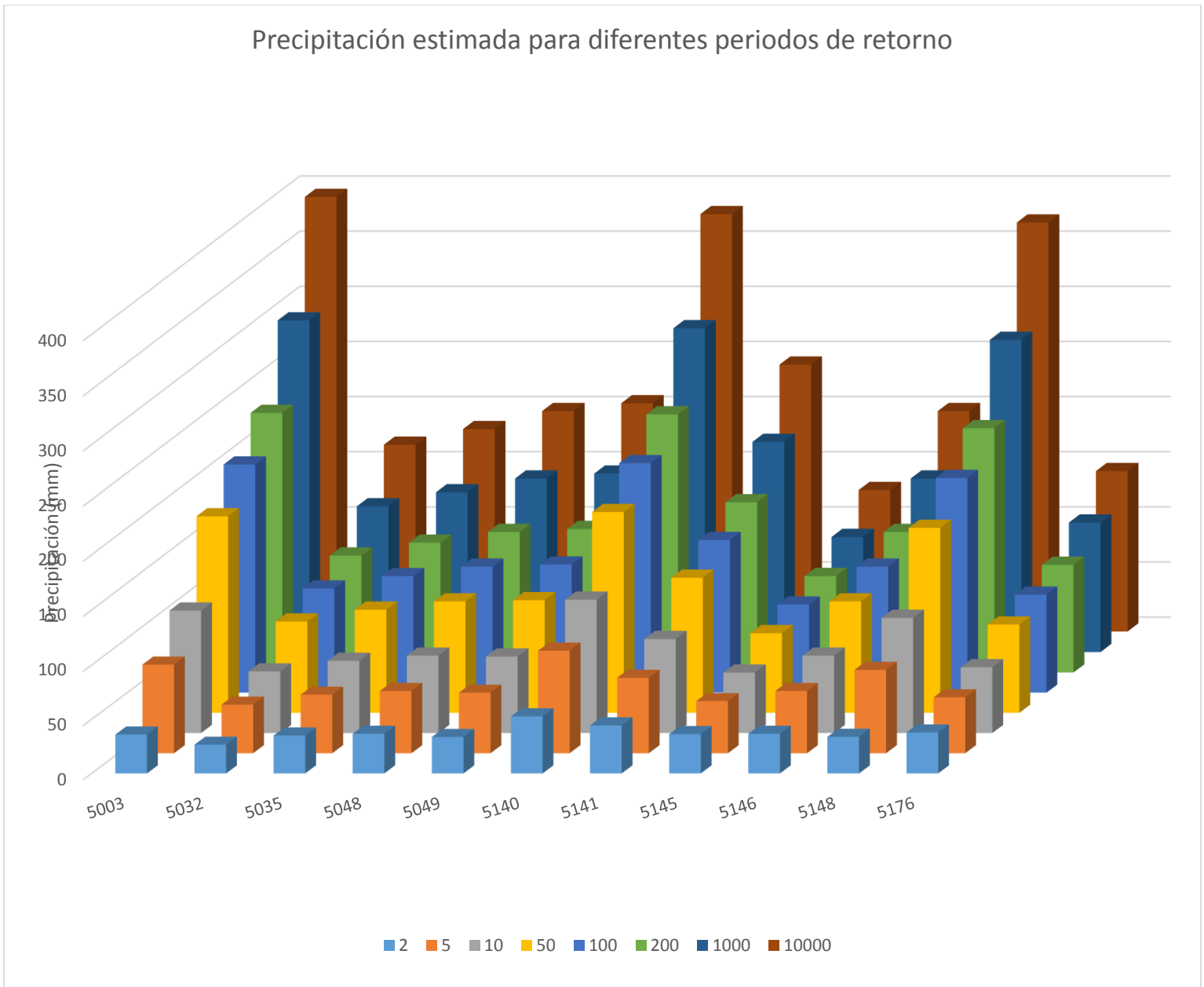
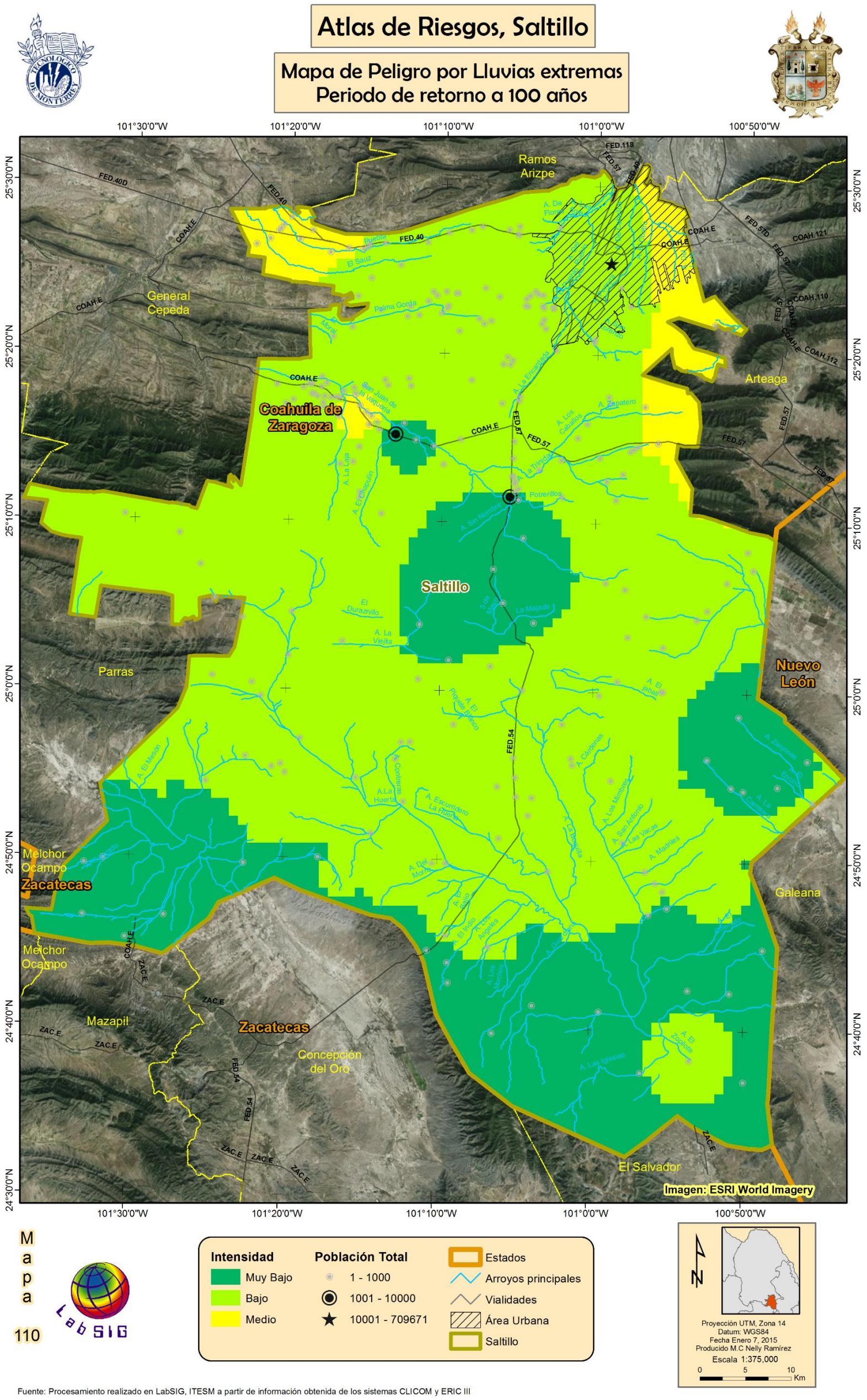


Figura 185. Precipitación máxima esperada en un Pr de 100 años para las estaciones principales que corresponden al área de Saltillo.

En la Figura 186 se muestra el mapa con la precipitación máxima acumulada en 24 h con un Pr estimado a 100 años. En el mapa se aprecia que la región sureste de la zona urbana presenta los valores más bajos (de 60 -140mm) mientras la norte registra intensidades medias (140-180 mm).



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III

Figura 186. Precipitación máxima esperada en un periodo de 100 años.

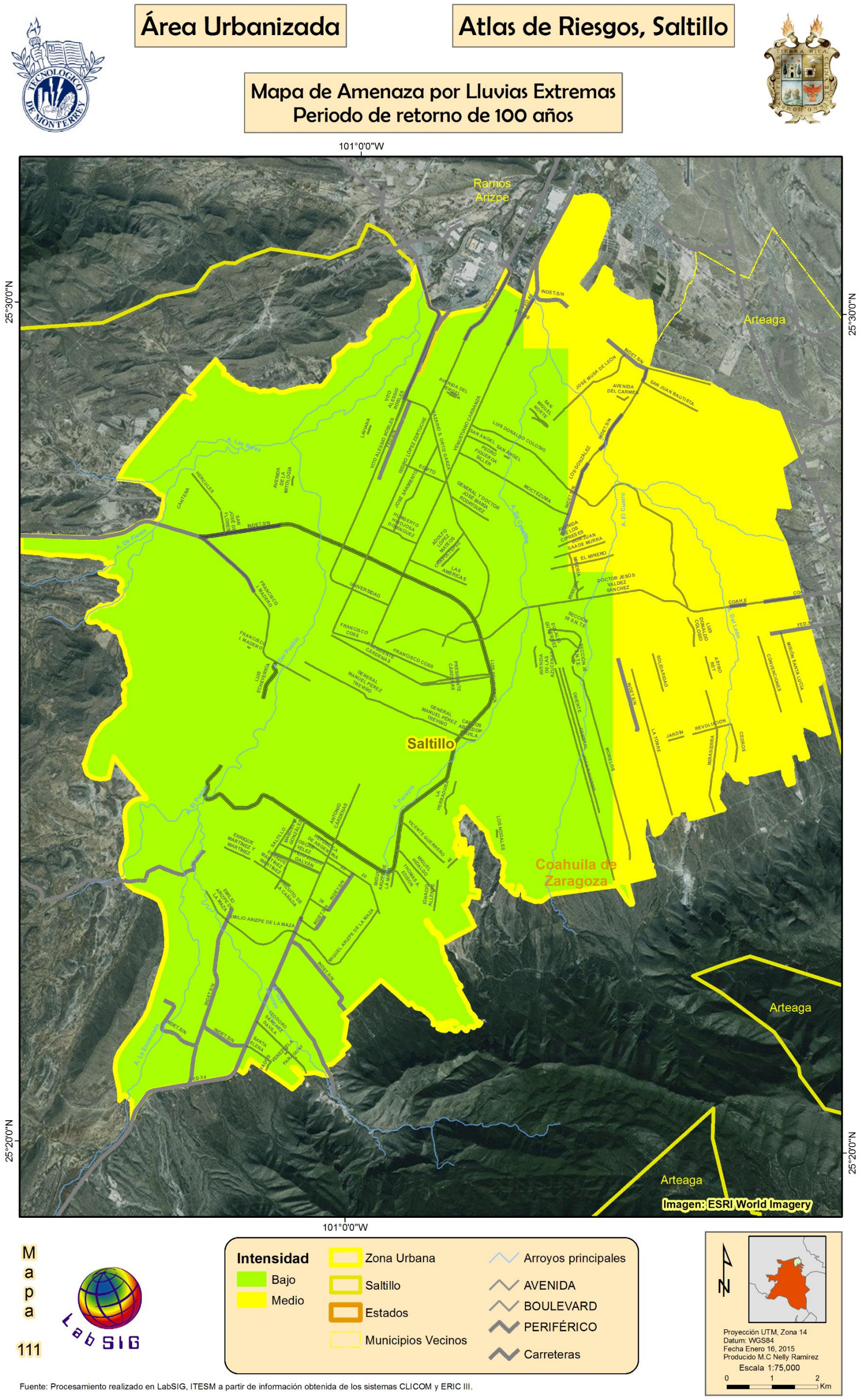


Figura 187. Peligro por lluvias, considerando un Pr de 100 años.

5.3.11 Inundaciones Fluviales

La estimación de la precipitación asociada a los Pr se realizó en base a las isoyetas desarrolladas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y disponibles a través de su portal en internet (SCT, 2010). Para la modelación hidrológica se consideró la precipitación máxima acumulada diaria (24 horas) que se muestra en el siguiente mapa de isoyetas (Figura 188).

La identificación de los niveles de afectación se hizo en base a los eventos históricos, con énfasis en los recientes (Huracán Alex). Se analizaron los registros de precipitación de las estaciones climatológicas localizadas en las cuencas alimentadoras y con base en ésos datos se calculó los valores de lluvias y caudal producido para Pr de 2, 10, 50, 100 y 200 años. Con base en los datos del MDE, se cartografiaron las zonas inundables para los Pr antes mencionados.

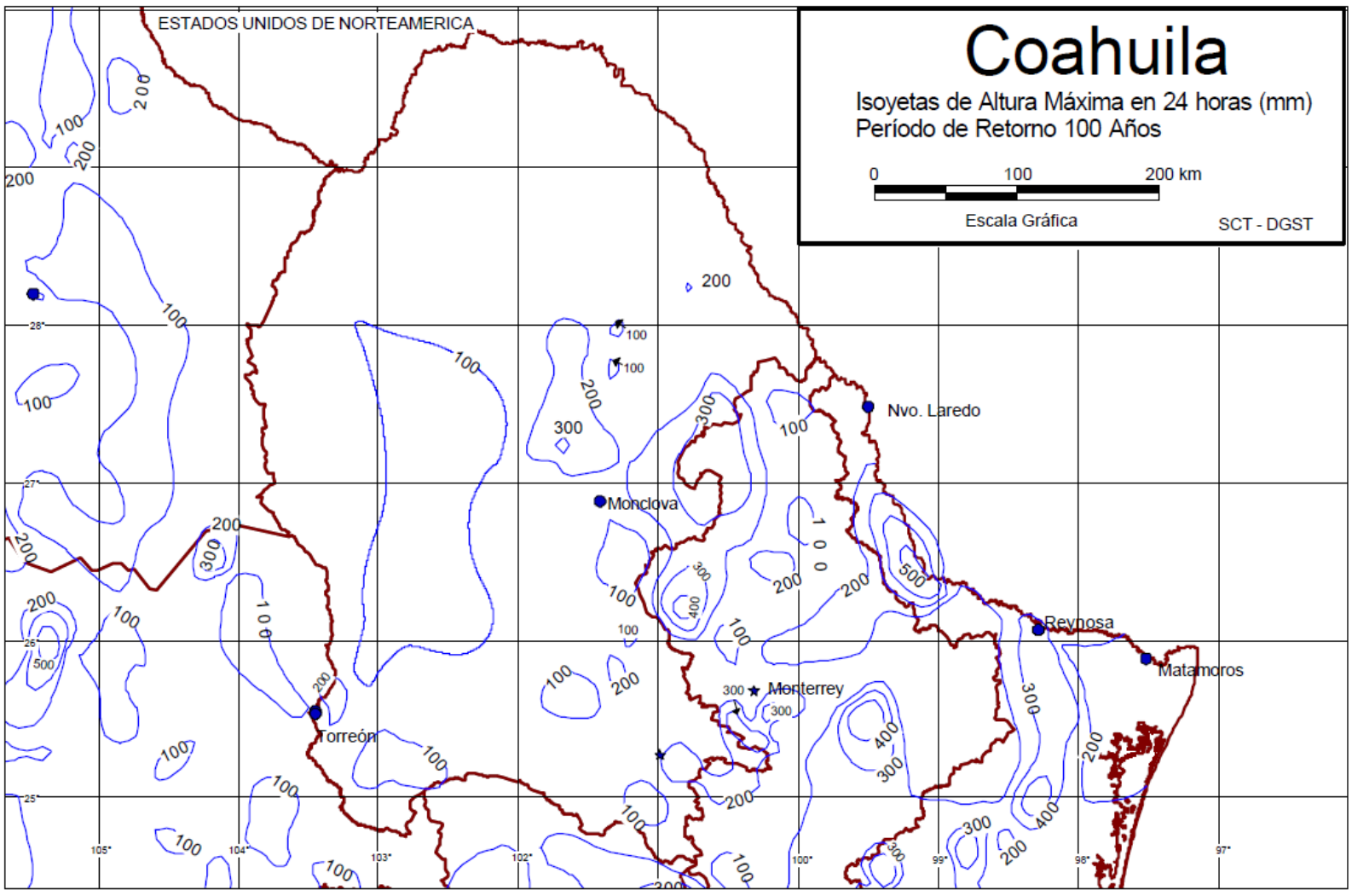


Figura 188. Mapa de isoyetas de altura máxima en 24 horas (mm) con un período de retorno de 100 años.

La distribución temporal de la precipitación en 24 horas se realizó en base a las intensidades de 60, 120 y 240 minutos (generadas por la SCT). La distribución temporal en 24 horas de la precipitación o hietograma sintético se generó utilizando el método de bloques alternantes (Chow, 1988).

Las máximas de precipitación estimada son puntuales, sin embargo es necesario considerar que la lámina de lluvia acumulada en una cuenca es menor a la medida en un punto debido a la variación espacial de la lluvia. Para tomar en cuenta este efecto, se utilizó un factor de reducción por área (FRA) para la precipitación utilizada en la modelación hidrológica de la cuenca estudiada (Breña, 1984)

5.3.11.1 Problemática

El peligro de inundación en Saltillo ha sido evidente durante los últimos eventos de tormentas o huracanes, en los cuales se reportan cuantiosas pérdidas económicas. En su mayoría las inundaciones se presentan sobre los márgenes de los ríos y en aquellas planicies de las riberas en donde la topografía de nivel más bajo permite la acumulación y arrastre de agua.

Un problema muy serio en Saltillo es la ocupación de los arroyos, ya sea por la construcción de infraestructura (Figura 189 y Figura 190), o el mal diseño de ésta (Figura 191 y Figura 192). Algunos ejemplos son escombreras (Figura 193), basureros (Figura 194) o asentamientos irregulares, donde las características de vivienda pertenecen a un nivel económico muy bajo (Figura 195).



Figura 189. Ejemplo de infraestructura obstruyendo el arroyo.



Figura 190. Cambios drásticos en la dirección de escurrimientos por la construcción de casas habitación.



Figura 191. Errores en el diseño de la infraestructura que obstruyen los arroyos.



Figura 192. Obstrucciones en la infraestructura hidráulica construida.



Figura 193. Escombros arrojados al lecho del arroyo.



Figura 194. Basura arrojada en los arroyos.



Figura 195. Posesionarios ocupando parte del arroyo.

5.3.11.1.1 Zonas de conflicto (Ejemplos)

Cabe señalar, que la sección abajo es una compilación de algunos puntos que resultaron evidentes como zonas de conflicto con el análisis y entre los cuales se encontraron algunos puntos reportados por CNA (señalados en los mapas). Sin embargo, es necesario llevar a cabo análisis específicos (que no son contemplados en el Atlas) para determinar las capacidades y condiciones de obras hidráulicas (fluviales y pluviales) tanto de las existentes como de las requeridas.

5.3.11.1.1.1 Carretera Zacatecas Saltillo, Fraccionamiento Parajes de Santa Elena.

El cauce que llega y cruza la sección aquí descrita se genera aguas arriba en una cuenca no urbanizada y con un área de aproximadamente 2 km^2. El flujo entra por la parte sur a la urbanización de reciente construcción (pues no aparece en los datos del Censo del 2010 del INEGI) (Figura 196). Si la urbanización continúa hacia el sur sobre el terreno que actualmente se encuentra forestado, es decir si el terreno del sur cambia el uso de suelo a urbanizado, éste fraccionamiento recibirá en ese pequeño arroyo un mayor flujo. Se considera un punto de conflicto ya que en la sección de entrada del arroyo natural hacia la calle del área urbanizada (Figura 197) no se cuenta con ninguna obra pluvial (alcantarilla, canalización u otra), lo cual es preocupante, pues los flujos que se acumulen durante avenidas extraordinarias podrían causar arrastre e inundación en el fraccionamiento.

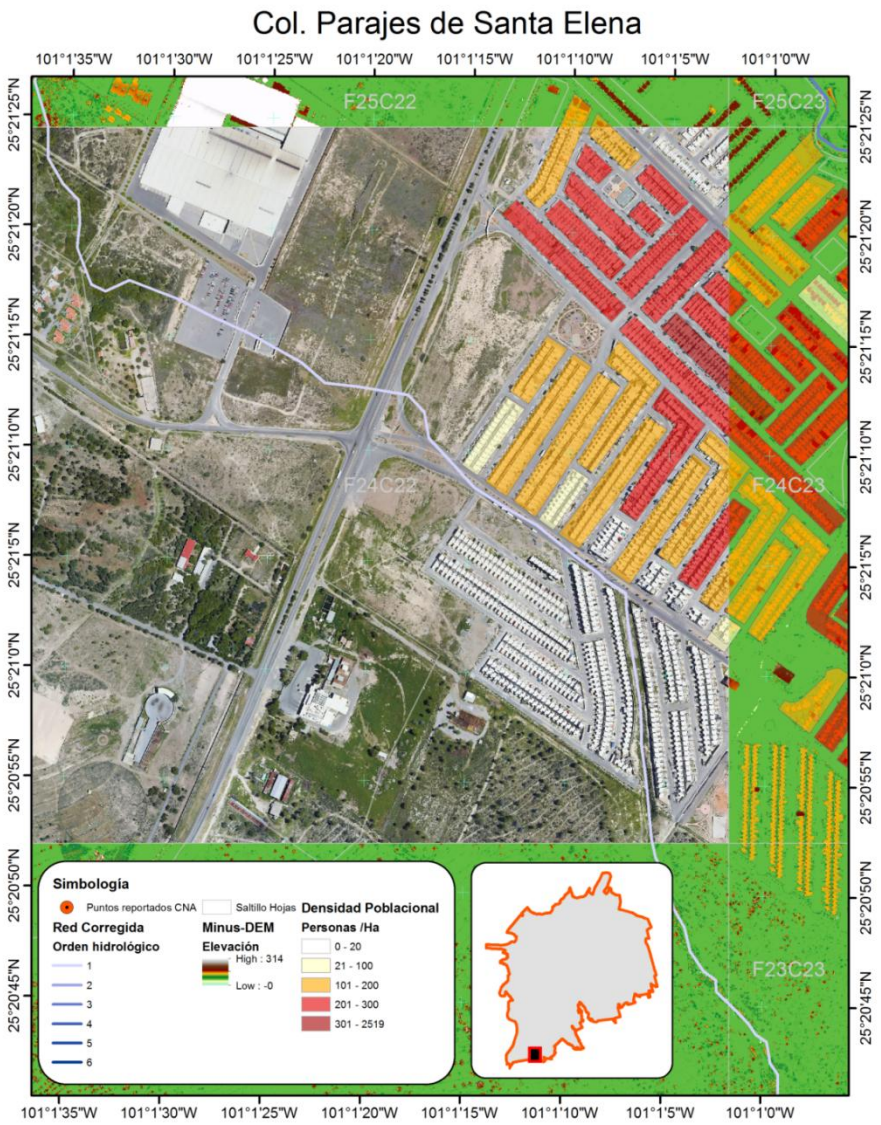


Figura 196. Problemática creada por flujo de arroyo, Col. Parajes de Santa Elena.

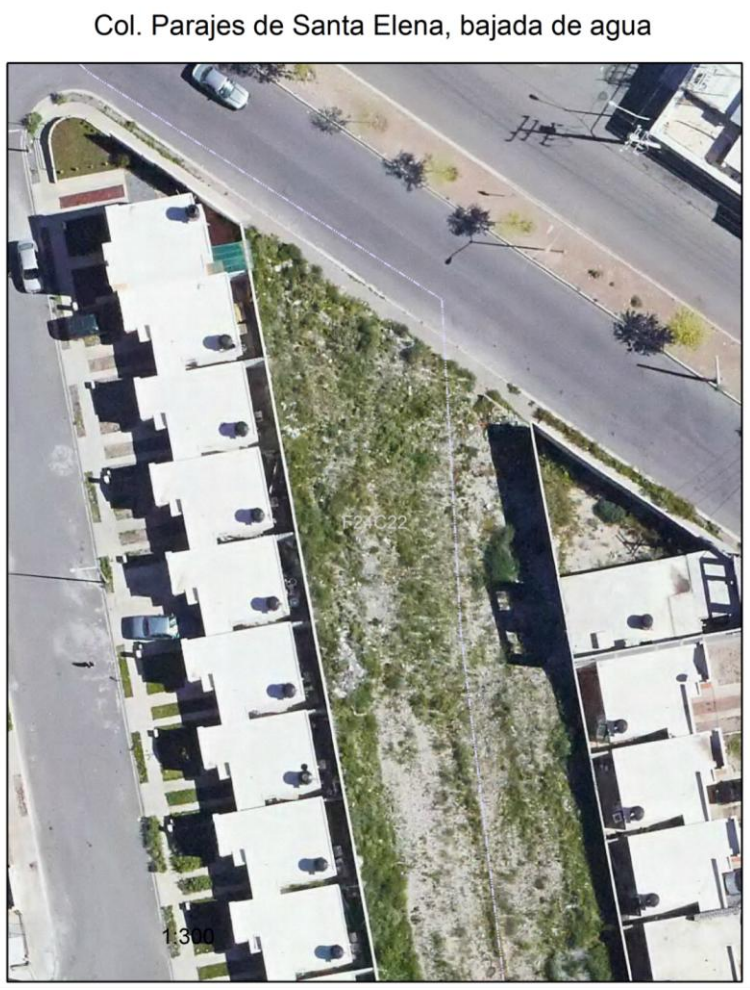


Figura 197. Acercamiento a una de las zonas de conflicto dentro de Parajes de Santa Elena (termina el arroyo y comienza la calle).

5.3.11.1.1.2 Colonia La esperanza y Calzada Antonio Narro.

Aunque es una pequeña sección del escurrimiento junto a la Calzada Antonio Narro en la Colonia La Esperanza (Figura 198), al presentarse una avenida extraordinaria y debido a la trayectoria que muestra el cauce, ésta sección podría representar daños parciales o totales a las casas, debido a que el escurrimiento (según la topografía del 2013) aparentemente no se encuentra canalizado y muestra ángulos incluso de 90° en los escurrimientos que se forman por calles (Figura 199).

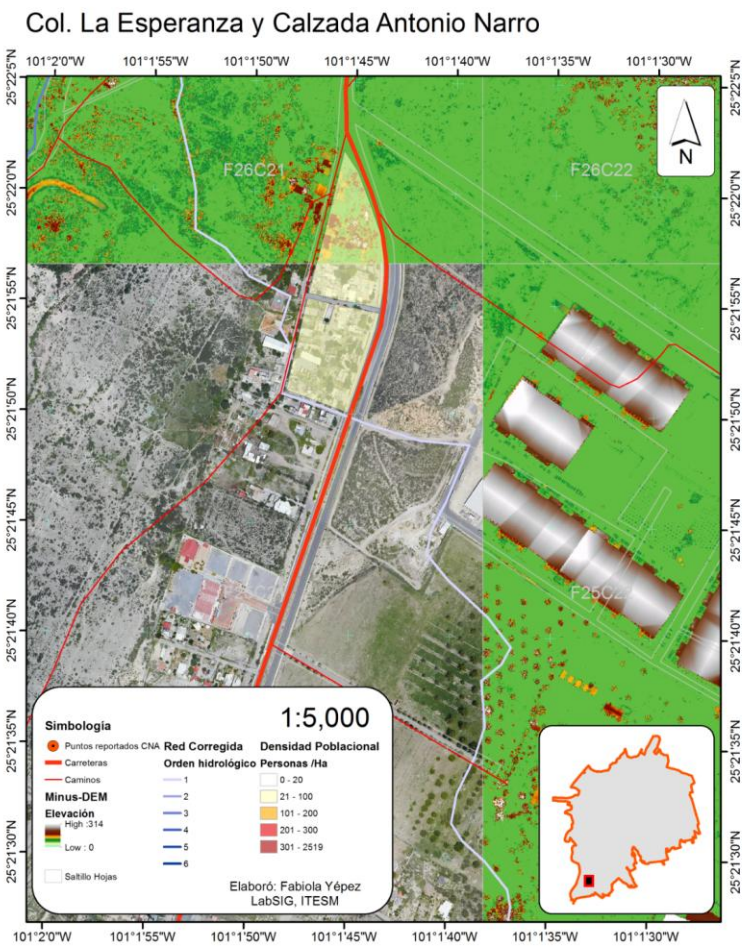


Figura 198. Delimitación de la Col. La Esperanza y la Calzada Antonio Narro y su problemática ocasionada por el flujo de agua.



Figura 199. Acercamiento a la Colonia La Esperanza y la Calzada Antonio Narro, se muestra el arreglo urbanizado del flujo del arroyo.

5.3.11.1.1.3 Col. María del Carmen Cavazos y Calzada Antonio Narro.

En las secciones circuladas en rojo en la Figura (200) se muestran dos puntos con posible conflicto, el 1) es uno de los puntos reportados por CNA, y representa una alcantarilla (Figura 201) que al parecer no cuenta con las dimensiones para el flujo en eventos de lluvias, así como su posible azolve y el 2) es una sección que se encuentra erosionando la parte de la ribera, que si bien la mayoría son áreas de estacionamientos deberán tomarse precauciones en la sección para evitar aumentar el peso y el riesgo de las viviendas y población (Figuras 201 y 203).

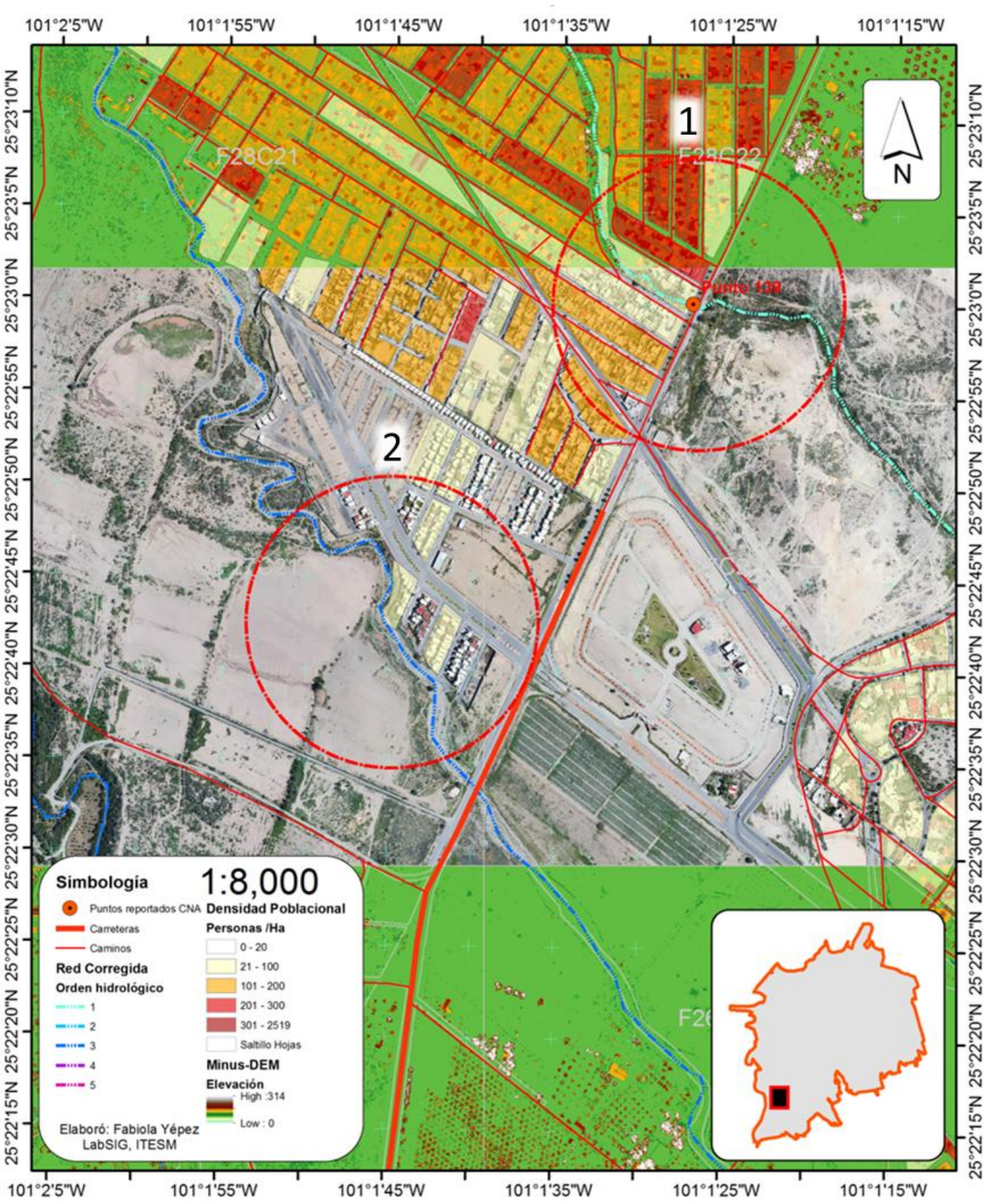


Figura 200. Col. María del Carmen Cavazos y Calzada Antonio Narro, delimitación de problemas dentro del área, en el círculo 1 se muestra lo que correspondería al punto 139 de CNA, en el círculo 2 se muestran problemas de urbanización en la dirección y posible erosión del cauce.

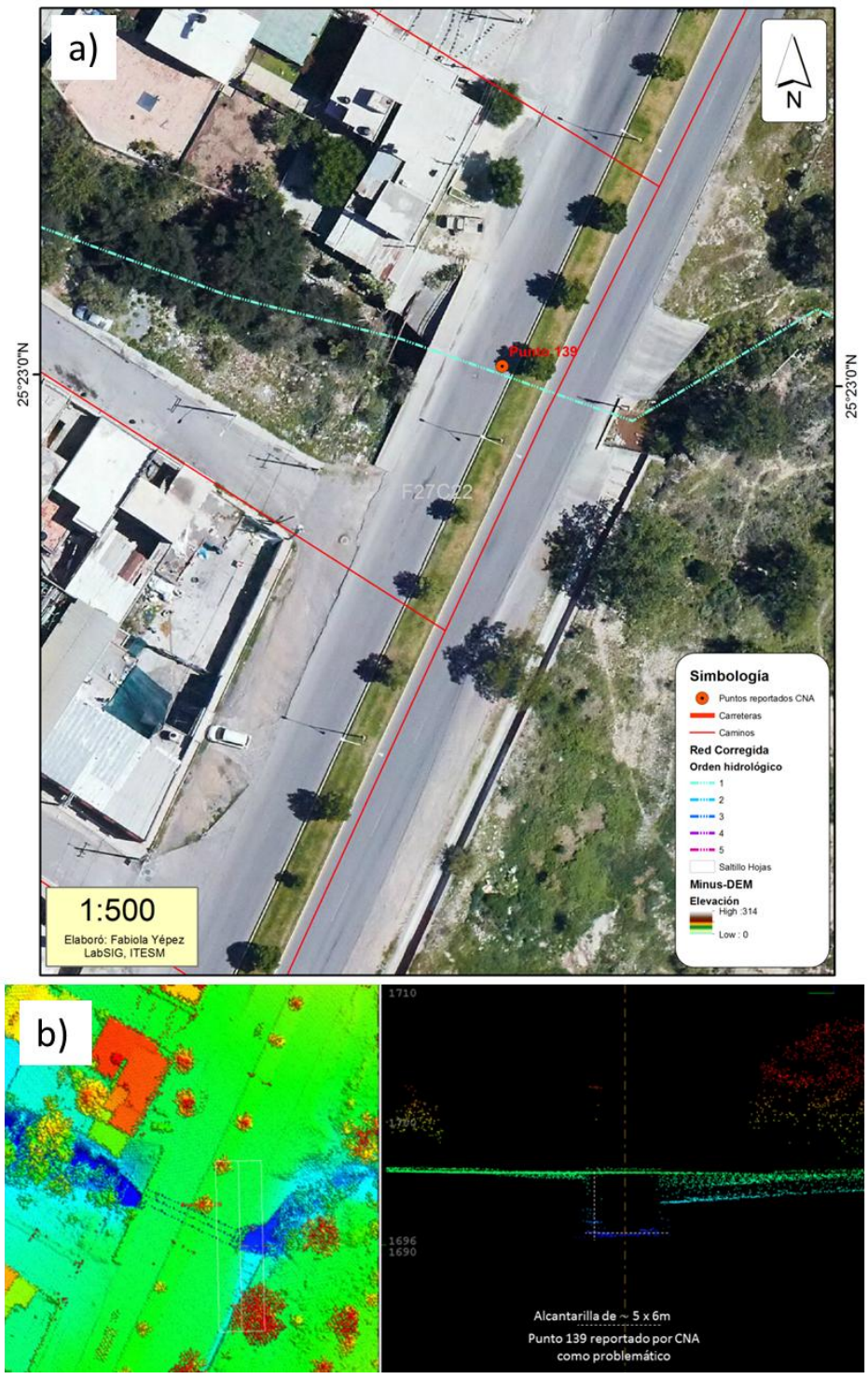


Figura 201. Acercamiento al círculo 1, localidad concordante con el punto de conflicto No. 139 identificado por la CNA. El paso del canal (a) se ve obstaculizado por el relativamente pequeño espacio del drenaje (b).

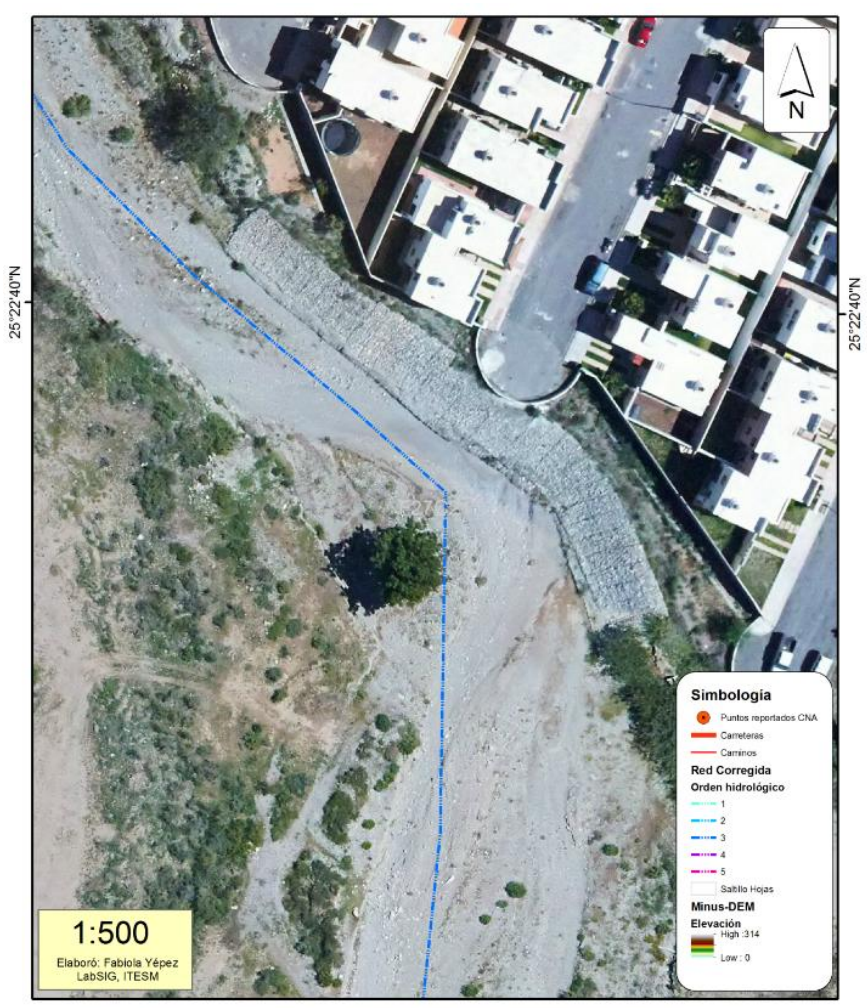


Figura 202. Colonia María del Carmen Cavazos y Calzada Antonio Narro, conflicto por cercanía de la urbanización a la dirección del flujo del arroyo, sumado con un suelo propenso a ser erosionado (zona Sur).

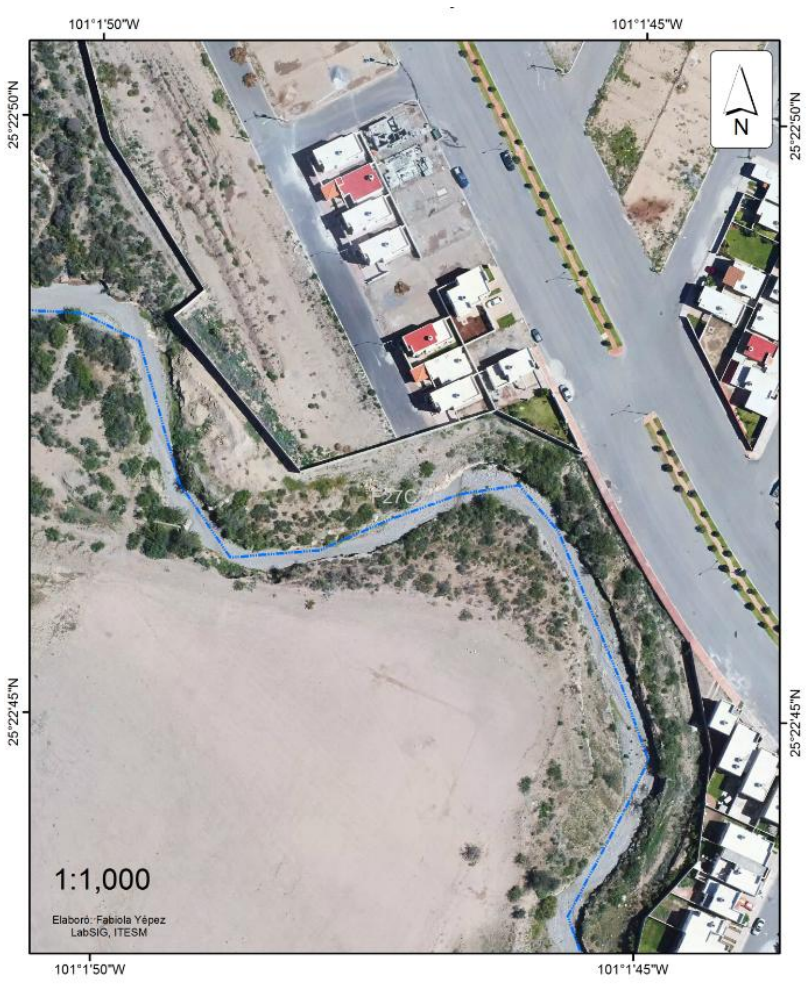


Figura 203. Colonia María del Carmen Cavazos y Calzada Antonio Narro, conflicto por cercanía de la urbanización a la dirección del flujo del arroyo, sumado con un suelo propenso a ser erosionado (Zona Norte).

5.3.11.1.1.4 Colonia Valle verde.

La mayoría de los puntos fueron reportados por CNA y la Secretaría de Ecología del Municipio de Saltillo como puntos en conflicto por presentarse problemáticas durante lluvias o posterior a las lluvias. En su mayoría son problemas de baja capacidad de los afluentes y que aumentan el riesgo por su cercanía con las viviendas en áreas urbanizadas.

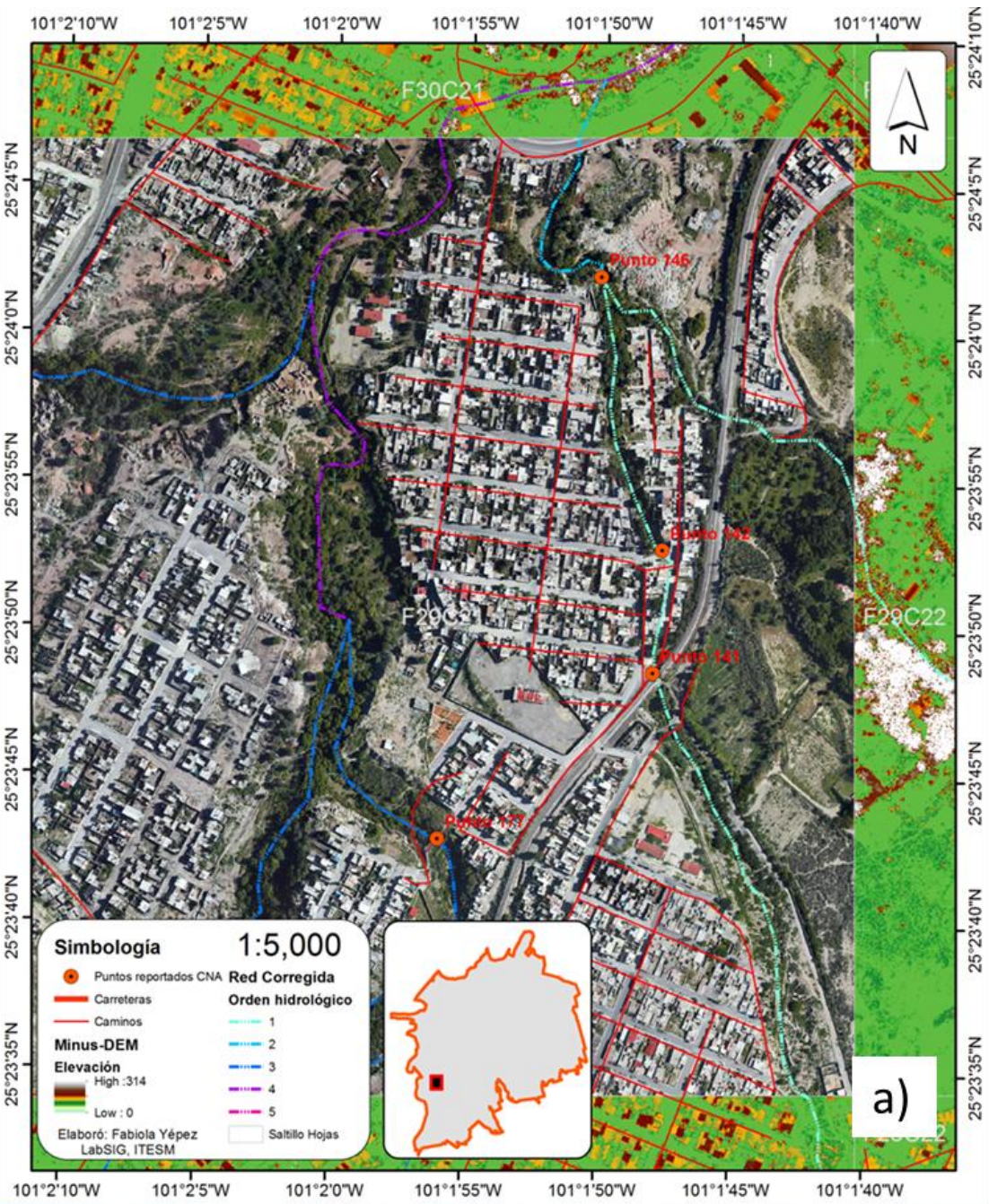


Figura 204. Ubicación diversos puntos de CNA (a) y acercamiento especifico al punto 141 CNA (b) donde se observa el cruce del arroyo ahora sin canal dentro de la colonia, un puente debajo de las vías del tren.

5.3.11.1.1.5 Colonia Genaro Vázquez Rojas.

Ésta sección en la Colonia Genaro Vázquez presnta problemáticas de azolve y capacidad de flujo. De Igual manera que los puntos anteriores se muestra la invasión de las urbanizaciones en los límites de los arroyos.

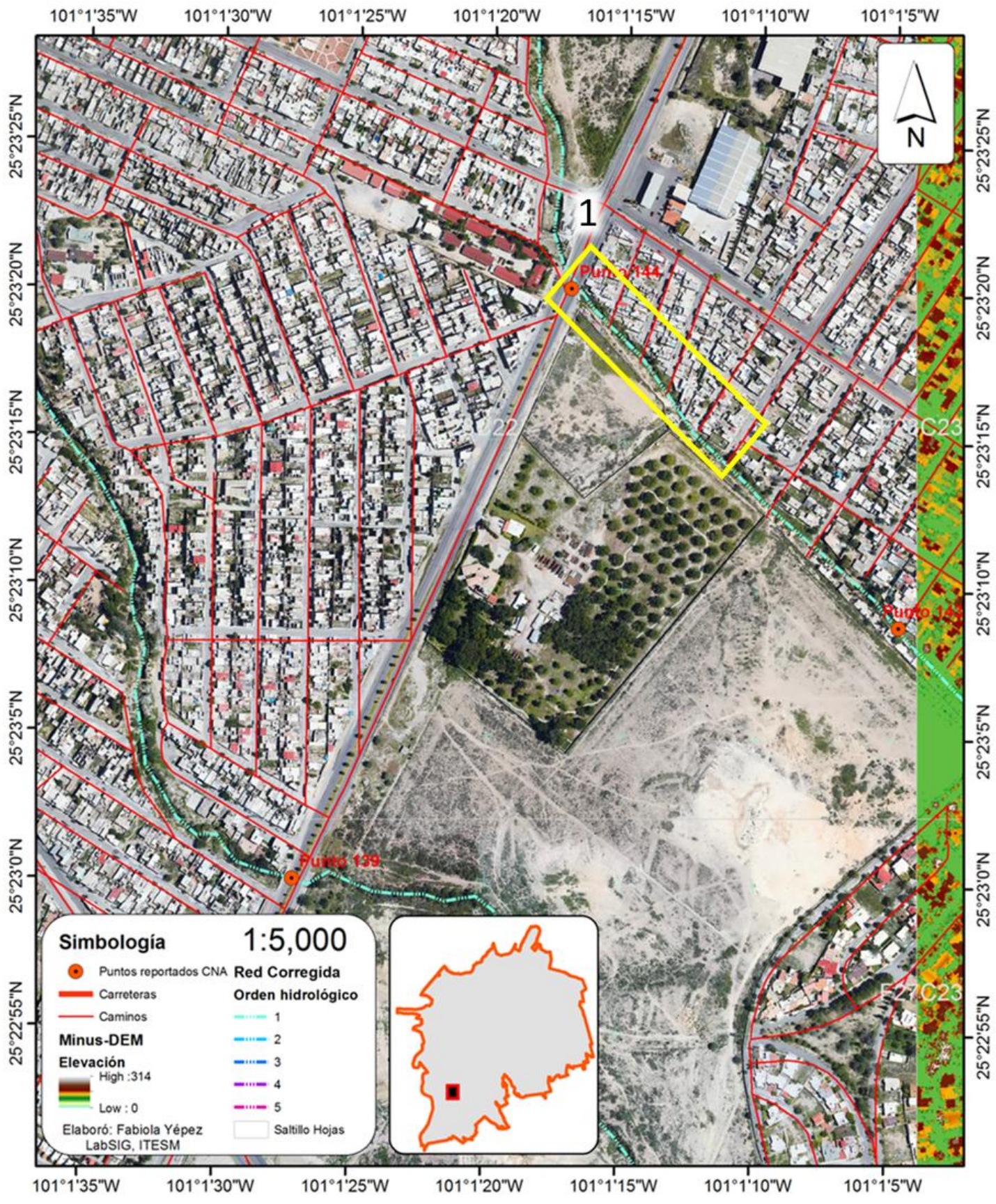


Figura 205. Calzada Antonio Narro esquina con Enrique Martínez, la zona resaltada con un rectángulo amarillo (1) y que es reportada como zona de conflicto por CNA (punto 144) se encuentra localizada dentro del cauce del arroyo.

5.3.11.1.1.6 . Colonia San Lorenzo, paseo del Agua esquina con paseo de las Palmas.

En Saltillo, existen algunas colonias como la San Lorenzo que tienen inversión en equipamiento e infraestructura para el flujo fluvial. Sin embargo, se recomienda la revisión de las capacidades de ésta y otra secciones similares donde se estima de acuerdo con los cálculos del atlas que las inundaciones en eventos extraordinarios rebasaran la capacidad de dichas obras, tal es el caso de la canalización del paseo del Agua esquina con paseo de las Palmas.

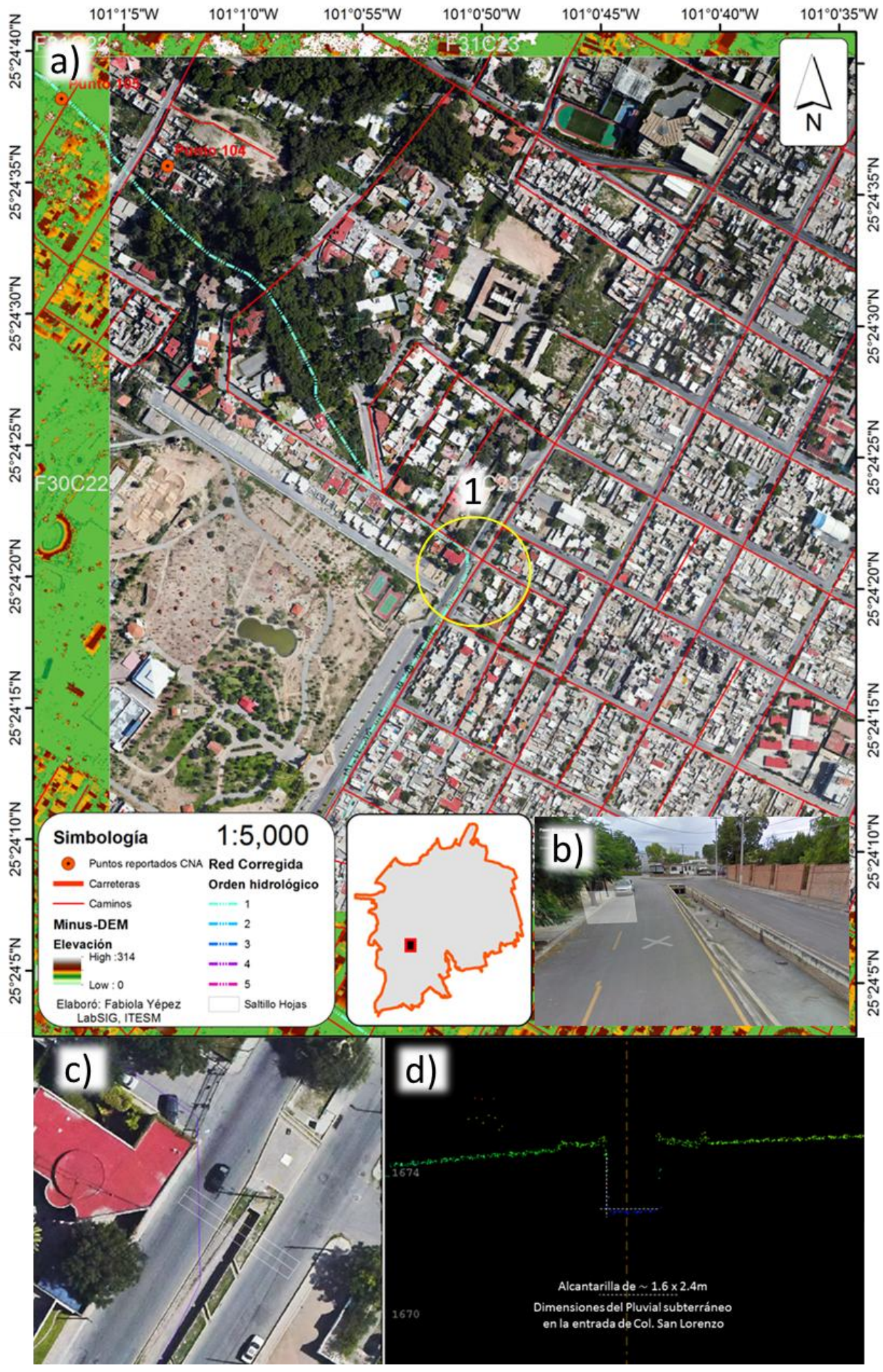


Figura 206. Pluvial insuficiente (1) para una cuenca de 2 km^2. Vista aérea a gran escala (a) acercamiento desde arriba (c), vista de calle (b), así como un perfil del drenaje (1.6 x 2.4 m) por el que tiene que pasar el arroyo en ese punto (d)

5.3.11.1.1.7 . Colonia 15 de Abril.

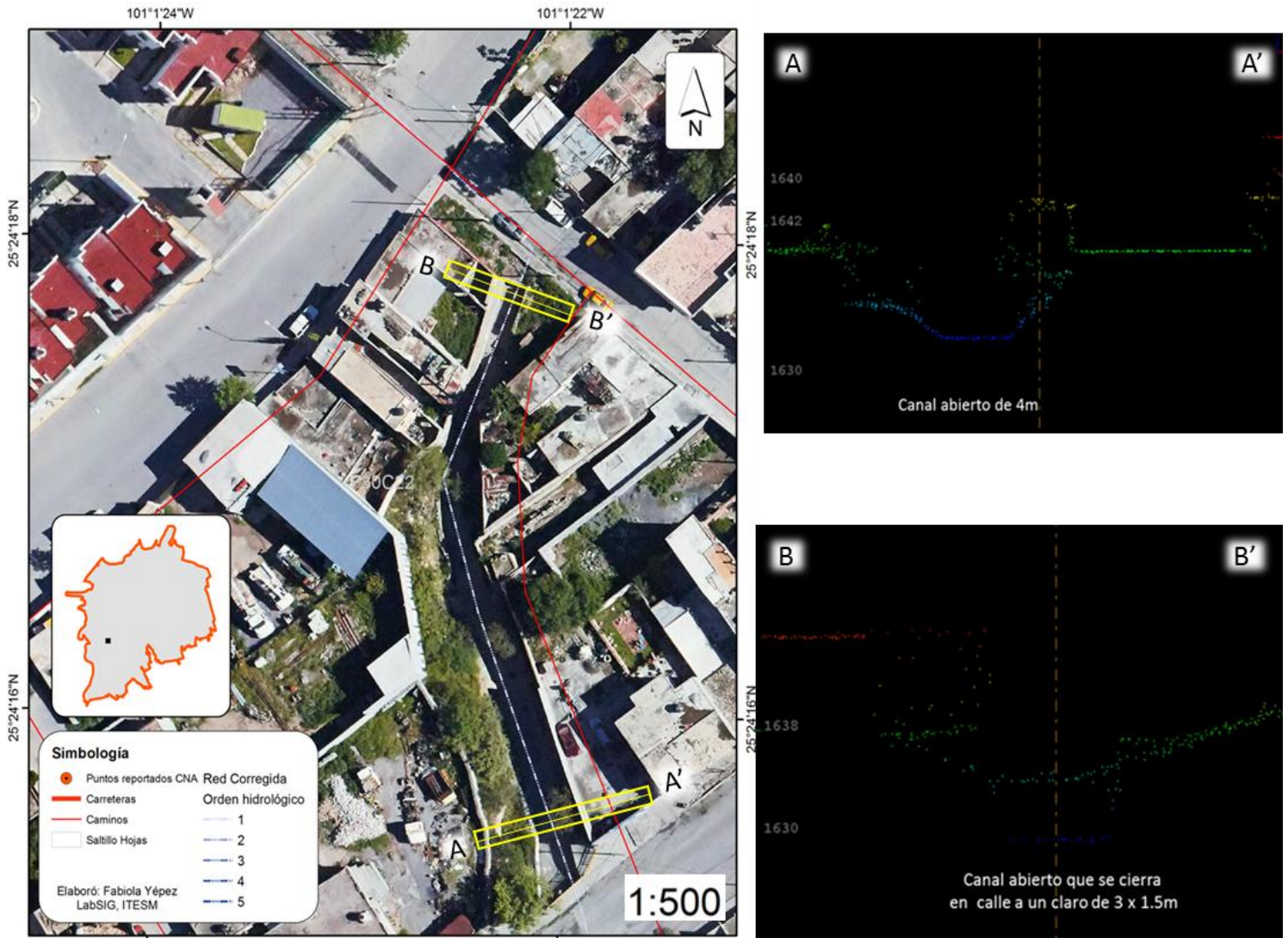


Figura 207. Calle Novena esquina con Carlos Salazar, se muestran dos perfiles, antes (A-A') de ser entubado justo donde inicia el alcantarillado del arroyo (B-B') en el cual recorre toda la calle Novena



Figura 208. Vista aérea de la calle Novena, en donde el arroyo (línea celeste) recorre su cauce de manera subterránea a través del entubamiento señalado en la Figura 207.

5.3.11.1.1.8 Colonia Venustiano Carranza.

Otro ejemplo de la invasión de cauces son los puntos reportados por la CNA sobre el cauce del Arroyo Santiaguito en la Col. Venustiano Carranza que presenta problemáticas de asentamientos irregulares y taponamientos por basura. En esta zona se han construido viviendas e incluso un jardín de niños (Punto 178 en la Figura 209 y 210). En el punto 179 la calle del Rosal invade el cauce (Figura 209, 210 y 211). En el punto 180 y 181 se localizan dos obras hidráulicas (alcantarilla y puente alcantarilla) que son insuficientes para el flujo reportado.

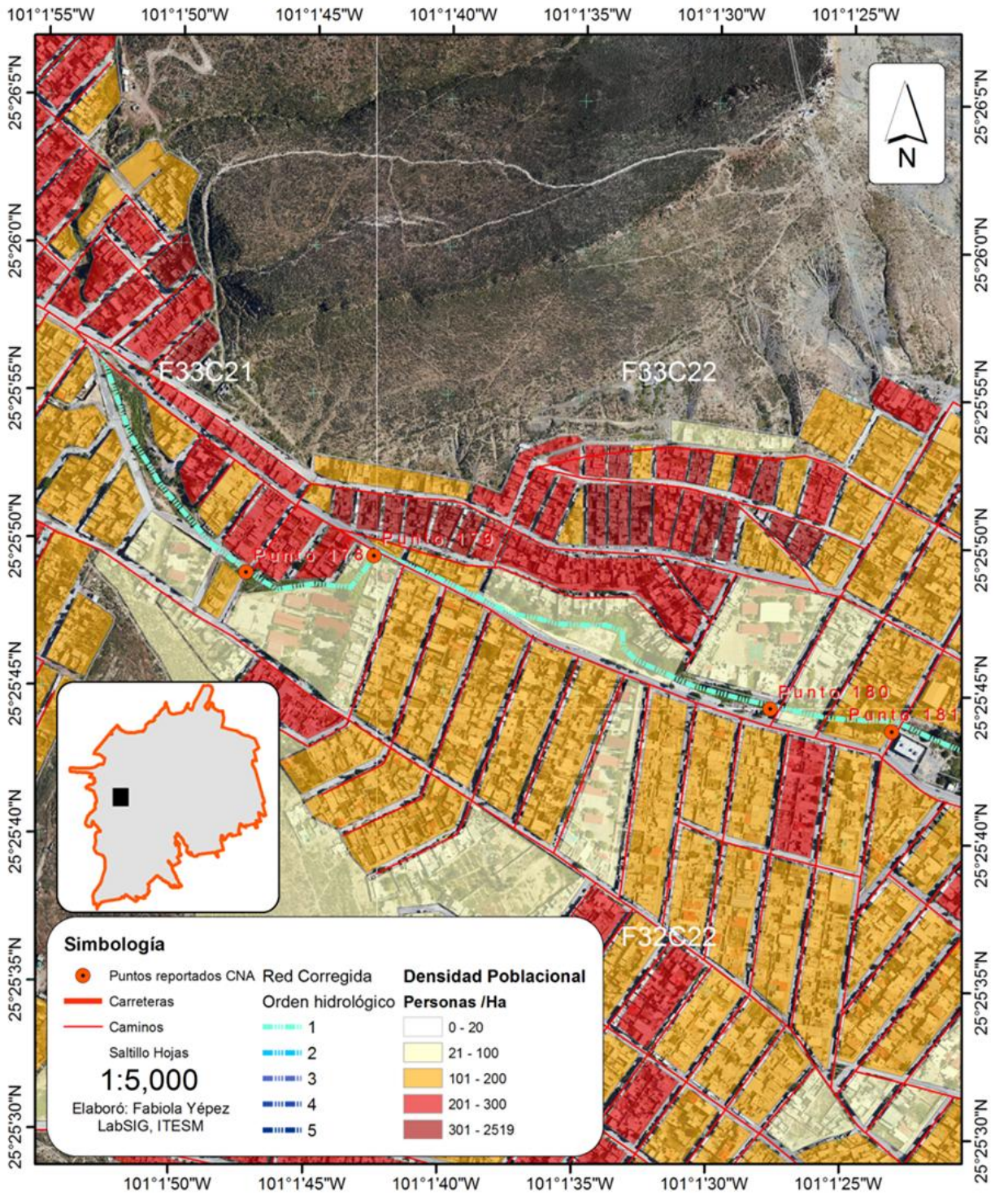


Figura 209. Colonia Venustiano Carranza. Urbanización muy cercana al arroyo, en el mapa se muestra una comparación entre las zonas cercanas al arroyo y la cantidad de personas que habitan en ellas.

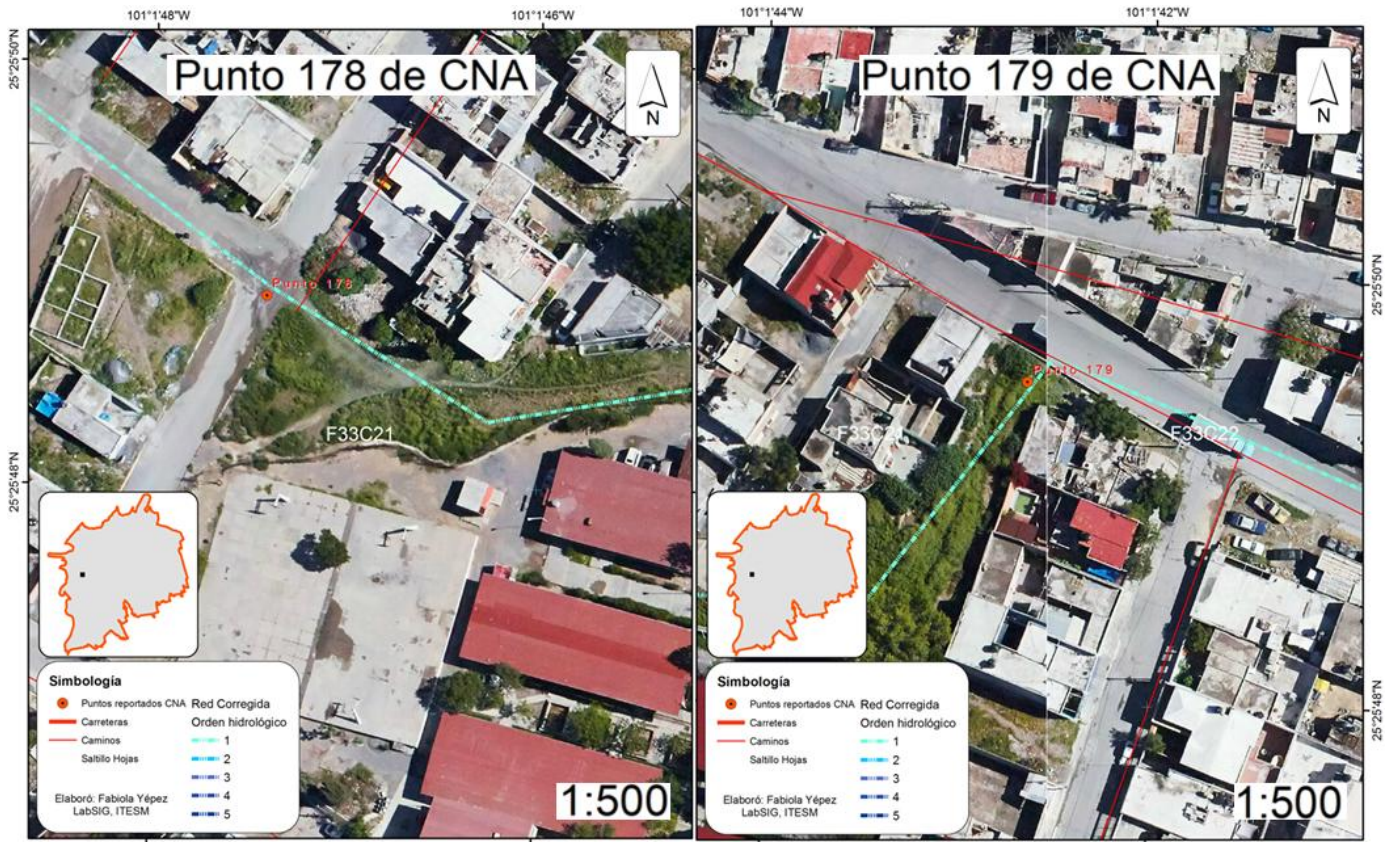


Figura 210. Acercamiento a dos puntos de conflicto correspondientes al punto 178 y 179 CNA



Figura 211. Vista de la nube de puntos de las zonas de conflicto 178 y 179 ubicadas por CNA.

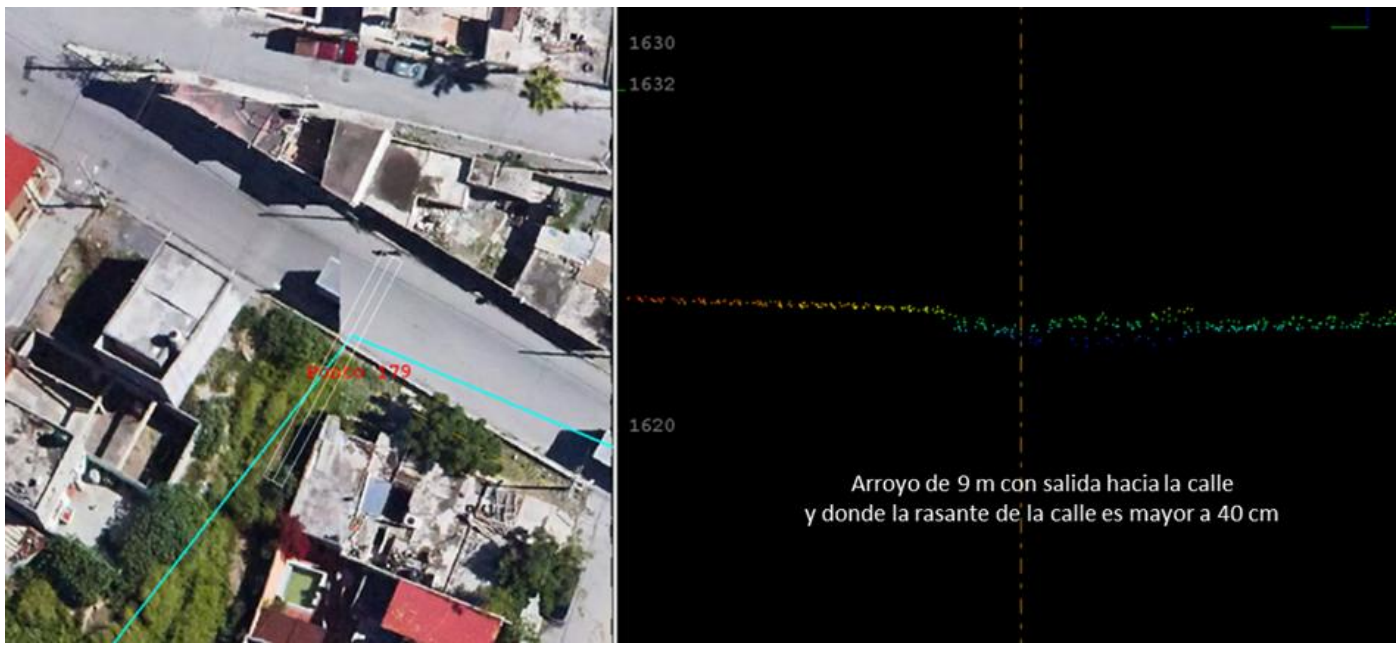


Figura 212. Vista de perfil de la problemática del punto 179 de CNA.



Figura 213. Acercamiento al punto de conflicto 181 de CNA.

5.3.11.1.1.9 Colonia Centro, Saltillo.

Este pluvial subterráneo contiene el escurrimiento de más de 10 km^2.Ubicado en el centro de Saltillo, puede causar inundación si no se mantiene limpio (Figura 214, 215 y 216). Ésta obra tiene una capacidad importante de flujo, sin embargo algunos metros aguas arriba, se observa tanto la acumulación de escombro, así como la saturación de equipamiento como puentes hechizos de madera o de metal para que la gente cruce el arroyo (Figura 217 y 218). El problema con este tipo de prácticas es la reducción de los cauces y el azolve y taponamiento cuando avenidas extraordinarias ocurren, pues todos menesteres hechizos representan material de arrastre que obstruirá el flujo.

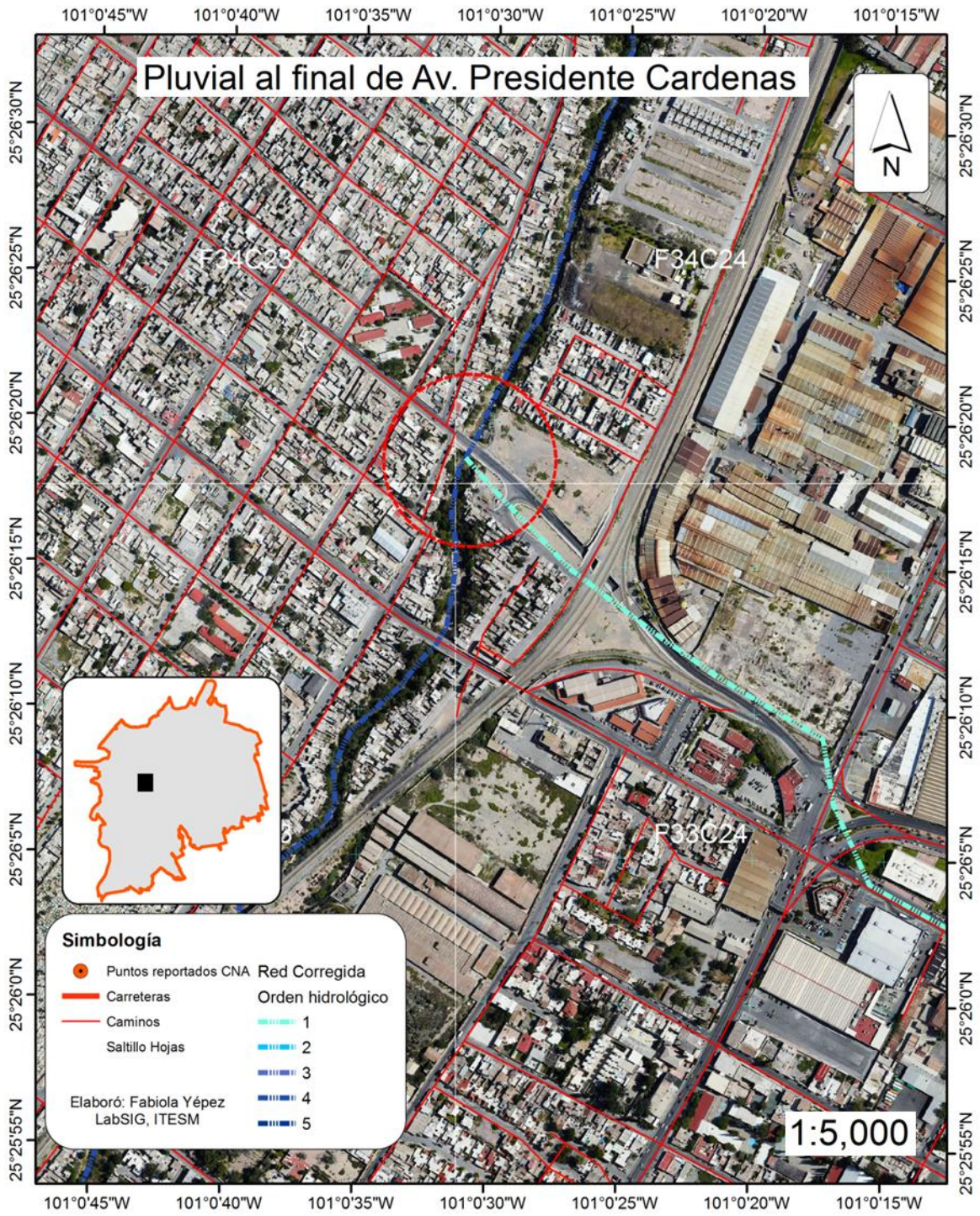


Figura 214. Punto en la Col. Centro que corresponde al final del pluvial en Av. Presidente Cárdenas.

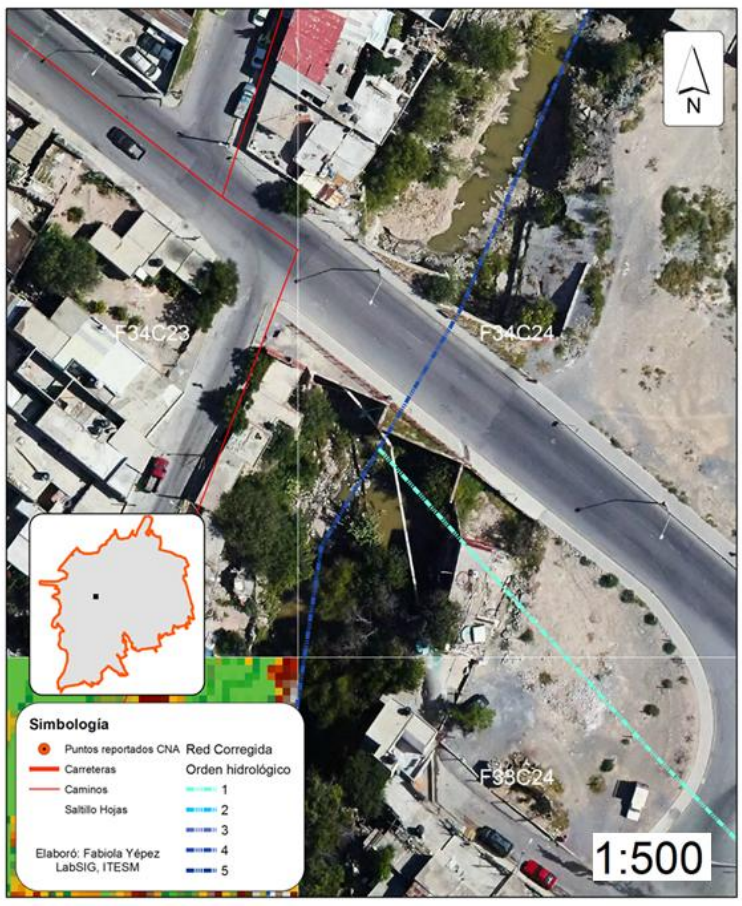


Figura 215. Acercamiento al final del pluvial de Av. Presidente Cárdenas



Figura 216. Vista de calle del final del pluvial de Av. Presidente Cárdenas. La flecha amarilla indica la el tubo perteneciente al final del pluvial.

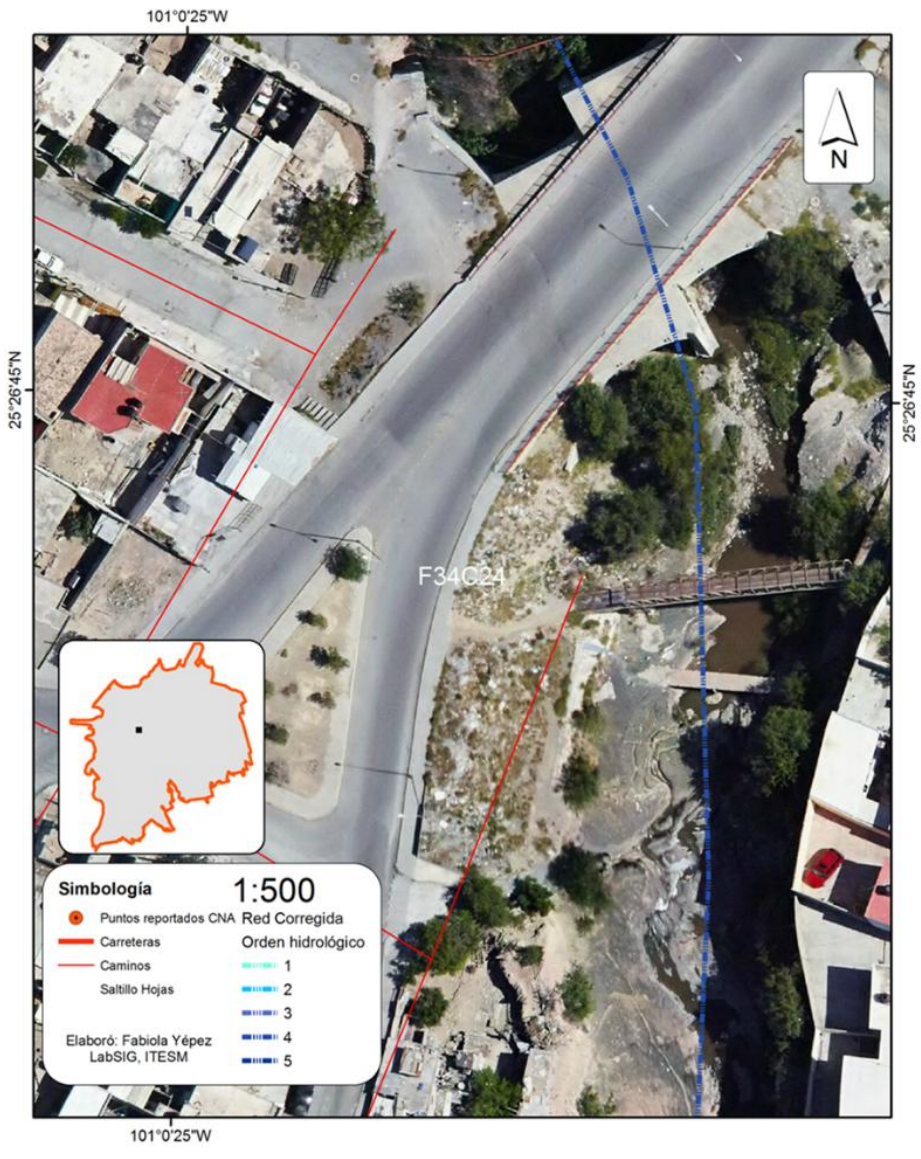


Figura 217. Cruce del arroyo canalizado con la Calle José Espinoza Fuente, se observan dos puentes peatonales perjudiciales para el afluente e innecesarios considerando su cercanía con el puente de canalización.

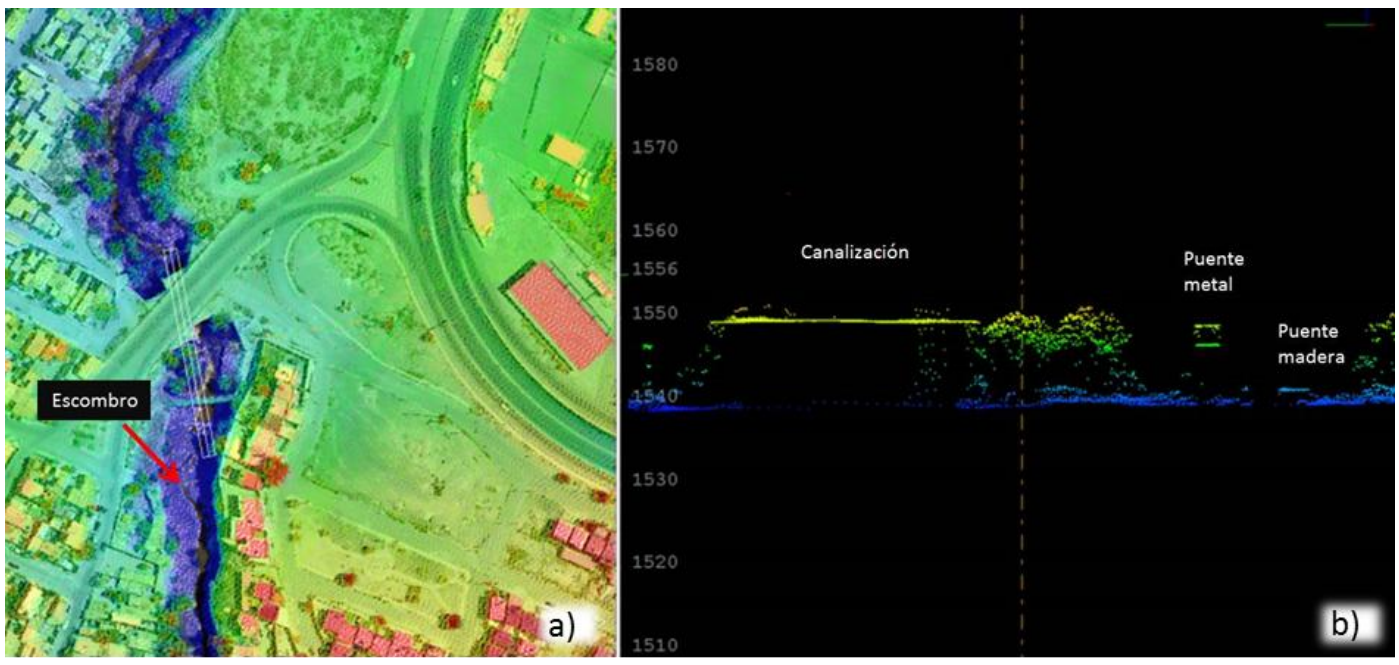


Figura 218. Nube de puntos de la zona de conflicto en la Calle José Espinoza, la figura del inciso b muestra un perfil del terreno con los diferentes niveles de puentes, canalizado, de metal y de madera.

5.3.11.1.1.10 Junto a Privada Biznaga.

Otro ejemplo de asentamientos irregulares sobre los cauces, se observa claramente en la siguiente imagen que corresponde a una ramificación el Arroyo del Pueblo junto a la Col. Privada Biznaga al noroeste de Saltillo. Aunque ésta sección corresponde a un orden hidrológico menor de 4, en la modelación de inundaciones por Pr de 5 años, se declara como zona inundable, lo cual lo vuelve una zona de riesgo para la población. En éste punto habitan varias que se han asentado con viviendas irregulares, las cuales son pequeñas chozas hechas con láminas, madera y cartón así como traspatios con animales domésticos.

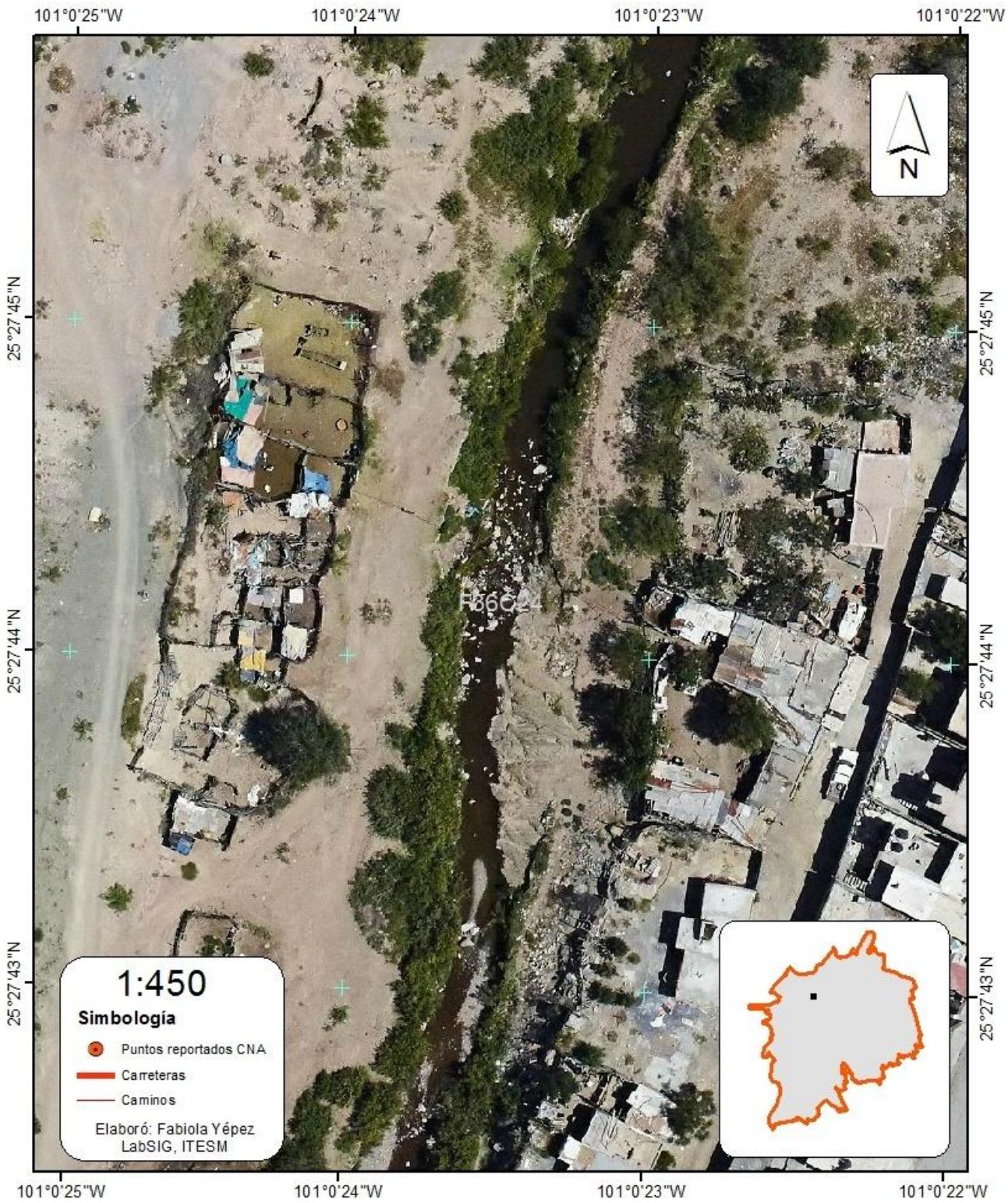


Figura 219. Asentamientos irregulares dentro de los cauces.

5.3.11.1.1.11 Boulevard Dr. Jesús Valdez Sánchez.

Éste punto, se encuentra actualmente desarrollado y se menciona en éste documento como un ejemplo de invasión del cauce, desconociendo si se realizaron los estudios correspondientes y obras necesarias (Figura 220 y 221)

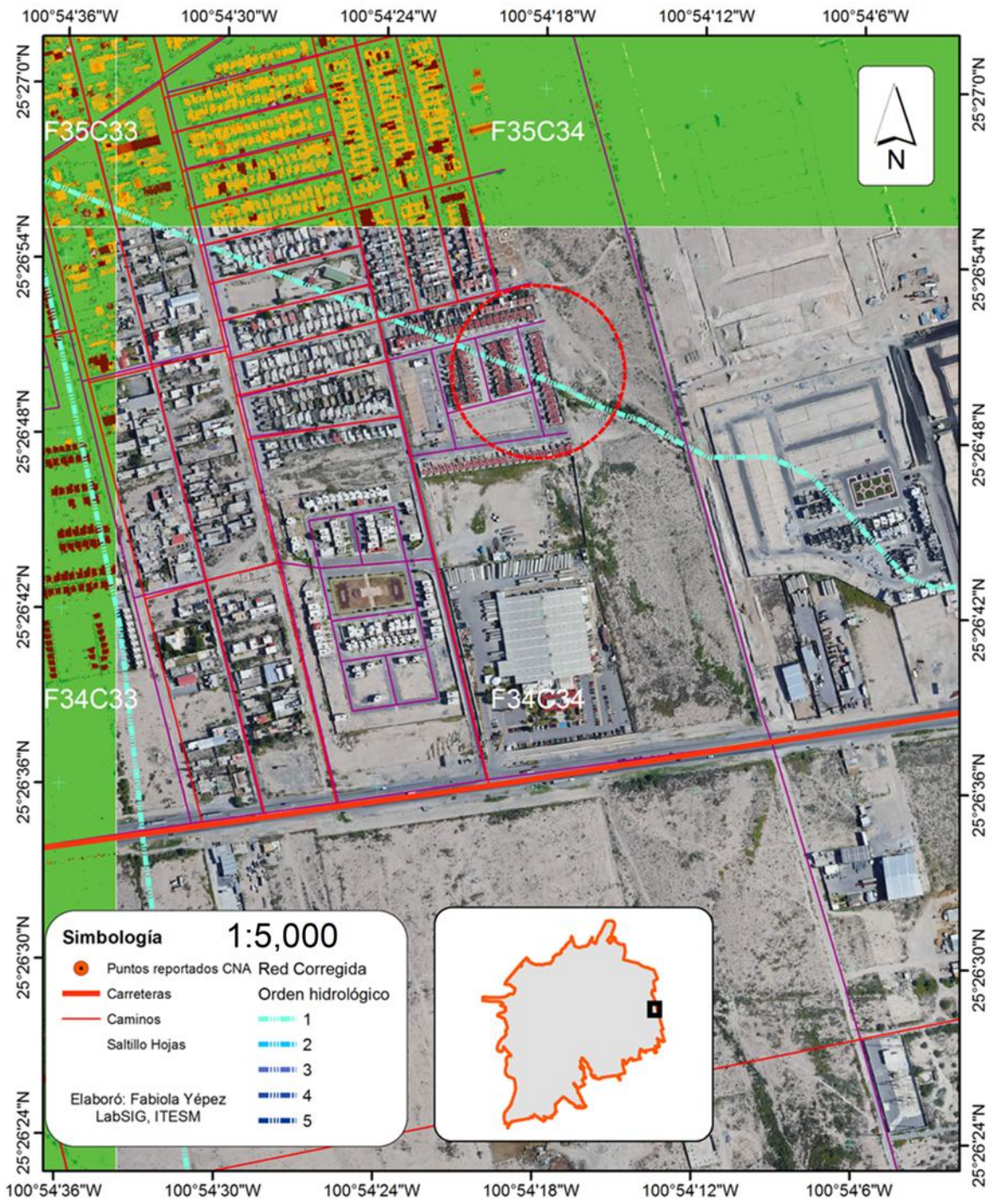


Figura 220. Fraccionamiento nuevo construido dentro del cauce, ubicado Dr. Jesús Valdez Sánchez esquina con Santa Gertrudis y Santa Cristina.

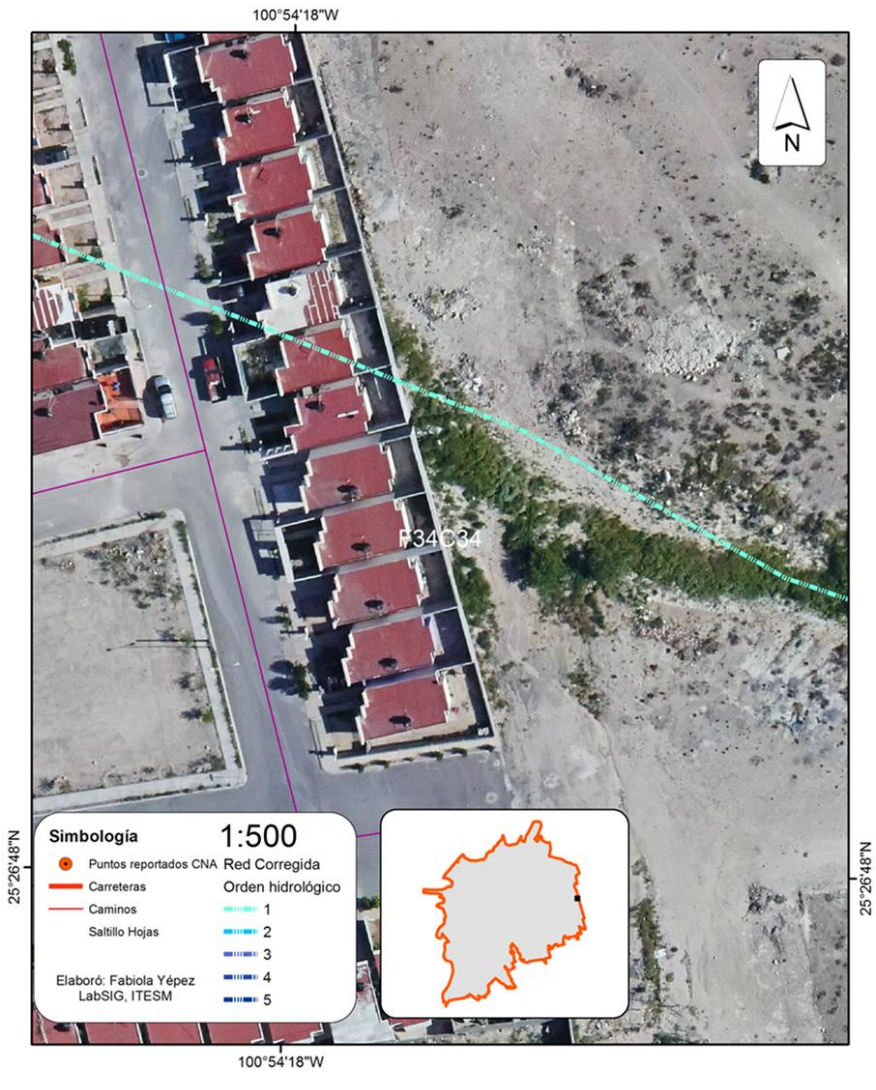


Figura 221. Acercamiento a fraccionamiento Nuevo que se encuentra construido sobre el cauce del arroyo.

5.3.11.2 Modelación

5.3.11.2.1 Integración de los datos

La estimación del peligro de inundación fluvial implica calcular el volumen de agua que escurrirá por los cauces de una cuenca a causa de una tormenta asociada a un periodo de retorno dado. Para estimar el escurrimiento es necesario conocer el tipo de suelo, la cobertura del mismo, la precipitación y la topografía de una cuenca.

5.3.11.2.1.1 Edafología

La información del tipo de suelo no se encontraba en los datos que se proporcionaron al equipo de trabajo. Por lo tanto, se decidió proceder a la digitalización de las cartas edafológicas del INEGI escala 1:50,000. Los parámetros de digitalización se muestran en Tabla 53Tabla 53. Tolerancias de la digitalización de los mapas del Atlas de Riesgos de Saltillo. esto incluyen el error aceptable (RMS) de los puntos de referencia (Tic's), el ajuste de arcos (Dangle length & Node Snap), así como las tolerancia en el número de puntos por unidad de distancia al digitalizar (Leed, Grain & Fuzzy Tolerance).

Tabla 53. Tolerancias de la digitalización de los mapas del Atlas de Riesgos de Saltillo.

RMS (Tic registration error) y Tic Match tolerance		
	High accurate 0.004 in, 0.01016 cm	Low accurate 0.008 in, 0.02032 cm
Calculo de tolerancias para una Escala determinada Tolerance (meters) = Tol (cm) * Escala/100		
	High accurate	Low Accurate
Escala	Tolerancia	Tolerancia
50,000	5.0 m	10,0 m
Dangle length (polygons = 0.05 in (0.127 cm) o unidades de mapa equivalentes Node snap y Arc snapping tolerance, 0.05 in (0.127 cm)		
Escala	Tolerancia	
50,000	60.0 m	
Weed tolerance y Grain tolerance, 0.02 in (0.0508 cm) o unidades de mapa equivalentes		
Escala	Tolerancia	
50,000		
Fuzzy tolerance, 0.0002 in o unidades de mapa equivalentes		
Fórmula para ajustar el Fuzzy tolerance a la Escala: (Escala / número de in por unidad de cobertura) * 0.0002 Para mapas en metros (Escala / 39.3700787) * 0.002		
Escala	Tolerancia	
50,000	2.5 m	

En total, se digitalizaron 11 cartas correspondientes a las siguientes claves del INEGI: G14C32, G14C33, G14C34, G14C42, G14C43, G14C44, G14C52, G14C53, G14C54, G14C63 y G14C64. Además se digitalizó una pequeña porción de las cartas G14C23 y G14C24.

Los suelos en México están clasificados por el INEGI (INEGI, 1990) basados en una clasificación desarrollada por la FAO (FAO/UNESCO, 2003). Esta clasificación está basada en la estructura y en los procesos que dieron origen al suelo. Esta aproximación es útil para la agricultura pero no ayuda mucho a definir las propiedades hidrológicas del suelo. Sin embargo en los datos disponibles sobre el suelo hay una propiedad que ayuda a conocer las propiedades hidrológicas del mismo: la textura del suelo.

El sistema de clasificación de suelo de la FAO, denominado como Soil Map of the World (SMW), consta de 5,000 unidades de mapas (mapping units) y más de 200 unidades de suelo Este sistema es el resultado de la compilación de los datos de suelo de cada país del mundo y está arreglado en 10 regiones continentales. Una de estas regiones es América del Norte (Levick et al, 2004).

Los mapas de la FAO están formados unidades de mapa (mapping units) poligonales. Cada una de estas unidades de mapa está asociada a un número único, nombre identificador de suelo y número y unidades de suelo (soil-units) contenida en la unidad de mapa. Cada polígono o unidad de mapa puede estar caracterizado por varios componentes o unidades de suelo en diferentes porcentajes como se muestra en la Figura 222. Para obtener un valor promedio, se realiza una ponderación de área de las propiedades de suelo basada en la textura de los suelos.

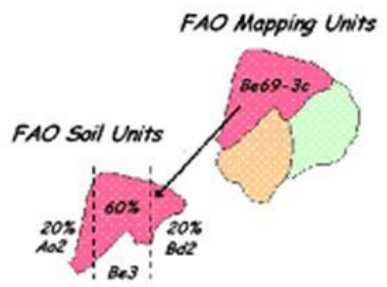


Figura 222. Unidades de mapeo de la FAO y Unidades de suelo para la ponderación del suelo.

En el mapa de suelos de INEGI por cada polígono de tipo de suelo hay una unidad de suelo principal y una textura asociada, gruesa (1), media (2), y fina (3). Reynolds (Reynolds et. Al., 1999) relacionó cada unidad de suelo de la FAO (con su textura asociada) con su equivalente de acuerdo a las fracciones arena-limo-arcilla del Triángulo de Textura de Suelo del USDA (Levick et al, 2003). La Figura 223 muestra la equivalencia de las texturas del suelo de la FAO con las texturas que maneja la clasificación de suelos del USDA.

Finalmente las once texturas de suelo del USDA se agrupan en los 4 grupos hidrológicos de suelo. Esta clasificación es la que agrupa los suelos por sus propiedades hidrológicas. La Tabla 54 muestra la relación entre la textura del suelo de acuerdo al USDA y el grupo hidrológico, esta tabla es parte de la información contenida en el TR-55 (USDA, 1986).

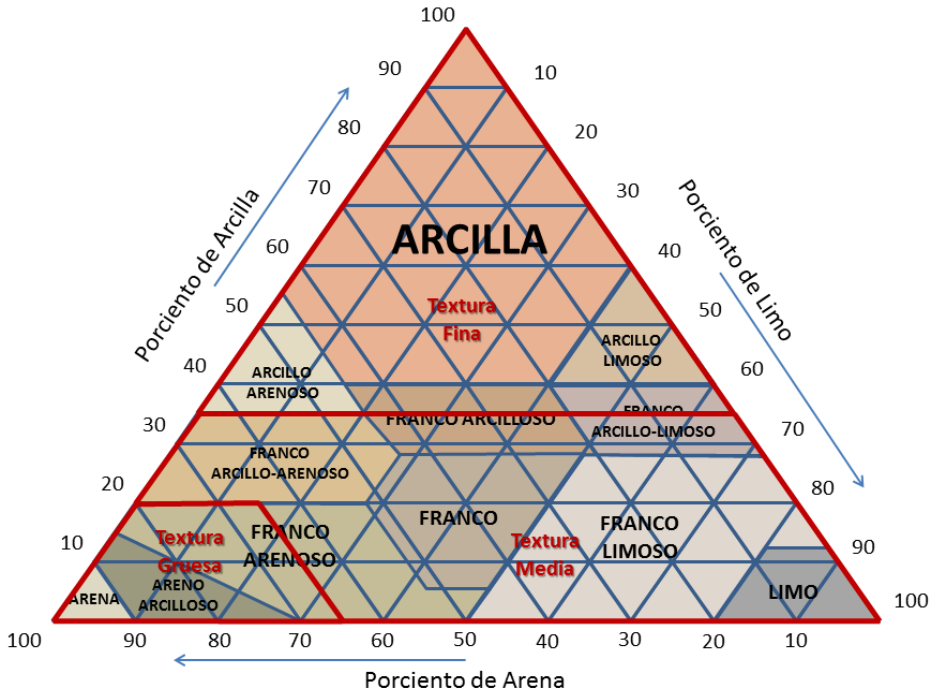


Figura 223. Triángulo de la textura del suelo del USDA, con las texturas de suelo de la FAO superpuestas.

Tabla 54. Grupos hidrológicos basados en la textura del suelo.

Hydrological soil group (HSG)	**Soil textures**
A	Sand (S), loamy sand (LS), or sandy loam (SL)
7B	Silt loam (SIL) or loam (L)
C	Sandy clay loam (SCL)
D	Clay loam (CL), silty clay loam (SICL), sandy clay (SC), silty clay (SIC), or clay (C)

Los suelos son clasificados en grupos hidrológicos (HSG's) de acuerdo a su tasa mínima de infiltración para el suelo saturado (de agua) sin cubierta superficial. La tasa de infiltración es la tasa a la que el agua entra al suelo a través de su superficie. Está controlada por las condiciones superficiales del suelo. El grupo hidrológico también indica la velocidad a la que el agua se mueve dentro del suelo. Los cuatro grupos hidrológicos quedan definidos así:

Grupo A: son suelos que tienen un potencial de escurrimiento bajo y un alta tasa de infiltración aun cuando están saturados. Consisten principalmente en suelos profundos con muy buen drenaje de arena o grava con una tasa alta de transmisión de agua. (Más de 7.6 mm/hr)

Grupo B: son suelos que tienen una tasa de infiltración moderada cuando están saturados y consisten principalmente de suelos profundos o moderadamente profundos, suelos con buen drenaje con una textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua moderada (de 3.8 a 7.6 mm/hr)

Grupo C: tienen una baja tasa de infiltración cuando están saturados y consisten principalmente en suelos con una capa superficial que retrasa la infiltración del agua y son suelos con una textura moderadamente fina a fina. Estos suelos tiene una baja tasa de transmisión de agua (de 1.3 a 3.8 mm/hr)

Grupo D: estos suelos tienen un gran potencial de generar escurrimiento superficial. Tienen una baja tasa de infiltración cuando están saturados y consisten principalmente de suelos arcillosos con un alto potencial de expandirse cuando aumentan su contenido de agua. Son suelos con una capa de arcilla cercana a la superficie o suelos someros sobre una capa de material casi impermeable. Estos suelos tienen una muy baja tasa de transmisión de agua. (Menos de 1.3 mm/hr)

En el caso del mapa de suelos de INEGI escala 1:50,000 disponible para el municipio de Saltillo se tomó únicamente la primera unidad, la primera subunidad de suelo y su textura para hacer la conversión a los tipos de suelo por sus propiedades hidrológicas de acuerdo al TR-55.

b) Cobertura del suelo

La información que proporcionó el municipio de saltillo para estimar la cobertura del suelo consistió en ortofotos digitales (obtenidas simultáneamente con los datos lidar) e imágenes del satélite SPOT. La intención original era utilizar las ortofotos ya que cuentan con mayor resolución espacial (0.25 m) que las imágenes del satélite SPOT (10 m), pero se encontraron los problemas que se describen a continuación. Se decidió entonces utilizar imágenes SPOT.

Debido a que buena parte del procesamiento de datos se llevó a cabo en formato digital, fue necesario realizar un análisis de calidad de la información recibida y que fue identificada como de utilidad para el análisis. De tal manera, se realizó una revisión de la calidad radiométrica de las ortofotos del año 2013.

Mosaico de Ortofotos., el mosaico de ortofotos consiste de un conjunto de fotos individuales que son ortocorregidas e integradas a un mosaico continuo de datos. Como cualquier fotografía aérea la radiometría (valores digitales de lo pixeles), varia de una toma a la siguiente. Esto hace que los valores digitales registrados para un mismo tipo de cobertura varié significativamente.

Otra gran limitación de las ortofots 2013, es su dimensión espectral. Las ortofotos fueron tomadas con un sistema con cubrimiento espectral en la porción visible del espectro electro magnético, esto elimina la porción infrarroja del espectro, misma que es muy importnate en los proceso de análisis digital de imágenes.

Este tipo de errores en las ortofotos no afectan seriamente la utilidad de las mismas en el análisis visual de los datos; pero afecta severamente el procesamiento digital de los mismos. Lamentablemente se observó que había importantes diferencias en la coloración de rasgos iguales en dos fotos adyacentes. Este tipo de problemas impidió el uso de las ortofotos 2013 en la clasificación de la cobertura del suelo. Sin embargo fueron de gran utilidad para la interpretación visual de elementos del paisaje.

5.3.11.2.1.2 Análisis de datos de percepción remota para estimar cobertura del suelo.

Los datos disponibles para el estudio se muestran en la TABLA. Consisten en tres imágenes multiespectrales del satélite SPOT. Las fases del análisis de los datos multiespectrales se muestran en la Figura 224.



Figura 224: Fases del análisis de las imágenes SPOT.

Se utilizaron un total de 7 imágenes multiespectrales del satélite SPOT-5 con una resolución espacial de 10 metros de los años 2013 y 2014, para obtener la clasificación de la cobertura de suelo del municipio de Saltillo, las imágenes a utilizar fueron seleccionadas por su calidad

Tabla 55. Imágenes SPOT-5 utilizadas en el procesamiento digital para la generaciónd e la capa de cobertura del suelo.

ID	K-J	Fecha	Nivel de procesamiento Geométrico	Nivel de procesamiento Radiométrioco	# de bandas espectrales
558029914021416481 82J	580-299	2014-02-14	ORTHO	BASIC	4
558030014021416482 62J	580-300	2014-02-14	ORTHO	BASIC	4
558129913062517011 12J	581-299	2013-06-25	ORTHO	BASIC	4
558130013062517012 02J	581-300	2013-06-25	ORTHO	BASIC	4
55813011306201657502	581-301	2013-06-20	ORTHO	BASIC	4
558230014020916445 02J	582-300	2014-02-09	ORTHO	BASIC	4
558230114020916445 82J	582-301	2014-02-09	ORTHO	BASIC	4

Las imágenes fueron adquiridas por el municipio de Saltillo a través de la Estación de recepción México de la constelación Spot (ERMEXS) de la Secretaría de Marina (SEMAR), que en el año 2007 renovó el Contrato de compraventa de la licencia de telemetría de datos SPOT 2007, mantenimiento y extensión de garantía de la antena parabólica de la ERMEXS así como la extensión de garantía de los servicios de mantenimiento para la terminal SPOT 5, extendiéndose la multi-licencia a los Estados, municipios e Instituciones Públicas de nivel superior dedicadas a la investigación. Derivado del nuevo convenio firmado, la ERMEXS cuenta a partir de este año con un servidor de producción y un sistema de procesamiento ANDORRE que sirve para generar productos fusionados y potencialmente ortorectificados, esta producción automática de ortoimaenes es posible gracias a la precisión de localización de las imágenes adquiridas por el instrumento HRS a bordo de SPOT 5.

Una vez adquiridas las imágenes, fueron reproyectadas a la Proyección UTM, datum WGS84. Para agilizar la clasificación, se generaron 3 mosaicos con las imágenes obtenidas en las mismas fechas y se utilizó una imagen de la línea 581 con diferente fecha. En total se clasificaron 3 mosaicos y una imagen separada (Figura 225). Se utilizó un algoritmo de clasificación no supervisada (ISODATA) para generar las clasificaciones.

Una vez obtenidas, las clasificaciones fueron filtradas. Las zonas clasificadas como sombras y nubes y algunos pixeles mal clasificados fueron asignadas a las clases correctas utilizando funciones de vecindad en ventanas de 3x3 y 5x5. Posteriormente generó un mosaico de las clasificaciones para generar la cobertura final (Figura 226).

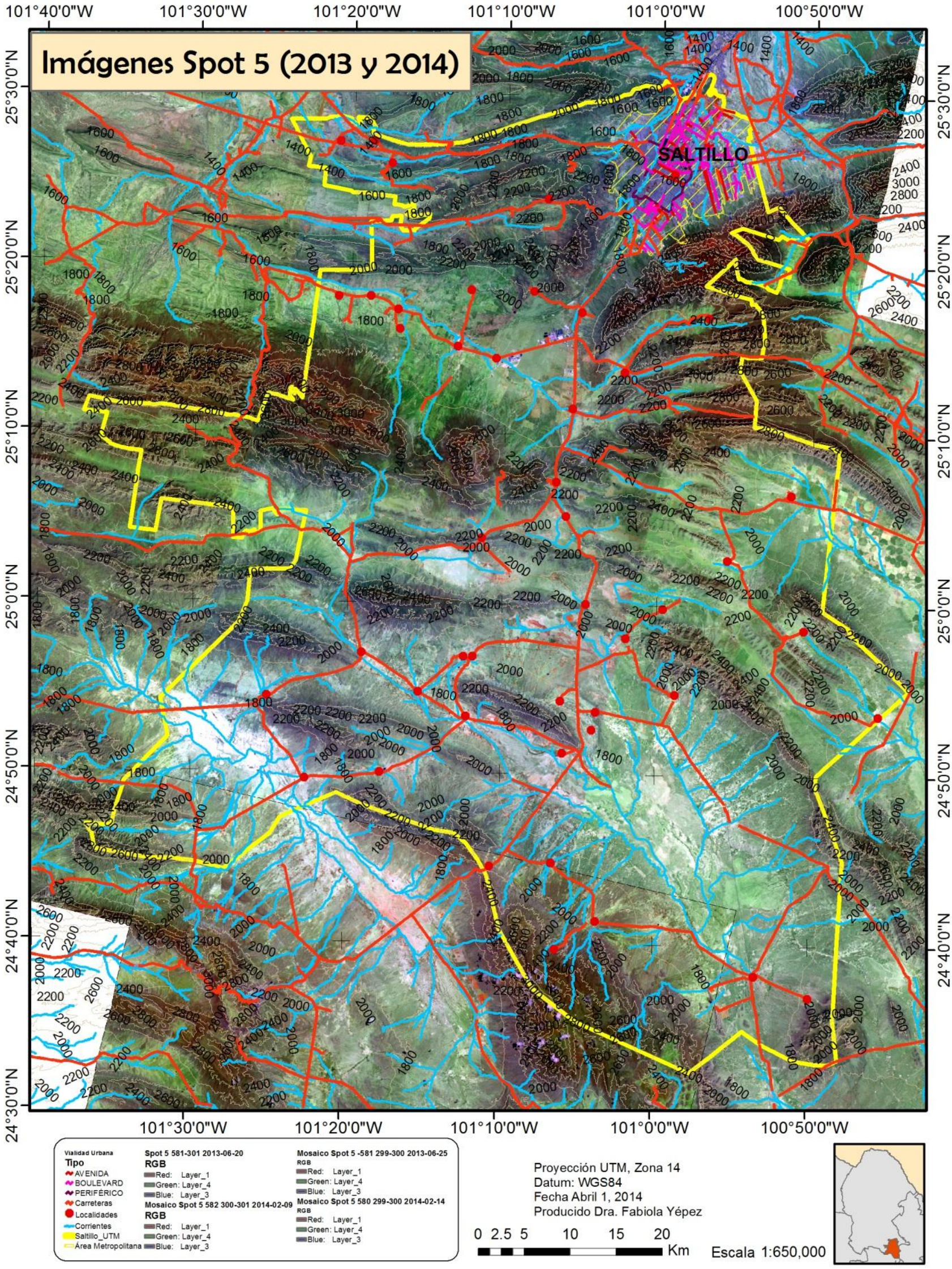


Figura 225. Mosaico de imágenes SPOT-5 del área del municipio de Saltillo.

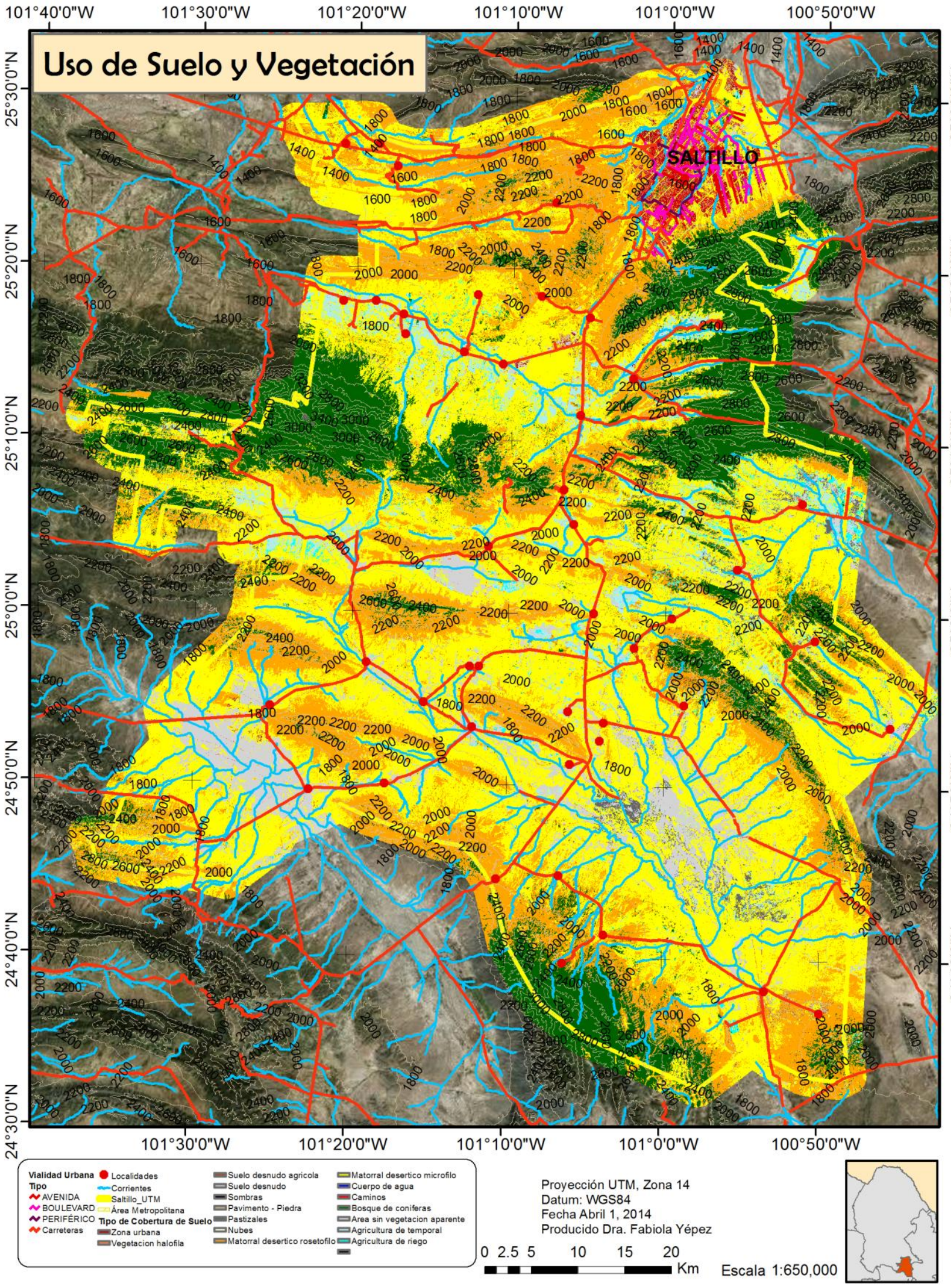


Figura 226. Cobertura del suelo 2013-2014 para el municipio de Saltillo.

5.3.11.2.1.3 Descripción de los tipos de vegetación

Según la clasificación de imágenes Spot, la vegetación del municipio está integrada principalmente por matorrales desérticos (matorral desértico microfilo y rosetofilo), seguido por los bosques de coníferas, estos bosques están compuestos por bosques de pino, bosques de coníferas que están representados en el área por Bosque de pino, Bosque de encino, Bosque de oyamel y en mucho menor proporción el Bosque de táscate (Figura 227),

El resultado de la clasificación de imágenes de satélite Spot 5 se utilizó como insumo para el cálculo de número de curva, necesario para la modelación hidrológica del área.

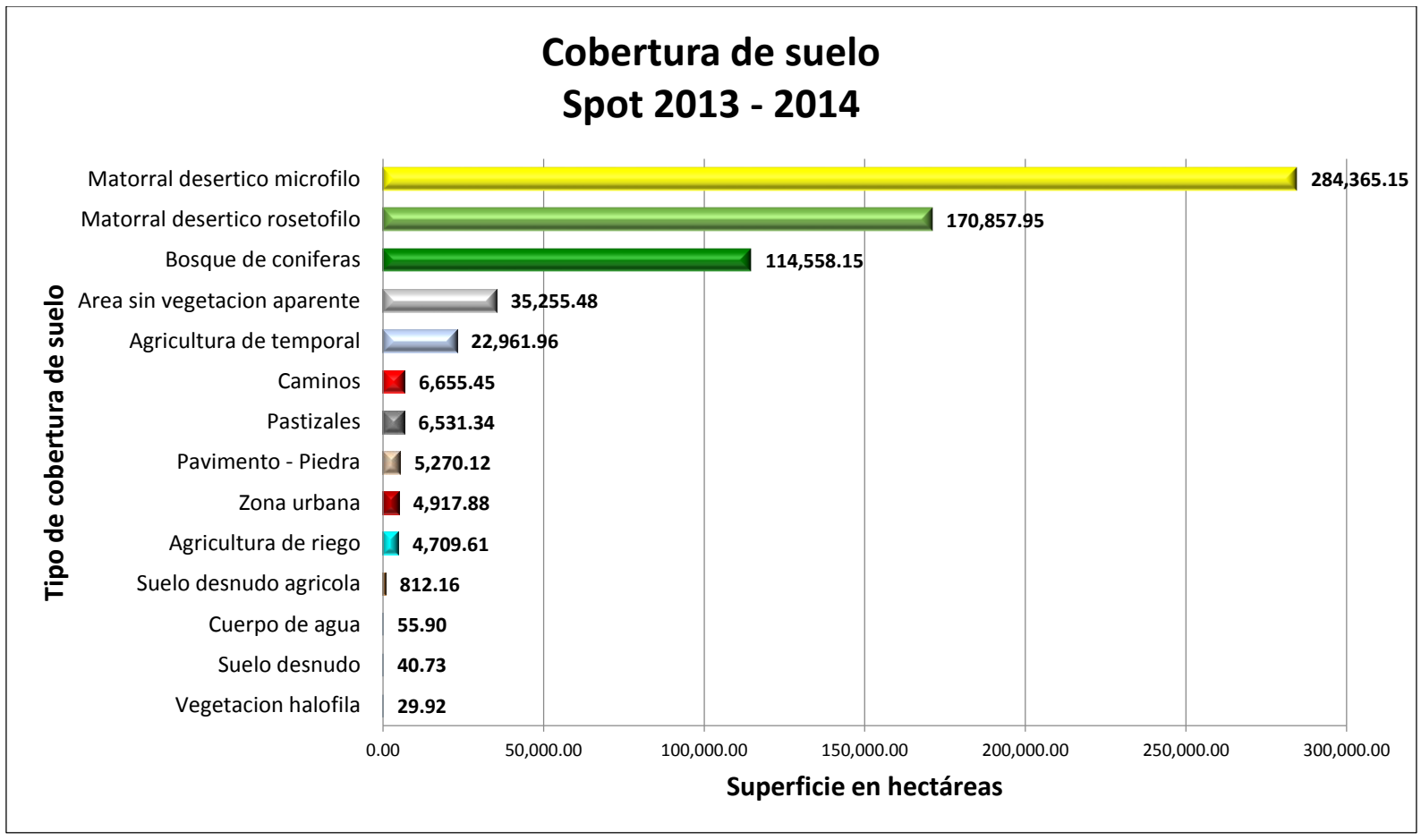


Figura 227. Área estimada de las distintas coberturas del suelo para el municipio de Saltillo - 2013-2014.

5.3.11.2.1.4 Calculo de Número de Curva

Los suelos en México están clasificados por el INEGI (INEGI, 1990) basados en una clasificación desarrollada por la FAO (FAO/UNESCO, 2003). Esta clasificación está basada en la estructura y en los procesos que dieron origen al suelo. Esta aproximación es útil para la agricultura pero no ayuda mucho a definir las propiedades hidrológicas del suelo. Sin embargo en los datos disponibles sobre el suelo hay una propiedad que ayuda a conocer las propiedades hidrológicas del mismo: la textura del suelo.

En el mapa de suelos de INEGI por cada polígono de tipo de suelo hay una unidad de suelo principal y una textura asociada, gruesa (1), media (2), y fina (3). Reynolds (Reynolds et. Al., 1999) relacionó cada unidad de suelo de la FAO (con su textura asociada) con su equivalente de acuerdo a las fracciones arena-limo-arcilla del Triángulo de Textura de Suelo del USDA (Levick et al, 2003). La Figura 223 muestra la equivalencia de las texturas del suelo de la FAO con las texturas que maneja la clasificación de suelos del USDA.

La tabla que contiene las equivalencias entre las texturas del suelo según la FAO y el USDA es un archivo contenido en el software AGWA (Miller, et al., 2002). El archivo FAO (summ.dbf) contiene las equivalencias entre cada unidad de suelo de la FAO y las once (11) texturas según la clasificación del USDA.

Finalmente las once texturas de suelo del USDA se agrupan en los 4 grupos hidrológicos de suelo. Esta clasificación es la que agrupa los suelos por sus propiedades hidrológicas. La Tabla 56 muestra la relación entre la textura del suelo de acuerdo al USDA y el grupo hidrológico de suelo, resultante (USDA, 1986). En la Figura 228 se muestran las clases y tipo hidrológico de suelo para el Municipio de Saltillo, Coahuila.

Tabla 56 . Típos hidrológicos de suelo para el municipio de Saltillo.

Tipo de Suelo	Tipo Hidrológico de Suelo
Castanozem calcarico	C-D
Castanozem haplico	C-D
Castanozem luvico	C-D
Chernozen calcico	B
Feozem calcarico	C
Feozem haplico	C
Feozem luvico	C
Fluvisol calcarico	B
Fluvisol gleyico	B
Litosol	D
Litosol eutrico	D
Luvisol calcico	C-D
Luvisol ortico	C-D
Luvisol vertico	C-D
Regosol calcarico	B
Regosol eutrico	B
Rendzina	C
Solonchak ortico	D
Vertisol cromico	C-D
Xerosol calcico	B-C
Xerosol gypsico	B-C
Xerosol haplico	B-C
Xerosol luvico	D
Yermosol calcico	C
Yermosol haplico	C



Figura 228. Mapa de los tipos hidrológicos de suelo

El procedimiento empelado en la generación del mapa de “número de curva, se muestra en la Figura 229 y el mapa resultante en la Figura 230.

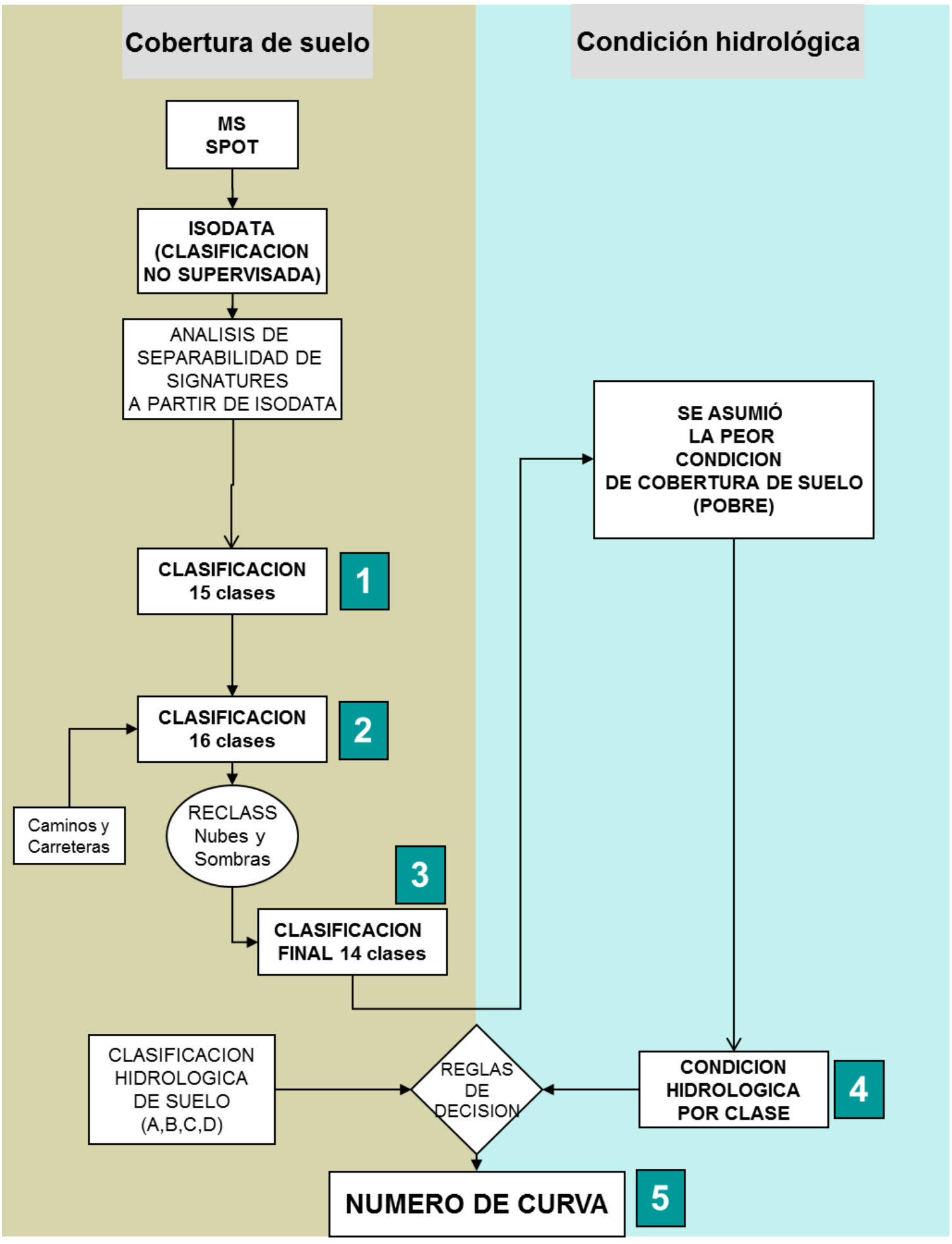


Figura 229. Diagrama de flijo seguido para la obtención del número de curva.

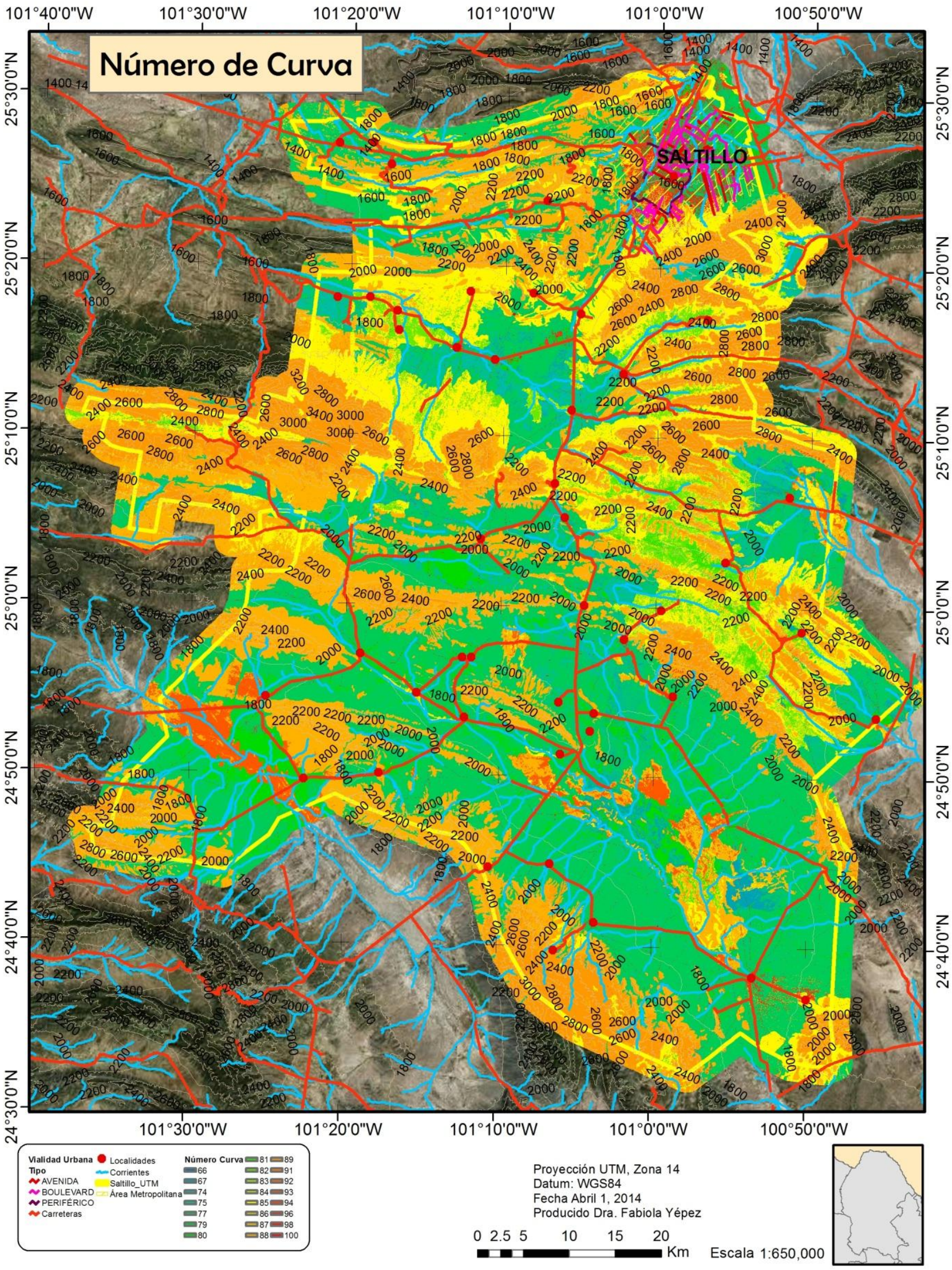


Figura 230. Mapa del número de curva del municipio de Saltillo, 2013-2014

5.3.11.2.1.5 MDE (topografía)

Procesamiento del Modelo Digital de Elevación

En este proyecto la información topográfica se obtuvo a partir de un modelo digital de elevación (MDE). Este MDE fue creado a partir de dos fuentes de datos: vuelo lidar del año 2013 (contratado por el gobierno del Estado de Coahuila) y el Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM3.0):

Ambos conjuntos de datos tiene las siguientes características:

a) Está proyectado en la proyección UTM con parámetros para la Zona 14 del Hemisferio Norte sobre un elipsoide terrestre WGS 1984.

b) Las unidades del MDE son metros, tanto horizontales como verticales.

c) El MDE contiene un valor de elevación por cada píxel de 15 metros para los datos del CEM 3.0 y de 1.0 m para los datos de lidar -2013.

Este modelo digital de elevación del área de estudio es la base para identificar la red de corrientes superficiales. El proceso de describe a continuación.

La metodología para el análisis (basada en el modelo ArcHydro, (Maidment, D.R. 2002) de los datos del MDE para la obtención de los parámetros básicos de la red hidrológica se muestra en la Figura 148.

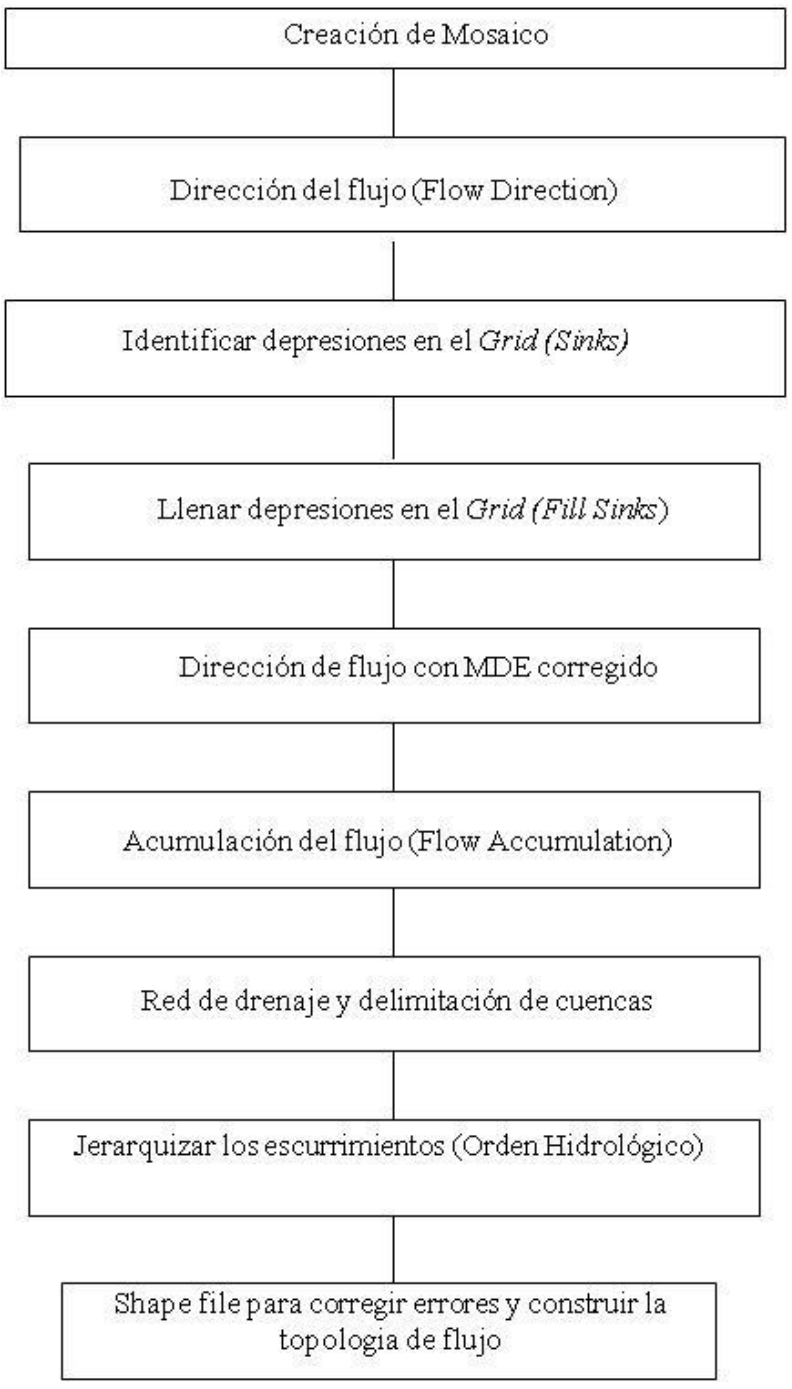


Figura 231. Metodología del análisis hidrológico a partir de MDE.

Las distintas fases del análisis hidrológico se muestran en las siguientes figuras. Las cuales muestran una pequeña porción de los datos, localizada al sur de la zona metropolitana de Saltillo.

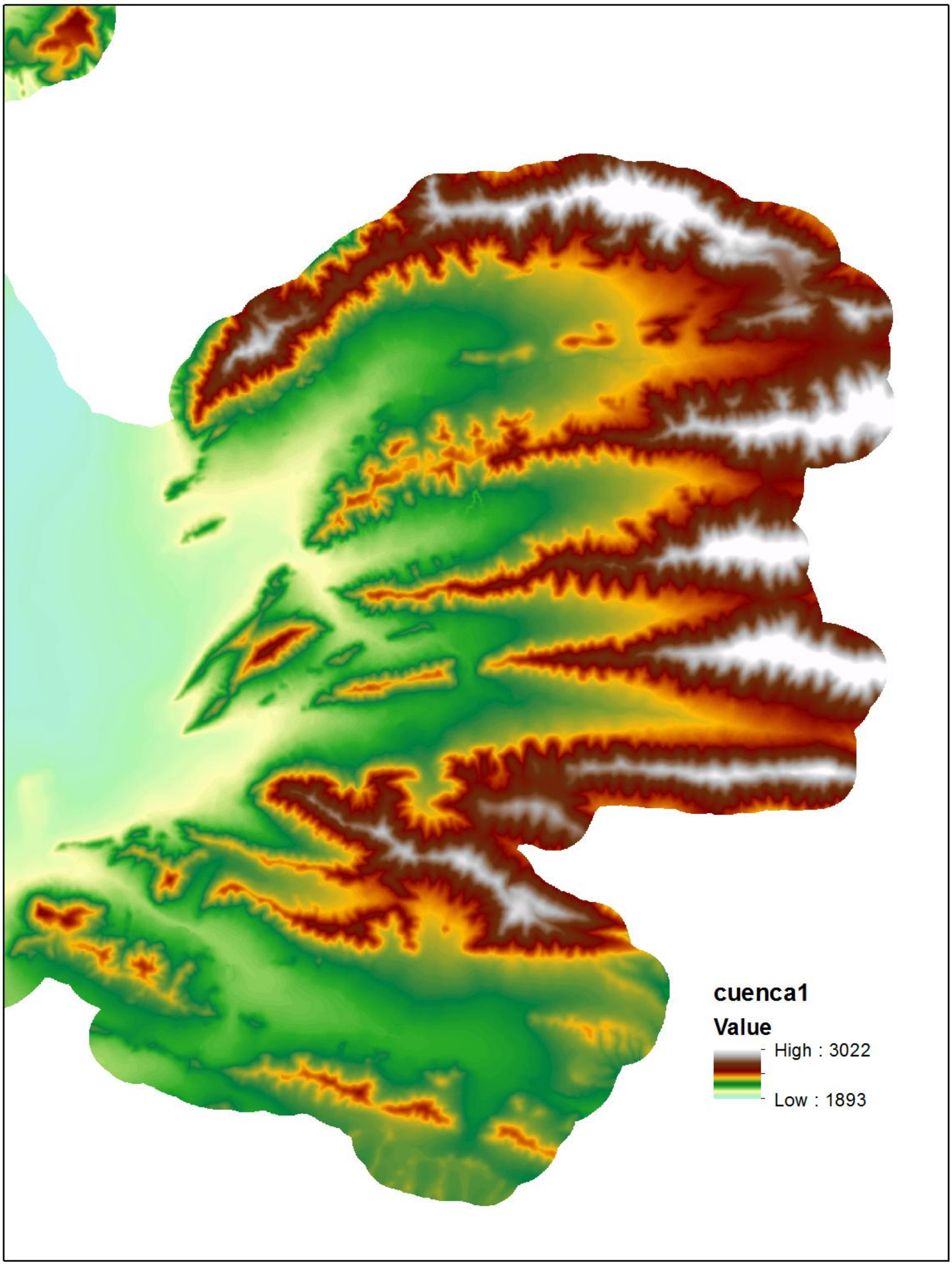


Figura 232. Modelo Digital de Elevación, Original.

El siguiente paso consiste en la identificación de hondonadas o depresiones (sinks) en el MDE, estas son celdas individuales con una elevación menor a las celdas que la rodean, las cuales afectan el resultado final del análisis y por tanto deben ser corregidas (Figura 233)

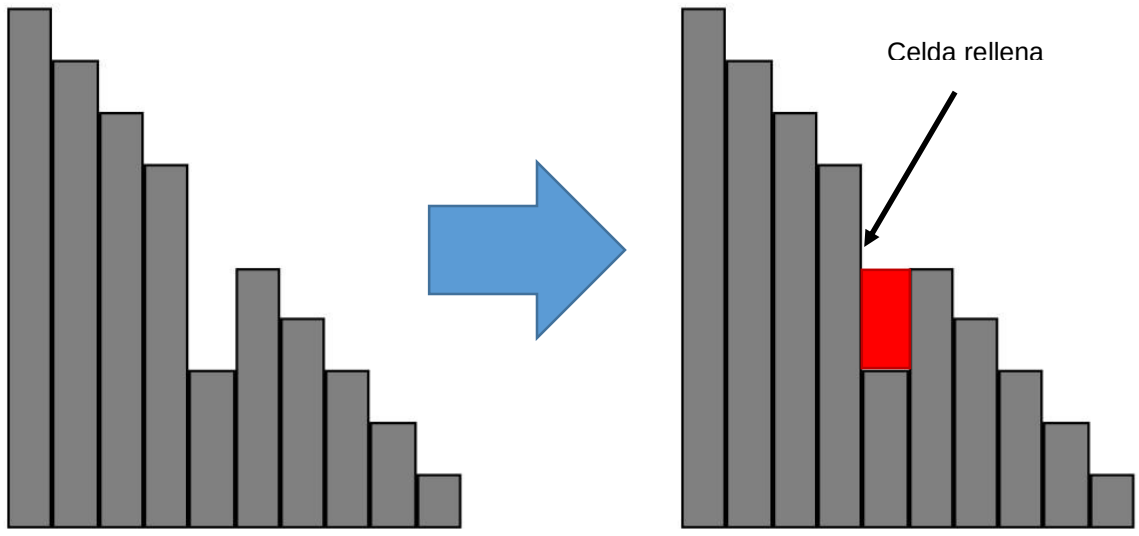


Figura 233. Proceso de relleno de hondonada.

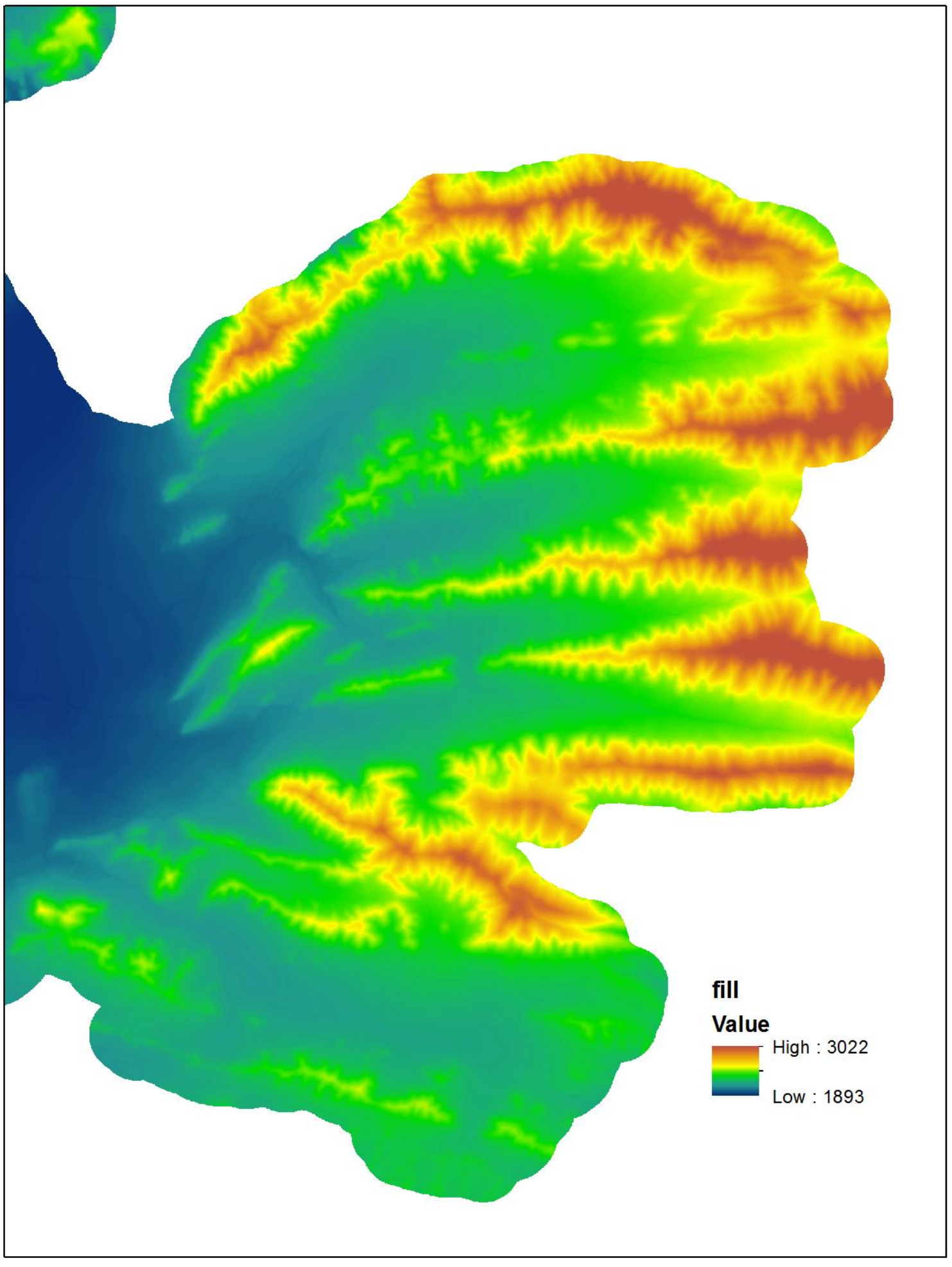


Figura 234. MDE Corregido.

Con el MDE corregido, la primera fase del análisis consiste en la determinación de la dirección de flujo, el algoritmo asigna 8 valores dependiendo de la dirección hacia donde fluye cada una de las celdas en el MDE, tal y como lo muestra la Figura 235 para después correr el algoritmo de "Acumulación de Flujo". Este consiste en contar el número de celdas que fluye a una celda individual. La Figura 236 muestra la acumulación de flujo; como se puede observar, conforme más celdas fluyen a una celda individual, el patrón de los escurrimientos en la zona se hace más aparente.

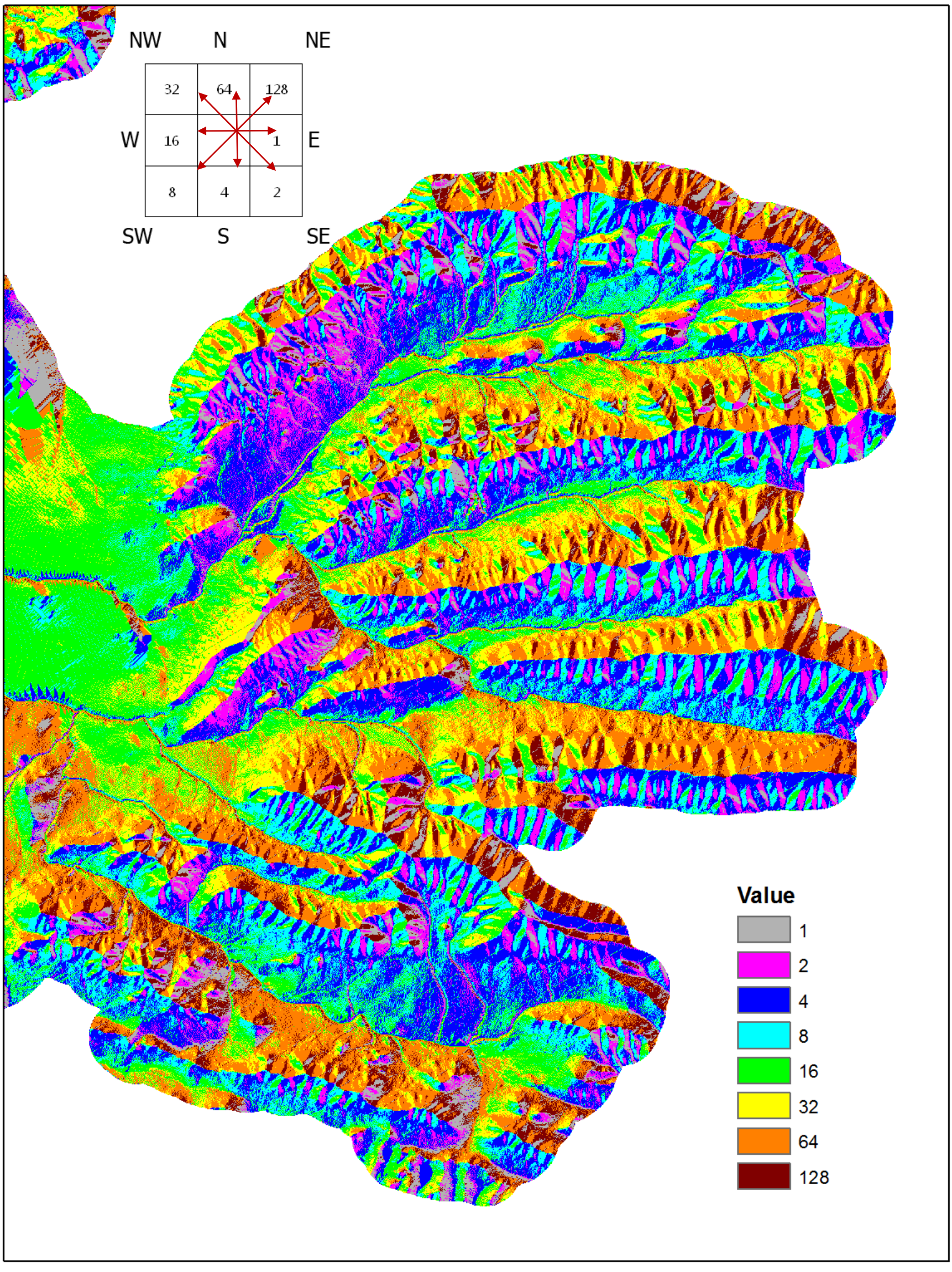


Figura 235. Mapa de la dirección de flujo.

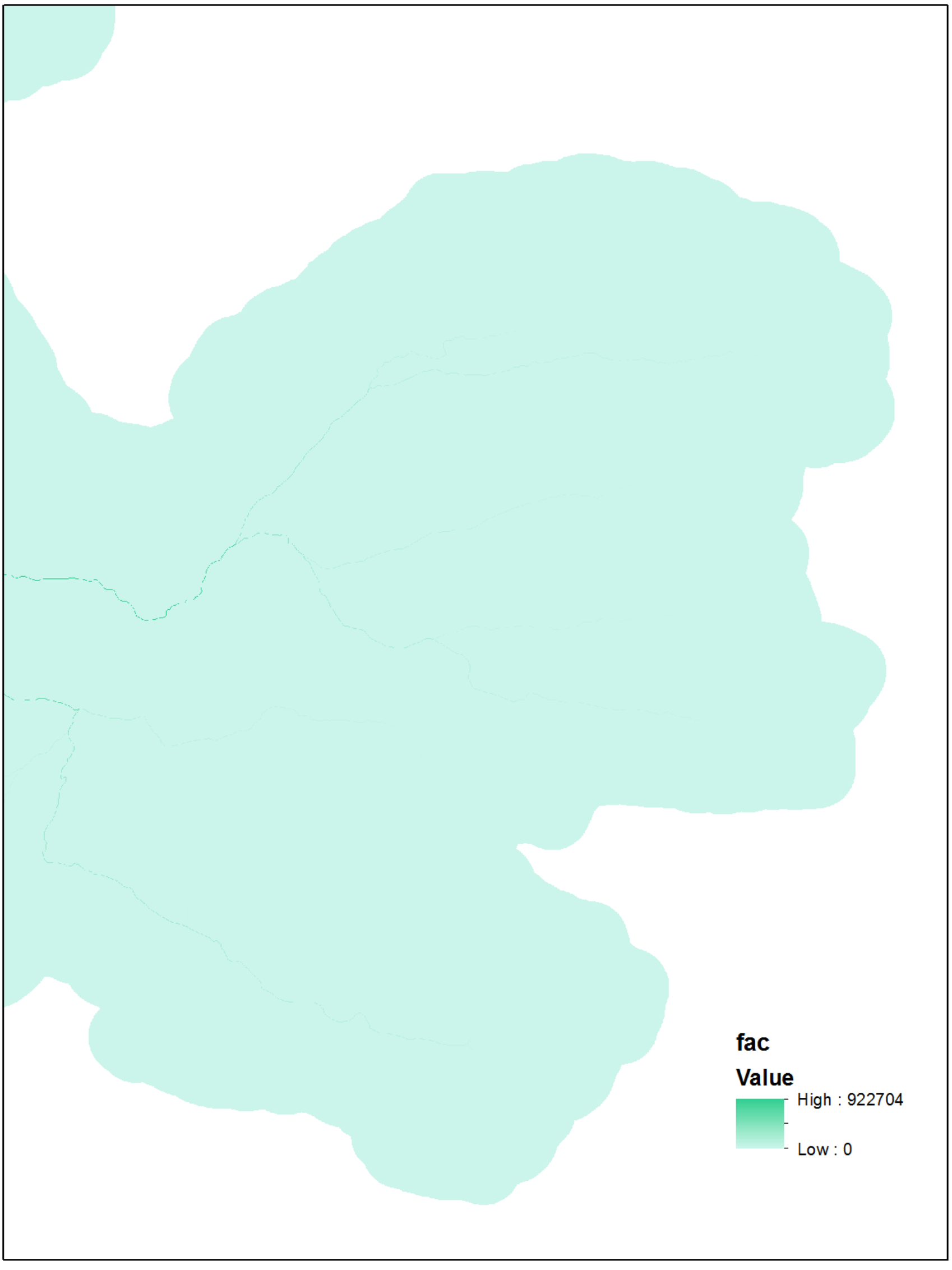


Figura 236. Resultado del proceso de “Acumulación de flujo".

Con el valor de acumulación de flujo calculado, se procede a generar la capa de red hidrológica, la cual toma un umbral mínimo de celdas para representar un escurrimiento. El resultado esperado es algo similar al escurrimiento que se muestra en la Figura 237, pero para toda la zona de estudio. Este paso del análisis es una fase crítica en la integración de la información, ya que determina la red hidrológica sobre la cual se construyen las estimaciones del potencial de inundación.

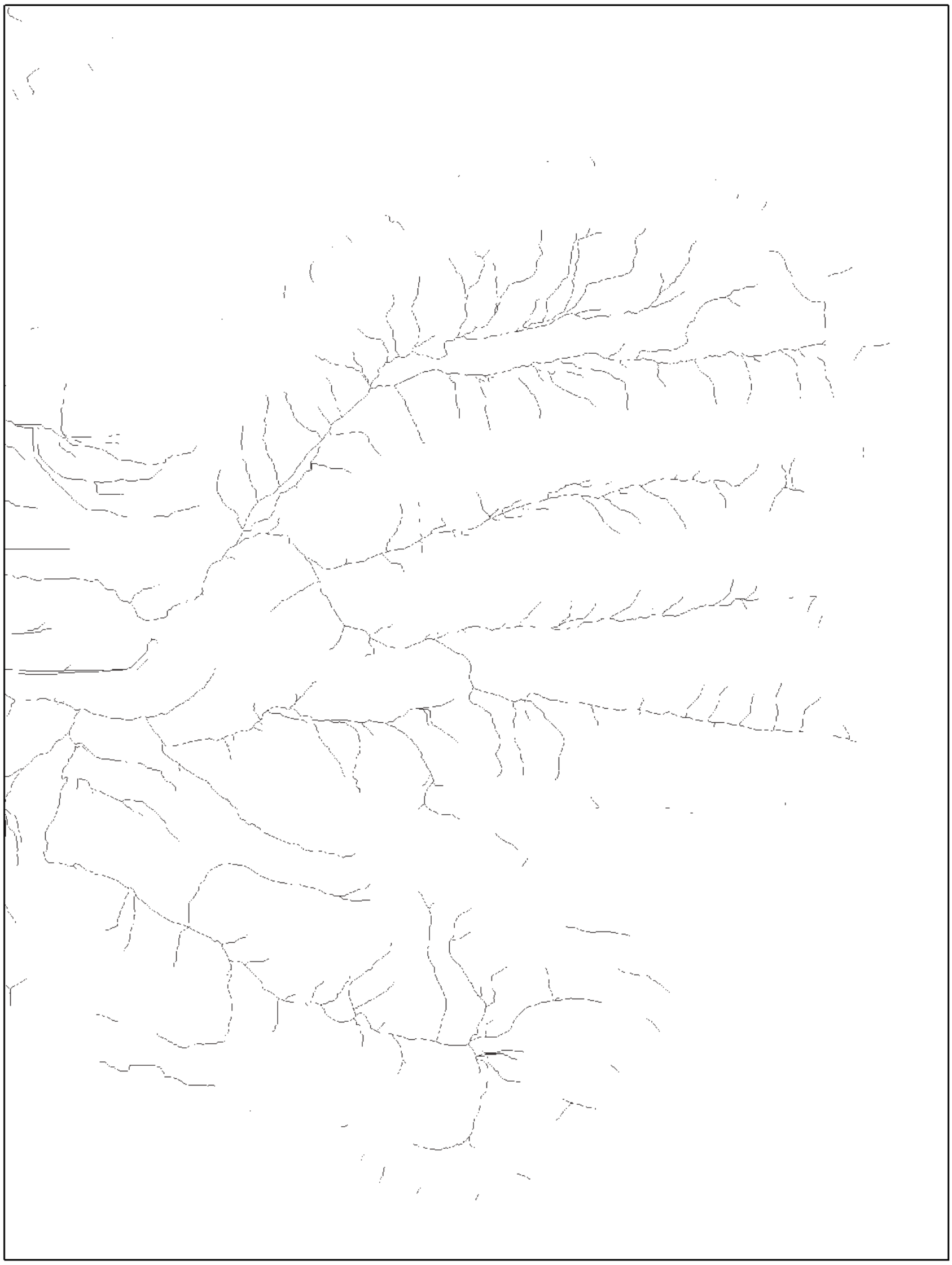


Figura 237. Red de drenaje resultante con umbra de área de acumulación de 1 Km^2.

5.3.11.2.2 Área mínima de drenaje

En la guía del CENAPRED (2006) en la página 15 se menciona que la manera adecuada para identificar el nacimiento del arroyo es una visita al área de estudio. En una visita a campo puede ser sencillo determinar dónde empieza una corriente superficial, pues bastaría con encontrar el punto en el terreno en donde el suelo empieza a ser erosionado por un flujo concentrado de agua partiendo de la cuenca del arroyo hacia su inicio. Dos problemas surgen con este procedimiento:

a) El punto en cuestión puede no tan fácil de indentificar en cuencas con muy poca pendiente.
b) El punto puede no ser accesible por lo complicado del terreno.
c) Hay miles de inicios de escurrimientos en el área de estudio.

En el área comprendida por el MDE se originan aproximadamente 5,600 escurrimientos superficiales. Una visita a cada uno de los arroyos fue imposible dentro de los límites de este proyecto. Dada la extensión del área de estudio y el número de escurrimientos que habría que identificar, se desarrolló un método automatizado para que a partir del MDE, se puedan obtener los orígenes de las corrientes superficiales.

Algunos investigadores han definido el inicio del canal de un escurrimiento superficial como el punto más alto en una cuenca donde el flujo concentrado de agua es capaz de transportar sedimento y causar una incisión en el terreno (Jeager, 2004). Montgomery y Dietrich (1988) analizaron datos de laderas y encontraron una relación entre el área de drenaje, la pendiente del terreno y la formación de canales en cuencas relativamente húmedas. Los datos de esta investigación sugieren que áreas con pendiente similar pero con un clima menos húmedo (menor precipitación) los canales tienden a tener un área de drenaje más grande.

Los resultados de estos investigadores llevaron a que se propusieran modelos de formación de canales que se describen a continuación. El umbral de erosión es específico a cada mecanismo de formación natural del canal. Tres mecanismos se han identificado: escurrimiento superficial, deslave superficial y erosión por filtración de agua por el suelo (Foufoula & Montgomery, 1993). Los umbrales de erosión están relacionados al área de drenaje y se asume que el área de drenaje es un sustituto del caudal de agua que acumula esta área de drenaje.

El inicio de un canal por escurrimiento superficial ocurre cuando la fuerza erosiva de una corriente de agua es superior a la cohesión del suelo. Este mecanismo de formación de está limitado a secciones del paisaje con pendientes menores (27 grados o una pendiente de 50%). El segundo proceso de formación de canales es el deslave superficial, este proceso sucede en terrenos con pendientes más pronunciadas. El suelo saturado de agua puede quebrarse y resbalar por la ladera. El último mecanismo de formación de canales es la erosión por filtración, la cual ocurre cuando el flujo subterráneo de agua en el suelo transporta granos de sedimento hasta que el área por donde fluye el agua se colapsa y forma el canal. Este mecanismo de formación de canales a suelos con poca cohesión y muy bajas pendientes (Foufoula & Montgomery, 1993).

Kristin Jaeger (2004) puso a prueba los modelos de erosión antes mencionados comparándolos con datos de campo en cuencas con dos condiciones geológicas: roca sedimentaria marina y roca basáltica. En este estudio para el proceso de delineación de las áreas de drenaje para la formación de canales se asumió que la topografía superficial controla la dirección de las corrientes de agua y por lo tanto los límites de cuenca. En este estudio, las áreas de drenaje para formación de canales en rocas sedimentarias tienen una media de 4,100 m2 con un valor mínimo de 970 m2 y un máximo de 11,370 m2, una desviación estándar de 3,000 y pendientes del 23 al 60%. Sin embargo no se encontró una relación entre el área de drenaje para formación de canales y la pendiente del terreno.

“El amplio rango de tamaños de áreas de drenaje refleja la heterogeneidad natural de las características del paisaje que controlan la formación del inicio de un canal” Kristin Jaeger (2004). La variabilidad en los tamaños de áreas de drenaje puede ser causada por la variación del tipo de suelo. Diferentes tipos de suelo tienen diferentes profundidades, conductividad hidráulica, densidad y ángulo de fricción interna. Estas diferencias no pueden ser explicadas sólo por el área y la pendiente del terreno para estimar el punto donde se inicia un canal de escurrimiento. Esta heterogeneidad en las áreas de drenaje que controlan el inicio de canales de escurrimiento ha llevado a que los modelos que trazan redes de canales de escurrimientos en una cuenca utilicen un simple umbral constante de área de drenaje para ubicar los inicios de escurrimientos.

En este mismo estudio se encontró que cuencas con suelos no consolidados y por lo tanto más fácilmente erosionables tenían áreas de drenaje más pequeñas para formar un canal. “Debido a que la falta sistemática de una relación entre área de drenaje y pendiente del terreno para el inicio de canales de escurrimientos superficiales se origina en la litología (la erodabilidad y la capacidad de infiltración) del suelo se recomienda utilizar un umbral de área de drenaje mínima como un predictor más confiable del inicio de los canales de escurrimiento” Kristin Jaeger (2004). Asimismo se recomienda que para determinar el área de drenaje mínima para un tipo de paisaje se colecten datos de campo en los inicios de las cuencas ya que las áreas de drenaje mínimas varían entre diferentes tipos de paisajes.

Tarboton et al. (1993) proponen un método para calcular un límite de área mínima de drenaje físicamente justificable. El método se basa en obtener la red de drenaje más densa posible, siempre y cuando se cumplan las leyes de escala que se encuentran en otras redes de drenaje (Leyes de Horton). Esta metodología es interesante pero pasa su implementación en el AMM hay dos problemas. El primero es que tiene que aplicarse a una zona de estudio con litología y geología homogénea, esta condición no se cumple en Monterrey con tan diversos tipos y condiciones de rocas con diferentes capacidades de infiltración y erodabilidad. El segundo problema es que esta metodología se apoya en las leyes de Horton. (Foufoula & Helmlinger & Kumar, 1993), reportan que las propiedades morfométricas de una cuenca (como la densidad de drenaje y la longitud de los canales de escurrimiento) y las propiedades de escala (como las Leyes de Horton, orden de Strahler) de una red de canales de escurrimiento dependen en su totalidad del área mínima de drenaje seleccionada para extraer la red antes mencionada. La selección del área mínima de drenaje afecta considerablemente las propiedades morfométricas, al punto que el reportar estos valores sin hacer referencia al área mínima de drenaje utilizada en los cálculos es inútil. Esta metodología no es aplicable debido a las debilidades mencionadas y aMDEás hay que tener especial precaución al describir cuencas en función de propiedades como la densidad de corriente y el orden de corrientes de Strahler. Para hacer comparaciones, en caso de ser imprescindible hacerlas, sólo se deben hacer con otras cuencas cuya red de drenaje se haya calculado con la misma área mínima de drenaje y recordando siempre la subjetividad de estos parámetros.

Hay métodos más avanzados para el cálculo del inicio de canales de escurrimiento como el de Heine et al (2003) que se basa en un modelo de límite variable de áreas mínimas de drenaje. Cada inicio de escurrimiento tendría un valor distinto de acuerdo a variables que se obtienen de un MDE como: la existencia de un canal de drenaje, el área de drenaje, la pendiente y la curvatura en el inicio del canal, la pendiente y la curvatura en el área de drenaje. Este modelo multivariable obtiene muy bueno resultados en la predicción del inicio de los canales de escurrimiento a partir del MDE, pero requiere de ser calibrado con una considerable cantidad de datos de campo antes de ser aplicado. Esto limita su aplicación en este proyecto.

Sin embargo, el estudio de Heine et al (2003) aMDEás de proponer el modelo multivariable hace una comparación entre los métodos previamente existentes, entre ellos el método de área constante mínima de drenaje. En este estudio que se realizó en una zona de litología y geología homogénea sedimentaria y con poca pendiente el valor de área constante mínima de drenaje utilizado fue 17,495 m2 o 17.5 hectáreas. Este valor se obtuvo de datos de campo.

La pregunta de cuál es el área mínima de drenaje a partir de la cual trazar escurrimientos superficiales sigue sin respuesta definitiva. Sin embargo en la revisión de literatura se han encontrado puntos importantes:

a) A mayor precipitación en la cuenca menor es el área constante mínima de drenaje requerida para que se forme un canal de escurrimiento.
b) Se asume que los escurrimientos de agua siguen la topografía superficial independientemente de la geología.
c) En el estudio de Jaeger (2004) para laderas pronunciadas de montañas con roca sedimentaria el área mínima de drenaje para formación de canales tenía una media de 4,100 m2. La precipitación promedio anual en esta región era de 2,200 mm.
d) En el estudio de Hein et al. el área mínima de drenaje para formación de canales tenía una media de 17,500 m2, también era una zona sedimentaria pero con relativamente poca pendiente, y una precipitación media anual de 820 mm.

Debido a las condiciones de tiempo y recursos económicos, la metodología que se utilizó para trazar la red de escurrimientos superficiales fue la del área constante mínima de drenaje.

Todas las metodologías que se han mencionado se basan únicamente en las propiedades del terreno para estimar el inicio de un canal de escurrimiento. Sin embargo para el presente proyecto lo importante es determinar el peligro de inundación, es decir el punto a partir de cuál se acumula suficiente agua como para representar un peligro. Se considera que el punto en un canal de escurrimiento donde el escurrimiento empieza a ser “peligroso” está aguas abajo del punto donde se inicia el canal.

En este proyecto se propone método alterno para estimar el área constante mínima de drenaje. Este método se basa en modelos y fórmulas bastante bien conocidos por los ingenieros: flujo en canal abierto de Manning, el Método Racional para estimar el caudal a la salida de una cuenca, el modelo de tiempo de concentración de Kirpich y los datos precipitación I-D-T de la estación meteorológica Monterrey.

De acuerdo a registros históricos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos basta una corriente de agua con 20 cm. de profundidad para arrastrar a un adulto y de 45 a 60 cm. para arrastrar un automóvil (NOAA, 2006).

Se sabe que 20 cm. de profundidad de una corriente de agua empieza a ser peligrosa. Dado que el presente estudio de peligro de inundación se realiza para aplicarse en un área urbana, es necesario formular la siguiente pregunta: ¿Por dónde corre generalmente el agua en una ciudad? A menos que se haya construido drenaje pluvial, el agua corre por las calles. Entonces una calle que lleve un caudal de agua de 20 cm. de profundidad, puede ser el límite inferior a partir del cual empezar a trazar la red escurrimientos superficiales. Una calle se convierte en un canal bajo ciertas condiciones de lluvia, puede ser una calle pequeña limitada por banquetas. Se puede estimar el caudal de agua que pasa por esta calle por medio de la fórmula de Manning. La fórmula de Manning permite saber el caudal de agua en un canal donde la gravedad gobierna el flujo conociendo la pendiente, el material (rugosidad) y la sección transversal del canal.

La fórmula de Manning (Linsley & Franzini, 1984) es la siguiente:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde:

V es la velocidad promedio en la sección transversal en metros por segundo (m/s)
n es el coeficiente adimensional de rugosidad de Manning
Rh es el radio hidráulico en metros (m)
S es la pendiente de la superficie del agua en el canal (m/m)

Se asume una sección transversal rectangular de 5 metros de ancho por 0.2 m de altura, una calle pequeña. La fórmula de Manning requiere conocer la pendiente el terreno y el material del canal. La mayor parte del área urbana de Monterrey se encuentra en zonas planas, por lo tanto se asume una pendiente de 0.2 o 2%. El material del que se construyen las calles es asfalto con un coeficiente de rugosidad de 0.016

El radio hidráulico de un canal es igual al área de la sección transversal dividido por el perímetro mojado de la misma sección:

$$R_h = \frac{A}{P}$$

Rh es el radio hidráulico (m)

A es la sección transversal del canal en metros cuadrados (m2)

P es el perímetro mojado (m)

El área de la sección transversal del canal es el área de la calle cuando tiene 15 cm de altura de agua. El área es igual a:

$$A = b \cdot h = 5 \cdot 0.2 = 1\, m^2$$

En el caso de una canal rectangular calle el perímetro mojado es igual a la base más dos veces la altura.

$$P = b + 2h = 5 + 2(0.2) = 5.4\, m$$

Entonces:

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{1}{5.4} = 0.185\, m$$

Una vez calculado el radio hidráulico se puede calcular la velocidad a la que pasa el agua por la calle:

$$Q = V \cdot A = 2.87 \cdot 1 = 2.87\, m^3/s$$

El flujo que va a llenar una calle de asfalto de 5 metros de ancho, con 20 cm de profundidad de agua y 2% de pendiente es de 2.87 m3/s. Este flujo proviene de la lluvia. Sin embargo quedan dos preguntas por responder: cuánta lluvia y de qué tamaño es la cuenca. Para responder a estas preguntas se utilizaron dos modelos. Uno que relaciona la lluvia con el escurrimiento (el Método Racional) y otro que estima el tiempo de concentración de una cuenca (Kirpich) (CENAPRED, 2006).

Método Racional

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Donde:
Q es el caudal a la salida de la cuenca (m^3/s)
C es el coeficiente de escurrimiento de la cuenca
i es la intensidad de la lluvia en mm/h
A es el área de la cuenca (km^2)

La fórmula racional asume que la intensidad de la lluvia (i) es de una tormenta con una duración igual al tiempo de concentración (Tc) de la cuenca.

Tiempo de concentración de Kirpich

$$T_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:
Tc es el tiempo de concentración, o el tiempo que tarda una gota de agua en escurrir del punto más lejano de la cuenca a su salida.
L es la longitud del cauce principal en metros (m)
S es la pendiente de la cuenca

Para utilizar estos modelos hace falta conocer las dimensiones de la cuenca, pero esta es la variable que precisamente se está estimando. Entonces se idealiza una cuenca con dimensiones específicas pero desconocidas (Figura 238):

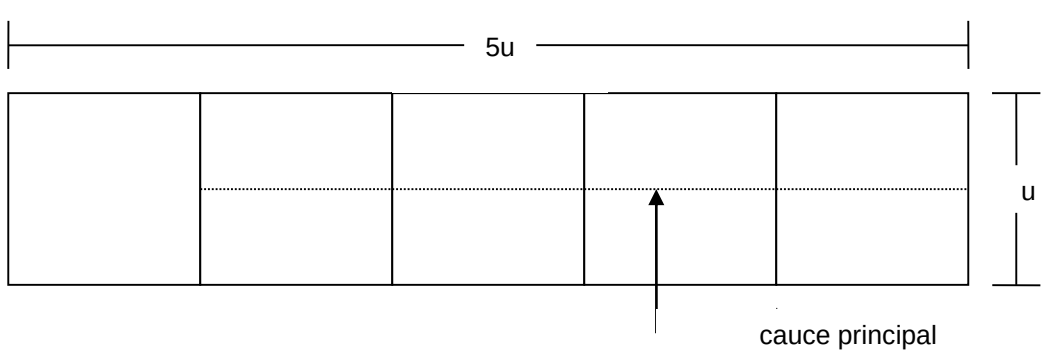


Figura 238. Cuenca idealizada de cinco unidades cuadradas (5u2). Su área se estima en base a un caudal a la salida, y el método racional.

La cuenca mide 5 unidades de largo por una de ancho. El cauce principal en esta cuenca mide 4 unidades de largo. AMDEás para utilizar la fórmula Racional hace falta conocer el coeficiente de escurrimiento de la cuenca, se asume que la cuenca está cubierta en su totalidad por asfalto o concreto. Esto es lo esperado en una zona comercial de Monterrey, el valor del coeficiente es de 0.95. El caudal a la salida de la cuenca ya se conoce es de 2.87 m3/s, el coeficiente de escurrimiento también es de 0.95, el área de la cuenca está definida por 5u2, la intensidad de la lluvia queda como incógnita:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A$$
$$2.87 = 0.278 \cdot (0.95) \cdot (i) \cdot (5u^2)$$
$$2.173 = u^2 \cdot i$$
$$u^2 = \frac{2.173}{i}$$

Para la fórmula de Kirpich se conoce la pendiente de la cuenca de 0.02 y una longitud del canal principal de 4u.

$$T_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$T_c = 0.000325 \frac{(4u)^{0.77}}{(0.02)^{0.385}}$$

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77}$$

El Método Racional funciona tomando en cuenta la intensidad de lluvia en base a un periodo de retorno. Para empezar a trabajar con este método se propone una lluvia con periodo de retorno de 10 años y una duración de 1 hora. Los datos de periodos de retorno e intensidades de lluvia se obtuvieron de las curvas I-D-T de la estación climatológica Monterrey-CNA (Estación 19049).

La intensidad para un periodo de retorno de 10 años de una precipitación que dure una hora es de 52.05 mm/hr (Treviño, 2005). Aplicado al método racional queda:

$$u^2 = \left(\frac{2.173}{i}\right) = \left(\frac{2.173}{52.05}\right) = 0.0417$$

$$u = 0.204$$

El área de la cuenca idealizada quedó definida como 5u2 por lo tanto si u = 0.204 km, el área es 0.208 km2. Entonces, una cuenca de 0.208 km2 con 2% de pendiente, con una cobertura de suelo de asfalto y concreto (C=0.95), y una precipitación de una hora con una intensidad de 52.05 mm/hr da el caudal requerido de 2.87 m3/s.

Ahora es necesario revisar si esta cuenca cumple con el criterio para verificar la aplicabilidad de Método Racional. Este método asume que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración de la cuenca. Para calcular el área de la cuenca se asumió que la tormenta dura una hora, ahora hay que verificar si el tiempo de concentración de esta cuenca es de una hora. Para eso se utiliza la fórmula de Kirpich aplicada a la cuenca idealizada.

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77} = 0.00147(4 \cdot 204)^{0.77} = 0.26$$

Hay que resaltar que la fórmula de Kirpich utiliza como entrada la longitud del cauce principal en metros y el tiempo de concentración como resultado en horas, 0.26 horas son aproximadamente 15 minutos. 15 minutos es la cuarta parte de la duración de la tormenta cuya intensidad se utilizó para calcular el área. Es necesario escoger una tormenta con una duración menor dentro del periodo de retorno de 10 años para que se cumplan las condiciones del Método Racional.

Se probó con una tormenta de duración de 15 minutos con un T = 10 años.

$$u^2 = \frac{2.173}{i} = \frac{2.173}{116.81} = 0.0186$$

$$u = .136$$

El área de la cuenca es 5u2 entonces mide .092 km2. Revisando el tiempo de concentración de esta cuenca:

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77} = 0.00147(4 \cdot 136)^{0.77} = 0.187$$

0.187 horas son 11.2 minutos. El tiempo de concentración calculado por Kirpich casi se acerca al usado para calcular la intensidad de la lluvia. Ahora se prueba con una tormenta con una duración de 10 minutos y un periodo de retorno de 10 años.

$$u^2 = \frac{2.173}{i} = \frac{2.173}{143.32} = 0.0151$$

$$u = 0.123$$

El área de la cuenca es 5u2 entonces mide .076 km2. Revisando el tiempo de concentración de esta cuenca:

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77} = 0.00147(4 \cdot 123)^{0.77} = .173$$

0.173 horas son 10.4 minutos. Esta es una solución aceptable para la estimación del área constante mínima de drenaje. De acuerdo a los modelos que representan las fórmulas de Manning, Racional y Kirpich, una cuenca de 0.076 km2 o 76,000 m2 bajo condiciones de una precipitación de una tormenta de 10 minutos con una intensidad e 143 mm/hr produce un caudal de 2.87 m3/s.

Se realizaron estimaciones con otros valores de periodos de retorno y una duración similar para ver la variabilidad de los resultados:

Para T=5 años y duración 10 minutos

$$u^2 = \frac{2.173}{i} = \frac{2.173}{121.12}$$

$$u = 0.133$$

A = 88,445 m2

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77} = 0.00147(4 \cdot 133)^{0.77} = 0.185\ hr$$

Tc = 11.07 min

Para T = 20 años y duración = 10 min:

$$u^2 = \frac{2.173}{i} = \frac{2.173}{177.32}$$

$$u = 0.110$$

A = 60,500 m2

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77} = 0.00147(4 \cdot 110)^{0.77} = 0.159\ \text{Hr}$$

Tc = 9.57 min

Para 50 años y 10 min

$$u^2 = \frac{2.173}{i} = \frac{2.173}{211.10} = 0.0103$$

$$u = 0.101$$

A = 51,005 m2

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77} = 0.00147(4 \cdot 101)^{0.77} = .149$$

Tc = 8.96 min

Al utilizar diferentes periodos de retorno pero la misma duración se encuentra que el área estimada de la cuenca que produzca el caudal de 2.87 m3/s. El valor mínimo es 5 Ha y el máximo 8 Ha.

Ahora se analiza el comportamiento del modelo cuando se modifica el coeficiente de escurrimiento. Si la cuenca, en lugar ser una zona comercial es una zona residencial con un coeficiente de escurrimiento de 0.5 se espera que el área para crear el escurrimiento sea mayor para una tormenta con una duración de 10 minutos y un periodo de retorno de 10 años.

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

$$2.87 = 0.278 \cdot (0.50) \cdot (i) \cdot (5u^2)$$

$$20.65 = u^2 \cdot i$$

$$u^2 = \frac{20.65}{i}$$

$$u^2 = \frac{20.65}{143.32}$$

$$u = 0.38$$

El área de esta cuenca es de 0.72 km2 o 72 Ha., hay que revisar su periodo de concentración:

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77} = 0.00147(4 \cdot 380)^{0.77} = 0.41\ Hr$$

Tc = 24.9 minutos

El tiempo de concentración de esta cuenca es mucho mayor a la tormenta utilizada como entrada al Método Racional. Para que se cumplan las condiciones del modelo debe utilizarse como entrada una tormenta de mayor duración para que el tiempo de concentración sea igual a la duración de la tormenta. Se propone una tormenta con un periodo de retorno de 10 años y 30 minutos de duración, la intensidad de esta tormenta de acuerdo a los datos de la estación hidrológica Monterrey es de 79.28 mm/hr:

$$u^2 = \frac{20.65}{i}$$

$$u^2 = \frac{20.65}{79.28}$$

$$u = 0.51$$

A = 1.3 km2

El tiempo de concentración de esta cuenca es:

$$T_c = 0.00147(4u)^{0.77} = 0.00147(4 \cdot 510)^{0.77} = 0.52\ Hr$$

Tc = 31.1 minutos

En esta segunda estimación la tormenta utilizada y el tiempo de concentración son similares muy cercanos. Ahora si se puede analizar el efecto del cambio en el coeficiente de escurrimiento. La variable que parece controlar el área de la cuenca más que la lluvia es el coeficiente de escurrimiento. Un cambio en el coeficiente de escurrimiento significa un cambio de 17 veces en el tamaño de la cuenca que produce el escurrimiento. Mientras que cambios en el periodo de retorno de la tormenta tiene efectos pequeños en el área estimada de cuenca.

Después de revisar modelos de formación de canales de escurrimiento y explorar un modelo de cuenca con datos de precipitación de la estación hidrológica Monterrey ya se puede proponer un área constante mínima de drenaje factible y su respectivo mapa de nanocuencas (Figura 239).

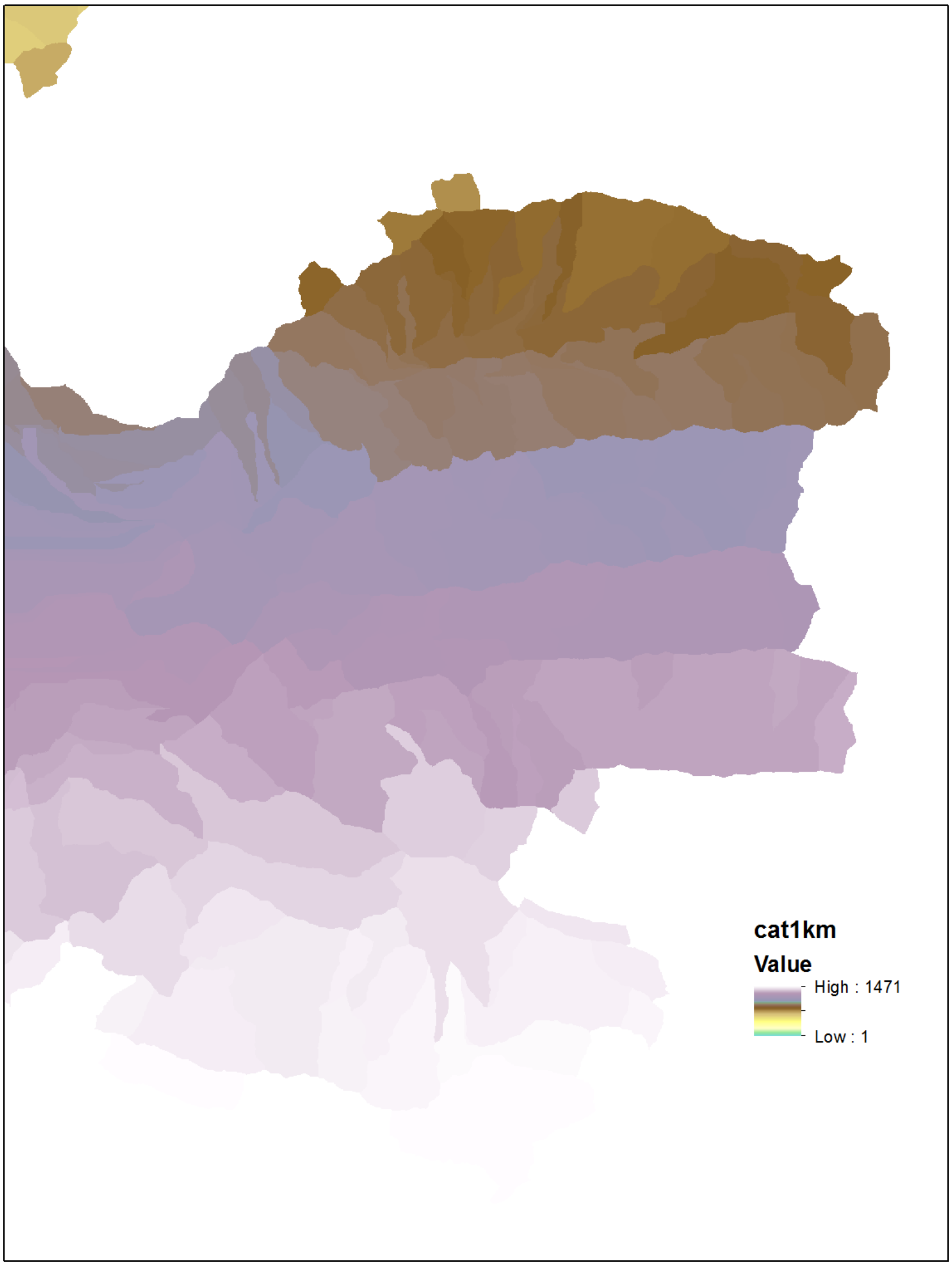


Figura 239. Nanocuencas resultantes del proceso de generación de la red de drenaje.

Por último, se procede a transformar los resultados del formato de celdas al formato de vectores. El resultado obtenido en esta fase del estudio permite contar con una red hidrológica consistente, es decir el cubrimiento es completo, no se presentan “escurrimientos interrumpidos” o con discontinuidades y hay cubrimiento de red hidrológica en las zonas planas.

5.3.11.2.3 Modelación

Se realizaron dos procesos de modelación, uno para las zonas rurales usando el MDE de mediana resolución (Aster DEM), y otro para la zona urbana de Saltillo, empleando el MDE de alta resolución (pixeles de 1 metro.). Se determinaron los parámetros fisiográficos a nivel de cuencas, subcuencas y microcuencas La modelación hidrológica se basó en corrientes superficiales previamente definidas. Los resultados obtenidos fueron los gastos máximos de la precipitación asociados a Pr de 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años. La modelación estuvo basada en las siguientes suposiciones:

- La precipitación efectiva (infiltración) fue estimada por el método del número de escurrimiento del método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS).
- EL hidrograma unitario considerado fue el del SCS, mejor conocido como hidrograma triangular.
- El flujo base de los ríos en la modelación fue considerado como inexistente.
- El método para la propagación de los hidrogramas de una subcuenca a las cuencas y cauces aguas abajo es el método de Muskingum-Cunge.

La modelación hidráulica se realizó en los cauces de orden 5, 6 y 7 de la red superficial de escurrimientos. Las elevaciones secciones transversales se obtuvieron del modelo digital de elevación de INEGI. Las secciones transversales se consideraron de 600 metros de amplitud y ubicadas a cada 300 metros sobre el cauce. La modelación utilizó como base el modelo de Manning (Aparicio, 1986).

La delimitación de zonas inundables se estableció de acuerdo con las alturas obtenidas de cada sección transversal producto de la modelación hidráulica. Esta información se cruzó con el relieve del terreno (modelo de elevación digital) y se obtuvieron las zonas inundables (GEO-RAS).

5.3.11.2.3.1 Modelo racional

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Q - estimado del flujo máximo a la salida de la cuenca en metros cúbicos por segundo (m^3/s)
C - la fracción de la lluvia que se convierte en escurrimiento superficial, coeficiente de escurrimiento
I – intensidad de la lluvia en milímetros por hora (mm/hr)
A – área de drenaje en km^2

La intensidad de la precipitación depende de la duración de la precipitación y el periodo de recurrencia de la misma. Este método asume el peor escenario para un periodo de retorno dado. El coeficiente de escurrimiento depende la cobertura que tenga el suelo de la cuenca y el flujo máximo ocurre cuando la gota de lluvia que se precipitó en el lugar más lejano a la salida de la cuenca llega a la misma. Por lo tanto la duración de la precipitación es igual al tiempo de concentración de la cuenca (O.o.D, 2004).

El método racional se basa en un gran número de suposiciones. Hay que considerarlas al momento de considerar la validez de los resultados del método racional:

a) La duración de la tormenta da el periodo de tiempo sobre el cual la intensidad promedio (I) existe. Pero ni la duración de la tormenta ni su intensidad describen cómo la intensidad de la precipitación varía durante la tormenta ni cuanta precipitación hubo antes del periodo considerado para hacer la modelación.
b) Los coeficientes de escurrimiento están en función de una descripción muy general de la superficie de la cuenca, cualquier error al momento de seleccionar el coeficiente de escurrimiento puede producir errores significativos. Por ejemplo, una variación de 20% en el valor del coeficiente utilizado en la modelación puede producir el mismo efecto en el flujo máximo que cambiar de un periodo de retorno de 5 años a uno de 15 años.
c) La probabilidad de que se cumplan con todas las suposiciones del modelo (intensidad de lluvia, duración de la misma) ocurra es menor a la probabilidad de que la intensidad de lluvia utilizada realmente ocurra. Esto crea un “factor de seguridad” o un gasto máximo exagerado, depende de cómo se vea el resultado.
d) La precipitación medida en un punto es diferente a la que ocurre en toda una cuenca. Esta situación es particularmente importante en cuencas con un área mayor a 120 hectáreas. Por eso el método no debe aplicarse a áreas mayores a 80 hectáreas, 0.8 km2.
e) En una cuenca con una forma irregular, una parte de la cuenca puede tener un tiempo de concentración menor y producir un flujo máximo mayor en un punto al calculado a la salida de la cuenca. Esto es porque áreas con un gran tiempo de concentración son menos susceptibles a una precipitación muy intensa.
f) Una fracción de la cuenca con un alto coeficiente de escurrimiento puede producir un flujo máximo de salida que el calculado para el área de la cuenca completa.

5.3.11.2.3.2 Modelo de Sánchez Bribiesca

La fórmula de Sánchez Bribiesca para estimar gastos máximos se aplica a cuencas de hasta 100 km2 y se describe a continuación (SCT, 1984):

$$Q = \frac{f_D \cdot f_W \cdot h_E \cdot A}{4500}$$

Q - gasto de diseño en m^3/s
fD – coeficiente de duración, adimensional
fW – coeficiente de precipitación, adimensional
hE - altura de precipitación en exceso, en metros
A – área de la cuenca, en m^2

El método se basa en conocer la duración de las precipitaciones (0.5 o 4 horas) de las cuencas lo que permite escoger el factor de duración fD de una tabla. En función del clima de la región se escoge el factor de precipitación fW. La fracción de precipitación efectiva que se convierte en escurrimiento depende del número de escurrimiento N que se calcula en base al uso del suelo, la topografía (pendiente), y la permeabilidad del suelo.

La aplicabilidad del método se ve comprometida por lo reducido de la tabla creada por Sánchez Bribiesca para estimar el número de escurrimiento. No hay diferenciación entre diferentes tipos de desarrollo urbano como industrial o comercial. Sucede lo mismo con el número de escurrimiento para bosques y matorrales, hay sólo una categoría sin permitir considerar diferencias en el estado de la vegetación en la estimación del número de escurrimiento.

5.3.11.2.3.3 Modelos estadísticos

Los modelos estadísticos son muy útiles en zonas donde se cuente con una serie de datos confiable de gastos máximos ocurridos. En el caso de Monterrey hay pocas estaciones hidrométricas que se encuentran solamente en los cauces principales y con una medición por día. Cuencas urbanas más pequeñas no cuentan con equipo automático para medición de los gastos máximos, para la duración de los eventos de precipitación y escurrimiento, debería haber un registro cada 10 minutos o máximo 30 para poder describir de manera adecuada el comportamiento de los gastos que producen inundaciones. Por lo tanto los datos de los gastos máximos se ocuparan solamente para la modelación de planicies de inundación de los cauces principales del Río Santa Catarina, Pesquería y Salinas.

5.3.11.2.3.4 Modelos hidrometeorológicos

El modelo hidrometeorológico que se describirá es el del Número de Curva. Este modelo considera en la transformación de la lluvia en escurrimiento la humedad del suelo, la cobertura vegetal o artificial del mismo, la capacidad de infiltración del suelo. Y a diferencia de los métodos empíricos o semiempíricos considera que una vez que el agua empieza a fluir como una lámina paralela a la superficie del terreno en un momento tendrá que formar un canal o flujo concentrado. En ese momento el flujo de agua se comporta de manera diferente y se describe con ayuda del modelo de hidrograma unitario.

La ecuación del Número de Curva estima el total de altura de escurrimiento a partir de la precipitación total. Entonces, esta relación excluye el tiempo como variable. La intensidad de la lluvia es ignorada. La ecuación de escurrimiento a partir del número de curva es:

$$Q = \frac{(P - 0.2\,S)^2}{P + 0.8\,S}$$

Donde:
Q = altura de escurrimiento directo en milímetros
P = altura de precipitación en milímetros
S = máxima retención potencial en milímetros.

La altura del escurrimiento directo y la altura de precipitación se explican fácilmente. La máxima retención potencial es un poco más compleja: es la suma de dos parámetros: la abstracción inicial y la retención una vez que el escurrimiento ha comenzado. La abstracción inicial es el volumen de agua que retiene el suelo antes de que inicie el escurrimiento y consiste principalmente en la intercepción de lluvia por la cobertura vegetal del suelo y la infiltración en los primeros minutos de la tormenta. La retención una vez que el escurrimiento ha comenzado consiste en la infiltración del agua del momento que el escurrimiento comienza hasta que el suelo se satura de agua. No es necesario calcular los parámetros de abstracción inicial y la retención una vez que el escurrimiento ha comenzado. Hay una relación calculada entre el número de curva y la máxima retención potencial:

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25.4}}$$

Donde:
S = máxima retención potencial en milímetros.
CN = número de curva obtenido a partir de tipo de suelo y uso del mismo.

La Figura 240 muestra la solución gráfica a la ecuación del número de curva en pulgadas.

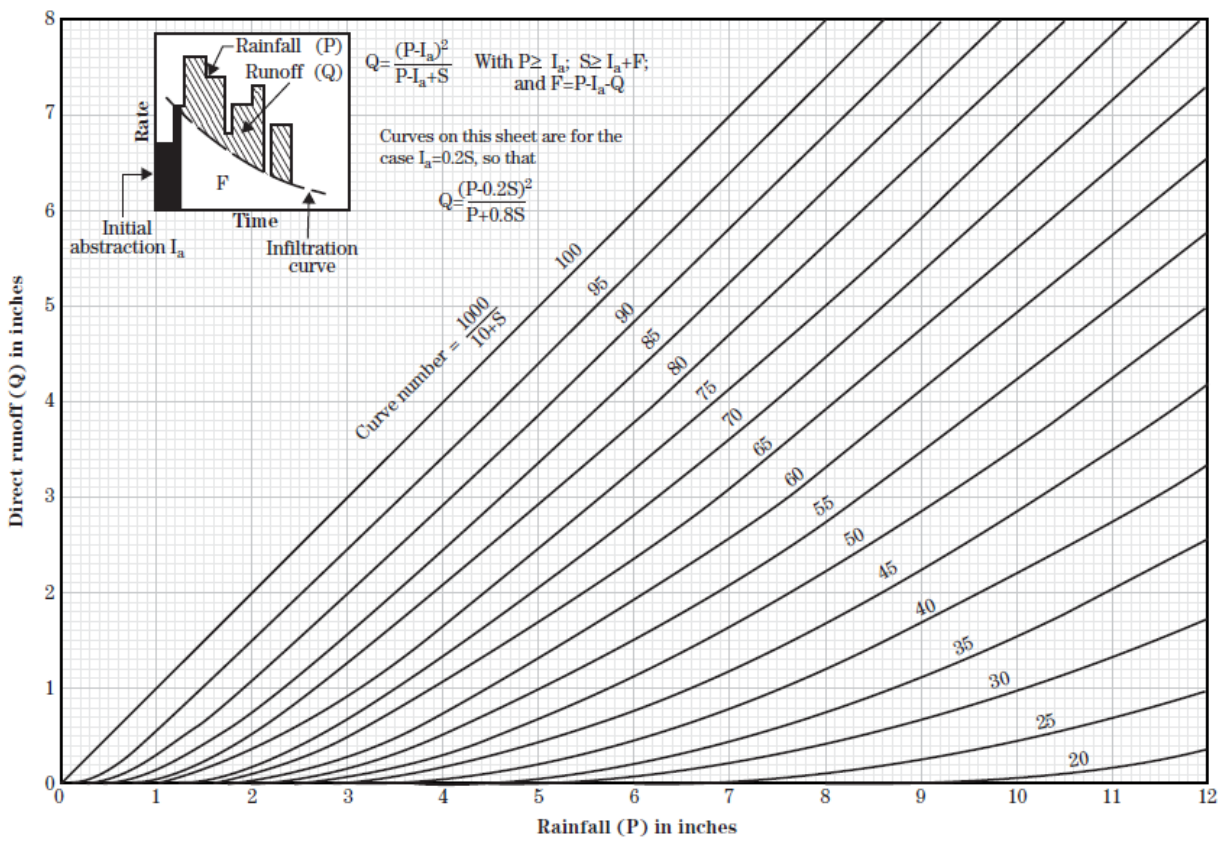


Figura 240. Solución gráfica a la ecuación del número de curva en a partir de la precipitación (pulgadas).

Para el área de estudio la ecuación del número de curva se resuelve con ayuda del software HEC-HMS 3.2 que permite calcular eficientemente las múltiples combinaciones de tipo de suelo y uso del mismo

5.3.11.2.3.5 Metodología para el cálculo de gastos picos

La ecuación del número de curva sólo estima la altura de precipitación que se convierte en escurrimiento directo. Para estimar el gasto pico primero hay que calcular el tiempo de retraso de la cuenca (lag time) y después utilizar este parámetro en la metodología del Hidrograma Unitario (USDA-NRCS, 1972).

La fórmula utilizada para calcular el tiempo de retraso de la cuenca es la siguiente:

$$L = \frac{(l/0.3048)^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900(Y^{0.5})}$$

Donde:

L = tiempo de retraso en horas
l = longitud hidráulica de la cuenca en metros (cauce más largo)
S = máxima retención potencial en mm = 10
Y = pendiente promedio de cada subcuenca en porciento

En el caso del proyecto del Río La Silla se utilizó el software HEC-GeoHMS para encontrar la solución de la ecuación anterior para cada subcuenca.

El tiempo de retraso de la cuenca es un parámetro similar al tiempo de concentración. El retraso es el tiempo entre el centro de masa de la precipitación y el punto donde ocurre el gasto pico de la cuenca. El tiempo de concentración es el tiempo que le toma al escurrimiento viajar de la parte más alta de la cuenca a la salida de la misma. En el análisis de hidrogramas el tiempo de concentración es el tiempo entre el fin de la precipitación y el punto de inflexión del hidrograma donde la curva de recesión comienza. Existe una relación empírica entre el tiempo de concentración y el tiempo retraso como se muestra en la siguiente ecuación:

$$L = 0.6\,T_C$$

Donde:
L = tiempo de retraso en horas
TC = tiempo de concentración en horas.

Una vez que se ha calculado el tiempo de retraso de la cuenca se puede estimar el hidrograma unitario de la cuenca. El método del hidrograma unitario asume que el gasto en cualquier momento es proporcional al volumen de escurrimiento directo y los factores de tiempo (lag time) que afectan al hidrograma son constantes (USDA-NRCS, 2007).

Hay dos principios en los que se basa el método del hidrograma unitario. El principio de invariancia: el hidrograma de escurrimiento directo de una cuenca resultado de un cierto patrón de lluvia es constante. Es decir, una precipitación siempre va a producir la misma descarga. Y el segundo principio es el de superposición: el hidrograma a la salida de la cuenca puede ser construido a partir de los hidrogramas de cada subcuenca y cada uno de ellos es proporcional a la precipitación de cada subcuenca.

El hidrograma unitario adimensional tiene el 37.5 % del total del volumen de escurrimiento en su lado creciente que es representado por una unidad de tiempo y una unidad de descarga. Este mismo hidrograma puede ser representado por un hidrograma triangular como se muestra en la Figura 241. Si una unidad de tiempo equivale a 0.375 del volumen de escurrimiento:

$$T_B = \frac{1.00}{.375} = 2.67\ unidades\ de\ tiempo$$

$$T_r = T_b - T_p = 1.67\ unidades\ de\ tiempo\ o\ 1.67\ T_p$$

Donde:
Tb = tiempo del principio del hidrograma al final del hidrograma triangular.
Tr = tiempo del gasto pico al final del hidrograma triangular
Tp = tiempo del inicio del hidrograma al gasto pico

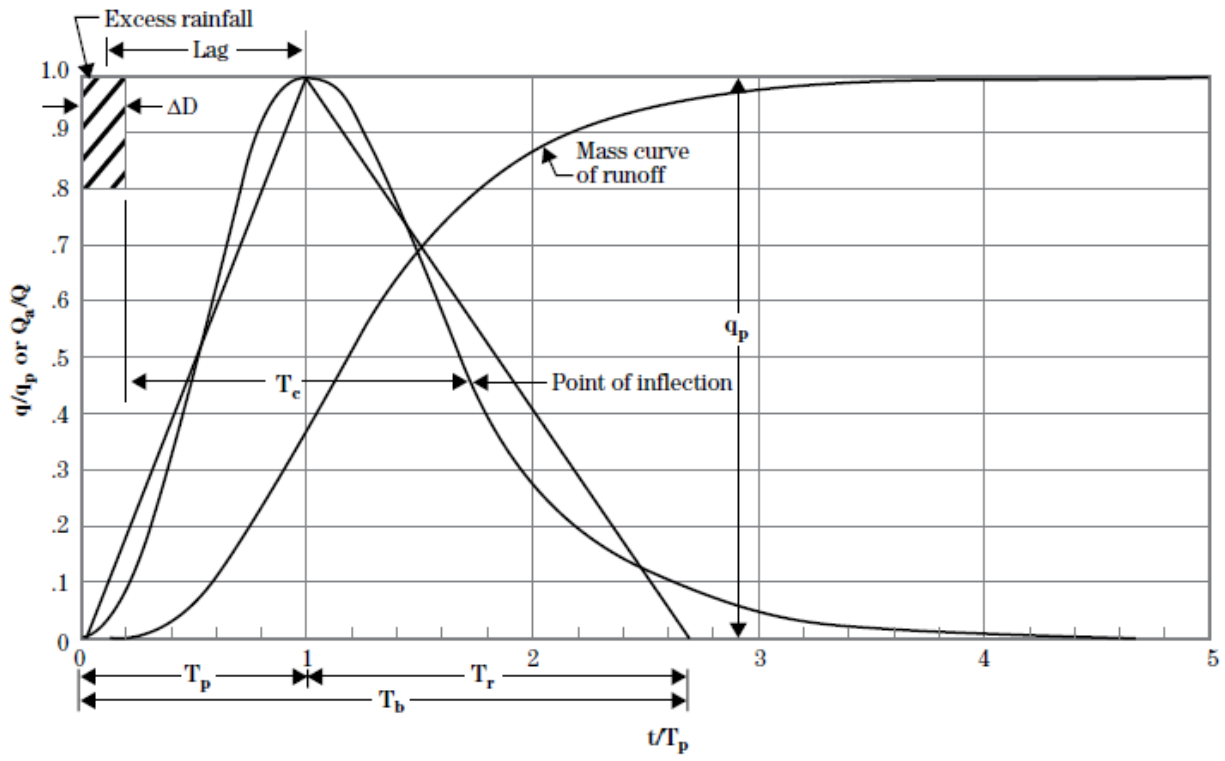


Figura 241. Hidrograma unitario.

La ecuación que da el gasto pico de acuerdo al método del hidrograma unitario es:

$$q_p = \frac{484\ (A/2.59)(25.4\ Q)}{\frac{\Delta D}{2} + L}$$

Donde:
qp= gasto máximo en m^3/s
A = área de drenaje de la cuenca en km2
Q = altura de escurrimiento directo en mm
ΔD = duración de la precipitación en horas
L = tiempo de retraso de la cuenca en horas

El cálculo de esta ecuación se hace en el software HEC-HMS 3.2 de una manera más eficiente para cada subcuenca para cada precipitación asociada a un periodo de retorno.

Una gran ventaja de este tipo de modelo es que permite construirse por bloques que forman la cuenca estudiada. La ventaja es que hay resultados individuales para cada uno de los bloques que forman la cuenca. Entonces hay datos de gastos máximos para cada una de las corrientes que forman la red hidrológica. Esto es importante, cuando se estudian las inundaciones en una zona urbana no se va a utilizar el mismo gasto máximo a la salida de la cuenca para estimar planicies de inundación en la zona donde hay corrientes incipientes.

El modelo del número de curva y el modelo del hidrograma se encuentran incluidos dentro del software HEC-HMS por lo que su implementación a partir de bases de datos geográficas es relativamente sencilla.

Todos los modelos son válidos tomando en cuenta que han sido probados por sus autores y producen resultados de acuerdo a la calidad de datos de entrada. Algunos son sencillos, otros más complejos.

Los modelos empíricos se desechan para este proyecto. No proveen la calidad de resultados necesaria para la generación de planicies de inundación. Los métodos más conocidos para la estimación de gastos máximos son los de Sánchez Bribiesca o Racional. El problema con estos métodos es que se basan en datos muy generales y no aprovechan al máximo la calidad de los datos disponibles para el proyecto del Atlas de Riesgos de Saltillo. Por ejemplo producen sólo un resultado de gasto máximo a la salida de la cuenca. ¿Qué sucedería si se estima una planicie de inundación con ese valor de gasto a todo lo largo del cauce desde el punto donde empieza a la salida de la cuenca? El resultado obtenido sería exagerado. Tomando en cuenta la calidad de los datos disponibles el uso de estos métodos sería un desperdicio de información. Y cómo se mencionó al momento de describir en detalle estos métodos, la probabilidad de que se cumplan todas las condiciones que se asumen es muy baja comparada a la probabilidad de que la intensidad de lluvia exista. Es decir, hay un factor de seguridad por el resultado de gasto máximo incrementado, o bien una exageración del resultado. Otro problema es la limitación del área de estudio que presentan los métodos semiempíricos: 100 km2 para Sánchez Bribiesca y 1 km^2 para el Racional. Con el propósito de obtener resultados consistentes es mejor utilizar un solo método.

De acuerdo a la información disponible el método que mejor aprovecha la calidad de los datos es el del Número de Curva para la relación lluvia-escurrimiento y el Hidrograma Unitario para describir el flujo del agua en canales de la red superficial de escurrimientos.

5.3.11.2.3.6 Detalles de la modelación.

Volumen de escurrimiento

Una subcuenca es un elemento del modelo que usualmente no tiene un flujo de entrada y un solo flujo de salida. El flujo de salida es calculado a partir de datos de precipitación restando pérdidas de agua (infiltración), transformando el exceso de precipitación en escurrimiento superficial y añadiendo el flujo base (Fleming & Scharffenberg, 2008).

En el modelo HEC-HMS una subcuenca representa conceptualmente la infiltración y el escurrimiento superficial interactuando juntos, sin embargo los cálculos reales de infiltración son realizados por un método de “pérdida” dentro de la subcuenca.

El modelo HEC-HMS considera 10 diferentes métodos para calcular las pérdidas de agua, algunos métodos fueron diseñados para simular eventos de lluvia, otros funcionan mejor con simulaciones de periodos más largos. Pero, todos los métodos se basan en la conservación de la masa, es decir, la suma de la infiltración y el escurrimiento superficial son iguales al total de la precipitación (Fleming & Scharffenberg, 2008).

Dada la extensión de las cuencas del área de estudio (km^2), los datos muy generalizados de precipitación (unas cuantas estaciones para toda el área de estudio), y los datos de suelo y vegetación disponibles, se escogió como el método más adecuado para estimar la pérdida por infiltración de lluvia el método del número de curva (CN). El método del número de curva se basa en el tipo de suelo, la cobertura del suelo (vegetación y superficies impermeables) para calcular la pérdida de agua por infiltración. Es el método más adecuado para calcular el escurrimiento ya que los datos con los que se cuentan en el proyecto son los que requiere este método.

Escurrimiento directo

El paso anterior permite saber el volumen de escurrimiento, pero cómo se comporta ese escurrimiento en el tiempo se describe a través de otro modelo. El modelo utilizado para describir el comportamiento del hidrograma a la salida de las cuencas es el de Hidrograma Unitario del SCS.

5.3.11.2.3.7 Modelación de los cauces de orden 5, 6 y 7

La modelación hidráulica se realizó en los cauces de orden 5, 6 y 7 de la red superficial de escurrimientos. Las elevaciones secciones transversales se obtuvieron del modelo digital de elevación de INEGI. Las secciones transversales se consideraron de 600 metros de amplitud y ubicadas a cada 300 metros sobre el cauce.

La estimación del flujo máximo en una cuenca se hizo por medio del software HEC-HMS versión 3.2 (US Army Corps of Engineers, 2008). El procedimiento se describe de manera detallada a continuación:

El primer paso de la modelación es recortar un segmento del MDE original del tamaño de la cuenca a modelar. Después, se calculan los rasters de dirección de flujos y acumulación de flujos por celda. Posteriormente a partir de un área de acumulación predefinida se calcula el raster de corrientes superficiales, luego se convierte este raster a un archivo de líneas para formar la red de corrientes superficiales. Una vez que se tiene la red se procesa una vez más para obtener los polígonos de las subcuencas.

Con la información de la red y las subcuencas, se agrega al modelo la información del tipo de suelo y la cobertura del mismo. De estos parámetros depende la capacidad de infiltración del suelo. La ventaja de este modelo es que representa a la cuenca con el mayor detalle posible de tipo de suelo y su cobertura.

Con esto se tiene listo el modelo de la cuenca: está la topografía, las características del suelo y la cobertura del mismo. Una vez que se ha integrado esta información de manera distribuida a la cuenca, con ayuda de HEC-HMS se calculan los parámetros que se ocupan para implementar el modelo que convierte la lluvia en escurrimiento. Este modelo es el del número de curva (CN) desarrollado por el Soil Conservation Service de Estados Unidos (US Soil Conservation Service, 1986). Los parámetros que se calculan son el número de curva para cada subcuenca, el tiempo de concentración de cada subcuenca, la pendiente media de la subcuenca.

Una vez que se tienen los parámetros para calcular la lluvia que se convierte en escurrimiento superficial, es necesario calcular los parámetros del modelo que convierte el escurrimiento superficial en escurrimiento canalizado. El método utilizado es el de Muskingum-Cunge (US Army Corps of Engineers, 2008) que utiliza parámetros como el número de Manning y las dimensiones del canal para estimar cuán rápido baja el agua por los canales de la red. Estos parámetros se calcularon para toda la red hidrológica por medio de HEC-HMS.

Una vez que se han armado el modelo por completo, es momento de introducir los datos de lluvia. En el caso del proyecto del AMM se utilizaron 3 precipitaciones: la asociada a un periodo de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Los resultados del modelo son escurrimientos a cada 10 minutos, sin embargo se presentan como resultados sólo los flujos máximos en cada canal de la red hidrológica. Los resultados son en metros cúbicos por segundo para cada precipitación calculada.

5.3.11.2.3.8 Modelación hidráulica

Procedimiento para estimar planicies de inundación

El modelo HEC-HMS sólo calcula los flujos a partir de una precipitación, para estimar las planicies de inundación se utilizó otro modelo: HEC-RAS (River Analysis System) versión 4.0 (US Army Corps of Engineers, 2008).

El principal insumo para este modelo son los flujos máximos en metros cúbicos por segundo estimados a partir de las precipitaciones de 5, 10, 25 50 y 100 años. El procedimiento detallado a continuación:

El primer paso es definir cuáles cauces se desean modelar. A partir de la red hidrológica completa se escogieron para modelar sólo los cauces de orden de Strahler 5, 6 y 7. Los de orden inferior no se modelaron hidráulicamente por las restricciones del proyecto del Atlas de Riesgos de Saltillo.

Una vez que se han definido cuales cauces modelar se trazan secciones transversales perpendiculares al cauce de manera automática con ayuda de HEC-RAS. Las secciones transversales se trazaron a cada 300 metros sobre el cauce y con un ancho de 600 metros para las corrientes de orden 5, 6 y 7.

Las secciones transversales se generan automáticamente pero es necesaria una revisión y edición manual para asegurarse que representan de manera adecuada la geometría del cauce. En muchos casos fue necesario modificar la posición de las secciones transversales para cubrir toda la planicie de inundación. Esta es una labor que MDE demanda un considerable esfuerzo (Figura 242).

Ya que se trazaron las secciones transversales se agrega el parámetro de Manning (rugosidad de la superficie del canal) y se tiene listo el modelo. Se realiza una modelación de tipo flujo estable para convertir los flujos máximos en altura de agua en cada sección transversal. Los resultados de la modelación en HEC-RAS son las secciones transversales y la altura del agua alcanzada con la precipitación estimada de 100 años en cada sección (Figura 243).

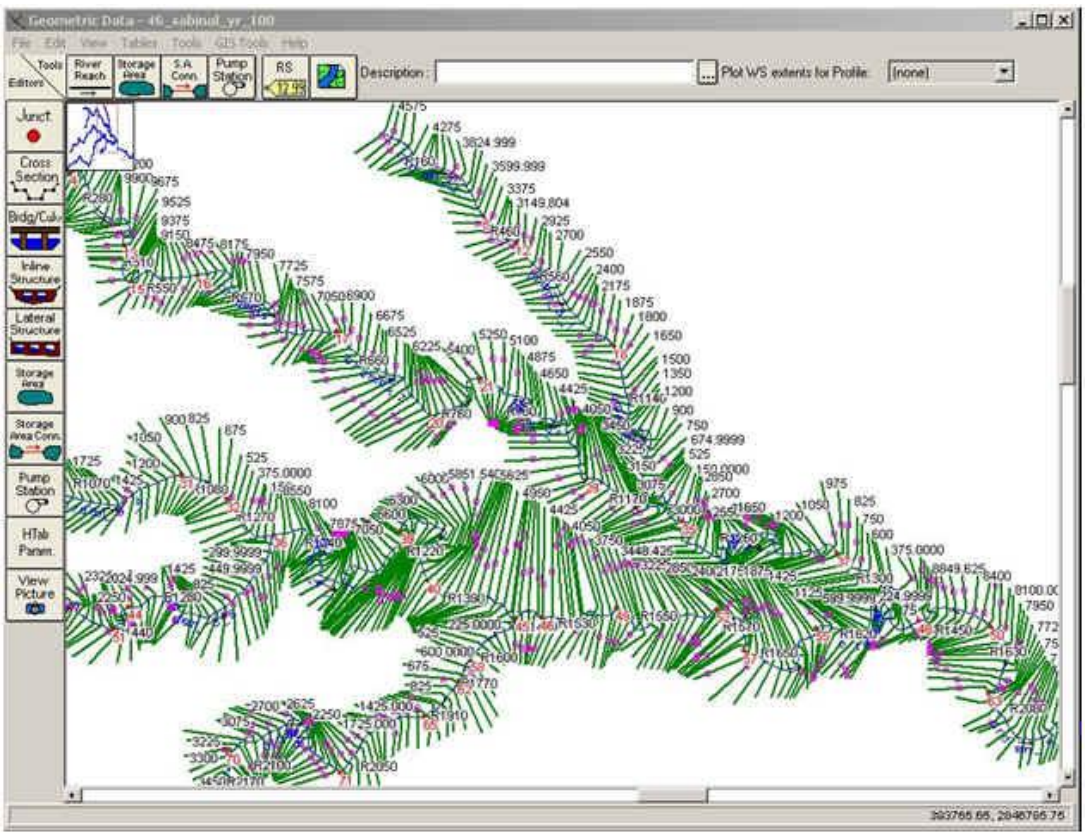


Figura 242. Porción de una cuenca mostrando las secciones transversales ya editadas para la modelación.

5.3.11.2.3.9 Precipitación

Se obtuvieron los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas, las cuales reportan datos diarios (precipitación acumulada en un periodo de 24 horas), para generar curvas I-D-Tr. A continuación se muestran ambos conjuntos de datos, sus características y el proceso de decisión para obtener los datos como entrada para el modelo hidrológico.

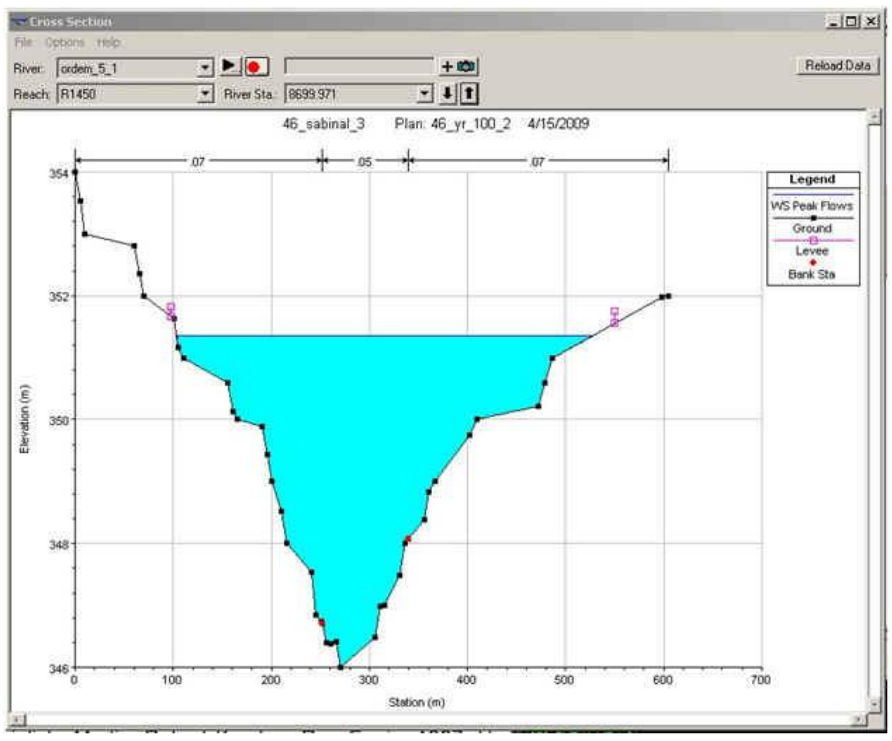


Figura 243. Ejemplo de la sección de modelo hidráulico y la altura del agua.

5.3.11.2.3.10 IDTR Saltillo CNA

Se realizó una revisión de las fuentes de información de precipitación para el cálculo de los periodos de retorno tomando como base la información proporcionada por la CNA (Tabla 57). Este análisis revelo que para la estación 5048 (Saltillo-CNA), existe información disponible para el intervalo de 1944 al año 2008. La Tabla 58 presenta el resumen del uso de datos empleados en el cálculo del periodo de retorno.

Tabla 57.Lista de estaciones meteorológicas dentro y alrededor del municipio de Saltillo.

Edo.	Clave	Nombre	Longitud	Latitud	Alt.	X	Y
Coah.	5003	ARTEAGA, ARTEAGA (SMN)	-100.850	25.433	1720	313956.0562	2814184.811
Coah.	5011	EJIDO REATA,RAMOS ARIZPE	-101.083	26.133	936	291745.2408	2892080.748
Coah.	5016	GRAL.CEPEDA, GRAL.CEPEDA	-101.467	25.367	1405	251751.4185	2807876.727
Coah.	5018	LAS NIEVES, PARRAS	-102.013	25.730	1140	197692.6274	2849236.484
Coah.	5024	PARRAS, PARRAS	-102.173	25.438	1500	180854.2556	2817246.691
Coah.	5032	RAMOS ARIZPE (SMN)	-100.983	25.533	1494	300742.7469	2825454.851
Coah.	5034	SALTILLO, COAH.	-100.983	25.417	1609	300551.3772	2812604.629
Coah.	5035	SAN A. LAS ALAZANAS(DGE)	-100.617	25.267	2170	337169.5494	2795493.726
Coah.	5037	SAN VICENTE, PARRAS	-102.217	25.617	750	176906.3316	2837194.491
Coah.	5038	SANTA TERESA, CASTAÑOS	-101.400	26.450	1010	260693.5602	2927753.349

Coah.	5048	SALTILLO, SALTILLO (DGE)	-101.000	25.417	1589	298841.0904	2812630.154
Coah.	5049	SAN A. LAS ALAZANAS(SMN)	-100.617	25.283	2300	337190.9094	2797265.9
Coah.	5056	DERRAMADERO,SALTILLO	-100.667	25.417	1750	332340.6601	2812169.884
Coah.	5060	DERRAMADERO E.T.A. 10	-101.250	25.267	1750	273408.9918	2796412.503
Coah.	5062	C.E.T.A. 21, PARRAS	-102.167	25.450		181489.7564	2818562.438
Coah.	5073	UNIVERSIDAD A. NARRO	-101.017	25.417	789	297130.7923	2812655.897
Coah.	5081	CARNEROS, SALTILLO	-101.109	25.120	2100	287357.6615	2779897.159
Coah.	5130	C.E.F.Z.A.LA SAUCEDA.R.A	-101.317	25.850	1100	267786.8556	2861120.413
Coah.	5136	LAS HORMIGAS, SALTILLO	-100.833	24.967	2110	314962.6685	2762543.338
Coah.	5140	RAMOS ARIZPE (DGE)	-100.950	25.533	1400	304059.4941	2825405.765
Coah.	5141	GOMEZ FARIAS, SALTILLO	-101.050	24.967	1920	293051.2555	2762856.858
Coah.	5142	HIPOLITO, RAMOS ARIZPE	-101.467	25.667	1150	252368.3527	2841117.133
Coah.	5144	SANTA TERESA DE SOFIA	-101.000	25.417		298841.0904	2812630.154
Coah.	5145	S. JUAN DE LA V.SALTILLO	-101.217	25.250	1760	276702.2848	2794473.806
Coah.	5146	HUACHICHIL, ARTEAGA	-100.833	25.233	2100	315362.6595	2792007.254
Coah.	5148	POTRERO DE ABREGO	-100.733	25.367	1760	325629.5605	2806716.123
Coah.	5149	CIENEGA LA PURISIMA	-101.467	26.383	2420	253868.1373	2920455.415
Coah.	5151	ALTO DE NORIAS	-101.233	25.983	980	276459.3013	2875710.242
Coah.	5152	BAJAN, CASTAÑOS	-101.217	26.517	900	279074.5988	2934849.294
Coah.	5154	HUIZACHAL, MONCLOVA	-100.950	25.700	720	304331.8168	2843905.738
Coah.	5158	EL TAQUITO, CASTAÑOS	-101.300	26.617	920	271000.0009	2946075.612
Coah.	5160	ARTEAGA, ARTEAGA	-100.833	25.450		315691.9109	2816044.311
Coah.	5162	DOS DE ABRIL	-101.567	25.350	1550	241648.2697	2806182.632
Coah.	5167	EL MARQUEZ, CASTAÑOS	-101.350	26.633	860	266052.6823	2947939.15
Coah.	5170	LA ROSA, GRAL. CEPEDA	-101.383	25.517	1230	260504.4285	2824342.718
Coah.	5173	SANTO DOMINGO	-101.067	25.617	1300	292444.916	2834889.273
Coah.	5174	EL TUNAL, ARTEAGA	-100.633	25.417	1670	335760.8218	2812127.598
Coah.	5175	LA VENTURA, SALTILLO	-100.883	24.633	1740	309403.945	2725617.075
Coah.	5176	JAME, ARTEAGA	-100.617	25.367		337303.2574	2806569.875
Coah.	5179	ESTANQUE DE LEON, C. C.	-102.207	26.099	1350	179217.0311	2890599.7
Coah.	5190	COL AGRICOLA SAN VICENTE	-102.274	25.211		170072.8747	2792329.914
N.L.	19001	ADJUNTAS, V. DE SANTIAGO	-100.200	25.350	385	379248.0016	2804245.114
N.L.	19002	AGUA BLANCA,STA.CATARINA	-100.433	25.500	2690	355977.5537	2821089.381
N.L.	19003	ALLENDE, ALLENDE	-100.033	25.283	474	395996.699	2796684.98
N.L.	19004	APODACA, APODACA	-100.183	25.783	474	381386.1798	2852185.495
N.L.	19006	BUSTAMANTE, BUSTAMANTE	-100.517	26.550	480	348885.4216	2937489.509
N.L.	19008	CADEREYTA JIMENEZ,	-100.000	25.600	349	399582.632	2831766.254
N.L.	19009	CASILLAS, RAYONES	-100.217	25.217	183	377403.5406	2789530.976
N.L.	19012	CIENEGA DE FLORES	-100.167	25.950	382	383154.9457	2870667.428
N.L.	19013	CIENEGA DEL TORO,GALEANA	-100.333	25.083	700	365570.0377	2774801.282
N.L.	19015	EL CERRITO,V.DE SANTIAGO	-100.183	25.517	90	381122.8364	2822725.141
N.L.	19017	EL MARRUBIAL,	-100.367	25.500	1225	362611.6445	2821019.581
N.L.	19018	EL PAJONAL, STA.CATARINA	-100.367	25.500	1531	362611.6445	2821019.581
N.L.	19020	EL POTOSI, GALEANA	-100.317	24.850	1725	366933.3865	2748981.397
N.L.	19021	GARZA AYALA, SABINAS H.	-100.067	26.483	1555	393653.8497	2929616.436
N.L.	19025	HIGUERAS, HIGUERAS (SMN)	-100.017	25.967	412	398189.2729	2872424.965
N.L.	19026	ICAMOLE, GARCIA	-100.733	25.917	580	326427.2386	2867639.699
N.L.	19029	LA ARENA, PESQUERIA	-99.933	25.733	223	406414.8819	2846446.67
N.L.	19030	CIENEGA DE G., SANTIAGO	-100.283	25.350	1435	370895.1267	2804322.617
N.L.	19031	LA CRUZ, STA. CATARINA	-100.450	25.467	445	354228.9471	2817452.869
N.L.	19032	LA CARBONERA, GALEANA	-99.971	24.796	1650	401852.441	2742708.238
N.L.	19033	LAGUNA DE SANCHEZ, STGO.	-100.283	25.350	1925	370895.1267	2804322.617
N.L.	19036	LA POPA, MINA	-100.833	26.183	825	316823.5724	2897243.347
N.L.	19037	LAS PRESAS, ARAMBERRI	-100.033	24.317	223	395187.6513	2689712.678
N.L.	19038	LAS COMITAS,STA.CATARINA	-100.333	25.533	223	366065.7974	2824639.833
N.L.	19044	MAMULIQUE, SALS.VICTORIA	-100.250	26.117	308	375020.9786	2889241.153
N.L.	19045	MINA, MINA	-100.550	26.033	500	344911.2687	2880259.228
N.L.	19047	MIMBRES, GALEANA	-100.250	24.967	1750	373822.7043	2761874.739
N.L.	19049	MONTERREY,MONTERREY(DGE)	-100.317	25.683	537	367838.6706	2841237.229
N.L.	19050	RAICES, GALEANA	-100.200	24.567	1800	378481.5696	2717532.782
N.L.	19051	POTRERO REDONDO,SANTIAGO	-100.167	25.333	1350	382552.5632	2802333.017
N.L.	19052	MONTERREY, N.L.	-100.300	25.683	512	369544.8108	2841220.339
N.L.	19053	RAYONES, RAYONES	-100.083	25.017	432	390725.6165	2767266.906
N.L.	19054	RINCONADA, GARCIA	-100.717	25.700	989	327716.3518	2843581.109
N.L.	19057	SAN RAFAEL, GALEANA	-100.550	25.033	1714	343619.4213	2769496.992
N.L.	19058	SANTA CATARINA	-100.467	25.683	113	352784.1649	2841395.773
N.L.	19059	SANTA ROSA, DR. ARROYO	-100.283	24.183	1640	369682.6009	2675085.207
N.L.	19060	SOMBRERETILLO,SABINAS H.	-100.000	26.300	339	400174.7913	2909293.636
N.L.	19061	TOPO CHICO, MONTERREY	-100.417	25.800	523	357941.6238	2854300.059
N.L.	19062	TUNEL SAN FRANCISCO	-100.183	25.417	555	381024.4965	2811650.086
N.L.	19063	VALLECILLO (DGE)	-99.967	26.667	274	403775.1838	2949917.755
N.L.	19065	SANTIAGO, SANTIAGO	-100.167	25.933	484	383138.1669	2868784.558
N.L.	19067	EL RUSIO, GALEANA	-100.450	24.717	1750	353337.2999	2734388.251
N.L.	19069	LA BOCA, SANTIAGO	-100.150	25.417	445	384343.6273	2811621.078
N.L.	19073	GALEANA, GALEANA (SMN)	-100.067	24.817	1654	392166.3443	2745106.131
N.L.	19076	SABINAS HIDALGO (SMN)	-100.167	26.583	313	383787.0085	2940779.682
N.L.	19077	VALLECILLO (SMN)	-100.000	26.667	272	400491.2028	2949943.057
N.L.	19079	EL REFUGIO, GALEANA	-100.533	24.500	1908	344673.0236	2710447.163
N.L.	19080	HEDIONDA GRANDE,GALEANA	-100.167	24.300		381574.5054	2687937.716
N.L.	19081	MONTERREY (SENEAM)	-100.100	25.767	386	389694.0664	2850341.314
N.L.	19084	E.T.A. 44 SABINAS HGO.	-100.083	26.500	300	392074.9196	2931512.756
N.L.	19085	GALEANA, GALEANA (DGE)	-100.083	24.833	1670	390563.2828	2746890.689
N.L.	19088	DOCTOR ARROYO 2, (DGE)	-100.200	25.667	1706	379564.7038	2839353.368
N.L.	19091	PABLILLO, GALEANA	-100.400	24.917	512	358622.5102	2756485.123
N.L.	19092	SAN FPE. DE CIENEGUILLAS	-100.000	24.583	1680	398748.9934	2719142.824
N.L.	19093	SAN JUANITO RESENDIZ	-99.967	24.450	1680	401987.3387	2704391.625
N.L.	19095	OJO DE AGUA DE SABINAS	-100.083	26.500	300	392074.9196	2931512.756
N.L.	19096	LA HUASTECA,STA.CATARINA	-100.467	25.533	410	352600.2671	2824781.682
N.L.	19102	COLA DE CABALLO	-100.417	25.683	332	357802.4008	2841341.025
N.L.	19105	DOCTOR GOZALEZ	-99.967	25.750	318	403018.094	2848353.968
N.L.	19110	EL ALAMO, V. DE SANTIAGO	-100.367	26.417	180	363672.5677	2922588.919
N.L.	19113	EL BRASIL, DOCTOR COSS	-99.983	25.883	90	401523.3974	2863095.725
N.L.	19115	EL CUIJE, GALEANA	-100.700	25.167	131	328669.9339	2784520.732
N.L.	19119	ESPINAZO, MINA	-100.550	26.033	510	344911.2687	2880259.228
N.L.	19124	HIGUERAS, HIGUERAS (DGE)	-99.961	25.843	1110	403695.0643	2858649.349
N.L.	19127	OASIS, VALLECILLOS	-100.000	26.611	270	400442.6581	2943740.289
N.L.	19129	EL PEÑUELO, GALEANA	-100.750	24.583	153	322798.5205	2719901.245
N.L.	19131	PTO. EL EBANO,SABINAS H.	-100.083	25.500	300	391157.0902	2820756.794
N.L.	19133	SABINAS HIDALGO (DGE)	-100.083	26.500	300	392074.9196	2931512.756

N.L.	19134	SALINAS VICTORIA	-100.300	25.917	300	369800.7923	2867137.818
N.L.	19135	SAN FCO. DE BERLANGA	-100.000	24.800	1680	398924.2058	2743172.333
N.L.	19137	SAN JORGE, GALEANA	-100.350	24.550	1680	363271.5768	2715790.736
N.L.	19138	SANTA ANA, DR. ARROYO	-100.417	24.117	230	355996.1624	2667907.863
N.L.	19140	TEPEHUAJE, CEDEREYTA	-100.250	25.533	339	374406.1515	2824558.786
N.L.	19141	VILLALDAMA,VILLALDAMA	-100.450	26.500	272	355497.8363	2931873.578
N.L.	19144	CIENEGUILLAS Y CRUCITAS	-100.000	24.583	382	398748.9934	2719142.824
N.L.	19148	DIECIOCHO DE MARZO	-100.183	25.883	332	381485.8415	2863261.082
N.L.	19150	LOS LERMAS, GUADALUPE	-100.283	25.350	1435	370895.1267	2804322.617
N.L.	19151	LAS MARGARITAS,DR.ARROYO	-100.200	24.367	223	378289.4276	2695385.427
N.L.	19155	LA POZA, GALEANA	-100.017	24.717	200	397137.4701	2733993.9
N.L.	19157	EL CUIJE, GALEANA	-100.700	25.167	330	328669.9339	2784520.732
N.L.	19158	RANCHO DE GOMAS	-100.250	26.117	200	375020.9786	2889241.153
N.L.	19160	SAN ANTONIO DE TEXAS	-100.217	24.300	1680	376500.079	2687981.166
N.L.	19165	CHUPADEROS DEL INDIO	-100.800	25.817	270	319563.4623	2856652.6
N.L.	19167	LAGUNA DE SANTA ROSA	-100.300	24.167		367939.2072	2673329.387
N.L.	19168	LAS ESTACAS, MINAS	-100.833	26.183	825	316823.5724	2897243.347
N.L.	19170	EL HOJASE, SALINAS V.	-100.250	26.117	200	375020.9786	2889241.153
N.L.	19173	LOS PALMITOS, CADEREYTA	-100.000	25.600	349	399582.632	2831766.254
N.L.	19174	SAN BARTOLO, C. JIMENEZ	-100.250	25.533	350	374406.1515	2824558.786
N.L.	19175	SANTA CRUZ, STA.CATARINA	-100.433	25.500	269	355977.5537	2821089.381
N.L.	19176	OJO DE AGUA, BUSTAMANTE	-100.183	26.500	512	382108.7162	2931600.703
N.L.	19177	POZOS MINA, MINA	-100.417	26.167	1350	358382.1666	2894950.61
N.L.	19178	SIERRA MORENA,BUSTAMANTE	-100.517	26.383	480	348667.0786	2918990.178
N.L.	19179	CERRITO DEL AIRE	-100.233	25.589	1630	376171.9936	2830745.008
N.L.	19180	S.ANTONIO DEL SALERO	-100.248	24.464	1820	373517.2298	2706169.872
N.L.	19181	SN ISIDRO DE CIENEGA	-100.512	25.201	2190	347662.3231	2788060.494
N.L.	19182	SAN ROBERTO, GALEANA	-100.303	24.710	1960	368200.2649	2733463.64
N.L.	19185	EL CANADA, GRAL. BRAVO	-100.275	25.801	470	372180.162	2854265.219
N.L.	19189	EL PASTOR, MONTEMORELOS	-99.926	25.149	495	406667.999	2781767.007
S.L.P	. 024155	ESC. AGRON., SOLEDAD G S	-100.850	24.233	1835	312153.0526	2681268.314
S.L.P	. 024175	EL SALADO, VENEGAS	-100.867	24.317	1715	310551.1644	2690594.905
Zac.	32004	CAMACHO, MAZAPIL	-102.300	24.417	1665	165321.2156	2704382.596
Zac.	32007	CEDROS, MAZAPIL	-101.783	24.683	2000	218379.4142	2732705.204
Zac.	32010	COAPAS, MAZAPIL	-102.150	24.783	2000	181473.6138	2744592.82
Zac.	32011	CONCEPCION DE LA NORMA	-101.967	24.533	2000	199390.522	2716472.849
Zac.	32022	GRUÑIDORA, MAZAPIL	-101.933	24.233	1919	202134.1296	2683154.356
Zac.	32036	MAZAPIL, MAZAPIL	-101.600	24.700	2250	236942.1238	2734225.07
Zac.	32040	NUEVO MERCURIO, MAZAPIL	-102.133	24.183	2000	181685.3228	2678054.993
Zac.	32052	SAN RAFAEL, MAZAPIL	-101.983	24.583	1706	197888.4839	2722048.901
Zac.	32077	SAN TIBURCIO, MAZAPIL	-101.483	24.133	2000	247658.6876	2671188.104
Zac.	32082	EL SALVADOR, EL SALVADOR	-100.872	24.521	1715	310348.9828	2713196.599
Zac.	32087	CONCEPCION DEL ORO	-101.400	24.617	2070	257024.6313	2724660.392
Zac.	32091	EL SALVADOR E.T.A. 145	-100.850	24.333	1700	312300.1723	2692343.963
Zac.	32092	CAMACHO, MAZAPIL	-102.350	24.483	1664	160423.771	2711820.295
Zac.	32141	SAN SALVADOR	-100.867	24.550	2000	310899.1266	2716401.789

Tabla 58. Estadísticas básicas de la estación 5048, Saltillo.

Parámetros	Valor
Media	1.0
Error típico	0.0
Mediana	0.0
Moda	0.0
Desviación Estándar	4.2
Varianza de la muestra	17.4
Curtosis	181.87
Coeficiente de asimetría	9.60
Rango	160.0 mm
Mínimo	0.0 mm
Máximo	160.0 mm
Mes con mayor precipitación	Septiembre, 67.8 mm
Lluvia anual	389.1 mm

Para crear las curvas I – D – Tr (Intensidad, duración, periodo de retorno) y HP – D – Tr se utilizó el método propuesto por Campos (Pereyra et al, 2005). Campos a su vez se basó en el método de Chen (1983) Este método utiliza registros pluviométricos diarios. Utiliza la distribución de Gumbel y un “cociente lluvia-duración” (R) para calcular la altura de precipitación de una lluvia con un periodo de retorno de 2 años y duración de 60 minutos. Después se calculan otras precipitaciones con diferentes periodos de retorno y duraciones en base a esta lluvia y 3 parámetros regionales propuestos en la metodología de Chen (1983).

Los resultados finales se presentan en la Tabla 59 y las Figura 244 y Figura 245.

Tabla 59. Estación Saltillo, datos del intensidad, duración y periodos de retorno.

PR	a	b	c	P10	F	Tr	t	alpha Tr	(t+b)^c	i Tr	Hp
				mm		años	minutos			mm/hr	mm
5	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	5	1076.86	9.65	111.6	9.30
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	10	1076.86	12.17	88.5	14.74
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	15	1076.86	14.59	73.8	18.45
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	20	1076.86	16.92	63.6	21.21
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	30	1076.86	21.41	50.3	25.15
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	45	1076.86	27.80	38.7	29.06
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	60	1076.86	33.89	31.8	31.77
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	80	1076.86	41.68	25.8	34.45
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	100	1076.86	49.18	21.9	36.50
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	120	1076.86	56.44	19.1	38.16
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	140	1076.86	63.52	17.0	39.56
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	180	1076.86	77.21	13.9	41.84
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	240	1076.86	96.86	11.1	44.47
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	300	1076.86	115.71	9.3	46.53
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	360	1076.86	133.94	8.0	48.24
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	600	1076.86	202.55	5.3	53.17

	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	549	1076.86	188.43	5.7	52.29
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	900	1076.86	282.01	3.8	57.28
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	1200	1076.86	357.01	3.0	60.33
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	5	1440	1076.86	414.69	2.6	62.32
10	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	5	1304.17	9.65	135.1	11.26
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	10	1304.17	12.17	107.1	17.86
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	15	1304.17	14.59	89.4	22.35
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	20	1304.17	16.92	77.1	25.69
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	30	1304.17	21.41	60.9	30.46
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	45	1304.17	27.80	46.9	35.19
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	60	1304.17	33.89	38.5	38.48
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	80	1304.17	41.68	31.3	41.72
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	100	1304.17	49.18	26.5	44.20
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	120	1304.17	56.44	23.1	46.21
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	180	1304.17	77.21	16.9	50.67
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	240	1304.17	96.86	13.5	53.86
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	300	1304.17	115.71	11.3	56.35
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	360	1304.17	133.94	9.7	58.42
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	420	1304.17	151.67	8.6	60.19
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	600	1304.17	202.55	6.4	64.39
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	720	1304.17	234.99	5.5	66.60
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	900	1304.17	282.01	4.6	69.37
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	1200	1304.17	357.01	3.7	73.06
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	10	1440	1304.17	414.69	3.1	75.48
25	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	5	1604.66	9.65	166.3	13.85
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	10	1604.66	12.17	131.8	21.97
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	15	1604.66	14.59	110.0	27.50
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	20	1604.66	16.92	94.8	31.61
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	30	1604.66	21.41	75.0	37.48
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	45	1604.66	27.80	57.7	43.30
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	60	1604.66	33.89	47.3	47.35
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	80	1604.66	41.68	38.5	51.33
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	100	1604.66	49.18	32.6	54.38
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	120	1604.66	56.44	28.4	56.86
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	180	1604.66	77.21	20.8	62.35
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	240	1604.66	96.86	16.6	66.27
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	300	1604.66	115.71	13.9	69.34
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	360	1604.66	133.94	12.0	71.88
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	420	1604.66	151.67	10.6	74.06
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	600	1604.66	202.55	7.9	79.22
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	720	1604.66	234.99	6.8	81.94
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	900	1604.66	282.01	5.7	85.35
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	1200	1604.66	357.01	4.5	89.89
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	25	1440	1604.66	414.69	3.9	92.87
50	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	5	1831.97	9.65	189.8	15.82
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	10	1831.97	12.17	150.5	25.08
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	15	1831.97	14.59	125.6	31.39
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	20	1831.97	16.92	108.2	36.08
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	30	1831.97	21.41	85.6	42.79
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	45	1831.97	27.80	65.9	49.43
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	60	1831.97	33.89	54.1	54.06
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	80	1831.97	41.68	44.0	58.60
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	100	1831.97	49.18	37.3	62.09
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	120	1831.97	56.44	32.5	64.91
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	180	1831.97	77.21	23.7	71.18
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	240	1831.97	96.86	18.9	75.65
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	300	1831.97	115.71	15.8	79.16
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	360	1831.97	133.94	13.7	82.06
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	420	1831.97	151.67	12.1	84.55
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	600	1831.97	202.55	9.0	90.45
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	720	1831.97	234.99	7.8	93.55
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	900	1831.97	282.01	6.5	97.44
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	1200	1831.97	357.01	5.1	102.63
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	50	1440	1831.97	414.69	4.4	106.02
100	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	5	2059.28	9.65	213.4	17.78
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	10	2059.28	12.17	169.2	28.20
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	15	2059.28	14.59	141.2	35.29
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	20	2059.28	16.92	121.7	40.56
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	30	2059.28	21.41	96.2	48.09
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	45	2059.28	27.80	74.1	55.56
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	60	2059.28	33.89	60.8	60.76
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	80	2059.28	41.68	49.4	65.87
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	100	2059.28	49.18	41.9	69.79
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	120	2059.28	56.44	36.5	72.97
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	180	2059.28	77.21	26.7	80.01
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	240	2059.28	96.86	21.3	85.04
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	300	2059.28	115.71	17.8	88.98
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	360	2059.28	133.94	15.4	92.25
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	420	2059.28	151.67	13.6	95.04
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	600	2059.28	202.55	10.2	101.67
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	720	2059.28	234.99	8.8	105.16
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	900	2059.28	282.01	7.3	109.53
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	1200	2059.28	357.01	5.8	115.36
	31.809	10.457	0.828	41	1.579	100	1440	2059.28	414.69	5.0	119.18

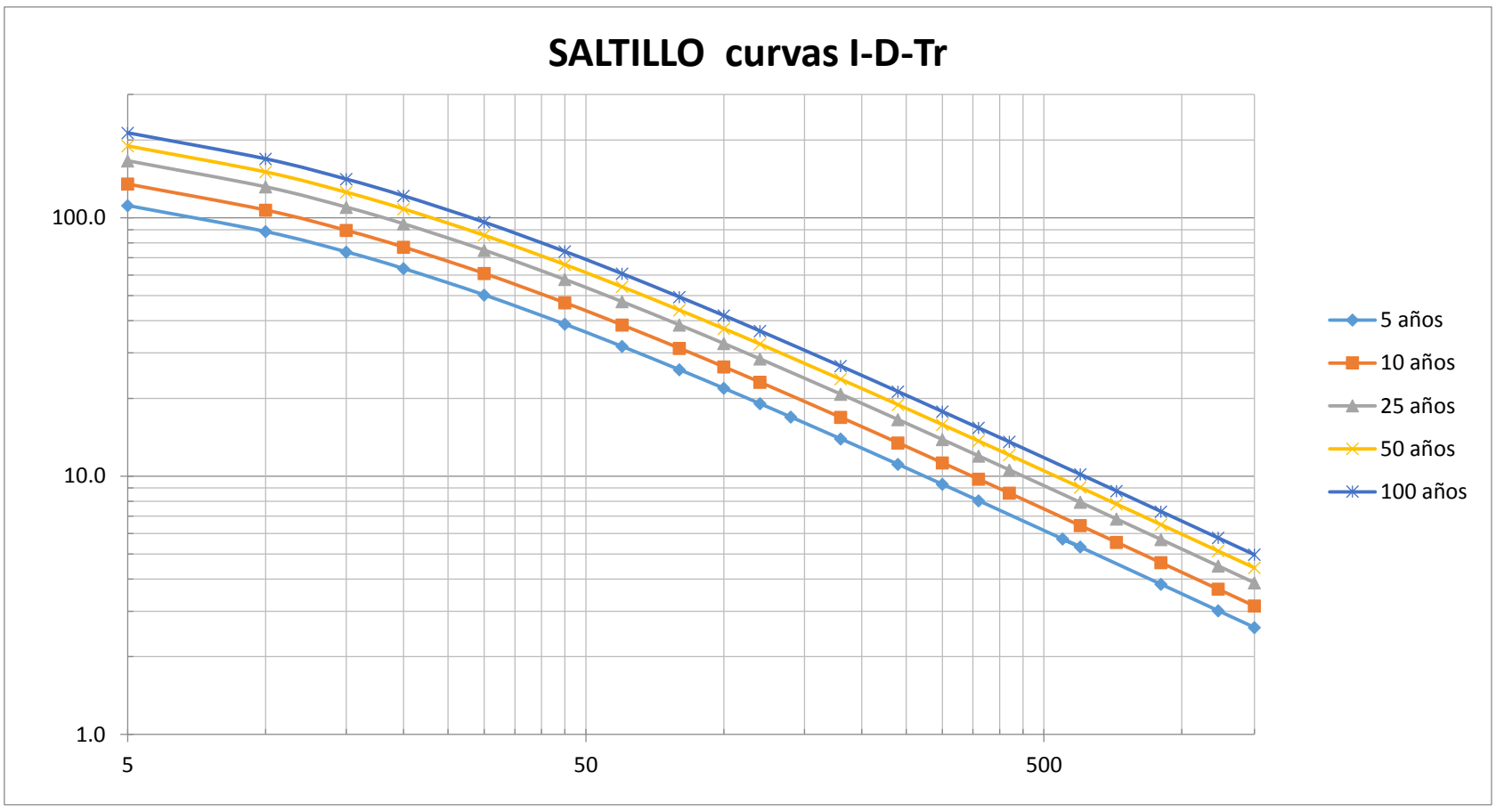


Figura 244. Curvas I-D-Tr de la estación Saltillo (5048)

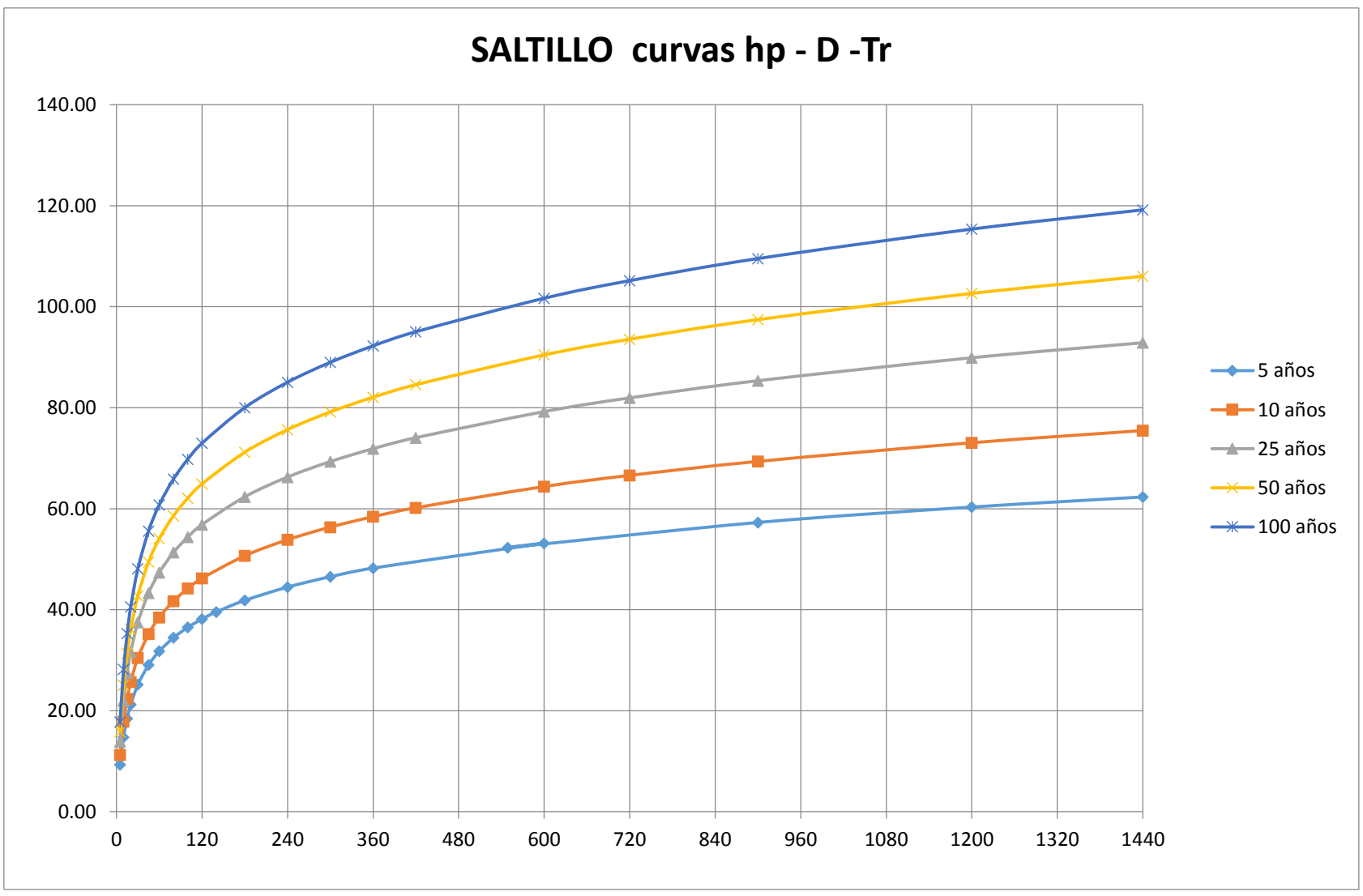


Figura 245. Curvas Hp-D-Tr, Estación Saltillo.

5.3.11.3 Resultados

El primer paso en la modelación hidrológica consiste en la construcción de una red hidrológica consistente con las condiciones del terreno y que no presente discontinuidades que no estén presente en el terreno. Para la zona urbana se empleó una superficie de acumulación de 100 Ha para determinar el inicio del escurrimiento. En la Figura 246 se muestra un ejemplo de los resultados de la construcción de la red en la zona urbana, contrastada con la red hidrológica entregada al ITESM por la Dirección de Protección Civil. Una vez construida la red hidrológica se procede a la delimitación de las cuencas (Figura 247).

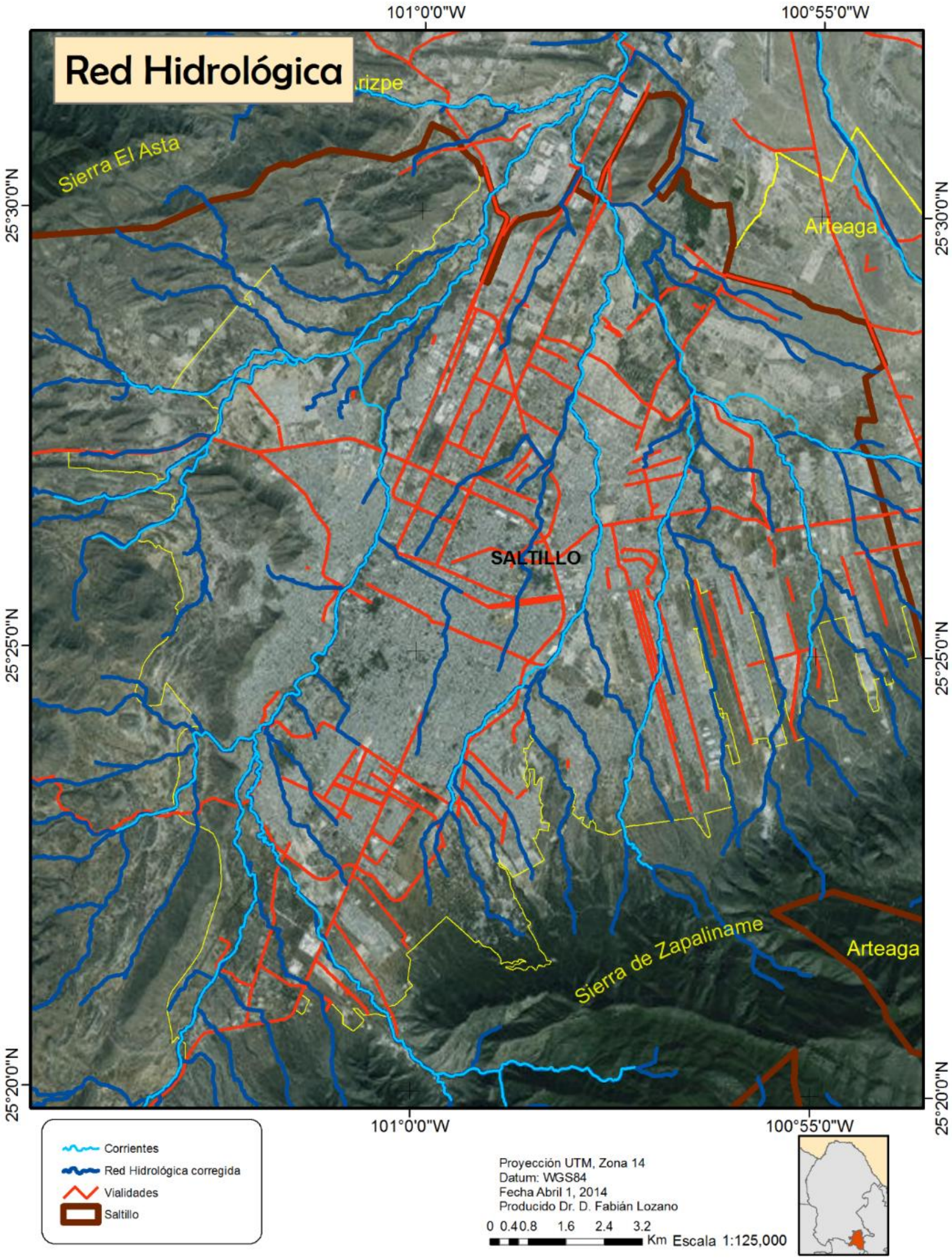


Figura 246. Red hidrológica corregida para la zona urbana de Saltillo.

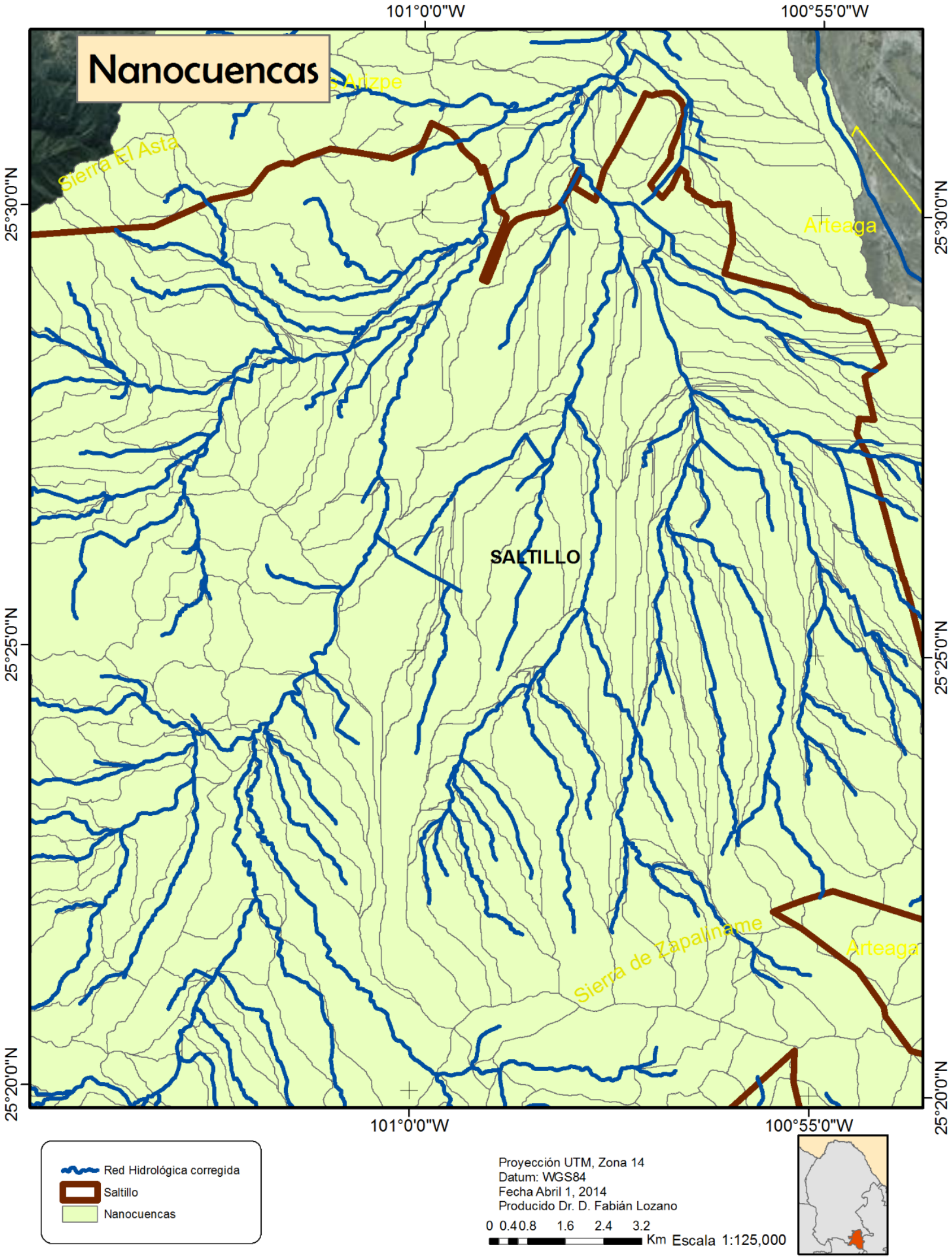
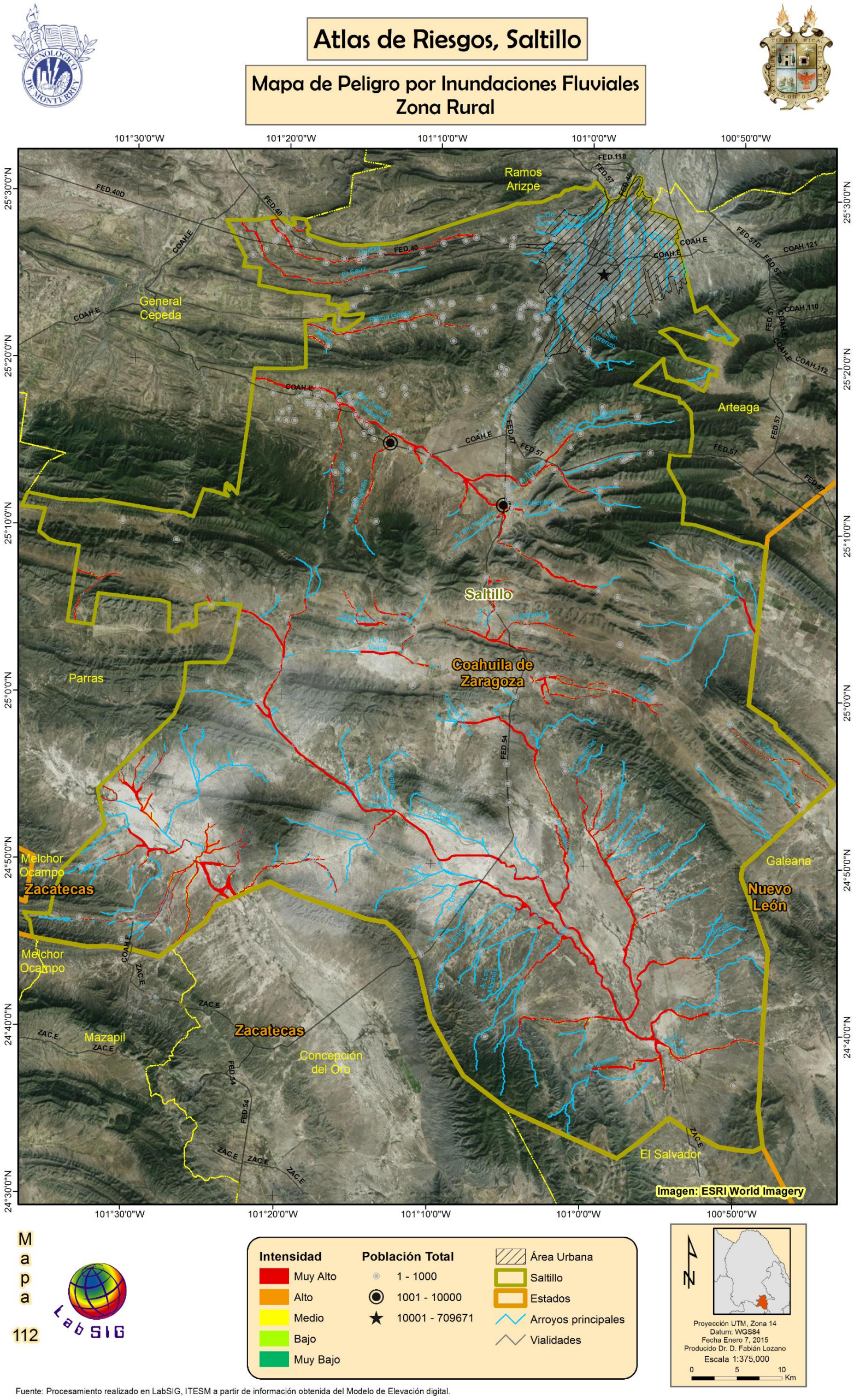


Figura 247. Delimitación de las nanocuencas en la zona urbana d Saltillo.

En la Figura 248 y 229 se muestran los mapas resultantes, a nivel rural y urbano respectivamente, de calcular y estimar las planicies de inundación fluvial con diferentes niveles de peligro en base a los periodos de retorno, de 5, 10, 25, 50 y 100 años, donde el periodo de retorno 5 simboliza una intensidad de peligro Muy Alto y el periodo de retorno de 100 años, simboliza una intensidad de peligro Muy Baja. En las figuras 225, 226, 227, 228, 230, 231, 232, 233, se muestran acercamientos a distintas zonas a nivel rural y urbano para ejemplificar y visualizar mejor los resultados.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida del Modelo de Elevación digital.

Figura 248. Mapa de peligro por inundación fluvial, para la zona rural.

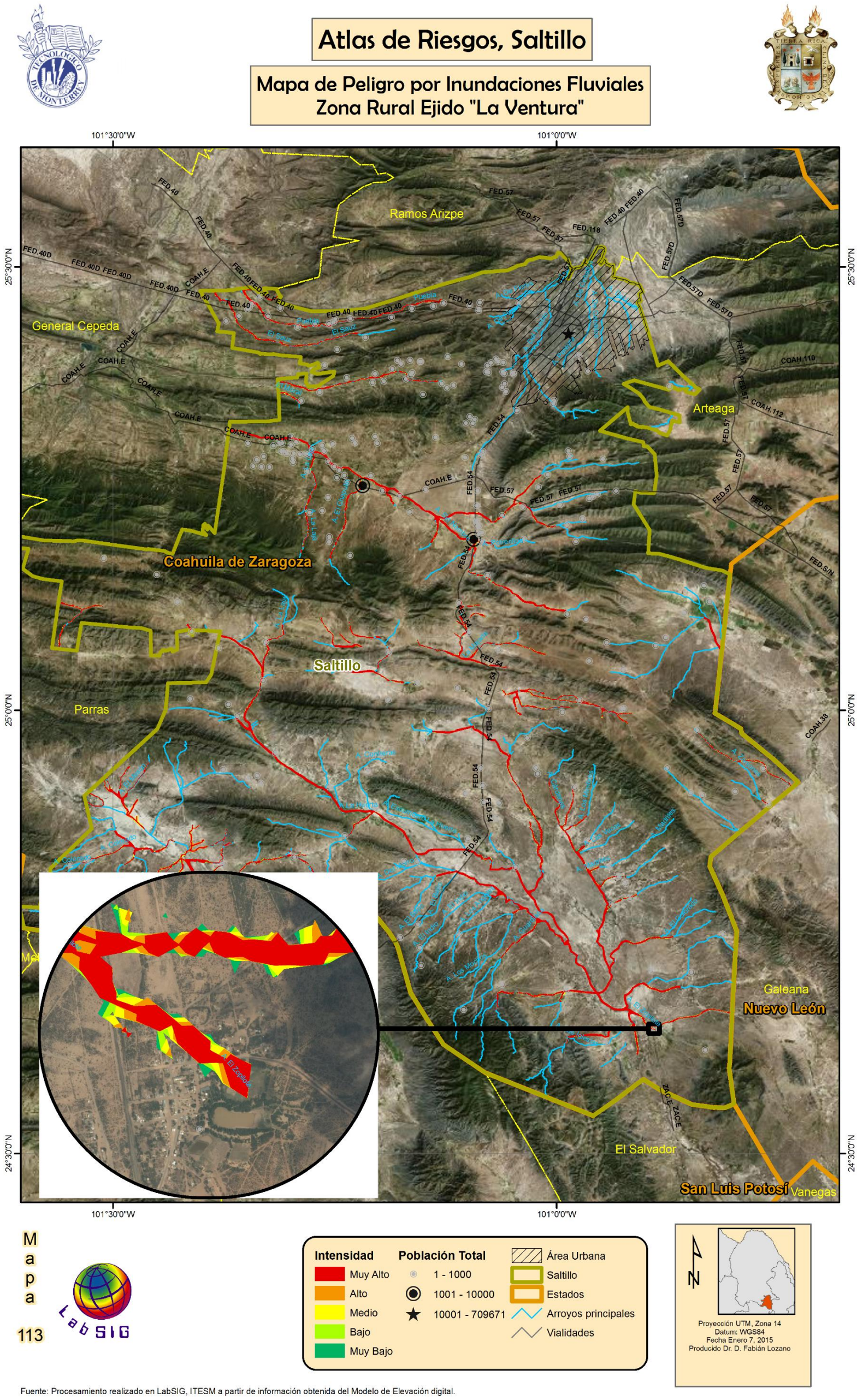


Figura 249. Ejemplo de inundación fluvial, ejido “La Ventura”, zona rural.

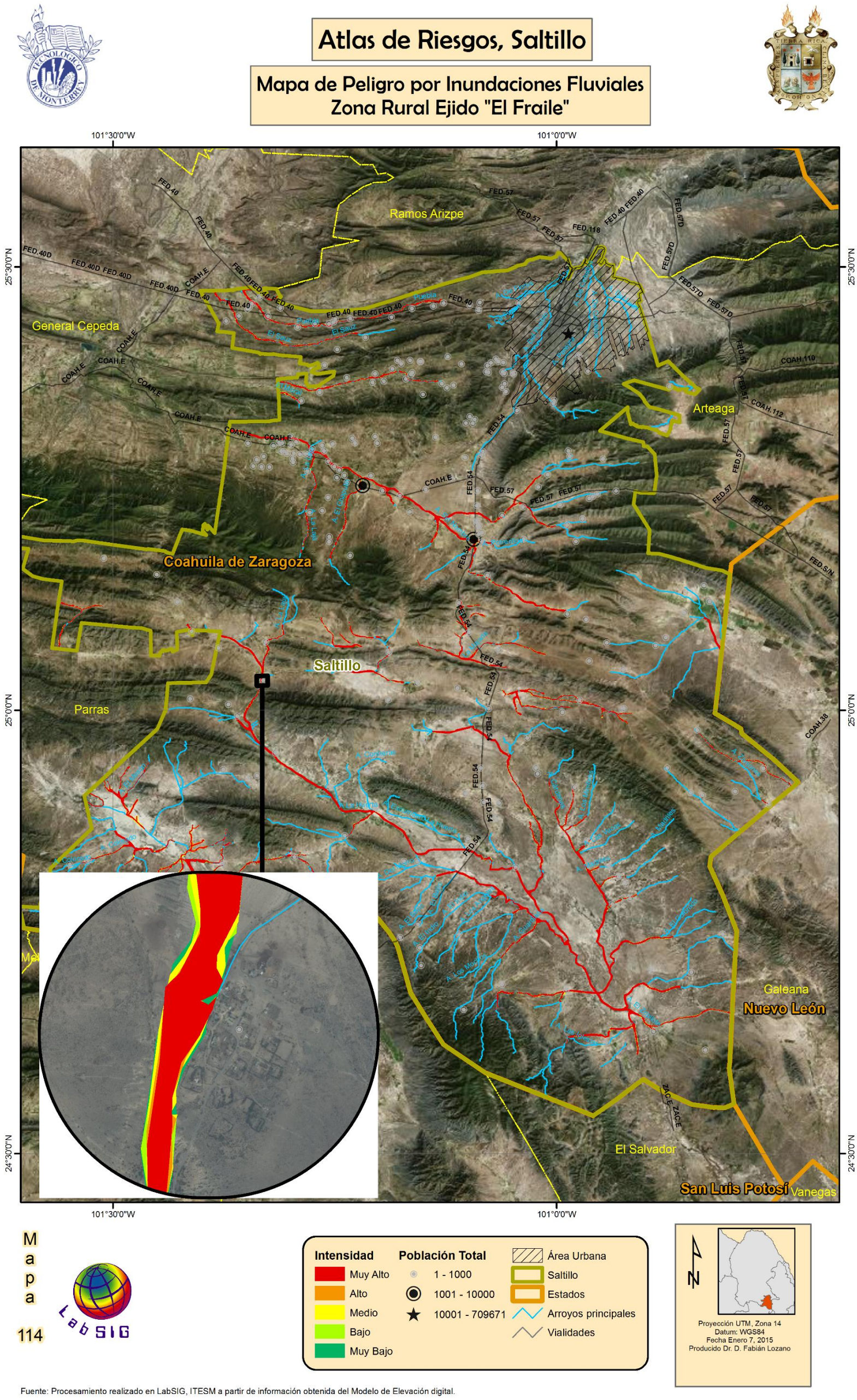


Figura 250. Ejemplo de inundación fluvial, ejido “El Fraile”, zona rural.

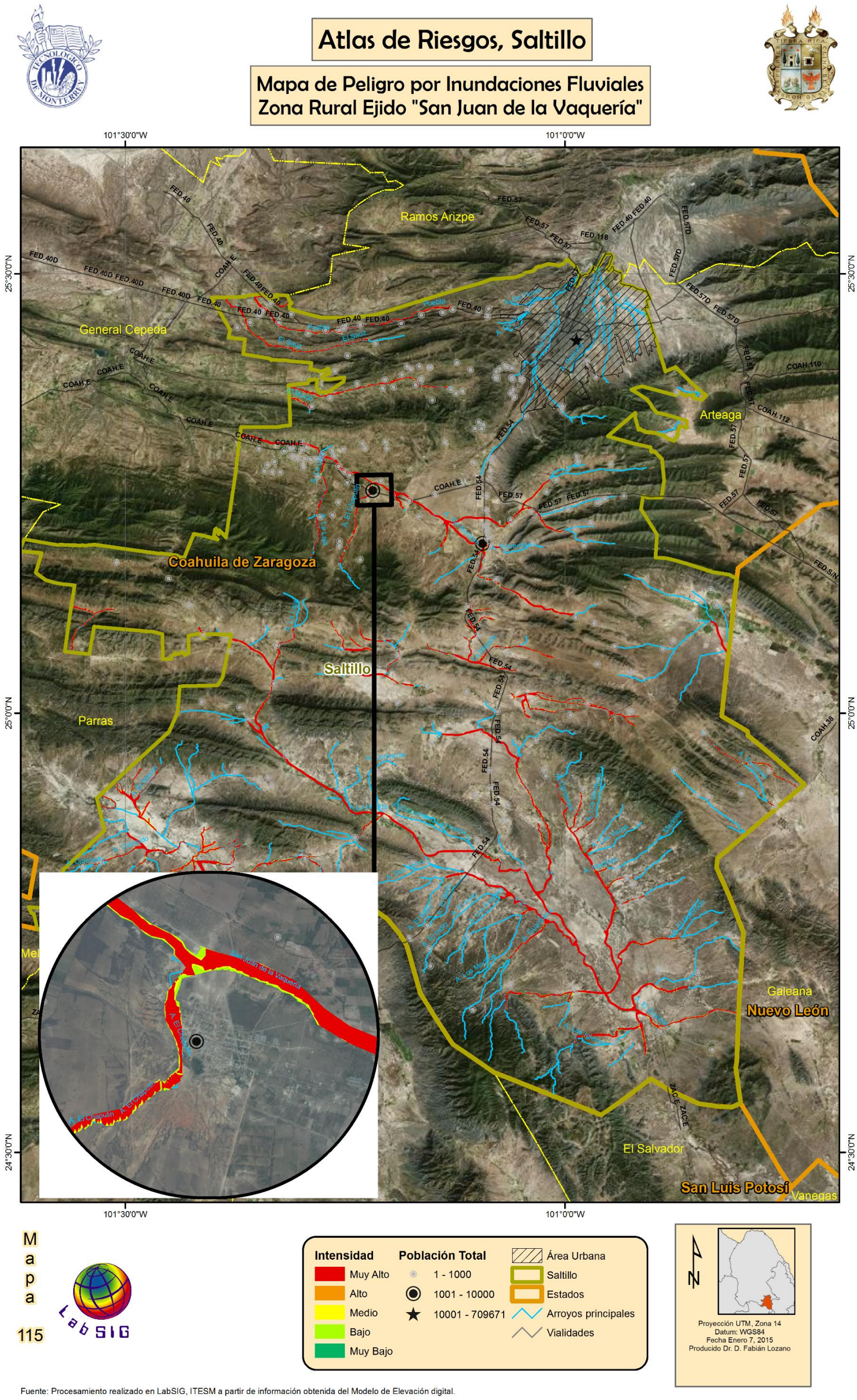


Figura 251. Ejemplo de inundación fluvial, ejido “San Juan de la Vaquería”, zona rural.

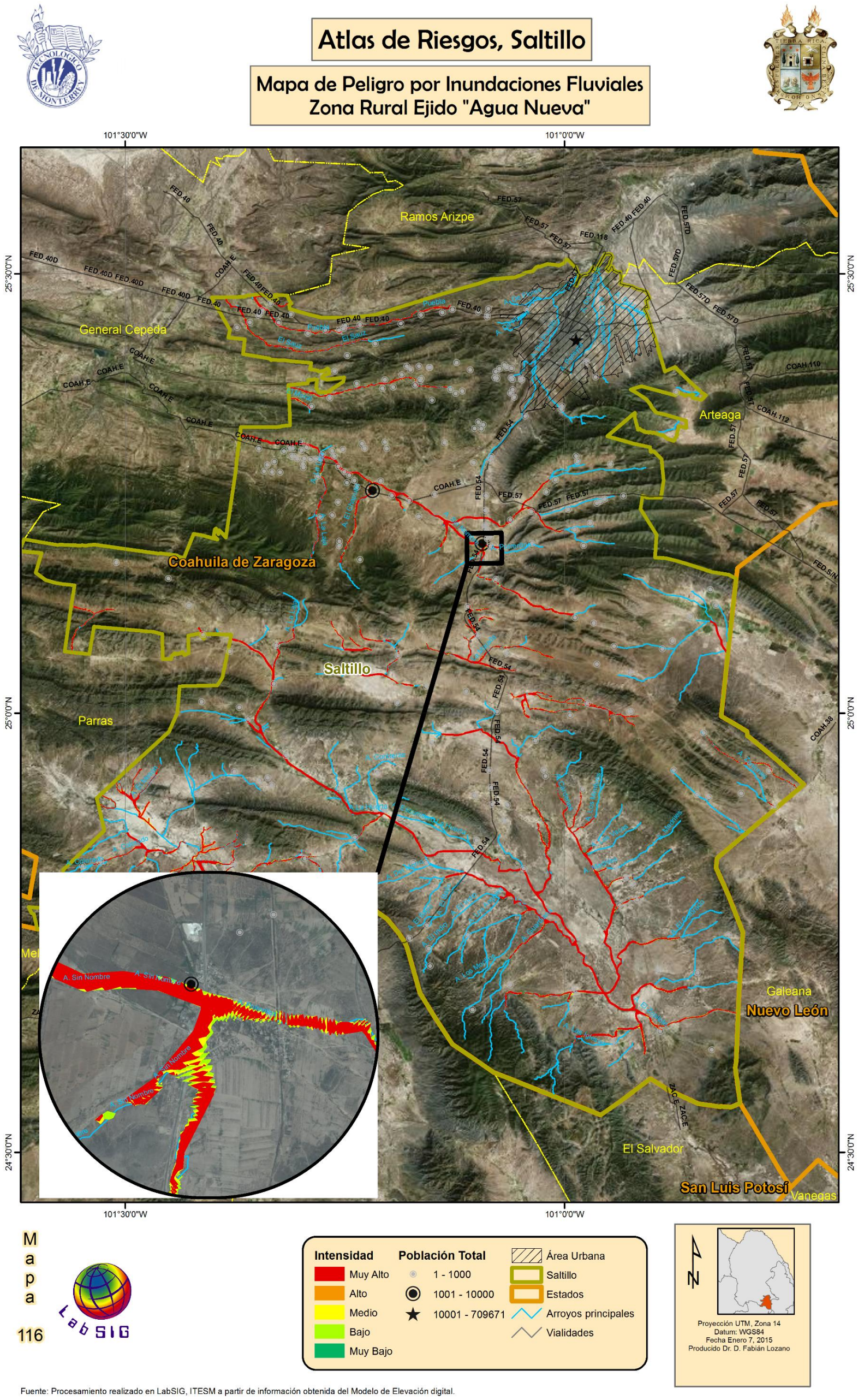


Figura 252. Ejemplo de inundación fluvial, ejido “Agua Nueva”, zona rural.



Figura 253. Mapa de peligro por inundación fluvial, para la zona urbana.

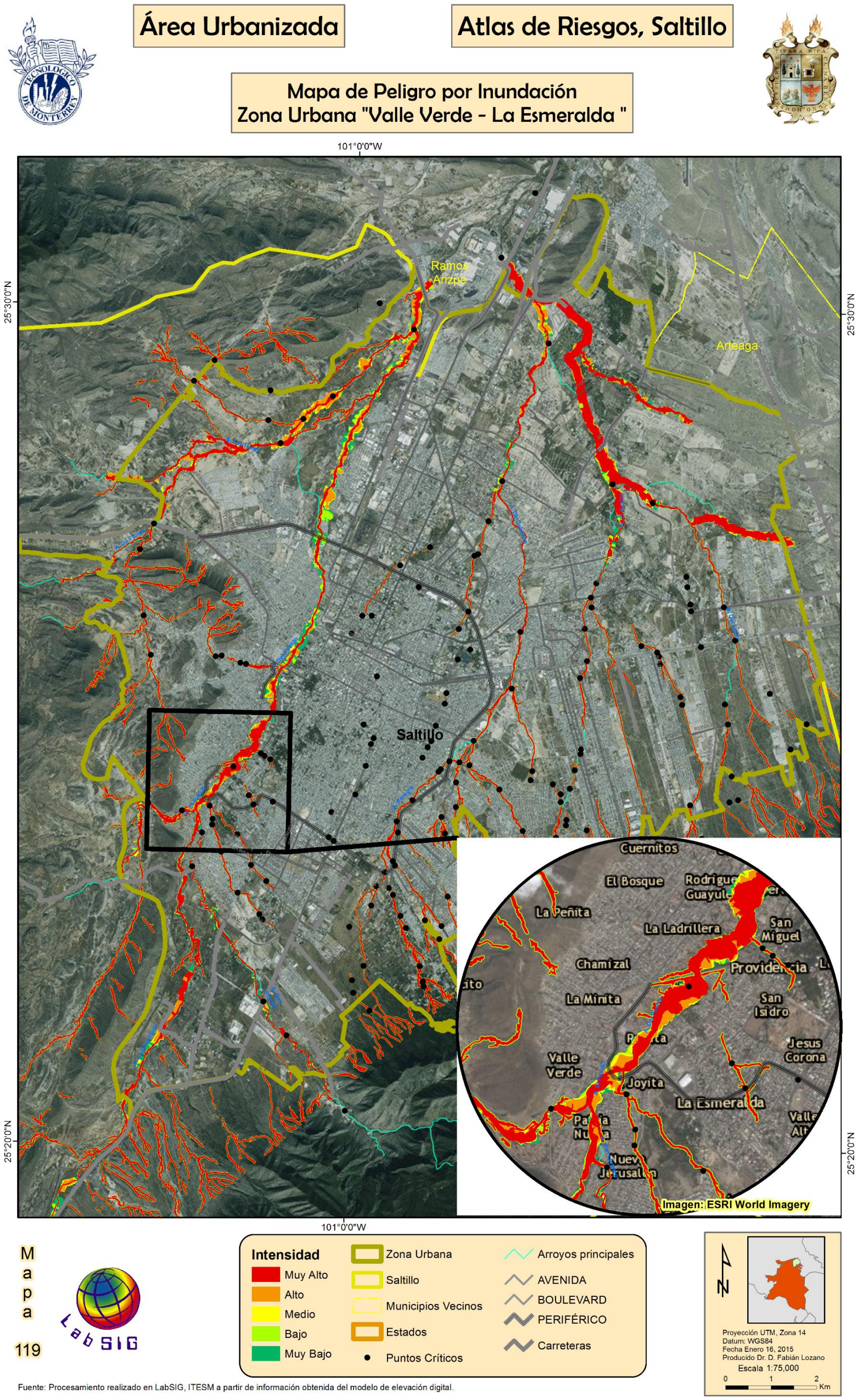


Figura 254. Ejemplo de inundación fluvial urbana, Zona “Valle verde – La Esmeralda”.

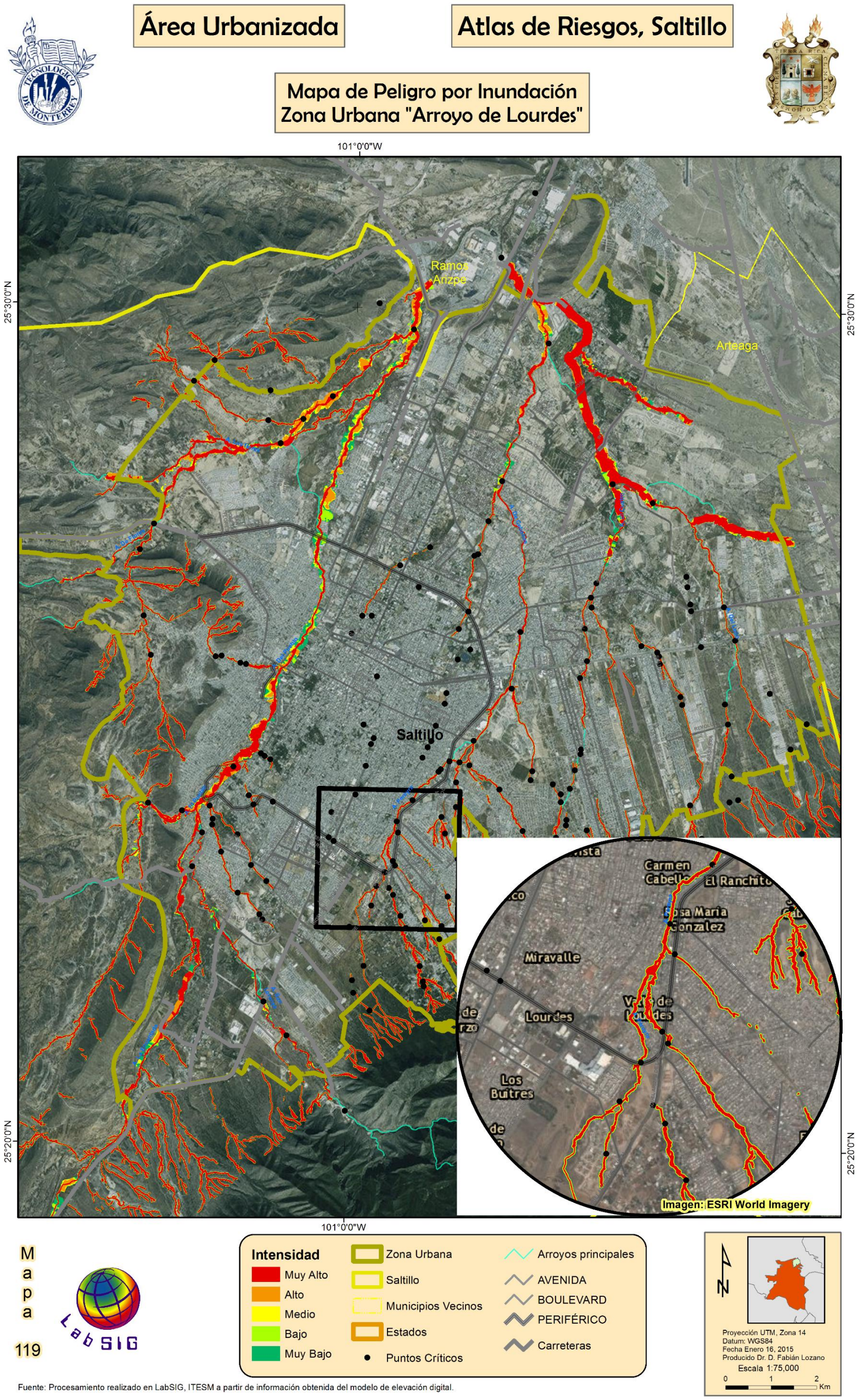


Figura 255. Ejemplo de inundación fluvial, Arroyo de Lourdes, zona urbana.

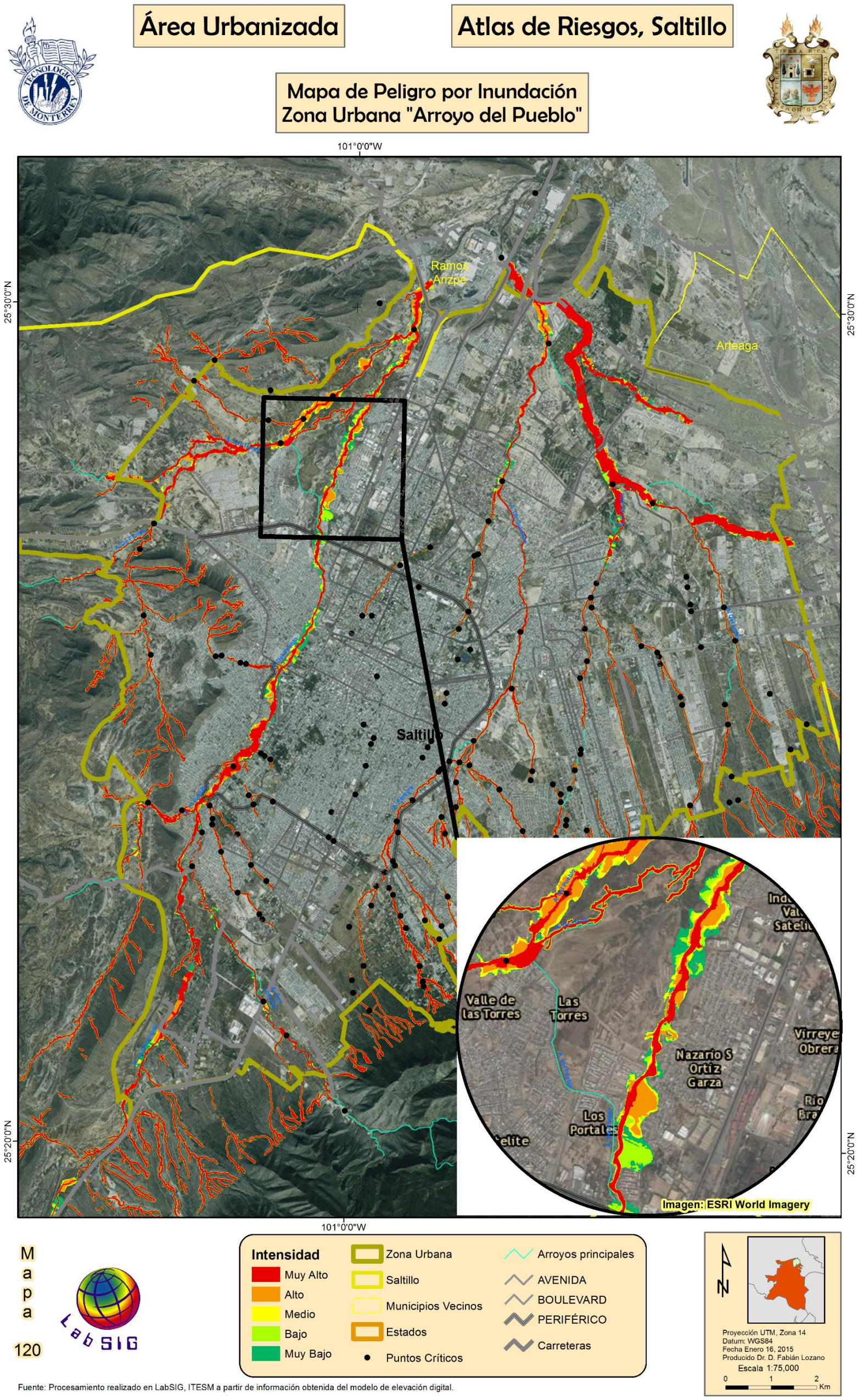


Figura 256. Ejemplo de inundación fluvial, Arroyo del Pueblo, zona urbana.

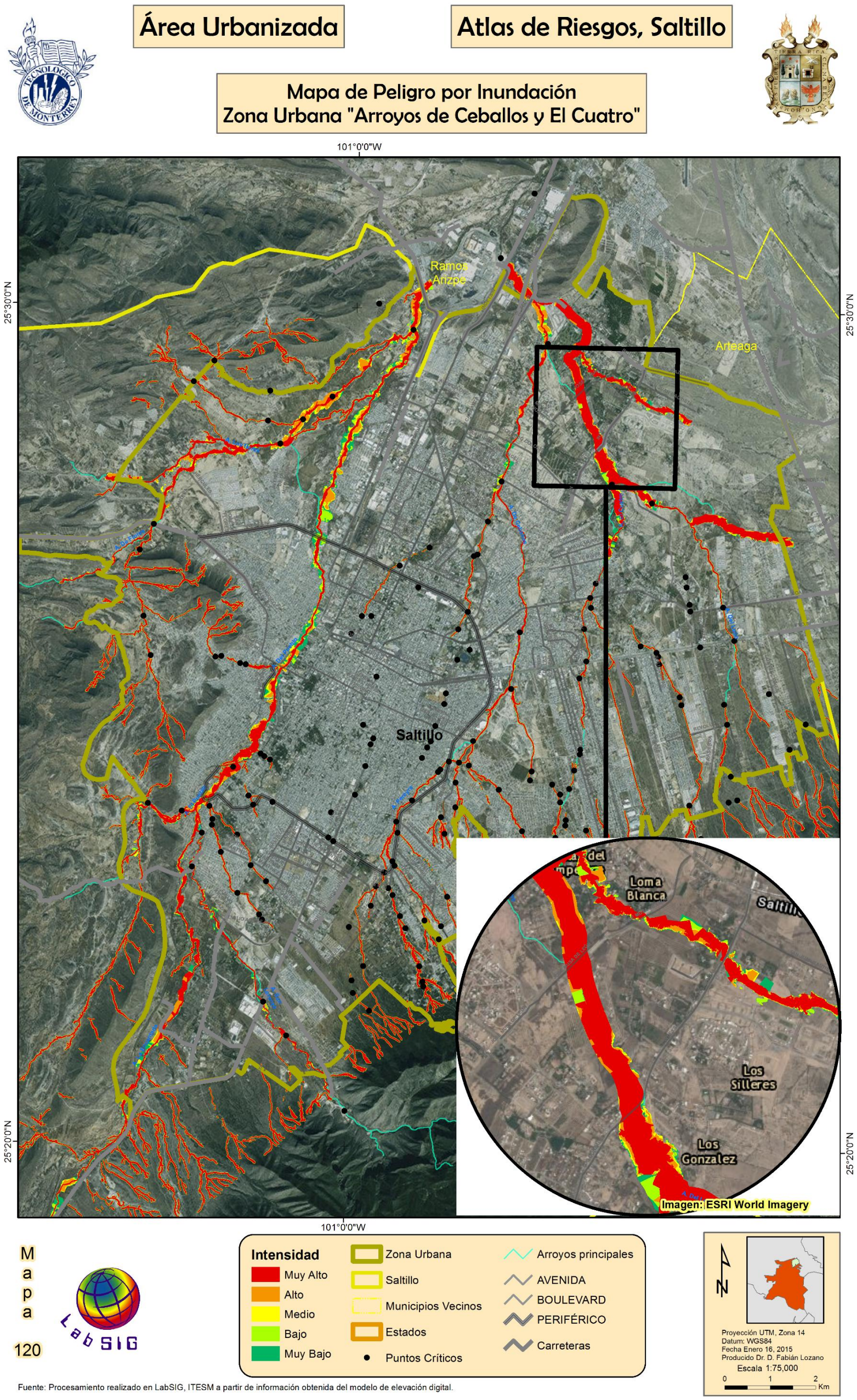


Figura 257. Ejemplo de inundación fluvial, Arroyo de Ceballos y El Cuatro, zona urbana.

5.3.12 Inundaciones Pluviales

Las inundaciones pluviales, anegamiento o encharcamiento se definen como agua quieta en una depresión cerrada. El agua solamente desaparece por percolación profunda, transpiración, evaporación o por una combinación de éstos procesos. La inundaciones pluviales de los suelos se clasifican de acuerdo a la profundidad, la frecuencia, la duración y los meses iniciales y finales en los que se observa agua quieta (ESRI, 2014).

La susceptibilidad de los suelos a las inundaciones pluviales es un aspecto importante para las viviendas, los sitios de construcción y las instalaciones de saneamiento, así como para determinar las especies de plantas en proyectos de reforestación o restauración ecológica. Las inundaciones pluviales durante el período de latencia tienen muy pocos o ningún efecto dañino sobre el crecimiento o la mortalidad de las plantas, e incluso puede llegar a mejorar el crecimiento.

El análisis de anegamiento se dividió para las dos regiones del municipio: la zona urbana y las áreas rurales. La zona urbana fue procesada usando los datos del MDE del vuelo lidar del 2013, mientras que las zonas rurales fueron procesadas con un MDE de resolución mucho más burda, tal y como se explica en la sección correspondiente.

5.3.12.1 Zonas rurales

5.3.12.1.1 Datos empleados

5.3.12.1.1.1 MDE

Para el análisis de anegamiento, se exploraron varias opciones de MDE para obtener el resultado más adecuado para el estudio. Se evaluaron tres fuentes de información: INEGI, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) y los datos del ASTER GDEM Versiones 1 y 2.

INEGI CEM 3.0

El Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) es un producto que representa las elevaciones del territorio continental mexicano, mediante valores que indican puntos sobre la superficie del terreno, cuya ubicación geográfica se encuentra definida por coordenadas (X, Y) a las que se le integran valores que representan las elevaciones (Z). Los puntos se encuentran espaciados y distribuidos de modo regular. Produce MDE con pixeles de 15 x 15 m de resolución horizontal y valores e elevación (Z) en valores Enteros Positivos o Negativos en metros. Los datos del CEM 3.0 se pueden obtener en la página del INEGI. (http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx).

Dada la mejor resolución de los datos del INEGI, inicialmente se exploró la posibilidad de emplear estos datos en este análisis, para ello se construyó un mosaico con los datos del CEM 3.0 correspondientes al municipios de Saltillo. La evaluación de la calidad de estos datos se realizó por medio de una inspección visual del archivo de "pendientes", resultante del uso de la herramienta "Slope" dentro de ArcMap. La Figura 258 muestra el MDE del CEM 3.0 enmarcando dos porciones del archivo de pendientes para una zona plana (A) y para una zona montañosa (B).

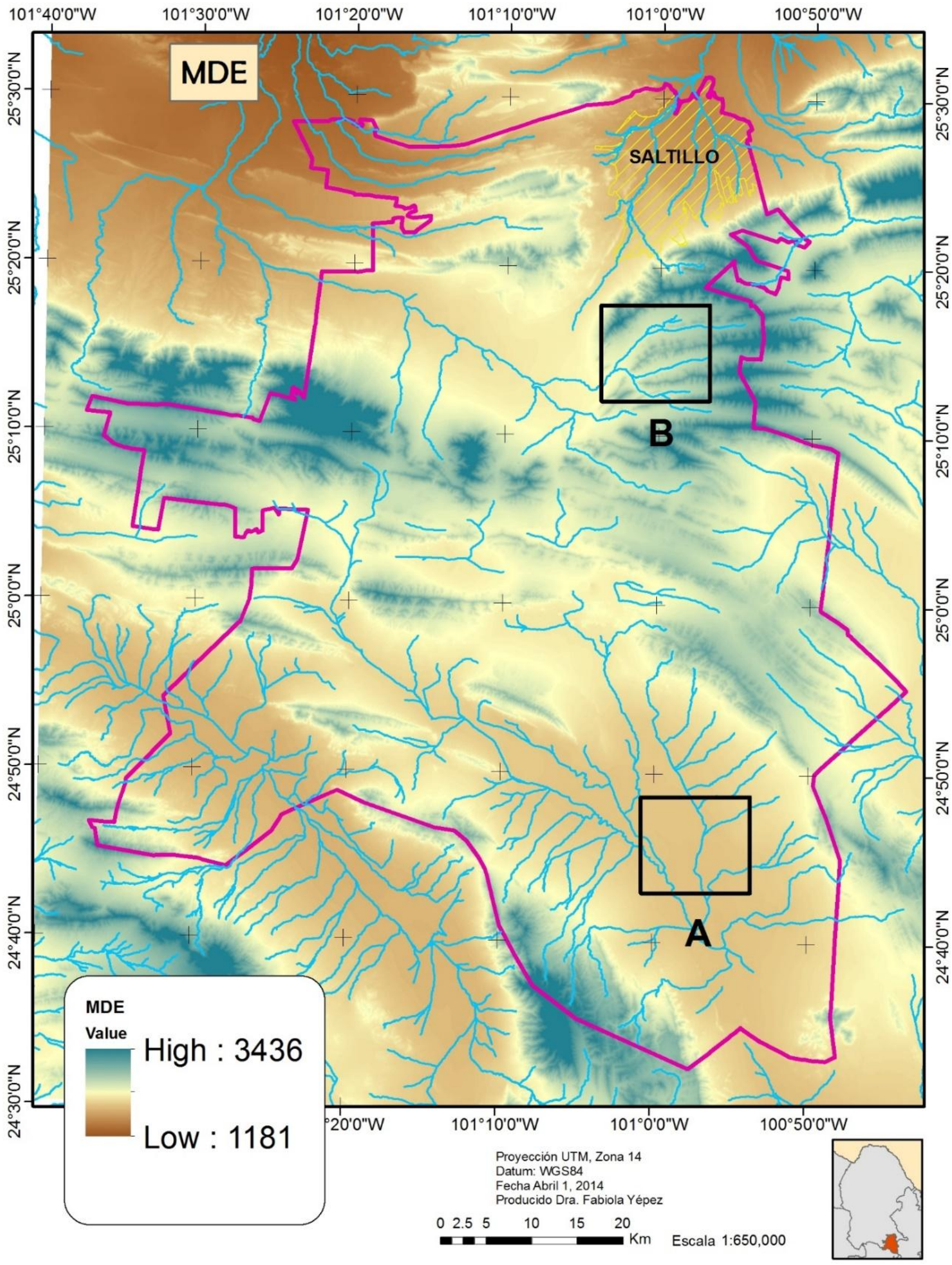


Figura 258. MDE de Saltillo mostrando dos áreas para el análisis detallado.

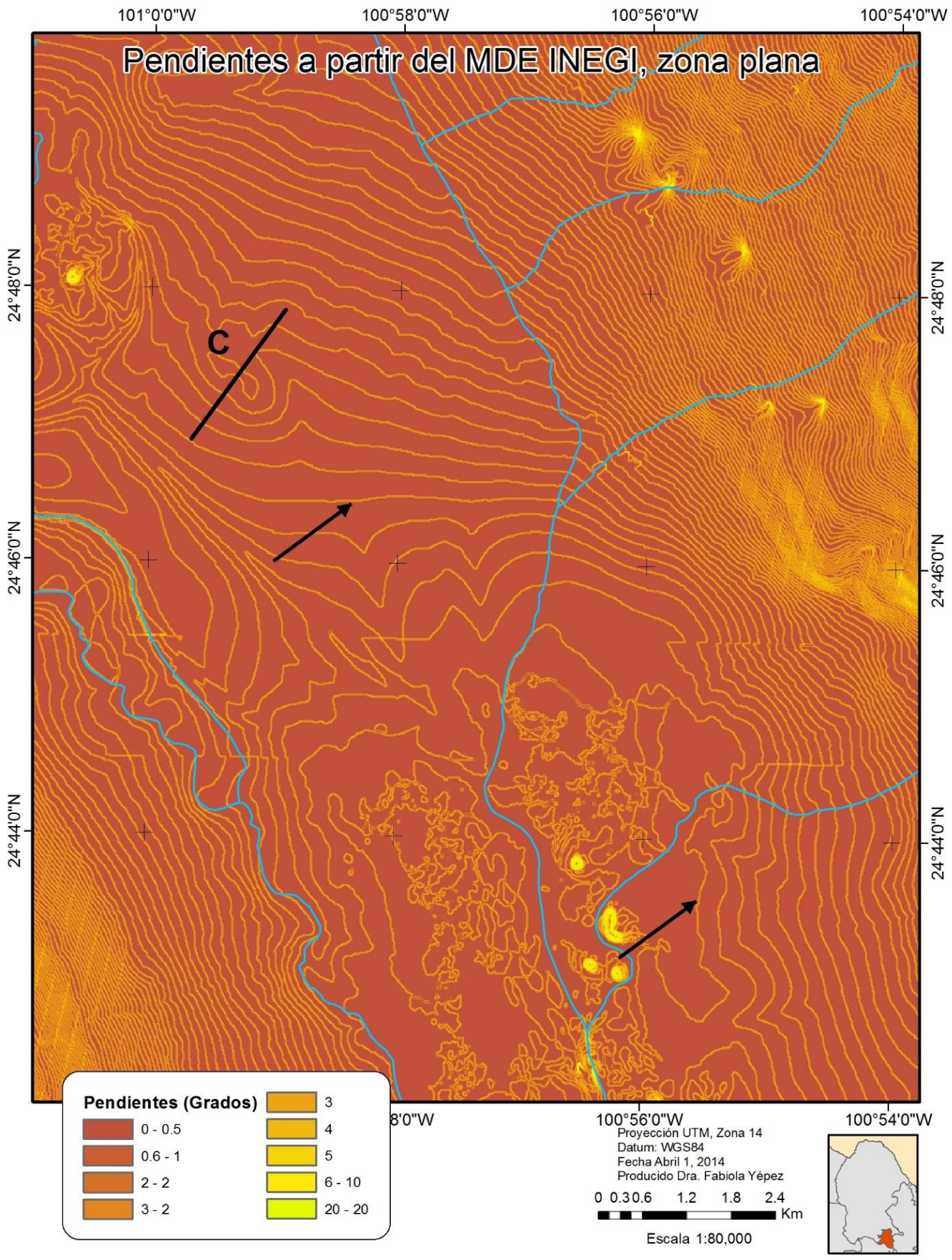


Figura 259. Valores de pendientes en zonas planas del MDE del CEM 3.0.

Como puede observarse en la Figura 259, en las zonas planas aparece un efecto de “curvas de nivel” o “escalonamiento” (un par de ellas están señaladas con flechas) presentándose zonas con valores de pendiente igual a cero, con caídas” bruscas” a lo largo de los cambios de elevación de un valor numérico al siguiente. La Figura 260 muestra un perfil de los valores de elevación de la línea marcada con la letra C.

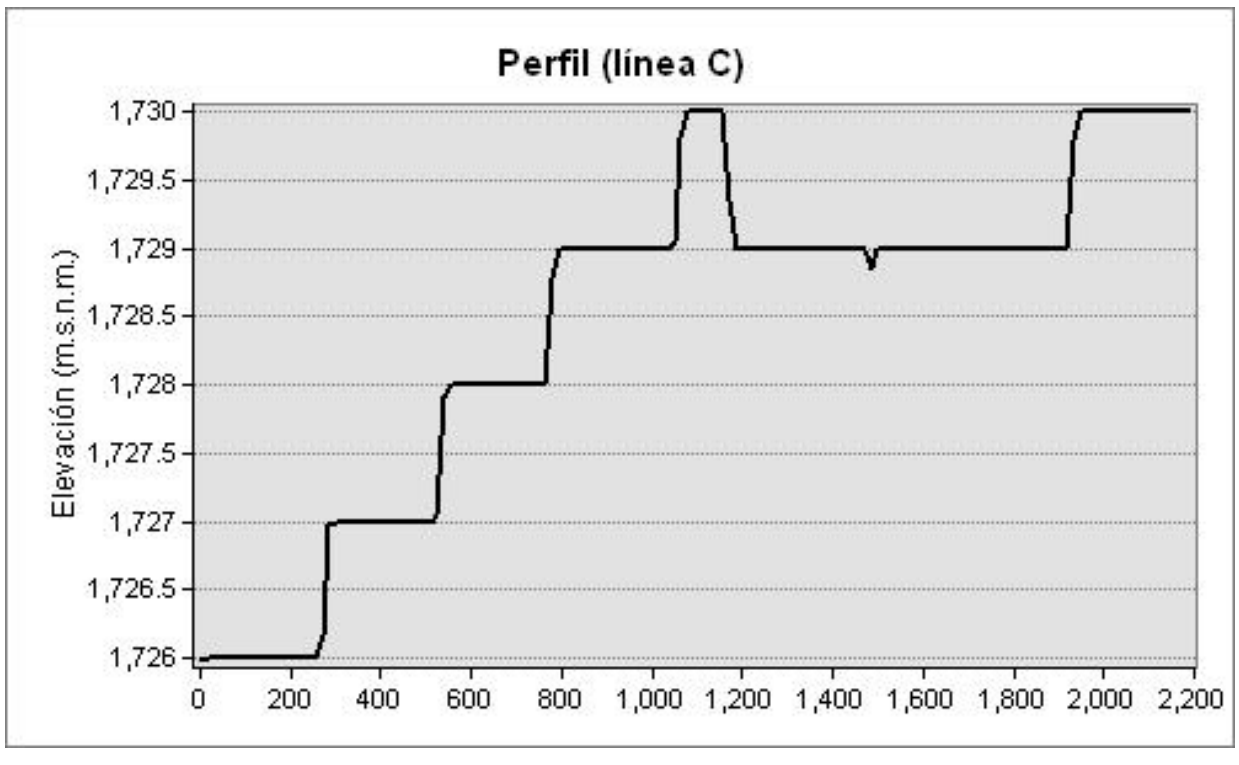


Figura 260. Perfil longitudinal de los valores de elevación en zona plana a partir del MDE 3.0.

En las zonas montañosas (Figura 261), se observa la aparición de rasgos lineales separados por distancias fijas y orientadas en dos direcciones (Figura 261, marcadas con flechas amarillas). Estos artefactos afectan el resultado final de los productos generados a partir de los datos del CEM 3.0.

Debido a los problemas observados en los datos del CEM 3.0, se decidió no emplear estos datos en el análisis de echarcamientos.

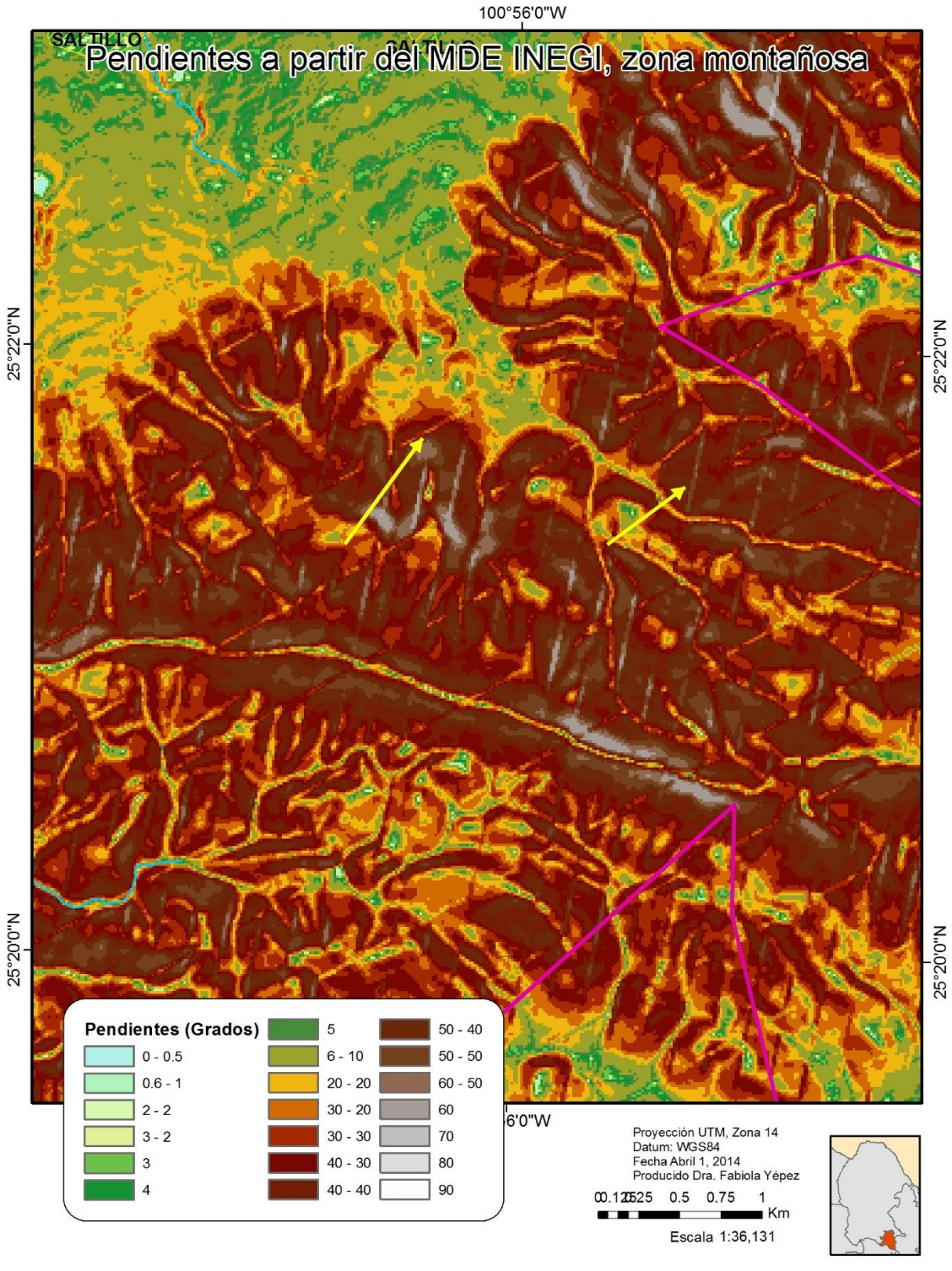


Figura 261. Valores de pendientes a partir del MDE CEM 3.0, zona montañosa.

Aster DEM

Los datos de ASTER DEM son un producto generado por una colaboración entre el Ministerio de Economía, Comercio e Industria el Japón y la NASA, para producir un Modelo Digital de Elevación de todo el planeta. La versión 1 de los datos está disponible desde junio del 2009, y la versión 2 fue hecha pública en octubre del 2011. Aster-DEM usa datos estereoscópicos del satélite americano ASTER, produciendo archivos en formato Geotiff con pixeles de 30 x 30 m de resolución horizontal. Los datos el Aster DEM se pueden obtener directamente de la página de USGS, Global Data Explorer (http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/).

Los MDE Aster se distribuyen en dos versiones (1 y 2); la primera corresponde al producto inicial distribuido a partir de junio del 2009. La segunda versión está disponible al público desde octubre del 2011.

Inicialmente se decidió usar los datos de la version2, dado que en la página de ASTER de la NASA (http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp) se menciona que para esta versión se empelaron 260,000 estereopares adicionales lo que implica una mejor cobertura, y además se redujo la ocurrencia de “artefactos” en los MDE resultantes.

De igual manera que con los datos del INEGI, la evaluación inicial de calidad se basó en la capa de pendientes. Aquí se observó que en las zonas planas (identificadas en las imágenes SPOT, ESRI y Google Earth) los resultados mostraban una variabilidad en las elevaciones y por tanto pendientes mucho mayores de lo esperado (Figura 262), se procedió a realizar gráficas de los valores de elevación en zonas planas, comparando los datos de elevación del INEGI CEM 3.0 y los de Aster-DEM Ver2.0 (FIGURA)

Como puede observarse en la Figura 263, los datos del Aster-DEM ver 2.0 muestran una gran variabilidad con picos y valles muy marcados, que difícilmente corresponden a los valores de elevación esperados en una zona que en las imágenes de percepción remota claramente muestra la respuesta espectral de una zona plana y/o inundable. Los datos a partir del Aster DEM v1.0, muestran un menor rango de variación (alrededor

de 10 metros) en comparación con los datos del Aster DEM V2.0 (variaciones de más de 15 metros). Además, estos cambios de altitud son menos frecuentes a lo largo del transecto analizado.

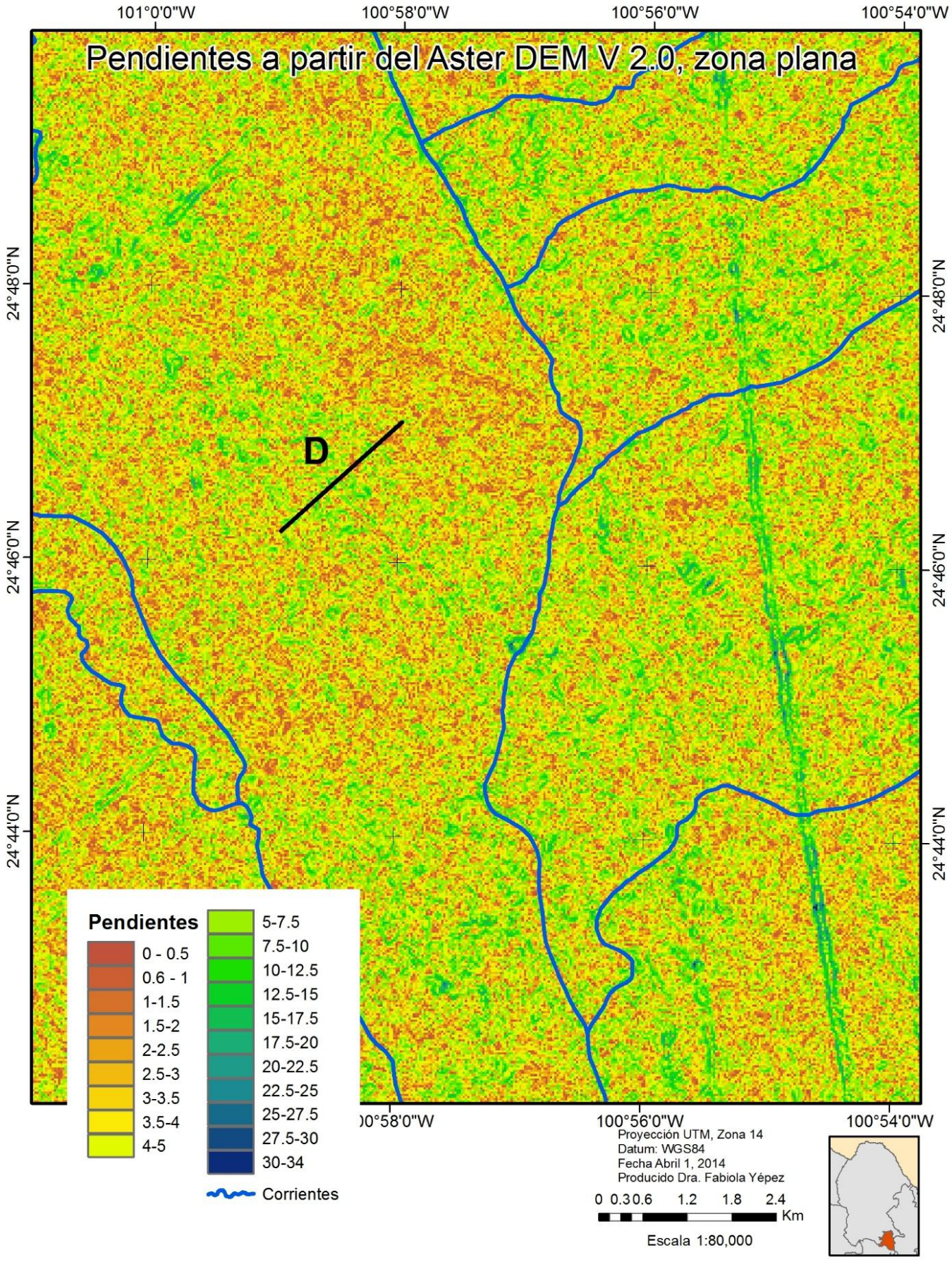


Figura 262. Valores de pendientes a partir del MDE de Aster 2.0.

Figura 263. Perfiles longitudinales de los datos de pendientes en una zona plana, a partir del Aster DEM, versiones 2 y 1.

Finalmente se analizaron los datos del Aster-DEM Version 1.0, encontrándose que dicho datos presentaban una variación de elevación mucho menor en las zonas planas; produciendo una capa de pendientes mucho más cercana a los que se observa en las imágenes satelitales (FIGURAS).

5.3.12.1.1.2 Suelos

Se digitalizó la información de suelos de las cartas del INEGI, escala 1:50,000, produciendo una capa que contiene la información de los tipos de suelos (hasta tres por cada polígono), más los datos de textura, fases físicas y químicas. Los datos vectoriales se convirtieron posteriormente a formato de celdas (para facilitar los procesos de sobreposición en el SIG), codificando únicamente los datos de textura (FIGURA).

5.3.12.1.1.3 Cobertura del Suelo

Los datos de cobertura del suelo se extrajeron de la clasificación de imágenes SPOT, proporcionadas para este proyecto por la Secretaría de Marina. Las imágenes SPOT fueron adquiridas durante junio 2013 y febrero del 2014.

Los datos de las clasificaciones se procesaron con un filtro de 3x3 pixeles-Moda, para eliminar el ruido conocido como “salt & paper”.

5.3.12.1.2 Procesamiento.

La Figura 240 muestra el diagrama de flujo del análisis de anegamientos. Inicialmente se calcularon los datos de pendiente usando las herramientas de “DEM Surface tools” producida por Jeff Jenness (http://www.jennessent.com/arcgis/surface_area.htm), empleando el algoritmo de Sharpnack & Akin’s. La Figura 241 muestra los resultados para una zona plana en la porción sureste del municipio. De esta capa se extrajeron los pixeles correspondientes a pendientes menores o iguales a 3 %, de acuerdo a lo plantado por Soil Survey Manual (1993), en donde se define a un terreno plano como aquel con pendientes entre 0 y 3%); para crear una capa binaria que contenga las zonas planas vs no-planas.

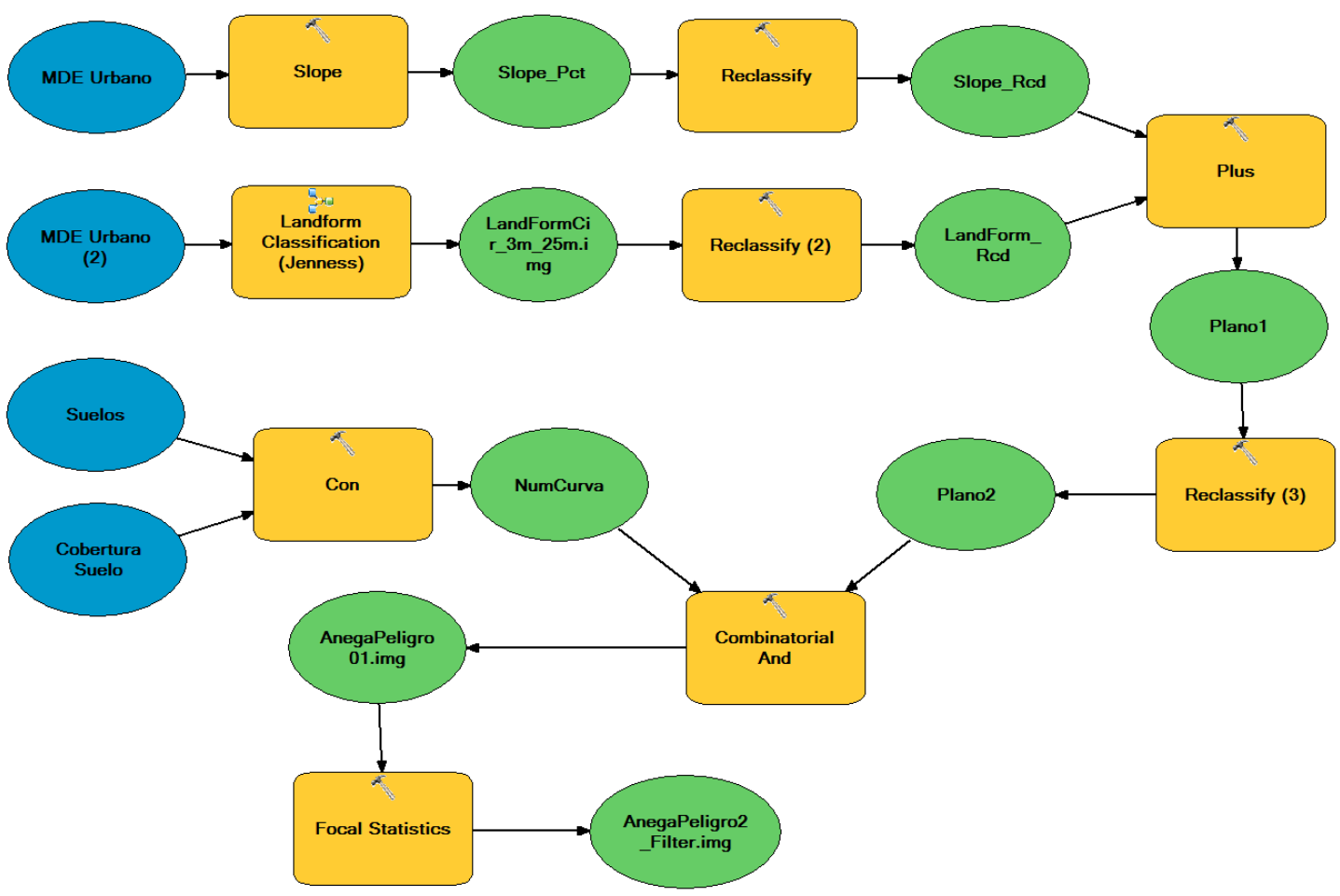


Figura 264. Diagrama de flujo del análisis de las inundaciones pluviales.

Se combinaron las dos capas binarias de zonas planas para obtener la coincidencia de pixeles planos en relación la pendiente y la geoforma para producir una nueva capa consistente en las “zonas planas” rurales.

Paralelamente, se combinaron los datos de tipo de suelos y cobertura del suelo para producir una capa correspondiente al nivel de escurrimiento (número de curva) de cada pixel, usando los parámetros definidos por United States Department of Agriculture (1986).

El siguiente paso consistió en la combinación los resultados de la capa de “zonas planas” con la capa de “número de curva” y a este resultado se le aplica un filtrado (kernel de 5x5, mayoría) para eliminar el efecto de pixeles individuales en el resultado (Figura 265).

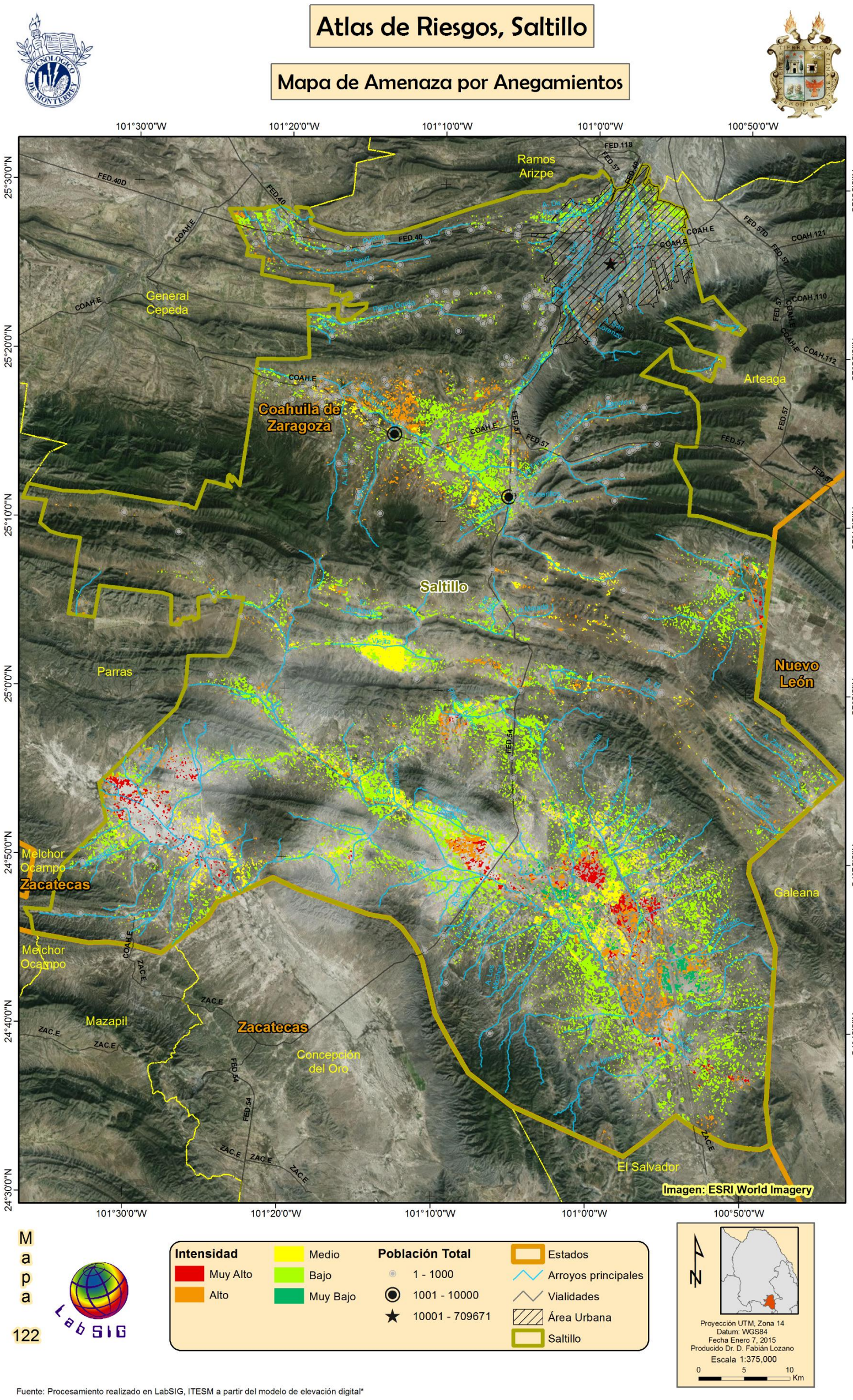


Figura 265. Peligro de anegamiento en las zonas rurales del municipio de Saltillo.

5.3.12.2 Zona Urbana

5.3.12.2.1 Datos Empleados

5.3.12.2.1.1 MDE

Para el análisis de anegamiento de la zona urbana se empleó el MDE generado a partir del vuelo lidar del 2013. Estos datos generaron un MDE con pixeles de 1x1 m., con resolución vertical de 20 cm.

5.3.12.2.1.2 Suelos y Cobertura del Suelo

De igual manera que en la zona rural, se empelaron los datos de la cartografía 1:50,000 de la carta edafológica del INEGI, y los resultados de la clasificación delas imágenes SPOT; para la creación de la capa de “Número de Curva”.

5.3.12.2.1.3 Procesamiento.

La metodología empleada para el cálculo de los anegamientos es similar a la aplicada en las zonas rurales (Figura 264). El MDE se procesó para generar un archivo de pendientes en porciento, usándola herramienta de “DEM Surface tools”, el algoritmo de “slope” ->Sharpnack & Akin’s. (Figura 267). El rango de valores de pendientes oscila entre cero y 86 grados, siendo los valores más frecuentes aquellas áreas con pendiente de 1 a 1.5 grados (Figura 266). Una proporción muy importante de la superficie del área urbana se encuentra en zonas muy planas (valores de 0 a 3.0 por ciento), lo que representa un factor importante en la formación de áreas anegables.

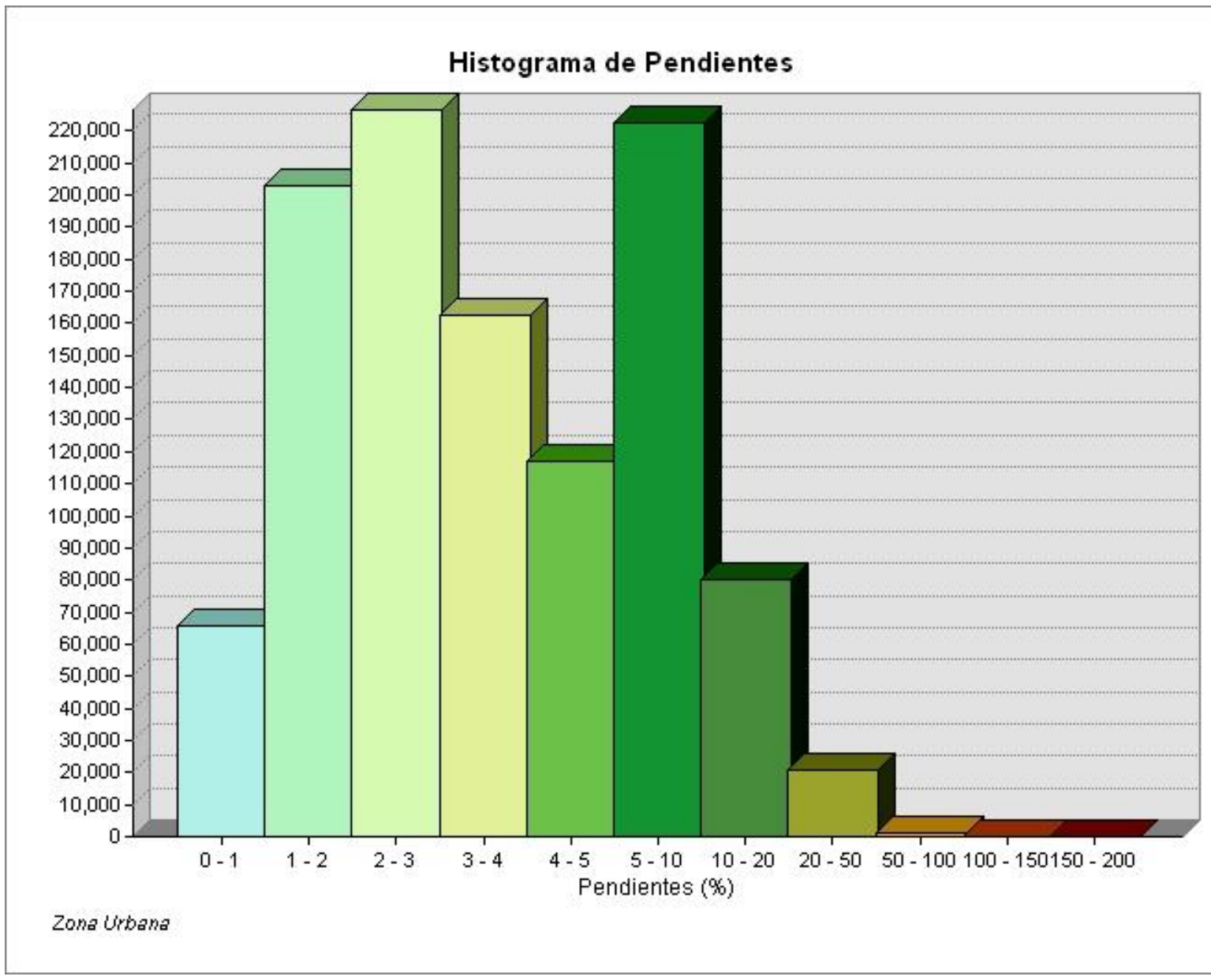


Figura 266. Histograma de los datos pendientes en la zona urbana de Saltillo.

Otra capa de información generada a partir del MDE fue la clasificación de “LandForm Classification”. Se empleó un área circular con rangos de metros para el valor de vecindad menor y de 25 metros para el valor de vecindad mayor (Figura 268). De igual manera que con los datos de la zona rural, se seleccionaron los pixeles correspondientes a la categoría de “Plains Small” para crear una capa binara que mostrara zonas planas vs no-planas.

Ambas capas de información se recodificaron para crear capas binarias (plano vs no-plano) y facilitar de esta manera la sobreposición de dichas capas. Se combinaron las dos capas binarias de zonas planas para obtener la coincidencia de pixeles planos en relación a la pendiente y la geoforma, para producir una nueva capa denominada “zonas planas”.

A continuación, se combinan los resultados de la capa de “zonas planas” con la capa de “número de curva” y a este resultado se le aplica la capa de intensidad de lluvia para determinar las áreas anegadas y niveles esperados.

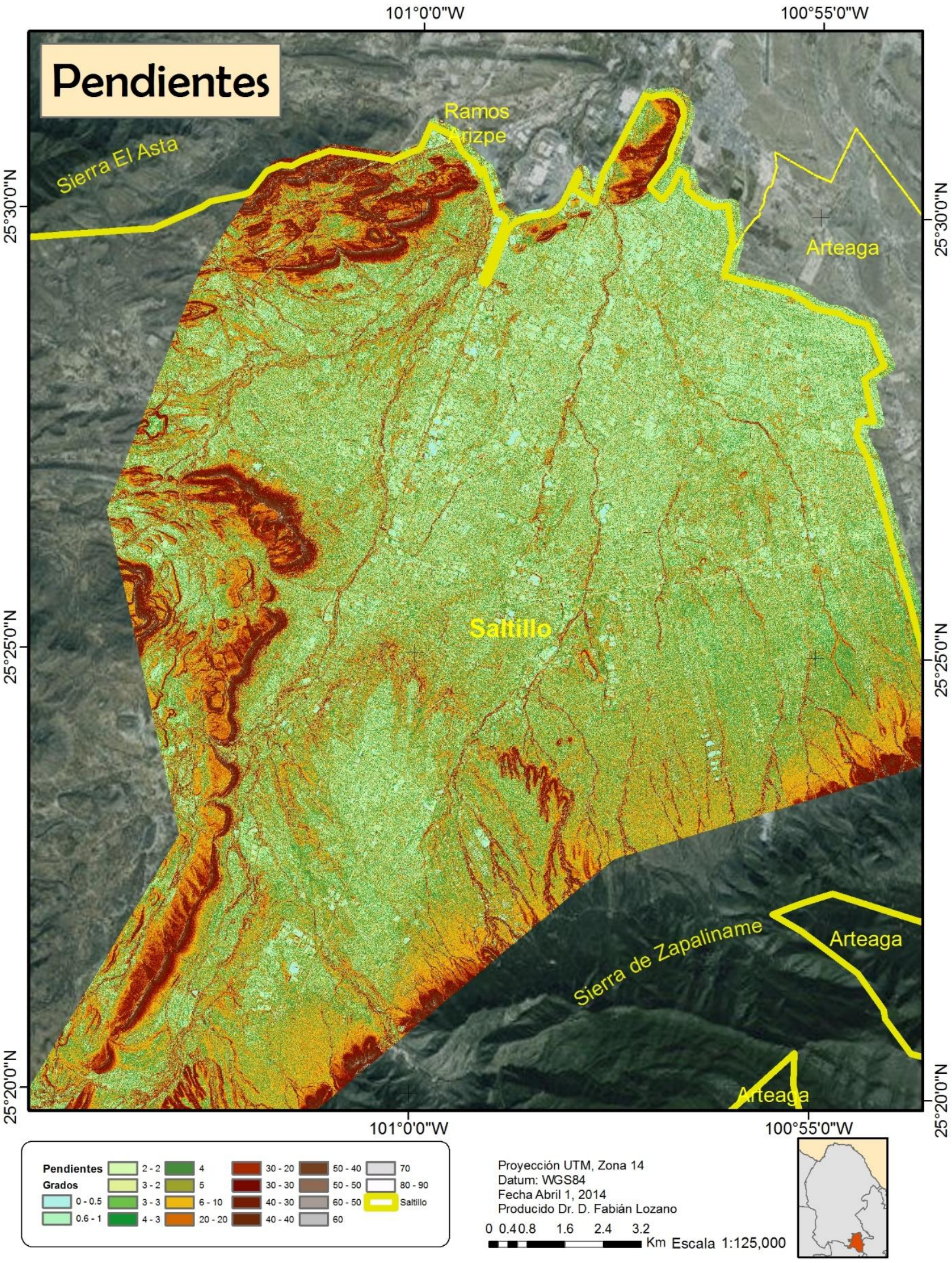


Figura 267. Mapa de los datos de pendientes de la zona urbana de Saltillo.

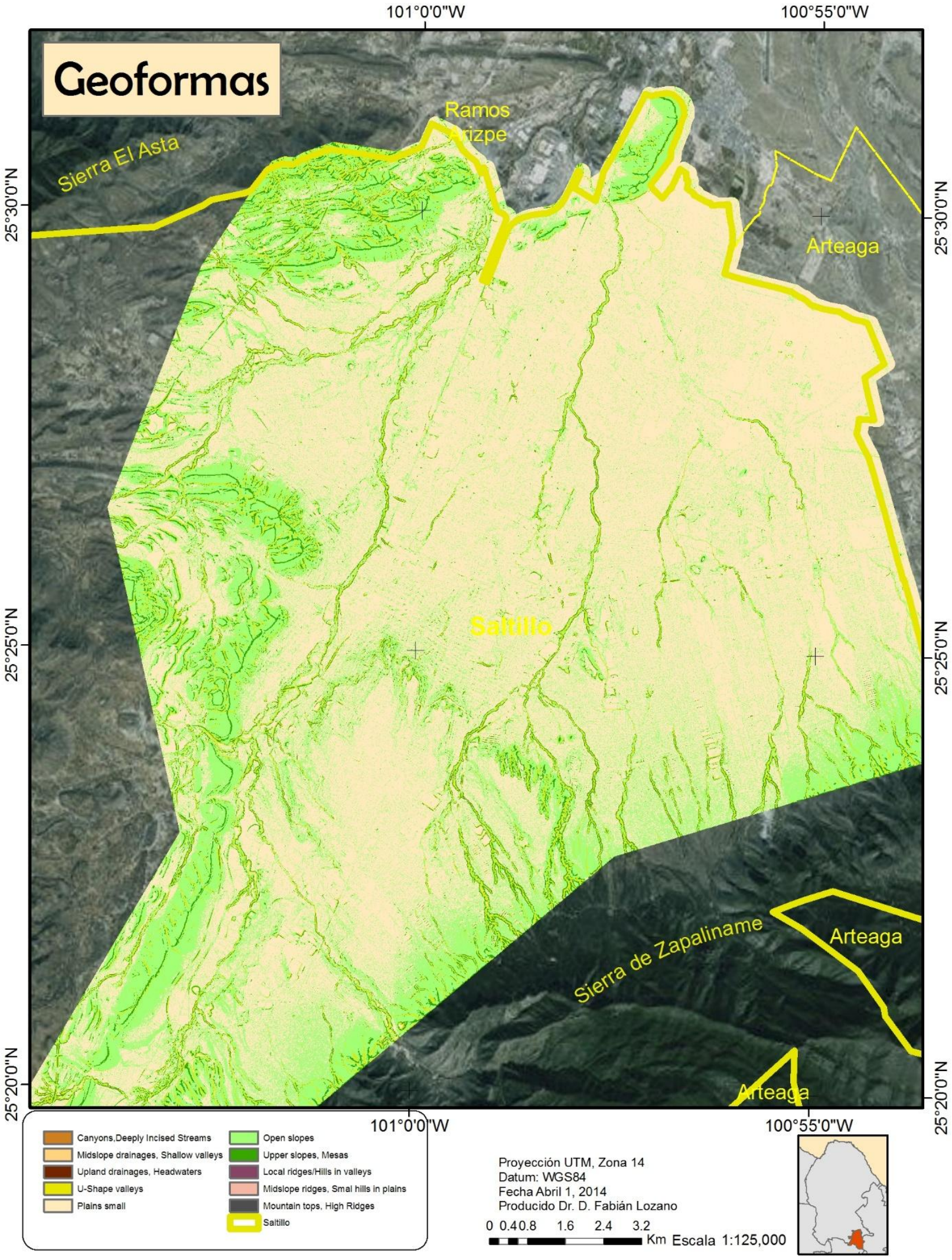


Figura 268. Mapa de las geoformas generadas a partir del MDE de alta resolución para la zona urbana de Saltillo.

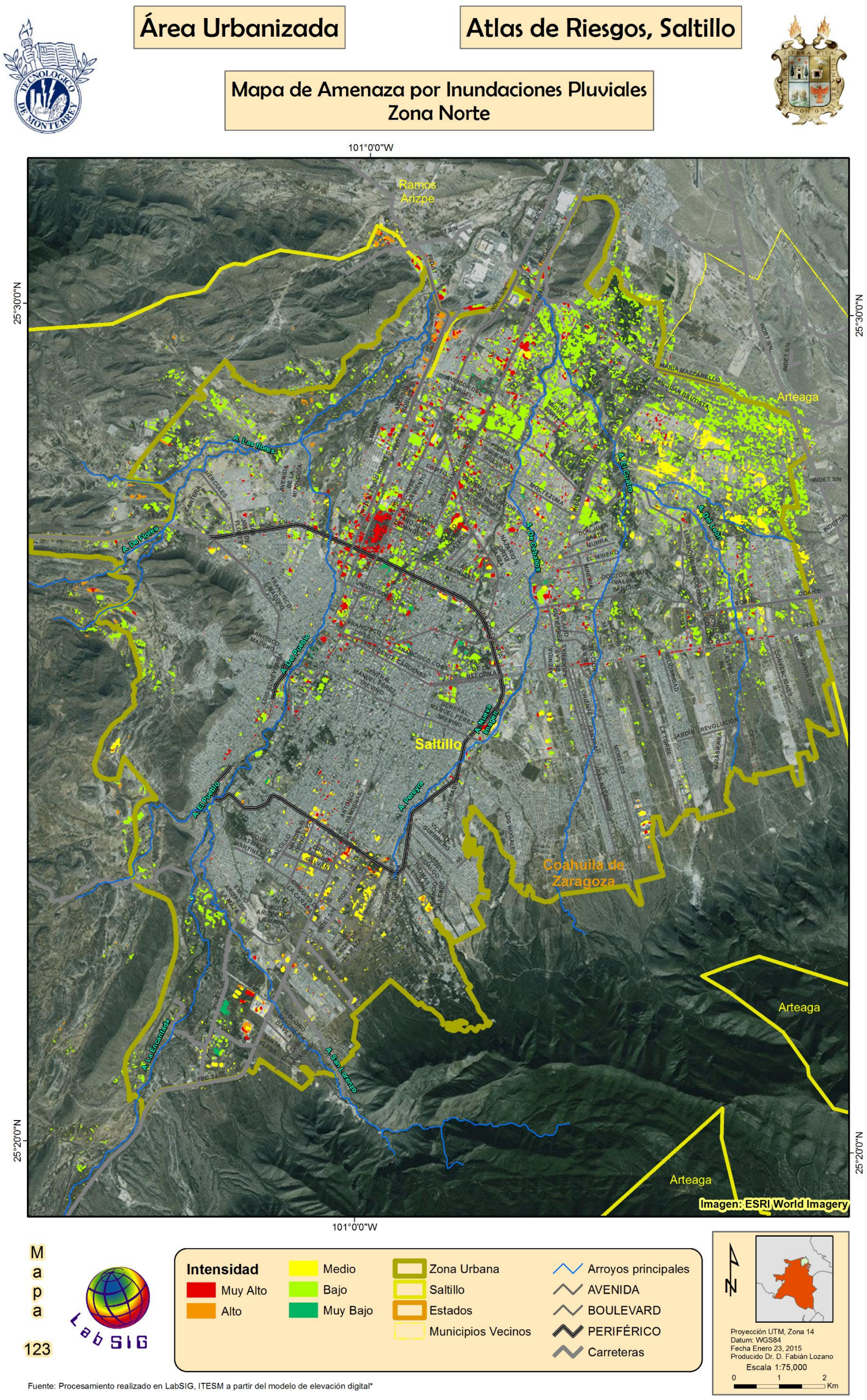


Figura 269. Peligro de anegamiento en la zona urbana de Saltillo.

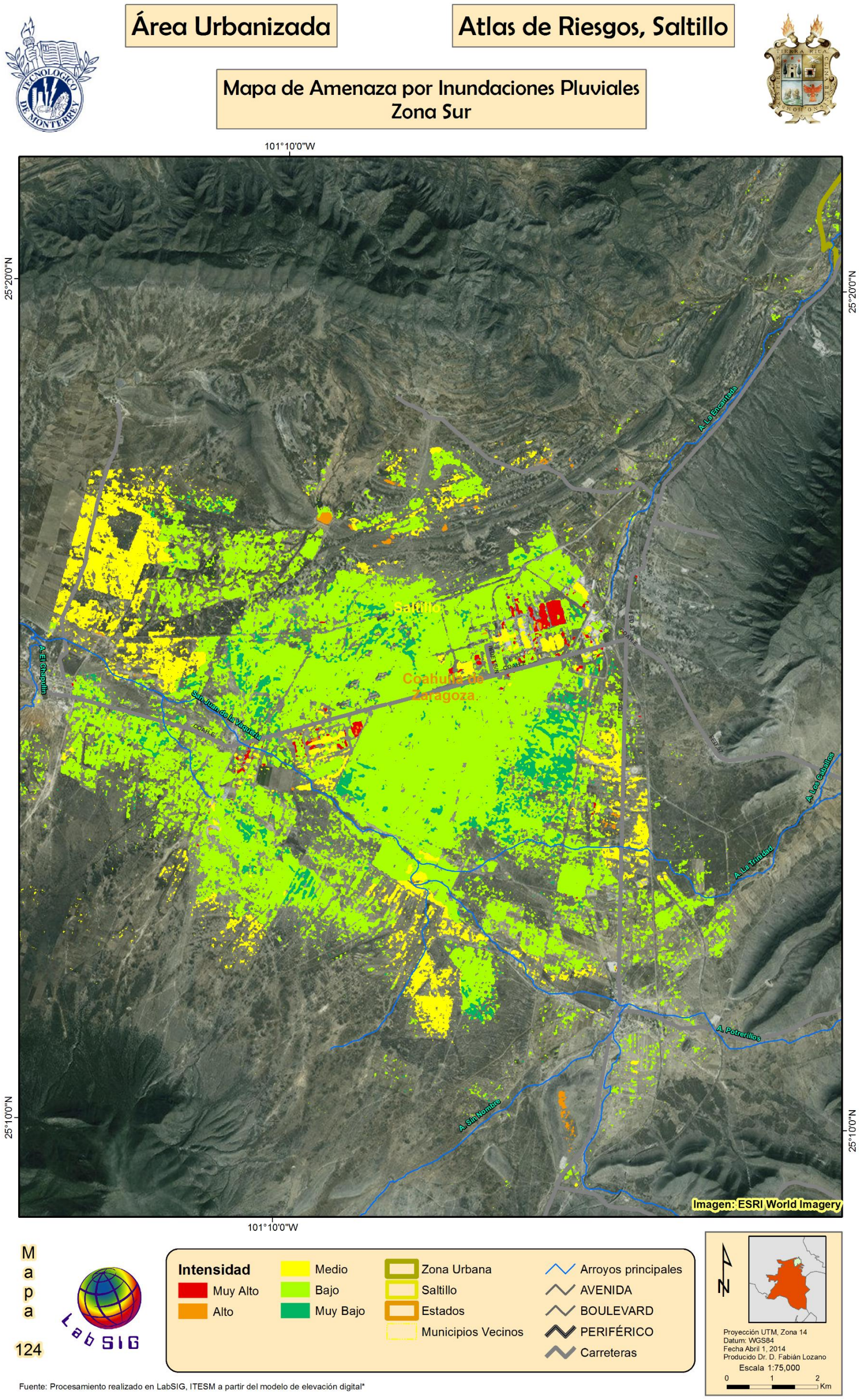


Figura 270. Peligro por anegamiento en la zona sur del área urbana del municipio de Saltillo.

5.4 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se define como la capacidad disminuida de una persona o un grupo de personas para anticiparse, hacer frente y resistir a los efectos de un peligro natural o causado por la actividad humana, y para recuperarse de los mismos (IFRC, 2014).

El Banco Interamericano de Desarrollo en su página web (http://www.iadb.org/exr/disaster/idea_pvi.pdf) señala que "Las condiciones de vulnerabilidad inherente ratifican la relación del riesgo con el desarrollo en la medida que las condiciones (de vulnerabilidad) que subyacen la noción de riesgo son, por una parte, problemas causados por un proceso de inadecuado crecimiento y, por otra, porque son deficiencias que se pueden intervenir mediante procesos adecuados de desarrollo".

Para el cálculo de la vulnerabilidad se realizó una investigación bibliográfica de los distintos procedimientos empelados para estimar este parámetro tanto en publicaciones nacionales como internacionales. Entre los documentos consultados se encuentran los siguientes documentos: "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social" publicado por el CENAPRED. Vulnerabilidad social y su distribución espacial: el caso de las entidades federativas de México, 1990-2010 (Reyna Vergara González, publicado en Paradigma Económico). Índice de Vulnerabilidad Social de los Países de OCDE (Inmaculada Álvarez Ayuso y Edel Cadena Vargas). Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático (Víctor Magaña, INECC). Metodología para el Análisis de la Vulnerabilidad (Dirección General del Observatorio Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gobierno de El Salvador). Vulnerabilidad Social (Jaime Bench y Cesar F. Silva da Costa, Núcleo de Estudios em Administración y Salud, Universidad Federal do Rio Grande, Brasil).

Para el contexto del presente estudio, la vulnerabilidad se construyó con base en lo planteado por el **Instituto Mexicano para la Competitividad** (IMCO, 2014) en donde definen tres elementos de la vulnerabilidad, el elemento climático, el social y el de infraestructura. De estos tres elementos, tomamos los dos últimos, los cuales constituyen los factores que la población tiene y que puede limitar su capacidad de respuesta ante los embates de algún fenómeno natural. La decisión de no emplear la metodología propuesta por el CENAPRED se basó en las siguientes consideraciones:

- La evaluación de vulnerabilidad física está orientada a dos fenómenos perturbadores con baja incidencia en el municipio de Saltillo: Sismos y Vientos.
- El cálculo de la vulnerabilidad física se basa en la identificación (y cartografía) del tipo de estructuras, sus condiciones y tipos de materiales de construcción. En el documento citado se menciona que: "se trabajará únicamente con estructuras de edificación y que se tomarán en cuenta principalmente los costos directos, las formas de falla que pueden ser consideradas son las siguientes:"
    - Falla total de la estructura o de la cimentación
    - Daños en elementos estructurales (muros y techos)
    - Daños en elementos no estructurales (bardas, vidrios, acabados)
    - Daños en instalaciones, equipo y contenidos
- En el caso de los datos disponibles para la elaboración del Atlas de Riesgos de Saltillo, no se cuenta con dicha información. Es decir, no se tiene información sobre el tipo de estructura construida, los materiales utilizados y sus condiciones de mantenimiento o deterioro.
- Los únicos datos que se pueden aproximar a este tipo de información son los "microdatos" del INEGI, en donde se registra la información de relacionada con las viviendas, en particular la variable "VPH_PISODT" (Viviendas particulares habitadas con piso e material diferente a tierra).
- Otra fuente de información pudiera ser los datos lidar del vuelo realizado el año 2013 sobre el municipio. Al respecto de estos datos, cabe señalar que sería posible, a través de un procesamiento de filtrado semiautomático la identificación de algunos aspectos de las condiciones de los techos de las construcciones: ángulo de inclinación y posiblemente alguna identificación del tipo de material usado para su construcción. Sin embargo este procesamiento requiere de uso de software especializado y sobre todo de mucho tiempo de procesamiento. Como ejemplo de este tipo de trabajo, quisieramos citar la tesis de la Dra. Fabiola Yepez. En este trabajo, se usaron datos de lidar aéreo para el mapeo de diferentes estructuras de construcción en la zona metropolitana de Monterrey. En este trabajo se logró estimar los niveles de urbanización (densidad) y áreas de los techos y el volumen de la construcción.
- Otra posible fuente de información para este tipo de cálculo de vulnerabilidad, pudieron haber sido la información del catastro urbano. Lamentablemente el municipio no nos pudo entregar esta información y de hecho, se hace una recomendación al respecto en el capítulo de Medidas de Mitigación", sección.6.4.2 "Actualización de datos".
- Así que ante la imposibilidad (en el tiempo asignado y los recursos presupuestados para el Atlas de Riesgos) de contar con la información requerida para el cálculo de la vulnerabilidad tal y como lo plantean Flores-Corona et. al. , se decidió mantener el cálculo de la vulnerabilidad de acuerdo a los criterios enunciados en la sección 5.4 Vulnerabilidad del informe.
- Con respecto al calculo de la vulnerabilidad social, la metodología del CENAPRED requiere que se levanten encuestas entre la población para identificar su conocimiento de los peligros y su capacidad de respuesta ante la presencia de algún fenómeno perturbador. Para esto se organizaron consultas con pobladores del municipio (ver sección 1.2.2, Talleres de participación ciudadana en este informe). Sin embargo, los resultados obtenidos y el nivel de participación no fueron considerados adecuados por lo que se decidió no emplear la información obtenida y buscar otra metodología para el cálculo de la vulnerabilidad social.

Los factores que integran este índice se muestran en la Tabla 60. Algunos de ellos son factores simples (Limitación motriz, Niños); otros son, a su vez, índices resultantes de la combinación de varios factores, ie. Índice de marginación o bien razones de dos o más factores, ie. Tasa de dependencia económica.

Tabla 60. Parámetros propuesto por el IMCO para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad.

Social	Infraestructural
Índice de marginación	Índice de calidad de reglamentos y códigos de construcción
Tasa de dependencia económica	Desarrollo Urbano, Integral y Sustentable
Limitación motriz	Índice de planeación y ordenamiento territorial
Limitación mental	Política de prevención de riesgos y peligros
Niños	Potencial de conectividad y movilidad
Adultos mayores	Rutas terrestres de salida/entrada
Mujeres	Red carretera avanzada (carreteras troncales de 4 carriles)
Usuarios de internet	Vías pavimentadas
Televisión	Unidades médicas
	Personal médico
	Densidad de Población
	Tasa de reforestación anual
	Áreas verdes

Los parámetros de “Índice de Marginación” y “Tasas de Dependencia Económica” son parámetros compuestos y su construcción se explica en las siguientes secciones del documento. Los otros parámetros, fueron normalizados y posteriormente integrados en el valor final de vulnerabilidad, por medio del promedio de los indicadores, normalizados por la densidad de población de la unidad geográfica en cuestión. Los shapes files creados recibieron el nombre de: 05030_Vulnerabilidad_Rural.shp y 05030_Vulnerabilidad_Urbana.shp.

El último paso fue la recodificación de los valores de vulnerabilidad (Marginación, Dependencia económica, etc.) en las cinco categorías usadas en el estudio (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto), con base en quantiles.

Los parámetros de infraestructura **no** se tomaron en cuenta ya que estos están diseñados para el cálculo de la vulnerabilidad a nivel de unidades geográficas más grandes, como por ejemplo un conjunto de municipios, estados o a nivel nacional.

Los resultados del proceso de generación de los niveles de vulnerabilidad se muestran en las Figura 271 y Figura 272

5.4.1 Índice de Marginación

Se construyeron dos niveles del Índice de marginación, uno para las zonas rurales, tomando como unidad geográfica las AGEB’s rurales; y el otro para la zona urbana de Saltillo, tomando como base los microdatos del INEGI, agrupados a nivel de AGEB urbana debido a que varias de las variables requeridas para el cálculo del Índice de Marginación, no se reportan a nivel de manzana.

Se tomaron lo criterios definidos por Consejo Nacional de Población (CONAPO) 2010, para la construcción del “Índice de Marginación Urbana” (IMU) a nivel de AGEB. Tal y como se señala en el documento citado, “El índice de marginación urbana que se presenta en este documento es una medida que permite diferenciar a las AGEB urbanas del país conforme al tipo de carencias que padece la población. La medida resumen está construida con base en algunas características (indicadores)”.

Se emplearon cuatro dimensiones consistentes en: Educación, Salud, Vivienda y Bienes; considerando diez indicadores socioeconómicos (Tabla 61). Con este índice es posible medir el grado en que determinados grupos de población tienen limitaciones para cubrir sus necesidades básicas; aspecto altamente relevante para la determinación de los niveles de vulnerabilidad ante los efectos de los peligros naturales.

Tabla 61. Dimensiones e indicadores del índice de marginación por AGEB y cuadra, censo 2010.

Dimensión	Indicador
Educación	% Población de 15 años o más analfabeta
	% Población de 15 años o más sin primaria completa
Vivienda	% Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica
	% Viviendas particulares habitadas sin excusado
	% Viviendas particulares habitadas sin agua entubada
	% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra
	Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas
Bienes	% Viviendas particulares habitadas sin refrigerador

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.

Los indicadores son a su vez calculados a partir de variables individuales registradas en los censos, los ocho indicadores se construyeron siguiendo la metodología propuesta por la CONAPO en sus publicaciones sobre Índices de Marginación Urbana 2010 (CONAPO, 2012) e Índices de Marginación por Entidad Federativa y Municipios 2010 (CONAPO, 2012). El procedimiento metodológico se muestra en el anexo 1 (Memorias de Cálculo, Índice de Marginación).

5.4.2 Índice de Dependencia Económica (I.D.E.)

Este indicador se construyó de acuerdo con lo planteado por Palacios et al. (2004) en donde plantea que este índice es “la relación existente entre la población inactiva (PI) y la PEA. El resultado se interpreta como la cantidad de personas inactivas que tienen que sostener a cada 100 activos. Se puede definir como la relación entre la población económicamente activa y la población económicamente inactiva; mide el grado de dependencia o carga que en promedio tiene que soportar cada persona disponible para la producción de bienes”.

Para su cálculo se empelan los siguientes parámetros:

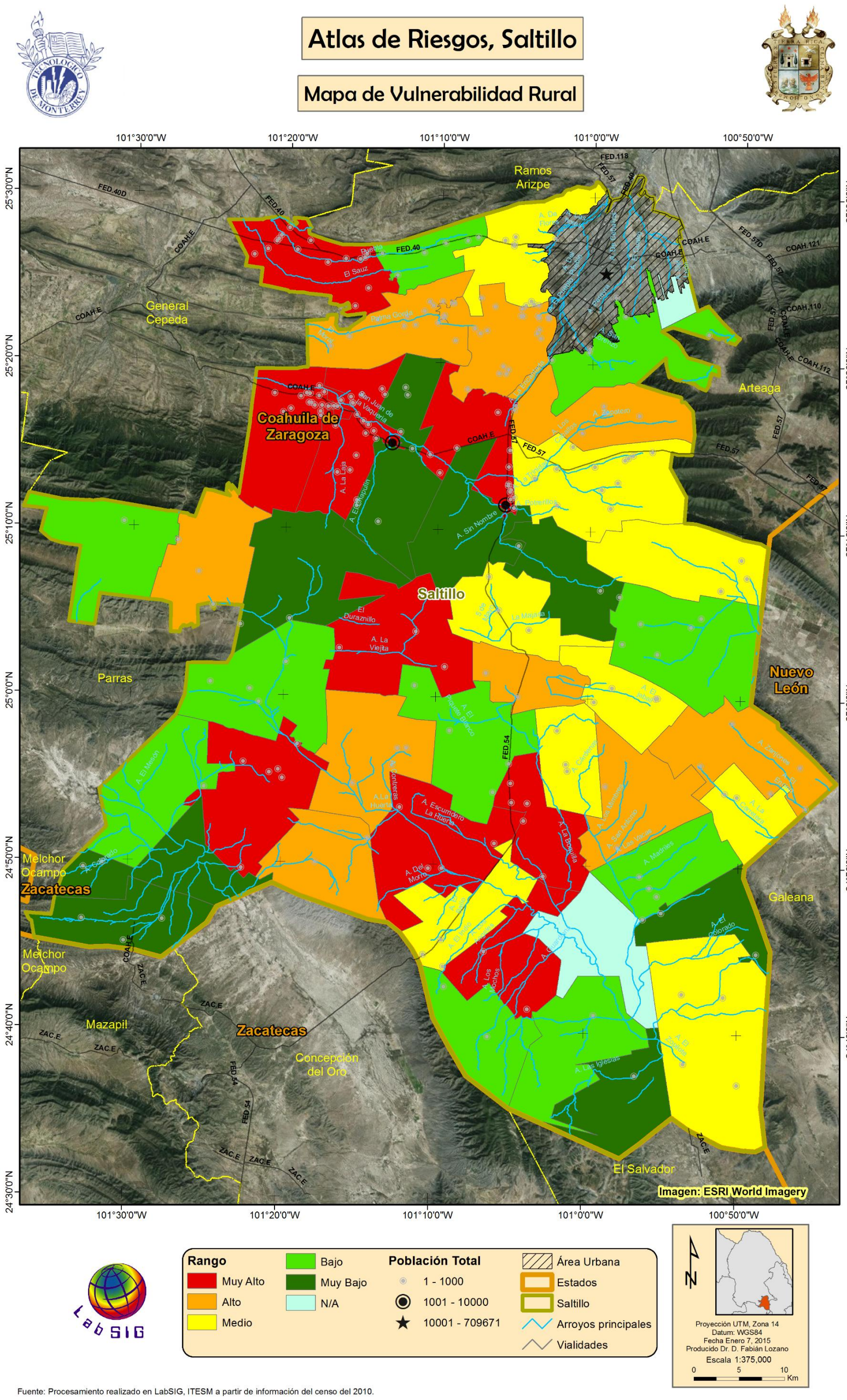
a) Menores de edad: población de 0 a 14 años
b) Población Económicamente Activa (población de 15 a 64 años)
c) Adultos mayores (población de 65 años o más)

El cálculo se realiza por medio de la siguiente expresión matemática:

$$I.D.E. = \frac{Personas\ de\ 0\ a\ 14\ años + Personas\ de\ 65\ \ años\ o\ más}{Población\ Económicamente\ Activa} * 100$$

Preparación de los datos

Para los datos urbanos, se emplearon los datos obtenidos del ITER2010, a los cuales se les elimino las variables que no eran relevantes para este indicador. A continuación, se modificaron los valores codificados por el INEGI con un asterisco los cuales representan cualquier indicador con menos de tres unidades. Para evitar problemas al momento del cálculo del indicador, se substituyó en la base de datos el asterisco por un valor de cero.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información del censo del 2010.

Figura 271. Niveles de vulnerabilidad rural en Saltillo.

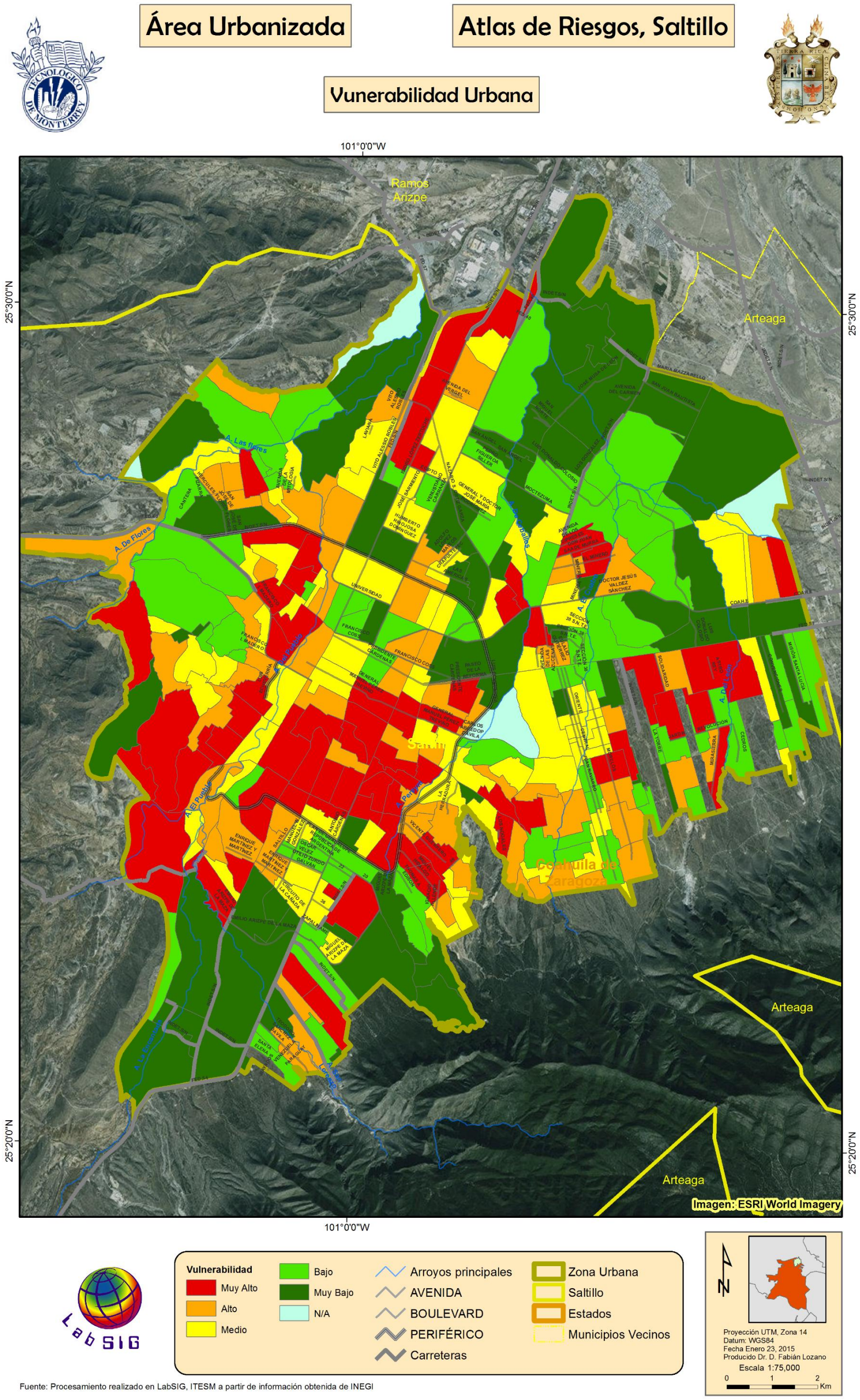


Figura 272. Niveles de vulnerabilidad en la zona urbana de Saltillo.

5.5 Riesgos

Los riesgos se definen en la ley como: “los daños o pérdida probables sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de agente perturbador”.

El riesgo se calculó por medio de la sobreposición de las capas de peligro de cada uno de los fenómenos perturbadores con las capas de vulnerabilidad social. La asignación final de las categorías de riesgo se realizó de acuerdo a los criterios definidos en la Tabla 62.

Tabla 62. Criterios para la asignación de niveles de riesgo

		VULNERABILIDAD				
		MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA
PELIGRO	MUY ALTO	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo
	ALTO	Muy Alto	Muy Alto	Medio	Bajo	Bajo
	MEDIO	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
	BAJO	Alto	Alto	Medio	Muy Bajo	Muy Bajo
	MUY BAJO	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo

La cartografía se realizó utilizando la rampa de colores RGB recomendada por las Bases de SEDATU del 2014.

Para el cálculo de los riesgos se emplearon los datos del Censo de Población y Vivienda del 2010, en particular los denominados “microdatos” de la zona urbana de Saltillo.

De acuerdo con los datos del ITER 2010 de INEGI en base a las manzanas de la zona urbana de Saltillo, se obtuvo un valor de número de viviendas y número de habitantes afectados por los diferentes niveles de Riesgo Social Urbano computados para los diferentes fenómenos Geológicos e Hidrometeorológicos. El cálculo se llevó a cabo en ambiente de sistemas de información geográfica en base a intersección de datos espaciales.

El resultado de la sobreposición de mapas de peligro y vulnerabilidad, arroja una tabla en donde se calculan las superficies ocupadas por cada tipo de coincidencia, lo que permite calcular la suma de las superficies ocupadas por cada nivel de intensidad de riesgo social.

Para cada fenómeno perturbador, se presentan los resultados de dichos cálculos, siempre y cuando el fenómeno haya sido identificado como relevante para el caso del municipio de Saltillo.

5.5.1 Índice de Susceptibilidad a Vulcanismo

Como era de esperarse los índices de vulcanismo, sismos, derrames lávicos, derrames o avalanchas y tsunamis se encuentran en la categoría de “No aplica” pues el Municipio de Saltillo no presenta registros de éste tipo de fenómenos. Sin embargo, por recomendaciones de la SEDATU se muestran en éste documento.

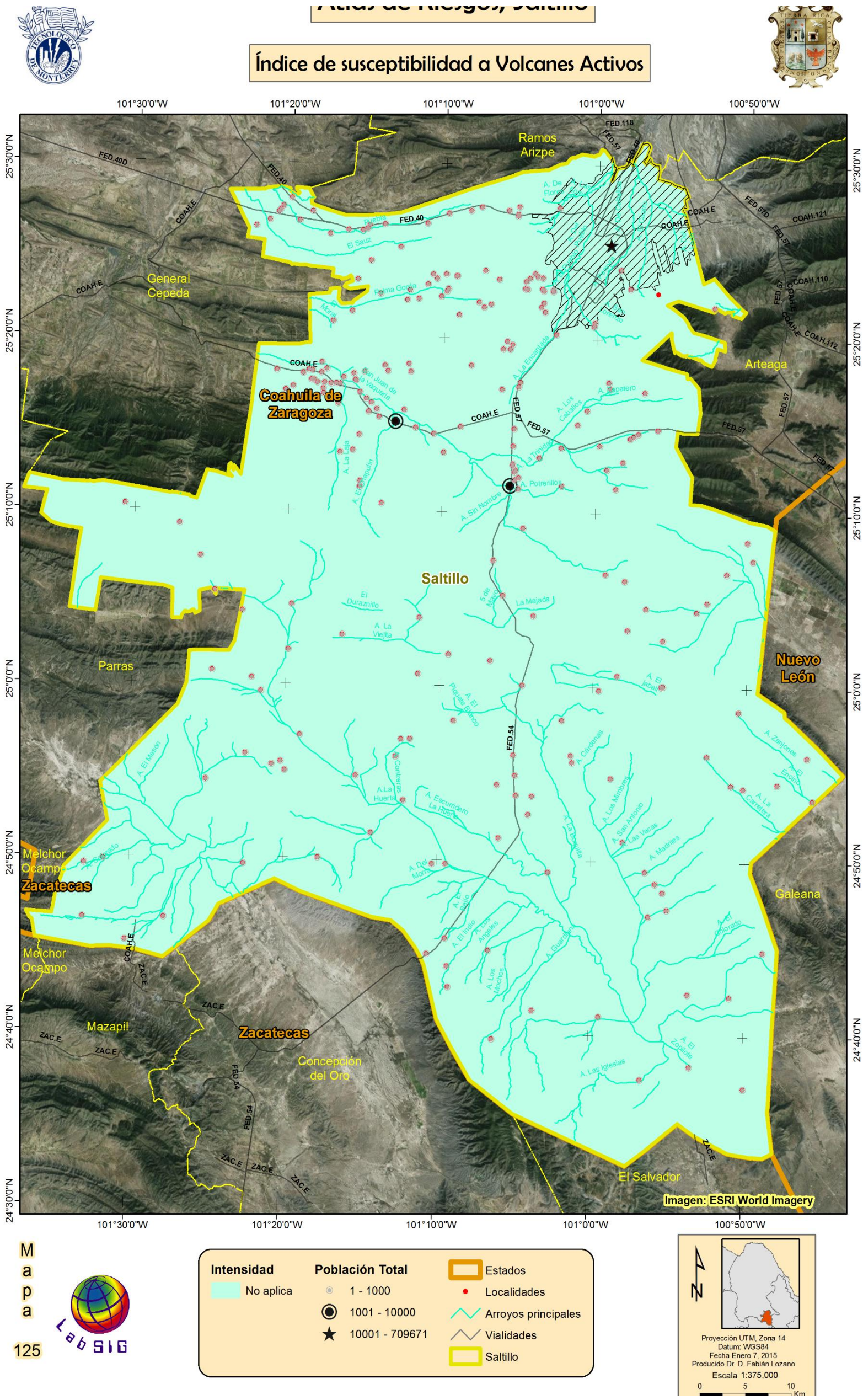


Figura 273. Índice de Susceptibilidad a vulcanismo.

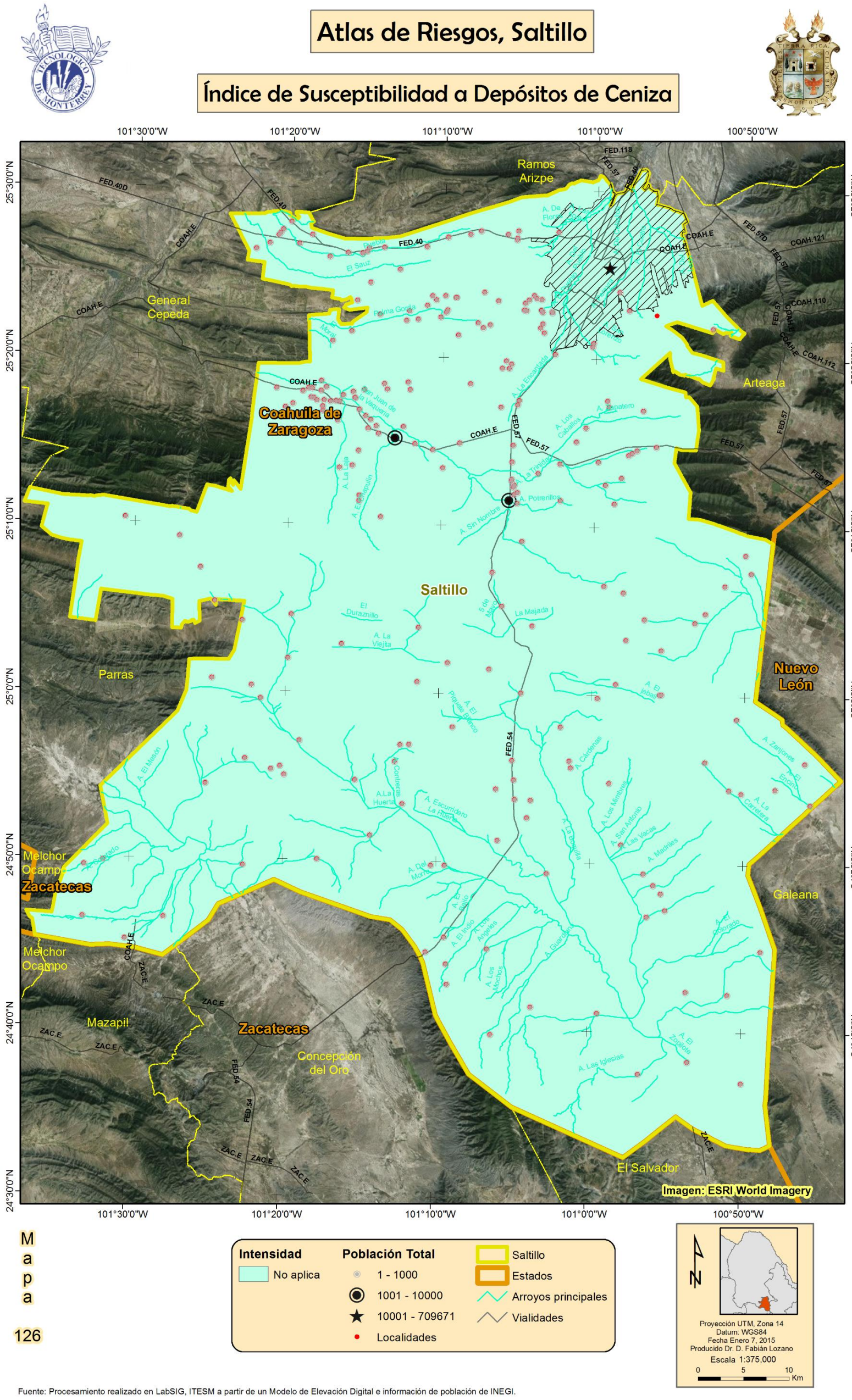
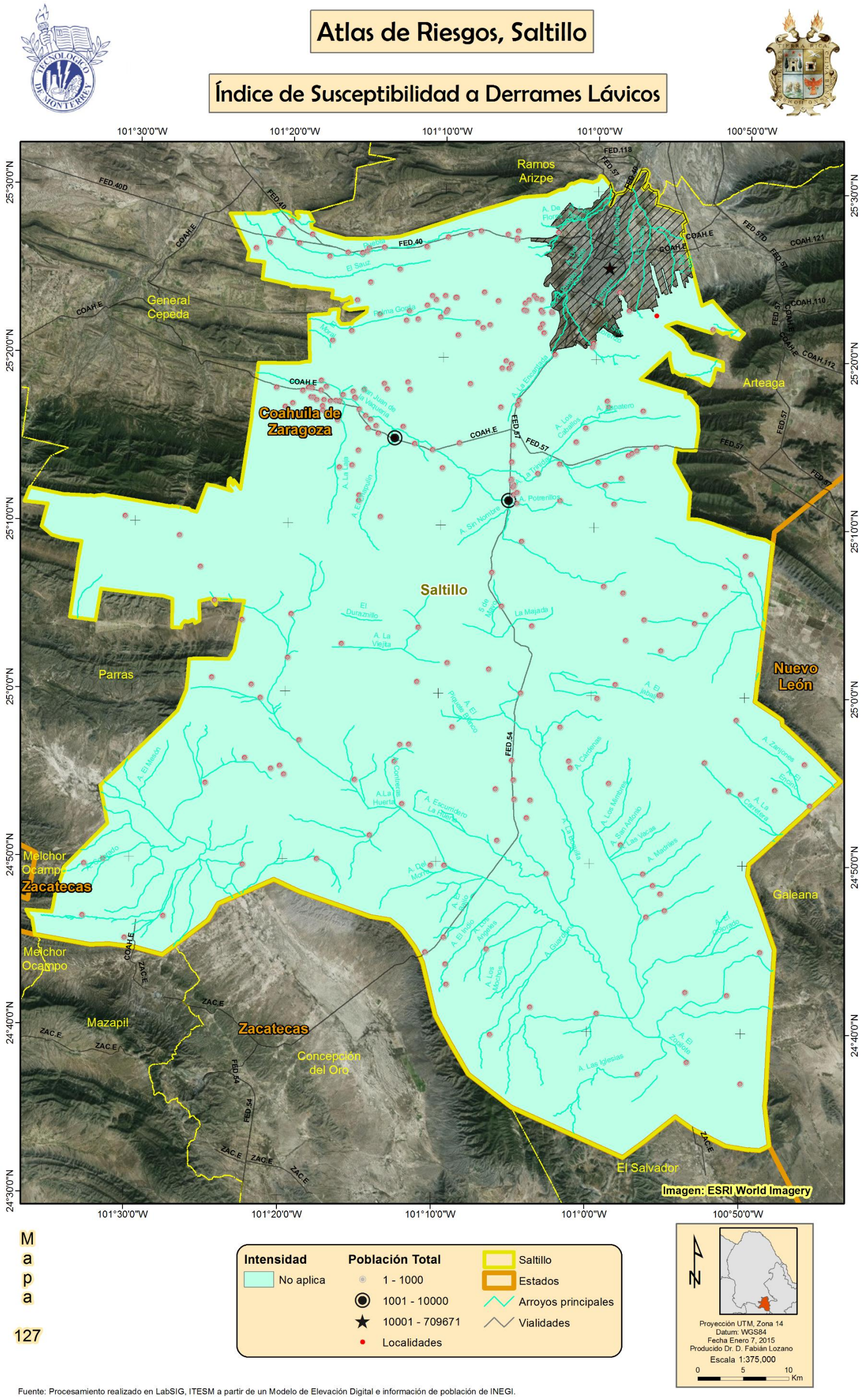


Figura 274. Índice de Susceptibilidad a depósitos de ceniza, zona rural.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de un Modelo de Elevación Digital e información de población de INEGI.

Figura 275. Índice de Susceptibilidad a derrames lávicos, zona rural.

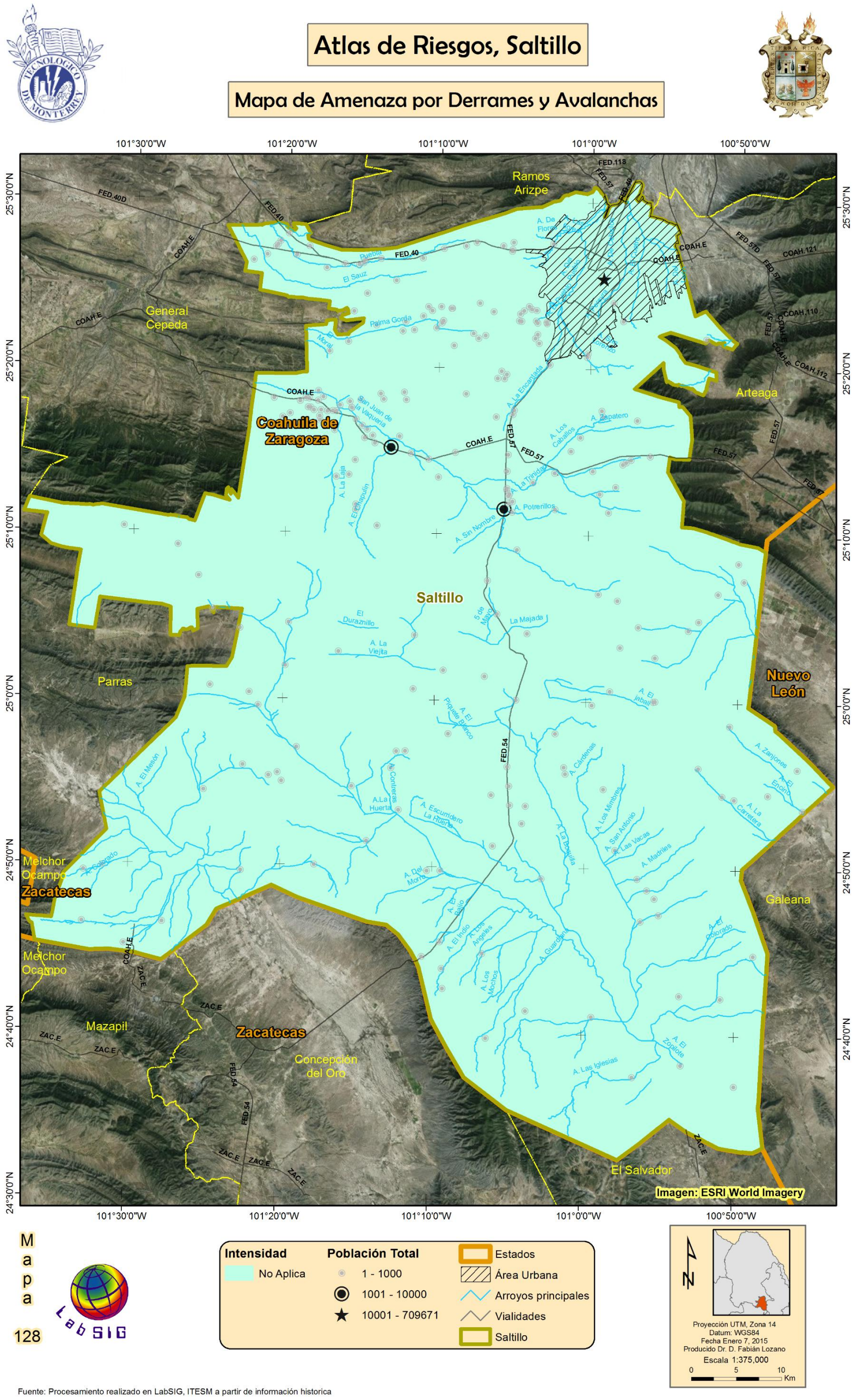
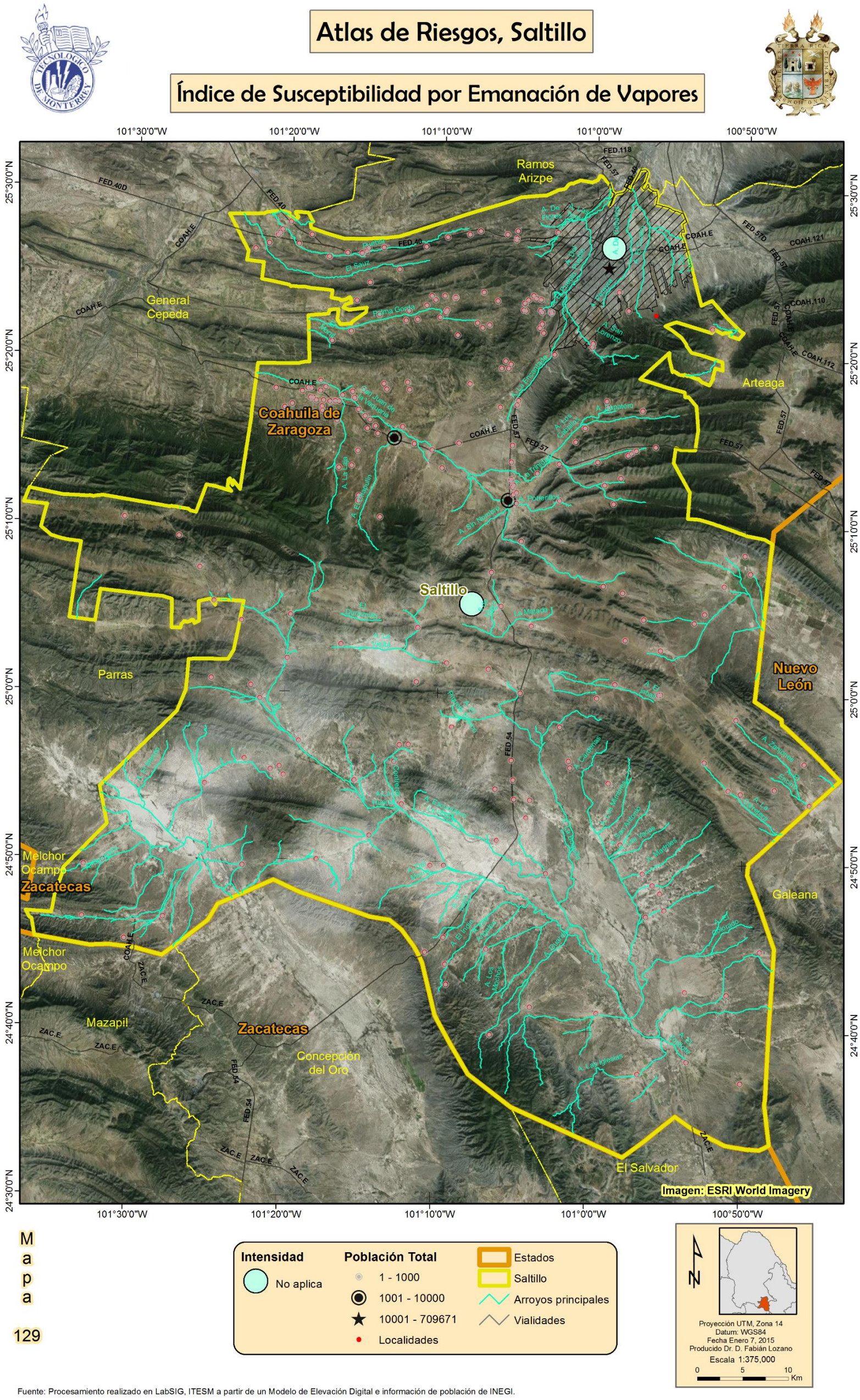


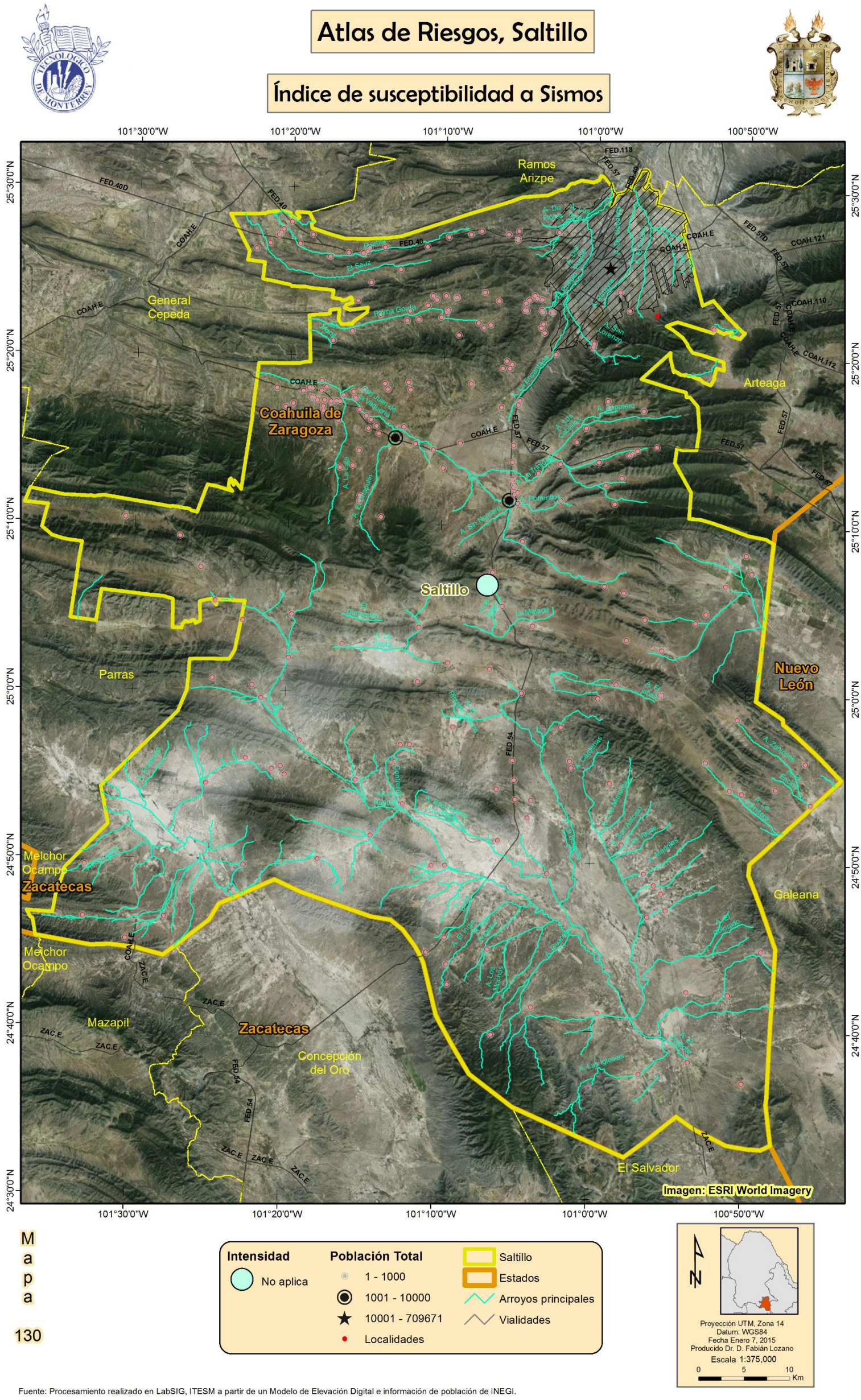
Figura 276. Índice de Susceptibilidad a derrames y avalanchas, zona rural.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de un Modelo de Elevación Digital e información de población de INEGI.

Figura 277. Índice de Susceptibilidad a emanación de vapores.

5.5.2 Índice de Susceptibilidad a Sismos



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de un Modelo de Elevación Digital e información de población de INEGI.

Figura 278. Índice de Susceptibilidad a sismos.

5.5.3 Índice de Susceptibilidad a Tsunamis

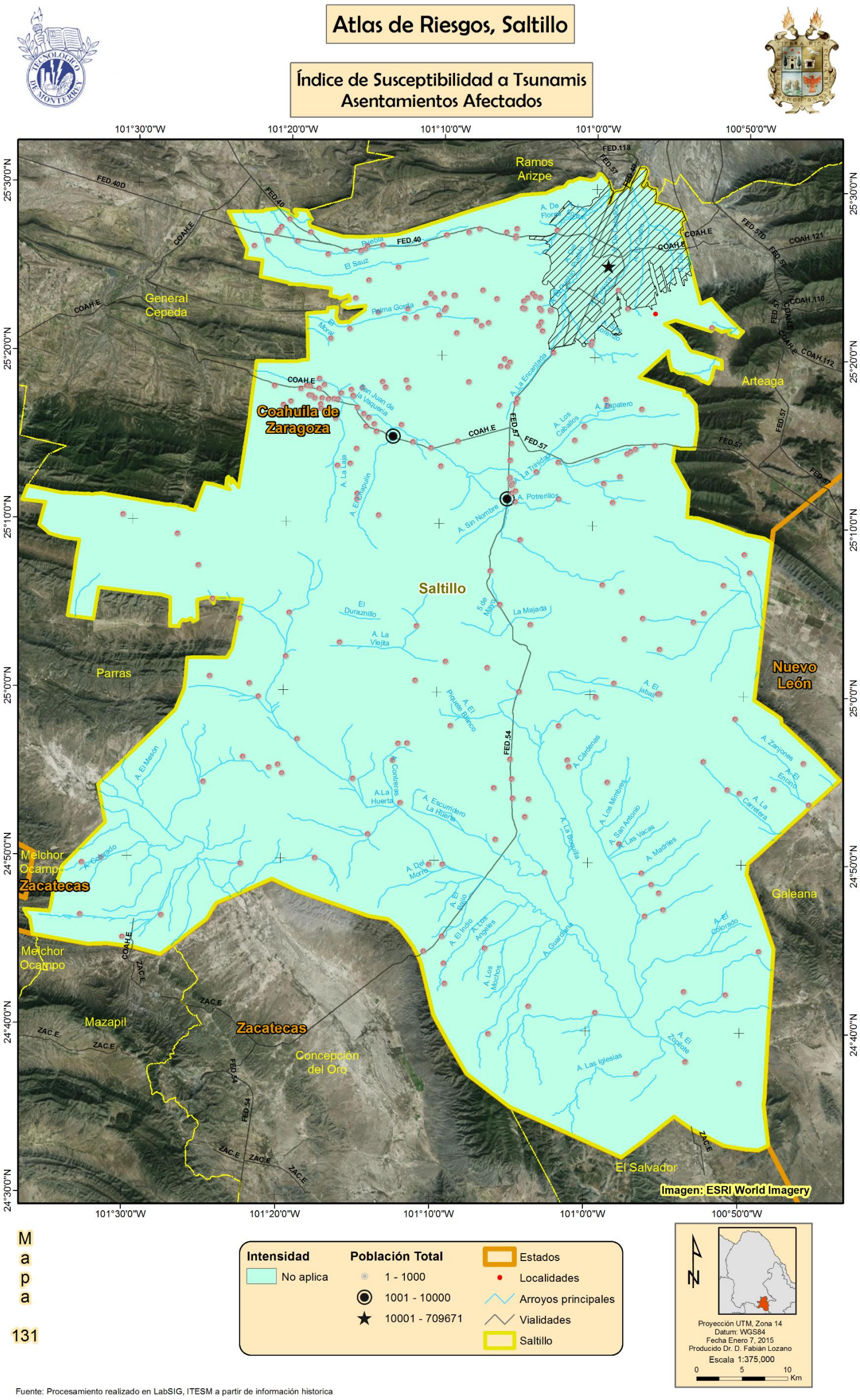


Figura 279. Índice de Susceptibilidad a tsunamis.

5.5.4 Riesgo por Inestabilidad de Laderas

El riesgo por inestabilidad de laderas se muestra en las dos escalas, quedando en evidencia que el municipio presenta algunas zonas con riesgos muy alto y alto a éste fenómeno geológico, que cabe señalar es un fenómeno que también se encuentra afectado por las lluvias torrenciales en la región que pueden ser muy intensas y generar inestabilidad de laderas. Más adelante en la sección 5.5.4.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.4.1 Mapas, Inestabilidad de Laderas

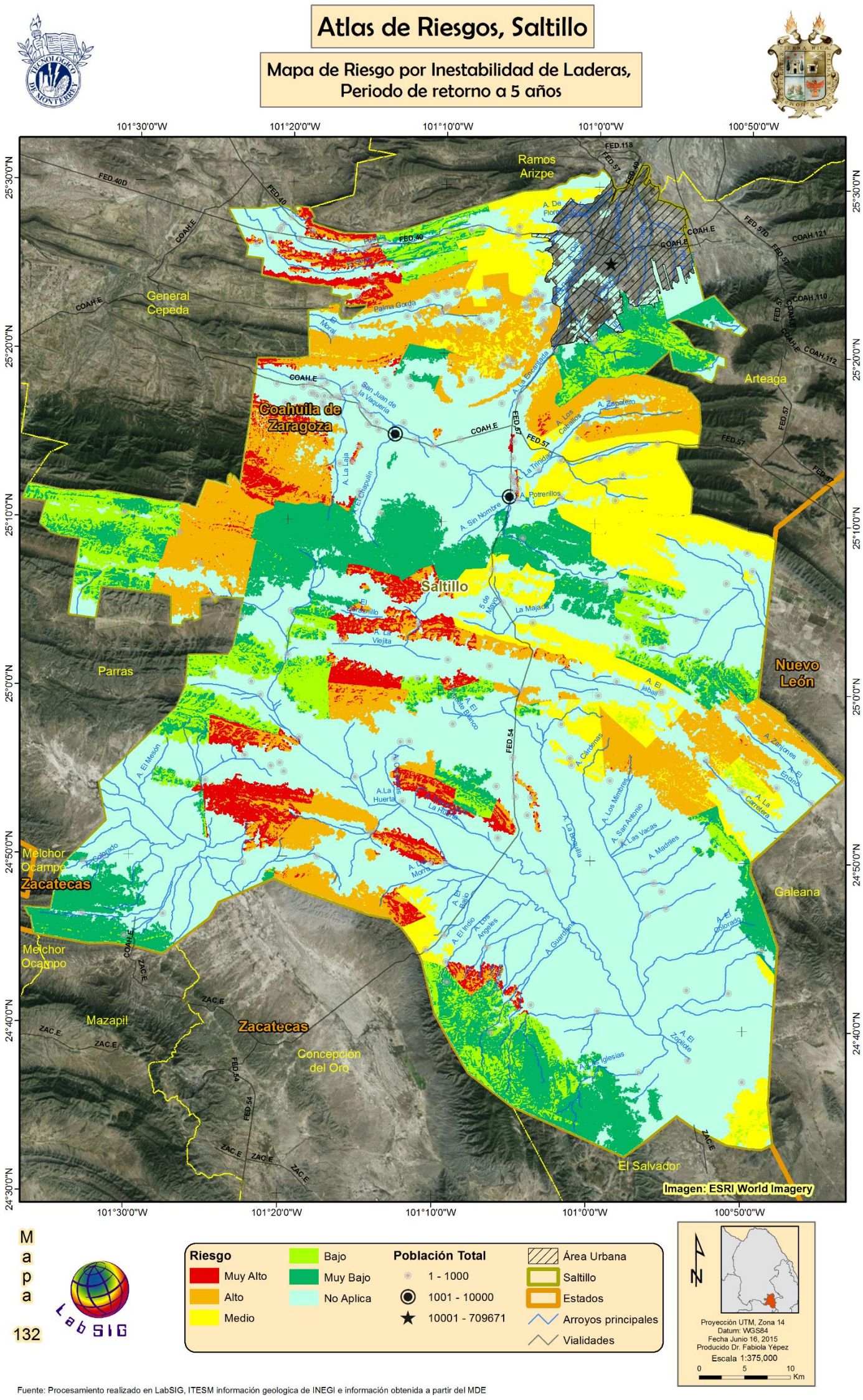
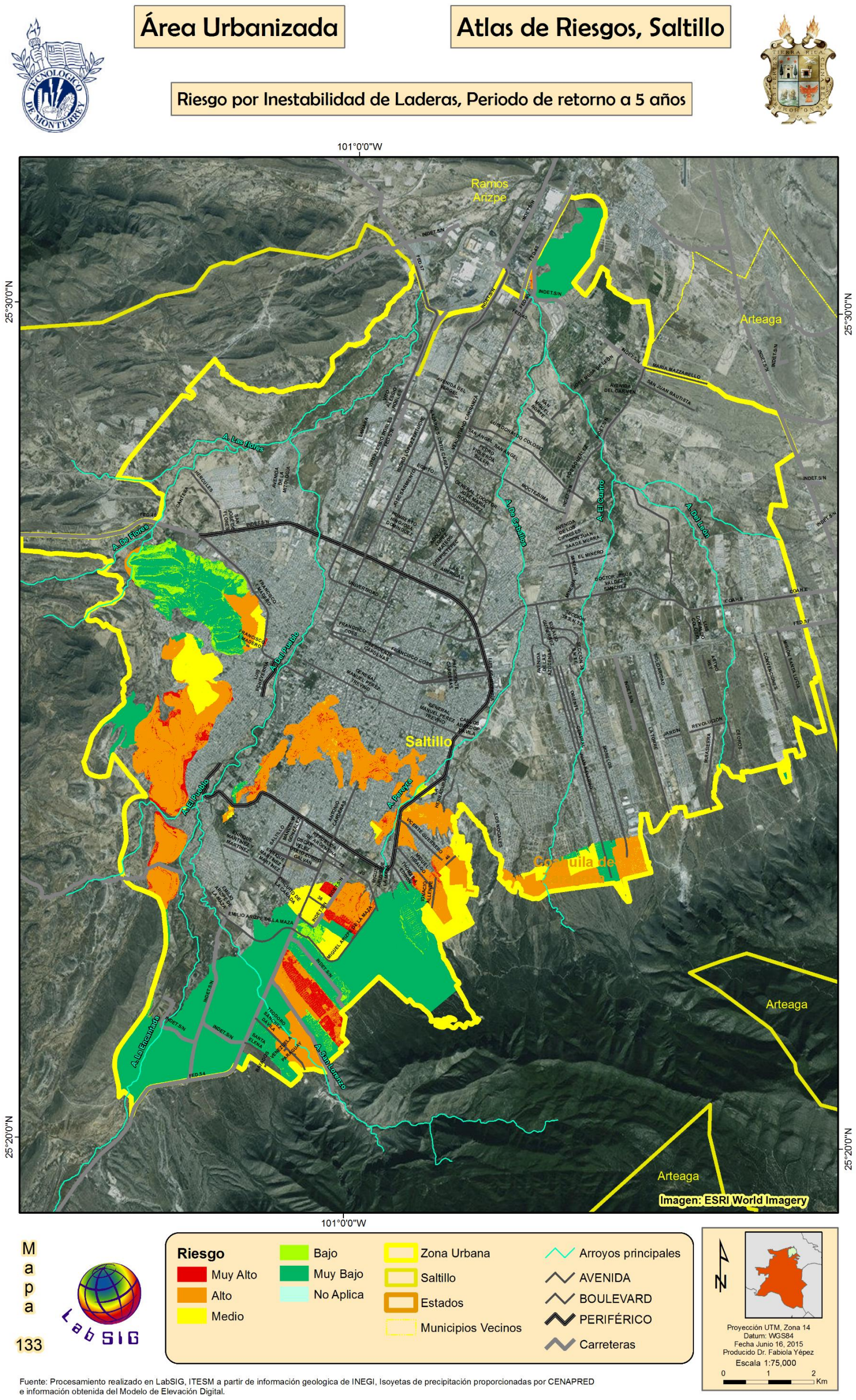


Figura 280. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 5 años..



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información geologica de INEGI, Isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED e información obtenida del Modelo de Elevación Digital.

Figura 281. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 5 años

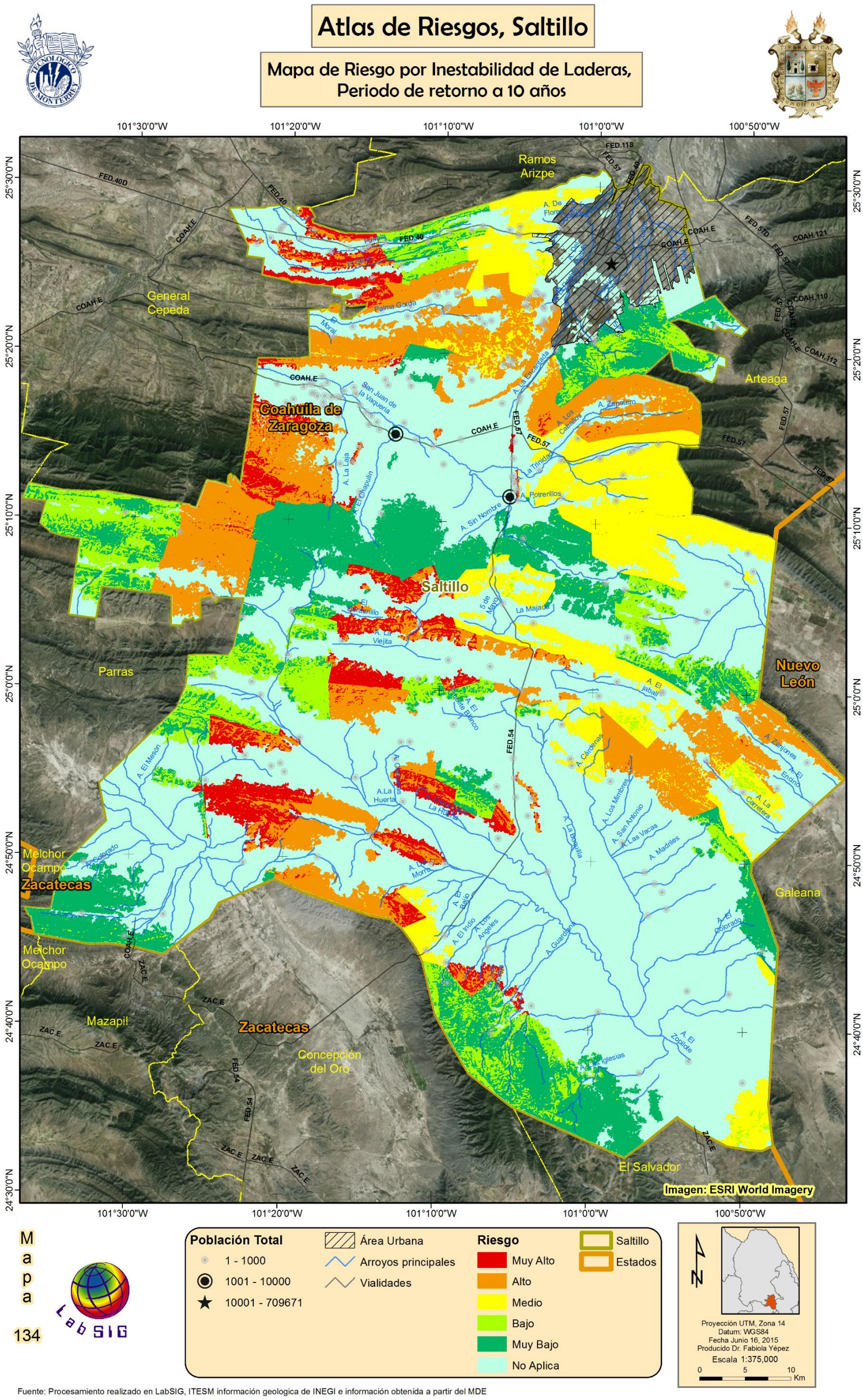


Figura 282. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 10 años..

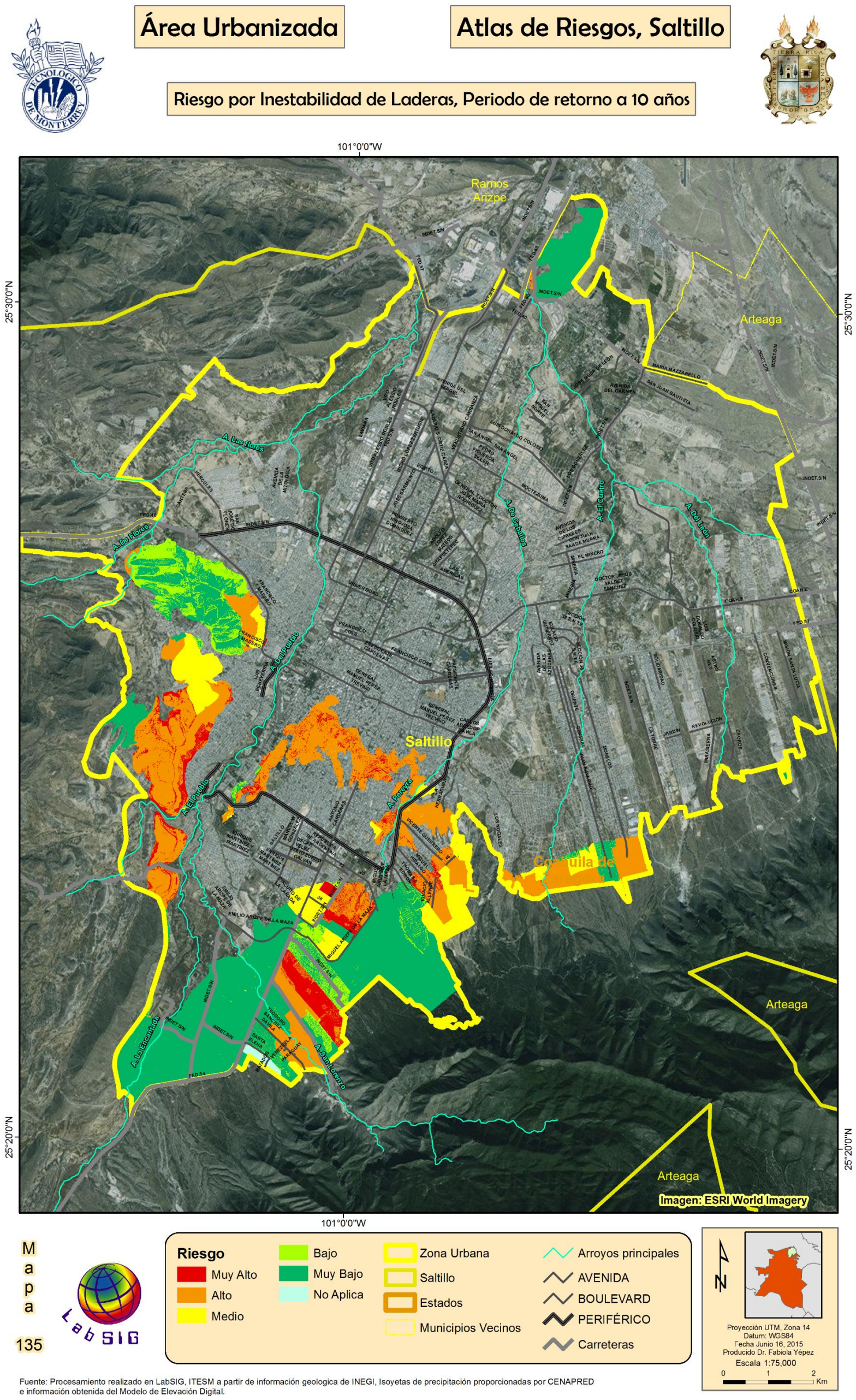


Figura 283. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 10 años

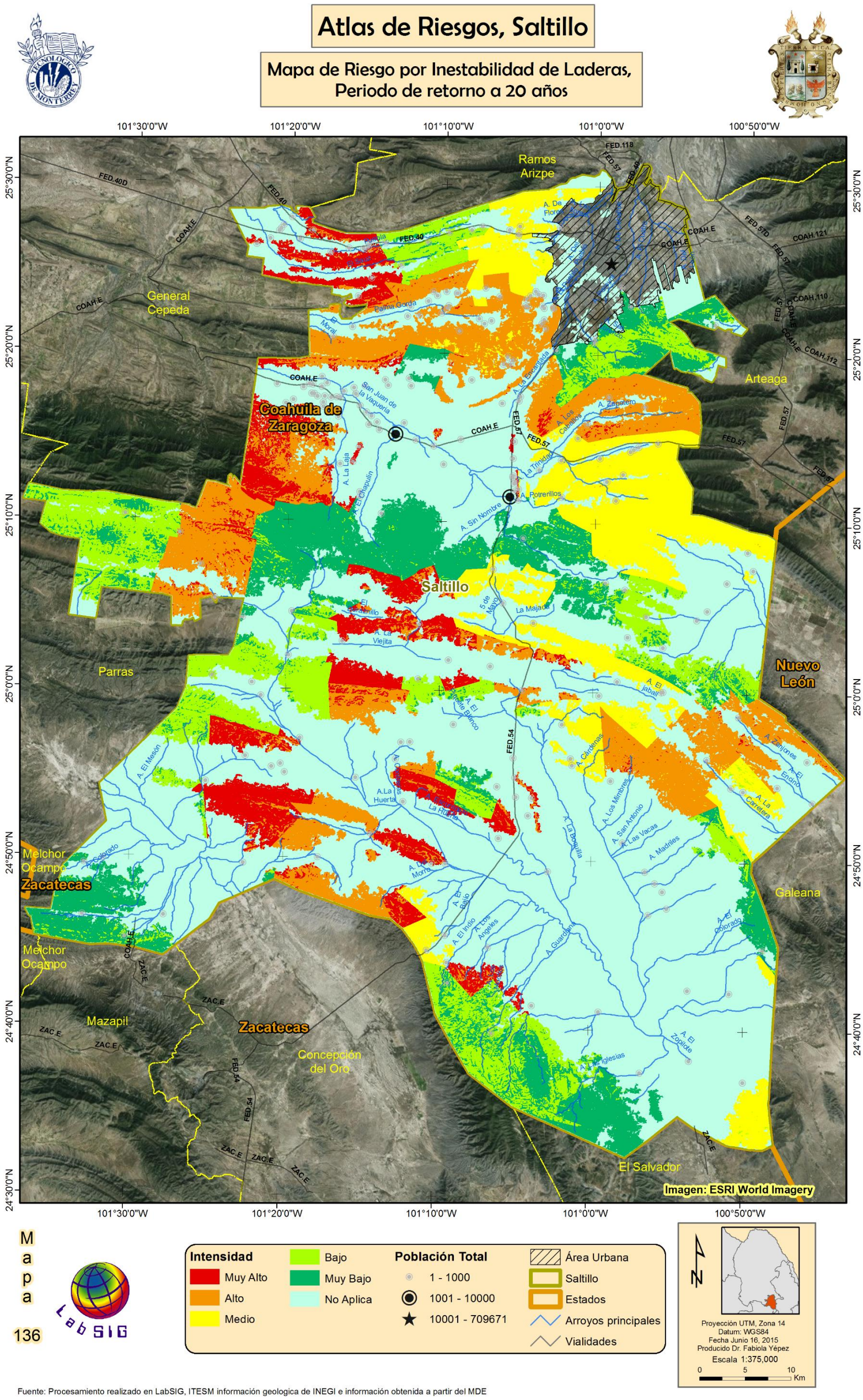


Figura 284. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 20 años..

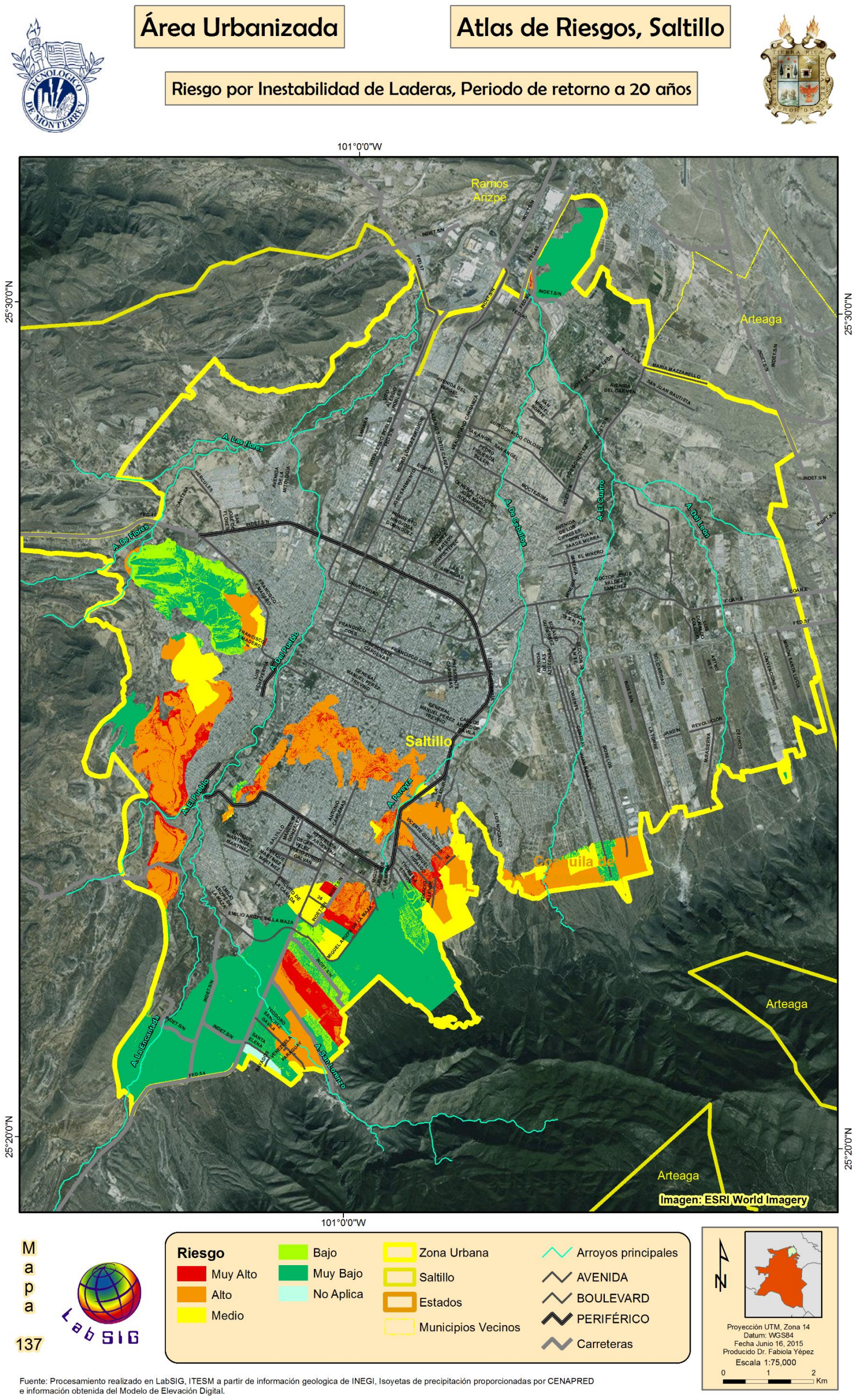
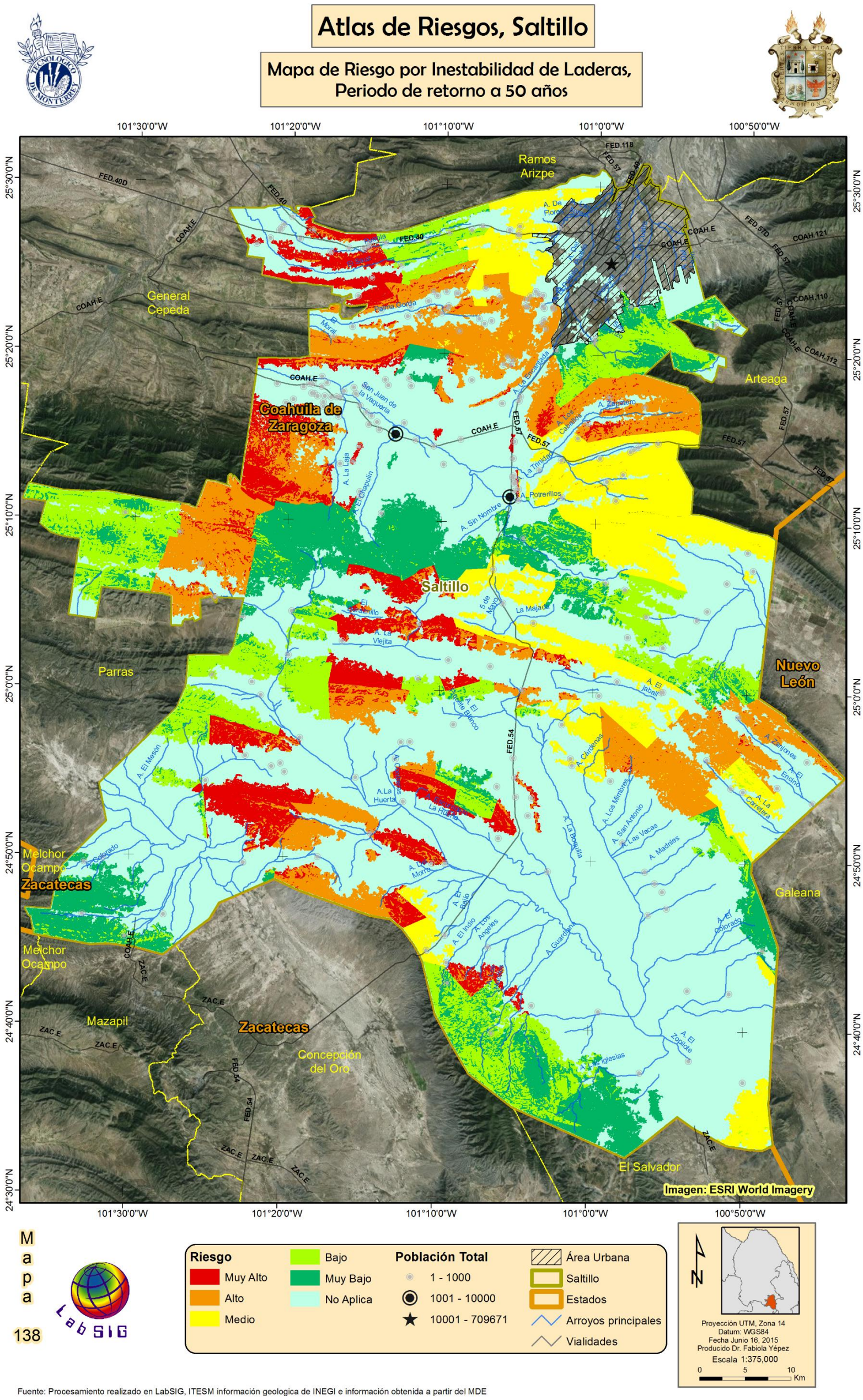
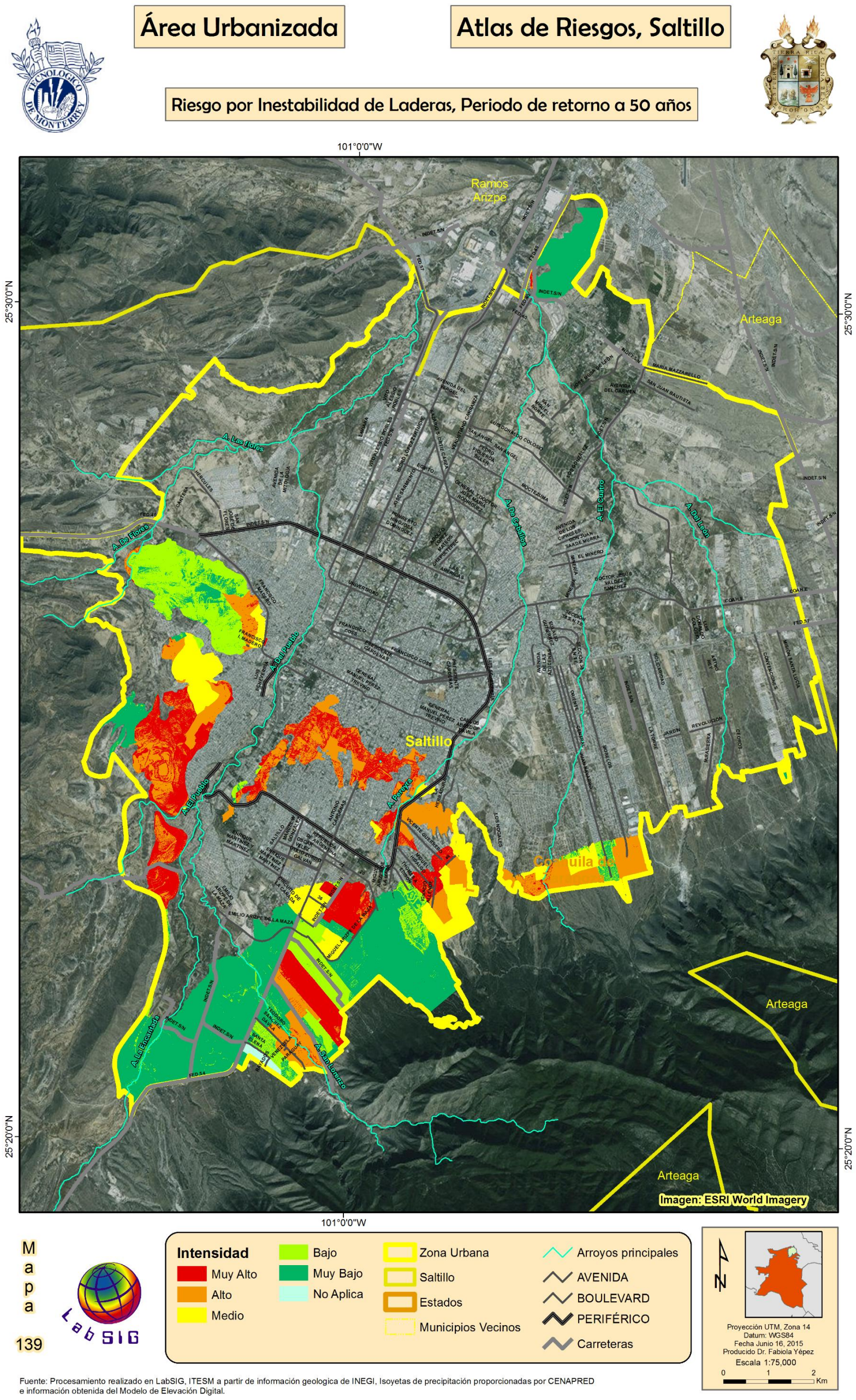


Figura 285. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 20 años



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM información geologica de INEGI e información obtenida a partir del MDE

Figura 286. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 50 años..



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información geologica de INEGI, Isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED e información obtenida del Modelo de Elevación Digital.

Figura 287. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 50 años

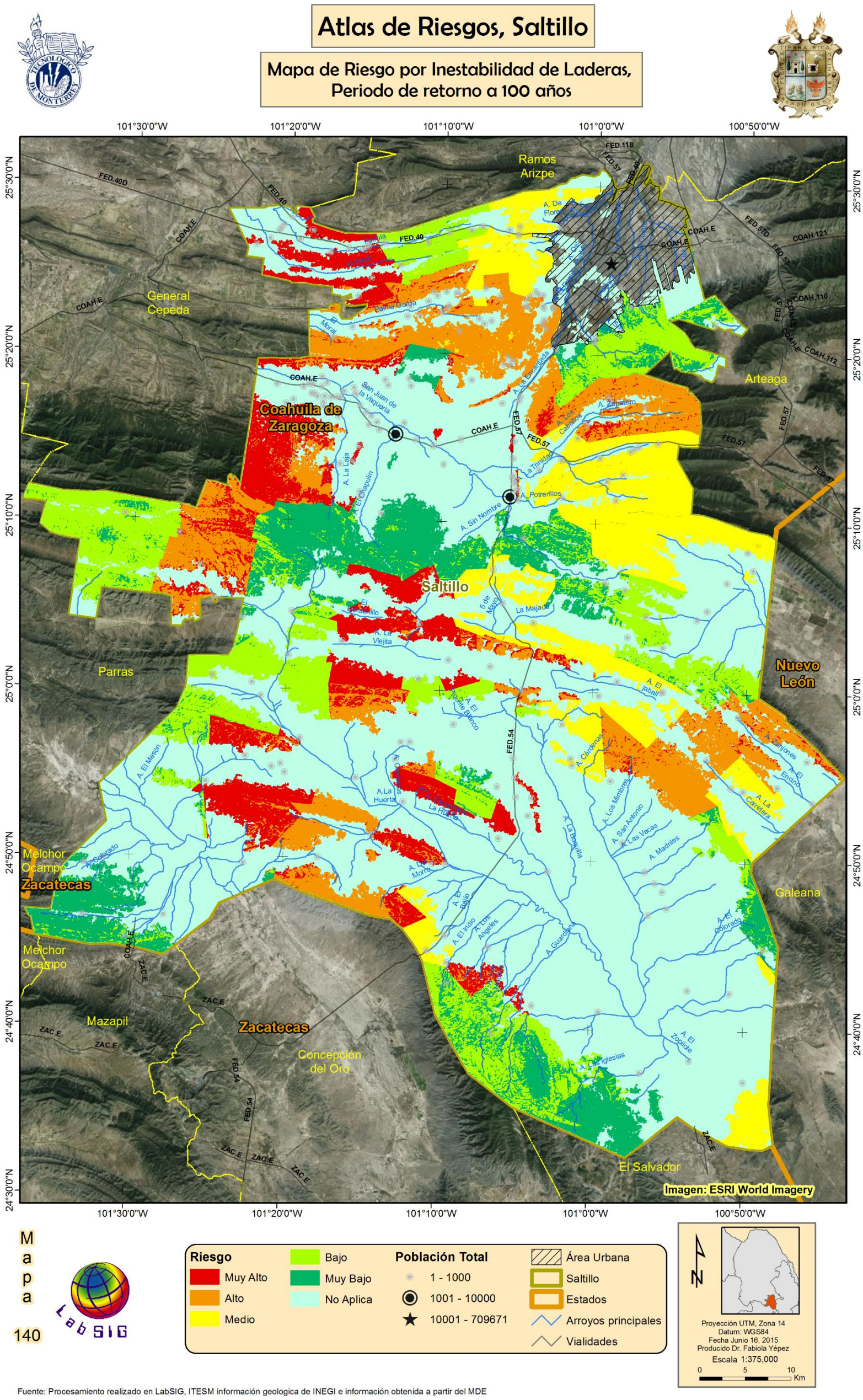
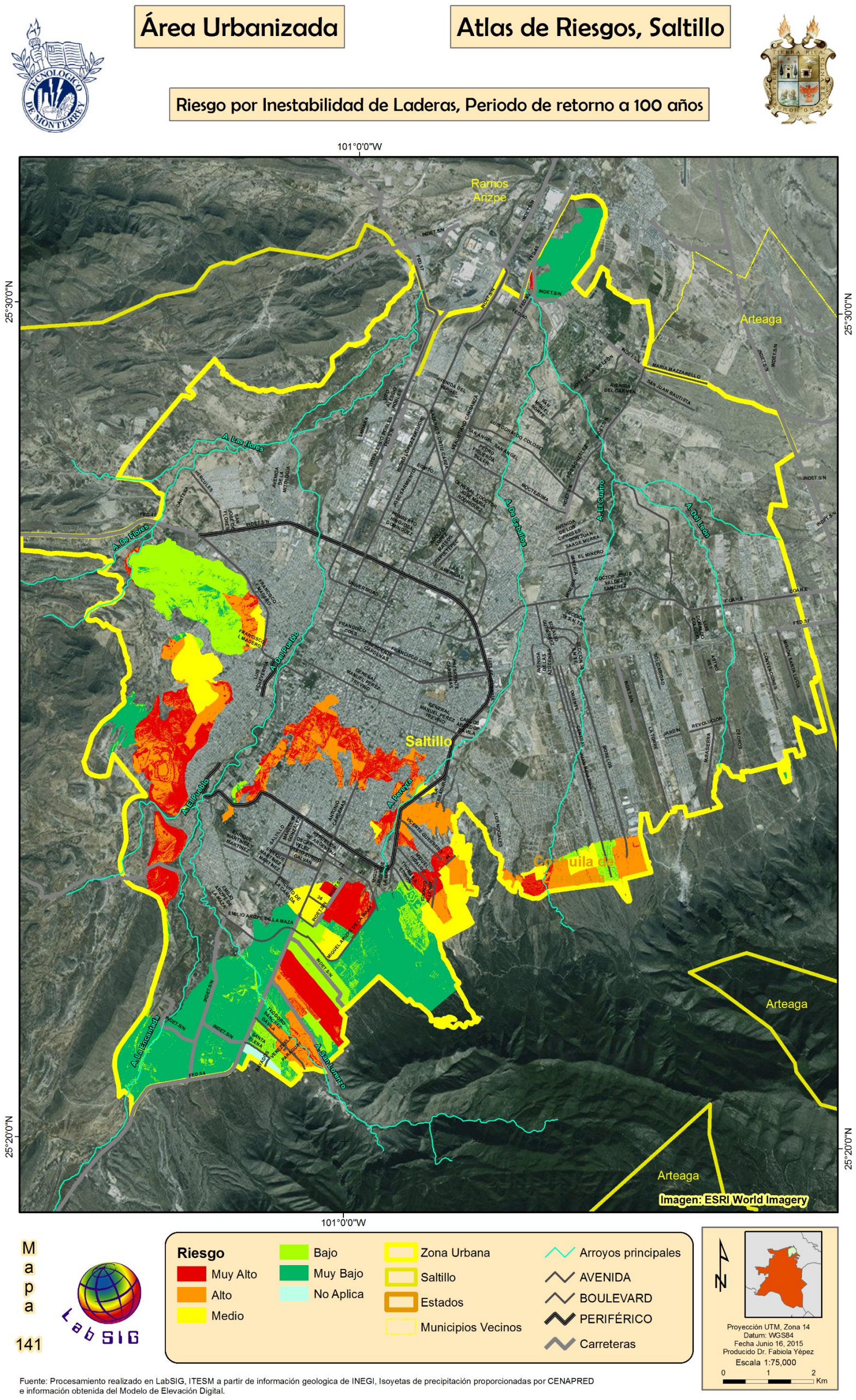


Figura 288. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona rural, Pr 100 años..



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información geologica de INEGI, Isoyetas de precipitación proporcionadas por CENAPRED e información obtenida del Modelo de Elevación Digital.

Figura 289. Niveles de riesgo por inestabilidad de ladera, zona urbana, Pr 100 años

5.5.4.2 Riesgo por Inestabilidad de Laderas, Interpretación

5.5.4.2.1 Período de retorno de 5 años.

En Inestabilidad de Laderas con Pr de 5 años, se obtuvieron niveles de riesgo social Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 1.50 km^2, el nivel Alto 13.12 km^2, el nivel Medio 3.51 km^2, el nivel Bajo 1.54 km^2 y el nivel Muy Bajo 19.31 km^2 (Tabla 63).

Tabla 63. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de 5 años.

Riesgo	Área (km^2)	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	1.50	3.85%
Alto	13.12	33.66%
Medio	3.51	9.02%
Bajo	1.54	3.94%
Muy Bajo	19.31	49.53%
Total	38.98	100.00%

Las zonas de riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 5 años y los datos del ITER 2010, indican que en las zonas de Riesgo Muy Alto se encuentra un total de 69,218 viviendas y 23,6173habitantes, en las zonas de riesgo Alto 107,676 viviendas y aproximadamente 363,846 habitantes, las zonas de riesgo Medio 42,704 viviendas y 144,410 habitantes, en las áreas de riesgo Bajo, 19,706 viviendas y 65,048 habitantes, en las zonas de riesgo Muy Bajo 30,424 viviendas y 90,050 (Figura 290).

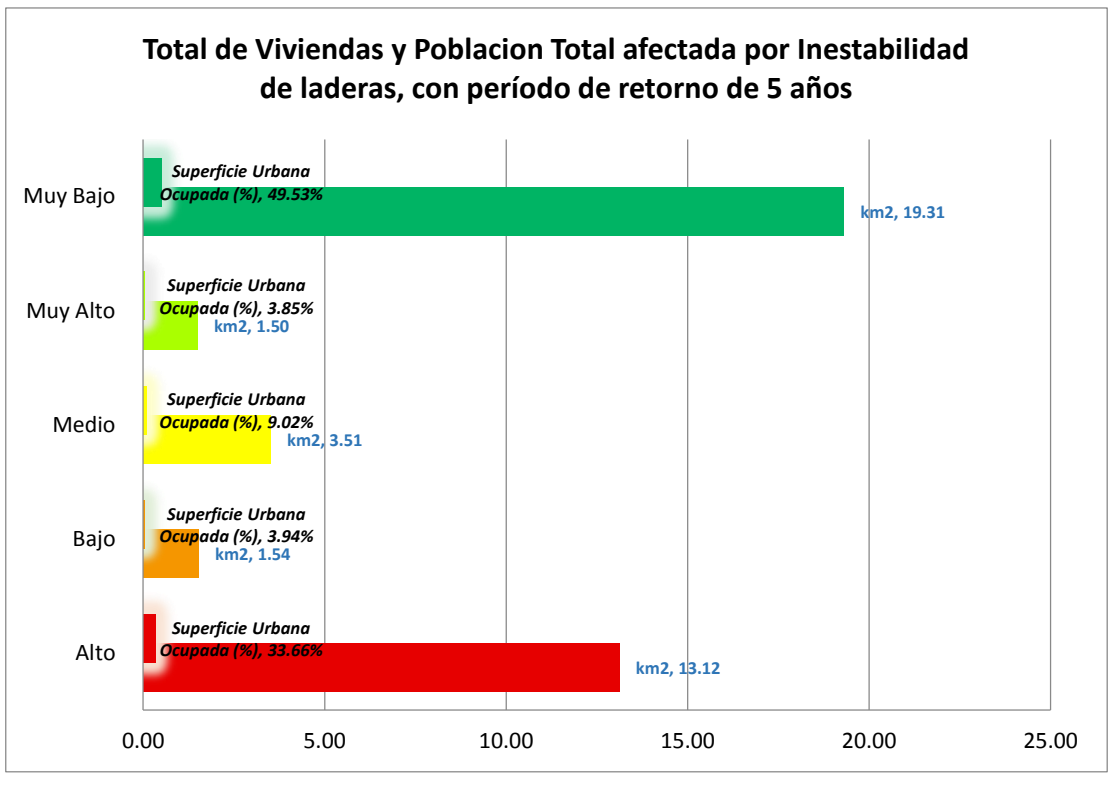


Figura 290. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 5 años.

5.5.4.2.2 Período de retorno de 10 años.

En Inestabilidad de Laderas con Pr de 10 años, se obtuvieron niveles de riesgo Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 2.69 km^2, el nivel Alto 12.00 km^2, el nivel Medio 3.46 km^2, el nivel Bajo 2.92 km^2, el nivel Muy Bajo 17.89 km^2 (Tabla 64).

Tabla 64. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de 10 años.

Riesgo	Área (km^2)	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	2.69	6.90%
Alto	12.00	30.81%
Medio	3.46	8.88%
Bajo	2.92	7.49%
Muy Bajo	17.89	45.93%
Total	38.95	100.00%

Las zonas de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de10 años y los datos del ITER 2010, indican en las zonas de Riesgo Muy Alto un total de 78,033 viviendas y 267,817 habitantes, en riesgo Alto 96,536 viviendas y 323,405 habitantes, en riesgo Medio 40,093 viviendas y 135,900 habitantes, en áreas de riesgo Bajo 21,483 viviendas y 66,533 habitantes, en zonas de riesgo Muy Bajo 23,855 viviendas y 70,805 habitantes (Figura 291).

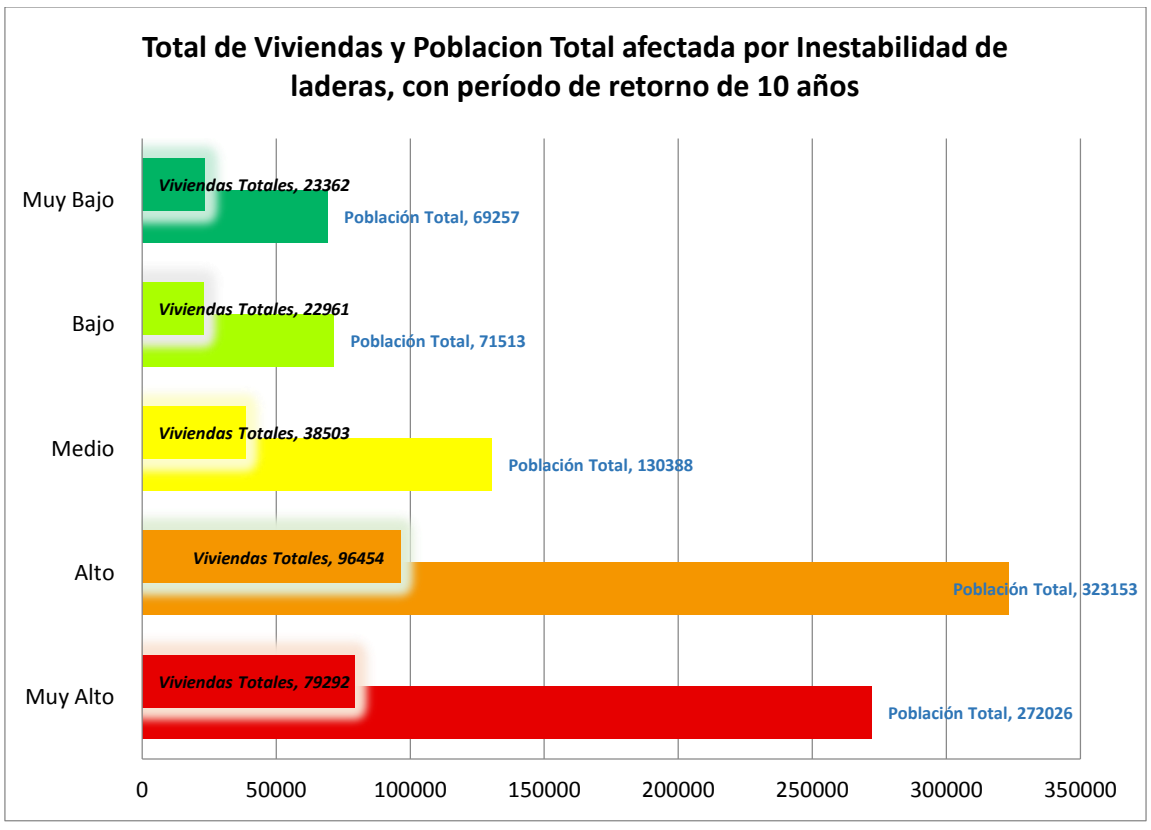


Figura 291. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con período de retorno de 10 años.

5.5.4.2.3 Período de retorno de 20 años.

En Inestabilidad de Laderas con Pr de 20 años, se obtuvieron niveles de riesgo Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 2.90 km^2, el nivel Alto 11.79 km^2, el nivel Medio 3.46 km^2, el nivel Bajo 3.15 km^2, el nivel Muy Bajo 17.66 km^2 (Tabla 65).

Tabla 65. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo social para Inestabilidad de Laderas con Pr de 20 años.

Riesgo	Área (km^2)	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	2.90	7.44%
Alto	11.79	30.26%
Medio	3.46	8.87%
Bajo	3.15	8.08%
Muy Bajo	17.66	45.34%
Total	38.95	100.00%

Las zonas de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de10 años y los datos del ITER 2010, indican en las zonas de Riesgo Muy Alto un total de 79,292 viviendas y 272,026 habitantes, en riesgo Alto 96,454 viviendas y 323,153 habitantes, en riesgo Medio 38,503 viviendas y 130,388 habitantes, en áreas de riesgo Bajo 22,961 viviendas y 71,513 habitantes, en zonas de riesgo Muy Bajo 23,362 viviendas y 69,257 habitantes (Figura 292).

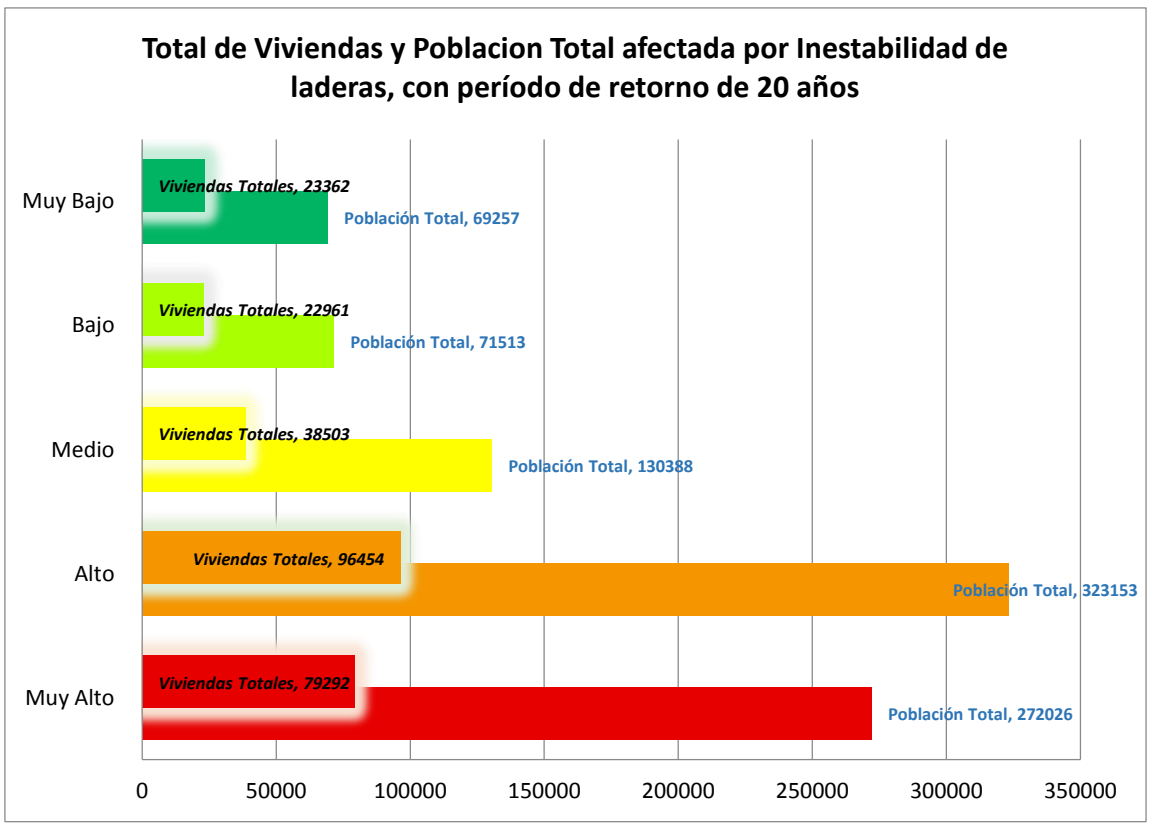


Figura 292. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 20 años.

5.5.4.2.4 Período de retorno de 50 años.

En Inestabilidad de Laderas con Pr de 50 años, se obtuvieron niveles de riesgo Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 6.69 km^2, el nivel Alto 8.02 km^2, el nivel Medio 3.45 km^2, el nivel Bajo 6.17 km^2, el nivel Muy Bajo 14.65 km^2 (Tabla 66).

Tabla 66. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de 50 años.

Riesgo	Área (km^2)	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	6.69	17.16%
Alto	8.02	20.58%
Medio	3.45	8.84%
Bajo	6.17	15.82%
Muy Bajo	14.65	37.59%
Total	38.98	100.00%

Las zonas de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de 50 años y los datos del ITER 2010, muestran en las zonas de Riesgo Muy Alto un total de 93,239 viviendas y 318,740 habitantes, en riesgo Alto 82,140 viviendas y 275,224 habitantes, en riesgo Medio 30,800 viviendas y 107,170 habitantes, en áreas de riesgo Bajo 22,226 viviendas y 65,916 habitantes, en zonas de riesgo Muy Bajo 19,062 viviendas y 54,974 habitantes (Figura 293).

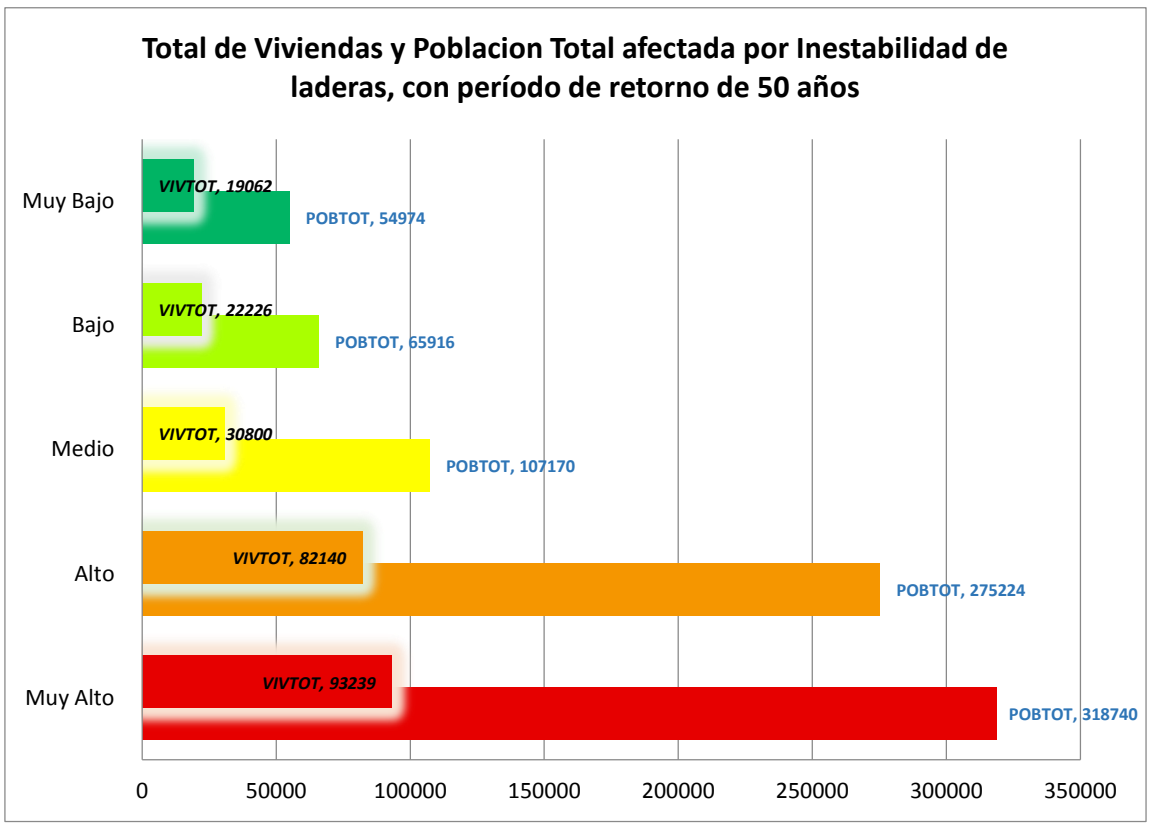


Figura 293. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 50 años.

5.5.4.2.5 Período de retorno de 100 años.

En Inestabilidad de Laderas con Pr de 100 años, se obtuvieron niveles de riesgo Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 7.15 km^2, el nivel Alto 7.56 km^2, el nivel Medio 3.45 km^2, el nivel Bajo 7.13 km^2, el nivel Muy Bajo 13.69 km^2 (Tabla 67).

Tabla 67. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Inestabilidad de Laderas con período de retorno de 100 años.

Riesgo	Área (km^2)	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	7.15	18.35%
Alto	7.56	19.40%
Medio	3.45	8.84%
Bajo	7.13	18.30%
Muy Bajo	13.69	35.11%
Total	38.98	100.00%

Las zonas de riesgo para Inestabilidad de Laderas con Pr de 100 años y los datos del ITER 2010, muestran en las zonas de Riesgo Muy Alto un total de 95,339 viviendas y 323,782 habitantes, en riesgo Alto 74,323 viviendas y 249,785 habitantes, en riesgo Medio 30,171 viviendas y 104,379 habitantes, en áreas de riesgo Bajo 21,065 viviendas y 63,331 habitantes, en zonas de riesgo Muy Bajo 16,806 viviendas y 48,889 habitantes (Figura 294).

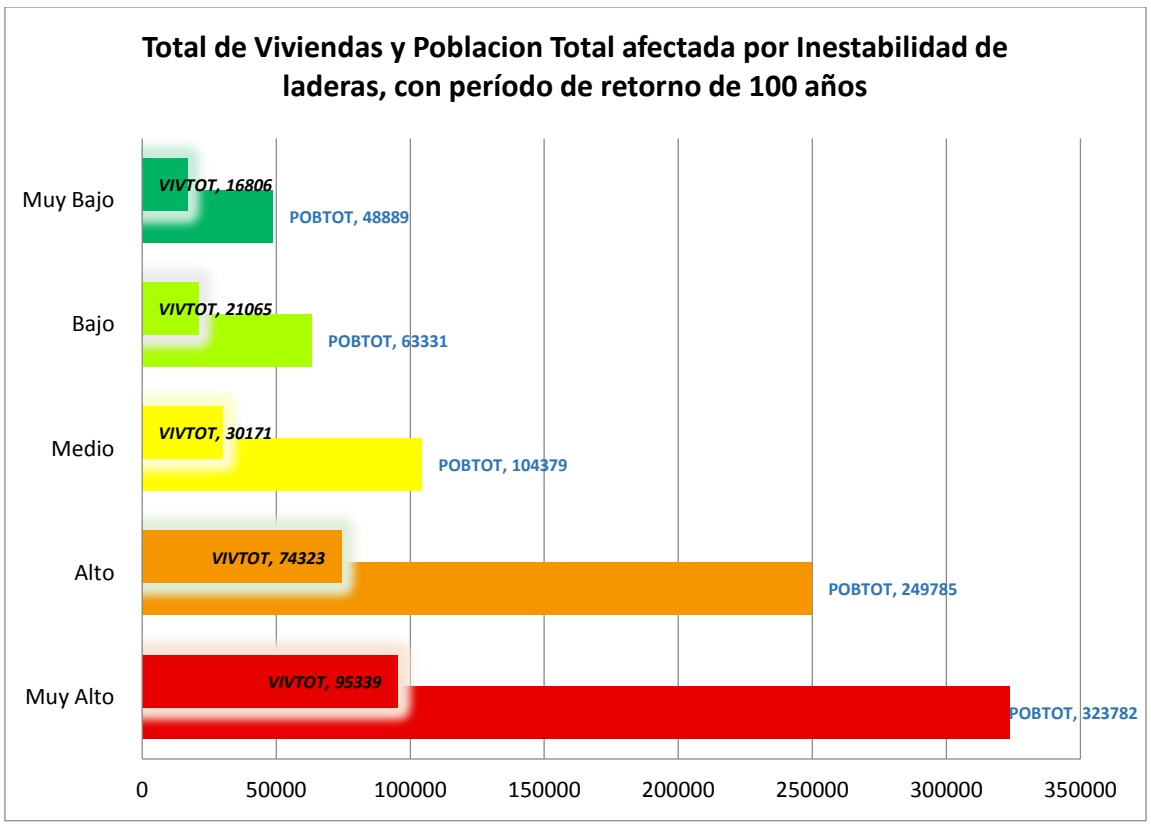
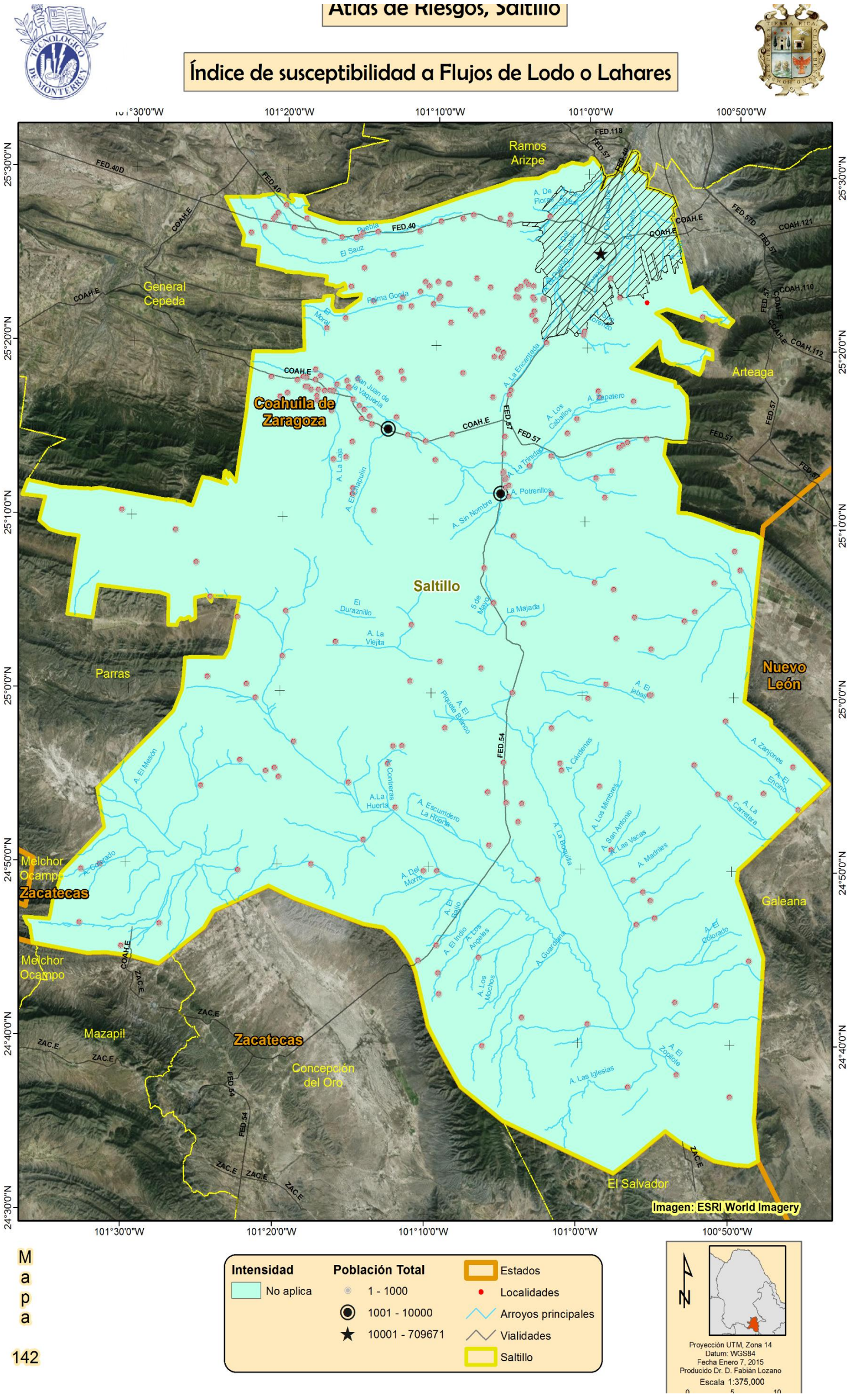


Figura 294. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Inestabilidad de Laderas con Pr de 100 años.

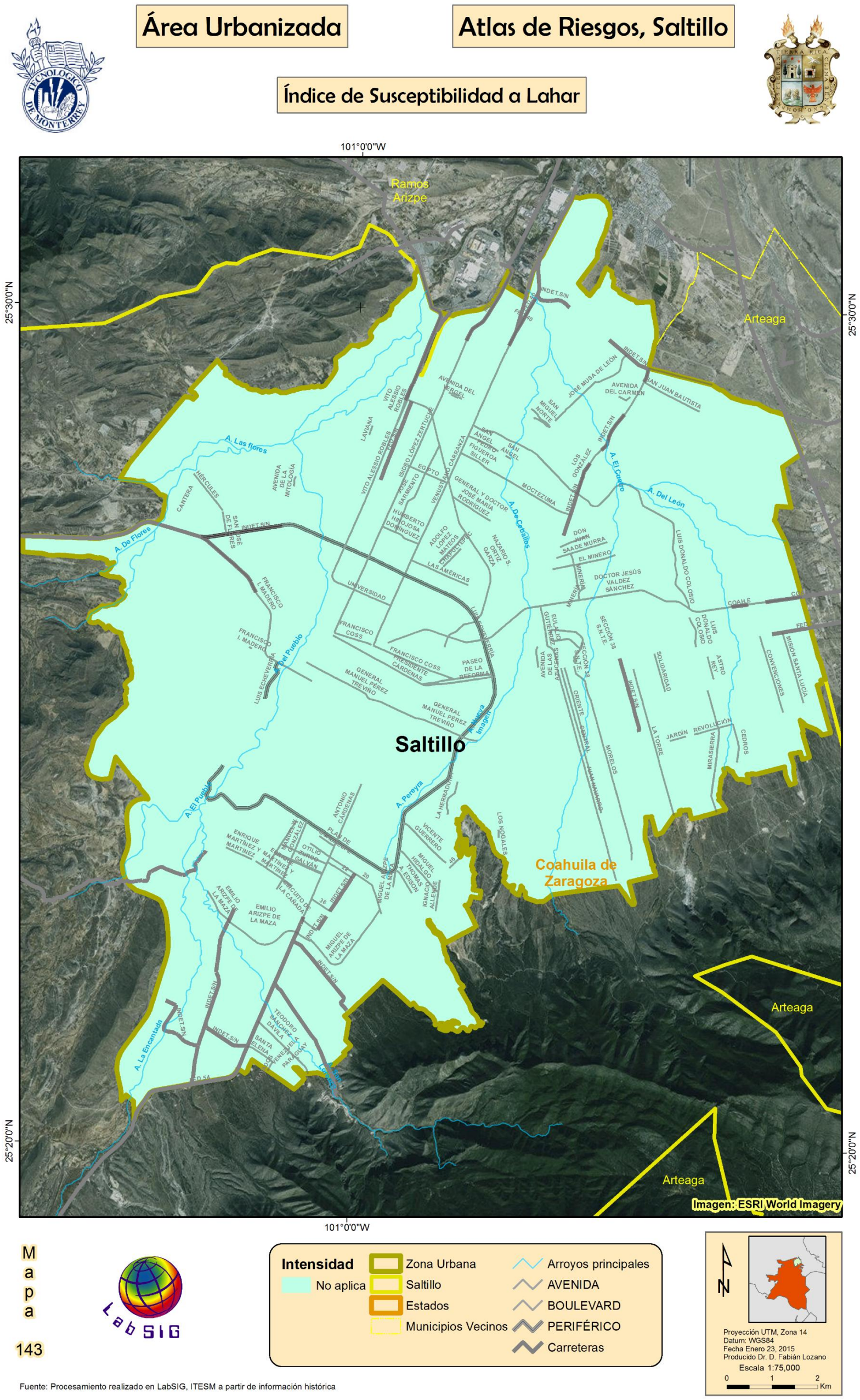
5.5.5 Índice de Susceptibilidad a Flujos de lodo o Lahares.

No se encontraron evidencias de éste tipo de fenómenos en el municipio, sin embargo se colocan los mapas como “No aplica”.



Mapa 142

Figura 295. Índice de susceptibilidad a Flujos de lodo y Lahares.



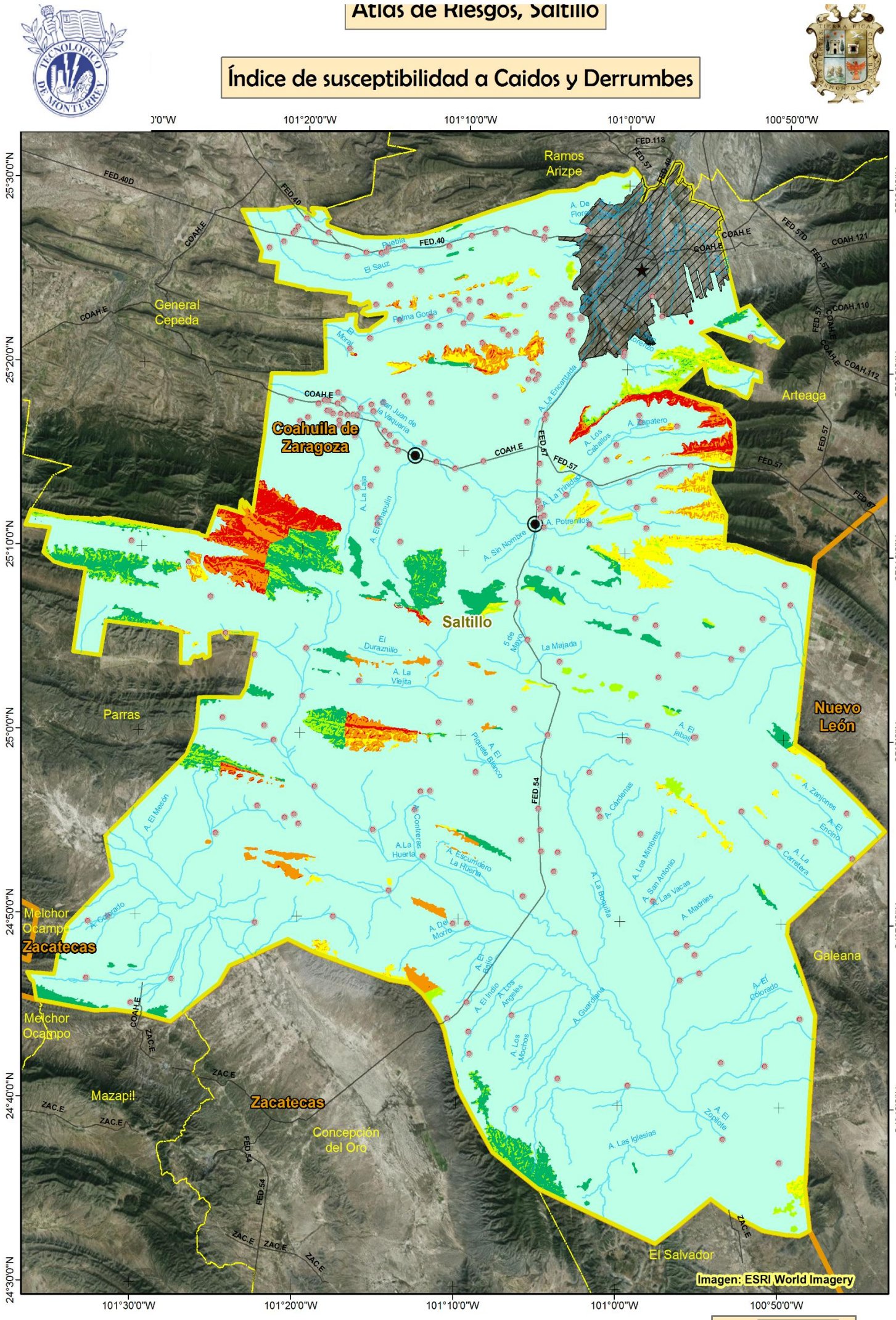
Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información histórica

Figura 296. Índice de susceptibilidad a Flujos de lodo o Lahares, para la zona Urbana de Saltillo.

5.5.6 Índice de Susceptibilidad a Caídos o Derrumbes

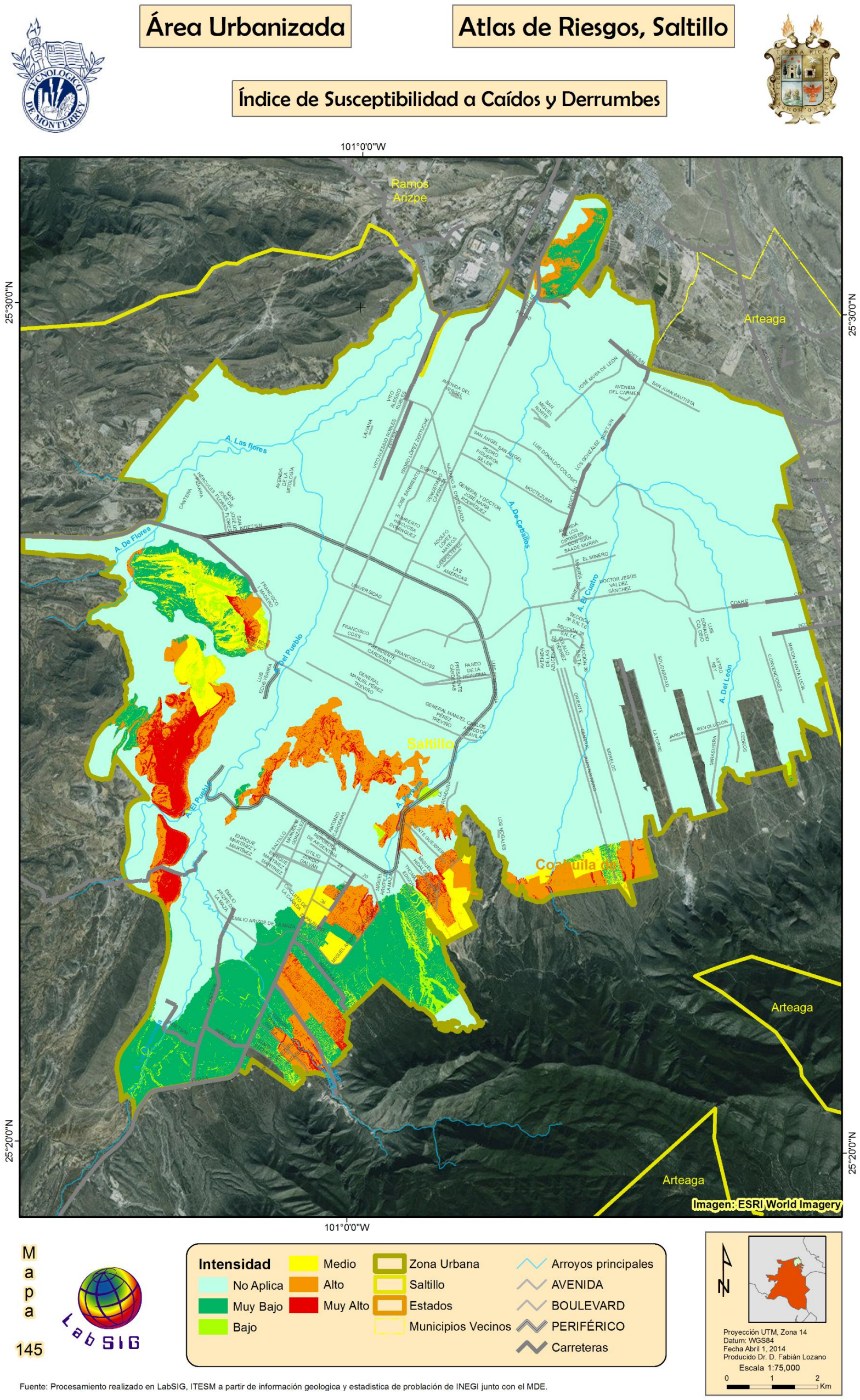
El riesgo por susceptibilidad a caídos y derrumbes también se muestra en las dos escalas, quedando en evidencia que el municipio presenta algunas zonas con riesgos muy alto y alto a éste fenómeno geológico. Más adelante en la sección 5.5.6.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.6.1 Mapas, Caídos o Derrumbes



Mapa 144

Figura 297. Índice de susceptibilidad a caídos y derrumbes, nivel rural.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información geologica y estadistica de población de INEGI junto con el MDE.

Figura 298. Índice de susceptibilidad a caídos y derrumbes, nivel Urbano.

5.5.6.2 Índice de susceptibilidad a Caídos y Derrumbes, nivel urbano, Interpretación

Para Caídos y Derrumbes, se obtuvieron niveles de riesgo Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 14.73 km^2, el nivel Alto 22.51 km^2, el nivel Medio 11.09 km^2, el nivel Bajo 24.55 km^2, el nivel Muy Bajo 24.04 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 145.74 km^2 (Tabla 68).

Tabla 68. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Caídos y Derrumbes.

Intensidad susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	6.07%
Alto	9.27%
Medio	4.61%
Bajo	10.11%
Muy Bajo	9.90%
No Aplica	60.03%
Total	100.00%

Para Caídos y Derrumbes los datos del ITER 2010 indican que en las zonas de Riesgo Muy Alto se encuentra, aproximadamente, un total de 26,617 viviendas en una área donde viven 89,177 personas, las zonas de riesgo Alto contiene un total de 33,020 viviendas y aproximadamente 110,942 habitantes, las zonas de riesgo Medio 13,014 viviendas y 45,502 habitantes, las zonas de riesgo Bajo 9,956 viviendas y 30,461 habitantes, las zonas de riesgo Muy Bajo contienen un total de 9,239 viviendas una población de 27,694 personas y en las áreas no afectadas por este fenómeno se encuentran aproximadamente un total de 184,536 viviendas y una población de 604,847 habitantes (Figura 299).

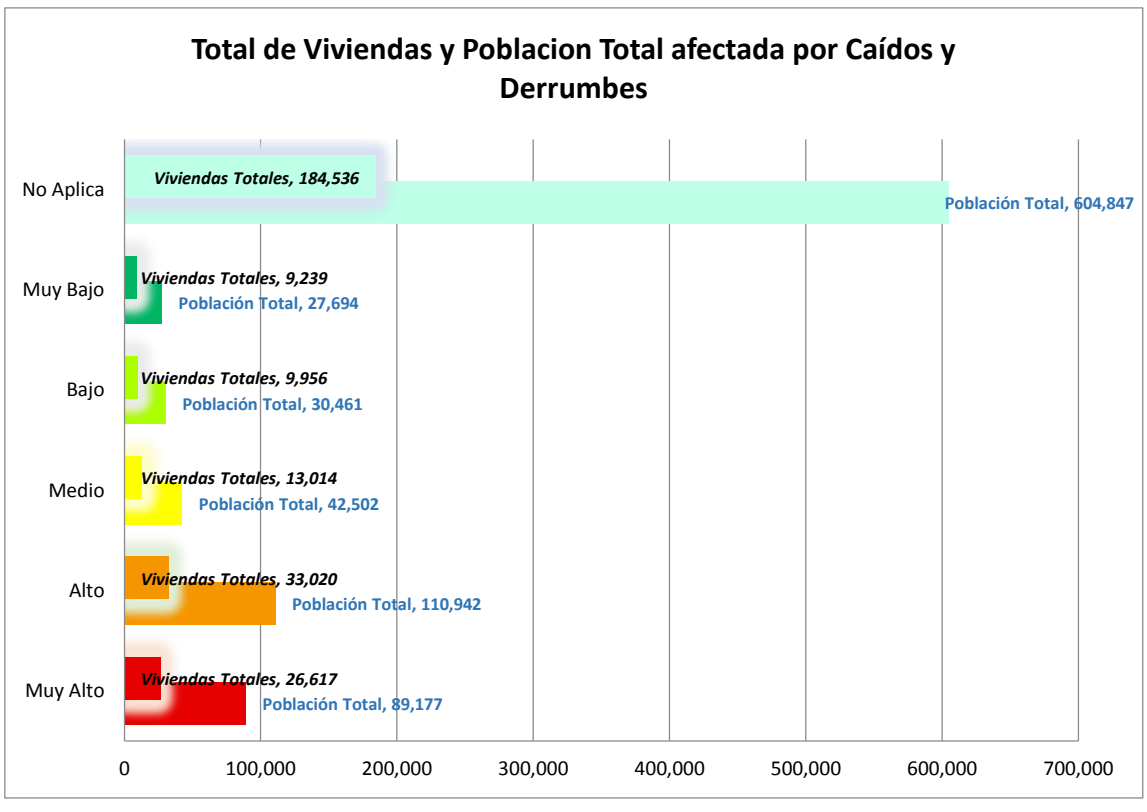


Figura 299. Número de viviendas y habitantes por nivel de susceptibilidad a Caídos y Derrumbes.

5.5.7 Índice de Susceptibilidad a Hundimientos

El riesgo por hundimientos en el municipio presenta zonas importantes en áreas urbanas. Más adelante en la sección 5.5.7.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.7.1 Mapas, Hundimientos

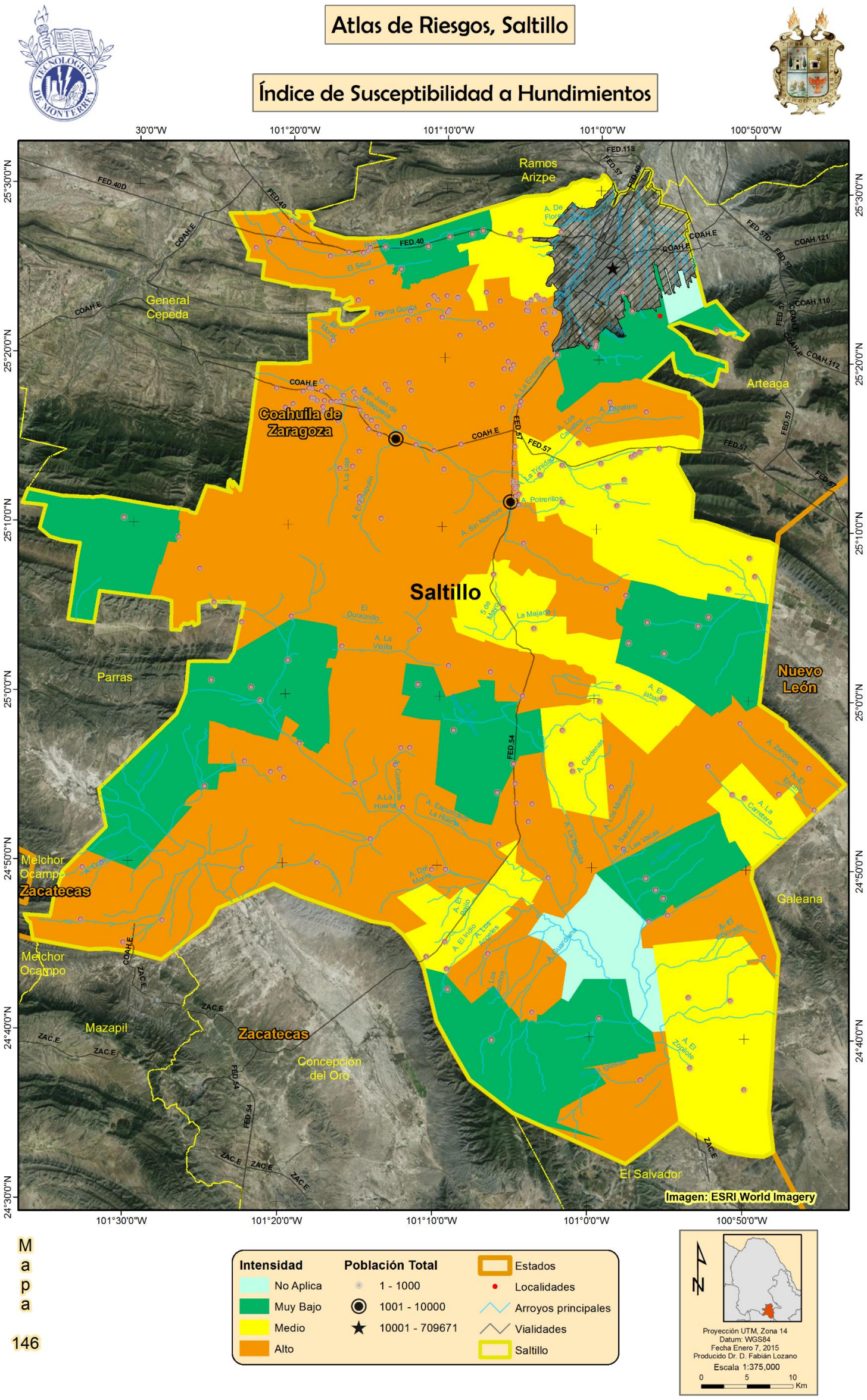


Figura 300. Índice de susceptibilidad a Hundimientos para el Municipio de Saltillo

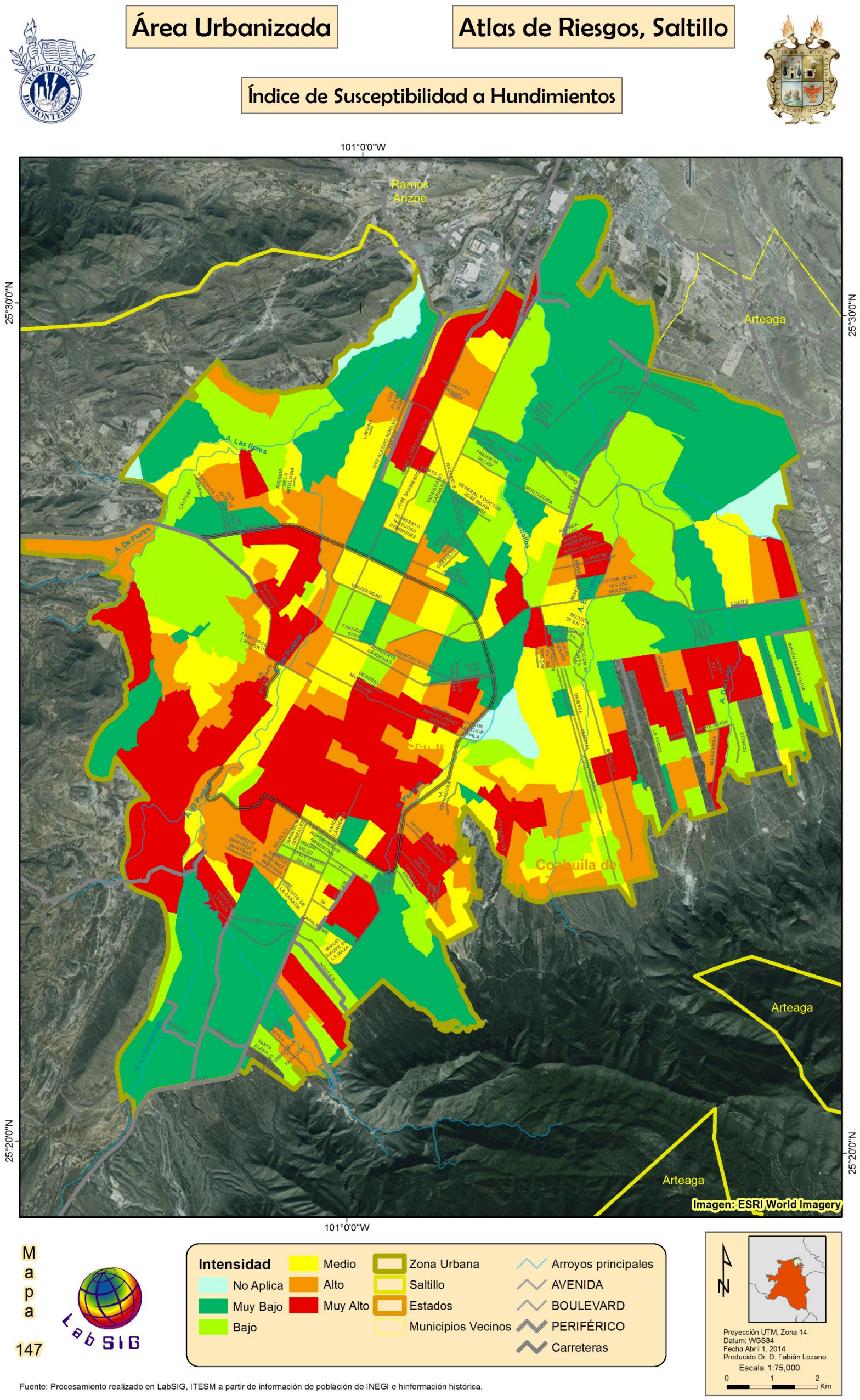


Figura 301. Índice de susceptibilidad a riesgo de hundimiento, nivel Urbano.

5.5.7.2 Índice de Susceptibilidad a Hundimientos, Interpretación

Para Hundimientos, se obtuvieron niveles de susceptibilidad Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 29.74 km^2, el nivel Alto 21.99 km^2, el nivel Medio 23.16 km^2, el nivel Bajo 32.06 km^2, el nivel Muy Bajo 51.22 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.35 km^2 (Tabla 69).

Tabla 69. Superficie Urbana ocupada (km2) por los niveles de susceptibilidad para Hundimientos.

Intensidad susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	18.41%
Alto	13.61%
Medio	14.34%
Bajo	19.85%
Muy Bajo	31.71%
No Aplica	2.07%
Grand Total	100.00%

Las zonas de riesgo para hundimientos y los datos del ITER 2010, indican que en las zonas de Riesgo Muy Alto se encuentran aproximadamente a un total de 75,438 viviendas y 253,968 habitantes, las zonas de riesgo Alto contienen un total de 52,725 viviendas y aproximadamente 175,942 habitantes, las zonas de riesgo Medio 44,152 viviendas y 143,865 habitantes, las zonas de riesgo Bajo 29,327 viviendas y 89,417 habitantes, las zonas de riesgo Muy Bajo 14,315 viviendas y una población de 42,901 personas (Figura 302).

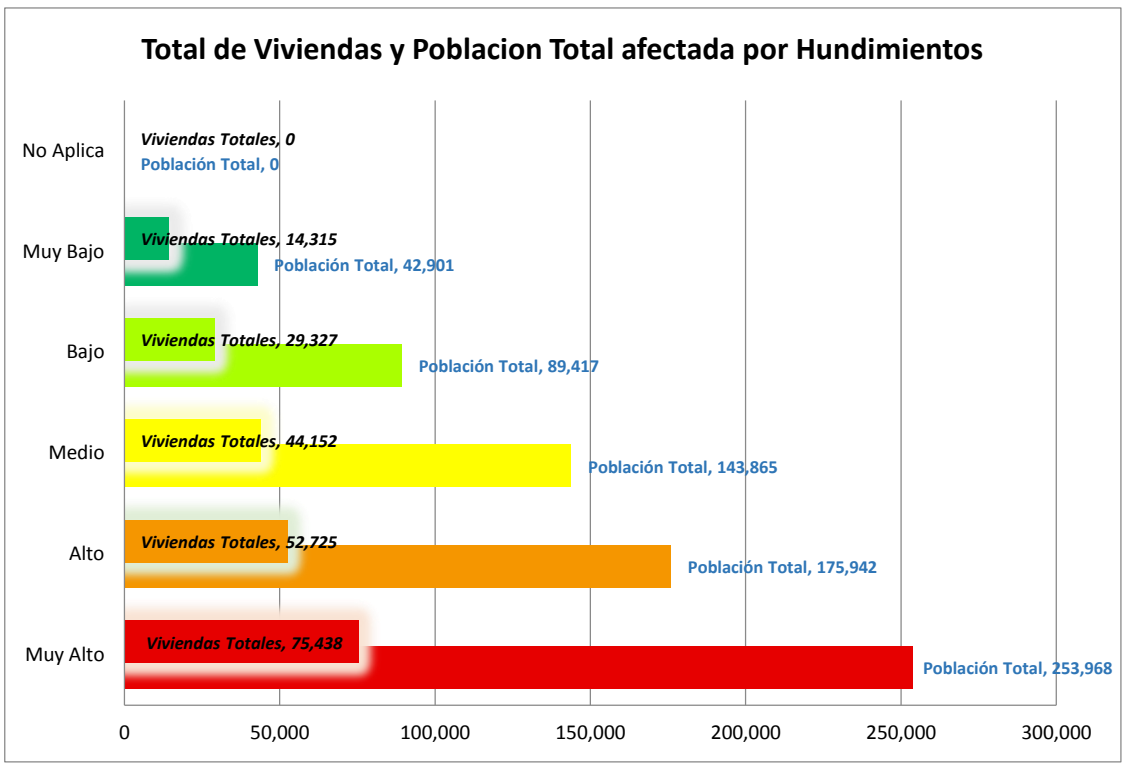


Figura 302. Número de viviendas y habitantes por nivel de susceptibilidad Hundimientos.

5.5.8 Índice de Susceptibilidad a Subsidencia

El riesgo por susceptibilidad a subsidencia municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 279) que se describen más adelante en la sección 5.5.8.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.8.1 Mapas, Subsidencia

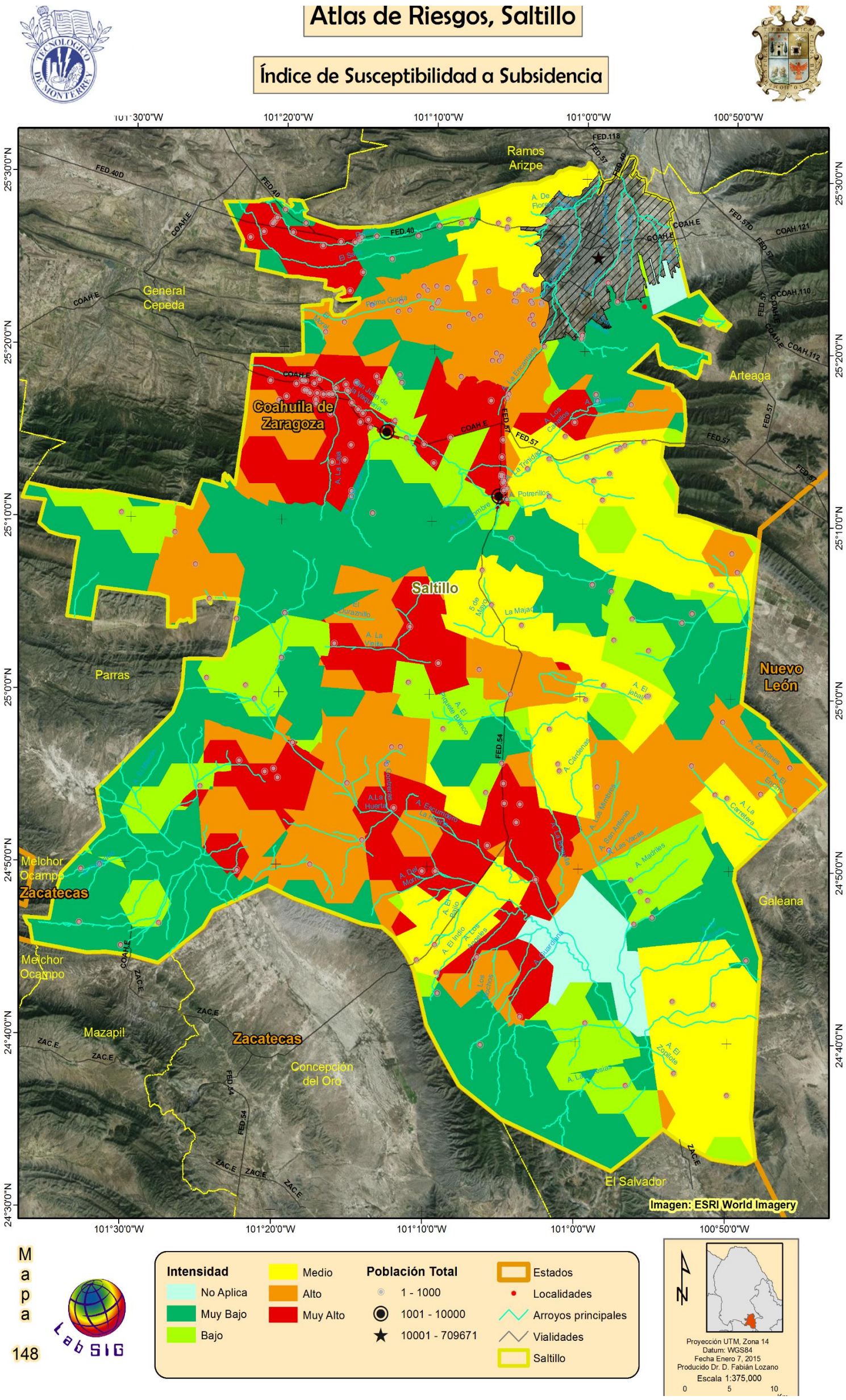
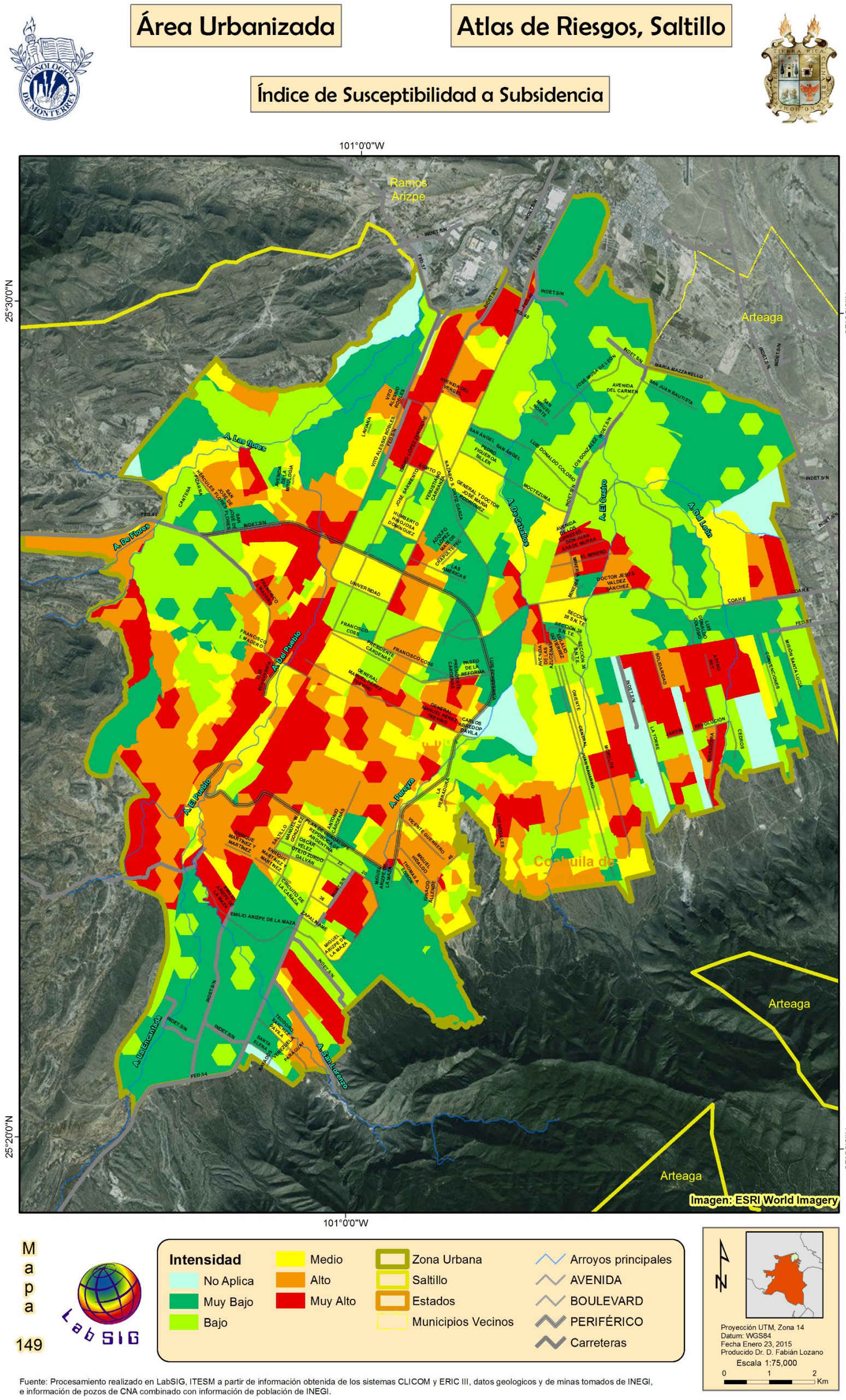


Figura 303. Índice de susceptibilidad a Subsidencia para la zona rural de Saltillo



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III, datos geologicos y de minas tomados de INEGI, e información de pozos de CNA combinado con información de población de INEGI.

Figura 304. Índice de susceptibilidad a Subsidencia para la zona urbana de Saltillo.

5.5.8.2 Índice de susceptibilidad Urbano a Subsidencia, Interpretación

En el modelo de subsidencia, se obtuvieron niveles de susceptibilidad Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 30.29 km^2, el nivel Alto 36.67 km^2, el nivel Medio 30.22 km^2, el nivel Bajo 66.20 km^2, el nivel Muy Bajo 60.29 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 70).

Tabla 70. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Subsidencia.

Intensidad susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	13.34%
Alto	16.14%
Medio	13.30%
Bajo	29.14%
Muy Bajo	26.54%
No Aplica	1.54%
Grand Total	100.00%

Las zonas de riesgo para Subsidencia y los datos del ITER 2010, muestran en las zonas de susceptibilidad Muy Alto un total de 60,911 viviendas y 200,321 habitantes, en riesgo Alto 72,752 viviendas y 245,390 habitantes, en riesgo Medio 52,726 viviendas y 174,216 habitantes, en áreas de riesgo Bajo 40,489 viviendas y 126,739 habitantes y en zonas de riesgo Muy Bajo 20,395 viviendas y 20,395 habitantes (Figura 305).

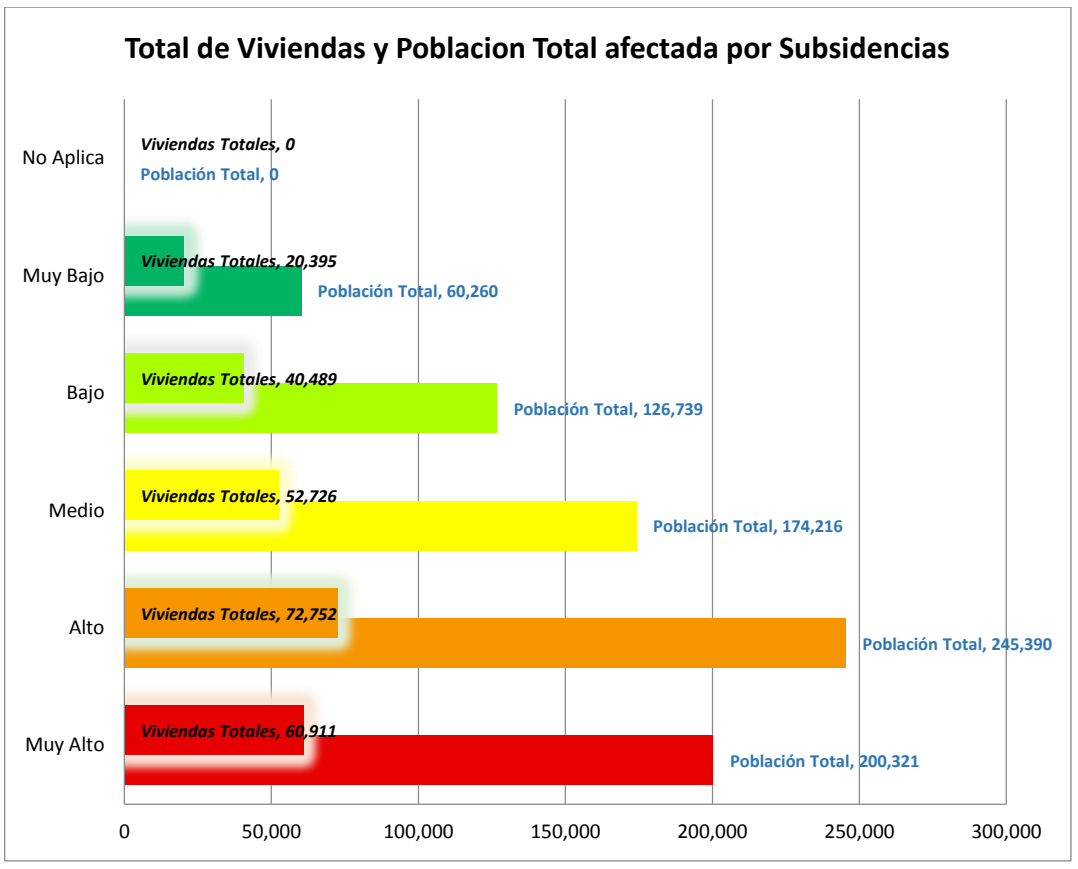
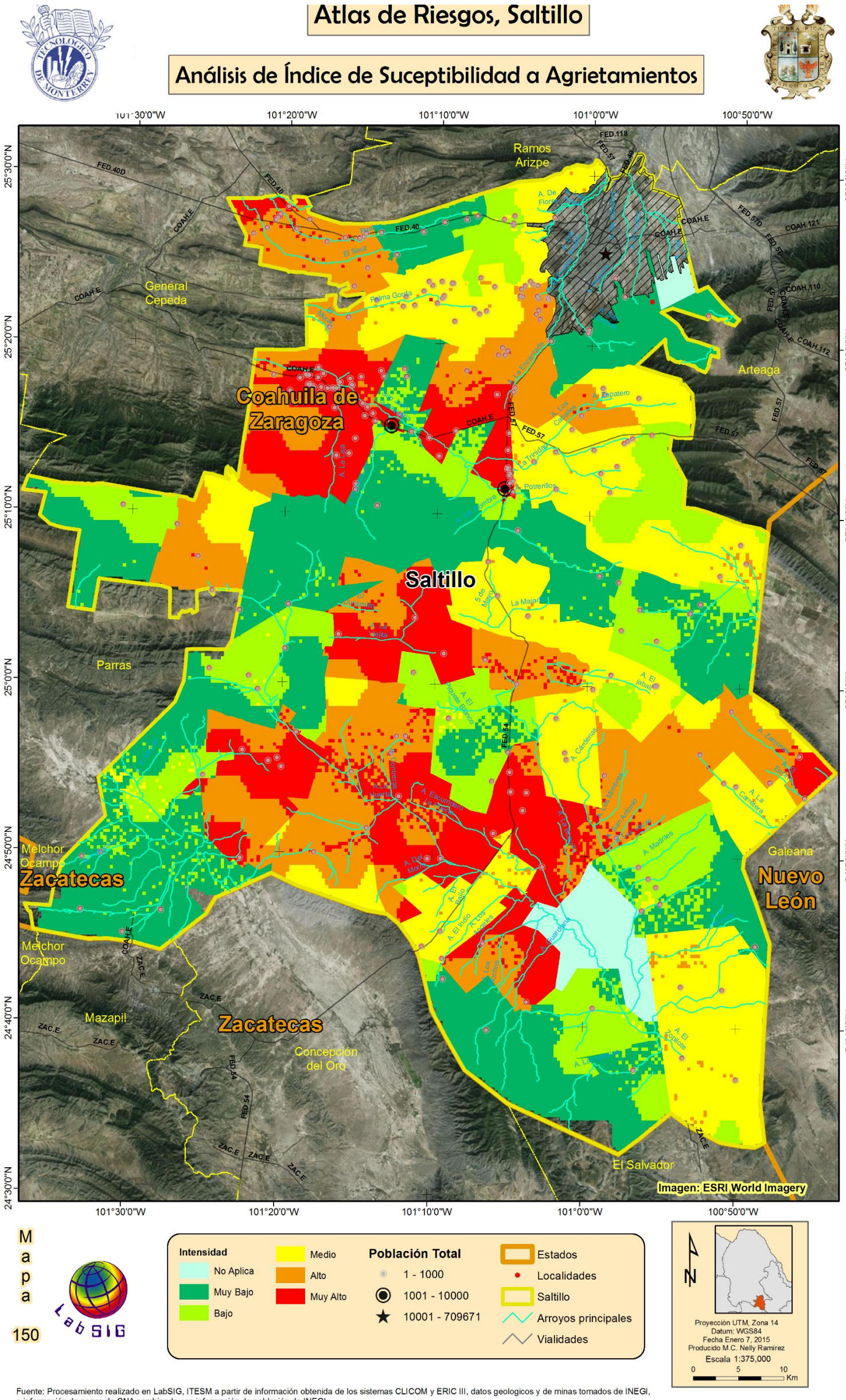


Figura 305. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Subsidencia.

5.5.9 Índice de Susceptibilidad a Agrietamientos

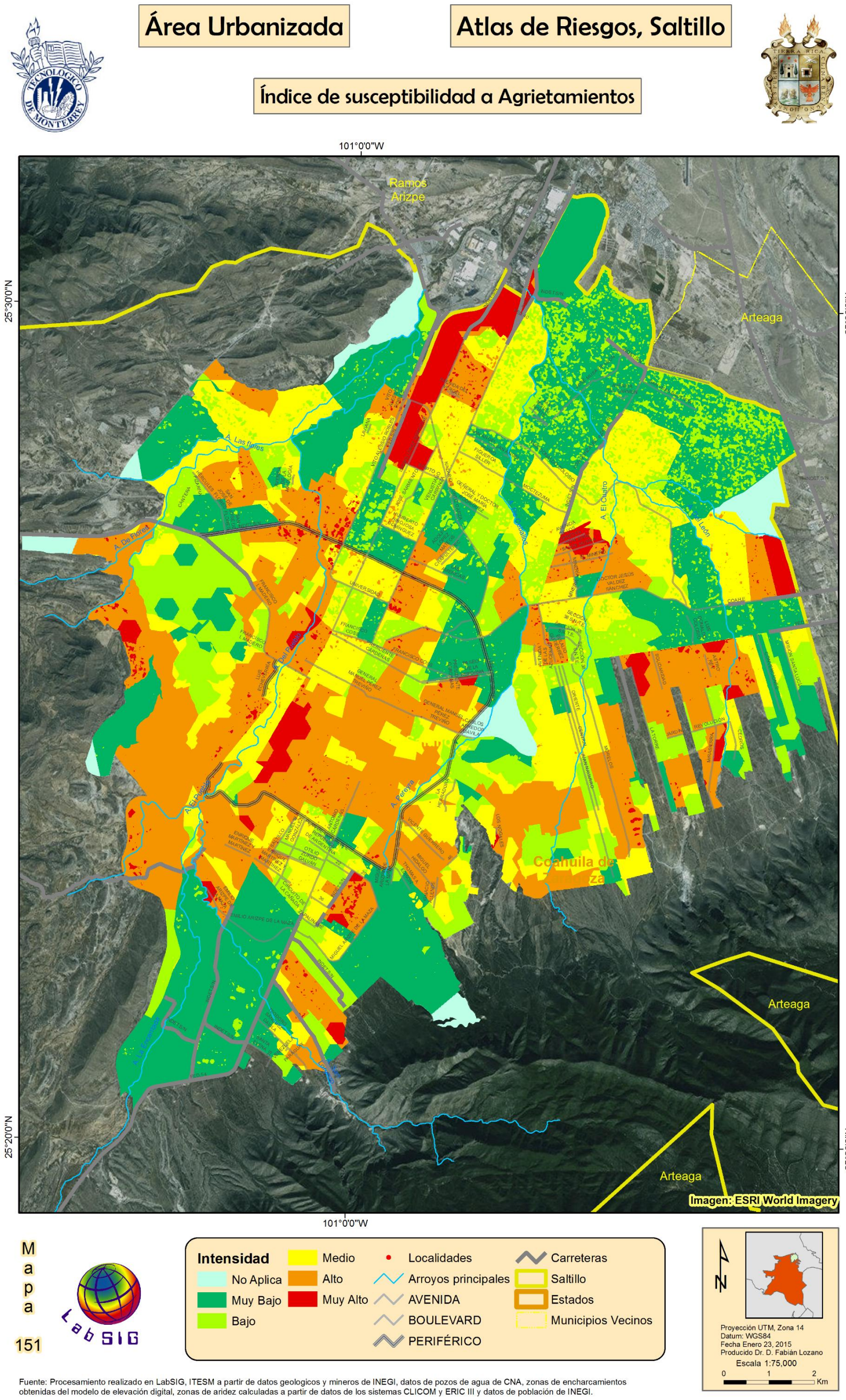
El riesgo por susceptibilidad a agrietamientos municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 282) que se describen más adelante en la sección 5.5.9.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.9.1 Mapas, Agrietamientos



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III, datos geologicos y de minas tomados de INEGI, e información de pozos de CNA combinado con información de población de INEGI.

Figura 306. Índice de susceptibilidad a Agrietamientos para la zona Rural de Saltillo



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de datos geologicos y mineros de INEGI, datos de pozos de agua de CNA, zonas de encharcamientos obtenidas del modelo de elevación digital, zonas de aridez calculadas a partir de datos de los sistemas CLICOM y ERIC III y datos de población de INEGI.

Figura 307. Índice de susceptibilidad a Agrietamientos para la zona urbana.

5.5.9.2 Índice de susceptibilidad a Agrietamientos, Interpretación

Para Agrietamientos, se obtuvieron niveles de susceptibilidad Muy Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de susceptibilidad Muy Alto ocupa un total de 21.61 km^2, el nivel Alto 55.91 km^2, el nivel Medio 53.11 km^2, el nivel Bajo 81.16 km^2, el nivel Muy Bajo 61.37 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 6.55 km^2 (Tabla 71).

Tabla 71. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Agrietamientos.

Intensidad susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	7.73%
Alto	19.99%
Medio	18.99%
Bajo	29.02%
Muy Bajo	21.94%
No Aplica	2.34%
Grand Total	100.00%

En Agrietamientos, los datos del ITER 2010, indican que en las zonas de susceptibilidad Muy Alto se encuentran aproximadamente a un total de 29,811 viviendas en una área donde viven 93,730 personas, las zonas de riesgo Alto contienen un total de 117,767 viviendas y aproximadamente 394,653 habitantes, las zonas de riesgo Medio 63,195 viviendas y 205,041 habitantes, las zonas de riesgo Bajo 43,703 viviendas y 138,075 habitantes y las zonas de riesgo Muy Bajo contienen un total de 21,453 viviendas y una población de 63,120 personas (Figura 308).

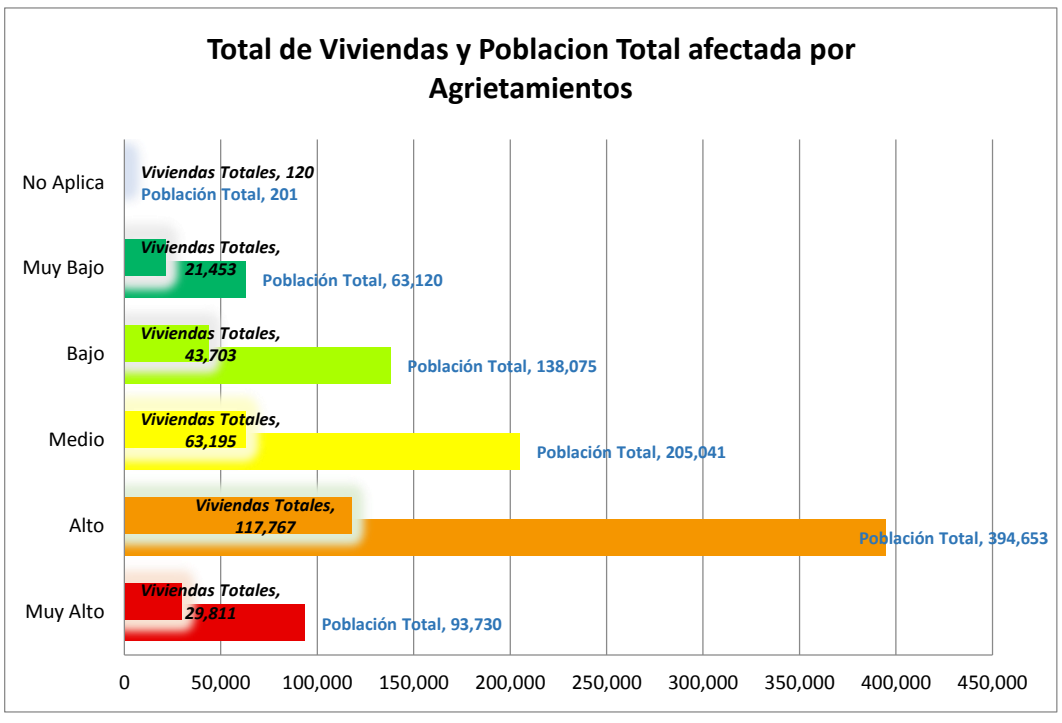


Figura 308. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Agrietamientos.

5.5.10 Riesgo por Ondas Cálidas o Gélidas

El riesgo por ondas cálidas y gélidas municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 309 y Figura 310) que se describen más adelante en la sección 5.5.10.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.10.1 Mapas, Ondas Cálidas o Gélidas

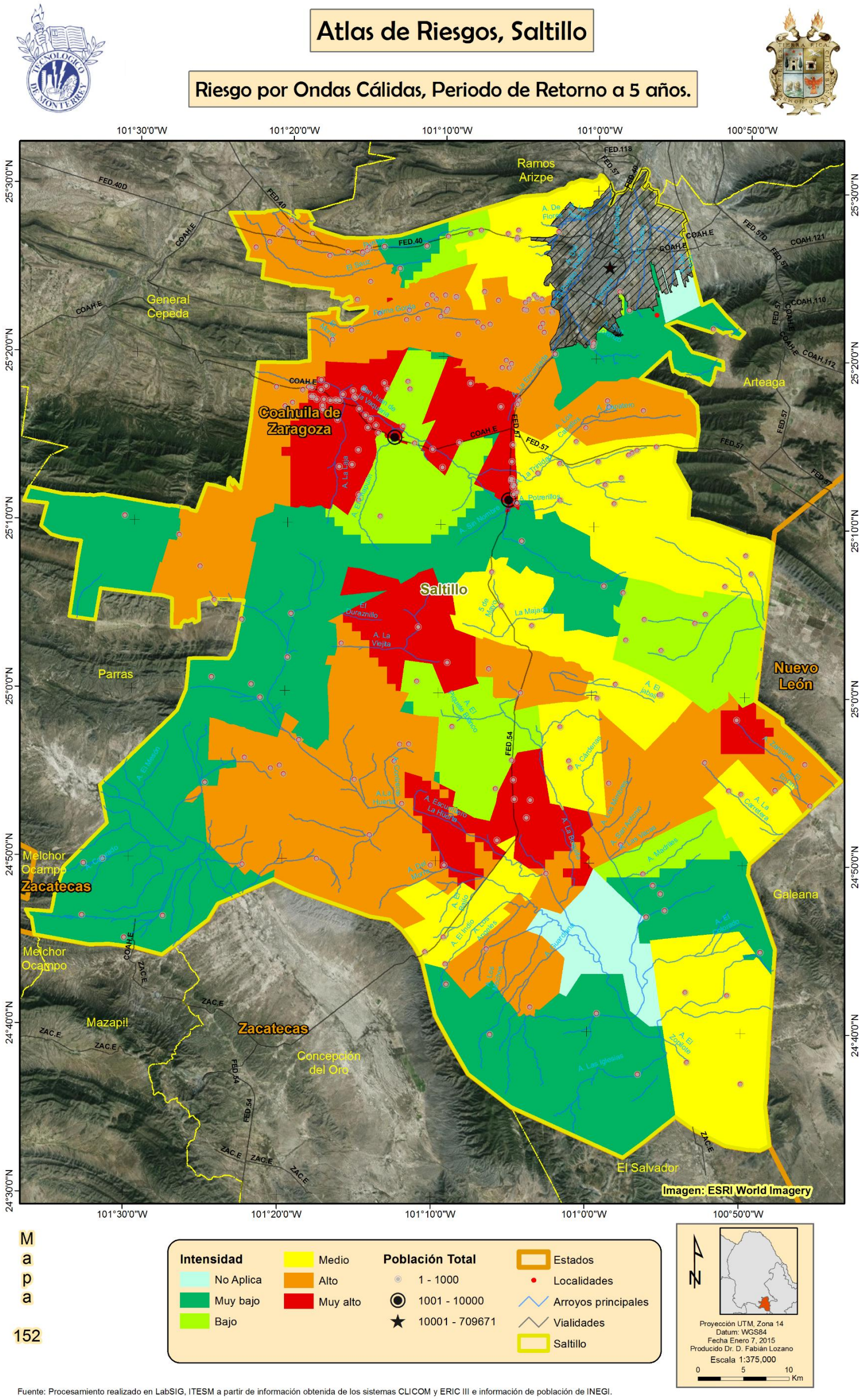
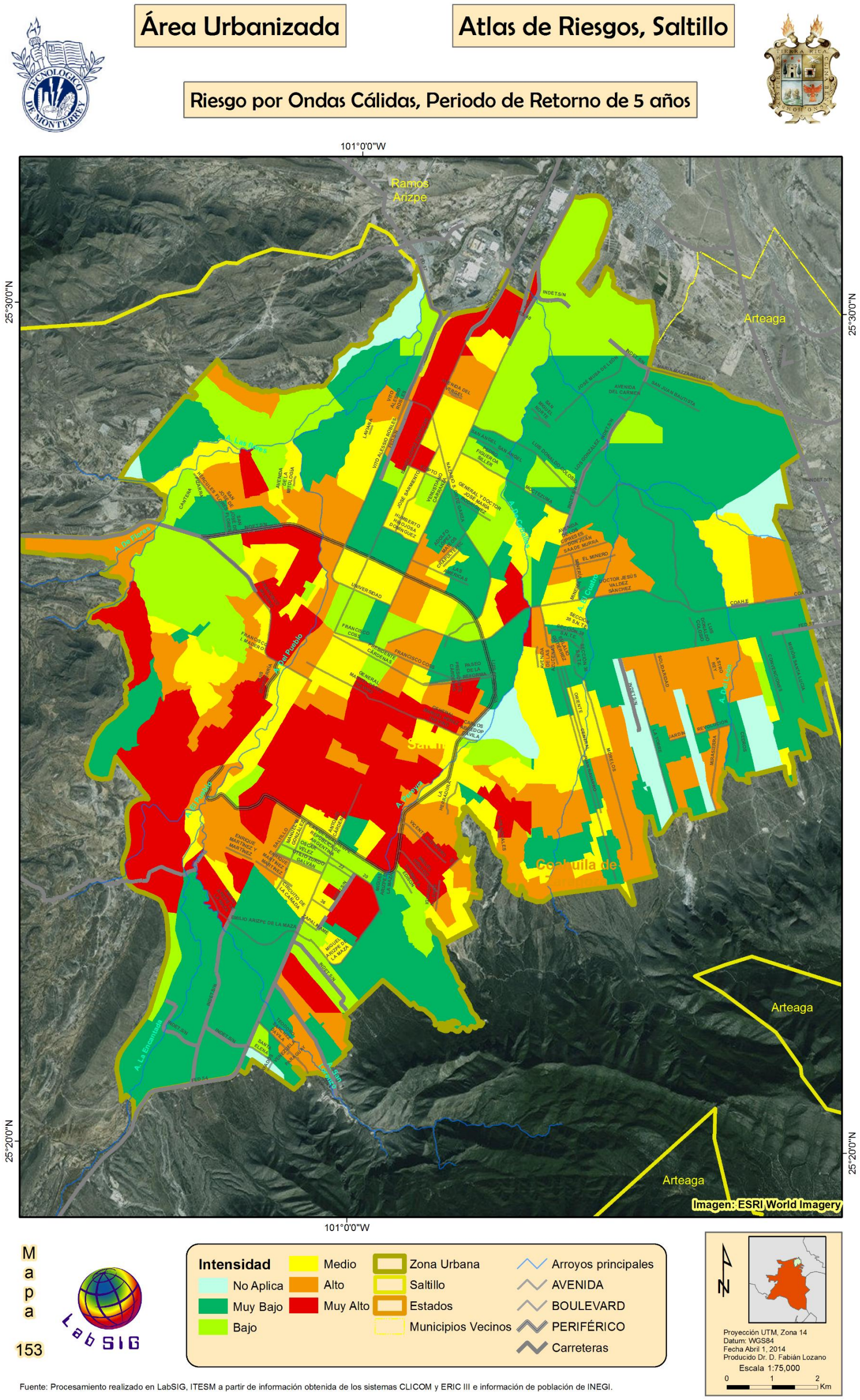


Figura 309. Riesgo por ondas cálidas, considerando un Pr a 5 años.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI.

Figura 310. Riesgo por ondas cálidas, en un Pr a 5 años en la zona urbana.

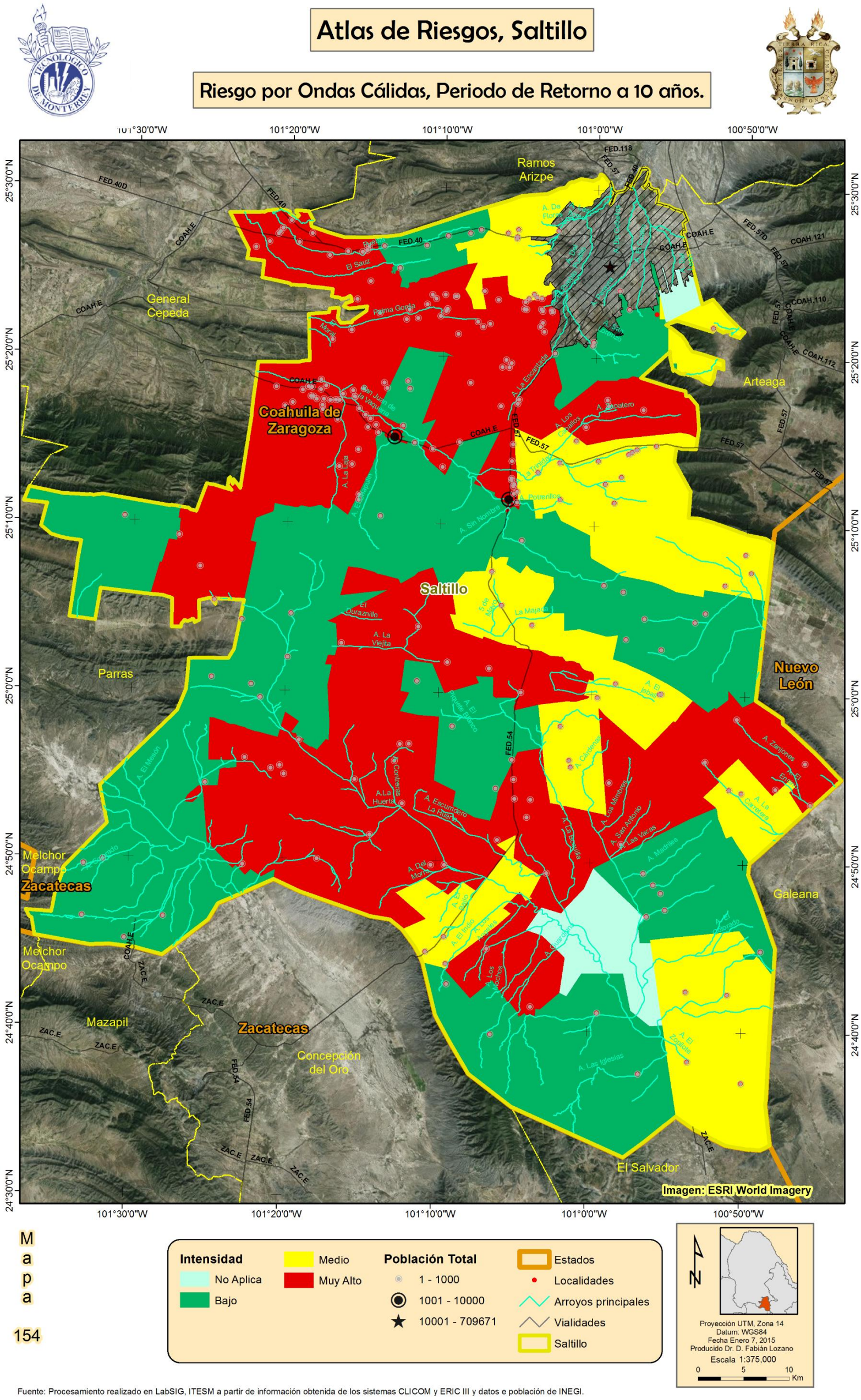


Figura 311. Niveles de riesgo por temperaturas cálidas extremas, Pr de 10 años.

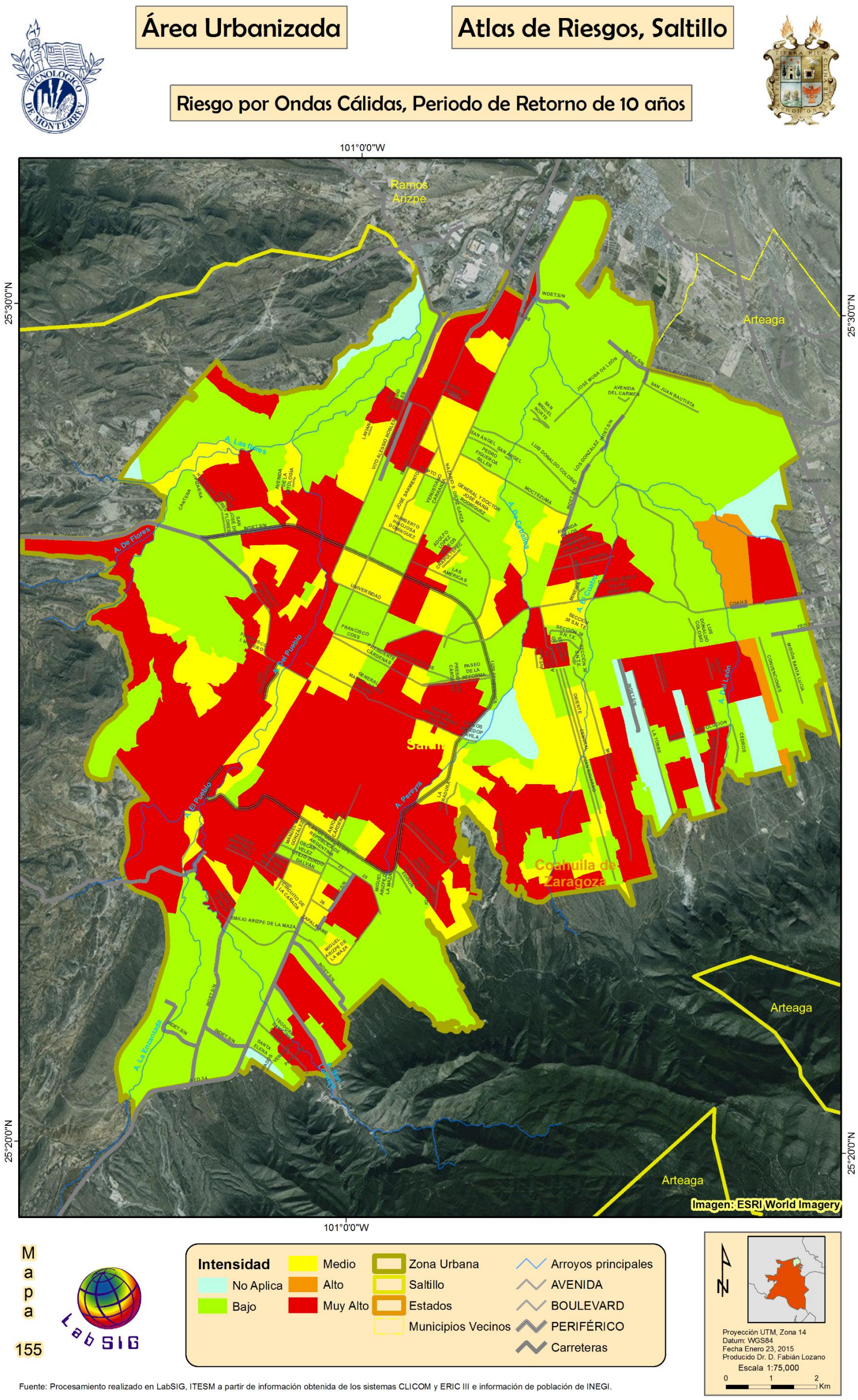
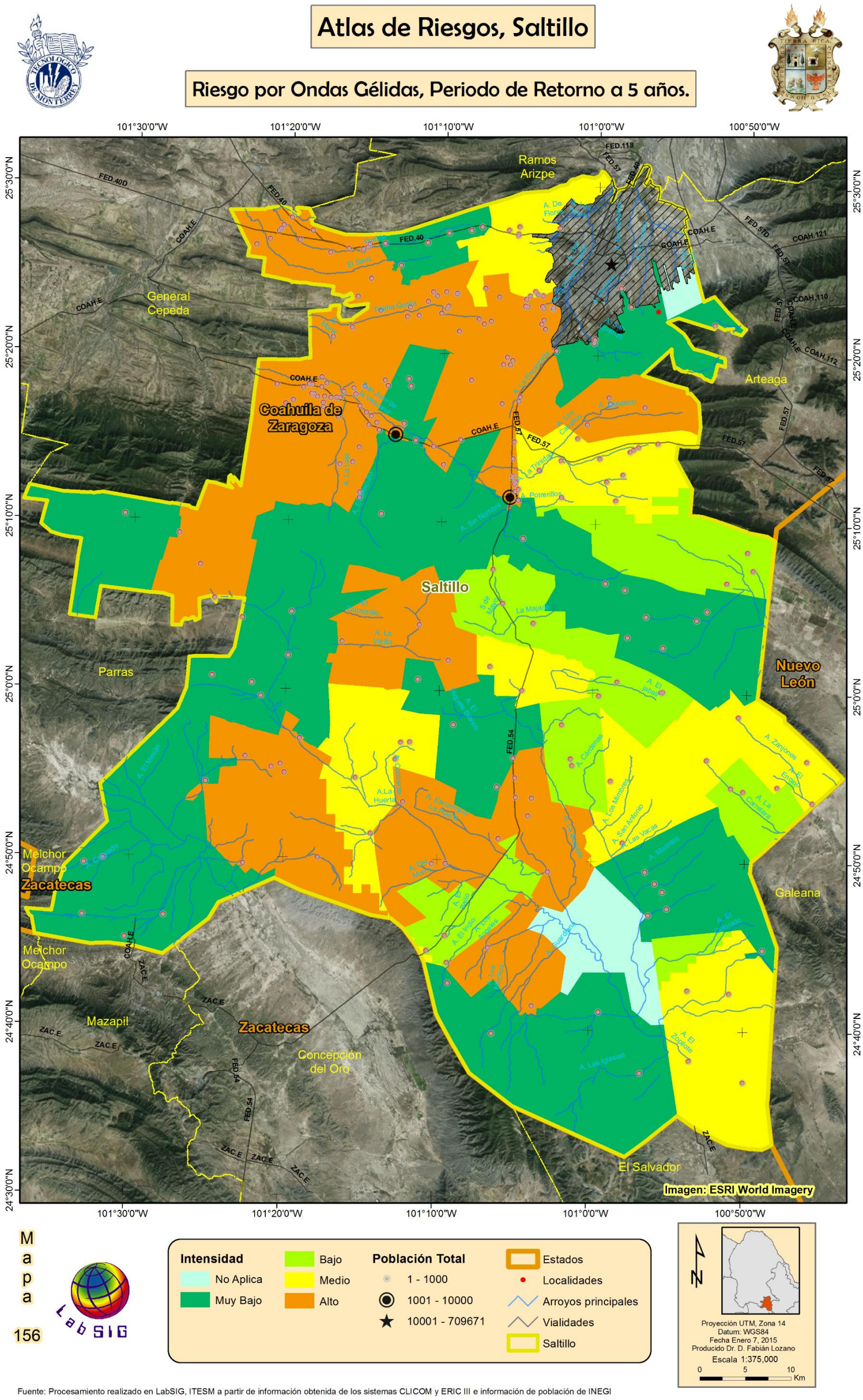


Figura 312. Niveles de riesgo por temperaturas cálidas extremas, Pr 10 años, en la zona urbana.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI

Figura 313. Niveles de riesgo por temperaturas gélidas extremas, Pr de 5 años.

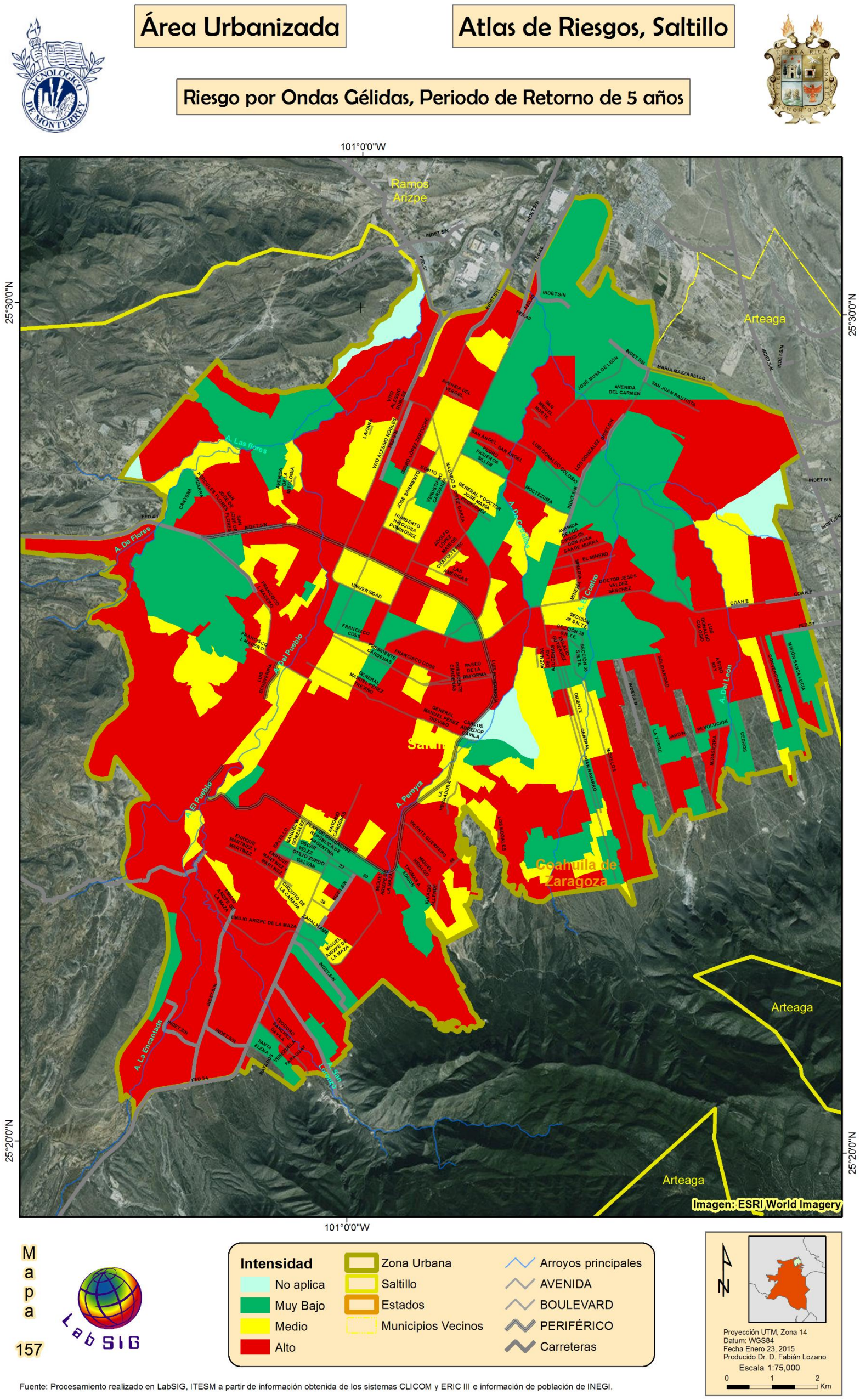


Figura 314. Niveles de riesgo por temperaturas gélidas extremas, Pr de 5 años, en la zona urbana.

5.5.10.2 Riesgo Urbano por Ondas Cálidas o Gélidas, Interpretación

5.5.10.2.1 Ondas Gélidas, Período de Retorno de 5 años

Para Ondas Gélidas con un período de retorno de 5 años, El nivel de riesgo Alto ocupa casi el 60 % de la superficie urbana del municipio de Saltillo con 97.43 km^2, seguido por el nivel Muy Bajo con 43.47 km^2, el riesgo Medio con 23.16 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.39 km^2 (Tabla 72).

Tabla 72. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Ondas Gélidas con Pr de 5 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (%)
Alto	58.20%
Medio	13.83%
Muy Bajo	25.97%
No aplica	2.00%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación de Ondas Gélidas con Pr de 5 años y los datos del ITER 2010, muestran un total de 142,121 viviendas y 471,725 habitantes en la zona de Riesgo Alto, 44,152 viviendas y 143,865 habitantes en las áreas de riesgo Medio 29,846 viviendas y 90,995 habitantes para las zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 315).

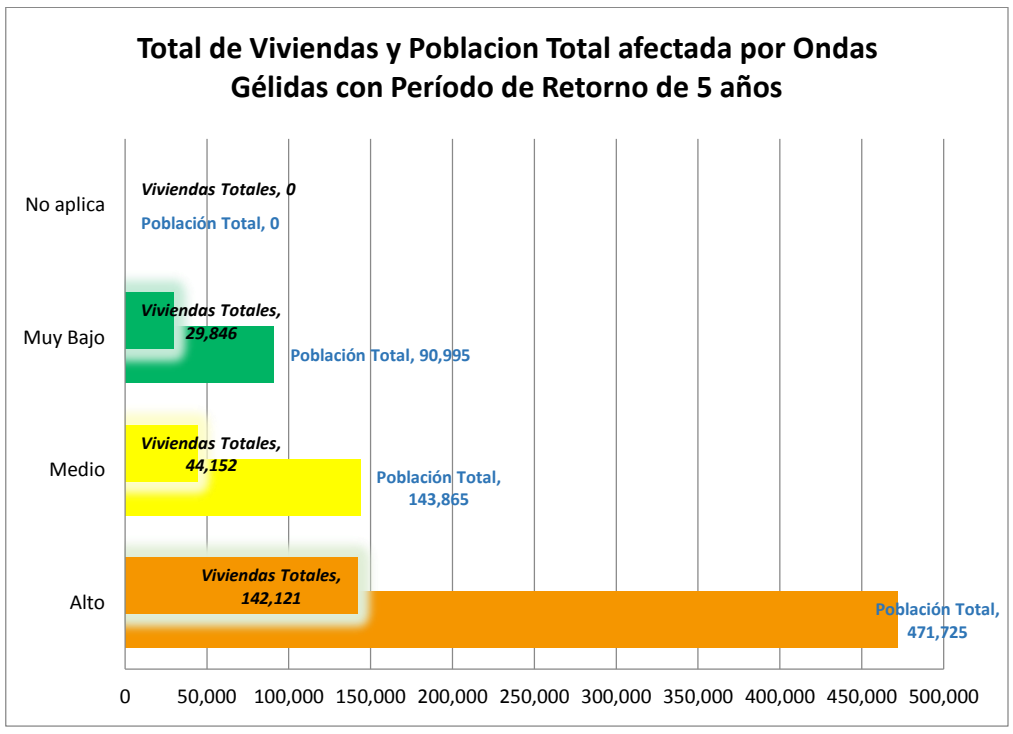


Figura 315. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Ondas Gélidas con período de retorno de 5 años.

5.5.10.2.2 Ondas Cálidas, Período de Retorno de 5 años

Para Ondas Cálidas con un período de retorno de 5 años, El nivel de riesgo Muy Bajo es el nivel con más superficie en el área urbana de Saltillo con 62.23 km^2, seguido por el nivel Bajo con 29.27 km^2, el riesgo Alto con 27.28 km^2, el riesgo Medio con 23.05 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 73).

Tabla 73. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Ondas Cálidas con Pr de 5 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	14.68%
Alto	16.02%
Medio	13.53%
Bajo	17.19%
Muy Bajo	36.54%
No Aplica	2.05%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación de Ondas Cálidas con Pr de 5 años y los datos del ITER 2010, muestran un total de 57,628 viviendas y 198,767 habitantes en la zona de Riesgo Muy Alto, 71,492 viviendas y 234,382 habitantes en las áreas de riesgo Alto, 43,446 viviendas y 142,299 habitantes en las zonas con riesgo Medio, aproximadamente 17,812 viviendas y 54,465 individuos en las zonas de riesgo Bajo y 28,009 viviendas y 83,574 habitantes para las zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 316).

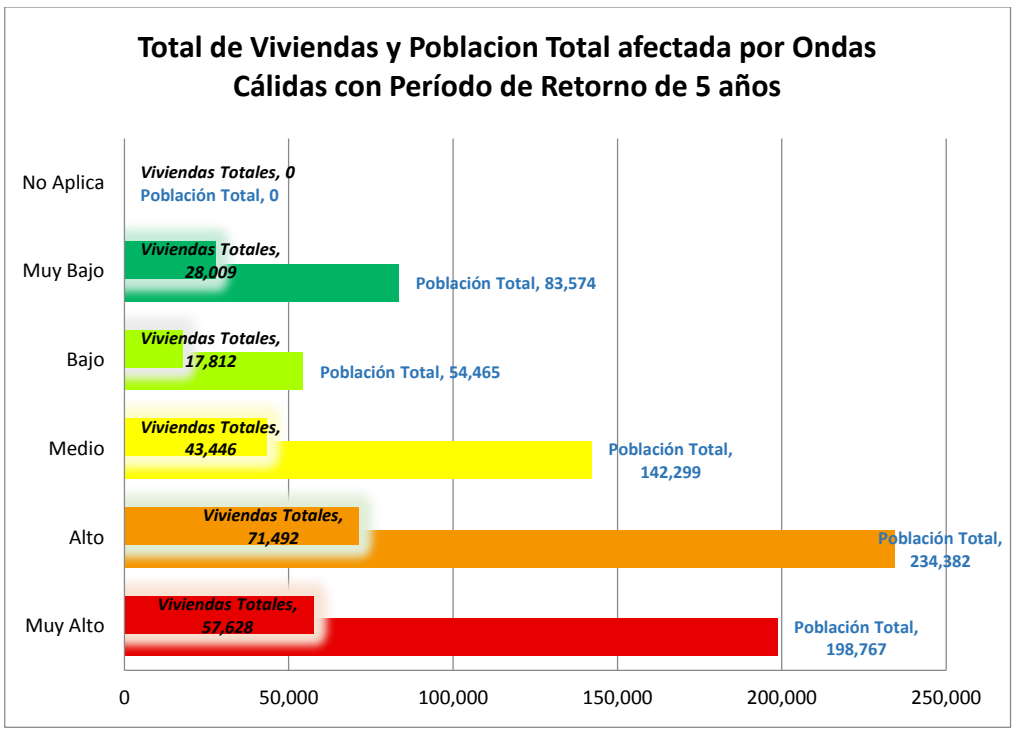


Figura 316. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Ondas Cálidas con período de retorno de 5 años.

5.5.10.2.3 Ondas Cálidas, Período de Retorno de 10 años

Para Ondas Cálidas con un período de retorno de 10 años, El nivel de riesgo Bajo ocupo aproximadamente la mitad de la superficie urbana de Saltillo con 83.28 km^2, seguido por el nivel Muy Alto con 51.72 km^2, el riesgo Medio con 27.28 km^2, las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 y por último el riesgo Alto con 1.88 km^2 (Tabla 74).

Tabla 74. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Ondas Cálidas con Pr de 10 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	32.00%
Alto	1.16%
Medio	13.16%
Bajo	51.52%
No Aplica	2.16%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación de Ondas Cálidas con Pr de 10 años y los datos del ITER 2010, indican para la zona ocupada con riesgo Muy Alto un total de 128,163 viviendas y 429,910 habitantes en la zona de Riesgo Alto, 3,805 viviendas y 9,384 habitantes, las zonas de riesgo Medio contienen aproximadamente 40,347 viviendas y 134,481 habitantes y aproximadamente 43,642 viviendas y 43,642 individuos en las zonas de riesgo Bajo, para este fenómeno y Pr no se presentaron zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 317).

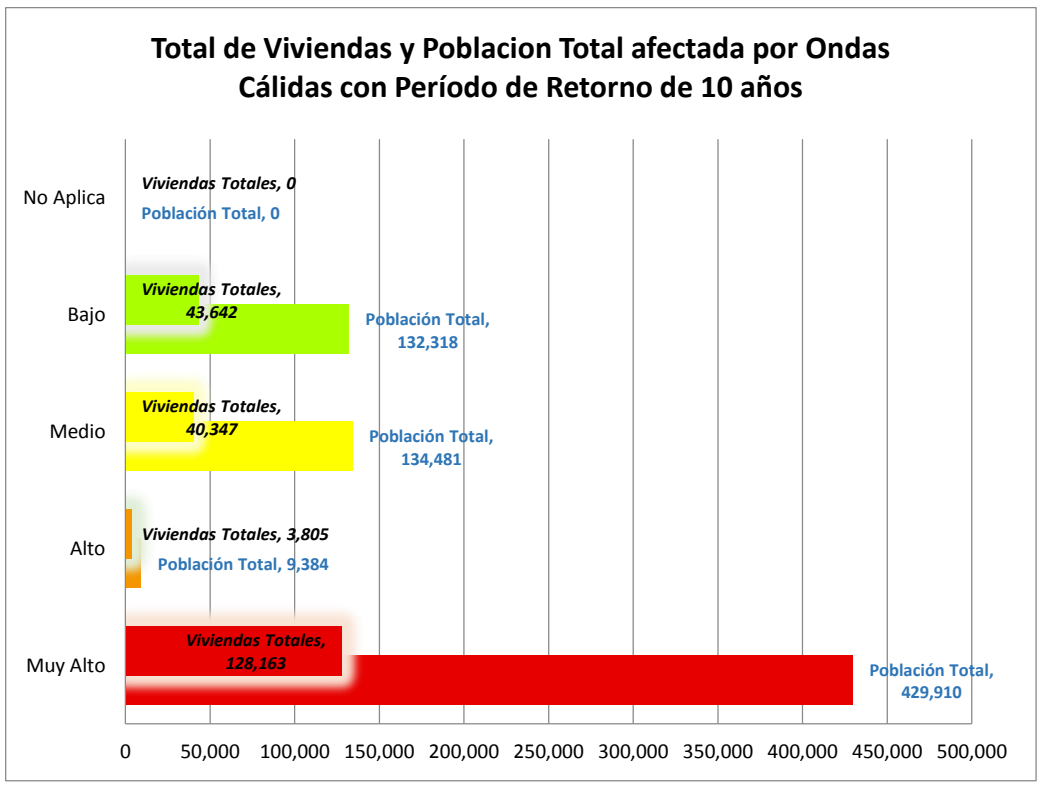


Figura 317. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Ondas Cálidas con período de retorno de 10 años.

5.5.11 Índice de Susceptibilidad a Sequias

El riesgo por ondas cálidas y gélidas municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 318 a la Figura 325) que se describen más adelante en la sección 5.5.11.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.11.1 Mapas, Sequias

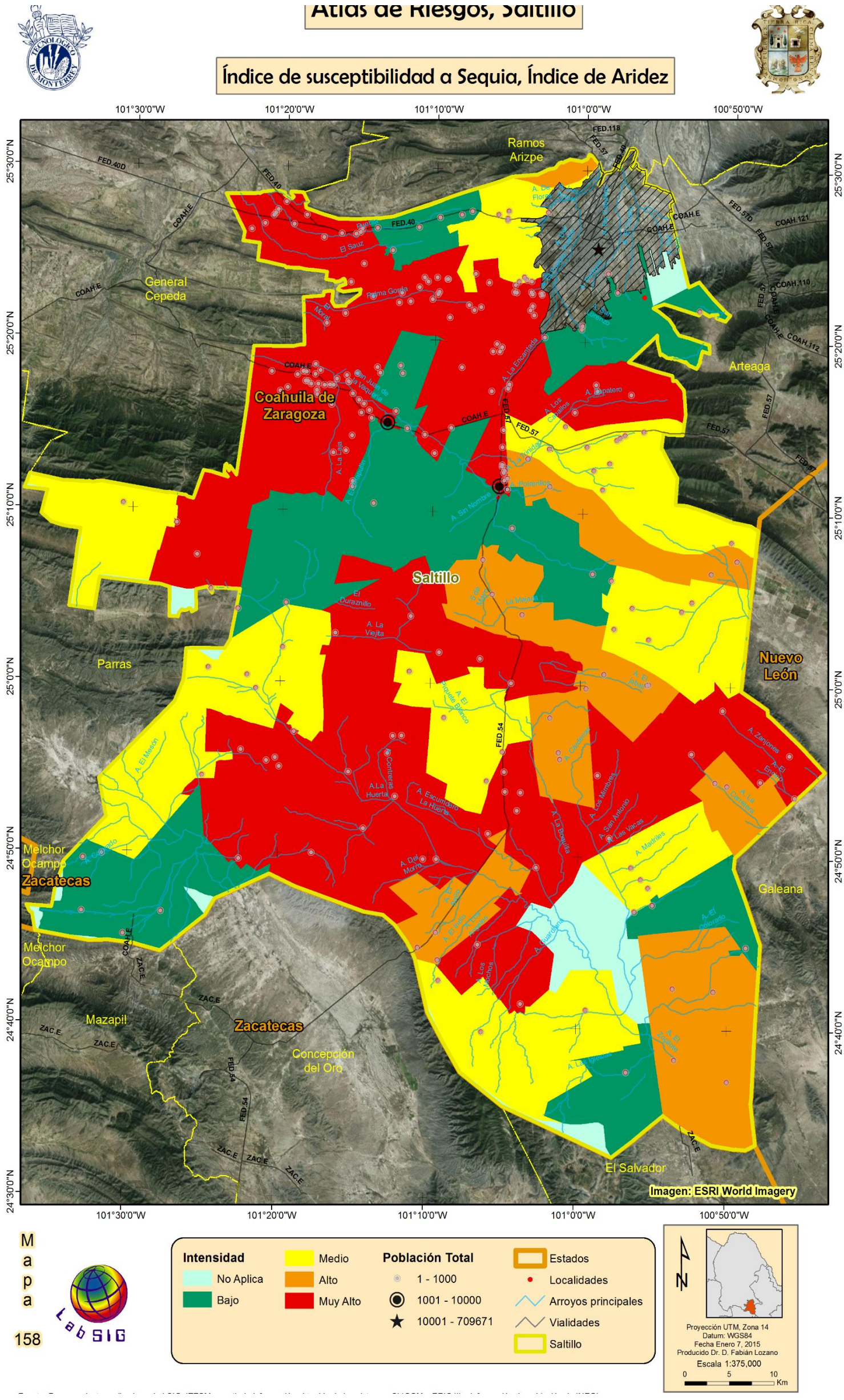
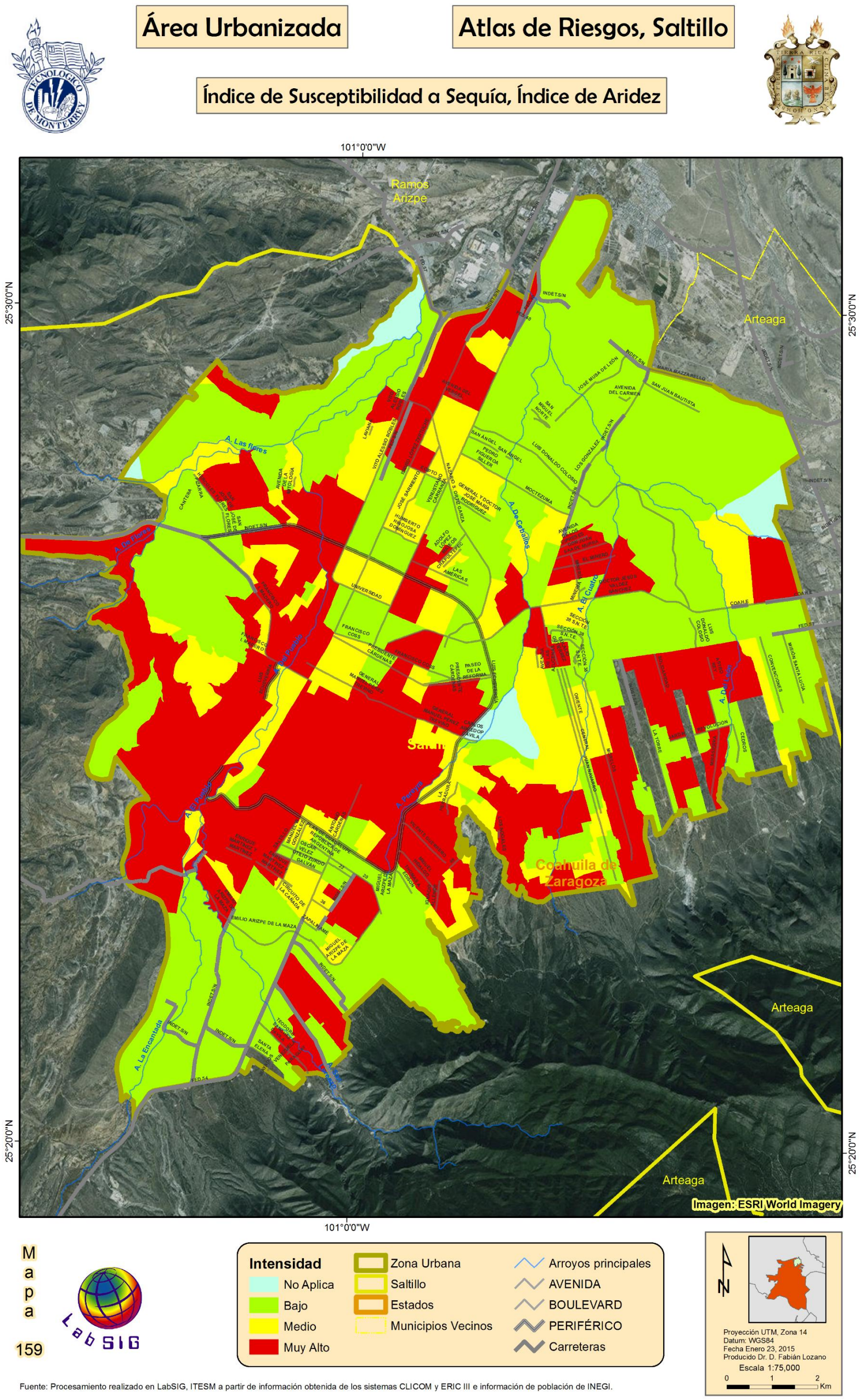


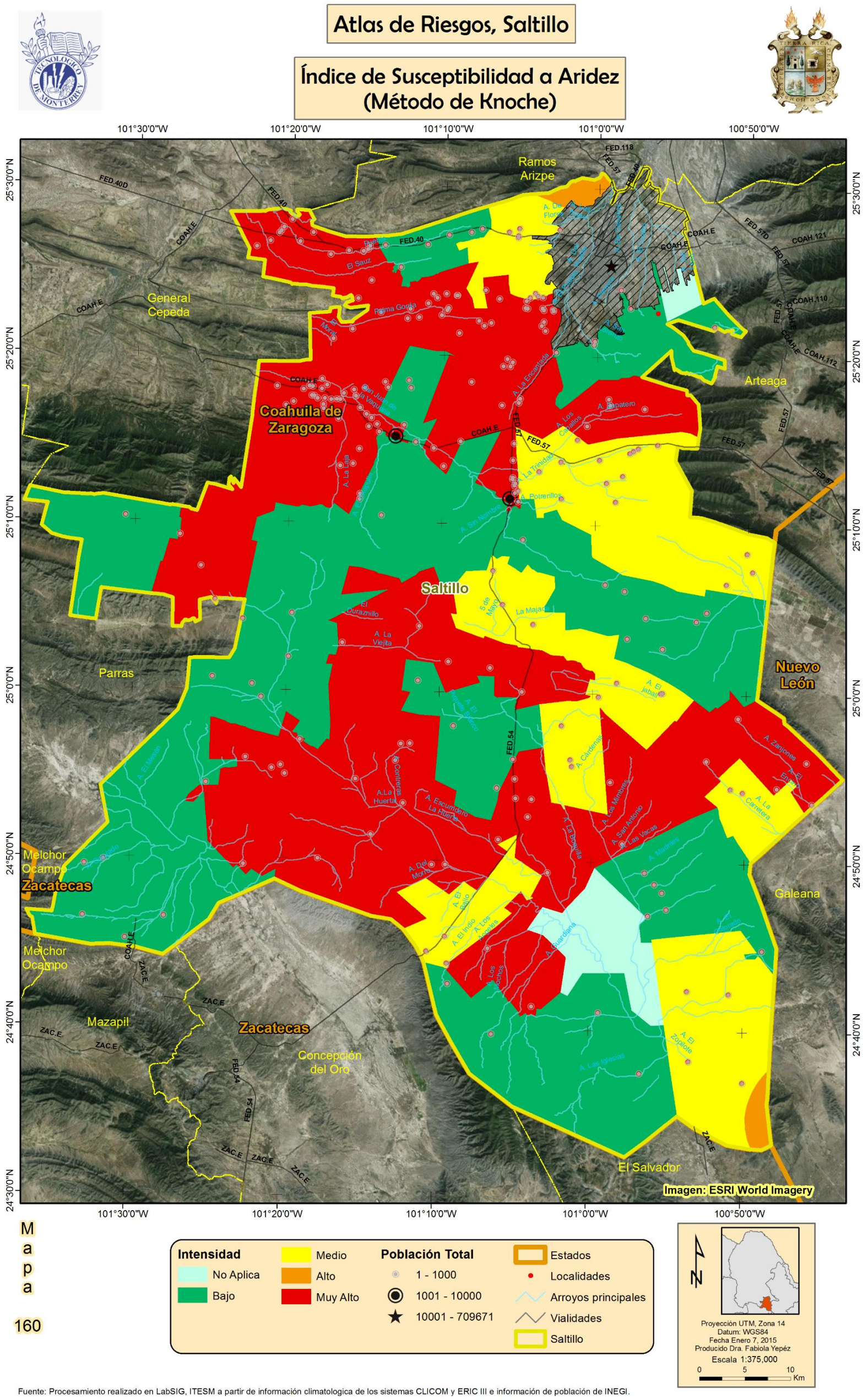
Figura 318. Índice de susceptibilidad a Sequías para la zona rural de Saltillo.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI.

Figura 319. Índice de susceptibilidad a sequía para la zona urbana de Saltillo

5.5.11.1.1 Índices de Aridez



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información climatologica de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI.

Figura 320. Índice de susceptibilidad a sequía, en base al índice de Knoche.

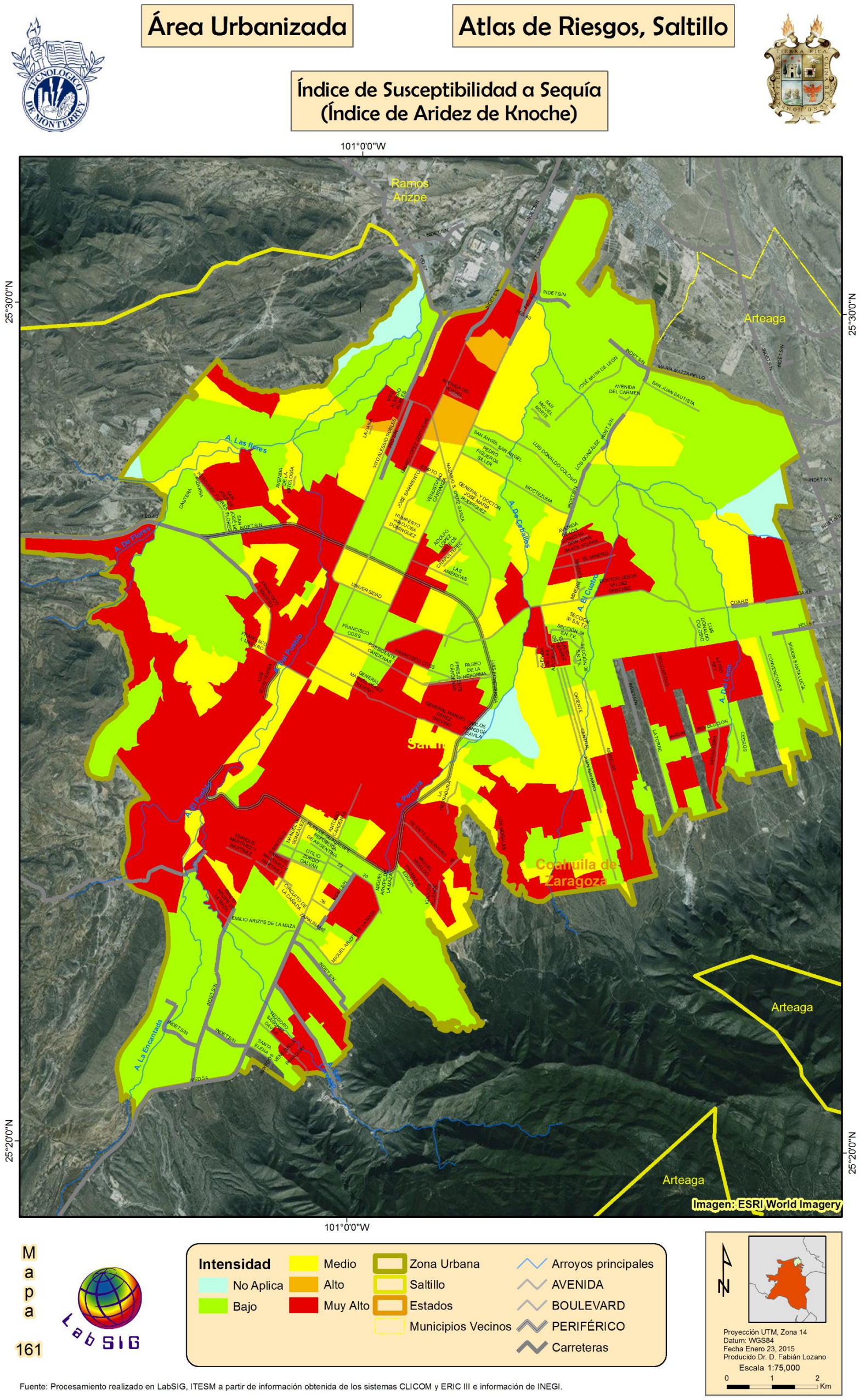
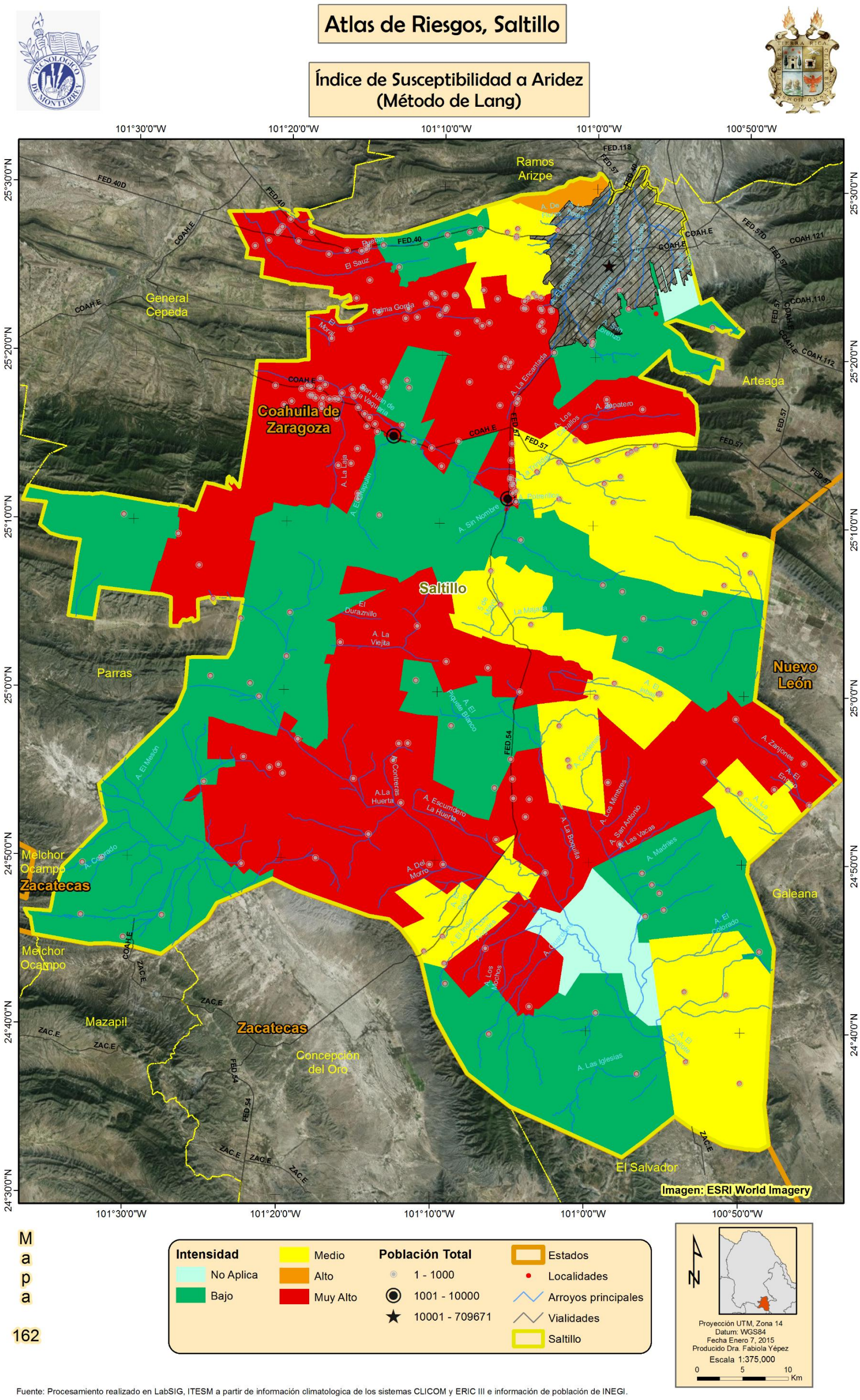


Figura 321. Índice de susceptibilidad a aridez, Índice de Knoche, para la zona urbana de Saltillo



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información climatologica de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI.

Figura 322. Índice de susceptibilidad a sequía, en base al índice de Lang.

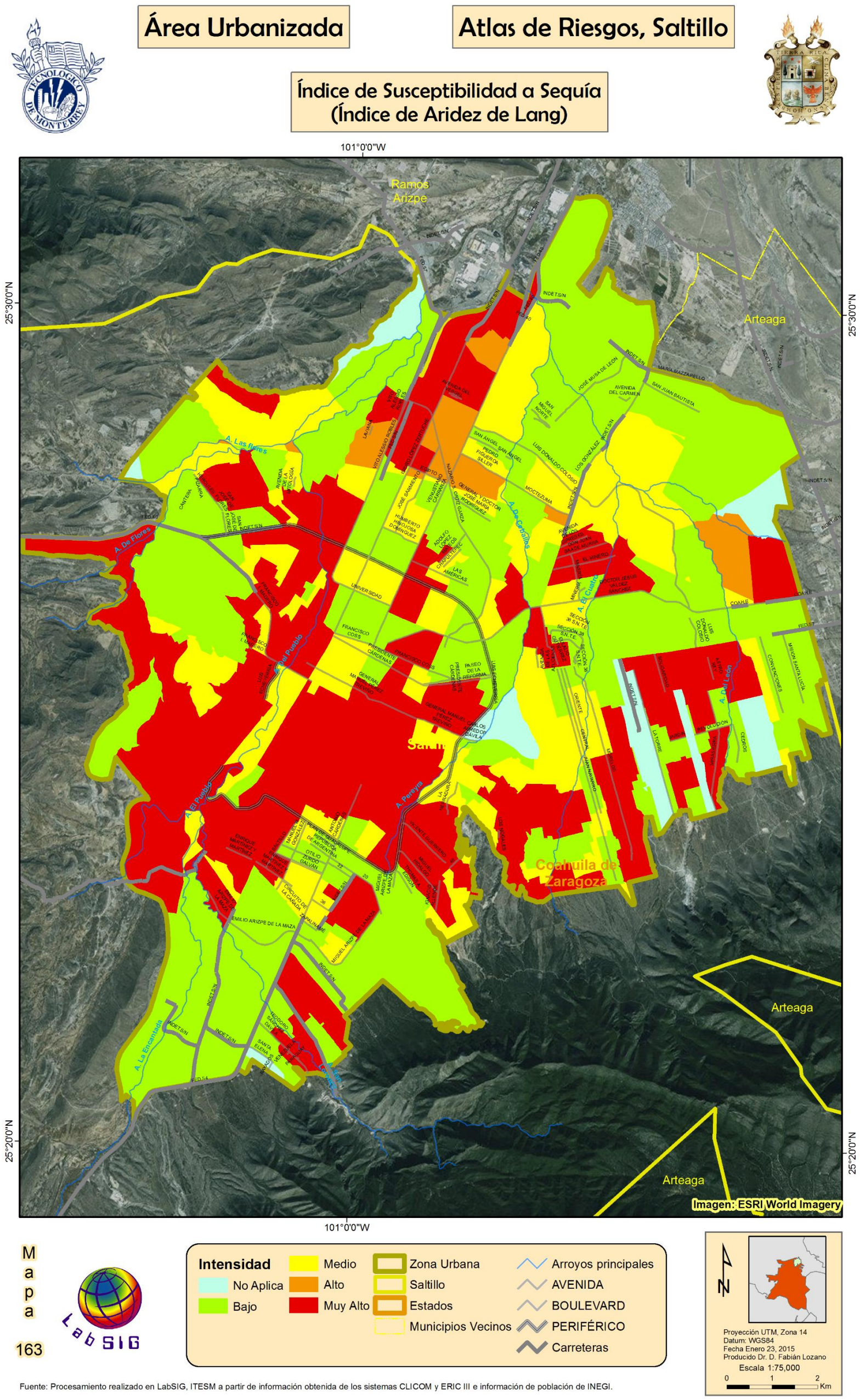
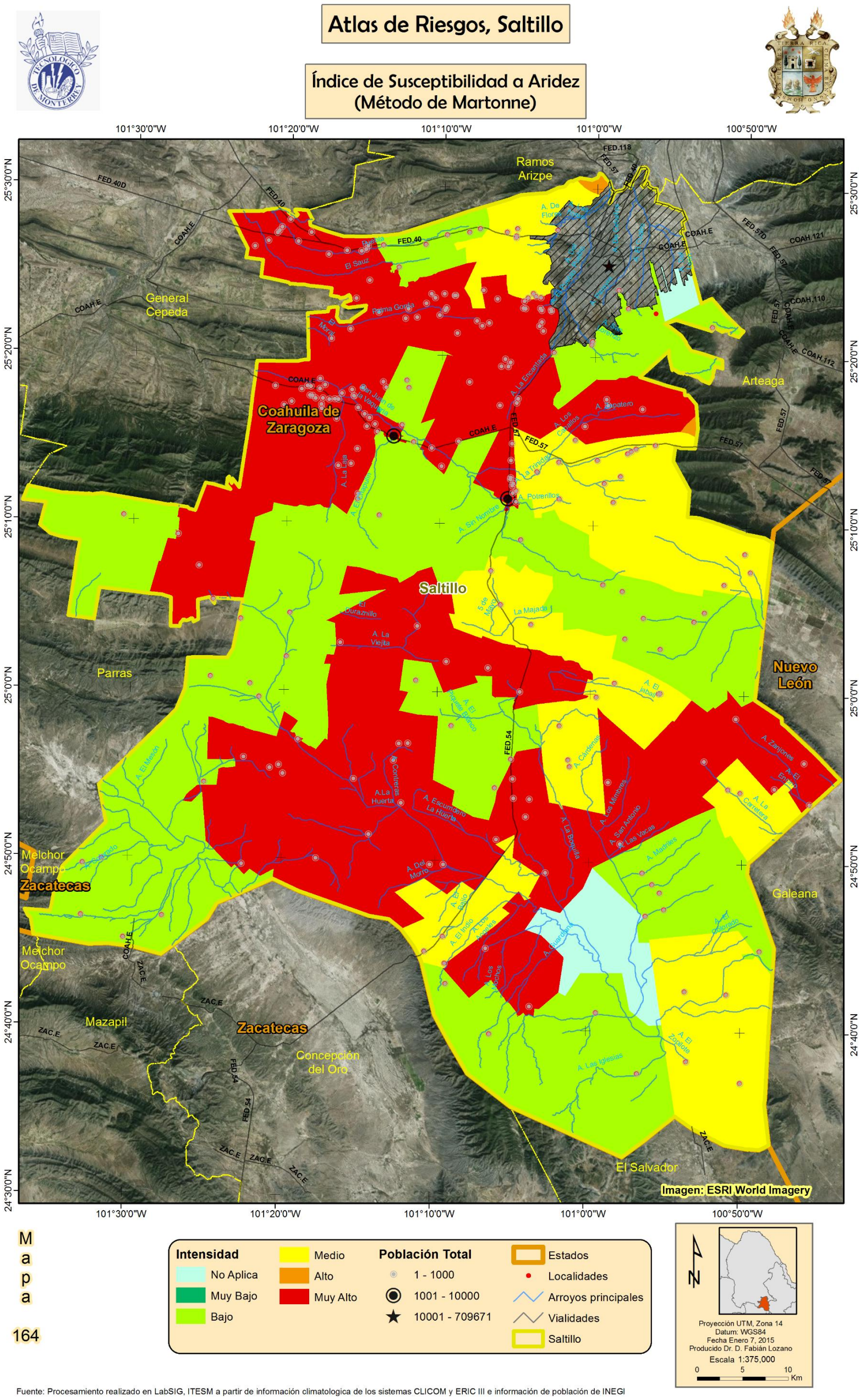
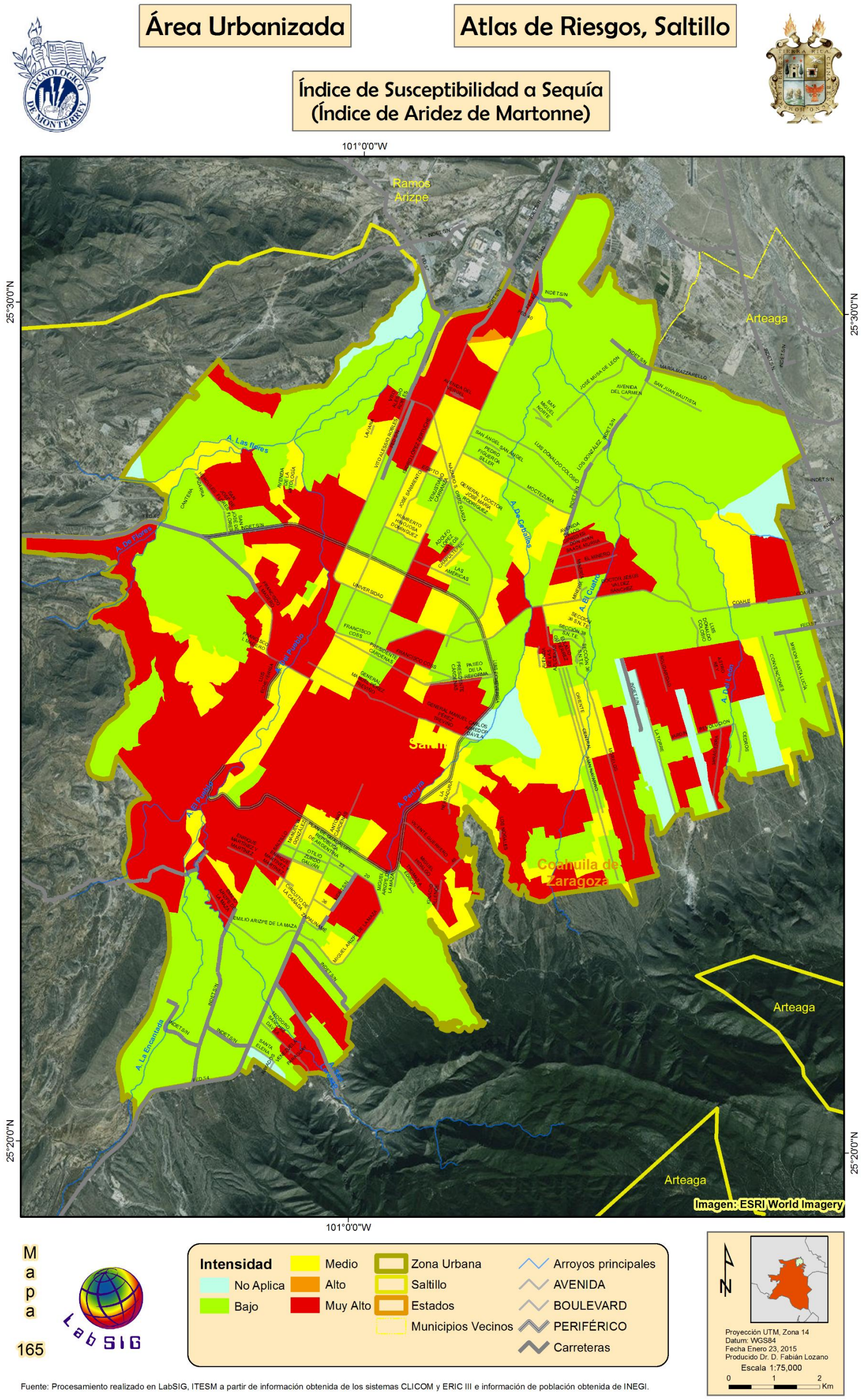


Figura 323. Índice de susceptibilidad a aridez, realizado con el índice de Lang, para la zona urbana de Saltillo



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información climatologica de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI

Figura 324. Índice de susceptibilidad a sequía, a partir del mapa de peligro por sequía en base al índice de Martonne.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población obtenida de INEGI.

Figura 325. Índice de susceptibilidad a Aridez, de acuerdo con el índice de Martonne, para la zona urbana de Saltillo

5.5.11.2 Índice de Susceptibilidad a Sequía, Interpretación

5.5.11.2.1 Índice de susceptibilidad urbano a Índice de Sequía

Para la sequía solo se obtuvieron niveles de susceptibilidad Muy Alto, Medio y Bajo. El nivel de susceptibilidad Muy Alto ocupa un total de 51.72 km^2, el nivel Medio 24.12 km^2, el nivel Bajo con 83.28 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 11.20 km^2 (Tabla 75).

Tabla 75. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para el Índice de Sequía.

Intensidad susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	30.37%
Medio	14.16%
Bajo	48.90%
No Aplica	6.57%
Grand Total	100.00%

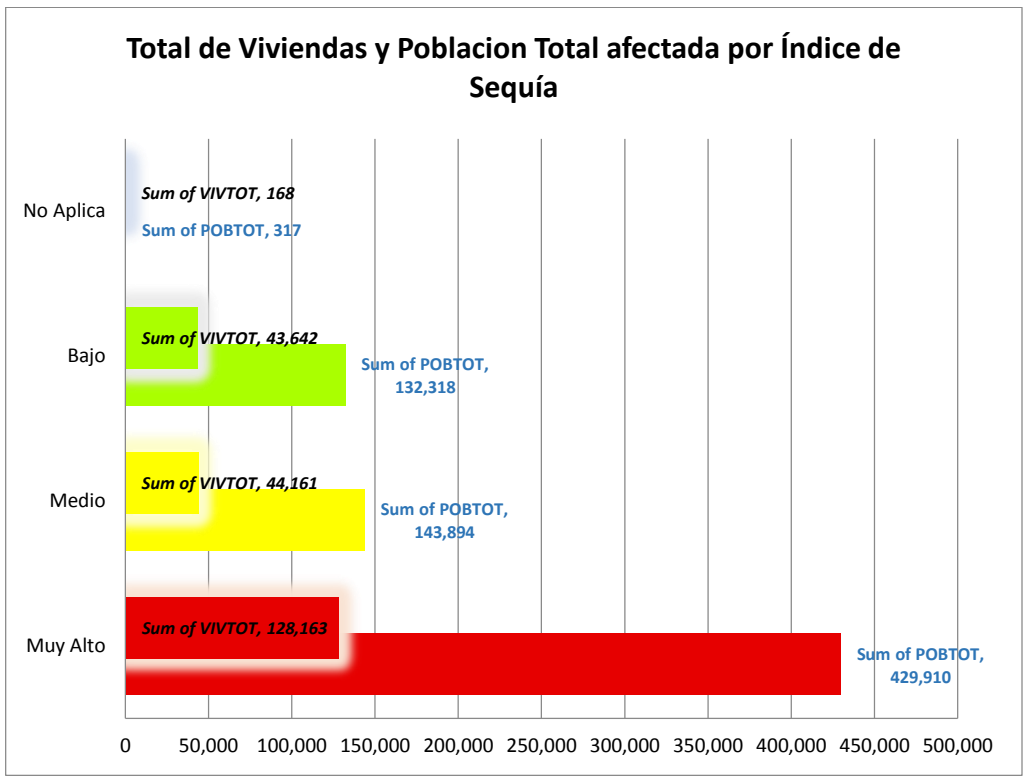


Figura 326. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Sequía.

5.5.11.3 Índice de susceptibilidad a Aridez

5.5.11.3.1 Índice de susceptibilidad urbano a Aridez (Knoche)

Para Aridez (Knoche), el nivel de susceptibilidad Muy Alto ocupa un total de 51.72 km2, el nivel Alto 1.631 km^2, el nivel de susceptibilidad Medio 29.32 km^2, el nivel Bajo 80.87 km^2 y las zonas sin susceptibilidad (No Aplica) con 3.35 km^2 (Tabla 76).

Tabla 76. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Aridez según Knoche.

Intensidad susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	30.99%
Alto	0.98%
Medio	17.57%
Bajo	48.45%
No Aplica	2.01%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación para la Aridez siguiendo la metodología de Knoche y los datos del ITER 2010, muestran un total de 128,163 viviendas y 429,910 habitantes en la zona de Riesgo Muy Alto, 1,082 viviendas y 3,071 habitantes en las áreas de riesgo Alto, 44,274 viviendas y 144,178 habitantes en zonas de riesgo Medio, 42,969 viviendas y 130,384 habitantes en áreas de riesgo Bajo (Figura 327).

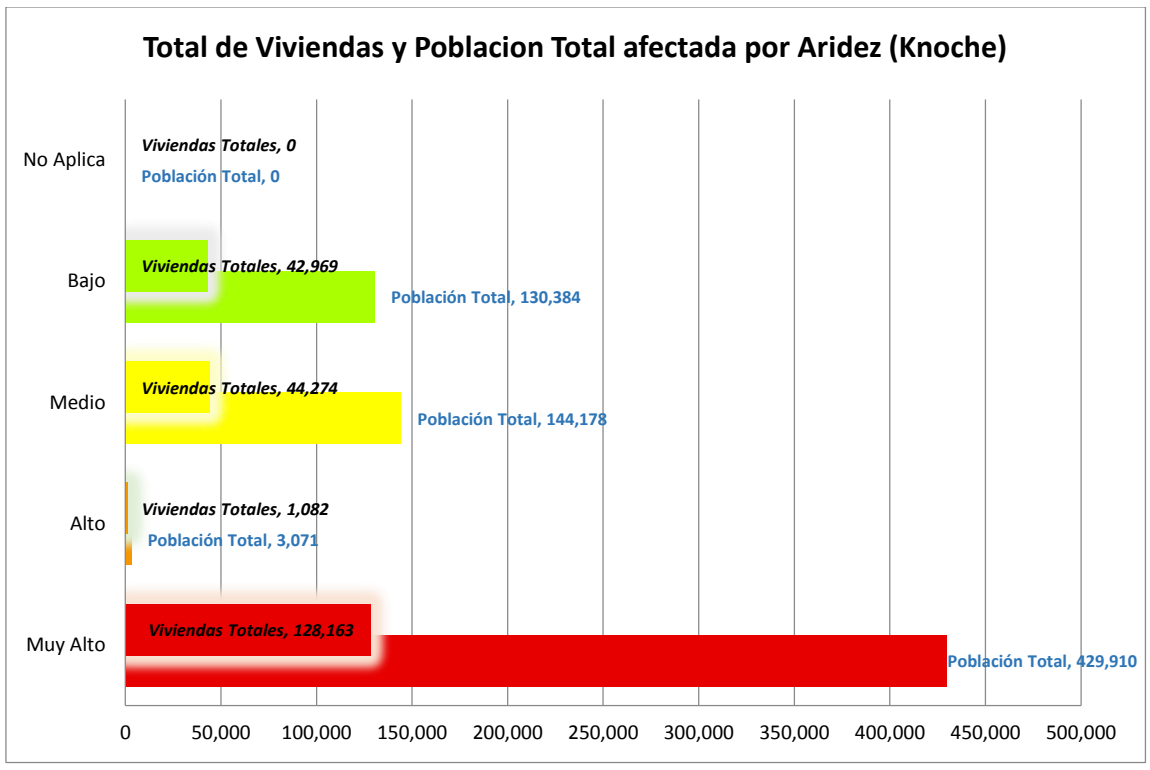


Figura 327.Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Aridez (Knoche.

5.5.11.3.2 Riesgo Social Urbano por Aridez (Lang)

Para Aridez (Lang), el nivel de susceptibilidad Muy Alto ocupa un total de 51.72 km^2, el nivel Alto 5.08 km^2, el nivel de susceptibilidad Medio 31.19 km^2, el nivel Bajo 74.18 km^2 y las zonas sin susceptibilidad (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 77).

Tabla 77. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Aridez según Lang.

Intensidad susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	31.22%
Alto	3.06%
Medio	18.83%
Bajo	44.78%
No Aplica	2.11%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación para la Aridez siguiendo la metodología de Lang y los datos del ITER 2010, muestran un total de 128,163 viviendas y 429,910 habitantes en la zona de susceptibilidad Muy Alto, 5,108 viviendas y 14,902 habitantes en las áreas de susceptibilidad Alto, 42,738 viviendas y 139,998 habitantes en zonas de susceptibilidad Medio y 41,084 viviendas y 124,836 habitantes en áreas de susceptibilidad Bajo (Figura 328).

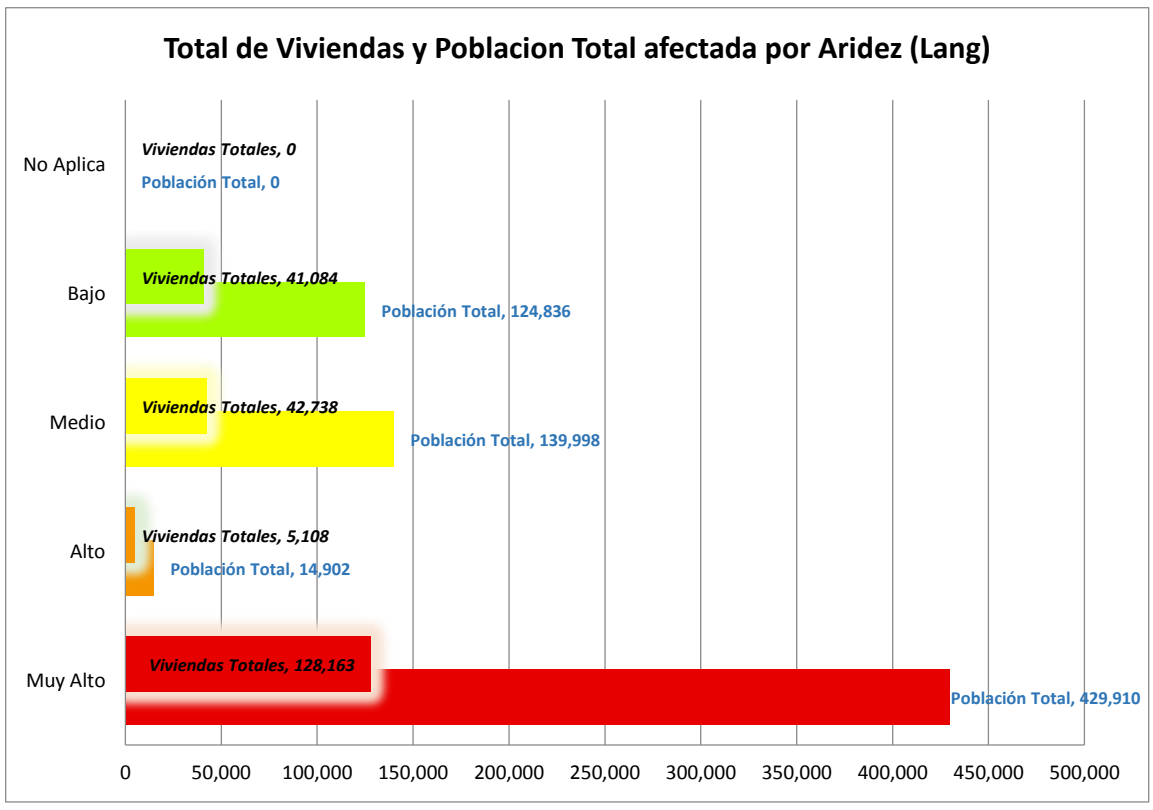


Figura 328. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Aridez (Lang).

5.5.11.3.3 Índice de Susceptibilidad Urbano a Aridez (Martonne)

Para Aridez (Martonne), el nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 51.72 km^2, el nivel Alto 0.34 km^2, el nivel de susceptibilidad Medio 23.66 km^2, el nivel Bajo 73.28 km^2 y las zonas sin susceptibilidad (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 78).

Tabla 78. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Aridez según Martonne.

Intensidad susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	31.83%
Alto	0.21%
Medio	14.56%
Bajo	51.25%
No Aplica	2.15%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación para la Aridez siguiendo la metodología de Martonne y los datos del ITER 2010, muestran un total de 128,163 viviendas y 429,910 habitantes en la zona de susceptibilidad Muy Alto, 473 viviendas y 1,323 habitantes en las áreas de susceptibilidad Alto, 44,109 viviendas y 143,736 habitantes en zonas de susceptibilidad Medio y 43,642 viviendas y 132,318 habitantes en áreas de susceptibilidad Bajo (Figura 329).

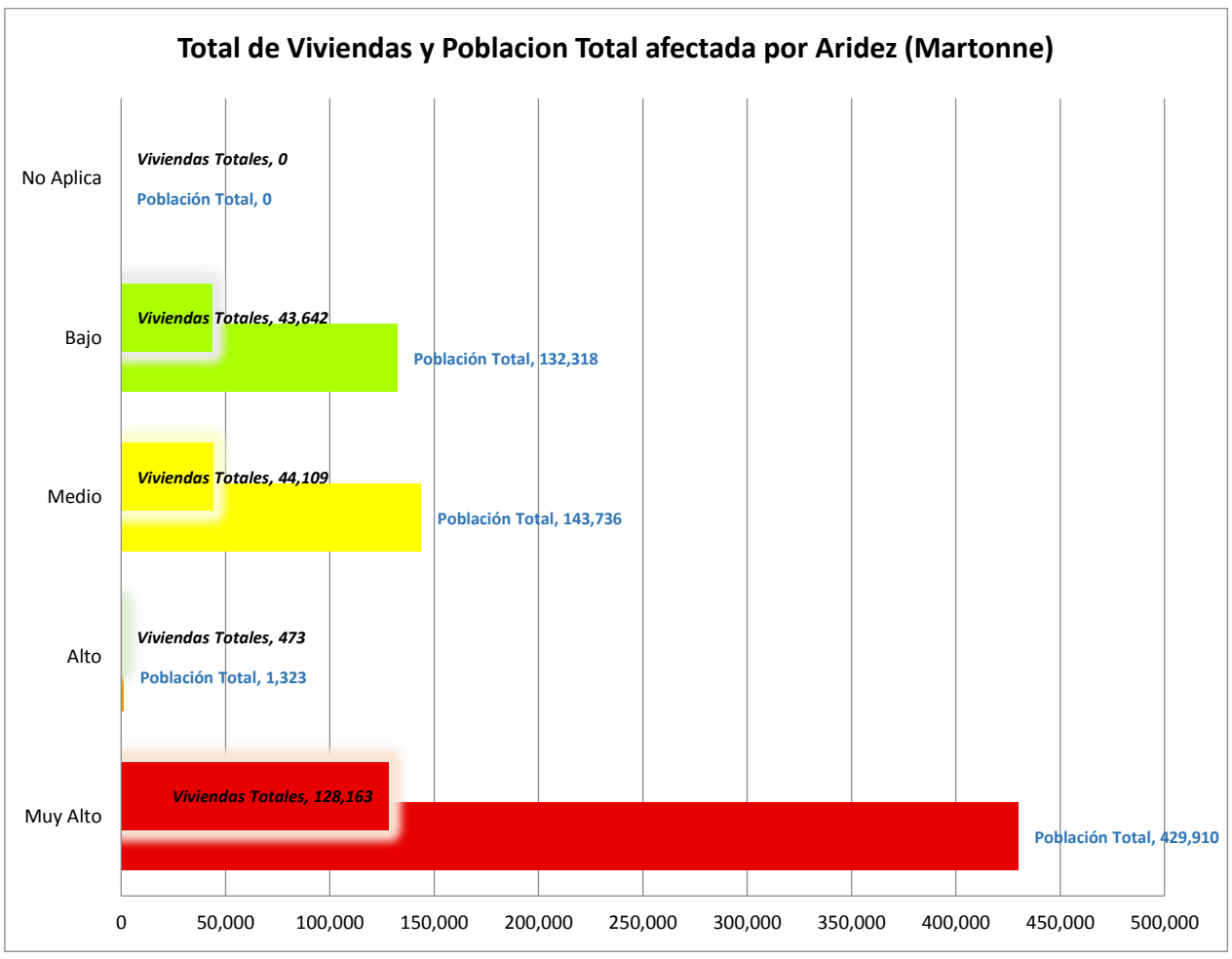


Figura 329. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad por Aridez (Martonne).

5.5.12 Riesgo por Tormentas de Granizo

El riesgo por tormentas de granizo municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 330 a Figura 333) que se describen más adelante en la sección 5.5.12.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.12.1 Mapas, Tormentas de Granizo

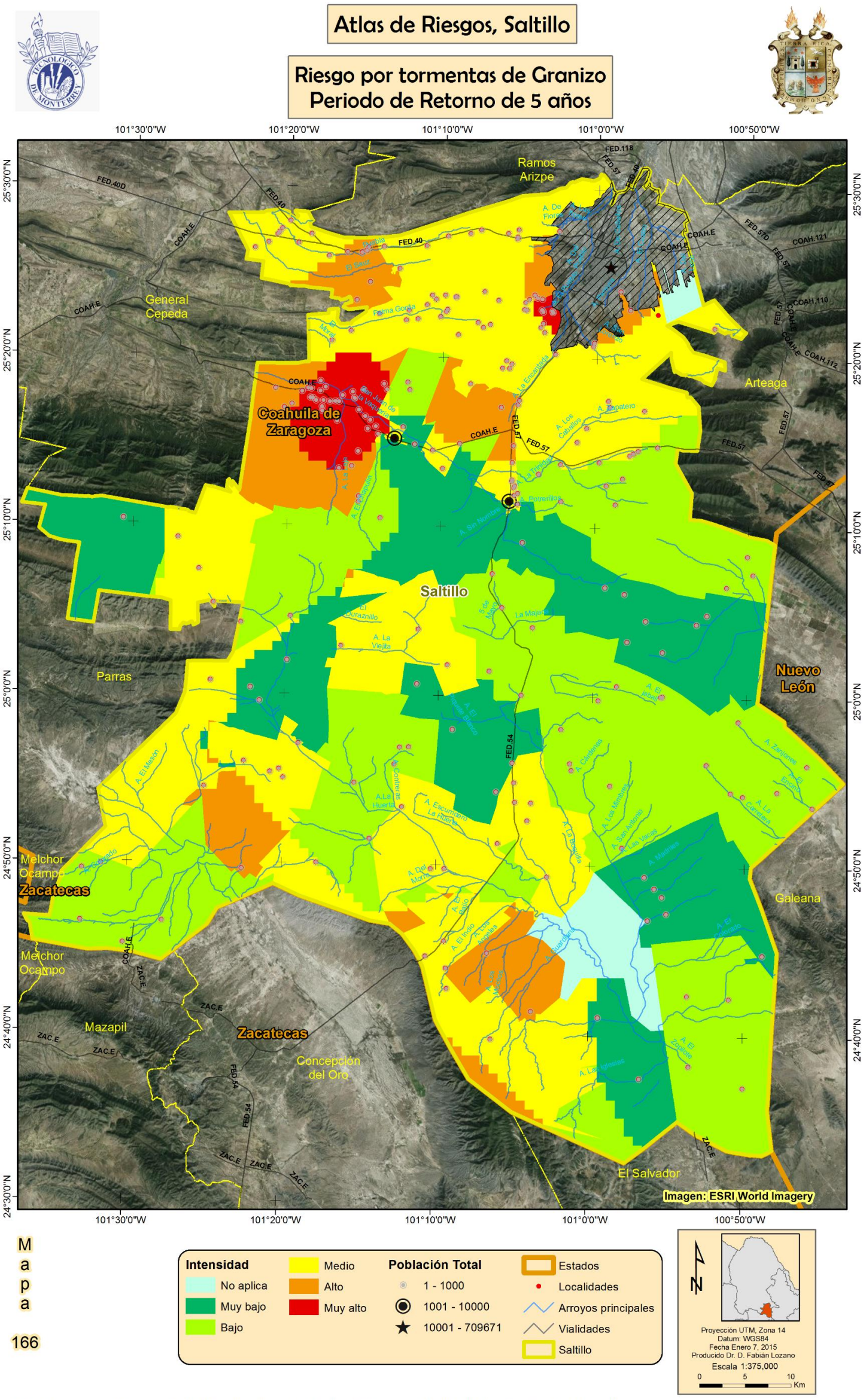
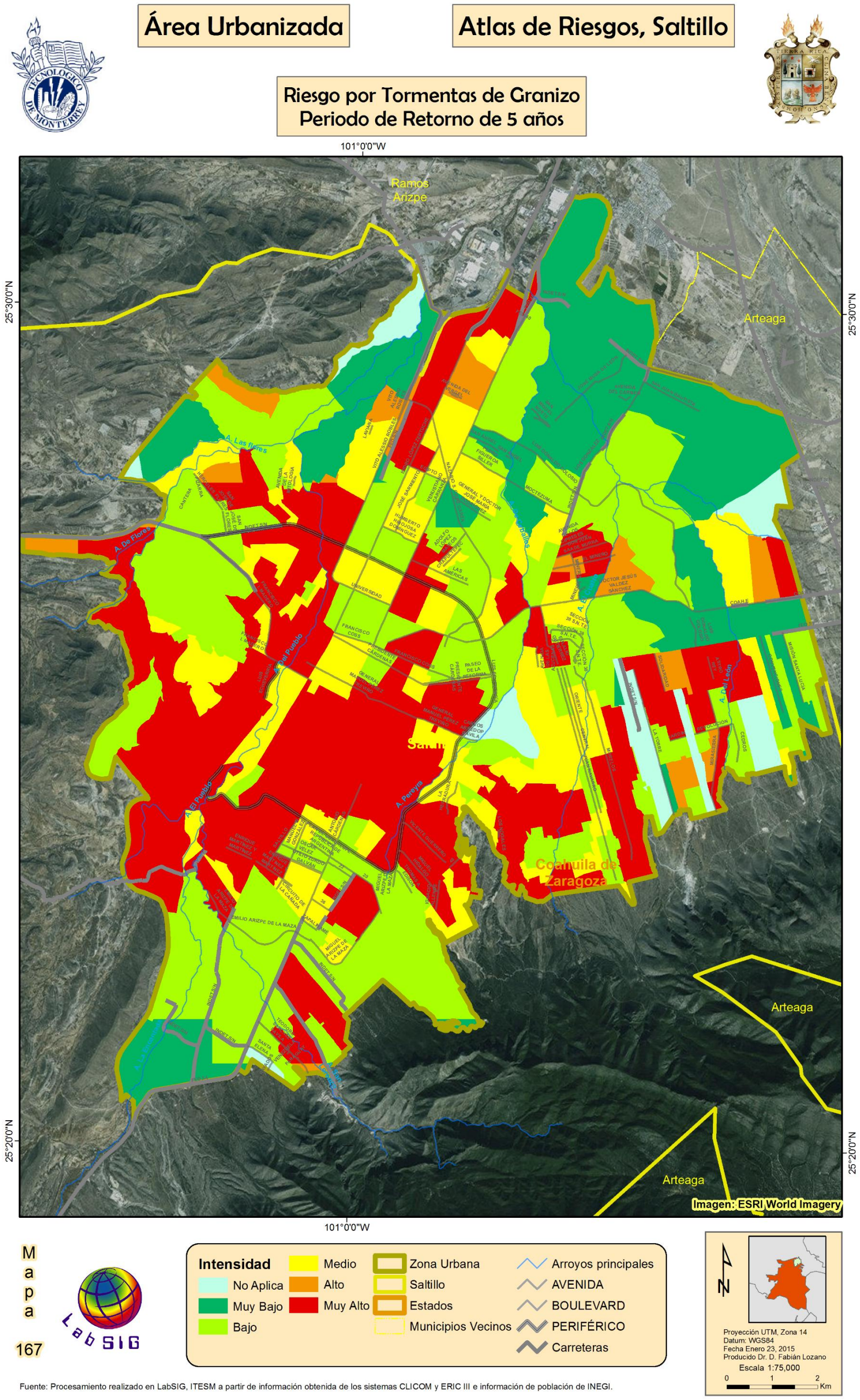
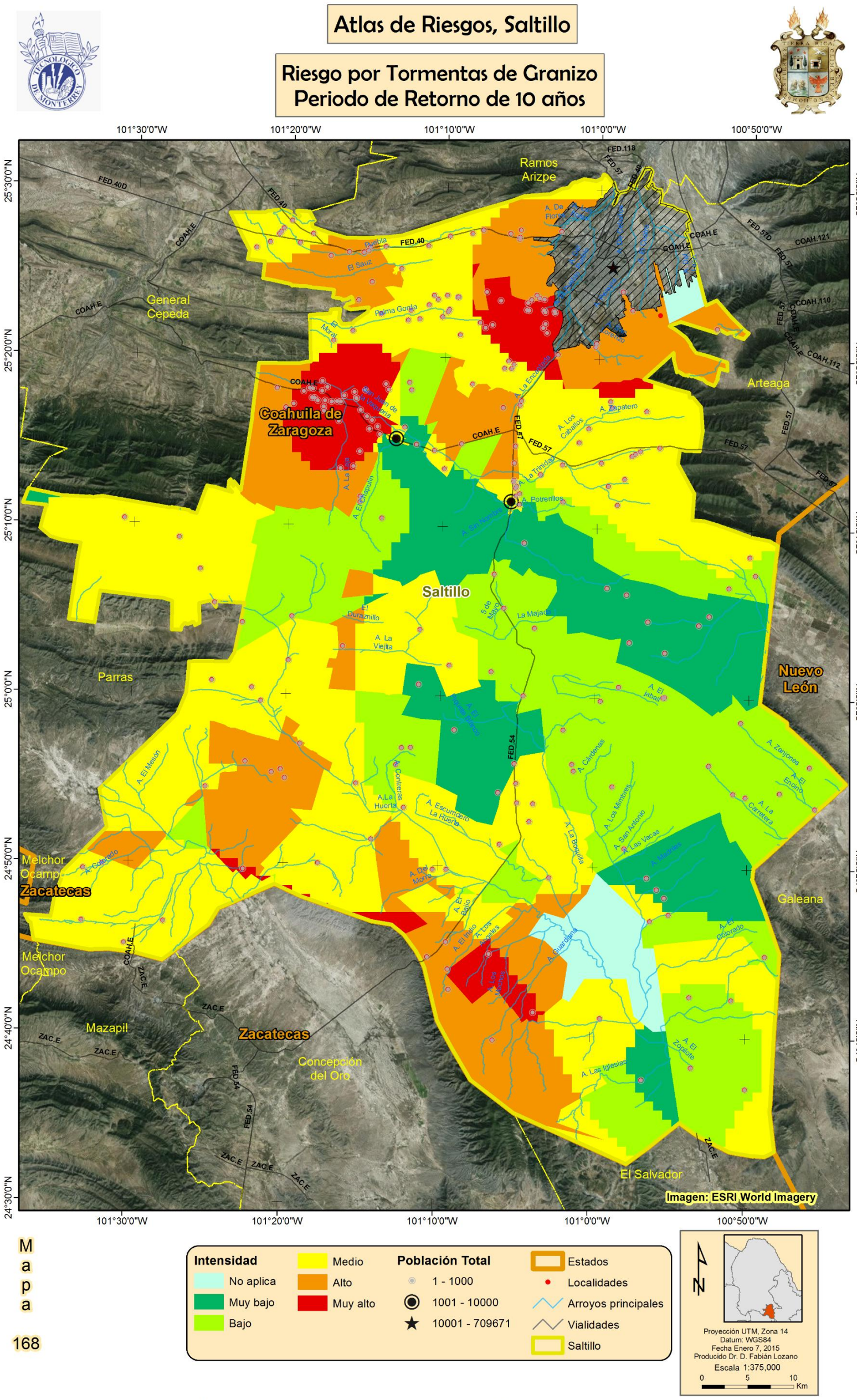


Figura 330. Riesgo de granaizadas en zonas rurales, Pr 5 años.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI.

Figura 331. Riesgo de granizadas en la zona urbana de Saltillo, Pr de 5 años



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM, a partir de información climatologica de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población

Figura 332. Riesgo de granaizadas en zonas rurales, Pr de 10 años.

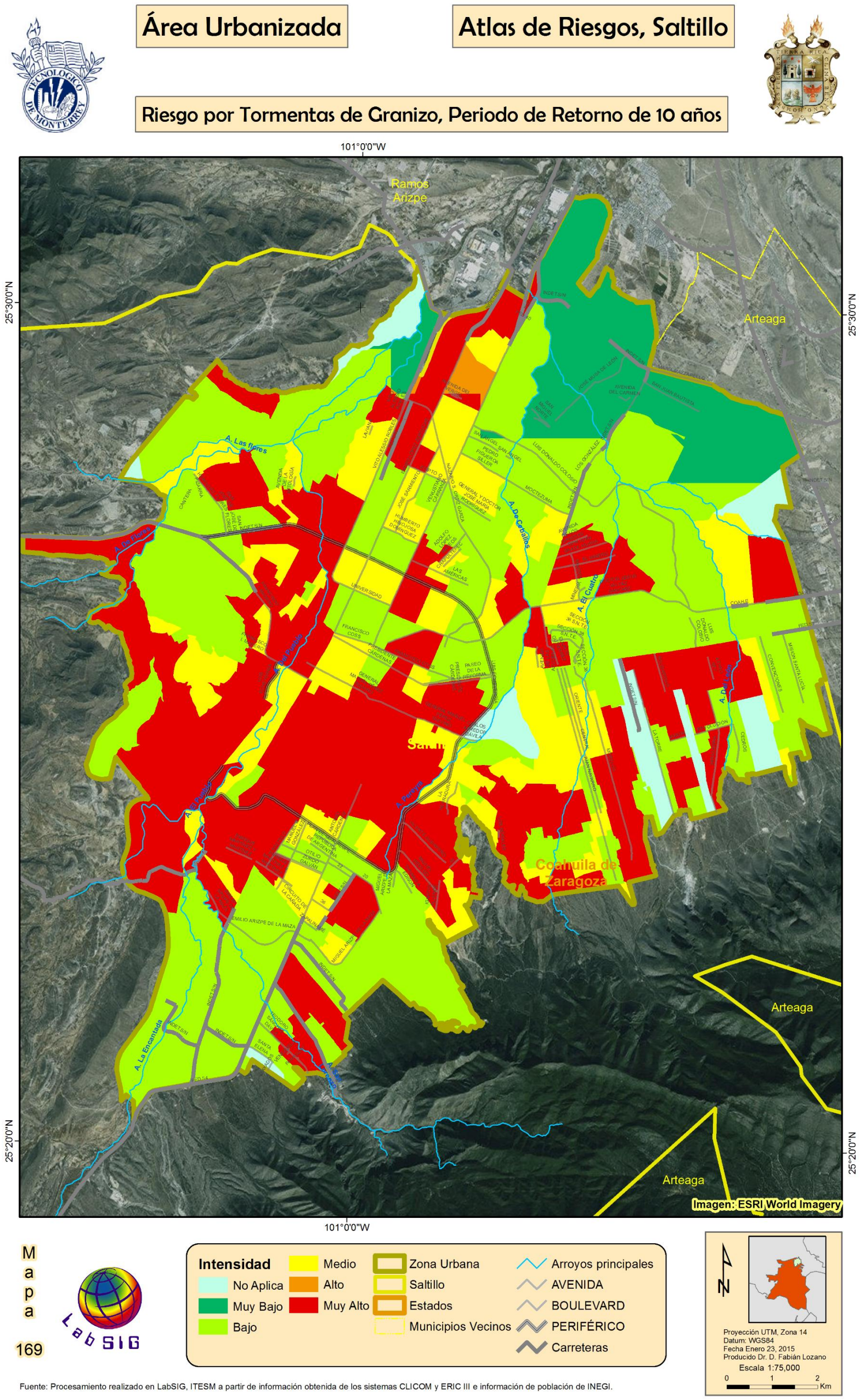


Figura 333. Riesgo de granizadas en la zona urbana de Saltillo, Pr de 10 años.

5.5.12.2 Riesgo por Granizadas

5.5.12.2.1 Período de Retorno de 5 años

El nivel de riesgo para granizadas con periodo de 5 años que más superficie ocupa en el área urbana del municipio de Saltillo es el Bajo que cubre una superficie de 55.35 km^2, seguido por el nivel Muy Alto con 46.86 km^2, el riesgo Muy Bajo con 33.36 km^2, el Medio con 23.16 km^2, el riesgo Alto con 5.98 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 79).

Tabla 79. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Granizadas con Pr de 5 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	27.86%
Alto	3.56%
Medio	13.77%
Bajo	32.91%
Muy Bajo	19.84%
No Aplica	2.07%
Grand Total	100.00%

Según los resultados de la modelación de granizadas con Pr de 5 años y los datos del ITER 2010, un total de 89,679 viviendas se encuentran en la zona de Riesgo Muy Alto, en esta superficie según datos del 2010 vivían aproximadamente 298,530 personas. En las zonas resultantes con riesgo Alto, existen cerca de 10,009 viviendas y un total de 31,771 individuos, en las áreas de riesgo Medio según datos del ITER, se encuentran un total de 32,124 viviendas y 103,780 personas, en zonas de riesgo Bajo 29.973 viviendas y 90,335 habitantes y en las zonas de riesgo Muy Bajo 4,663 viviendas y 13,190 habitantes (Figura 334).

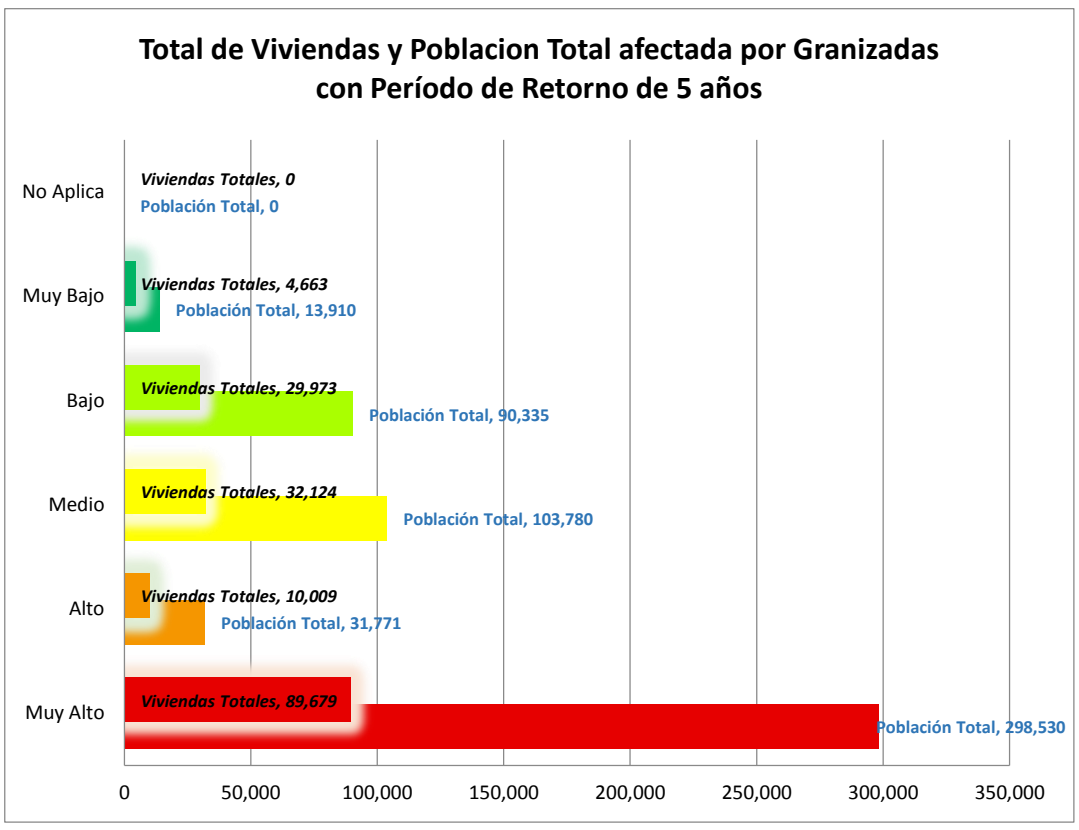


Figura 334. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Granizadas con período de retorno de 5 años.

5.5.12.2.2 Período de Retorno de 10 años

El nivel de riesgo para granizadas con periodo de 10 años que más superficie ocupa en el área urbana del municipio de Saltillo es el Bajo que cubre una superficie de 70.97 km^2, seguido por el nivel Muy Alto con 51.46 km^2, el riesgo Medio con 23.16 km^2, el Muy Bajo con 18.19 km^2, las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 y por último el riesgo Alto con 0.85 km^2 (Tabla 80).

Tabla 80. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Granizadas con Pr de 10 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	30.61%
Alto	0.51%
Medio	13.77%
Bajo	42.21%
Muy Bajo	10.82%
No Aplica	2.08%
Grand Total	100.00%

Según los resultados de la modelación de Granizadas con Pr de 10 años y los datos del ITER 2010, un total de 89,679 viviendas se encuentran en la zona de Riesgo Muy Alto, con aproximadamente 298,530 personas. En las zonas resultantes con riesgo Alto, hay aproximadamente 10,009 viviendas y un total de 31,771 individuos, en las áreas de riesgo Medio se encuentran un total de 32,124 viviendas y 103,780 personas, en zonas de riesgo Bajo 29.973 viviendas y 90,335 habitantes y en las zonas de riesgo Muy Bajo 4,663 viviendas y 13,190 habitantes (Figura 335).

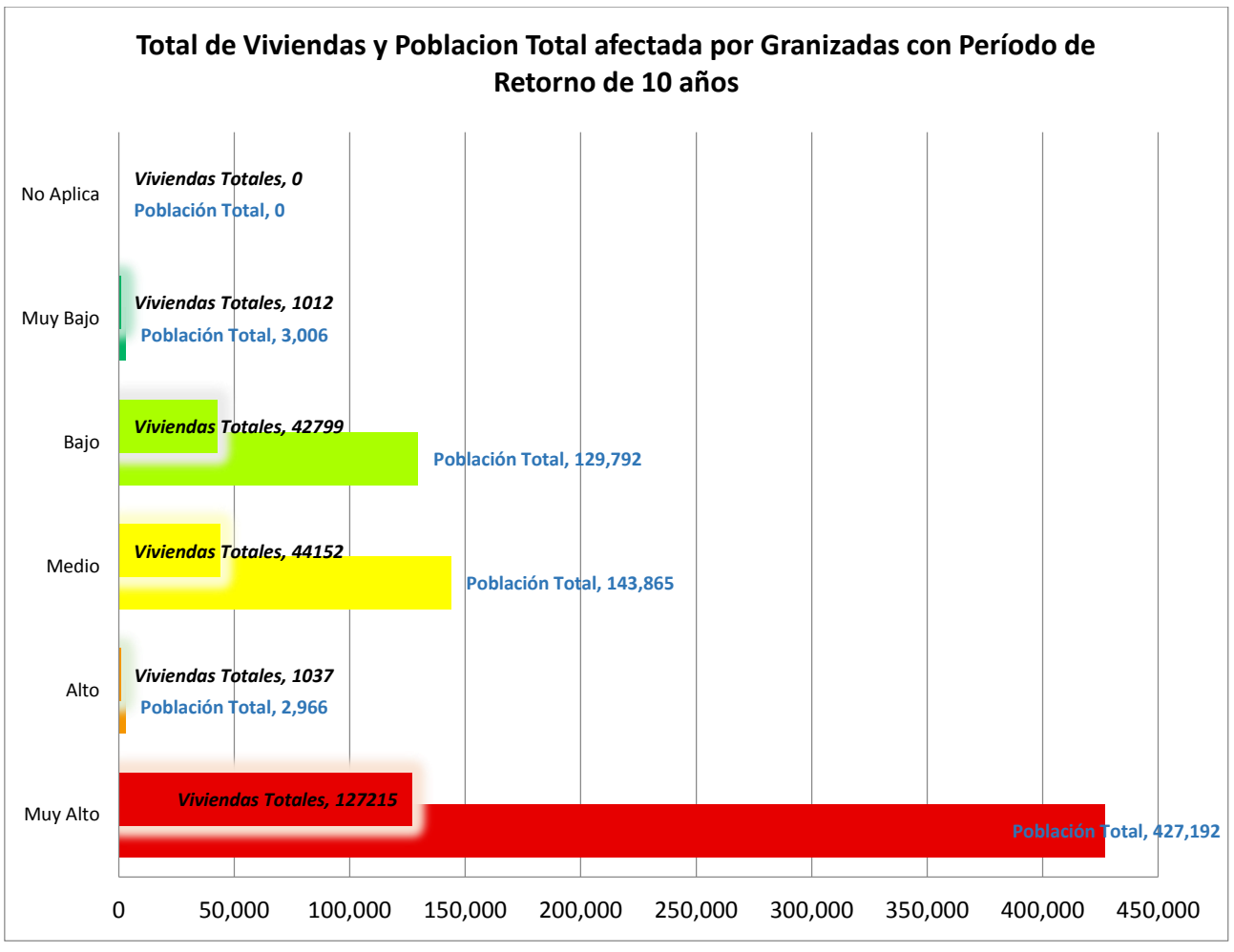
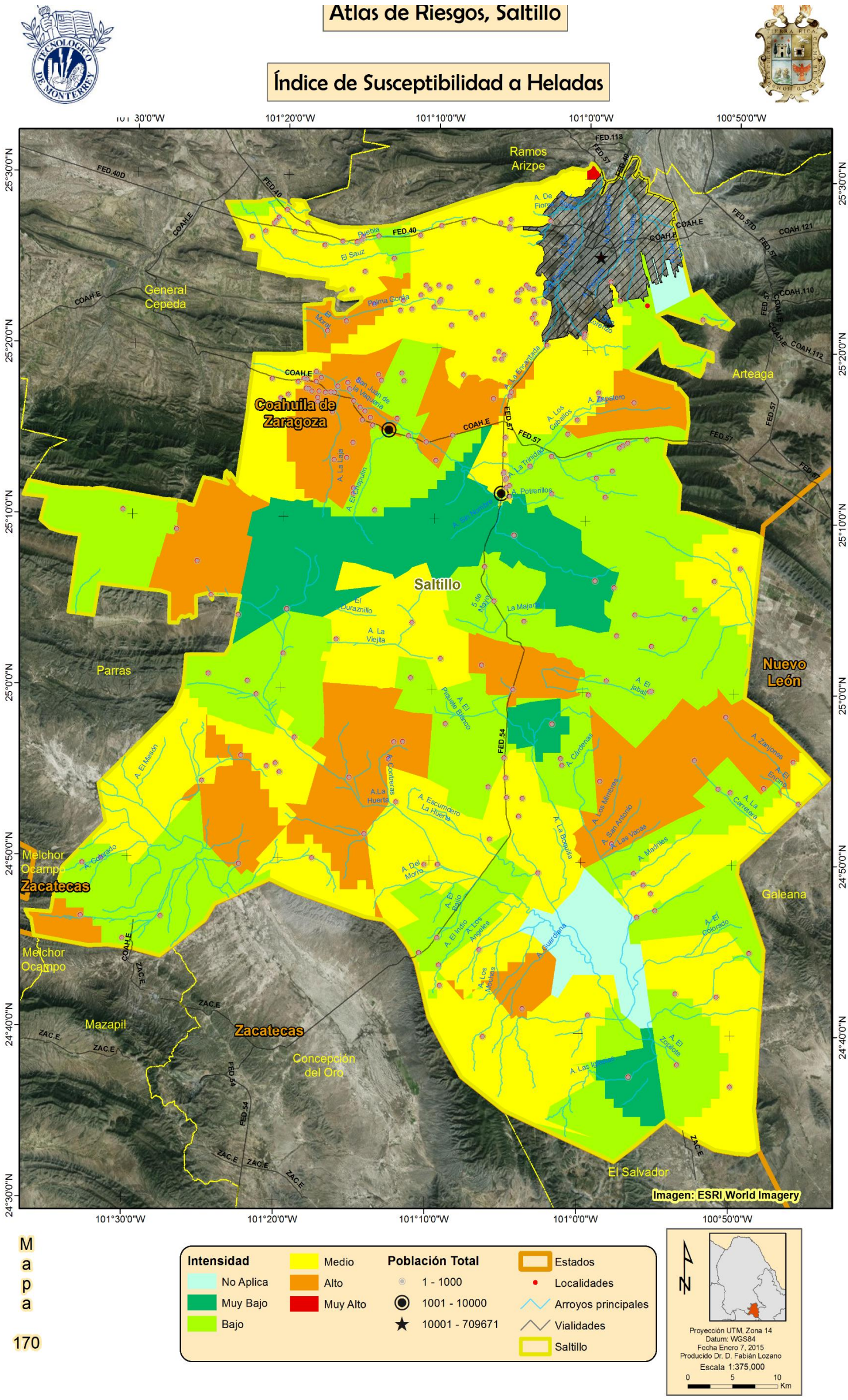


Figura 335. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Granizadas con período de retorno de 10 años.

5.5.13 Índice de Susceptibilidad a Heladas

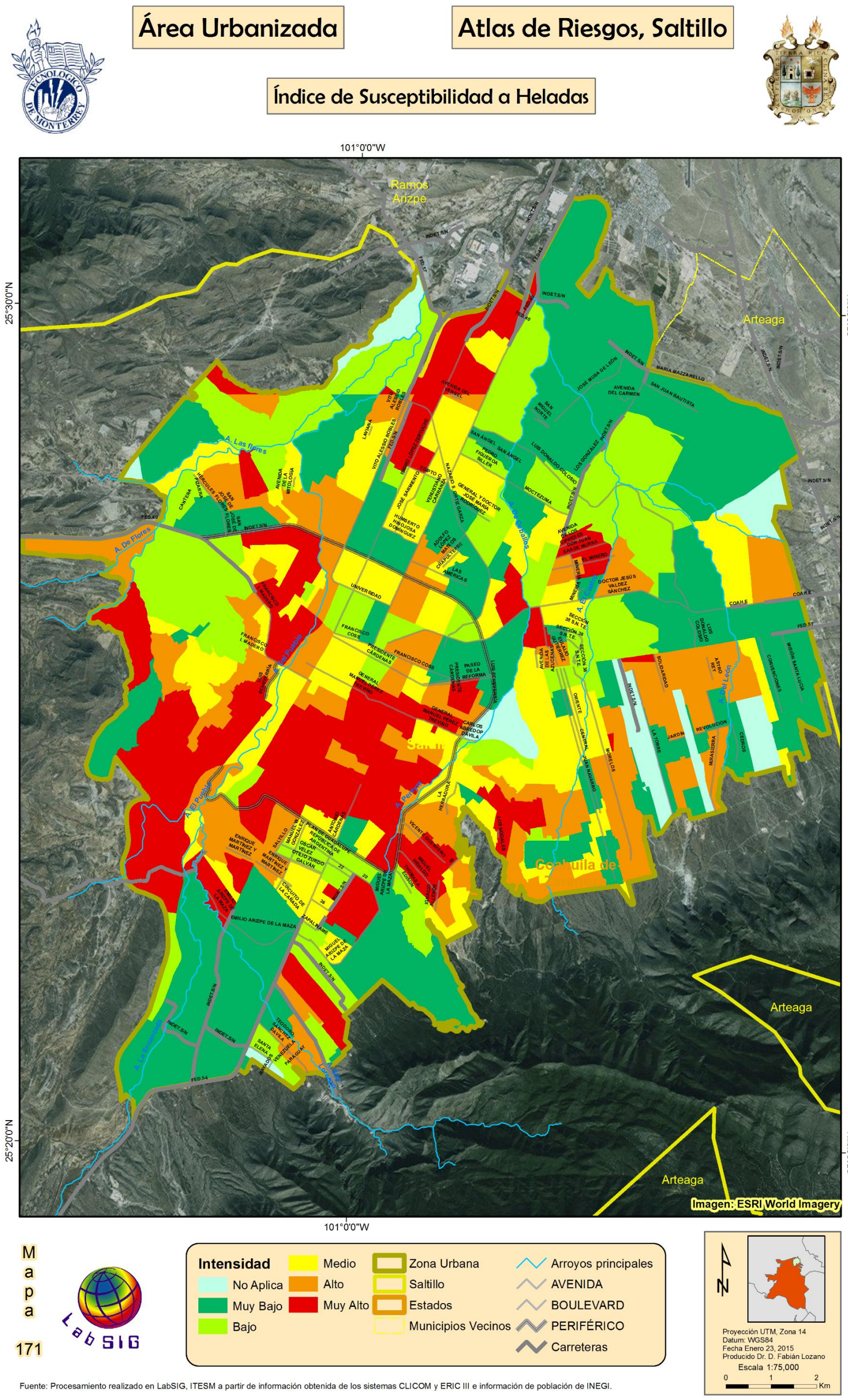
El riesgo por susceptibilidad a heladas en el municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 336 y Figura 337) que se describen más adelante en la sección 5.5.13.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.13.1 Mapas, Heladas



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM, a partir de información climatologica de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI.

Figura 336. Índice de Susceptibilidad a Heladas para la zona rural de Saltillo.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI.

Figura 337. Índice de Susceptibilidad a Heladas, para la zona urbana de Saltillo

5.5.13.2 Índice de Susceptibilidad a Heladas, Interpretación

5.5.13.2.1 Heladas

Para las Heladas, el nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 27.492 km^2, el nivel Alto 25.61 km^2, el nivel de riesgo Medio 23.16 km^2, el nivel Bajo 29.82 km^2, el nivel Muy Bajo 56.79 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 81).

Tabla 81. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Heladas.

Intensidad Susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	16.52%
Alto	15.39%
Medio	13.92%
Bajo	17.92%
Muy Bajo	34.14%
No Aplica	2.10%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación para Heladas y los datos del ITER 2010, muestran un total de 63,963 viviendas y 218,924 habitantes en la zona de Riesgo Muy Alto, 64,970 viviendas y 213,438 habitantes en las áreas de riesgo Alto, 44,152 viviendas y 143,865 habitantes en zonas de riesgo Medio, 21,080 viviendas y 64,562 habitantes en áreas de riesgo bajo y 22,993 viviendas y 69,140 habitantes para las zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 338).

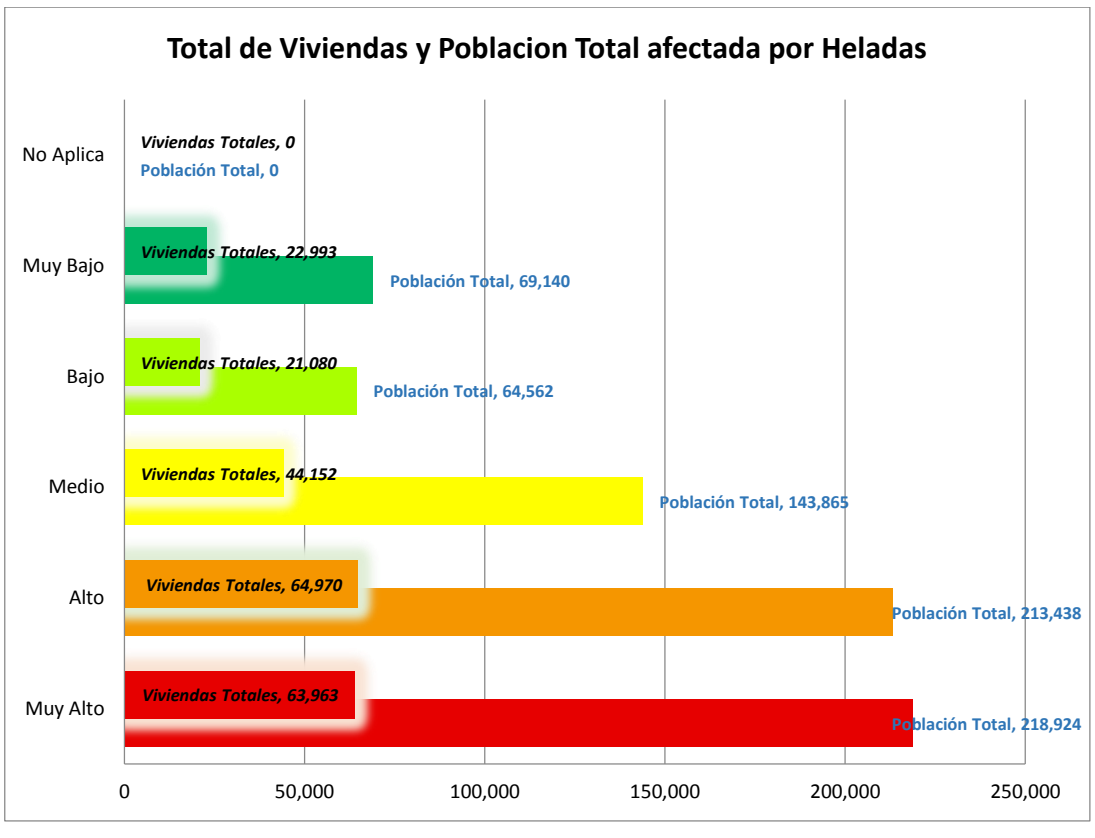
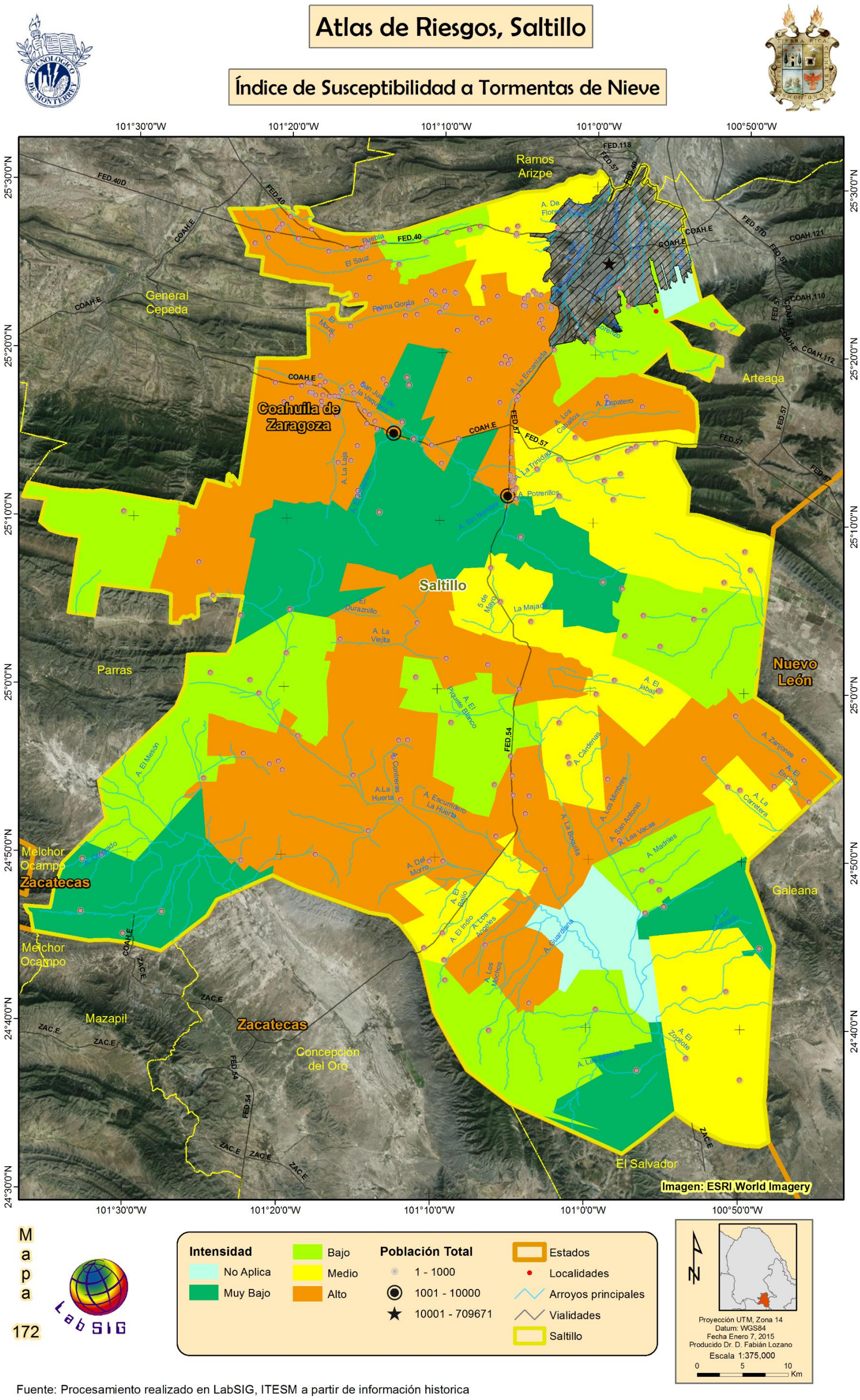


Figura 338. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad por Heladas.

5.5.14 *Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Nieve*



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información historica

Figura 339. Índice de Susceptibilidad por Tormentas de Nieve para la zona rural de Saltillo.

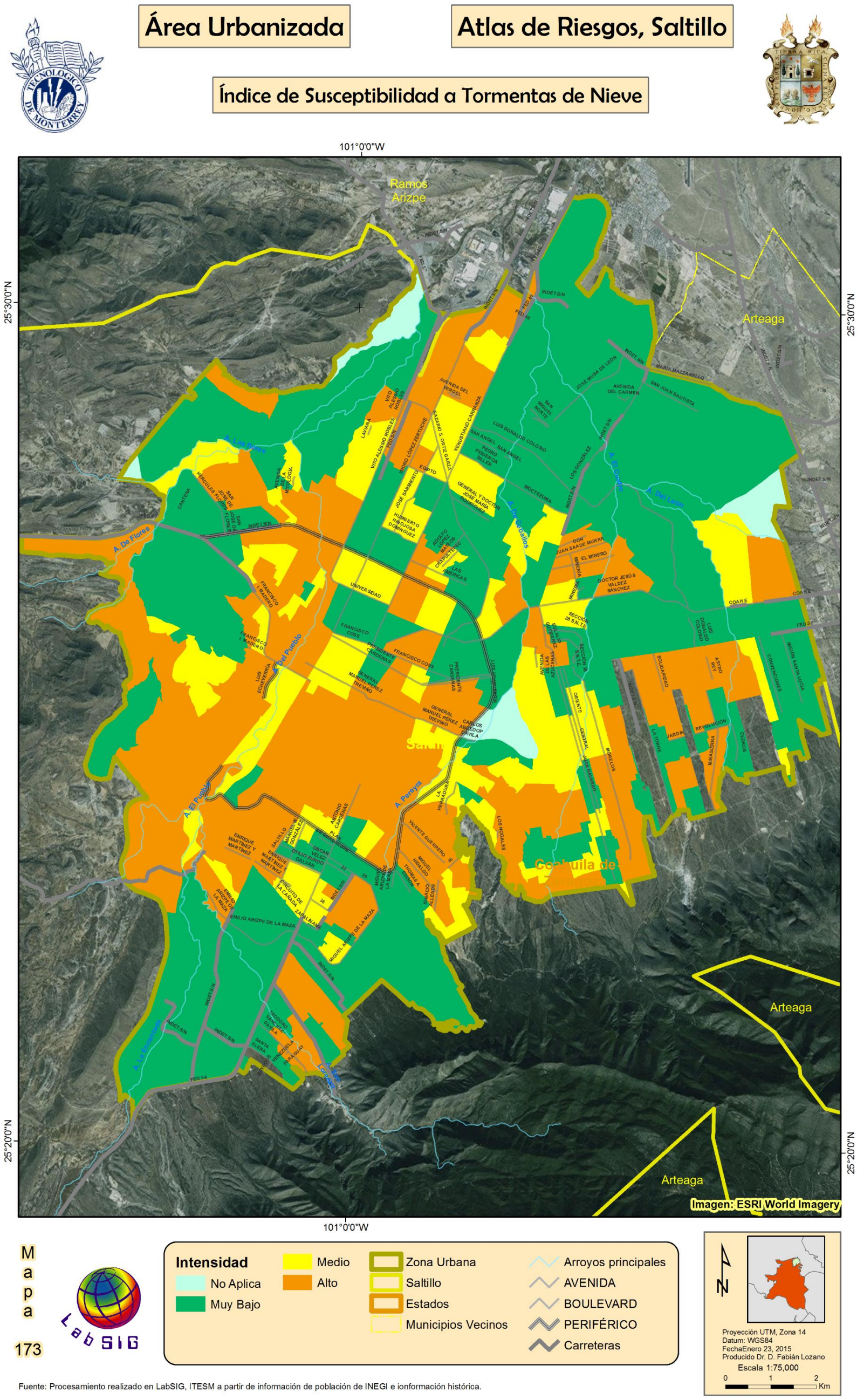


Figura 340. . Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Nieve en la zona urbana de Saltillo.

5.5.15 Índice de Susceptibilidad a Ciclones Tropicales

El riesgo por ciclones tropicales municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 341 y Figura 342) que se describen más adelante en la sección 5.5.15.1 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo

5.5.15.1 Mapas, Ciclones

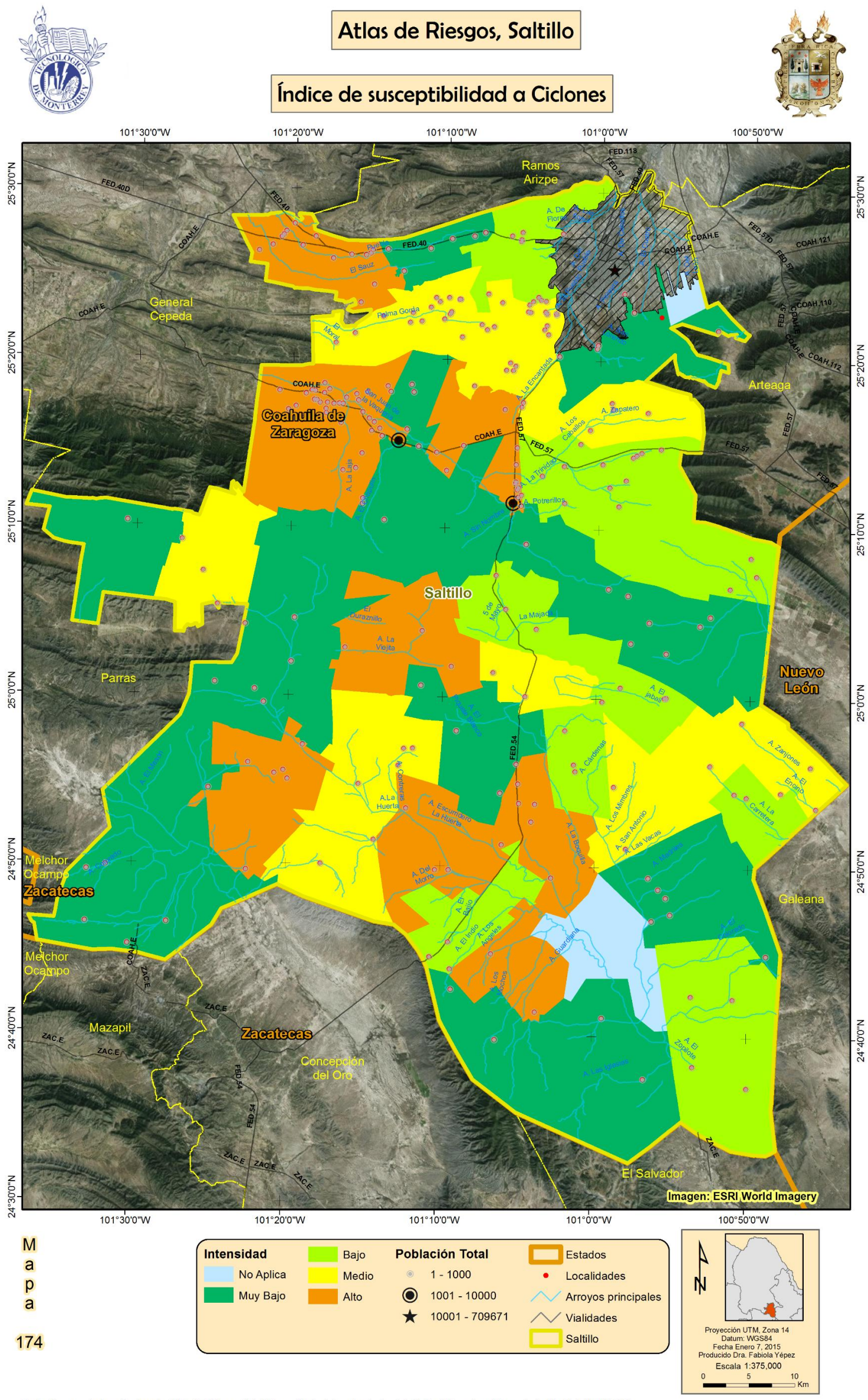
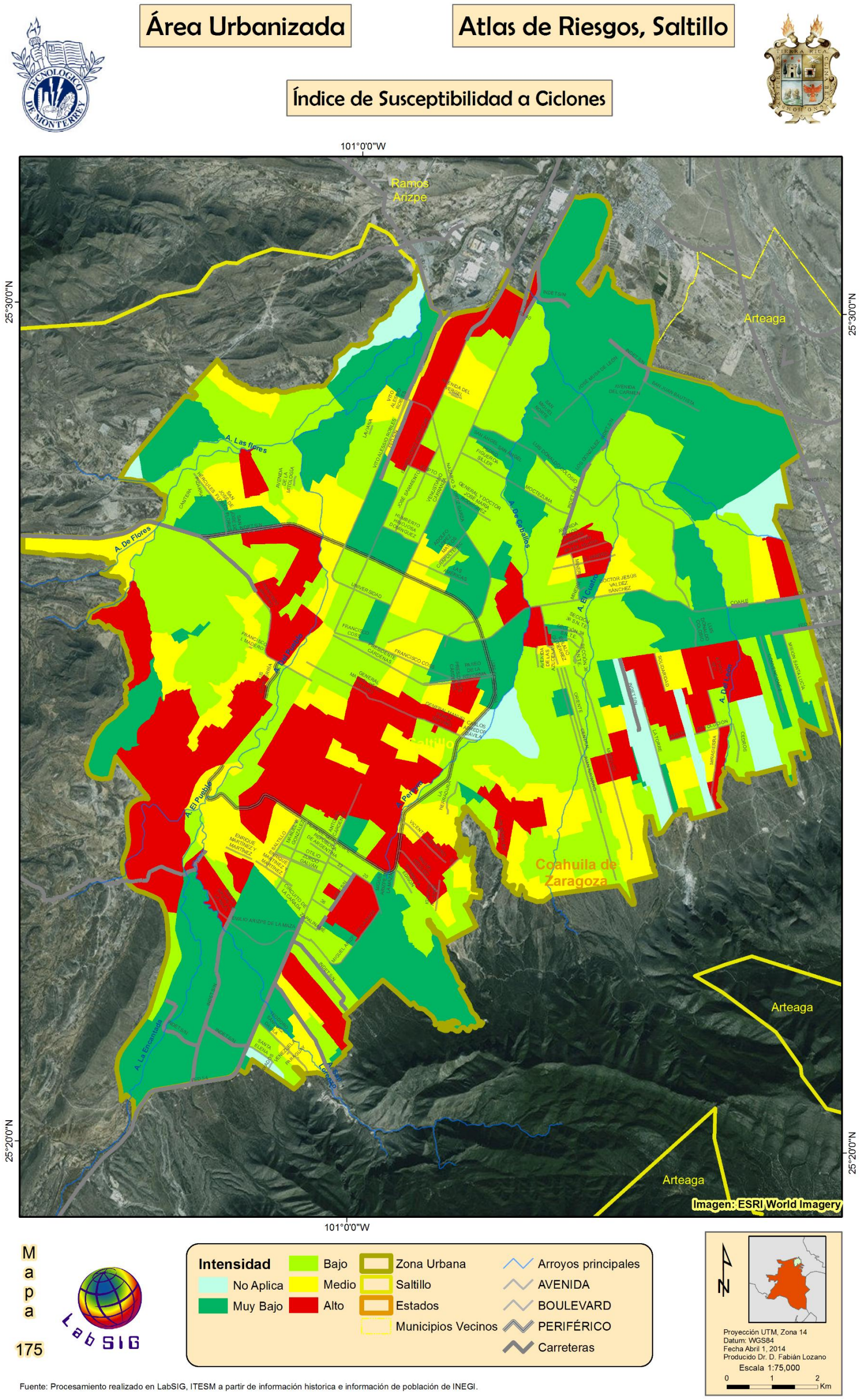


Figura 341. Índice de susceptibilidad a ciclones tropicales para la zona rural de Saltillo.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información historica e información de población de INEGI.

Figura 342. Índice de susceptibilidad a Ciclones Tropicales, para la zona urbana de Saltillo

5.5.15.2 Índice de Susceptibilidad a Ciclones, Interpretación

Para Ciclones, el nivel de riesgo Alto ocupa un total de 29.74 km^2, el nivel Medio 21.99 km^2, el nivel de riesgo Bajo 55.22 km^2, el nivel Muy Bajo 51.22 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 82).

Tabla 82. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de Susceptibilidad a Ciclones.

Intensidad Susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Alto	18.40%
Medio	13.60%
Bajo	34.16%
Muy Bajo	31.69%
No Aplica	2.16%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación de susceptibilidad para Ciclones y los datos del ITER 2010, nos muestran un total de 75,438 viviendas y 253,968 habitantes en la zona de Riesgo Alto, 52,725 viviendas y 175,942 habitantes en las áreas de riesgo Medio, 73,479 viviendas y 233,282 habitantes en zonas de riesgo Bajo, y 14,315 viviendas y 42,901 habitantes para las zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 343).

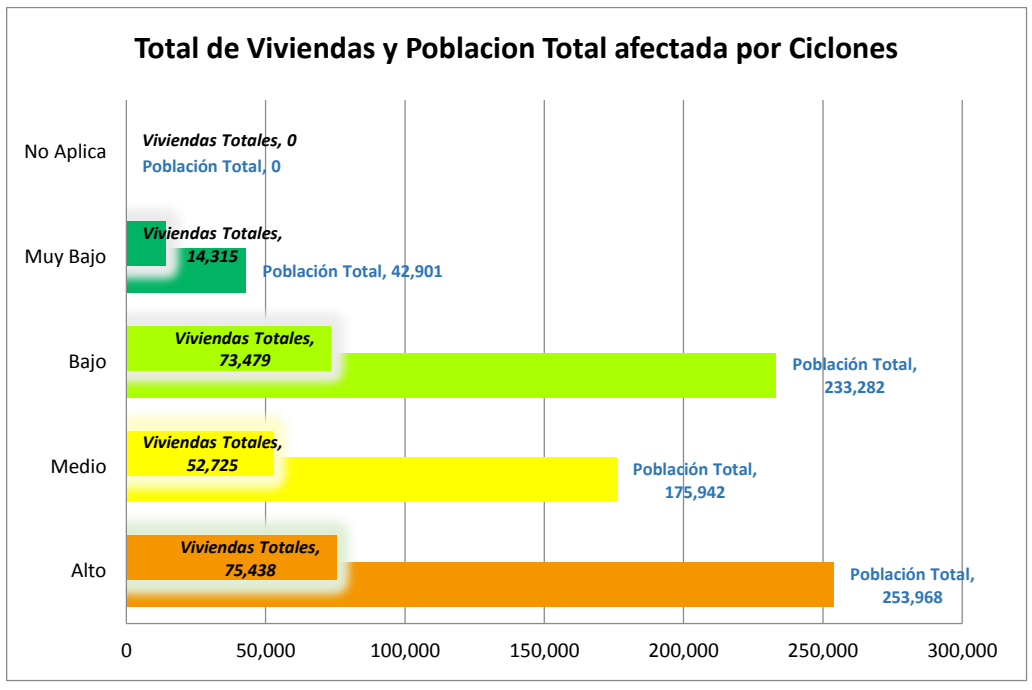


Figura 343. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Ciclones.

.

5.5.16 Índice de Susceptibilidad a Tornados

El riesgo por susceptibilidad a tornados en el municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 344 y Figura 345) que se describen más adelante en la sección 5.5.16.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.16.1 Mapas, Tornados

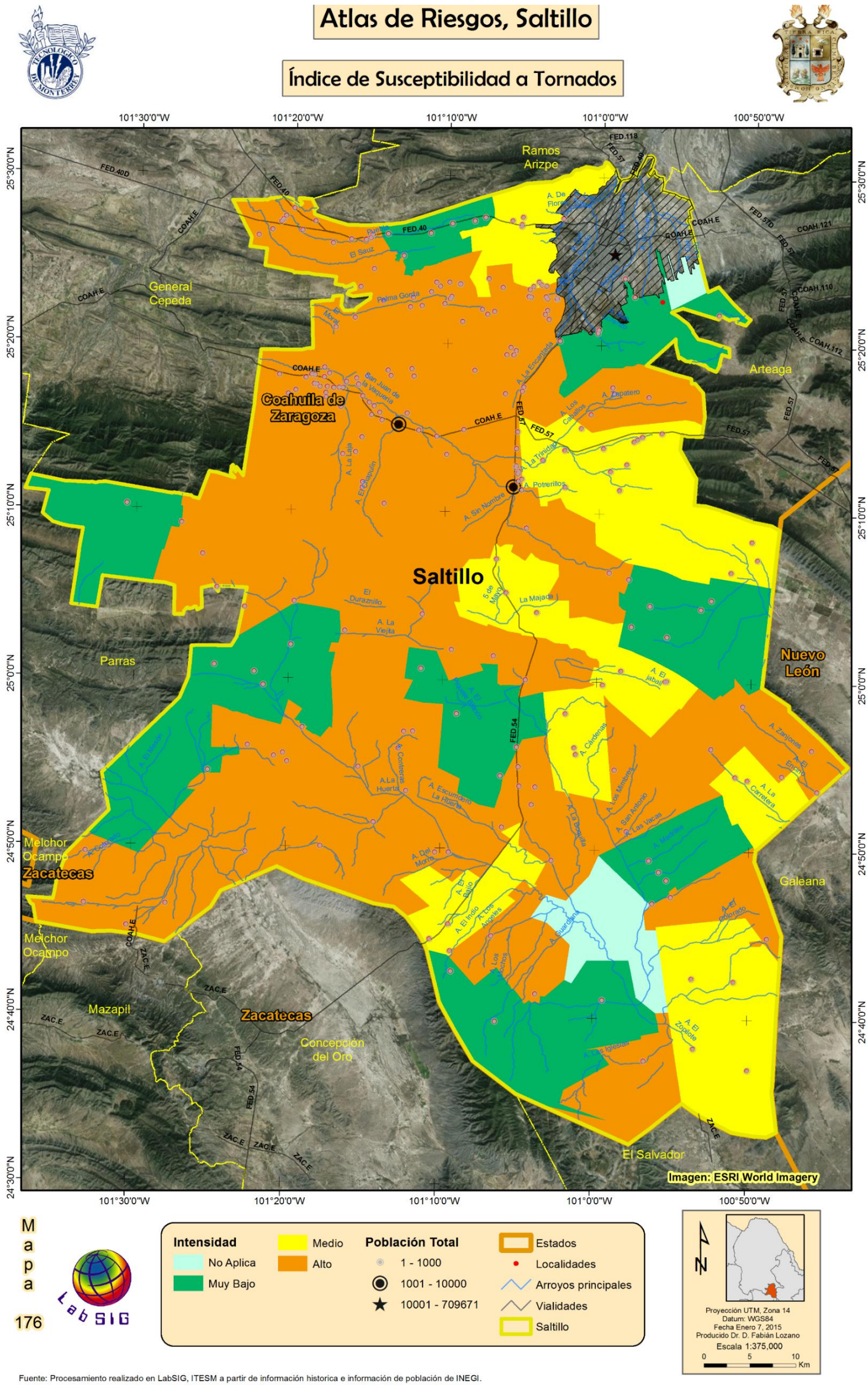


Figura 344. Índice de Susceptibilidad a tornados para la zona rural de Saltillo.

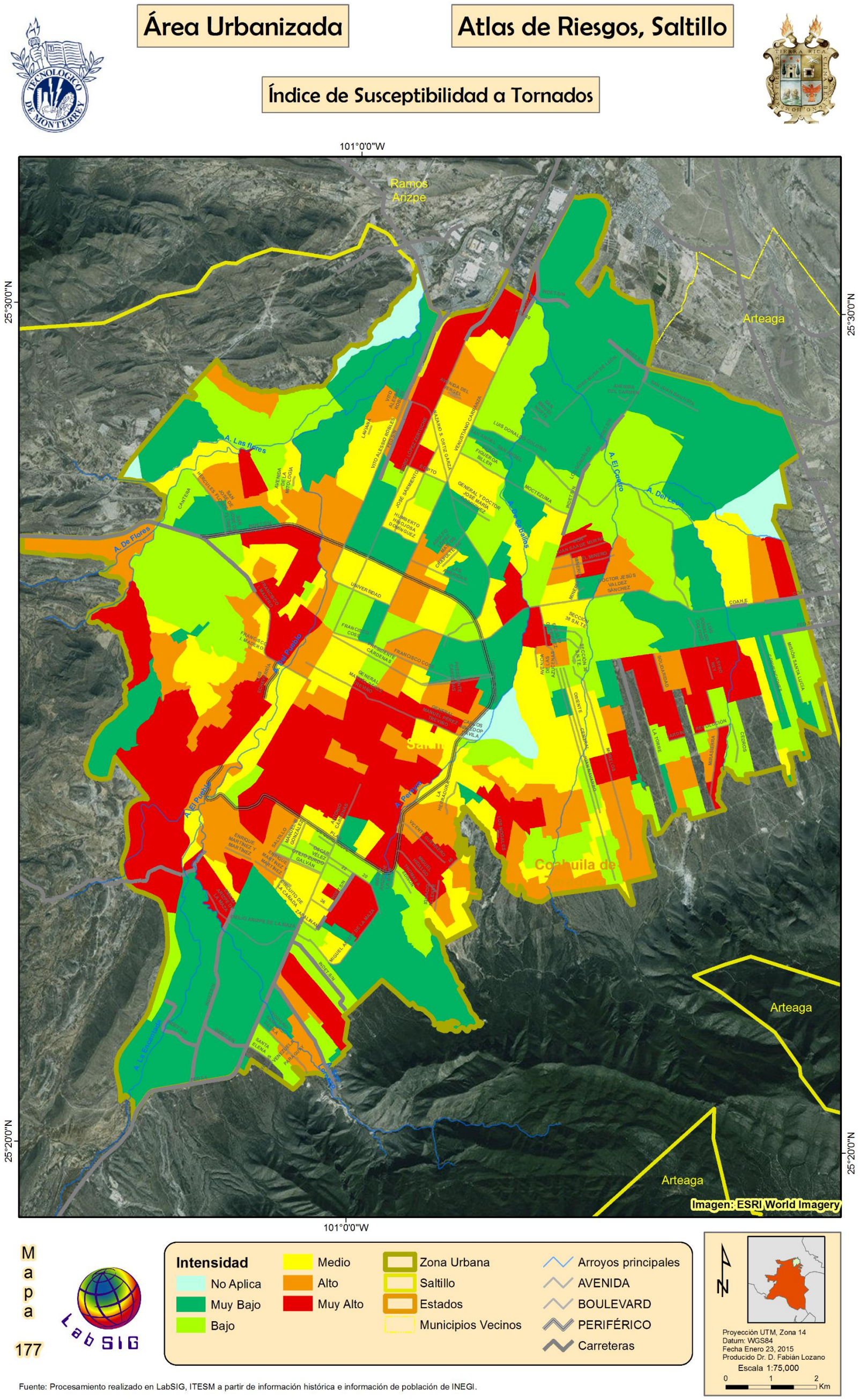


Figura 345. Riesgo por Tornados para el área urbana de Saltillo

5.5.16.2 Índice de Susceptibilidad a Tornados, Interpretación

Para Tornados, se obtuvieron niveles de riesgo social Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo. El nivel de riesgo Muy Alto abarca un total de 29.74 km^2, el nivel Alto 21.99 Km^2, el nivel Medio 23.16 km^2, el Bajo 32.06 km^2, el nivel Muy Bajo 51.22 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.35 km^2 ().

Tabla 83. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de Susceptibilidad a Tornados.

Intensidad Susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	18.41%
Alto	13.61%
Medio	14.34%
Bajo	19.85%
Muy Bajo	31.71%
No Aplica	2.07%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación de Susceptibilidad para Tornados y los datos del ITER 2010, muestran que la zona de Muy Alto riesgo presenta un total de 75,438 viviendas y 253,968 habitantes, en la zona de Riesgo Alto 52,725 viviendas y 175,942 habitantes, en las áreas de riesgo Medio 44,152 viviendas y 143,865 habitantes, en las áreas de riesgo Bajo 29,327 viviendas y 89,417 habitantes y en zonas de riesgo Muy Bajo 14,315 viviendas y 42,901 habitantes (Figura 346).

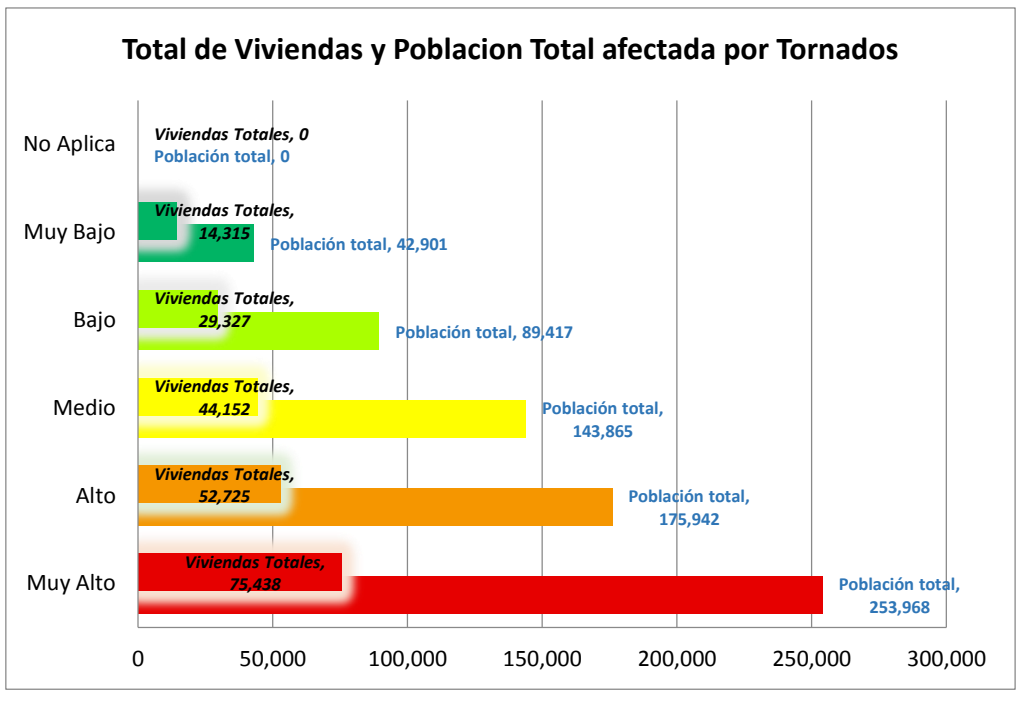


Figura 346. Número de viviendas y habitantes por nivel de Susceptibilidad a Tornados.

5.5.17 Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Polvo

El riesgo por susceptibilidad a tormentas de polvo del municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 347 y Figura 348) que se describen más adelante en la sección 5.5.17.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.17.1 Mapas, Tormentas de Polvo

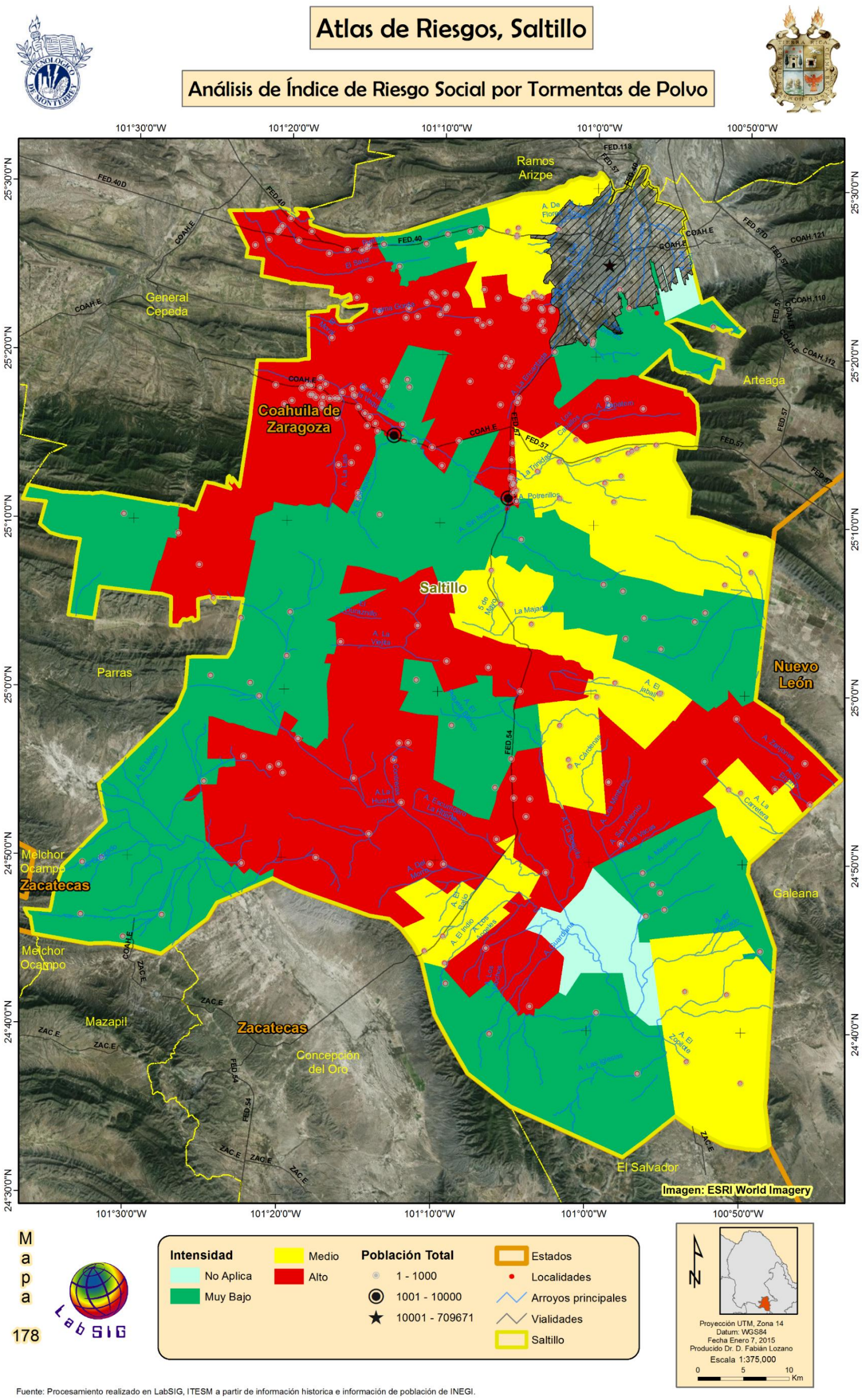


Figura 347. Índice de Susceptibilidad para Tormentas de Polvo.

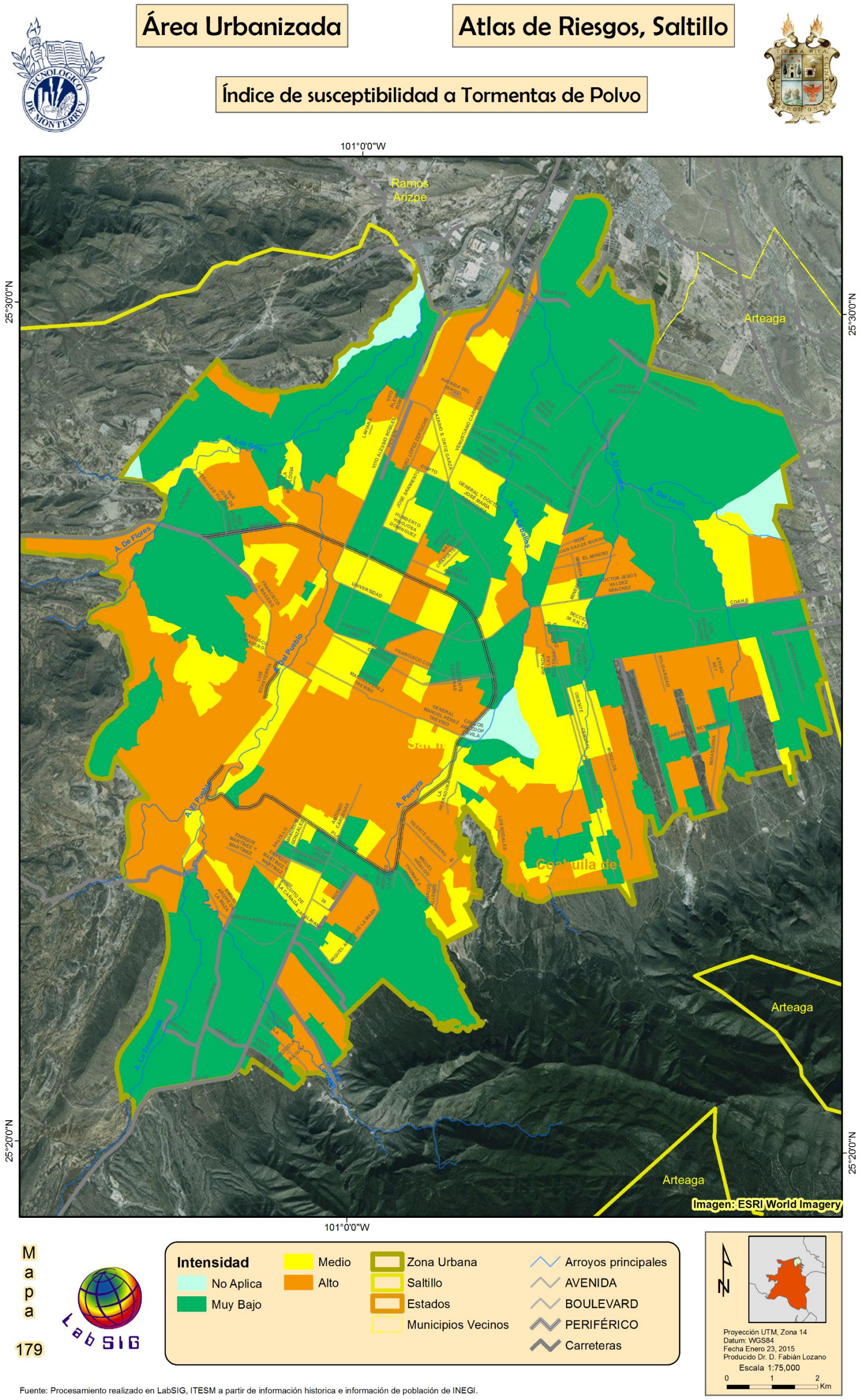


Figura 348. Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Polvo para la zona urbana de Saltillo

5.5.17.2 Índice de Susceptibilidad a Tormentas de Polvo, Interpretación

Para Tormentas de Polvo, se obtuvieron niveles de susceptibilidad Alto, Medio y Muy Bajo. El nivel de riesgo Alto ocupa un total de 29.74 km^2, el nivel Medio 21.99 km^2, el nivel de riesgo Bajo 55.22 km^2, el nivel Muy Bajo 51.22 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 84).

Tabla 84. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Tormentas de Polvo.

Intensidad Susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Alto	32.02%
Medio	14.34%
Muy Bajo	51.56%
No Aplica	2.07%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación de susceptibilidad para Tormentas de Polvo y los datos del ITER 2010, nos muestra que la zona de Alto riesgo presenta un total de 128,163 viviendas y 429,910 habitantes en la zona de Riesgo Alto, 44,152 viviendas y 143,865 habitantes en las áreas de riesgo Medio, 43,642 viviendas y 132,318 habitantes en zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 349).

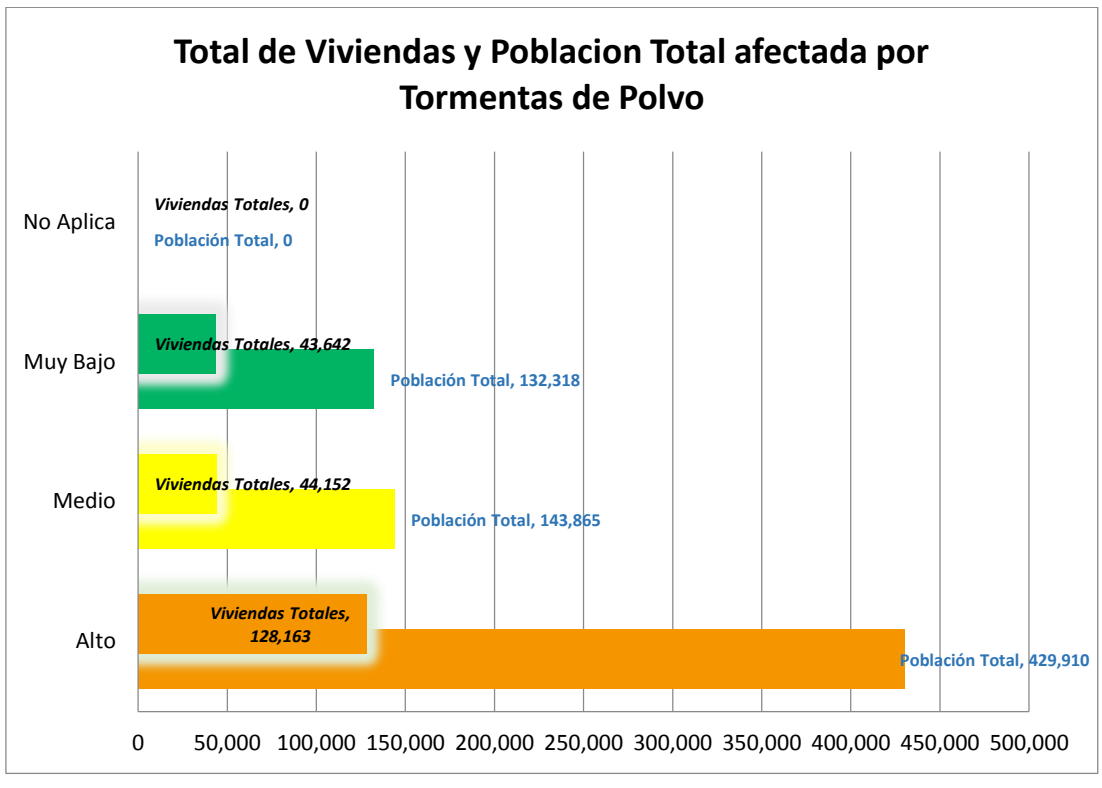


Figura 349. Número de viviendas y habitantes por nivel de susceptibilidad por Tormentas de Polvo.

5.5.18 Riesgo por Tormentas Eléctricas

El riesgo por tormentas eléctricas municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 350 y Figura 351) que se describen más adelante en la sección 5.5.18.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.18.1 Mapas, Tormentas Eléctricas

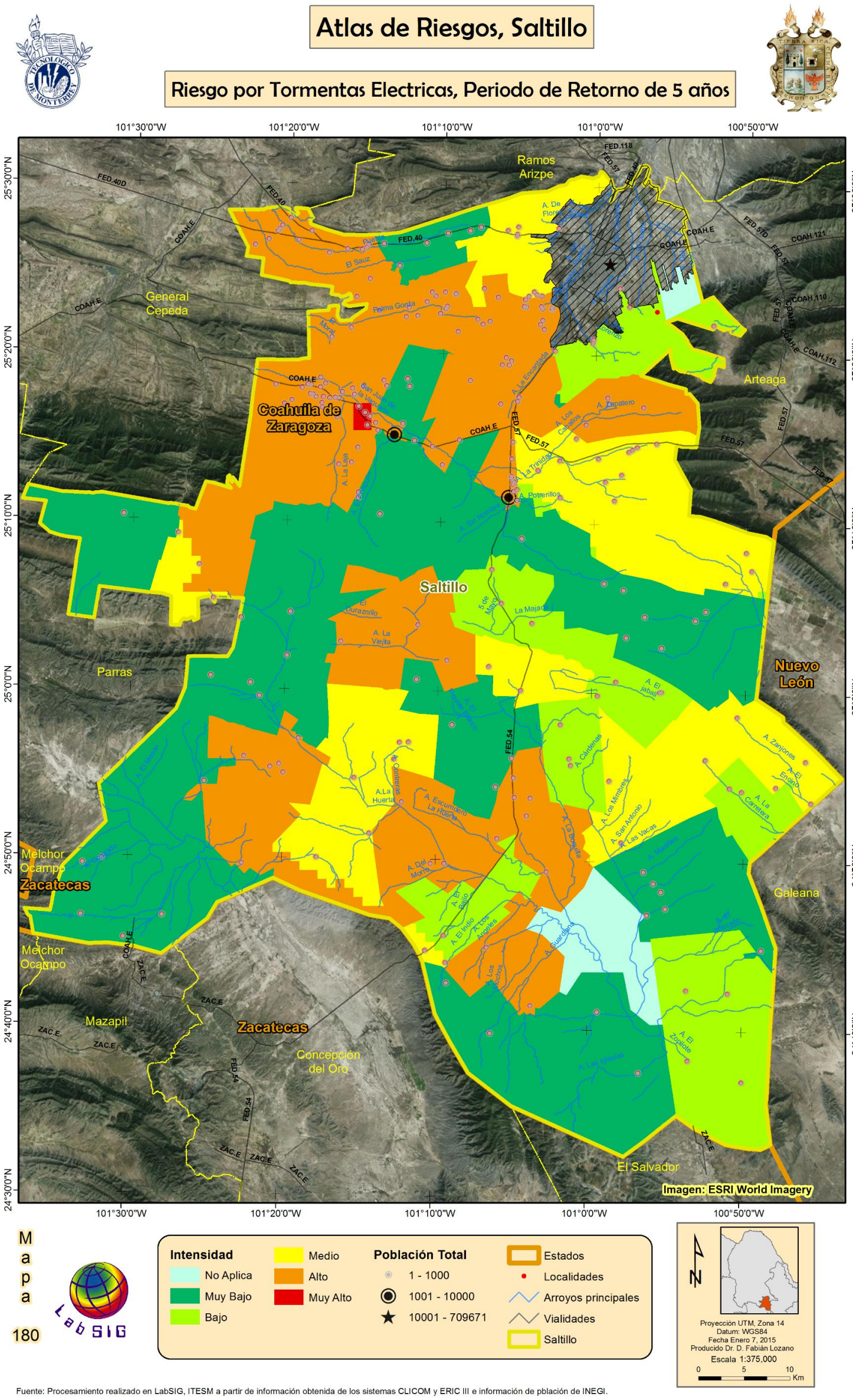


Figura 350. Riesgo de tormentas eléctricas en zonas rurales de Saltillo, Pr de 5 años.

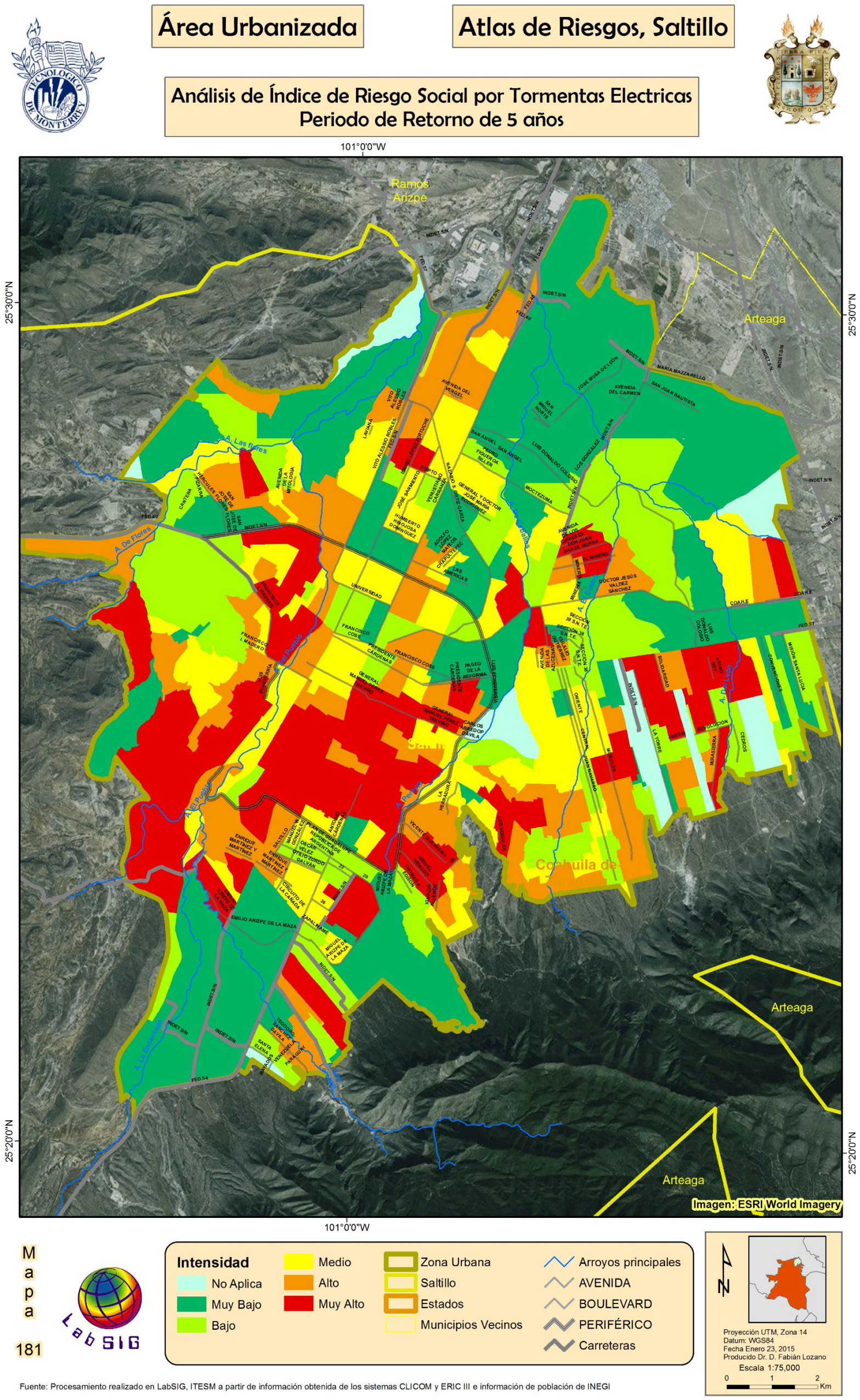


Figura 351. Riesgo de tormentas eléctricas en zonas urbanas de Saltillo, Pr de 5 años

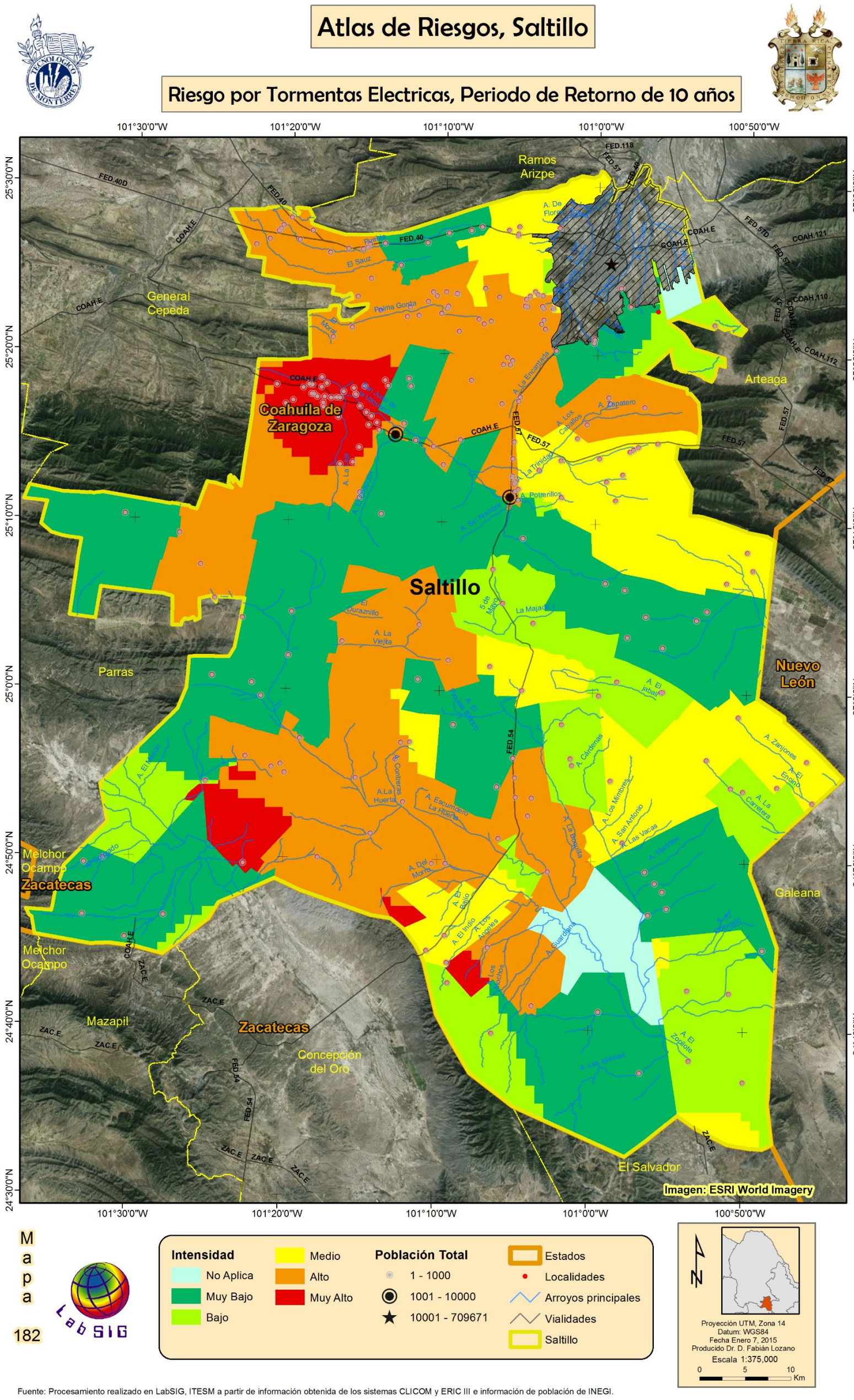


Figura 352. Riesgo de tormentas eléctricas en zonas rurales de Saltillo, Pr de 10 años.

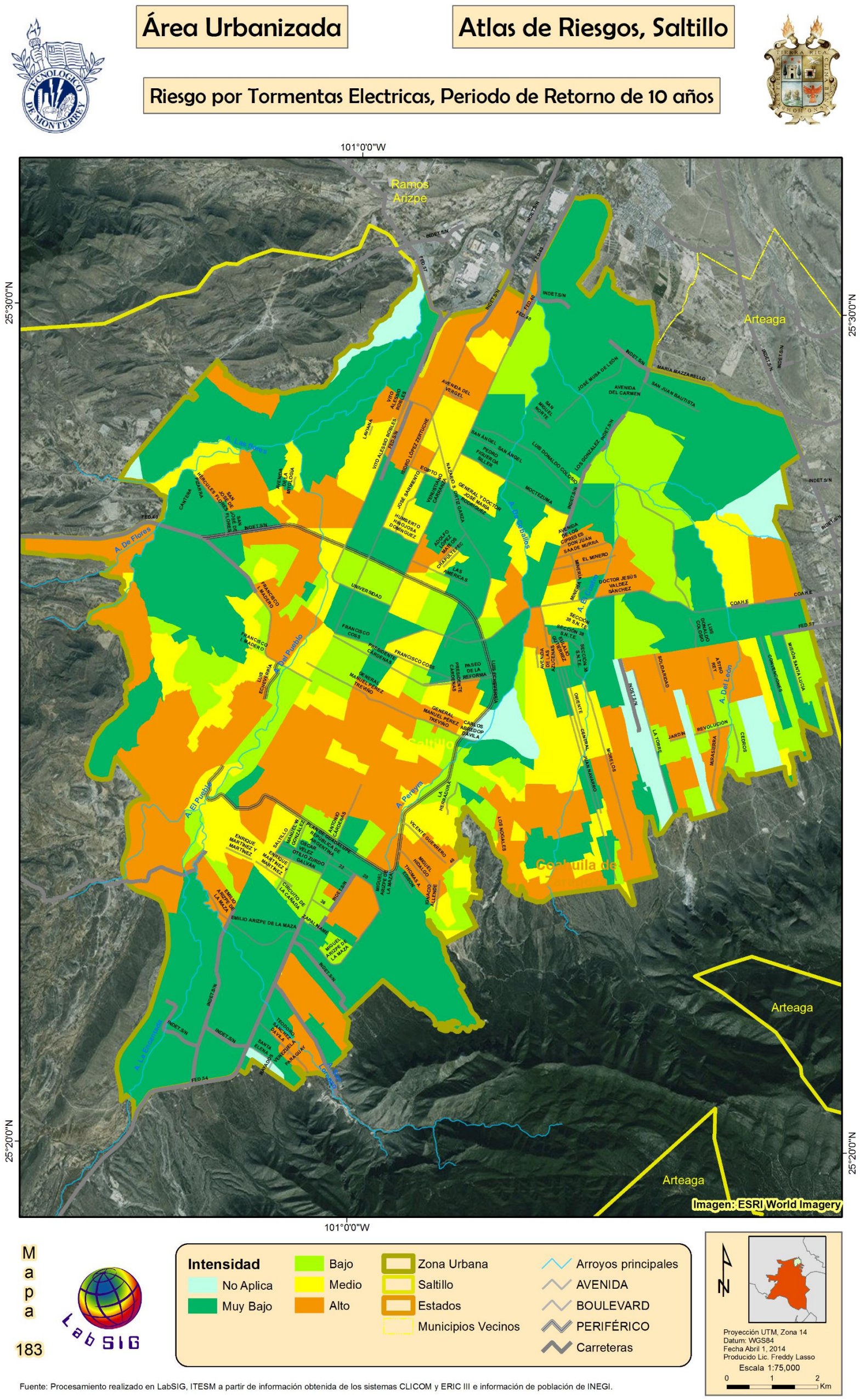


Figura 353. Riesgo por Tormentas Eléctricas para la zona Urbana de Saltillo, Pr de 10 años

5.5.18.2 Riesgo Urbano por Tormentas Eléctricas, Interpretación

5.5.18.2.1 Período de Retorno de 5 años

El nivel de Riesgo Muy Bajo para Tormentas Eléctricas con un Pr de 5 años, fue el nivel de riesgo con más superficie en el área urbana de Saltillo, con una superficie de 57.84 km^2, seguido por el nivel Bajo con 30.18 km^2, el riesgo Muy Alto con 27.42 km^2, el riesgo Alto con 24.79 km^2, el Medio con 23.16 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 85).

Tabla 85. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Tormentas Eléctricas con Pr de 5 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	16.43%
Alto	14.85%
Medio	13.88%
Bajo	18.09%
Muy Bajo	34.66%
No Aplica	2.09%
Grand Total	100.00%

Según los resultados de la modelación de Tormentas Eléctricas con Pr de 5 años y los datos del ITER 2010, un total de 73,474 viviendas se encuentran en la zona de Riesgo Muy Alto, con aproximadamente 247,691 habitantes. En las zonas con riesgo Alto, se reportan aproximadamente 54,690 viviendas y un total de 182,254 individuos, en las áreas de riesgo Medio se encuentran un total de 44,152 viviendas y 143,865 personas, en zonas de riesgo Bajo 28,573 viviendas y 87,170 habitantes y en las zonas de riesgo Muy Bajo 15,564 viviendas y 46,719 habitantes (Figura 354).

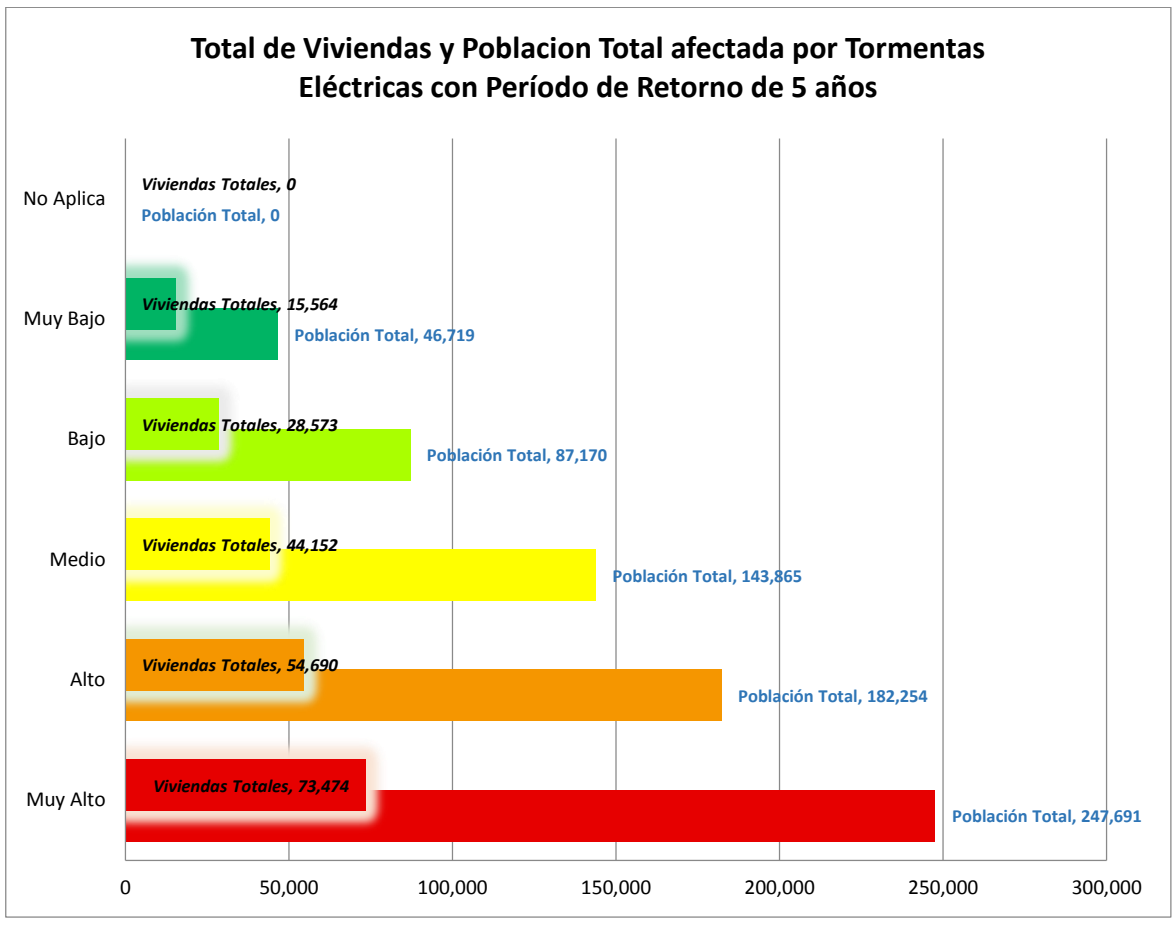


Figura 354. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Tormentas Eléctricas con Pr de 5 años.

5.5.18.2.2 Período de Retorno de 10 años

Para Tormentas Eléctricas con un Pr de 10 años, El nivel de riesgo Muy Bajo cubre la mayor parte de la superficie en el área urbana de Saltillo, con una área de 75.45 km2, seguido por el nivel Alto con 42.14 km^2, el riesgo Medio con 24.09 km^2, el riesgo Bajo con 23.32 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 79) en este Pr no se reunieron las condicionantes para el riesgo Muy Alto.

Tabla 86. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Tormentas Eléctricas con Pr de 10 años

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (%)
Alto	25.01%
Medio	14.30%
Bajo	13.84%
Muy Bajo	44.78%
No Aplica	2.07%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación de Tormentas Eléctricas con Pr de 10 años y los datos del ITER 2010, indican un total de 343,154 viviendas y aproximadamente 103,029 habitantes en la zona de Riesgo Alto. En las zonas con riesgo Medio, aproximadamente 48,098 viviendas y un total de

157,915 individuos, en las zonas de riesgo Bajo se encuentran un total de 29,544 viviendas y 96,631 habitantes, mientas que en las zonas de riesgo Muy Bajo 37,695 viviendas y 115,700 habitantes (Figura 355).

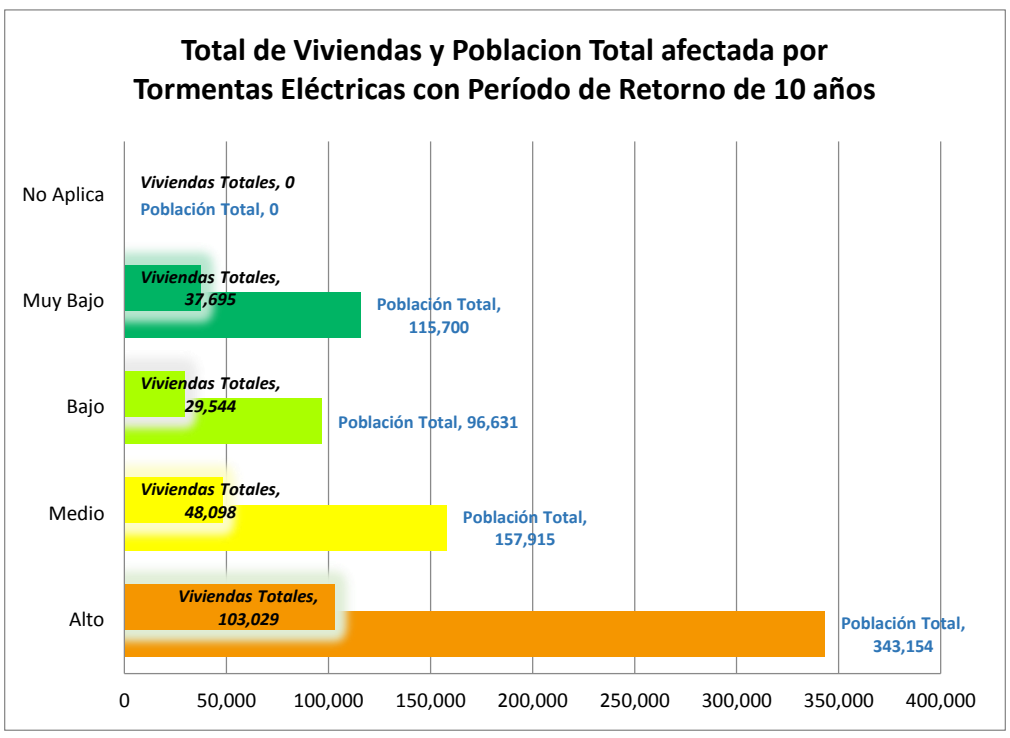


Figura 355. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Tormentas Eléctricas con Pr de 10 años.

5.5.19 Riesgo por Lluvias Extremas

El riesgo por lluvias extremas en el municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 356 a Figura 365) que se describen más adelante en la sección 5.5.19.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.19.1 Mapas, Lluvias Extremas

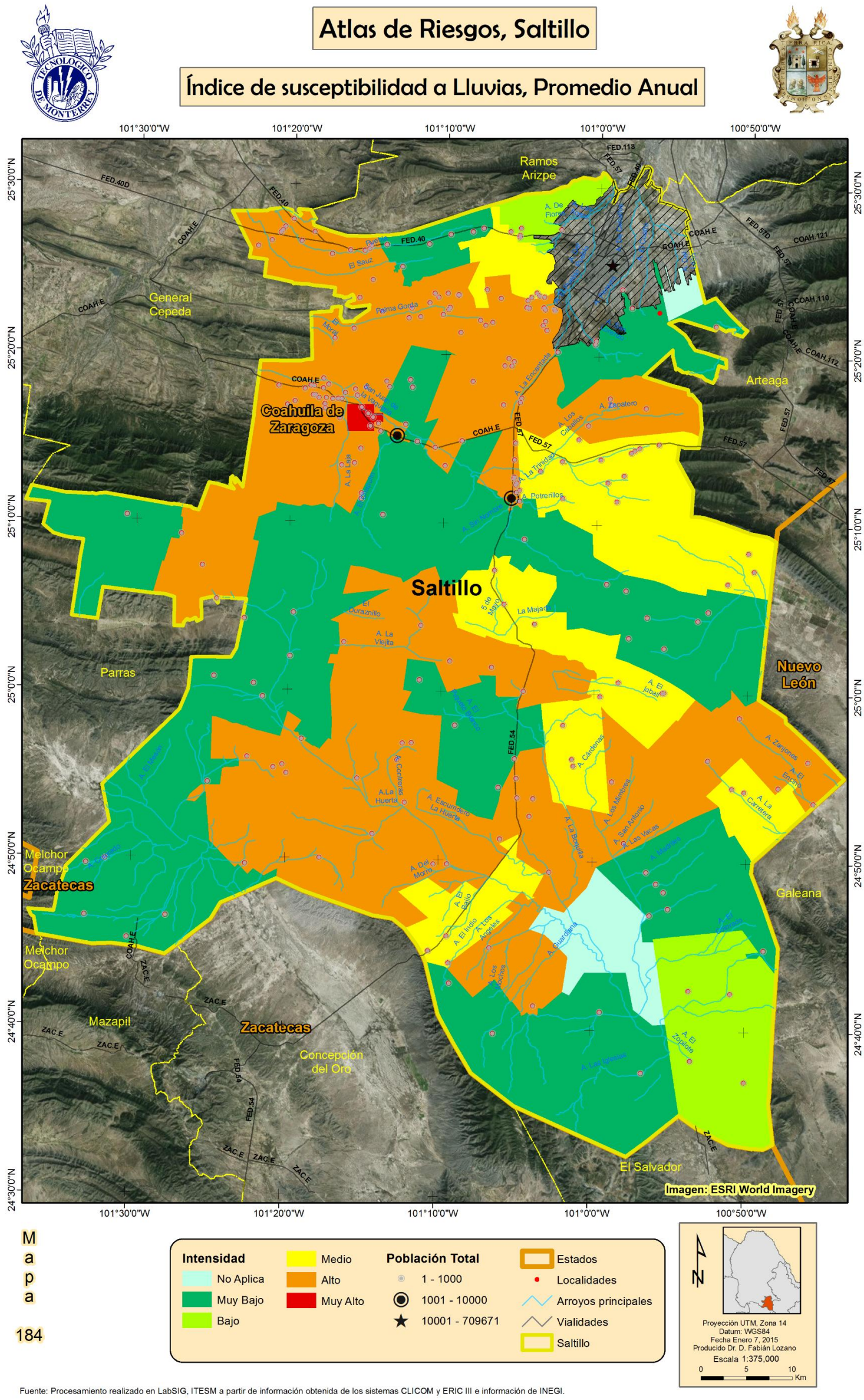
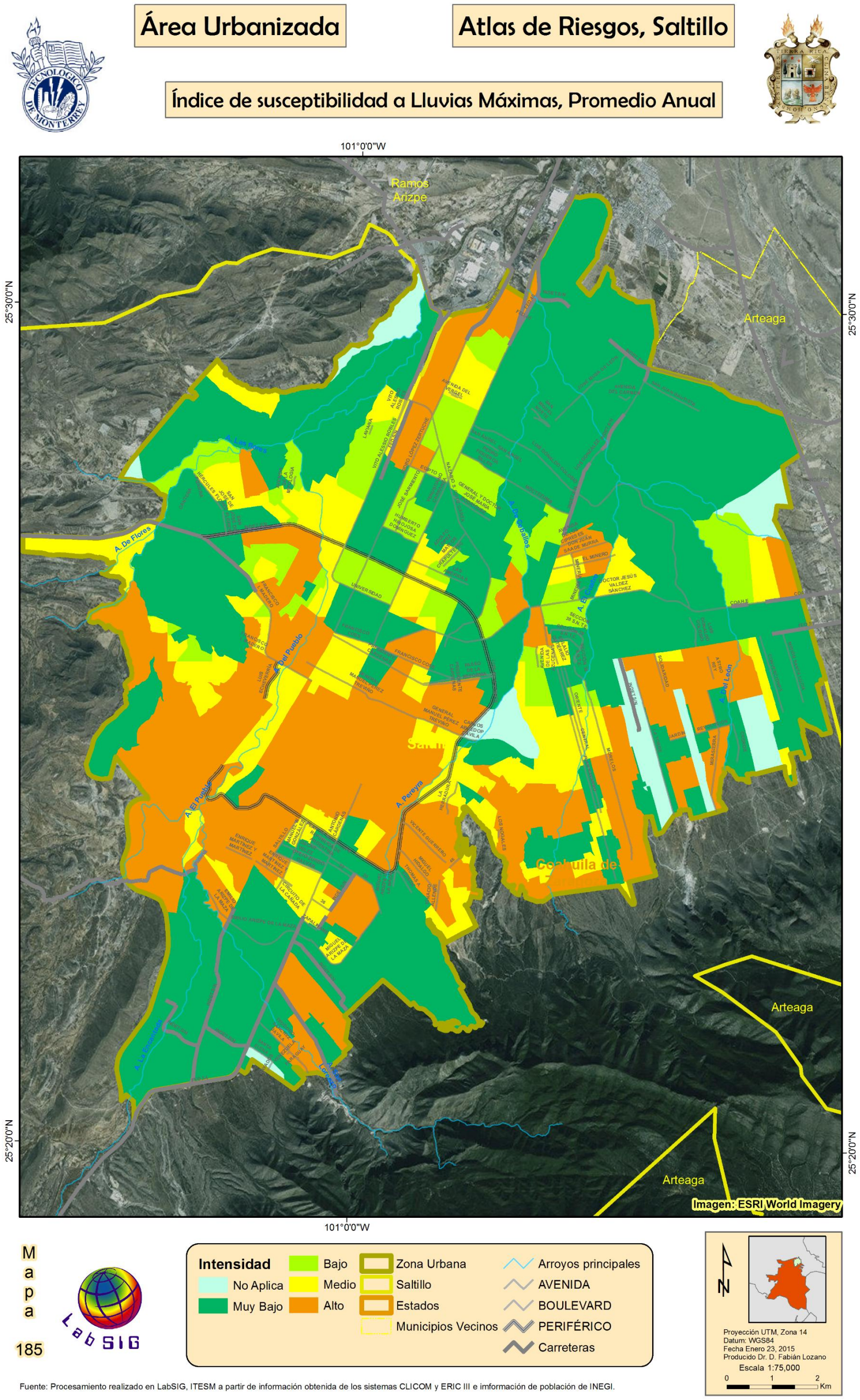
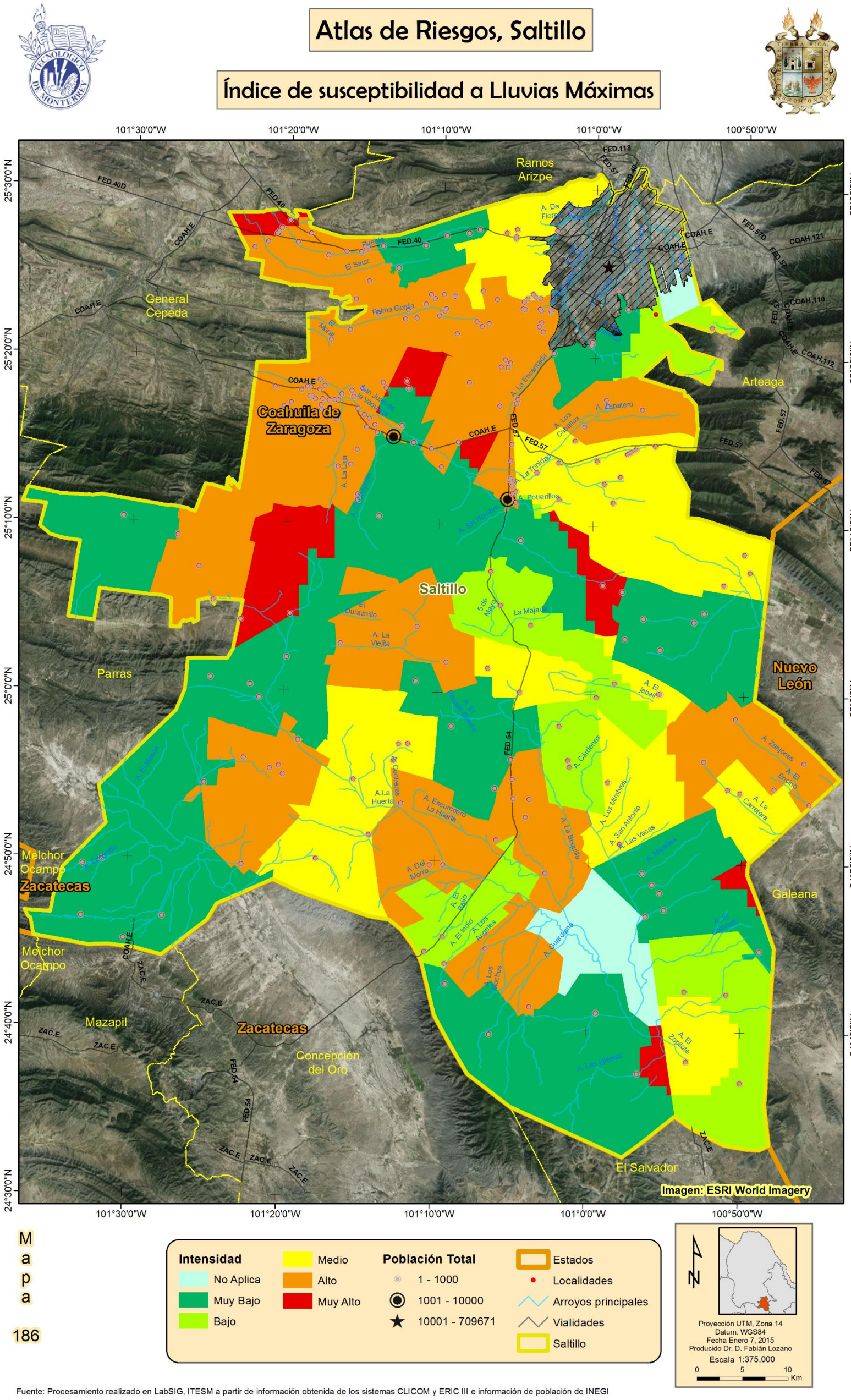


Figura 356. Índice de Susceptibilidad a precipitación extrema, calculado a partir del promedio de precipitación anual, para la zona rural de Saltillo.



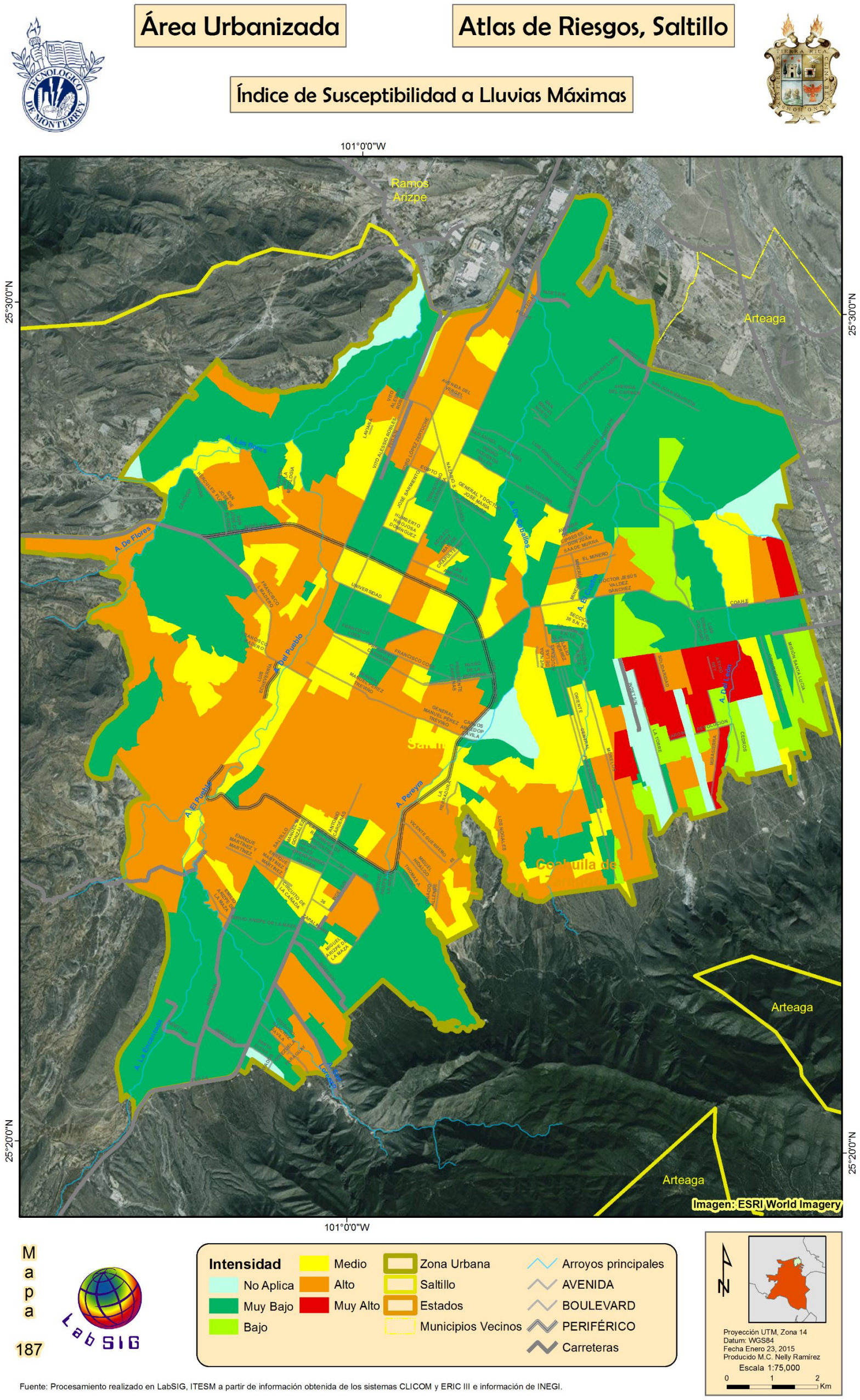
Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e imformación de población de INEGI.

Figura 357. Índice de susceptibilidad a precipitación extrema, calculado a partir del promedio de precipitación anual, para la zona Urbana de Saltillo.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI

Figura 358. Índice de Susceptibilidad a lluvias máximas, área rural de Saltillo, para la zona rural de Saltillo.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de INEGI.

Figura 359. Índice de Susceptibilidad a lluvias máximas para la zona urbana de Saltillo.

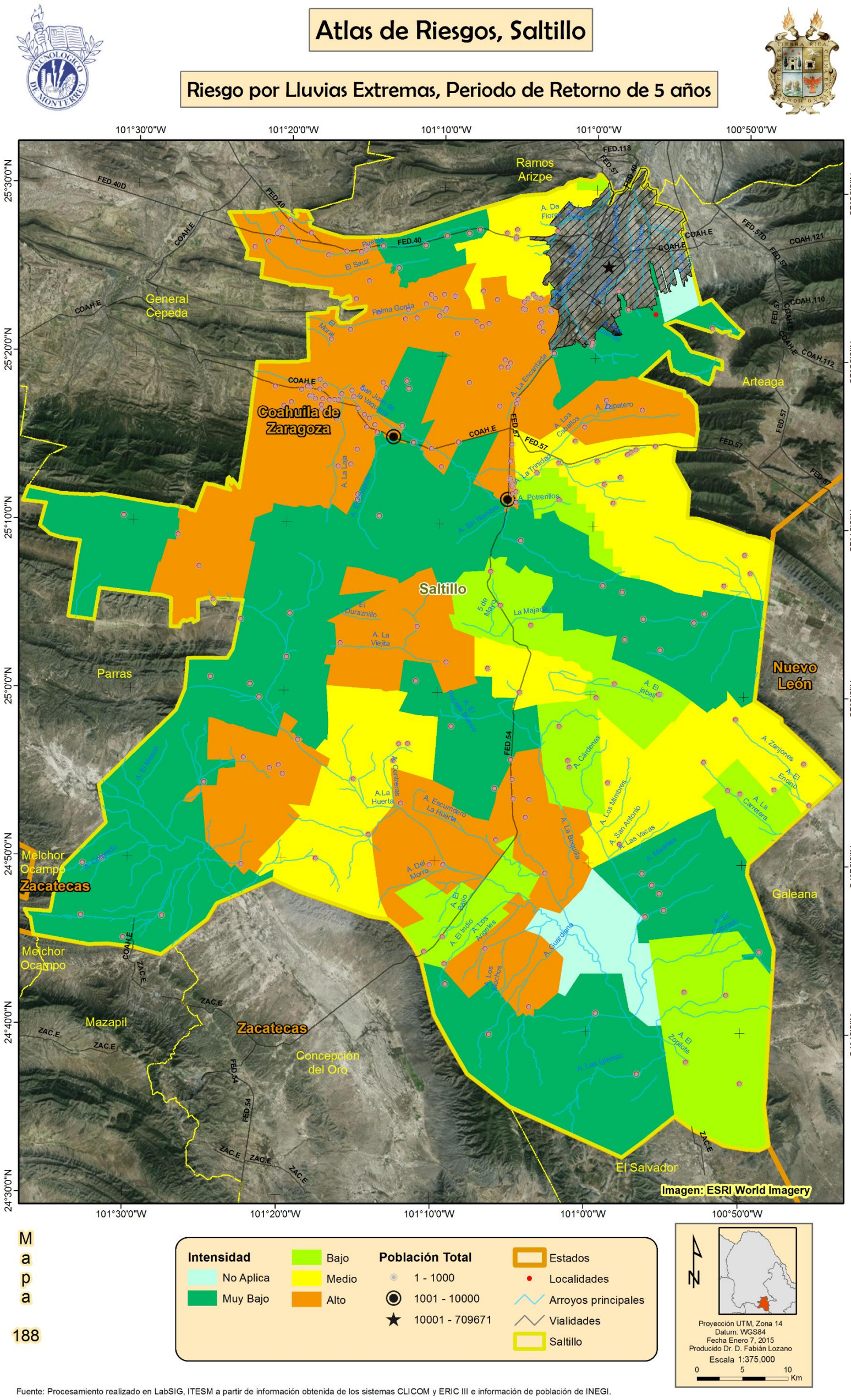
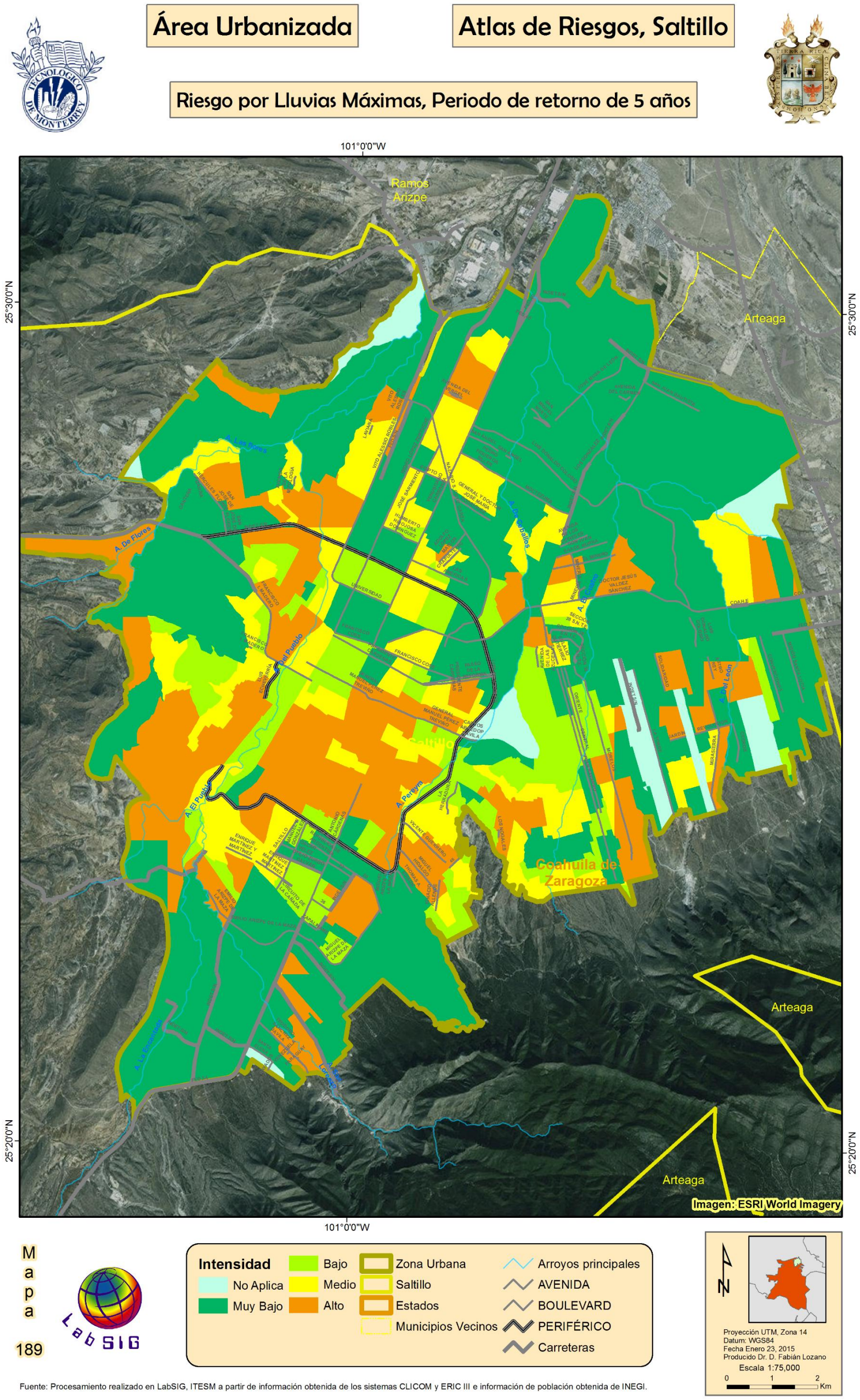


Figura 360. Riesgo por lluvias máximas, considerando un Pr a 5 años, para la zona rural de Saltillo.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población obtenida de INEGI.

Figura 361. Riesgo por lluvias máximas a 5 años para la zona urbana de Saltillo

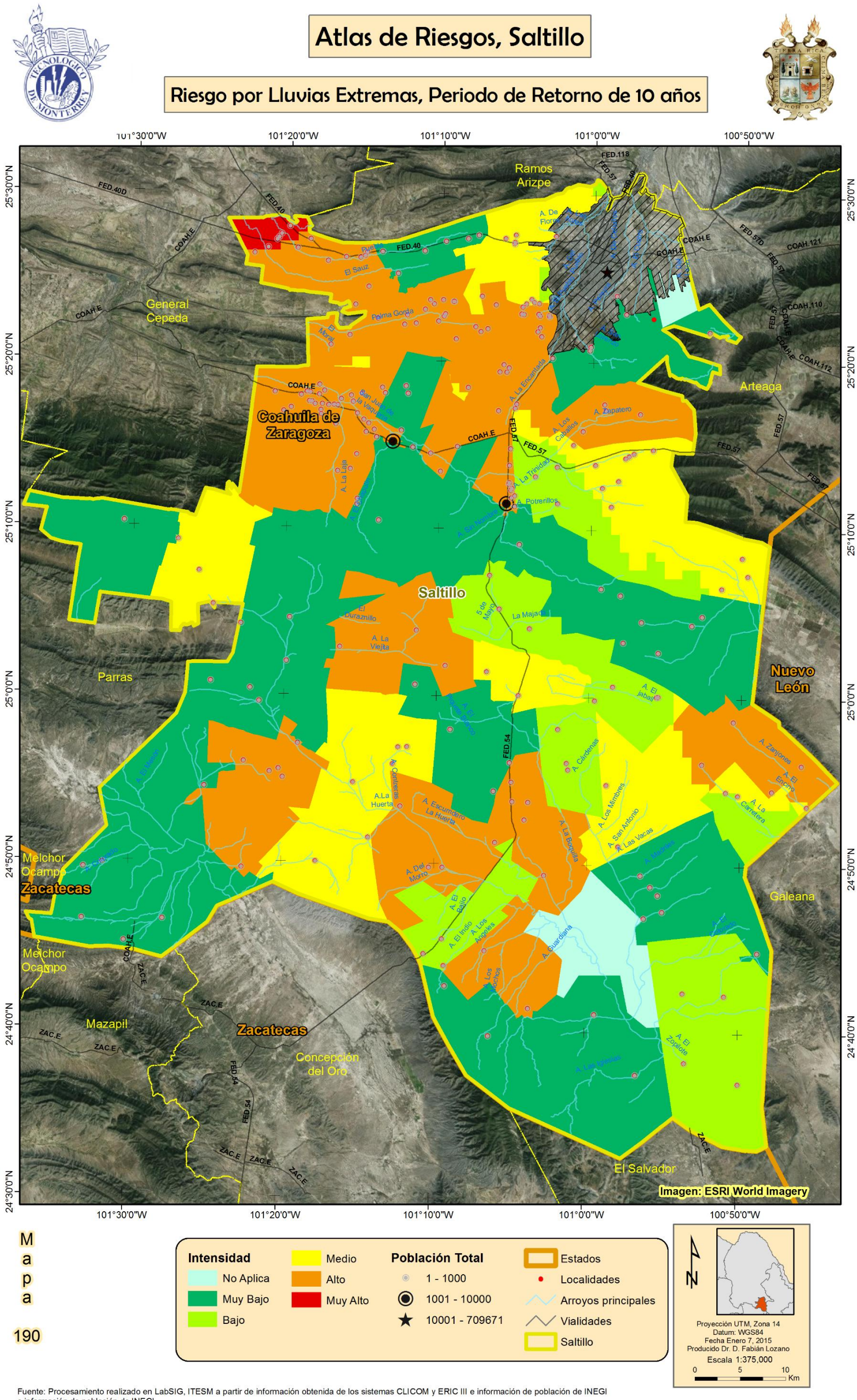
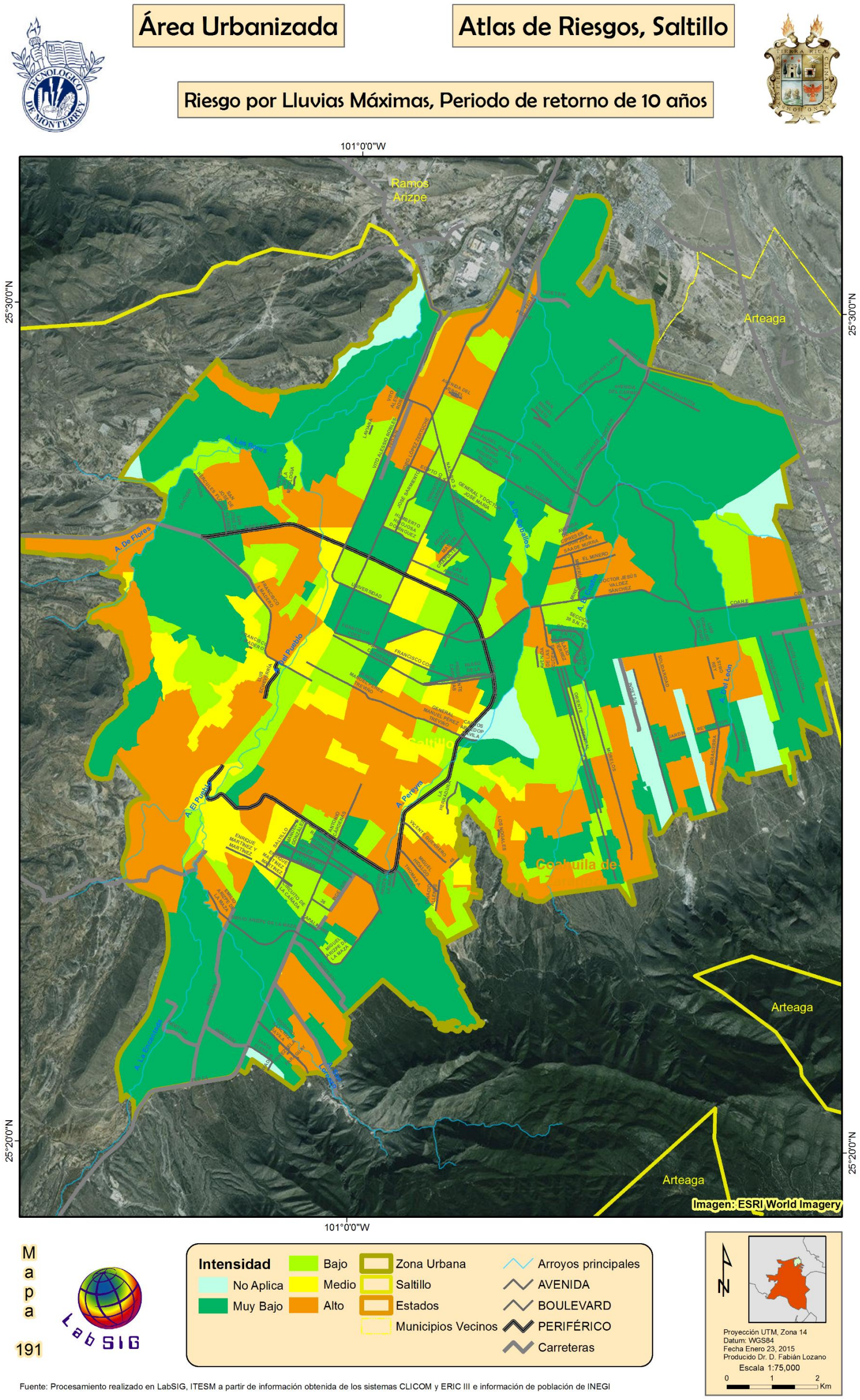
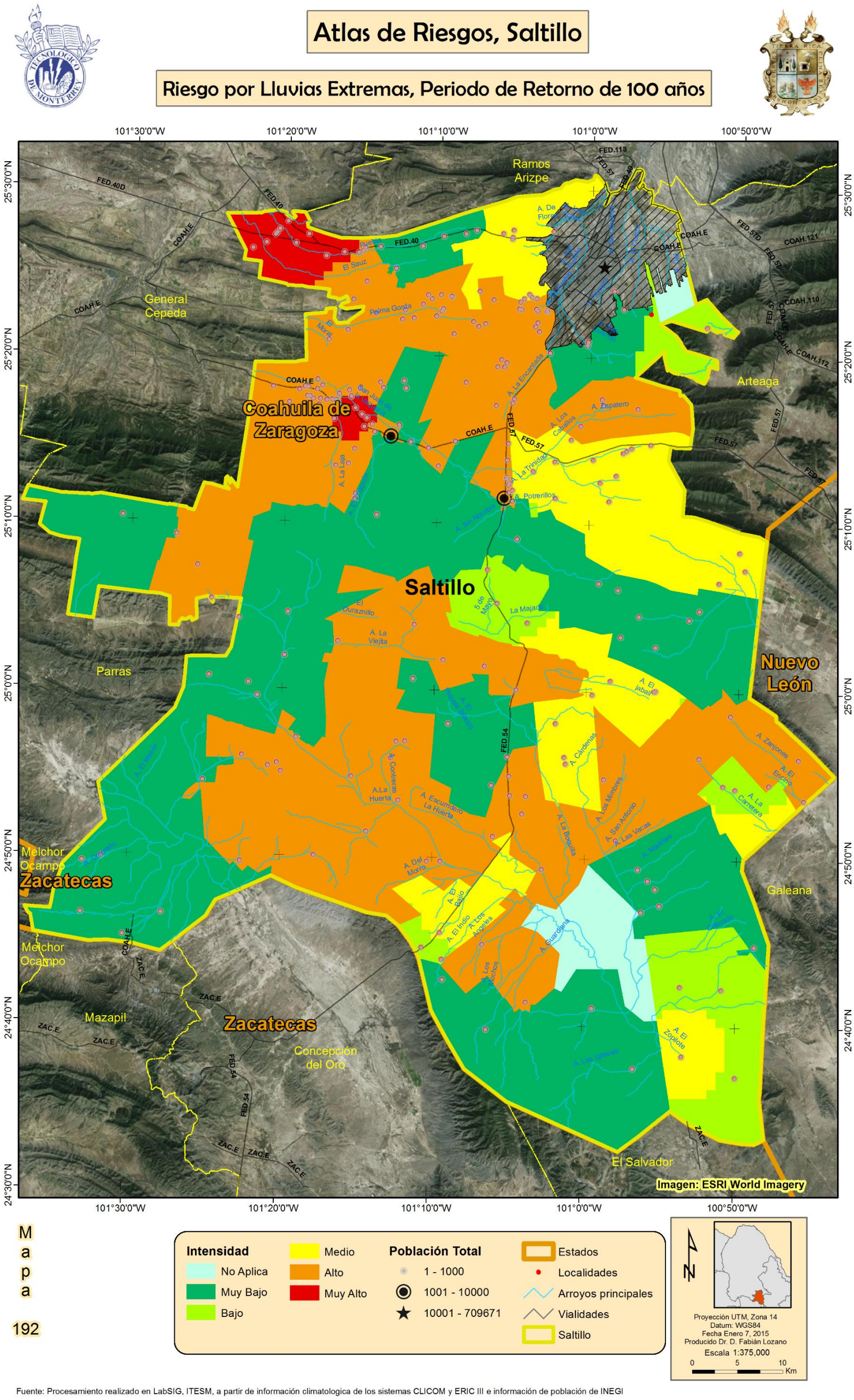


Figura 362. Riesgo por lluvias extremas. Considerando un Pr a 10 años, para la zona rural de Saltillo.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI

Figura 363. Riesgo por lluvias máximas para un período de 10 años para la zona urbana de Saltillo



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM, a partir de información climatologica de los sistemas CLICOM y ERIC III e información de población de INEGI

Figura 364. Riesgo por lluvias extremas, Pr a 100 años, para la zona rural de Saltillo.

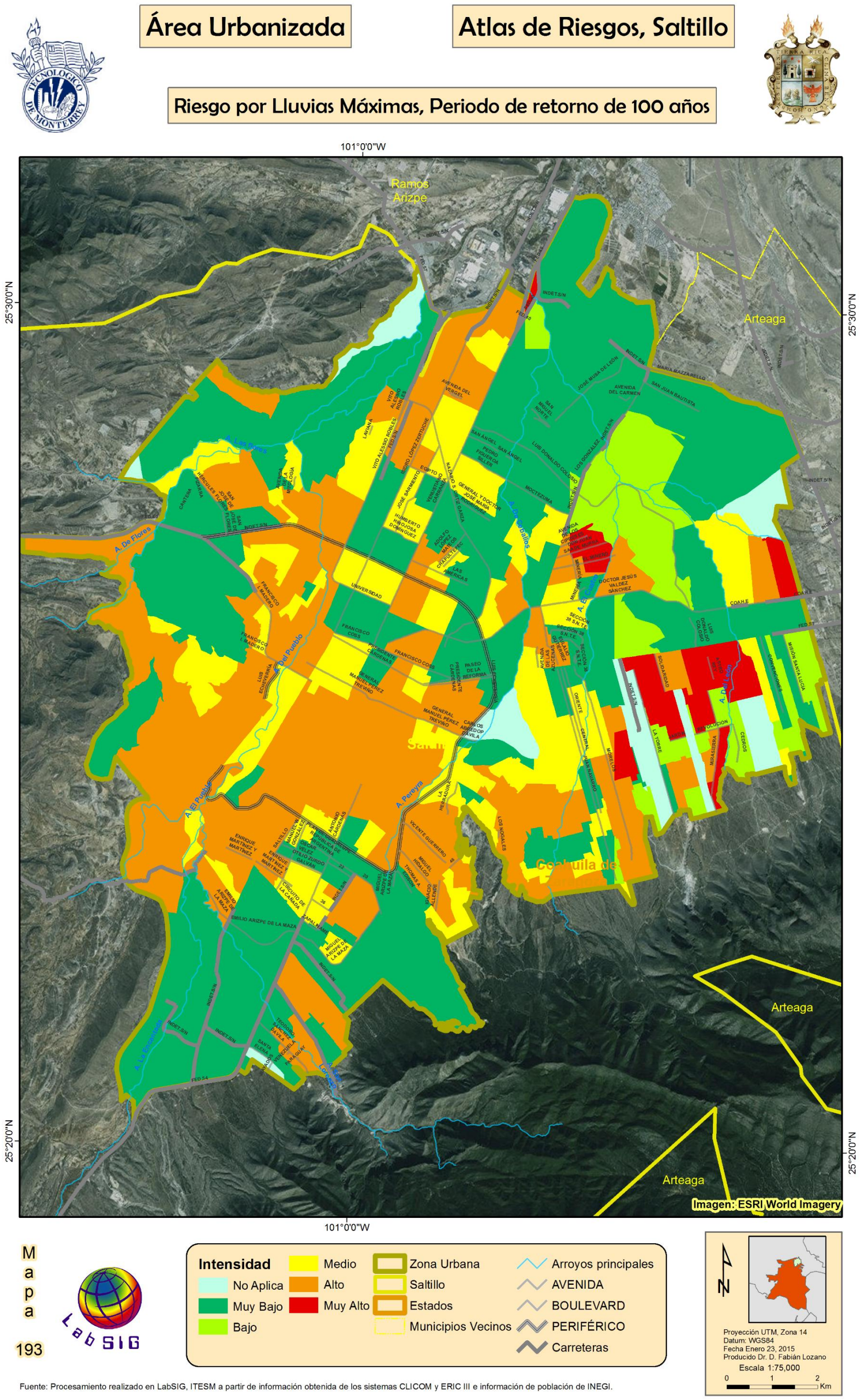


Figura 365. Riesgo por lluvias máximas para un período de 100 años para la zona urbana de Saltillo

5.5.19.2 Riesgo Urbano por Lluvias, Interpretación

5.5.19.2.1 Periodo de retorno de 5 años.

Para la precipitación con Pr de 5 años, el nivel de riesgo Alto ocupa un total de 32.97 km^2, el nivel Medio 22.31 km^2, el nivel de riesgo Bajo 15.47 km^2, el nivel Muy Bajo 94.77 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 87).

Tabla 87. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Lluvias con Pr de 5 años.

Intensidad Riesgo Social	Superficie Urbana Ocupada (%)
Alto	19.51%
Medio	13.20%
Bajo	9.15%
Muy Bajo	56.07%
No Aplica	2.06%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación para precipitaciones con Pr de 5 años y los datos del ITER 2010, nos muestran un total de 79,178 viviendas y 266,098 habitantes en la zona de Riesgo Alto, 46,725 viviendas y 155,742 habitantes en las áreas de riesgo Medio, 32,088 viviendas y 107,405 habitantes en zonas de riesgo Bajo, y 62,515 viviendas y 191,009 habitantes para las zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 366).

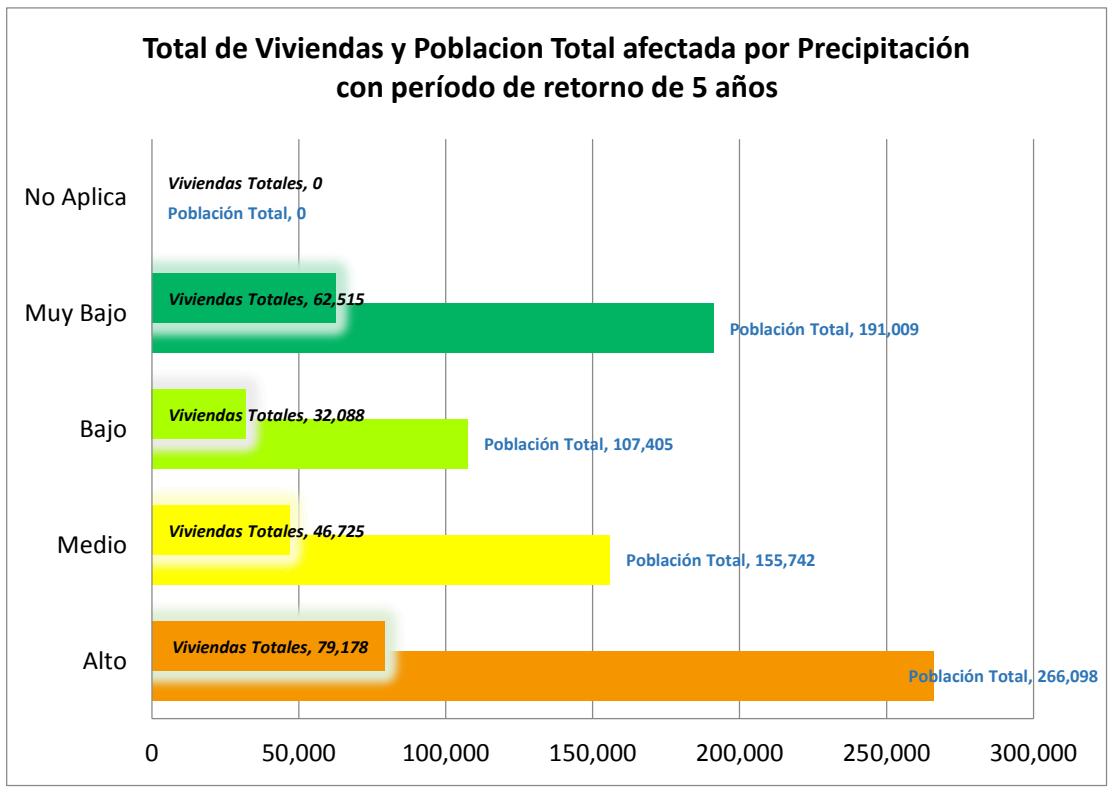


Figura 366. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo Lluvias con período de retorno de 5 años.

5.5.19.2.2 Periodo de retorno de 10 años.

Para la precipitación con Pr de 10 años, el nivel de riesgo Alto ocupa un total de 42.20 km^2, el nivel Medio 11.05 km^2, el nivel de riesgo Bajo 23.16 km^2, el nivel Muy Bajo 83.28 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 88).

Tabla 88. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Lluvias con Pr de 10 años.

Intensidad Riesgo	Superficie urbana Ocupada (%)
Alto	25.86%
Medio	6.77%
Bajo	14.19%
Muy Bajo	51.04%
No Aplica	2.14%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación para precipitaciones con Pr de 10 años y los datos del ITER 2010, en la zona de riesgo Alto muestran un total de 104,2928 viviendas y 347,935 habitantes, 24,554 viviendas y 84,387 habitantes en las áreas de riesgo Medio, 44,152 viviendas y 143,865 habitantes en zonas de riesgo Bajo, y 43,642 viviendas y 132,318 habitantes para las zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 367).

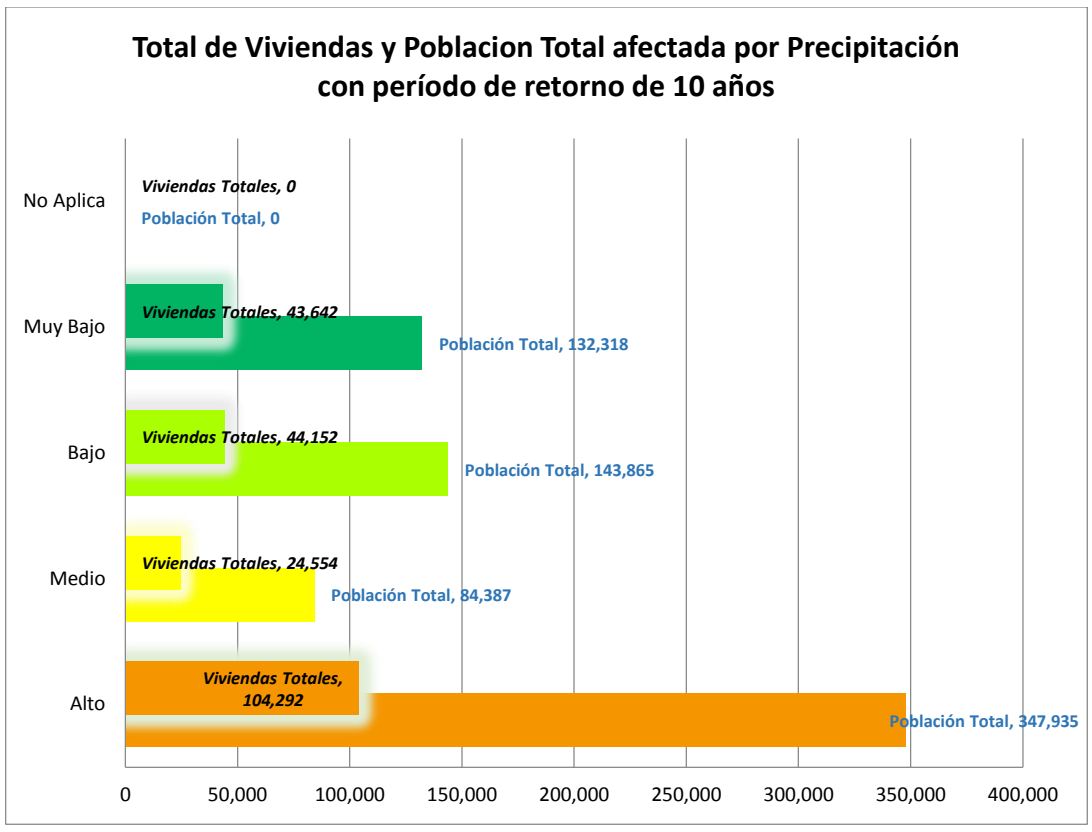


Figura 367. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Lluvias con período de retorno de 10 años.

5.5.19.2.3 Riesgo Urbano por Lluvias Pr100

Para la precipitación con Pr de 100 años, el nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 4.45 km^2, el nivel Alto 47.57 km^2, el nivel Medio 23.16 km^2, el nivel de riesgo Bajo 11.03 km^2, el nivel Muy Bajo 74.31 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 89).

Tabla 89. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de riesgo para Lluvias con Pr de 100 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	2.71%
Alto	29.01%
Medio	14.12%
Bajo	6.72%
Muy Bajo	45.31%
No Aplica	2.13%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación para precipitaciones con Pr de 100 años y los datos del ITER 2010, muestran un total de 14,696 viviendas y 44,859 habitantes en la zona de riesgo Muy Alto, 114,299 viviendas y 387,963 habitantes en las áreas de riesgo Alto, 44,152 viviendas y 143,865 habitantes en las áreas de riesgo Medio, 7,355 viviendas y 20,989 habitantes en zonas de riesgo Bajo y 36,749 viviendas y 112,646 habitantes para las zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 368).

).

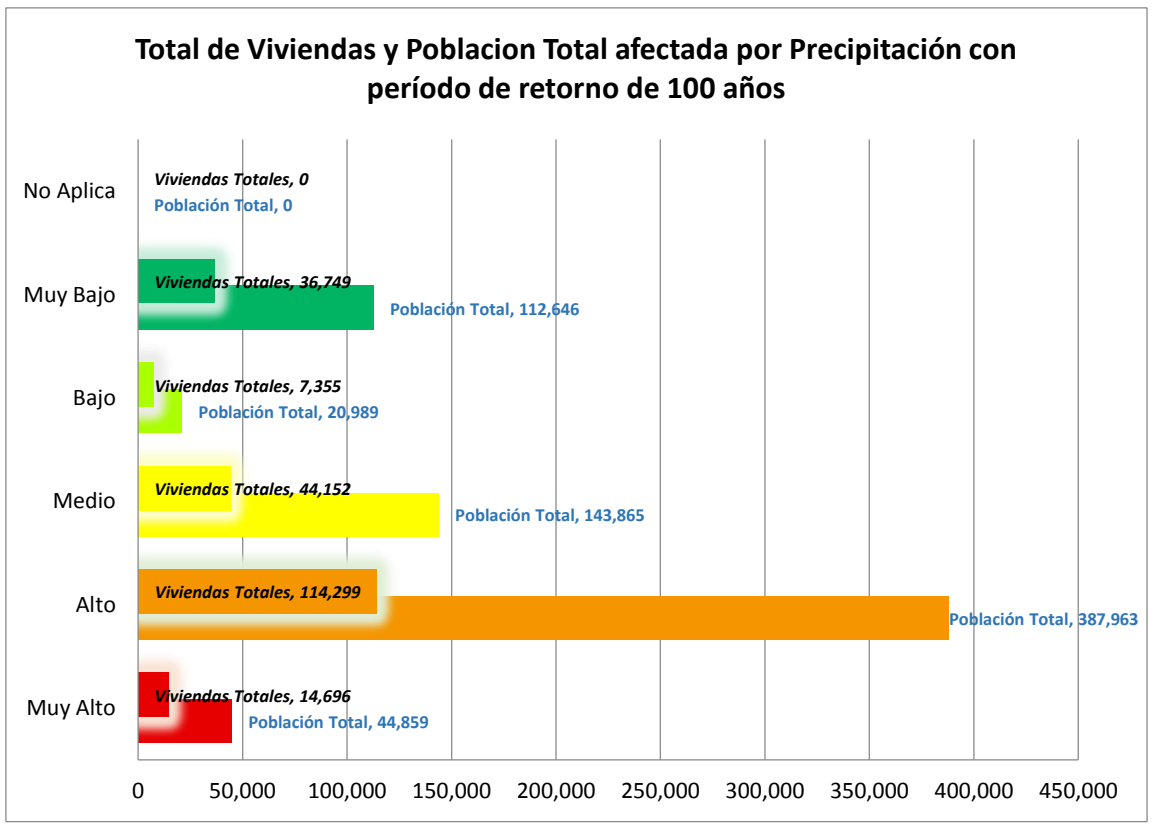


Figura 368. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo por Lluvias con período de retorno de 100 años.

5.5.19.2.4 Índice de Susceptibilidad Urbano por Lluvias Máximas

Para lluvias máximas, el nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 3.70 km^2, el nivel Alto 48.15 km2, el nivel Medio 23.16 km^2, el nivel de riesgo Bajo 9.09 km^2, el nivel Muy Bajo 78.77 km^2 y las zonas sin riesgo (No Aplica) con 3.49 km^2 (Tabla 90).

Tabla 90. Superficie Urbana ocupada (%) por los niveles de susceptibilidad para Lluvias Máximas.

Intensidad Susceptibilidad	Superficie Urbana Ocupada (%)
Muy Alto	2.23%
Alto	28.94%
Medio	13.92%
Bajo	5.47%
Muy Bajo	47.35%
No Aplica	2.10%
Grand Total	100.00%

Los resultados de la modelación de Lluvias máximas y los datos del ITER 2010, indican que un total de 12,496 viviendas y 37,705 habitantes se encuentran en la zona de riesgo Muy Alto, 116,194 viviendas y 394,139 habitantes en las áreas de riesgo Alto, 44,152 viviendas y 143,865 habitantes en las áreas de riesgo Medio, 6,913 viviendas y 19,621 habitantes en zonas de riesgo Bajo y 37,435 viviendas y 114,568 habitantes para las zonas de riesgo Muy Bajo (Figura 369).

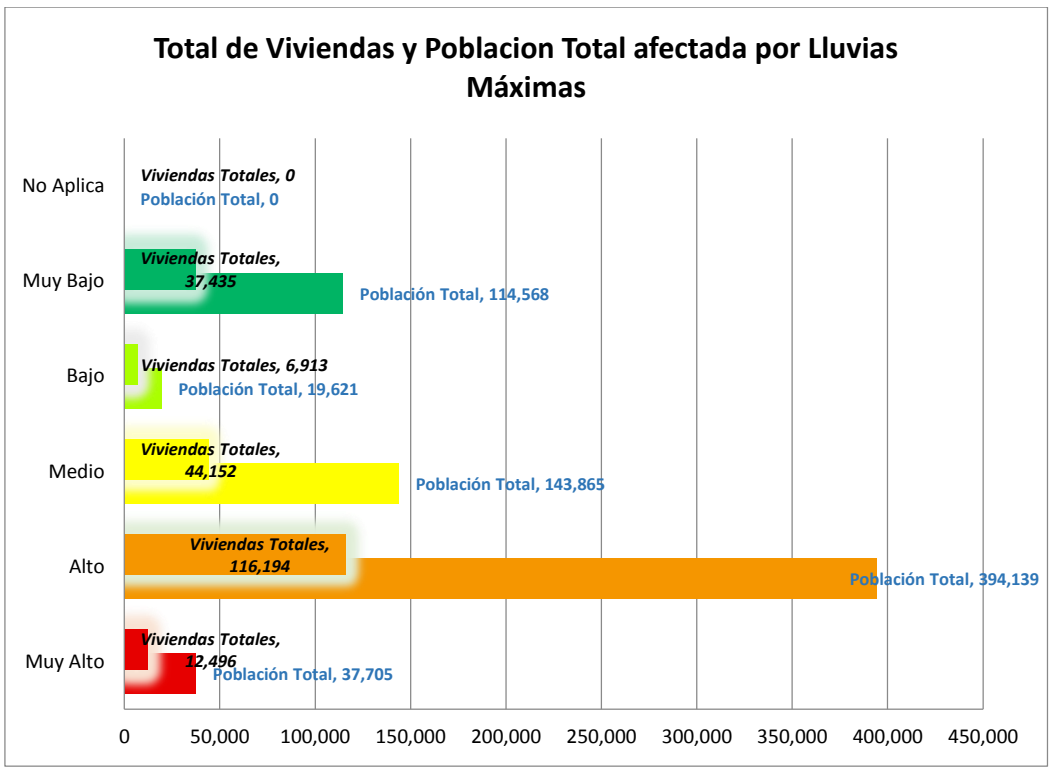


Figura 369. Número de viviendas y habitantes por nivel de susceptibilidad a Lluvias Máximas.

5.5.20 Riesgo por Inundaciones Fluviales

En la Figura 346 y 351 se muestran los mapas resultantes, a nivel rural y urbano respectivamente, del resultado de calcular el riesgo social existente provocado por inundaciones fluviales. En las figuras 347, 348, 349, 350, 352, 353, 354 y 355 se muestran acercamientos a distintas zonas a nivel rural y urbano para ejemplificar y visualizar mejor los resultados. El riesgo por inundaciones fluviales se describe de manera estadística más adelante en la sección 5.5.20.2.2 se analizan la superficie, viviendas y población en riesgo.

5.5.20.1 Mapas, Inundaciones Fluviales

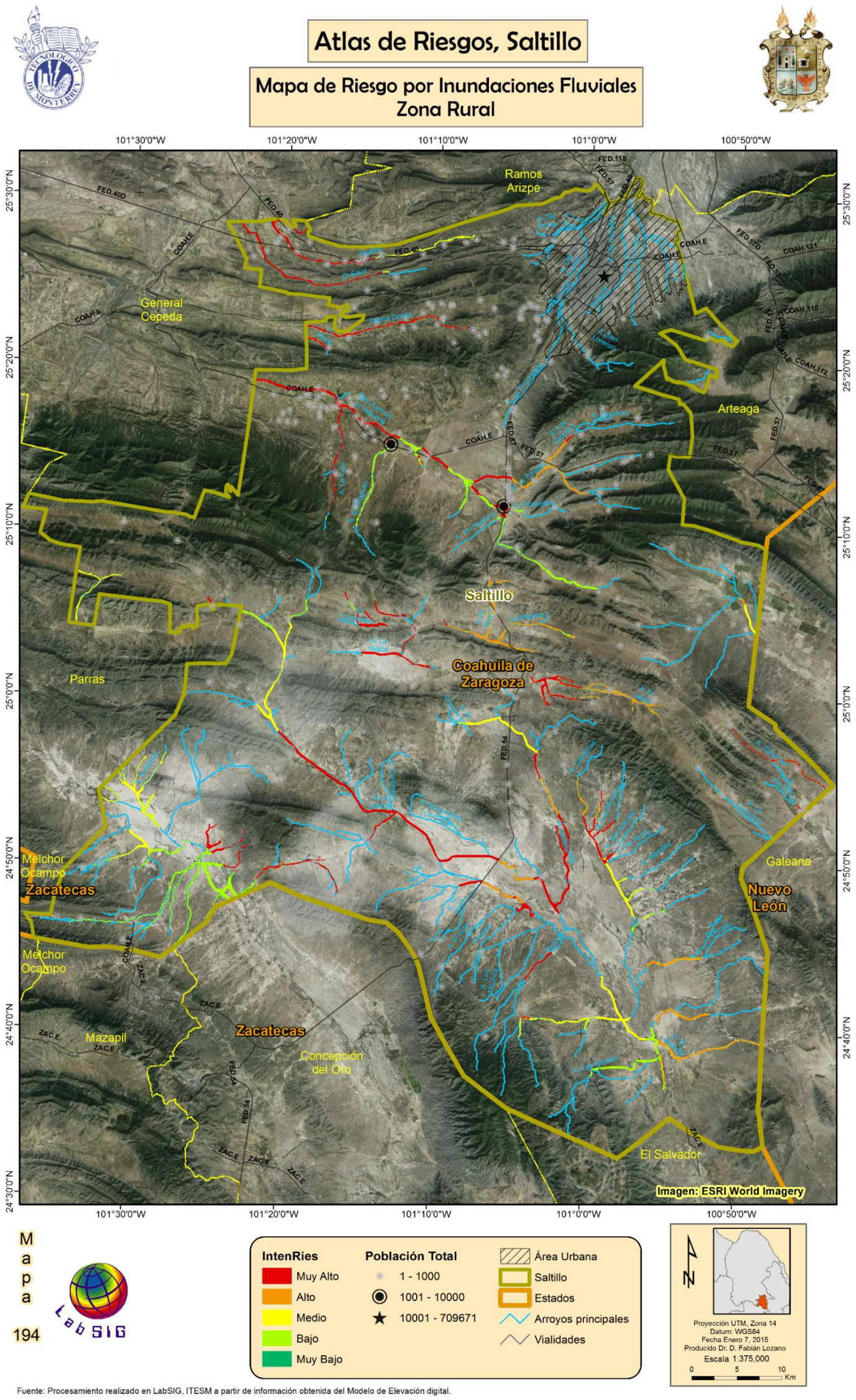
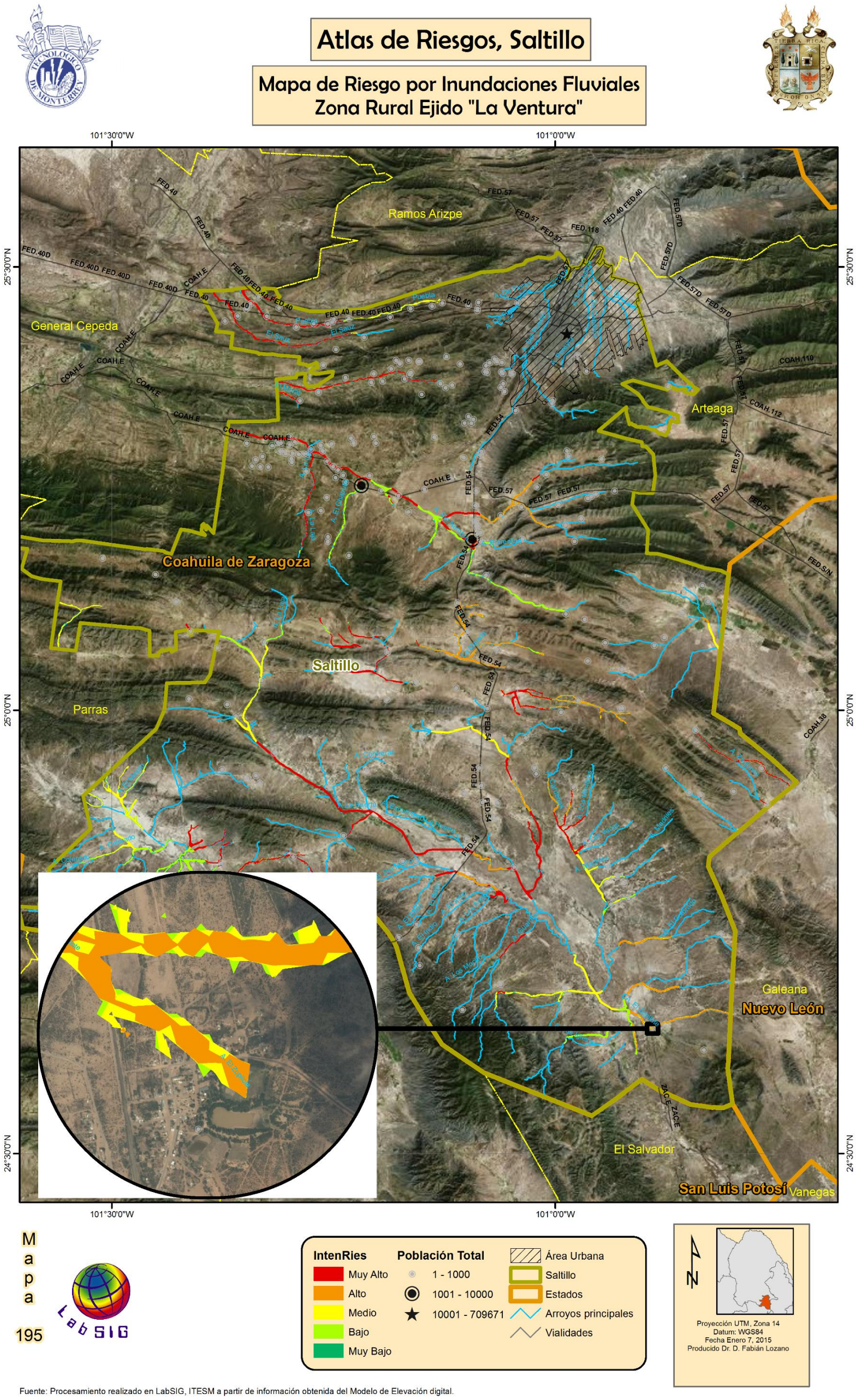


Figura 370. Riesgo por inundaciones fluviales, zona rural.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida del Modelo de Elevación digital.

Figura 371. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, ejido “La Ventura”, zona rural.

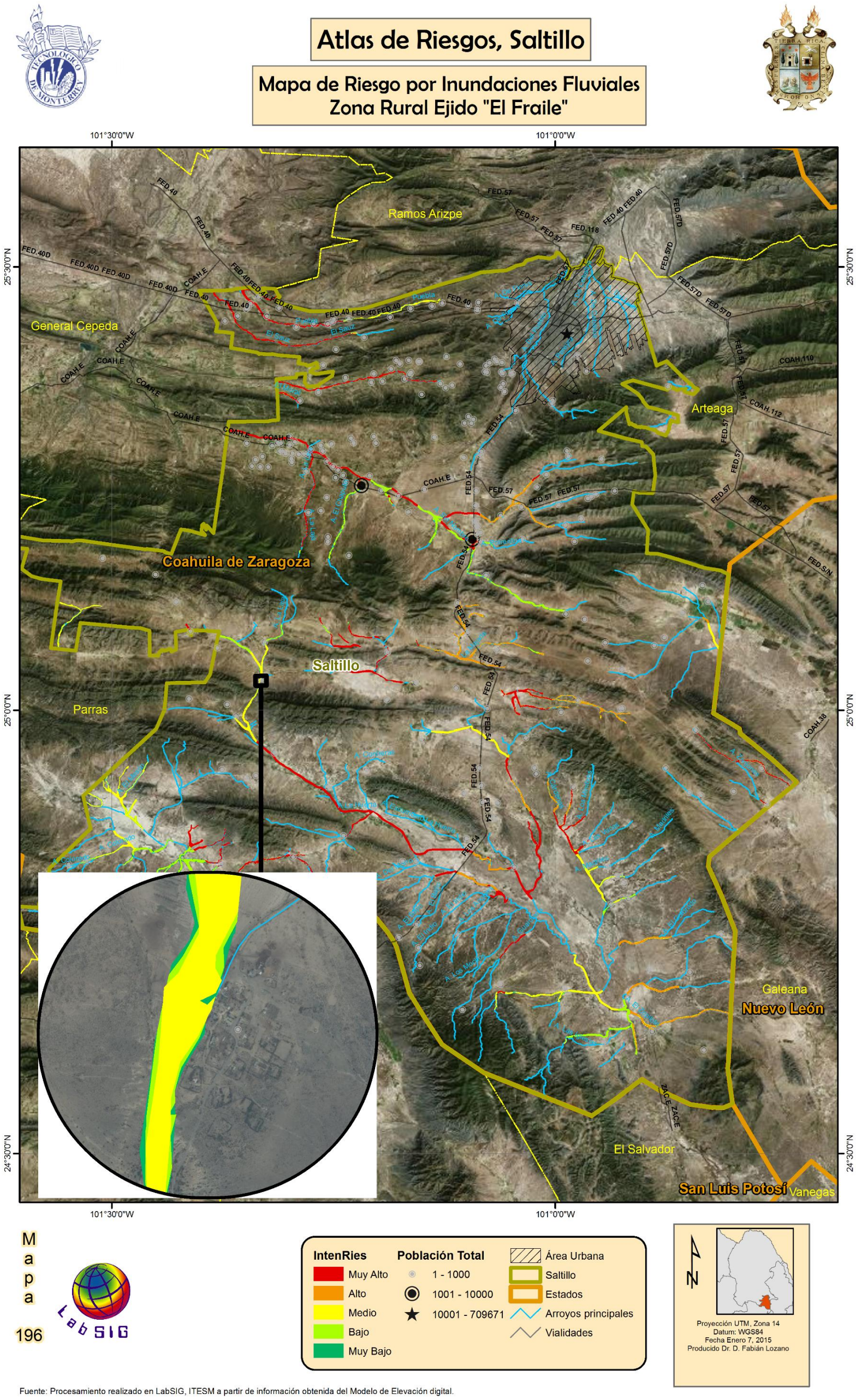


Figura 372. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, ejido “El Fraile”, zona rural.

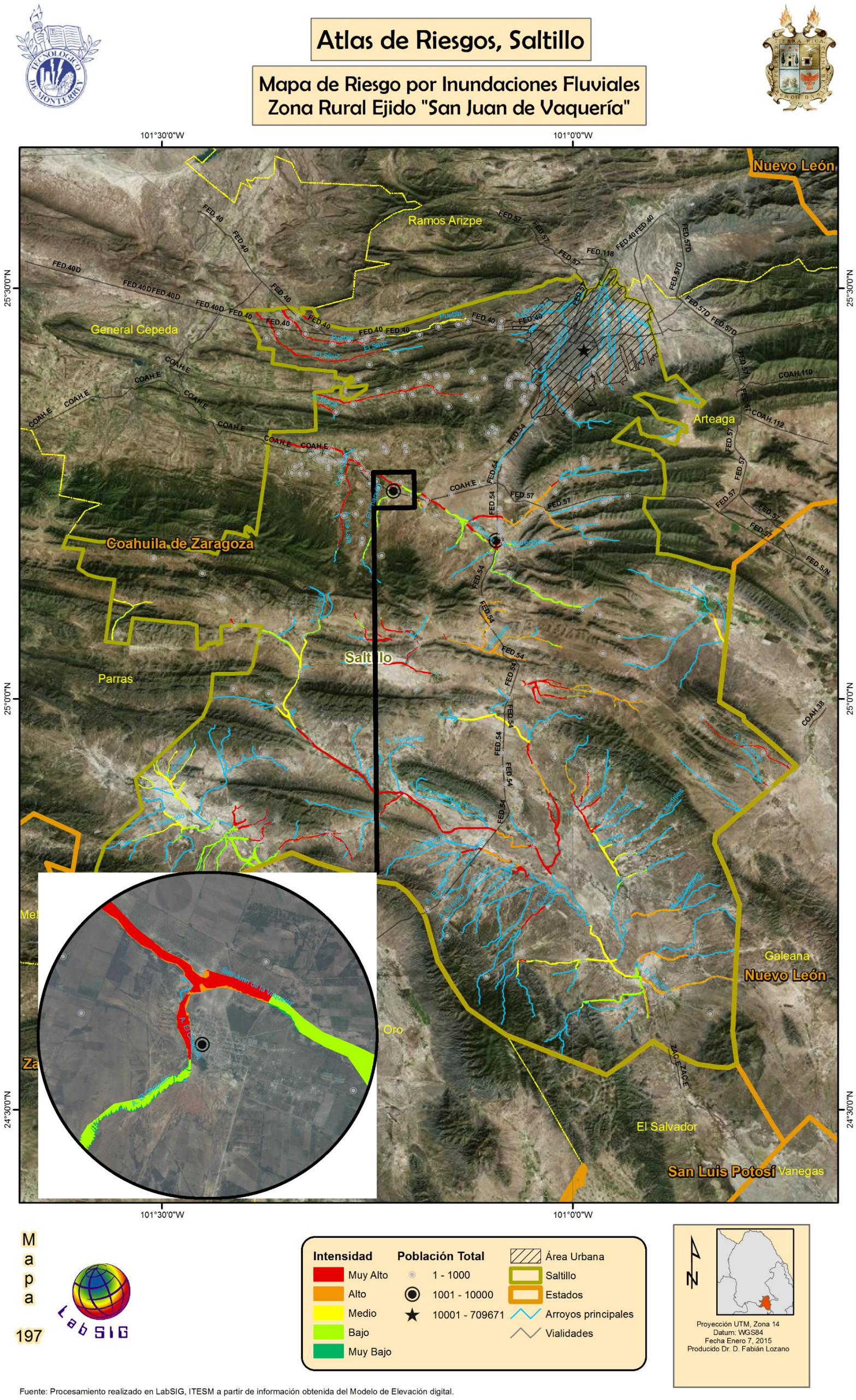
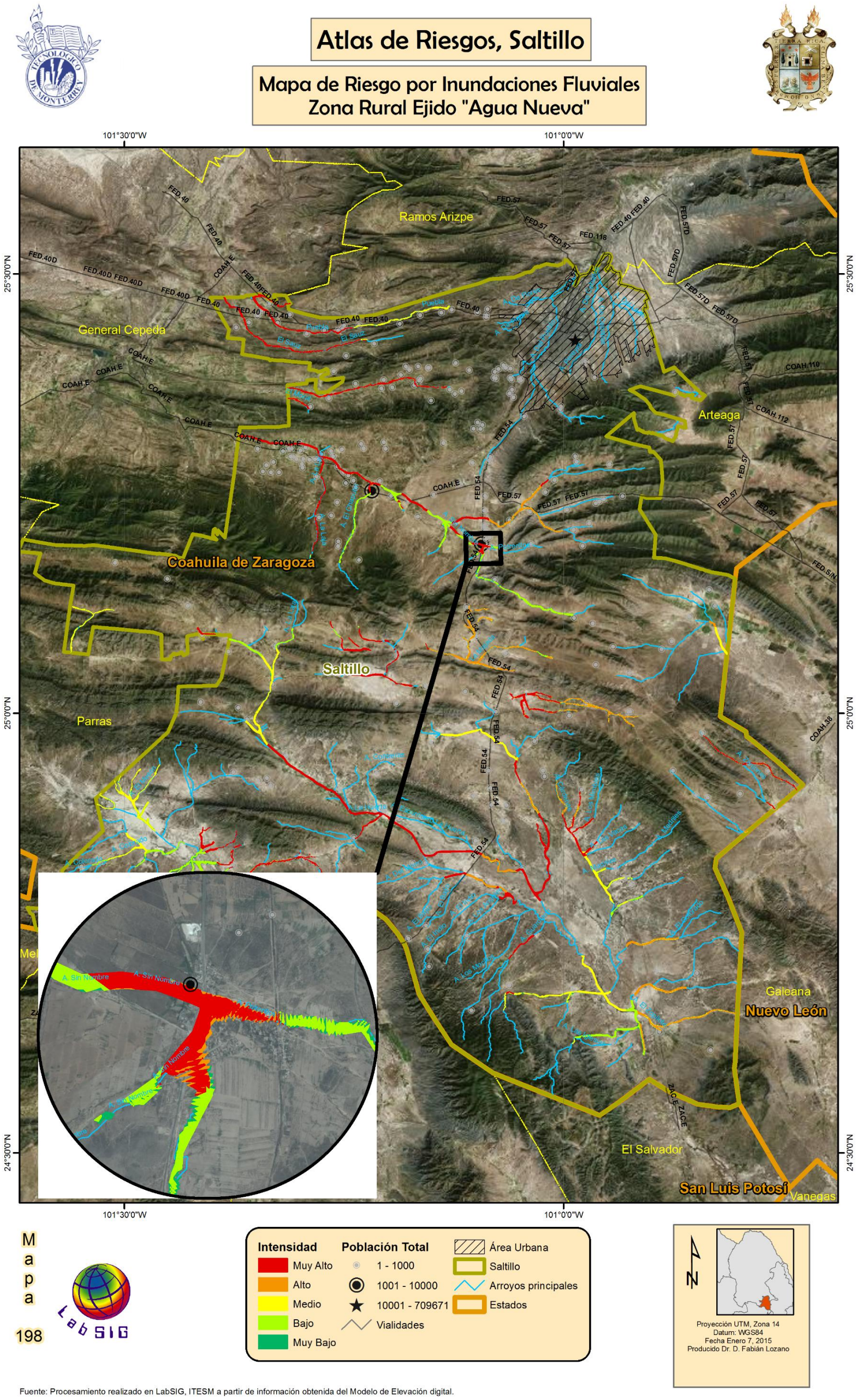


Figura 373. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, ejido “San Juan de La Vaquería”, zona rural.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir de información obtenida del Modelo de Elevación digital.

Figura 374. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, ejido “Agua Nueva”, zona rural.

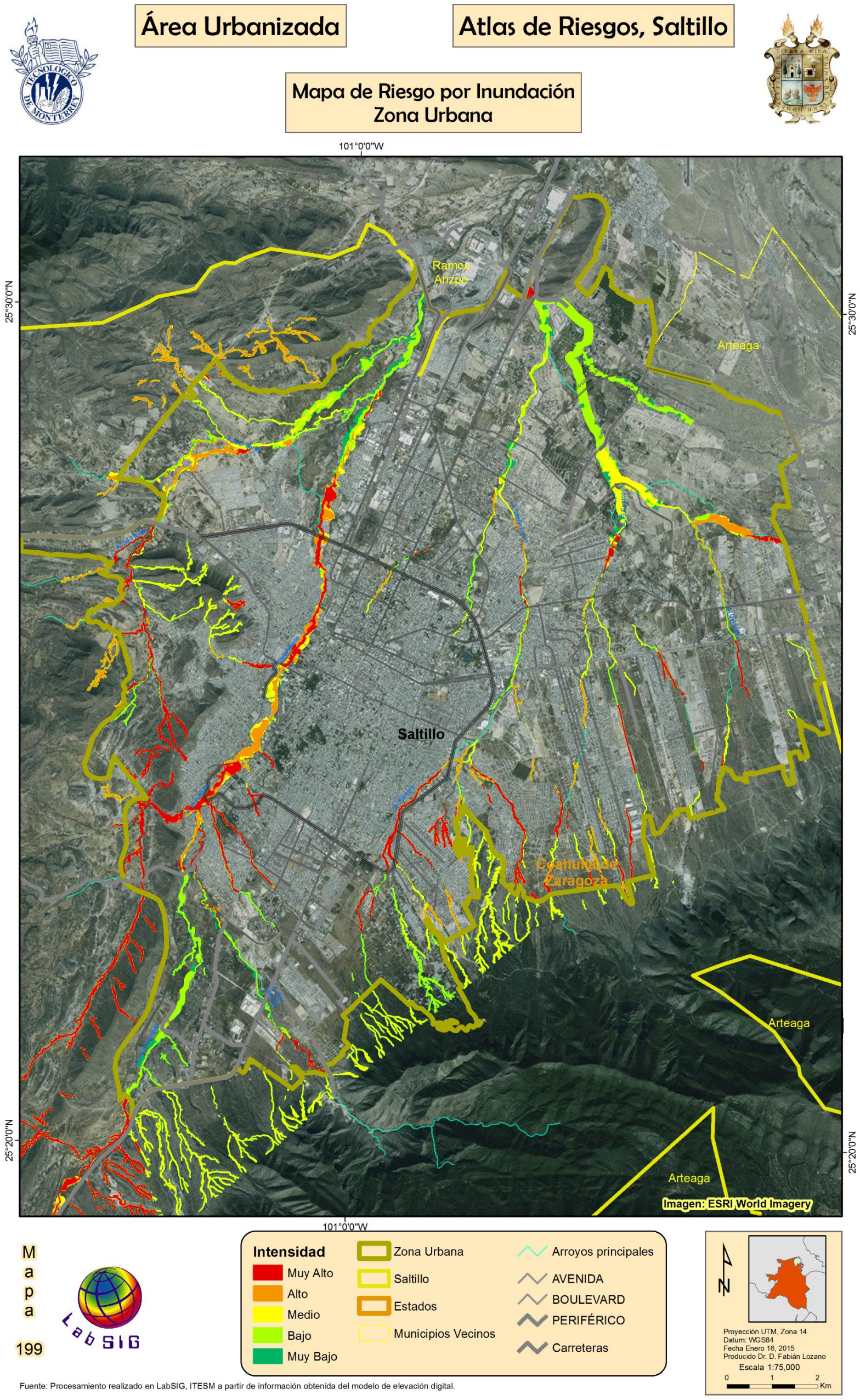


Figura 375. Riesgo por inundación fluvial, zona urbana.

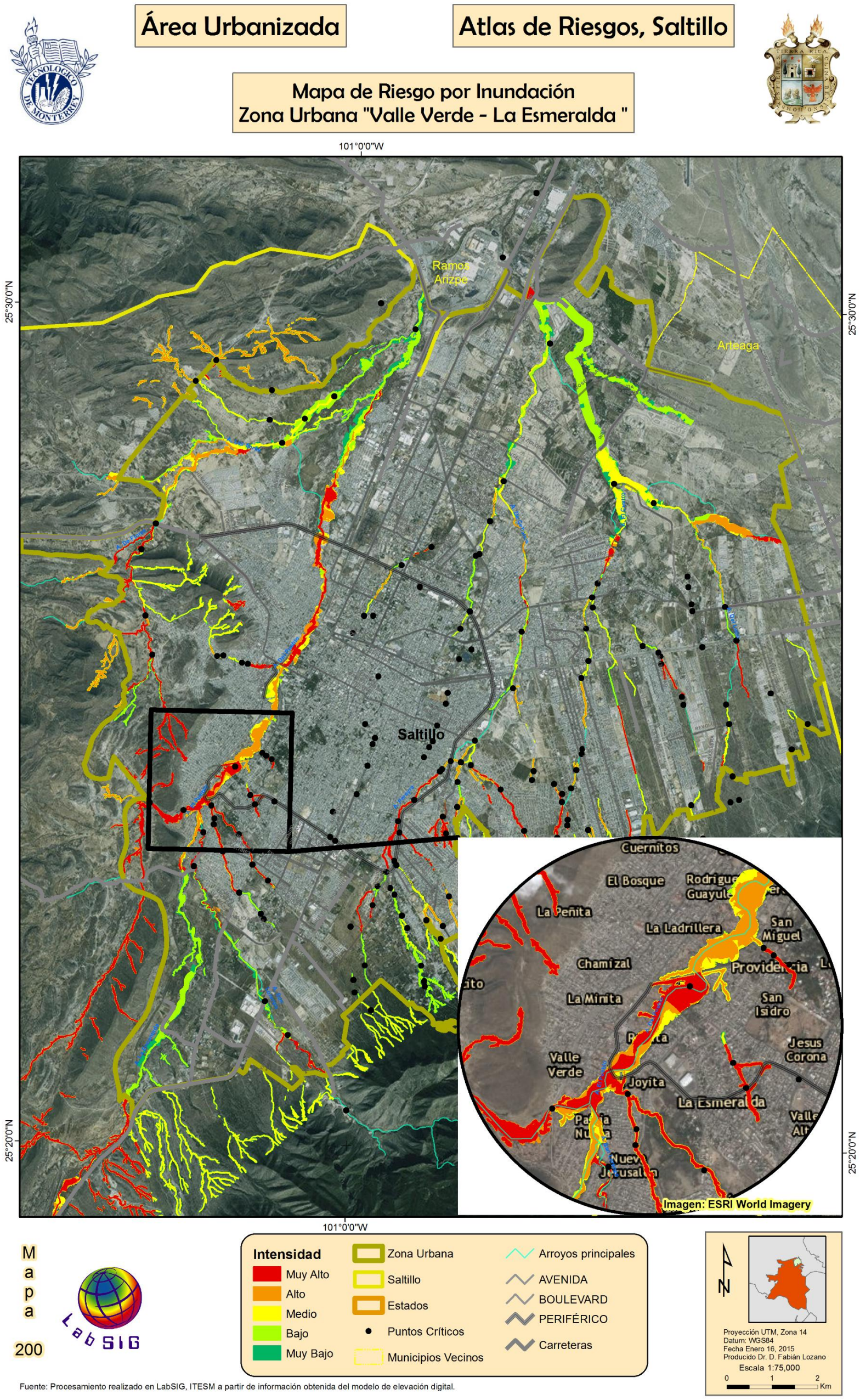


Figura 376. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, zona “Valle Verde-La Esmeralda”

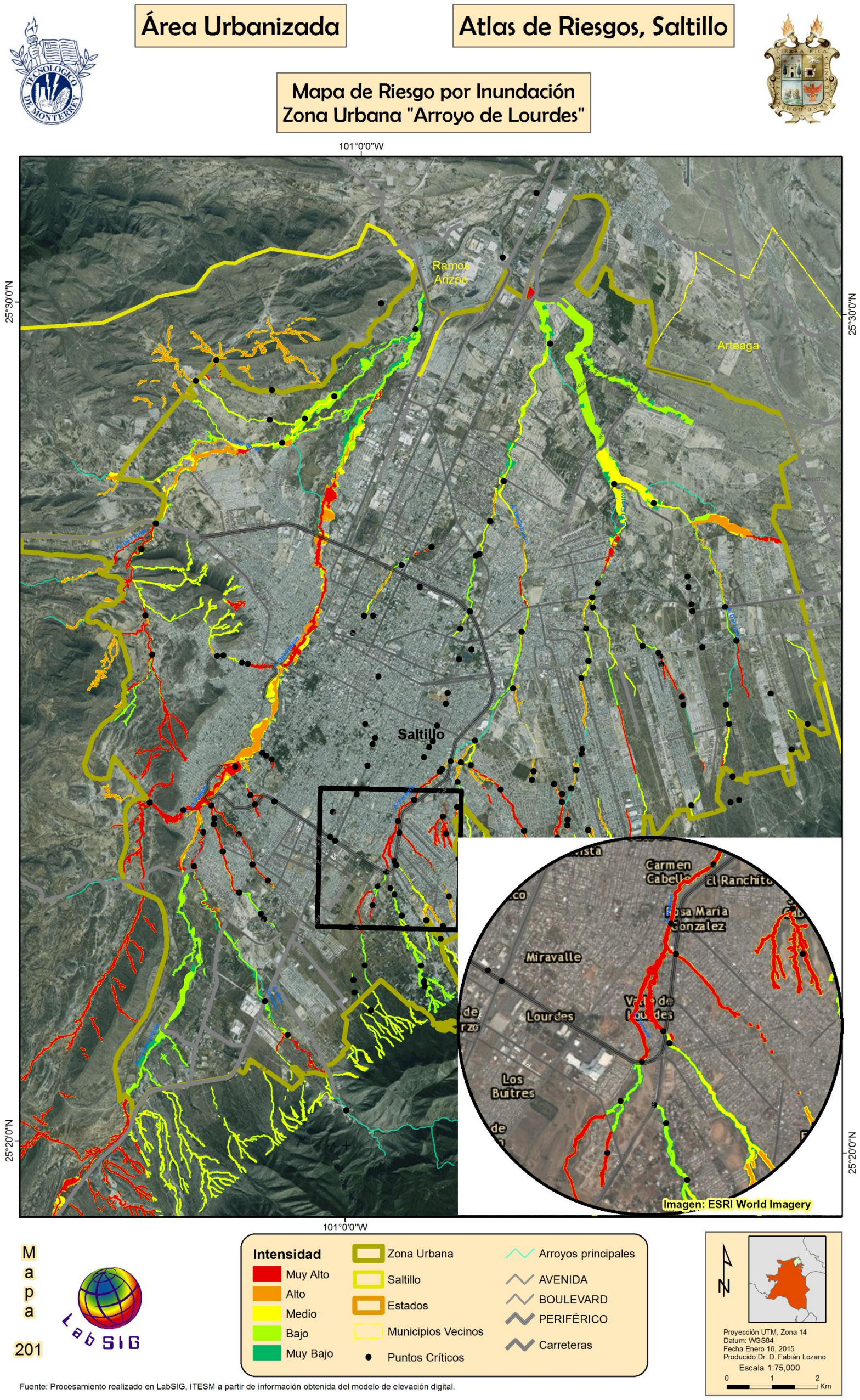


Figura 377. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial,Arroyo “Lourdes”, zona urbana.

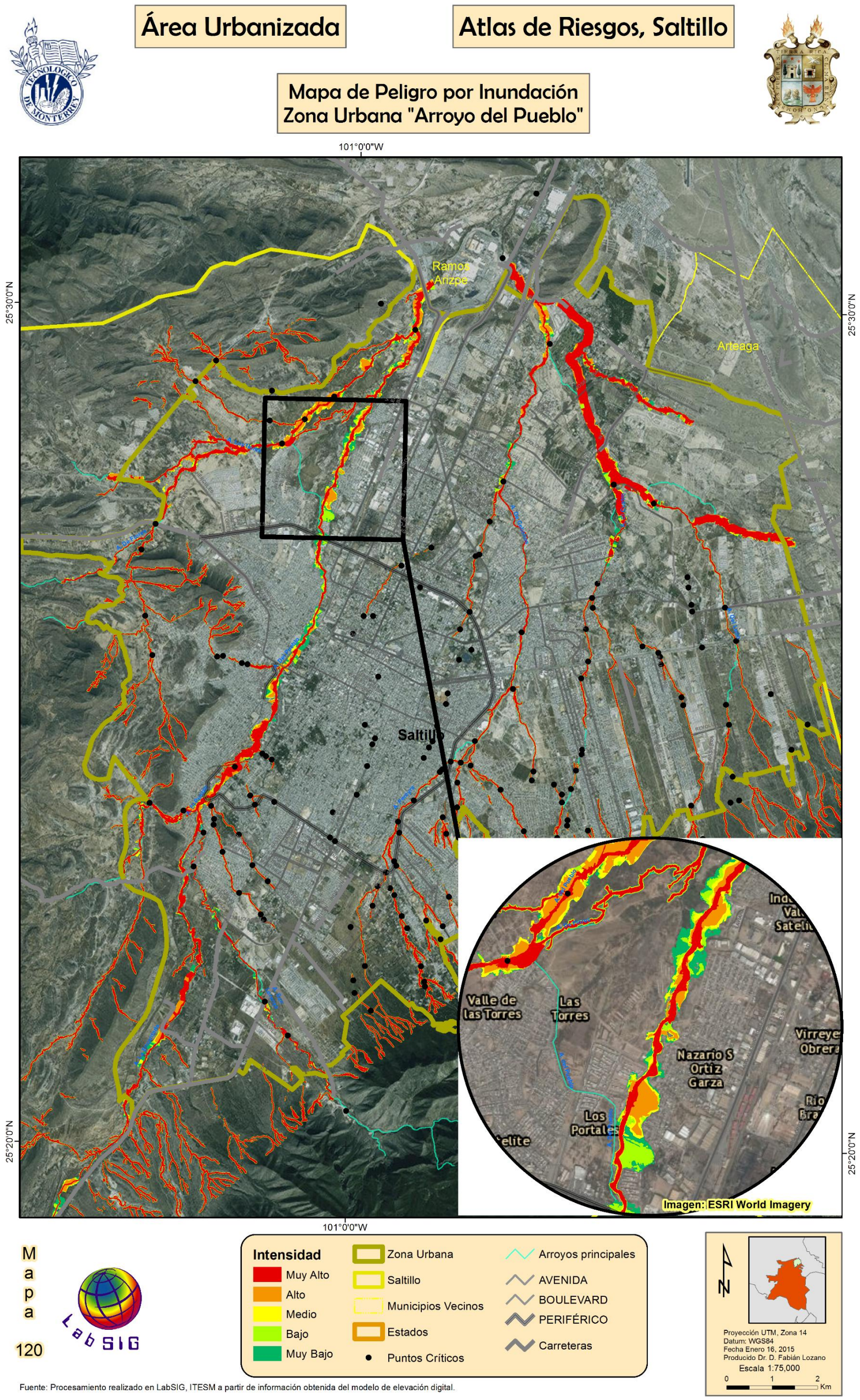


Figura 378. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, Arroyo del Pueblo, zona urbana.

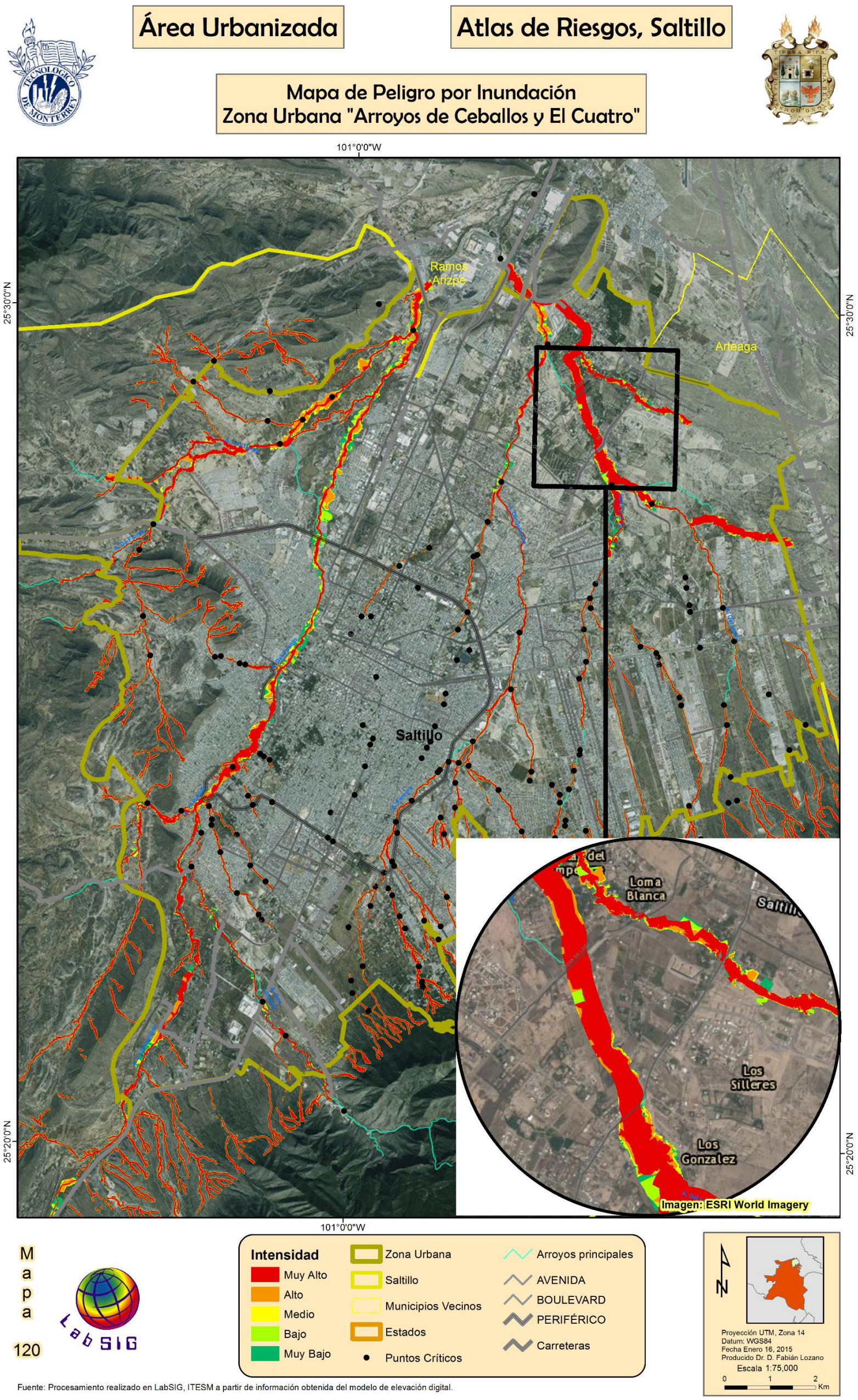


Figura 379. Acercamiento a planicie de riesgo por inundación fluvial, Arroyo de Ceballos y El Cuatro, zona urbana.

5.5.20.2 Riesgo Urbano por Inundaciones fluviales, interpretación

5.5.20.2.1 Período de Retorno de 5 años (Intensidad de Peligro Muy alto)

Para las Inundaciones Fluviales con Pr de 5 años se obtuvieron niveles de riesgo social Muy Alto, Alto, Medio y Bajo en terrenos aledaños a algún escurrimiento. Del total de superficie urbana: 161.66 km^2, el nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 1.22 km^2, el nivel Alto 0.93 km^2, el nivel Medio 1.19 km^2, el nivel Bajo 2.10 km^2 (Tabla 91).

Tabla 91. Superficie Urbana ocupada (km^2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 5 años.

Riesgo	Área (km^2)
Muy Alto	1.22
Alto	0.93
Medio	1.19
Bajo	2.10

En la modelación de las inundaciones fluviales con Pr de 5 años se encontraron las condiciones para determinar zonas de riesgo Muy Alto, Alto, Medio y Bajo. Los datos del ITER 2010, indican que en las zonas de Riesgo Alto tienen posibilidades de afectar aproximadamente a un total de 162,245 viviendas en una área donde viven 50,658 personas, las zonas de riesgo Alto contienen un total de 23,755 viviendas y aproximadamente 6,925 individuos, las zonas de riesgo Medio para este Pr contienen un total de 19,330 viviendas y una población de 6,746 personas y en riesgo Bajo se encuentran 6,457 viviendas y 25,140 habitantes (Figura 380).

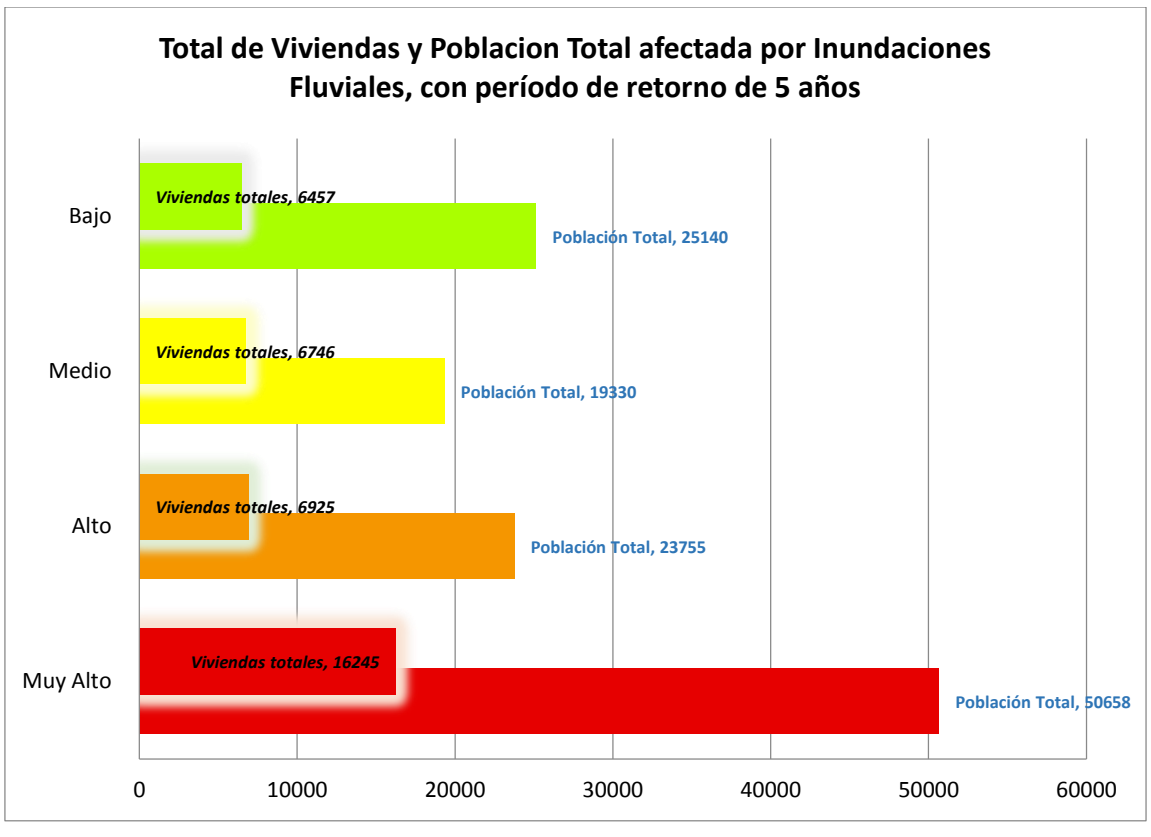


Figura 380. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 5 años.

5.5.20.2.2 Período de Retorno de 10 años (Intensidad de Peligro Alto)

Para las Inundaciones Fluviales con Pr de 10 años se obtuvieron niveles de riesgo social Muy Alto, Medio y Bajo en terrenos aledaños a algún escurrimiento. Del total de superficie urbana (161.66 km^2), el nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 1.75 km^2, el nivel Medio 1.20 km^2, el nivel Muy Bajo 4.41 km^2 (Tabla 92).

Tabla 92. Superficie Urbana ocupada (km^2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 10 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (km^2)
Muy Alto	1.75
Medio	1.20
Bajo	4.41

La modelación de las inundaciones fluviales con Pr de 10 años y los datos del ITER 2010, indican que en las zonas de Riesgo Muy Alto afectarán aproximadamente a un total de 28,842 viviendas en una área donde viven 89,135 personas, las zonas de riesgo medio contienen un total de 18,961 viviendas y aproximadamente 61,152 individuos, en riesgo Bajo se contabilizaron 11,324 viviendas y una población de 38,976 personas (Figura 381).

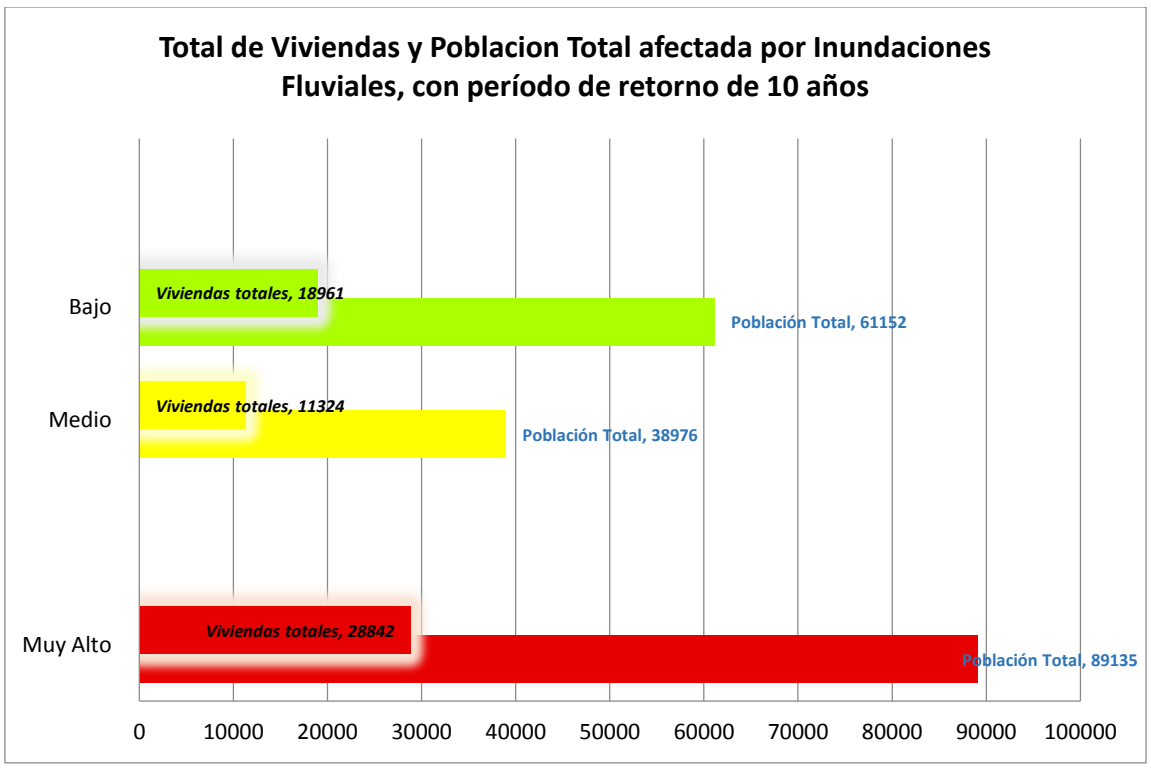


Figura 381. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 10 años.

5.5.20.2.3 Período de Retorno de 20 años (Intensidad de Peligro Medio)

Para las Inundaciones Fluviales con Pr de 20 años se obtuvieron niveles de riesgo social Muy Alto, Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo en terrenos aledaños a algún escurrimiento. Del total de superficie urbana (161.66 km^2), el nivel de riesgo Muy Alto ocupa un total de 0.93 km^2, el nivel Alto 1.21 km^2, el nivel Medio 1.39 km^2, el nivel Bajo 1.99 y el nivel Muy Bajo 3.04 km^2 (Tabla 93).

Tabla 93. Superficie Urbana ocupada (km2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 25 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (km2)
Muy Alto	0.93
Alto	1.21
Medio	1.39
Bajo	1.99
Muy Bajo	3.04

La modelación de las inundaciones fluviales con Pr de 20 años y los datos del ITER 2010, indican que en las zonas de Riesgo Muy Alto, se afectaran aproximadamente a un total de 21,068 viviendas y aproximadamente 60,596 personas, las zonas de riesgo alto, contienen un total de 74,724 viviendas y aproximadamente 22,165 individuos, en las áreas de riesgo Medio, se afectaran aproximadamente a un total de 16,050 viviendas y 55,305 personas, mientras que las de nivel de riesgo Bajo podrían afectar un total de 13,304 viviendas y 39,246 individuos. Las zonas de riesgo Muy Bajo para este Pr contienen un total de 11,027 viviendas y 36,988 personas (Figura 382).

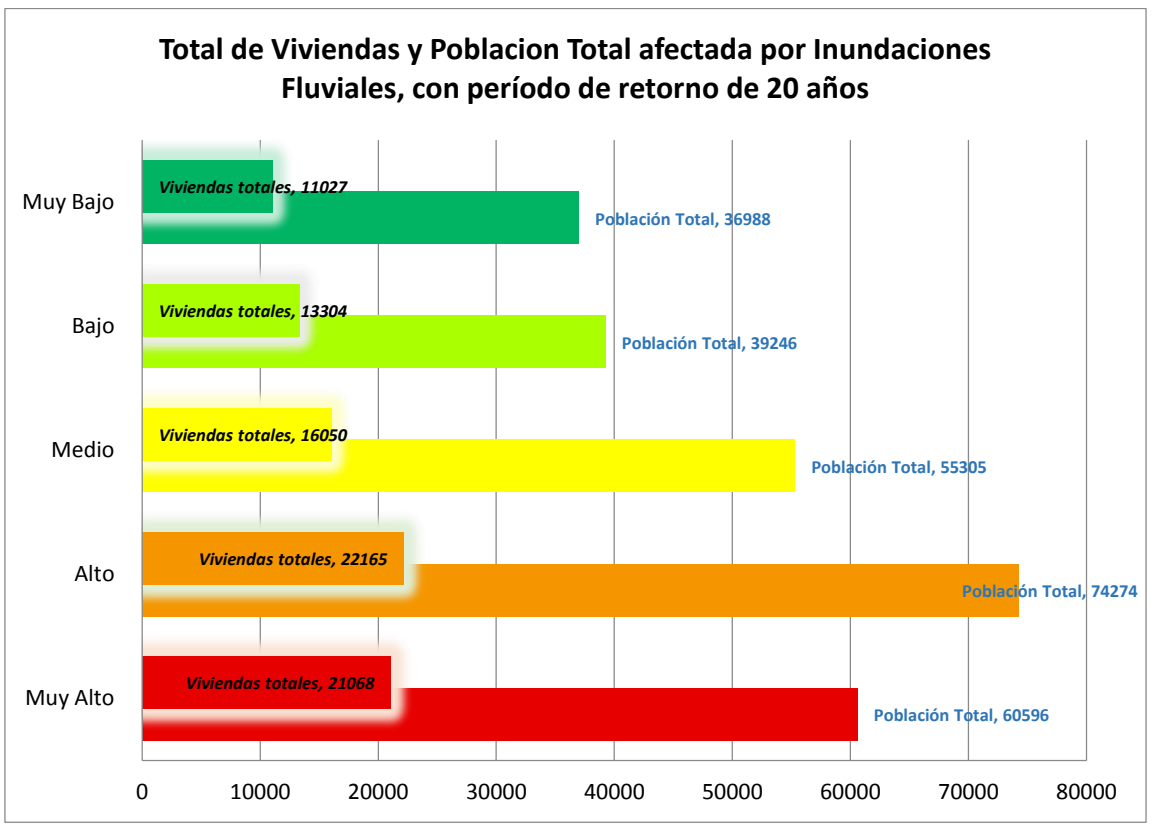


Figura 382. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 20 años.

5.5.20.2.4 Retorno de 50 años (Intensidad de Peligro Bajo)

Para las Inundaciones Fluviales con Pr de 50 años se obtuvieron niveles de riesgo social Muy Alto, Medio y Bajo. Del total de superficie urbana (161.66 km^2), el nivel de riesgo Alto ocupa un total de 2.56 km^2, el nivel Medio 1.55 km^2 y el nivel Muy Bajo 5.62 km^2 (Tabla 94).

Tabla 94. Superficie Urbana ocupada (km^2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 50 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (km^2)
Alto	2.56
Medio	1.55
Muy Bajo	5.62

De acuerdo a los resultados de la modelación de las inundaciones fluviales con Pr de 50 años y los datos del ITER 2010, las zonas de Riesgo Alto, afectaran aproximadamente a un total de 51,724 viviendas y aproximadamente 162,958 habitantes, las zonas de riesgo medio afectaran aproximadamente a un total de 19,877 viviendas y 69,221 personas, mientras que las de nivel Muy Bajo tienen la posibilidad de afectar un total de 29,021 viviendas y 90,687 individuos (Figura 383).

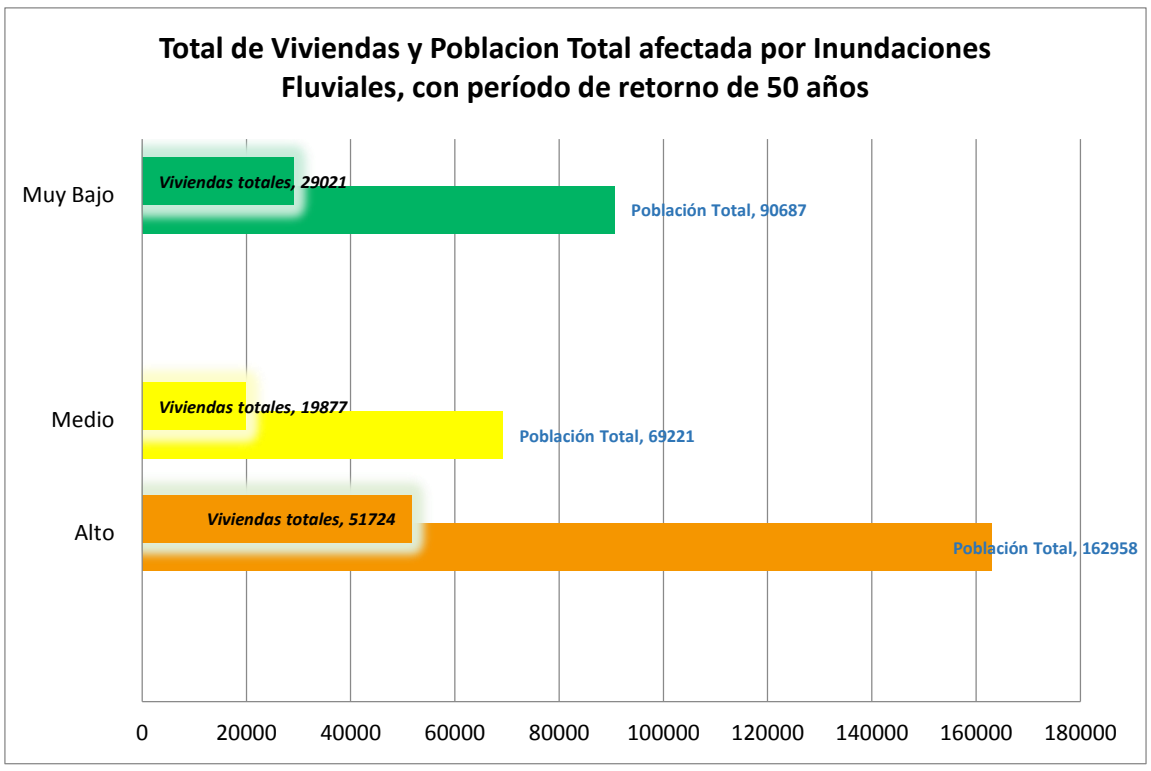


Figura 383. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 50 años.

5.5.20.2.5 Período de Retorno de 100 años (Intensidad de peligro Muy Bajo)

Para las Inundaciones Fluviales con Pr de 100 años se obtuvieron niveles de riesgo social Muy Alto, Medio y Bajo. Del total de superficie urbana (161.66 km^2), el nivel de riesgo Alto ocupa un total de 1.44 km^2, el nivel Medio 1.92 km^2, el nivel Bajo 1.91 km^2 y el nivel Muy Bajo 6.75 (Tabla 95).

Tabla 95. Superficie Urbana ocupada (km^2) por los niveles de riesgo para las inundaciones fluviales con Pr de 100 años.

Intensidad Riesgo	Superficie Urbana Ocupada (km2)
Alto	1.44
Medio	1.92
Bajo	1.91
Muy Bajo	6.75

Según los registros del ITER 2010, aproximadamente 8,958 viviendas y 29,982 personas se encuentran dentro de la zona de riesgo Alto 32,155 viviendas y 95,901 personas; en riesgo Medio existen 35,518 viviendas y 120,149 personas; en riesgo Bajo 26,497 viviendas y 91,643 personas; en zonas de riesgo Muy Bajo 36,280 y 111,645 habitantes (Figura 384).

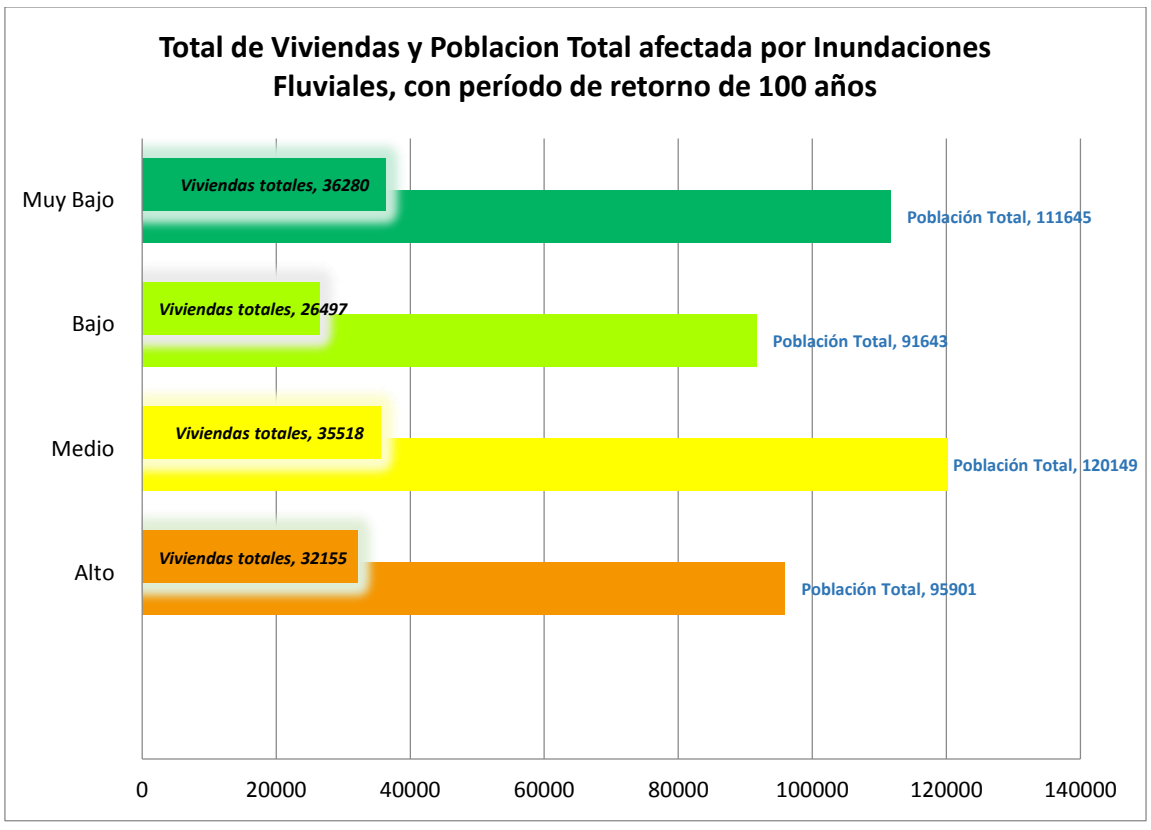


Figura 384. Número de viviendas y habitantes por nivel de Riesgo para Inundaciones Fluviales con Pr de 100 años.

5.5.21 *Índice de Susceptibilidad a Inundaciones Pluviales*

El riesgo por susceptibilidad a inundaciones pluviales en el municipio presenta algunas zonas con riesgos (Figura 385 a Figura 387).

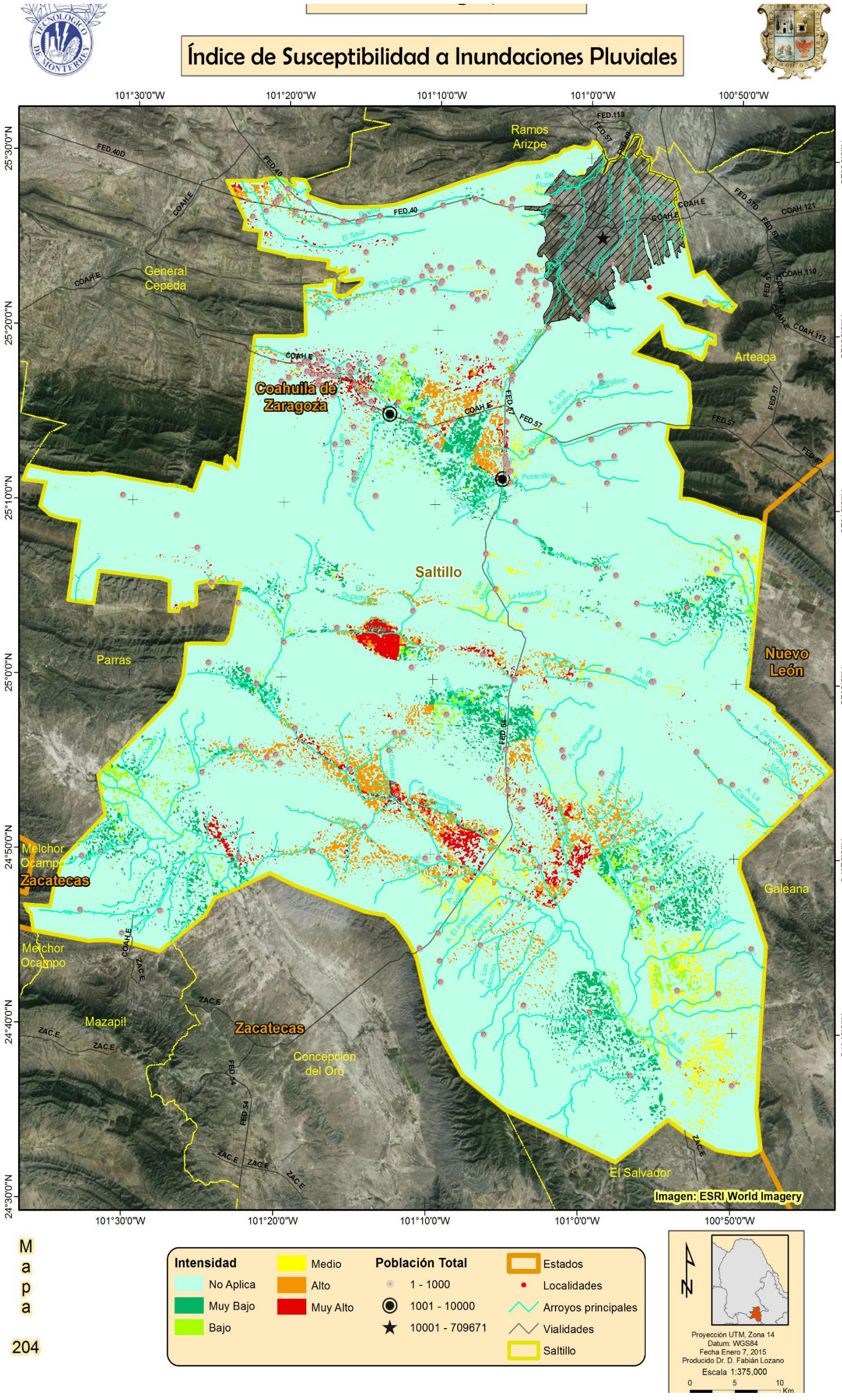
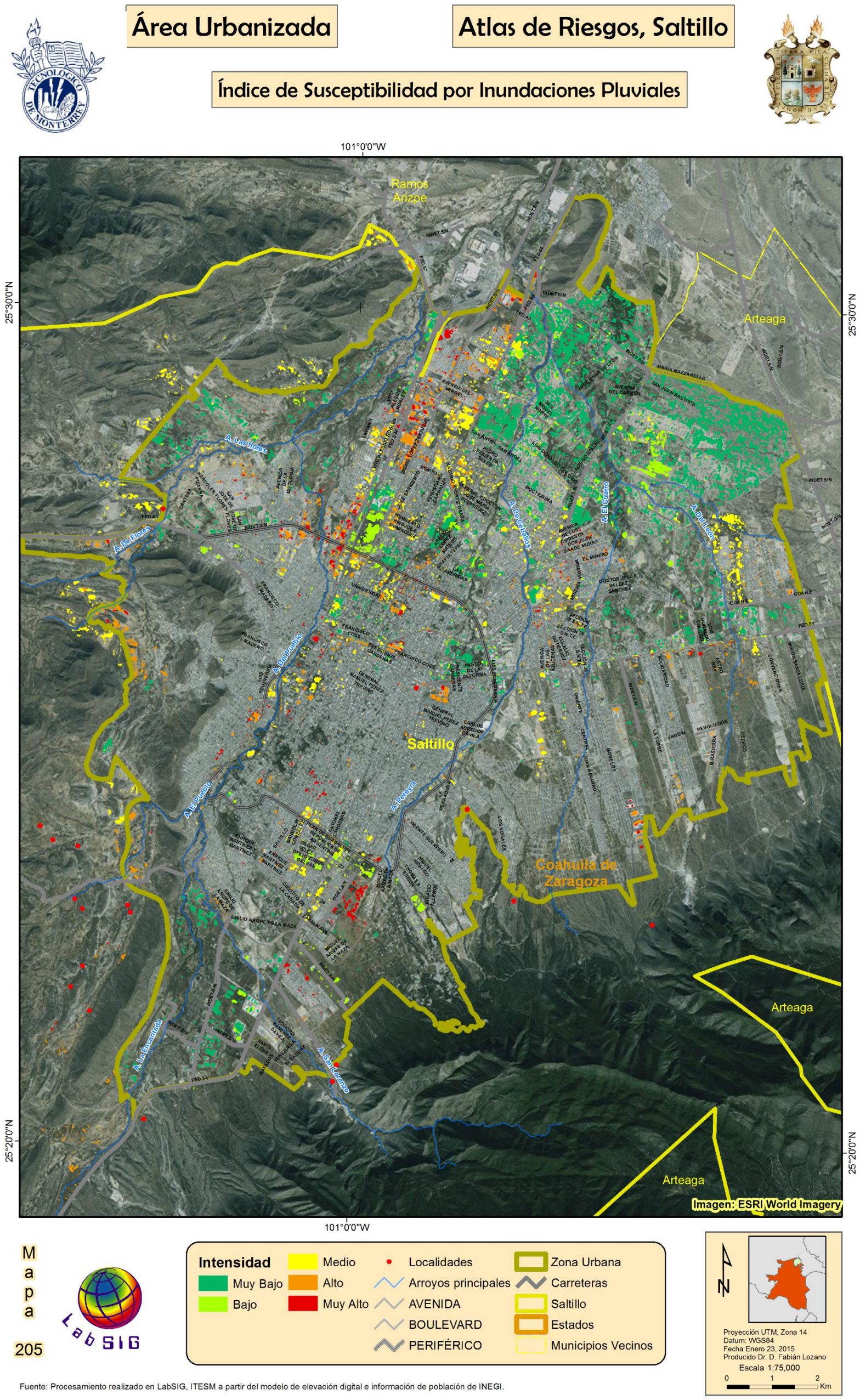


Figura 385. Índice de Susceptibilidad a inundaciones pluviales, zonas rurales.



Fuente: Procesamiento realizado en LabSIG, ITESM a partir del modelo de elevación digital e información de población de INEGI.

Figura 386. Índice de Susceptibilidad a inundaciones pluviales para la zona urbana de Saltillo.

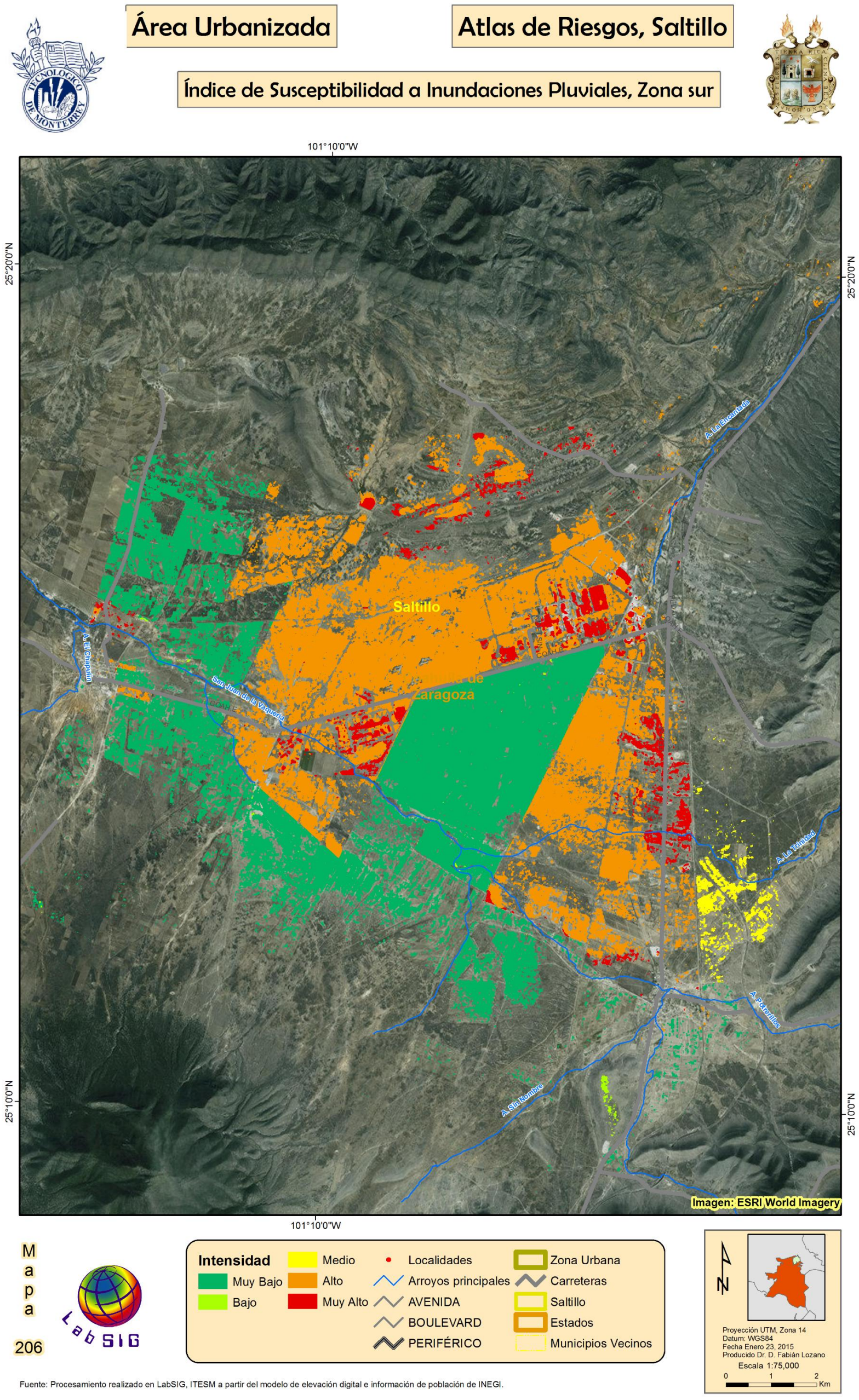


Figura 387. Índice de Susceptibilidad a inundaciones pluviales, zona urbana (Sur de Saltillo).

6 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

La mejor medida de mitigación que podríamos implementar sería evitar que la población ocupe aquellas zonas que presentan algún peligro. Ante la imposibilidad de alcanzar esta meta; hay que aceptar que las ciudades en México y el mundo se ha desarrollado sin considerar los aspectos de peligros; y en las zonas rurales, los asentamientos humanos obedecen más a las necesidades económicas de las comunidades; las autoridades municipales pueden recurrir a otras estrategias y medidas de mitigación que puedan surtir un efecto positivo en la disminución a la exposición a peligros por parte de la población.

Las ideas predominantes en torno a asumir las peligros tiene su origen exclusivamente en la naturaleza, han comenzado a ser remplazadas por aquéllas que tratan de explicarlas en términos más amplios: en donde se reconoce el origen natural de dichos peligros, pero también se hace énfasis en el papel de la intervención humana en el realce de estos, tales como los patrones de modificación del entorno, los cambios en la cobertura del suelo con su impacto directo en la permeabilidad del mismo; así como las condiciones de marginación y pobreza de la población; o la necedad de cierto estratos sociales de asentarse en sitios con evidentes atractivos económicos pero con serios peligros naturales; o la incapacidad de las autoridades para prevenir y mitigar los riesgos y sus efectos; ya sea por su desconocimiento o por actos de corrupción..

Tal y como lo señala Hewitt (1983) más que tratarse de eventos inevitables, impredecibles e incontrolables, los riesgos se entienden como procesos prevenibles y controlable, y la responsabilidad primaria de atender estos fenómenos es de las autoridades gubernamentales de los tres niveles de gobierno. El sistema de Protección Civil municipal junto con los componentes de planeación del desarrollo urbano IMPLAN y la Dirección de Desarrollo Urbano, son los componentes gubernamentales que contribuyen a la protección civil, mediante la ordenación del crecimiento urbano, la regulación de los usos de suelo y del otorgamiento de licencias de construcción.

Conceptualmente, tal y como lo plantean Hutter, G. et. al (2007) las estrategias de mitigación pueden agruparse en dos categorías (Figura 388): Medidas e Instrumentos, las cuales a su vez se puedes desagregar en varias categorías que corresponden a acciones específicas que pueden ocurrir a lo largo de una o varias administraciones y cuyo objetivo final es la de disminuir el riesgo de la población ante los distintos peligros presentes en el territorio municipal.

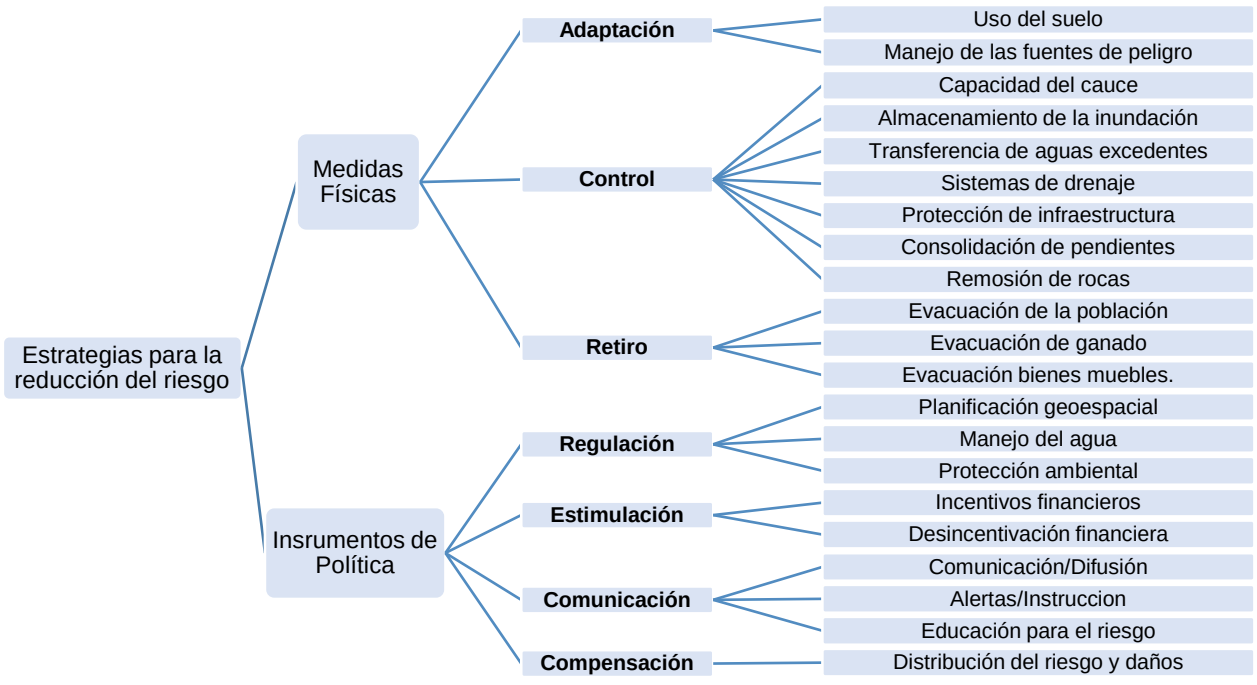


Figura 388. Clasificación de la medidas e instrumentos de mitigación (adaptado de Hutter, G. et. al, 2007).

La mitigación de los riesgos en el municipio de Saltillo se podrá dar a diferentes niveles y periodos de tiempo, y deberá diseñarse de acuerdo a las siguientes estrategias:

- ✓ Obras de mitigación
- ✓ Políticas públicas
- ✓ Acciones concretas
- ✓ Educación ambiental
- ✓ Atlas de riesgos y otros insumos de planeación

6.1 Obras de Mitigación

6.1.1 Prevención de inundaciones

El creciente proceso de urbanización en México incrementa las posibilidades de inundación al modificar o evitar el desagüe natural, reducir la infiltración de las aguas de lluvias y al canalizar los escurrimientos por las calles pavimentadas. Estos problemas se pueden reducir por las obras de civiles que se adapten a las condiciones naturales y de ocupación del territorio.

Además de la ocupación inadecuada de los sistemas riparios, el factor que más severamente induce los procesos de inundación es el cambio de la cobertura del suelo, de tipos naturales a sistemas construidos, crean grandes superficies impermeables que impiden la infiltración e incrementan los gastos en los arroyos y ríos.

Prevención de inundaciones. La no construcción en las zonas aluviales, también evita el riesgo de una inundación dé las zonas urbanizadas

Construcción de Canales que tengan una capacidad relativamente grande de flujo de agua. Esto debe ser construido sobre uno o algunos de los ríos principales que crucen la zona aluvial sobre la que se estableció la población

Una exhortación constante de las autoridades hacia la población, de tirar basura, escombros y desechos de todo tipo en los lugares correspondientes, para de esta manera durante la temporadas de lluvia; el drenaje se encuentre lo más libre posible de basura, porque si éstos se tapan con los desechos, el agua no puede fluir y se produce una inundaciones en la zona.

La elaboración de parques con una forma cóncava en zonas estratégicas. La concavidad hace que en caso de fuertes lluvias, los parques pasen a ser pequeñas presas, donde se almacene una gran cantidad de agua, evitando así que se inunden las zonas donde el suelo esté cubierto por asfalto.

6.1.1.1 Sistema sostenible de manejo de aguas pluviales

Sistema descentralizado de tratamiento de aguas pluviales. Este modelo considera las condiciones de permeabilidad del suelo de la cuenca. La condición en donde la calidad de los escurrimientos puede calificar como excelente o buena solo ocurre en condiciones naturales. El ser humano, al modificar las condiciones hidrológicas de la cuenca (transformar superficies permeables a áreas impermeables), origina que las condiciones de la cuenca se deterioren, incrementando sustancialmente el escurrimiento superficial, acortando también el tiempo de acumulación de los escurrimiento pico en cada unidad hidrológica.

El objetivo de cualquier estrategia de manejo de aguas es tratar de restaurar las condiciones naturales de la cuenca para evitar los efectos antes mencionados. Dentro de esta estrategia, juegan un papel muy importante los distintos elementos del paisaje que se integran al sistema hidrológico, ya que además de servir como retenedores de una parte de los escurrimientos superficiales, también juegan un papel importante en la eliminación de algunos de los contaminantes que se generan en los asentamientos humanos

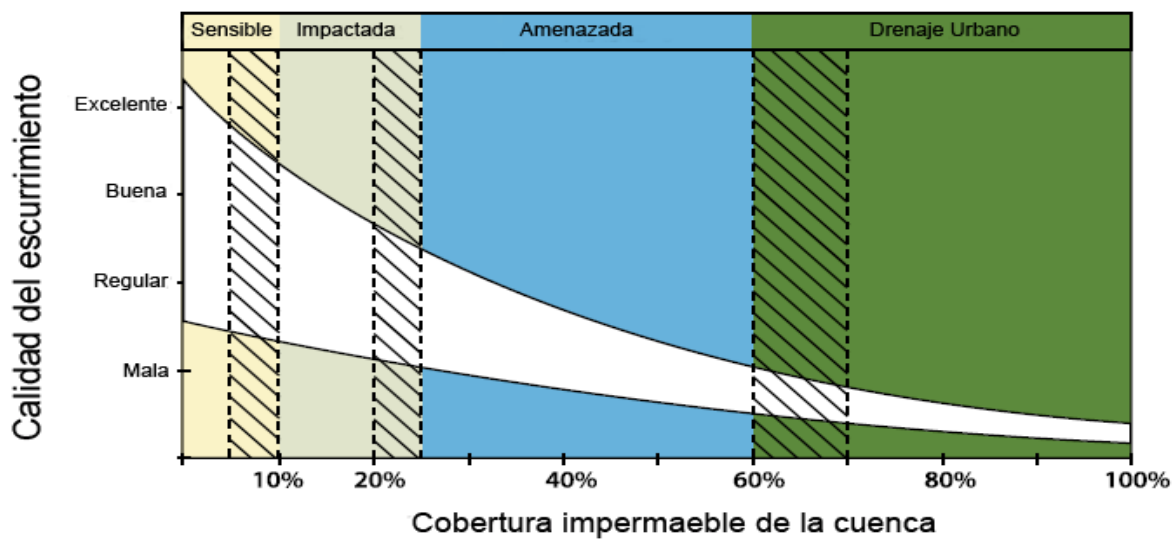


Figura 389. Modelo conceptual de la relación entre las superficies impermeables de uso del suelo y la “salud” de los escurrimientos (Adaptado de Schueler, et. al).

Existen varias estrategias para alcanzar este objetivo, a continuación discutimos aquellas que consideramos son las más apropiadas para Saltillo.

Un sistema de manejo de aguas pluviales se basa en:

- Cosecha de agua de lluvia
- Infiltración

Modelos esquemáticos de cosecha de agua de lluvia y sistemas de cisternas de captación de agua.

Dentro de las medidas para estos escenarios hay:

- **T**echos verdes
- **J**ardines de lluvia (Rain Garden)
- **T**anques de detención
- Infiltración en zonas bajas
- Humedales y parques ‘inundables’
- Cisternas de captación de agua de lluvia

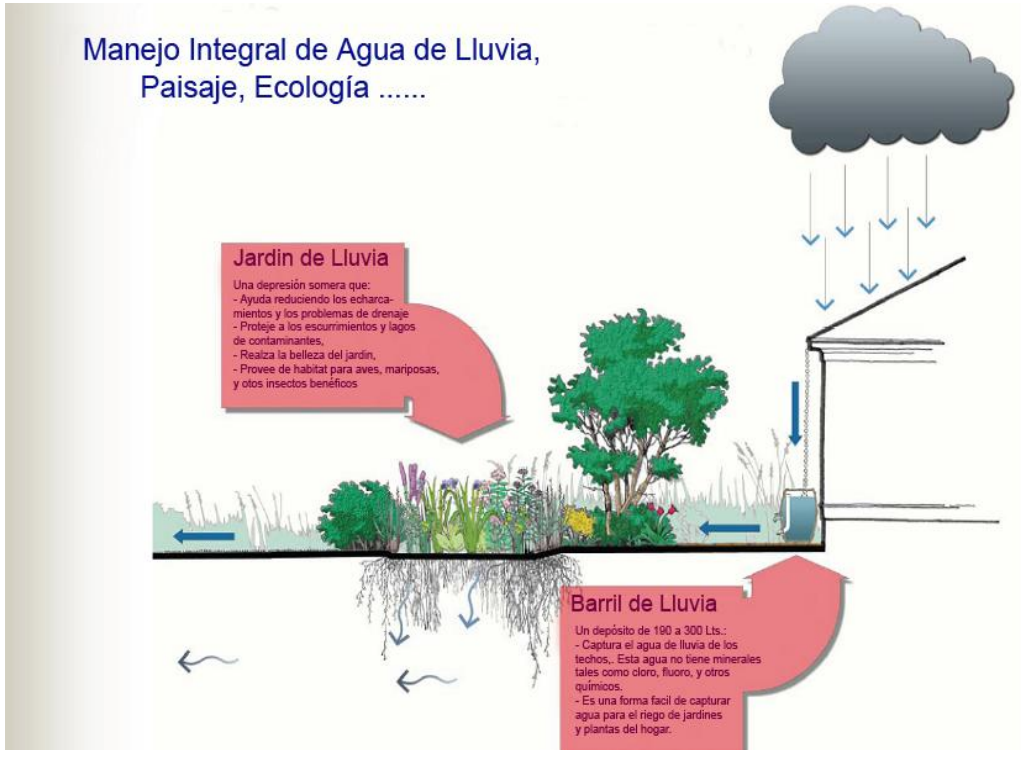


Figura 390. Modelo Esquemático de cosecha de agua de lluvia y sistemas de cisternas de captación de agua.

6.1.1.2 Rollos

Descripción: Sistema de rollos usados para reforzar las orillas de los ríos y protegerlas contra la erosión formado por juncos tejidos rellenos de tierra. Los rollos se forman, trenzan y rellenan con fibras naturales que pueden ser de vanos materiales naturales como los que existen a la orilla de río (juncos. mimbres. ramas de árboles) de fibra de coco, de geotextiles. etc. Que instalados a las orillas de ríos .desempeñan el papel de diques naturales, no solo contra las inundaciones, sino para la protección contra la erosión generalizada de márgenes de ríos.

Características: Los rollos pueden tener hasta 3m de largo. Los diámetros estándar donde 20, 30 o40 cm. El peso es diferente según la humedad de las fibras y el diámetro, secas las cestas tienen un peso de 5 kg/m (diámetro de 20 cm), 9 kg/m o 17 km/in (diámetro de 40 cm)

Aplicación: Este sistema permite una protección temporal de las márgenes contra la erosión, es decir, una durabilidad de 10 a 15 años. Además el sistema requiere una plantación de protección que refuerce las orillas con las raíces de las plantas. También los rollos por su capacidad de integración al ambiente forman refugios para los peces y otros animales.

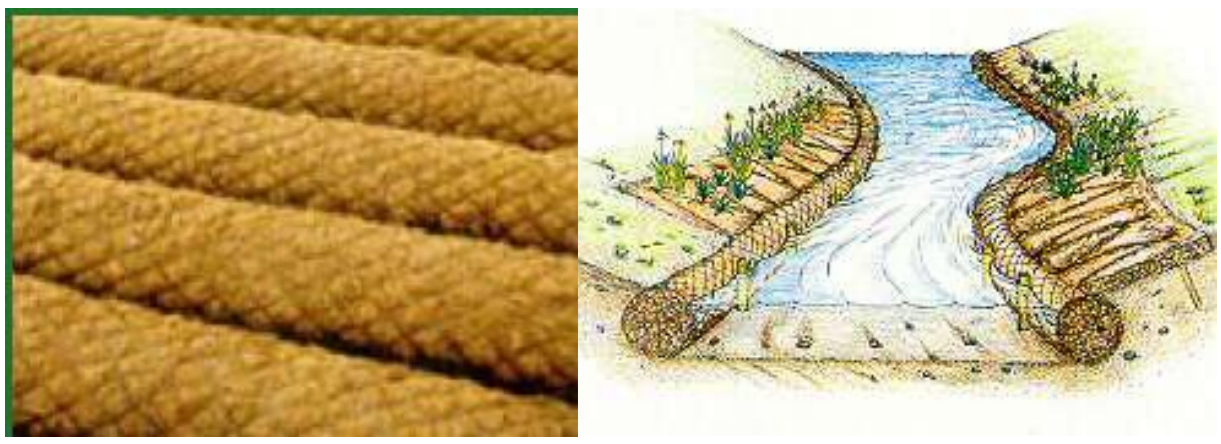


Figura 391. Ejemplos de uso de rollos para protección de canales y taludes.

Ventajas:

- Material obtenido localmente principalmente de desechos
- Resistente y durable
- Permeable
- De bajo impacto ambiental
- Práctico y versátil
- Emplea mano de obra no especializada
- Sísmico-resistente

6.1.1.3 Gaviones

Descripción: Muros de piedra acomodada sin cemento cubierta por material gallinero. El efecto drenante de los gaviones se manifiesta con la conducción al exterior del agua y con la evaporación a través de la piedra de relleno. Pertenecen a las denominadas estructuras a gravedad, que son aquellas en las que el peso propio es responsable de soportar el empuje del terreno que va a contener.

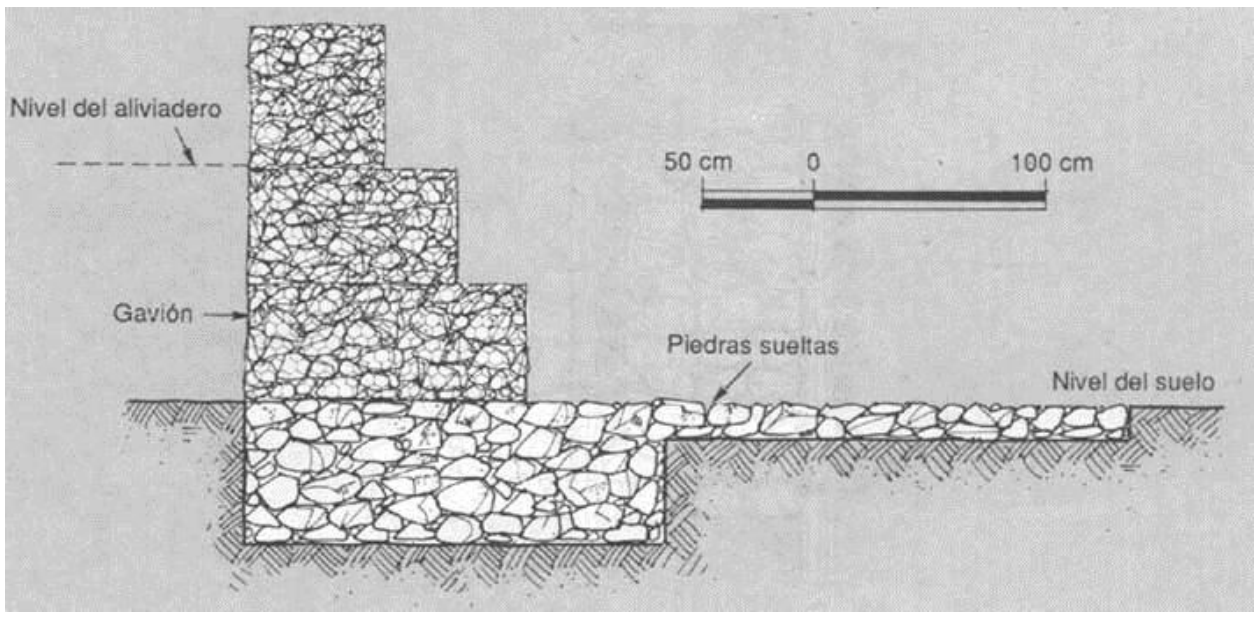


Figura 392. Modelo Esquemático de de construcción de gaviones.



Figura 393. Ejemplo de construcción de gaviones para protección del cauce. (Tomada de: http://conceptodefinicion.de/gavion/).

Características: Las estructuras de gaviones se forman por elementos metálicos hechos con malla hexagonal de doble torsión, llenados con piedras u otro material similar. Son estructuras sumamente ventajosas desde el punto de vista técnico y económico, ya que poseen un grupo de características funcionales que no hay en otro tipo de estructura.

Aplicación: Aquí se abre la posibilidad del empleo de material de desecho debidamente seleccionado, como por ejemplo escombros de vialidad, estructuras de concretos y otros. Existen dos tipos de gaviones

- Gaviones electrosoldados. Es una estructura en forma de caja rectangular, hecha con malla de alambre galvanizado eléctricamente soldado en todas sus intersecciones.
- Gaviones de doble torsión. Es un módulo en forma de caja rectangular, hecha con malla metálica tejida con doble torsión.

Ventajas: La estructura está diseñada para que se llene con piedras y formar así una unidad constructiva continua, de excelente presentación, de sólida conformación, capaz de soportar el dinamismo de las corrientes de agua, el empuje de masas de tierra, etc.; además, los espaciamientos o huecos entre piedra y piedra le dan a la construcción una permeabilidad que le permite drenar las filtraciones de agua por gravedad, así como no dejar que las cargas hidráulicas se desarrollan detrás de la pared de los gaviones.

Aplicaciones:

Defensa de márgenes de ríos, muros de encauzamiento, espigones y protección de diques.

Muros de contención y terraplenes, Protección de estribos y de puentes y de accesos.

Ventajas:

- Construcción rápida y sencilla.
- Adecuado para cualquier terreno.
- Material obtenido de desechos
- Monolítico.
- Resistente y durable.
- Flexible y armado
- Permeable

- De bajo impacto ambiental.
- Práctico y versátil.
- Mano de obra no especializada
- Buen comportamiento sismo terrestre
- Larga duración.

6.1.1.4 Filtros y drenes

Descripción: Capta el flujo sub superficial conduciéndolo de manera segura a sitios de disposición adecuados, lo cual reduce la presión de poro sobre las capas del subsuelo.

Material filtrante. Material pétreo que ejerce menor resistencia al paso del agua

Zanja. Excavación en tierra sobre la que se instalan el filtro o los drenes, debe tener pendientes.

Tubería perforada con filtro o sin filtro Permite la recolección del agua al interior del filtro y su conducción hacia puntos específicos,

Cámaras. Son cajas de ladrillo o concreto que permiten hacer cambio de direcciones, cambios de pendiente y encauzamiento de flujos de agua

Sistema de disposición. Requiere un sistema de disposición final

Funcionamiento: Los flujos de agua sub superficial se encuentran con los filtros y drenes y son captados al presentar menor resistencia a su recorrido que con el suelo, el geotextil evita que las partículas de suelo transportadas o empujadas por los flujos de agua sean arrastradas y deja pasar el agua en forma casi exclusiva En contacto con las gravas, el agua encuentra aún menos resistencia en el material filtrante y la pendiente de la zanja la conduce hacia la tubería perforada y finalmente a puntos específicos de recolección y disposición.

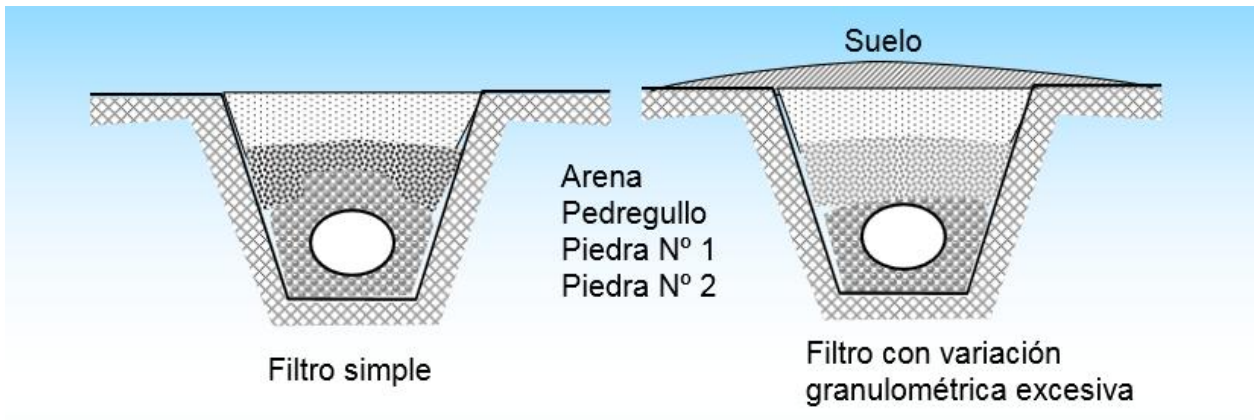


Figura 394. Esquema de construcción de un filtro y dren.

Ventajas:

- Excelente adecuación de flujo,
- Tecnología conocida por las comunidades,
- Permite el drenaje de caudales importantes que pueden generar inundación,
- Flexibilidad frente a fenómenos de movimientos de masa.

Limitaciones:

- Puede representar elevados costos,
- En la ejecución pueden presentarse problemas en su trazado por parte de las comunidades…

El Vortechs elimina el sedimento fino, partículas, libre de aceite, y los residuos de la escorrentía urbana. El diseño único permite una fácil inspección y mantenimiento de acceso fácil. Este sistema de alto rendimiento utiliza una combinación eficaz de la turbulencia-concentrador y del control de flujo para aprovechar al máximo las tecnologías de tratamiento.

6.1.1.5 Barreras

Descripción: Consisten en líneas de material dispuestas en curvas de nivel, sean pastos, arbustos, piedras, troncos de árboles, muros de concreto, que disminuyen la velocidad del agua y captan los sedimentos que transportan.

Principales usos y aplicaciones en la prevención y mitigación de desastres:

Deslaves, deslizamiento y erosión. Contienen y protegen áreas donde el suelo tiene alta potencialidad de fallar o donde ha fallado.

Tsunamis, oleajes y marejadas En el caso de este tipo de desastres pueden actuar como barreras de protección.

Inundación. Protegen el suelo y las hueras de ríos o quebradas que durante fenómenos de inundación se ven potencialmente afectados; permiten salvaguardar la infraestructura de servicios básicos.

Sismos. Actúan como contención frente a los movimientos de tierra, los cuales afectan la estabilidad de los suelos

Funcionamiento: Las barreras vivas pueden tener doble propósito: protección del suelo contra la erosión por retención de los sedimentos transportados por el agua y producción de forraje para alimentación animal. Deben complementarse con barreras de piedra, zanjas o terrazas. Las barreras de piedra se instalan en el sentido transversal del flujo del agua.

Ventajas: Recolección del agua de lluvia, lo que permite no generar nesgo de deslizamiento o erosión. Permiten el drenaje de caudales importantes que pueden generar inundaciones.

Su reparación es fácil dada la sencillez en el uso de ciertos materiales

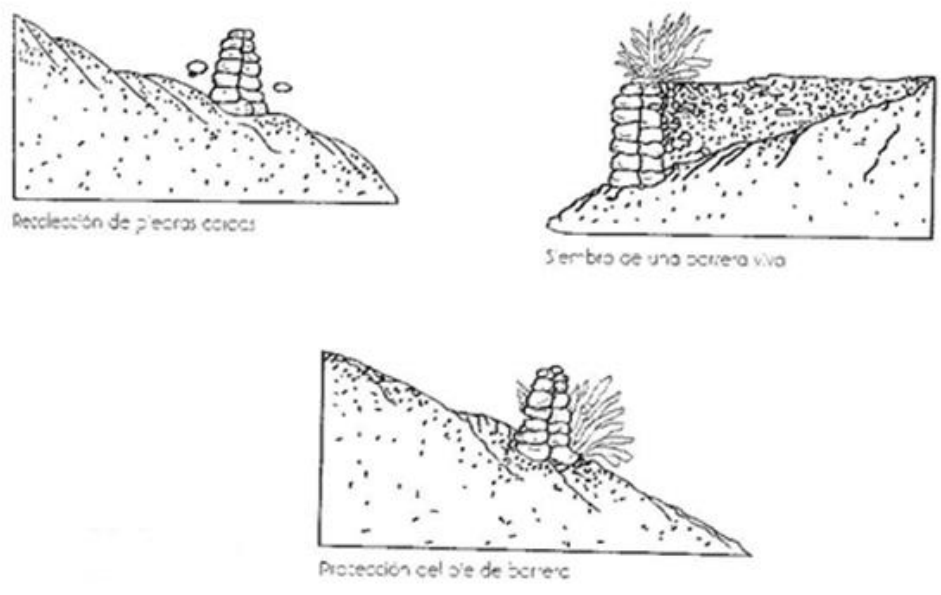


Figura 395. Esquema de construcción de una barrera.



Figura 396. Ejemplos de barreras construidas para protección contra inundaciones.

6.1.1.6 Zanjas

Descripción: Contienen y protegen áreas donde el suelo tiene alta potencialidad de fallar o donde ha fallado. Son empleadas para evacuar o retener el exceso de agua una vez que esta sea captada. Son canales angostos trazados transversalmente a la pendiente.

Cajas de inspecciono recolección. Son facilidades que permiten amortiguar, recibir, retener y/o desviar los flujos de agua transportada por las zanjas,

Funcionamiento: Retienen o evacúan los excesos de agua captados. Sobre la zanja pueden construirse cajas disipadoras de energía. Según sean las pendientes, la zanja puede ser revestida en piedra o con vegetación; se recomienda que las cajas disipadoras se protejan con piedras. Dependiendo de cómo se proyecten y de las condiciones del Terreno pueden funcionar para mantener cierta humedad en el suelo o para generar infiltración, para esto deben reconocerse el régimen pluviométrico, la distribución y la intensidad de lluvia en la zona la textura del suelo y la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua

Ventajas:

- Alto potencial de aplicación en zonas altamente pobladas
- Permiten el drenaje de flujos de aguas superficiales.
- Relativamente baratas.
- Son flexibles ante movimientos en masa.

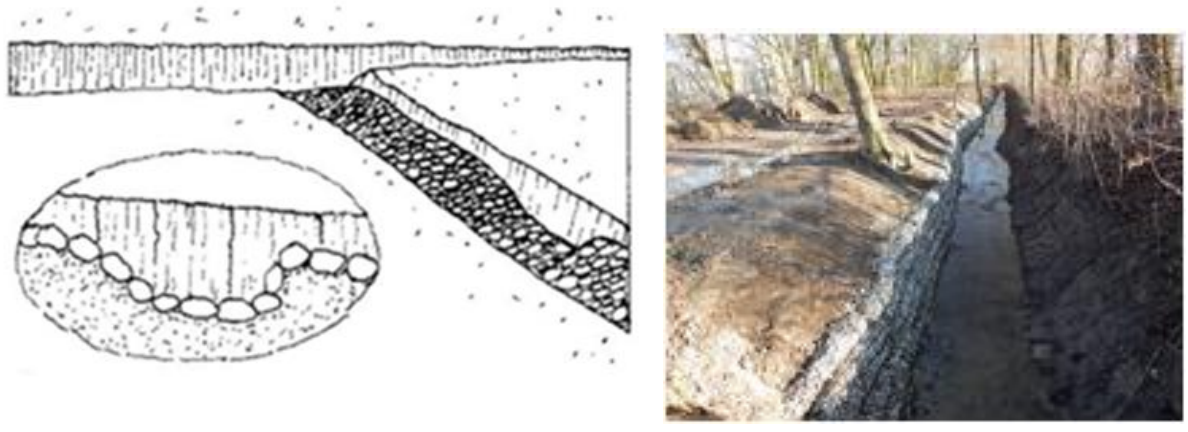


Figura 397. Esquema y ejemplo de construcción de una zanja.

6.1.1.7 Terrazas

Descripción: Contienen y protegen áreas donde el suelo tiene alta potencialidad de fallar o donde ha fallado. Son zanjas o terrazas construidas por buldóceres a lo largo de las curvas de nivel. El ancho mínimo depende del ancho de la máquina.

Funcionamiento: Las terrazas interceptan y retienen el agua pluvial de escurrimiento superficial en zonas degradadas de ladera, por ellos controlan la erosión causada por ésta, y por consiguiente protegen la infraestructura de los servicios.

Ventajas:

- Recolectan agua de lluvia, lo cual permite no generar riesgo por deslizamiento o erosión.
- Permiten el drenaje de caudales que pudieran generar inundación.

Nota: Deben construirse en sitios con las siguientes condiciones: más del 38% dependiente, menos del 10% de cobertura vegetal y en terrenos de relieve fuertemente quebrado; se construyen a partir de la parte más alta

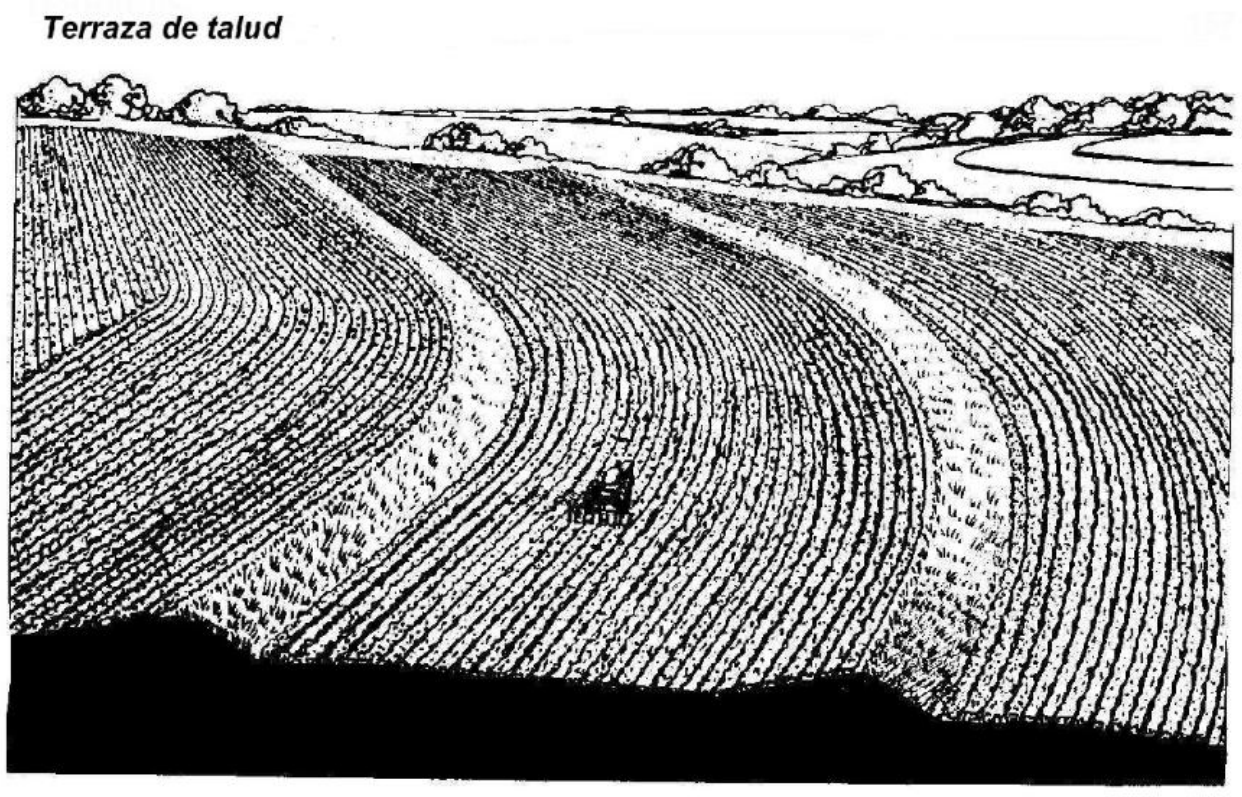


Figura 398. Construcción de terrazas para control de erosión y escurrimientos.

6.1.2 Control de medidas de erosión

Una de las mejores estrategias para prevenir los impactos de las inundaciones es la de minimizar la escorrentía generada por los cambios del uso del suelo. La muestra el impacto de la urbanización en la escorrentía, ya que estos son cada vez más elevados en áreas convencionales de nueva urbanización, pues el pavimento reduce el nivel de infiltración y presenta una rugosidad menor que el suelo natural.

Los sistemas de drenaje sostenibles (SuDS) son sistemas innovadores desarrollados en la línea del concepto de desarrollo sostenible. Estos sistemas también se diseñan para la gestión de los riesgos medioambientales resultantes de la escorrentía urbana y contribuir en la medida de lo posible a la mejora del medio ambiente.

Los objetivos de un sistema SuDS son: minimizar los impactos de la escorrentía generada, tanto en cantidad como en calidad, y maximizar las oportunidades de servicio y biodiversidad. La filosofía de los SuDS se centra en ejecutar una réplica, lo más cercana posible, del drenaje natural del lugar con anterioridad al desarrollo urbanístico (Woods-Ballard et al, 2007).

Los sistemas SuDS deben ser capaces de reducir la escorrentía generada mediante la integración de sistemas de control del agua de lluvia ubicados en el área, en pequeñas y discretas unidades. A partir del control efectivo de la escorrentía en su origen, no se requiere un elevado nivel de atenuación para caudales elevados, minimizando las estructuras de control necesarias (Woods-Ballard et al, 2007)

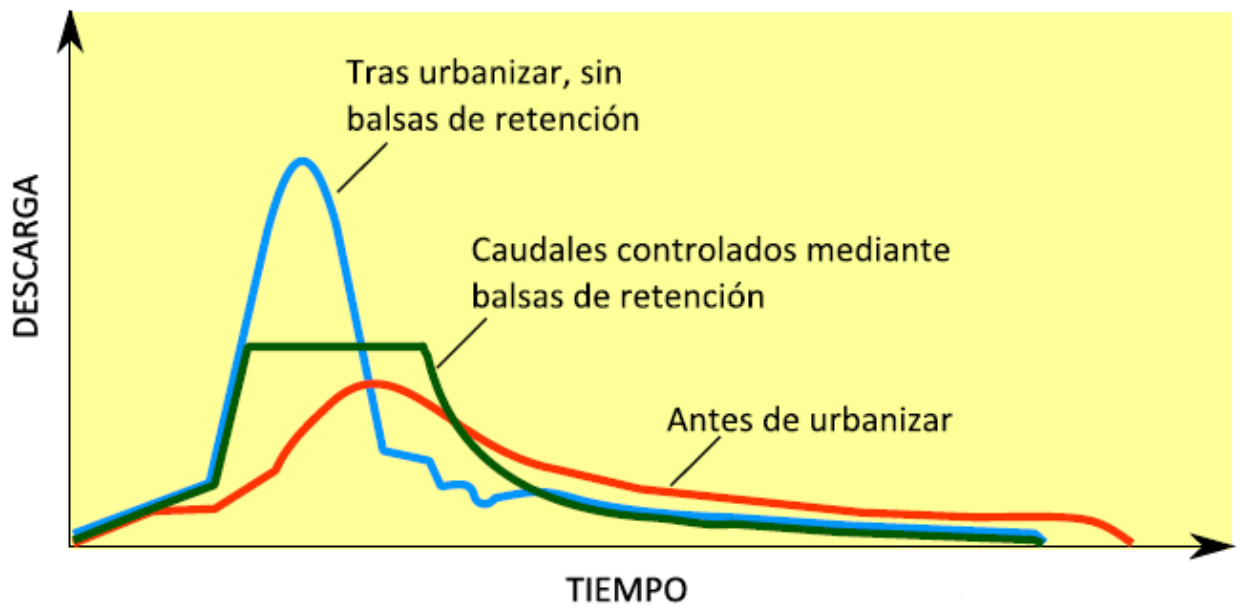


Figura 399. Hidrogramas para las condiciones pre y post urbanización, y efecto de sistemas de retención.

CUBIERTAS VEGETADAS. Establecer y mantener una cubierta vegetal perenne para proteger el suelo y los recursos hídricos en las tierras detraídas de la producción agrícola. Un sistema multicapa que cubre la cubierta de un edificio o bien una estructura con vegetación sobre una capa drenante. Se diseñan para interceptar y retener la precipitación, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando los caudales pico.

ÁREAS DE BIORETENCIÓN.: Estructuras de control de agua de lluvia que capturan y tratan el agua de escorrentía de eventos de precipitación de carácter frecuente. La calidad del agua se trata mediante vegetación en cuencas someras u otras áreas, de modo que se eliminan contaminantes.

FRANJAS FILTRANTES: Secciones del suelo uniformemente graduadas y con una elevada densidad de vegetación, diseñadas para tratar el agua de escorrentía y eliminar contaminantes por filtrado, mediante vegetación o infiltración.

ORDENACIÓN ECOLÓGICA DE LOS CULTIVOS. Secuencia de cultivos destinada a aportar residuos orgánicos adecuados para el mantenimiento de la aptitud de la tierra para la labranza Esta práctica reduce la erosión aumentando la materia orgánica. Puede también obstaculizar los ciclos de reproducción de malas hierbas e insectos y la propagación de enfermedades, reduciendo de esa manea la necesidad de plaguicidas. Un ejemplo seria la rotación de gramíneas y leguminosas,

LABRANZA CONSERVACIONISTA. Este sistema de plantación, conocido también con el nombre de labranza reducida mantiene al menos el 30 por ciento de la superficie del cielo cubierta con residuos después de la plantación La erosión se reduce gracias a la cubierta del suelo Disminuye también la escorrentía y aumenta la infiltración hacia las aguas subterráneas. Una práctica de este tipo, utilizada en América, consiste en prescindir de todo tipo de labranza.

CULTIVO EN CURVAS DE NIVEL. Las practican de aradura, plantación y algunas otras de ordenación se realizan siguiendo las curvas de nivel, con lo que se reduce la erosión y la escorrentía,

CULTIVOS PARA CUBIERTA Y ABONO VERDE. Cultivo de gramíneas, leguminosas o cereales pequeños sembrados a escasa distancia con la finalidad principal de conseguir una protección estacional y mejorar los suelos. Normalmente, durante un año, o menos.

PLANTACIÓN EN LAS ZONAS MÁS EXPUESTAS. Plantación de vegetación, como árboles, arbustos, parras, hierbas o leguminosas, en zonas sometidas a procesos de erosión o muy erosionables,

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LAS COSECHAS. Utilización de los residuos vegetales para protegerlos terrenos cultivados durante períodos de fuerte erosión.

RETRASO EN LA PREPARACIÓN DE LA SEMENTERA. Todo sistema de cultivo en que los residuos vegetales se dejan en la superficie del suelo hasta poco antes de la plantación de la cosecha siguiente. Con ello se reduce el período en que se puede producir la erosión.

DESVIACIONES. Canales construidos en sentido transversal en una ladera con un pequeño lomo de apoyo en la parte inferior. Controlando la escorrentía de la pendiente, se reduce la erosión y aumenta la infiltración hacia las aguas subterráneas.

MEJORA DE CUNETAS. Canales a cielo abierto con vegetación que tratan el agua de escorrentía por medio de celdas (húmedas o secas) construidas mediante bermas permeables.

FILTROS DE ARENA. Estructuras multicelulares diseñadas para el tratamiento de agua de escorrentía mediante filtración, empleando balsas de pre tratamiento de sedimentos, un lecho de arena como filtro primario y, normalmente, un sistema recolector bajo orden.

ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN SUBTERRÁNEAS. Estas estructuras permiten la retención de agua en el subsuelo, reduciendo el caudal de descarga por almacenamiento.

ZANJAS DE INFILTRACIÓN. Excavaciones poco profundas, rellenadas mediante escombros o piedras que constituyen un almacenamiento sub-superficial temporal para que el agua de escorrentía infiltre en el subsuelo circundante. Además, deben recibir caudal lateral desde una superficie impermeable adyacente.

PAVIMENTOS PERMEABLES. Proveen un pavimento adecuado para peatones y/o el tráfico rodado, a la vez que permiten la infiltración del agua de lluvia a través de su superficie hacia la capa inferior. El agua se almacena temporalmente antes de ser reutilizada o devuelta a un curso o sistema de drenaje

FRANJAS DE FILTRO Y DELIMITACIÓN DE LAS FINCAS. Franjas de vegetación herbácea perenne en el linde de las fincas. Con ello se frena la escorrentía y se detienen los sedimentos más gruesos Sin embargo, la eficacia es pequeña en el caso de los sedimentos finos y de los contaminantes a ellos asociados

CURSOS DE AGUA CUBIERTOS DE HIERBA. Cursos de agua natural o artificial cubiertos de vegetación y con una sección transversal apropiada para impedir la erosión del cauce La vegetación servirá también para detener los sedimentos que se filtran de las fincas adyacentes.

POZAS DE SEDIMENTACIÓN. Pozas construidas para recoger y almacenar los sedimentos durante los episodios de escorrentía Se conocen también con el nombre de estanques de retención Los sedimentos se depositan por efecto de la escorrentía durante el represamiento en la poza de sedimentación

CULTIVO EN FRANJAS. Distribución sistemática de los cultivos en franjas o bandas en sentido transversal al de la pendiente general (no siguiendo las curvas de nivel) para reducir la erosión del agua. Los cultivos se disponen de manera que se pueda alternar una franja de hierba o de cultivos sembrados muy próximos con una franja de barbecho o de un cultivo sin hierbas.

CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS. Las terrazas son terraplenes construidos de tierra (o de piedras u otros materiales) que retrasan la escorrentía y reducen la erosión fragmentando la ladera en numerosas superficies llanas separadas por pendientes protegidas con vegetación permanente. Las terrazas se construyen en tierras con inclinación muy pronunciada, en laderas de pendiente suave, las terrazas son muy anchas.

6.1.3 Inestabilidad y Deslizamientos de Laderas

Los procesos de deslizamiento de laderas (y fenómenos asociados) son manifestaciones naturales de la evolución del paisaje. Sin embargo, estos fenómenos se pueden acelerar bajo ciertas condiciones, principalmente en áreas urbanas o relacionadas con infraestructura, por lo que se debe reflexionar sobre las principales modificaciones en la dinámica de las laderas resultantes de las actividades antrópicas, dado que generalmente estas son las principales razones por las que estos eventos ocurren.

De acuerdo con Aceves y Audefroy (2005), las principales acciones antrópicas que inducen estos fenómenos son:

- Remoción de la cobertura vegetal (deforestación)
- Lanzamiento y concentración de aguas pluviales y/o servidas
- Fugas en la red de abastecimiento, alcantarillado y presencia de pozos negros
- Ejecución de cortes con geometría incorrecta (altura, inclinación superior a 45°)
- Ejecución deficiente de rellenos (compactación, geometría, cementación)
- Lanzamiento de basura en las laderas /taludes.

En condiciones extremas será necesaria la remoción total de la masa inestable, ya sea por el peligro que representa o por los riesgos inherentes a dicho peligro; considerando los siguientes criterios:

- Puede ocurrir la pérdida de vidas humanas al fallar el talud
- Si la falla puede producir la pérdida de más del 30% de la inversión de la obra.
- Se puede incurrir en pérdidas económicas indirectas considerables

Existe un catálogo de posibles obras que pueden mitigar los peligros de este tipo de fenómenos. A continuación se presenta un resumen de dichas estructuras.

6.1.3.1 Diseño del talud

La inestabilidad creada por la construcción de una obra civil se puede estabilizar por medio del diseño de un talud que considere las características geológicas de los materiales y las intensidades de lluvia ocurrentes en el sitio.

El diseño de un talud debe de incluir cuando menos los siguientes elementos:

- Diseño de la forma del talud, incluyendo pendientes, bermas, trincheras y estructuras de retención.
- Diseño de las obras de manejo de aguas de escorrentía
- Diseño de las obras de protección de la superficie del terreno.(Bioingeniería o recubrimientos)
- Diseño de las obras de control geotécnico (Subdrenajes, muros y otros sistemas de estabilización que se requieran).

6.1.3.1.1 Bermas

Las bermas son un espacio llano, cornisa, o barrera elevada que separa dos zonas, ya sea una carreta o vialidad o un espacio construido. Su objetivo central es la retención de material en caso de que exista algún desplazamiento de masas.

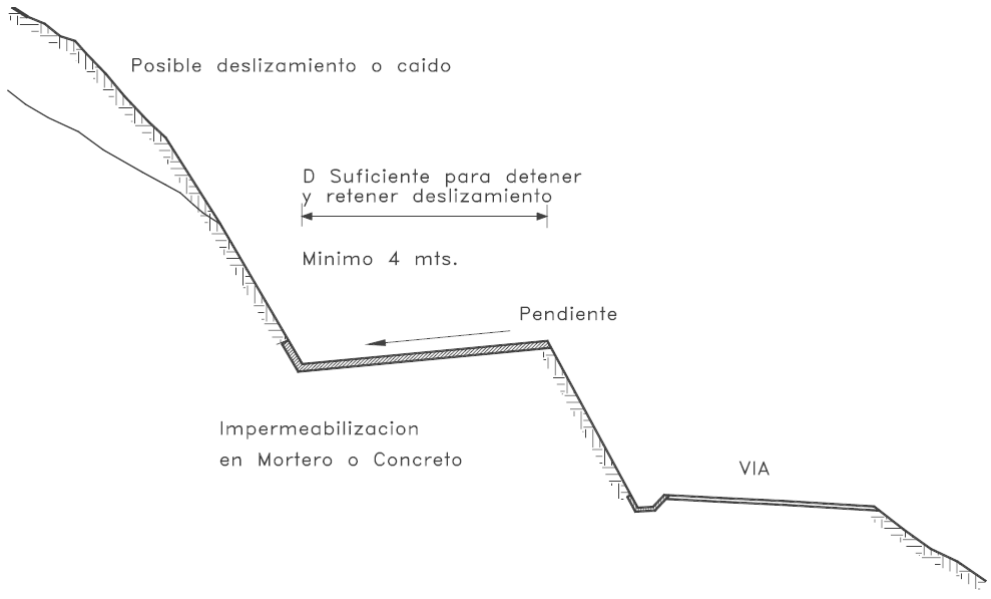


Figura 400. Estructura típica de una berma.

6.1.3.1.2 Trincheras

En general, una trinchera estabilizadora es una excavación dotada en su talud aguas arriba de una capa drenante con espesor comprendido entre 0.5 y 1.0 m. Su objetivo principal es la encausar y eliminar el agua resultante de escurrimientos en el talud y su vecindad.

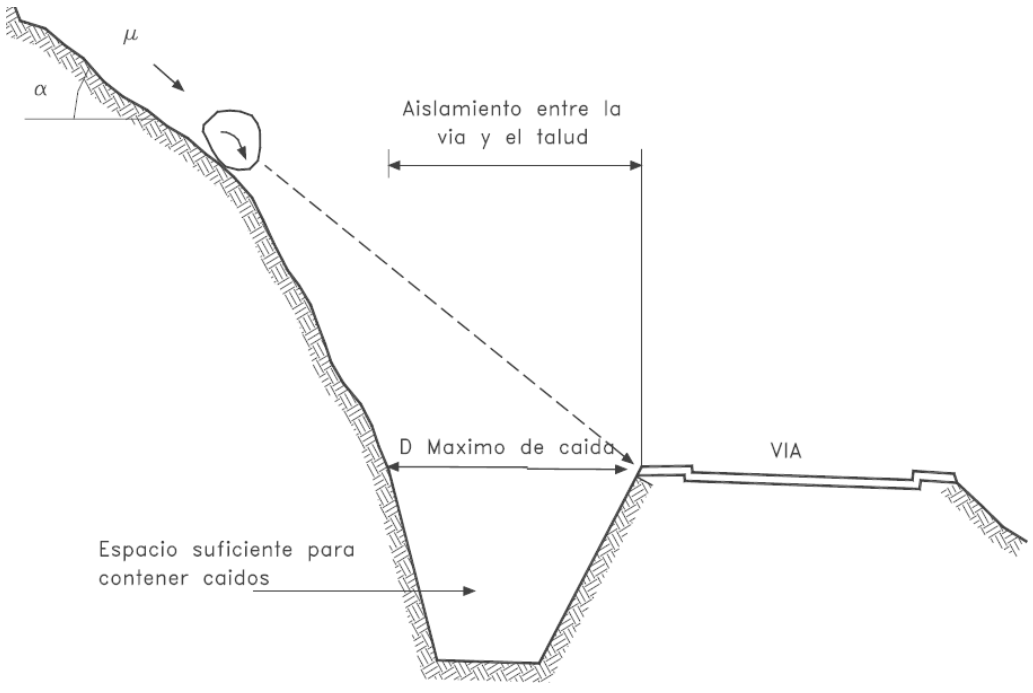


Figura 401. Estructura típica de una trinchera de retención.

6.1.3.1.3 Muros de retención

Los muros de retención se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales. Estas condiciones se presentan cuando el ancho de una excavación, corte o terraplén está restringido por condiciones de propiedad, utilización de la estructura o economía.

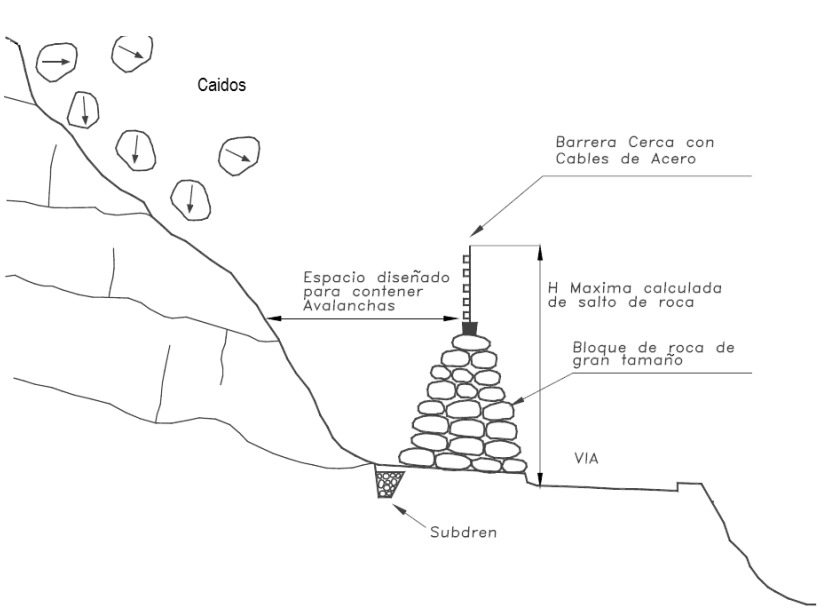


Figura 402. Estructura típica de una trinchera de retención.

6.1.3.2 Protección de taludes

Tanto en los desprendimientos de roca como de suelo, la masa se mueve rápidamente a través del aire en caída libre. No existe un movimiento lento que preceda al desprendimiento. Se presenta principalmente en las rocas afectadas por desintegración y descomposición, fallando en planos o superficies más débiles. Otra estrategia para la disminución del riesgo de caídos es la protección de taludes, en aquellos lugares en donde la litología origina la formación de rocas de considerable tamaño y que pueden poner en riesgo la ocupación del área construida. Estas estructuras

son típicas en los taludes expuestos en las carreteras, en donde es muy importante evitar la caída de rocas que pudieran llegar a impactar a vehículos en movimiento.

Mallas. Una alternativa útil a los sistemas mencionados en la sección 6.1.3.1 de este informe es la colocación de una malla de protección anclada al talud de la roca (). Debido a la limitación de espacio, no era posible continuar tendiendo el talud para lograr una menor inclinación y por lo que se opta por colocar una malla anclada de alambre y revestir toda la sección expuesta con hormigón, con lo cual evitan nuevos desprendimientos. La malla de alambre es comúnmente usada para detener la caída de roca y escombros en taludes expuestos, principalmente en caminos.

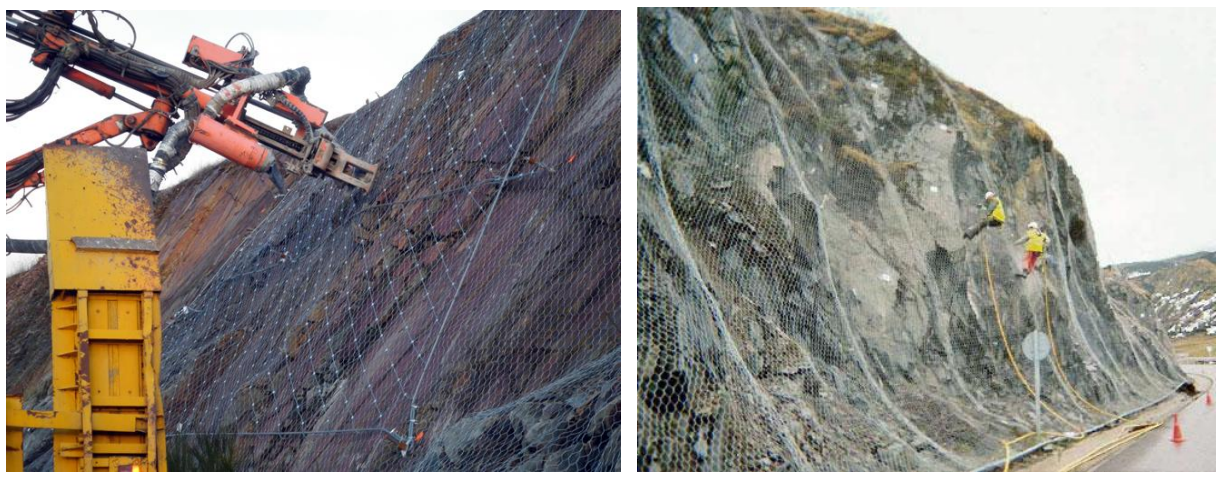


Figura 403. Instalación de mallas para protección de taludes.

Recubrimientos. Los recubrimientos en taludes pueden ser naturales (vegetación) o artificiales.

Concreto Lanzado. Para minimizar el desprendimiento de bloques y el deterioro de la superficie del macizo puede utilizarse el concreto lanzado. Se denomina concreto proyectado al mortero colocado por bombeo a presión con agregados hasta de 20 mm de diámetro.



Figura 404. Ejemplo de concreto lanzado en taludes.

Llantas de desecho (sistema Pneusol). Esta propuesta tecnológica fue desarrollada en Francia, y está basada en el aprovechamiento del elevado número de neumáticos usados que no pueden ser reabsorbidos por la industria para el reencauchado u otros procesos de reciclaje, lo cual los convierten en un grave problema de disposición final de desechos.

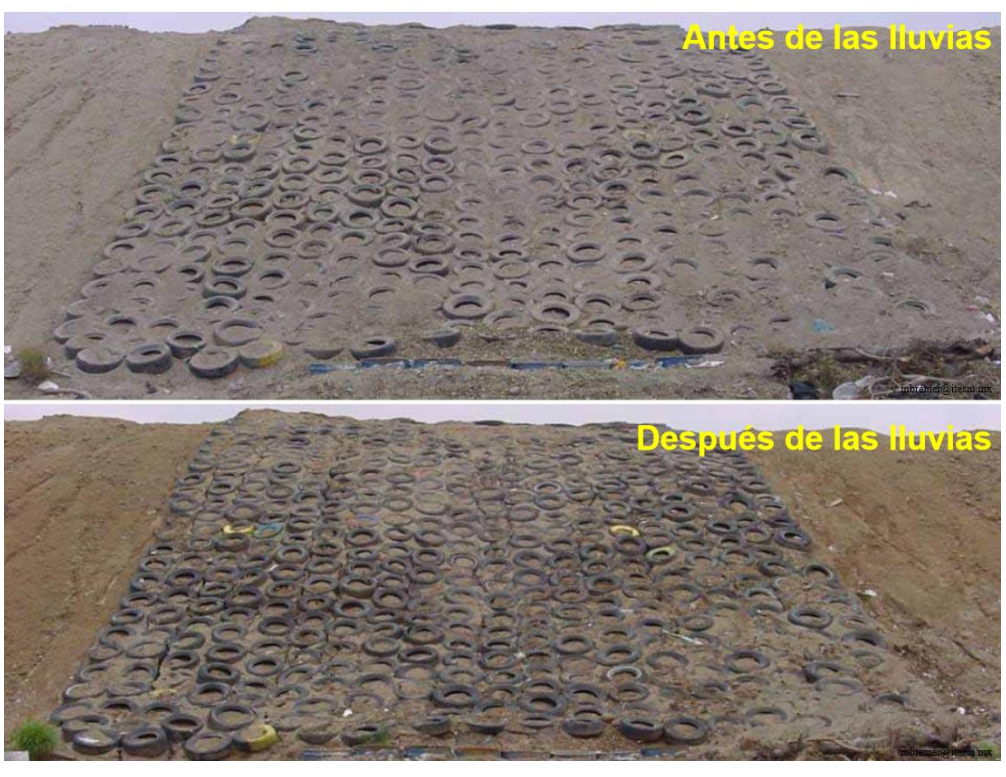


Figura 405. Protección de taludes con sistemas de llantas ancladas.

Cubiertas vegetadas. Un sistema multicapa que cubre la cubierta de un edificio o bien una estructura con vegetación sobre una capa drenante. Se diseñan para interceptar y retener la precipitación, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando los caudales pico.



Figura 406. Efecto de la vegetación protegiendo taludes contra la erosión.

Sistema Loffel. Es un elemento de un sistema para muros de contención prefabricado que llama la atención por su forma arquitectónica, evita la erosión superficial, deslizamientos locales y permiten la siembra de plantas.



Figura 407. Sistema Löffel de protección de taludes.

Muros Criba. Estos muros están formados por unidades estructurales individuales (construidos de concreto, metal estructural o madera), unidos en el lugar formado una serie de cajas huecas conocidas como cribas. Se rellenan de suelo y su estabilidad depende de su peso y el relleno, así como de la resistencia del suelo.



Figura 408. Muros criba para protección de taludes.

Muros de Gaviones. Al igual que en el caso de la protección de cauces, los muros de gaviones pueden ser utilizados como una solución práctica y económica para la protección de derrumbes en taludes.



Figura 409. Muros gaviones para protección de taludes.

Sistema Panda. El equipo PANDA consiste en un penetrómetro dinámico ultraligero, cuyo principio básico es el de “enterrar” en el suelo un tren de barras, provisto en su extremo inferior de una punta cónica, por medio de un hincado manual con la ayuda de un martillo estandarizado.

Características: Su poder de penetración permite al “Panda” controlar capas de suelos con resistencias de hasta 20-30 Mpa, y de 4-6 metros de profundidad (según el material). El aparato es muy eficiente debido a las características siguientes:

- Simplicidad de utilización de utilización,
- Pequeño tamaño: presentado dentro de una maleta de transporte con todos sus accesorios, el PANDA pesa solo 20 Kg.
- No necesita ninguna fuente externa de energía

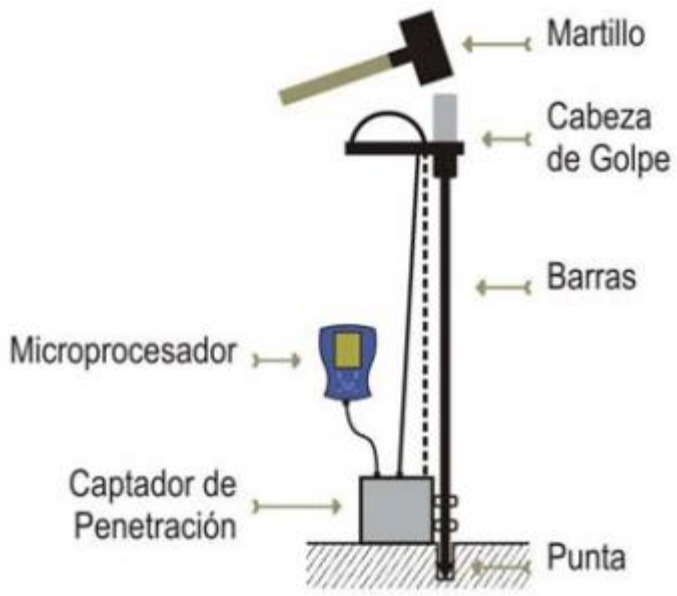


Figura 410. Penetrómetro Dinámico ligero PANDA.

Uso/Aplicación

Control de compactación:

- de zanjas estrechas (realizadas con equipos especiales),
- de zanjas comunes (de electricidad, gas, telecomunicaciones, agua, ...), de zanjas de saneamiento,
- de terraplenes diversos,
- de calles, rutas y autopistas,
- de presas o diques de tierra.
- Verificación de los espesores de capas,
- Verificación de la homogeneidad de compactación.

6.1.4 Zonas ya urbanizadas

La mitigación de riesgos en zonas ya urbanizadas presenta retos importantes, pues se carece de la flexibilidad de poder diseñar estructuras ad-hoc antes de la construcción de nuevas urbanizaciones.

Sin embargo, existen alternativas que se pueden usar para mitigar los riesgos. Algunas de estas opciones consisten en la construcción y mantenimiento de sistemas de drenaje que permita la evacuación de excedentes de agua (creado por el propio proceso de urbanización) que tiende a acumularse en las vialidades y que dificulta y en ocasiones obstruye la circulación de personas y vehículos.

Algunas estructuras que pueden ser construidas en estas zonas son:

Pozos absorción. Consisten en hoyos escavados en el suelo, rellenos de piedras de diferente tamaño, lo que facilita la infiltración del agua en el subsuelo.

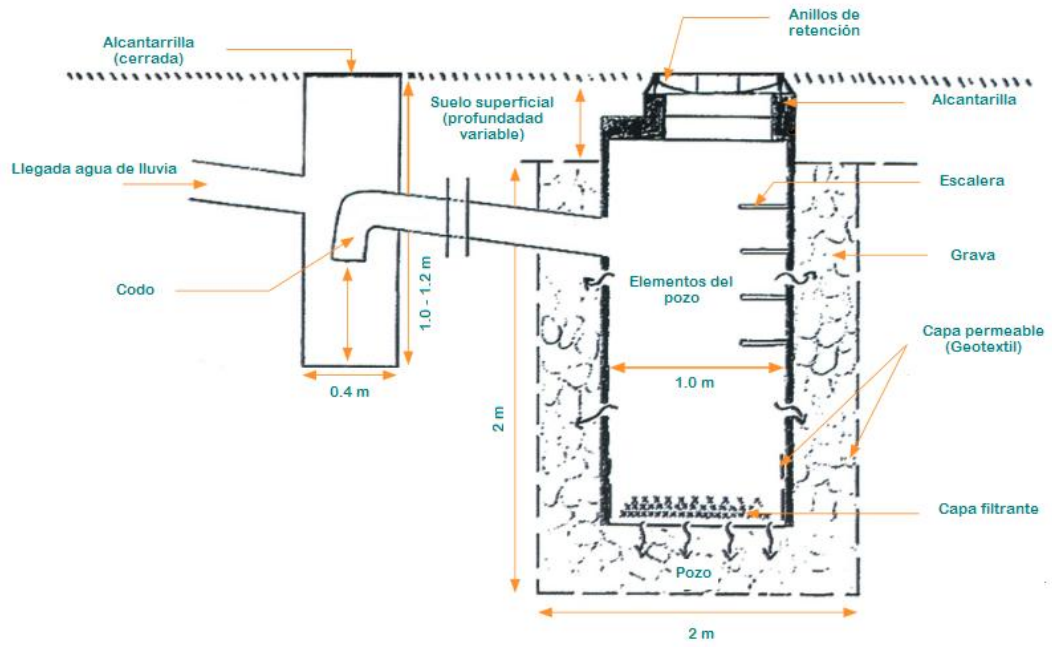


Figura 411. Modelo esquemático de un pozo de absorción (modificado de ADOPTA, La gestión durable des eaux pluviales)

Trincheras de drenaje. Son estructuras lineales horizontales diseñadas para facilitar la evacuación del agua a través de un tubo conductor.

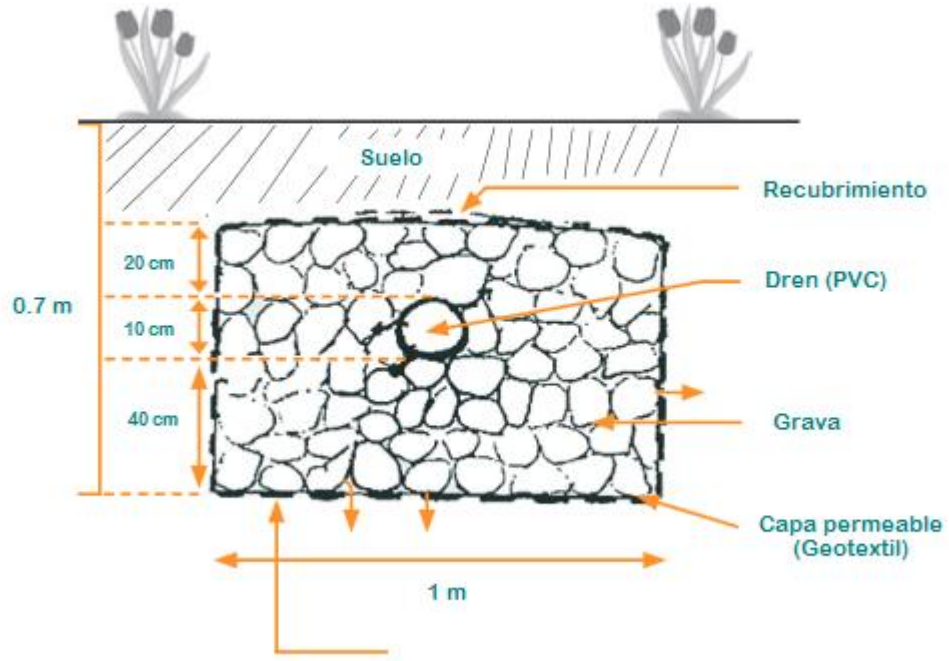


Figura 412. Modelo esquemático de un dren (modificado de ADOPTA, La gestión durable des eaux pluviales).

Adaptación de áreas como zonas de absorción. El propósito central de este tipo de estructuras, es la de mejorar la infiltración natural de agua de lluvia para retrasar la llegada de esta a los escurrimientos. Toma los escurrimientos de aguas arriba o los de la superficie para dirigirlos a las zonas de infiltración que pueden ser a cielo abierto, parques, camellones, banquetas, barrancas, cuencas, presas o canales. Se trata de estructuras de control que contienen el agua de lluvia permitiendo que el subsuelo la absorba, a la vez que evitan inundaciones. Estas estructuras pueden además cumplir una doble función: la primera como superficies de absorción, y la segunda, como parte del equipamiento urbano diseñado para embellecer a la ciudad.



Figura 413. Ejemplo de construcción de área de absorción en un camellón, Los Ángeles, CA.

6.1.5 Proyectos específicos

6.1.5.1 Arroyo “El Cuatro”.

En relación a las obras de mitigación, la zona más crítica en la zona urbana de Saltillo la representa la parte baja de la arroyo “El Cuatro”. El área más crítica en esta cuenca se localiza al norte de la ciudad en las confluencias de los arroyos “El Cuatro” y “Ceballos”. Se proponen las siguientes acciones para mitigar los impactos de las inundaciones en esta zona:

Estructuras de retención de los picos de gastos en las partes altas de la cuenca. Específicamente se propone construir un conjunto de presas de gaviones para retener los gastos pico durante eventos extraordinarios para evitar que en la parte baja de la cuenca ocurran inundaciones

severas. Esto implica llevar al cabo un estudio hidrológico e hidráulico de la cuenca, para lo cual se deberá contar con la información topográfica de alta resolución de toda la cuenca (dado que actualmente solo se cuenta con esta información para una porción de la misma, específicamente la zona ya urbanizada).

Canalizaciones en las zonas críticas. Para las zonas críticas (que se identifican en este trabajo, así como las que se reconozcan en el estudio sugerido en el párrafo anterior), se deberán desarrollar estructuras de canalización que permita el paso de los escurrimientos y eviten las inundaciones. Estas estructuras deberán de mantener la capacidad de infiltración natural del cauce y las zonas aledañas, por lo que se deberán construir con estructuras permeables que faciliten la infiltración. **NO se deberá** de canalizar con concreto que impida la infiltración en el cauce.

Estructuras de infiltración. En la parte baja de la cuenca se deberá de diseñar y construir zonas de infiltración, que sean capaces de retener los escurrimientos que se produzcan en la cuenca. Estas estructuras podrán consistir de parques, camellones y otras áreas que no cambiaran en su uso del suelo en un periodo largo de tiempo.

6.1.5.2 Arroyo Pereyra.

Durante los recorridos de campo, se identificó en el arroyo un relleno y alcantarilla que prácticamente tiene bloqueado los escurrimientos. Este relleno se usa como patio de maniobras de camiones de transporte público.

Este proyecto deberá consistir de la remoción del material de relleno del cauce, así como la búsqueda de un área alternativa para la ubicación del patio de maniobras de los camiones urbano.



Figura 414. Patio de maniobras de autobuses urbanos obstruyendo el arroyo Pereyra.

6.2 Políticas Públicas

En relación a las políticas públicas, las autoridades municipales enfrentan tres grandes retos: las políticas y reglamentos para los nuevos desarrollos urbanos; las políticas a implementar en la zona ya construida de la ciudad; y las estrategias a implementar en las zonas rurales para evitar la exposición de la población a los peligros naturales.

6.2.1 Nuevos desarrollos urbanos

En México, existen una gran cantidad de zonas urbanas en donde hay áreas potencialmente afectables por peligros naturales que han sido ocupadas por viviendas e infraestructuras a causa de una disminución en la percepción del riesgo, tras la construcción de nuevas medidas estructurales, modificando la dinámica del fenómeno perturbador y aumentado los niveles de riesgo.

Probablemente en donde las políticas municipales puedan ser más fácilmente implementadas son en los nuevos desarrollos urbanos. Evidentemente, una política que deberá observarse estrictamente es la autorización de nuevos desarrollo (tanto habitacionales, como comerciales e industriales) fuera de las zonas de riesgos identificadas en el atlas. Dicha acción deberá ser sustentada por la reglamentación correspondiente, de tal manera que se evite el uso de instrumentos jurídicos para violentar esta reglamentación.

Las restricciones que se propongan pueden variar desde la prohibición de determinados usos del suelo (como residencial, industrial, etc.) hasta requisitos en cuanto a utilización de materiales de construcción y elementos estructurales resistentes a la acción de los fenómenos perturbadores.

El municipio deberá buscar a aprobación de nuevos reglamentos de construcción (tanto de nuevas casas, edificios u otras estructuras, como de fraccionamientos) que busquen minimizar el incremento de escorrentías por los cambios en la cobertura y uso del suelo que estos nuevos desarrollos representan.

La determinación de los parámetros de escurrimiento permitido por unidad de superficie deberá de realizarse por medio de estudios específicos que permitan definir valores de acuerdo a los tipos de construcción planeada, las condiciones biofísicas presentes en el sitio (vegetación preexistente, tipo y permeabilidad del suelo) la posición del desarrollo en la cuenca y las proyecciones sobre el crecimiento urbano.

6.2.2 Monitoreo y vigilancia

Otra acción de política púbica deberá ser la del monitoreo del proceso de construcción de nuevos fraccionamientos, donde se busque evitar los cambios innecesarios de la cobertura del suelo, para evitar incrementar innecesariamente los gastos de agua resultantes de estos cambios, así como afectaciones a la estabilidad de laderas (en aquellos sitios que estos represente un peligro).

6.2.3 Techos Verdes.

Relacionado al planteamiento anterior, una estrategia que está dando buenos resultados e nivel mundial es el uso de los denominados “Techos o Azoteas Verdes”. Es una superficie en donde se siembran las plantas y estas crecen sobre la azotea de algún edificio o de casas (Urbieta, 2005). Muchos son los beneficios que se obtiene con este tipos de estructuras, entre los más importantes destacan: El espacio verde recuperado ayuda a purificar el aire y reducir los gases contaminantes en el entorno, reduce el nivel de ruido, regula el clima local, pues ayuda a regular la temperatura interior de las casas, manteniéndolas frescas en verano y bloqueando el frío en invierno, al tener una mayor superficie con follaje, se contribuye a la retención de polvo contaminante en el aire. Es un espacio para cultivar alimento, aprovecha el agua de lluvia y la luz solar, reduce las aguas de lluvias, anegaciones y contaminación del agua, reducen los niveles de gases con efecto invernadero, evitar los impactos provenientes por el calor o el frío excesivo, se convierte en un refugio para la vida humana, flora y fauna.

En relación a los peligros geológicos, la nueva reglamentación deberá considerar los resultados de este estudio, así como de las actualizaciones que se le harán al Atlas de Riesgos en el futuro, conforme nuevas técnicas y datos de mejor resolución se hacen disponibles. La regulación deberá ser flexible, es decir, buscara minimizar la exposición de la población a los peligros, pero permitirá modificar las estimaciones de este cuando existan datos y estudios de mayor resolución, que permitan modificar los niveles de peligro identificados en este Atlas de Riesgos.

6.2.4 Coordinación entre autoridades

La gestión de los riesgos en el municipio deberá ser por medio de un sistema de coordinación que se enfoque en la mejora de la comunicación entre diferentes organizaciones y agentes intervinientes con un papel de relevancia en la gestión del riesgo.

Estas acciones se pueden clasificarse en dos grupos: el primero consiste en las gestiones generales que facilitan la coordinación entre elementos integrantes del sector gubernamental, desarrollando planes de y estrategias para reducir el riesgo; o bien, las prácticas o reglas de operación a ejecutar. El segundo grupo recoge las medidas para una coordinación adecuada durante la emergencia, mejorando la efectividad de otras medidas no estructurales.

6.2.4.1 Coordinación general

El objetivo general de esta fase en la de definir los procesos a seguir durante la ocurrencia de una contingencia, y precisar el papel de las fuerzas de seguridad y orden durante la misma. Algunos ejemplos específicos de estas son:

- Creación de un grupo coordinador de acciones para la condición previa, durante y posterior a la ocurrencia de un evento perturbador.
- La elaboración de planes de gestión ante la posibilidad de ocurrencia de un evento perturbador.
- Definir planes de emergencia durante la ocurrencia de un fenómeno perturbador

El sentido de estas tres acciones es la de evitar en lo posible, la improvisación de acciones que pueden llegar a ser improductivas o en el peor de los casos contraproducentes.

6.2.4.2 Coordinación durante la ocurrencia del evento perturbador.

En este caso, se busca una comunicación eficaz entre agentes, un funcionamiento correcto de los sistemas de aviso y de los procedimientos de evacuación. Algunas acciones que se deberán desarrollar son:

- Predicción. Con base en la información disponible y los modelos pre construidos, producir pronósticos y enviarlos a los agentes integrantes del sistema de protección civil.
- Pre-caracterización. En la medida de lo posible, llevar al cabo un pre-caracterización del fenómeno, para poder notificar a las autoridades y población en general sobre el riesgo potencial.
- Construir un sistema de alerta temprana que permita divulgar eficientemente la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno y de su posible impacto.

6.2.5 Planificación del desarrollo

Una acción a largo plazo que puede rendir frutos es el esfuerzo de planificación del desarrollo.

La estrategia para la elaboración del Plan deberá reflejar las inquietudes y propuestas de los principales actores, realizada a partir de talleres coordinados por técnicos municipales. Los resultados son sintetizados por los técnicos municipales y presentados a la población como parte de un programa de consulta pública, para que realice los comentarios que considere pertinente.

Conceptualmente, el Plan de Desarrollo deberá incluir el plan de gestión de riesgo definido por el Atlas de Riesgos, así como los planes de expansión municipal identificados por las autoridades y los planteados por los particulares.

Una alternativa a los planes convencionales de desarrollo urbano, son los Sistemas Urbanos de Diseños Sostenibles (SUDS), definen una postura de sostenibilidad al proceso de desarrollo urbano, y comprenden un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de las aguas pluviales dando tanta importancia a los aspectos medioambientales y sociales como a los hidrológicos e hidráulicos.

El concepto central de los SUDS es el de reproducir los más fielmente posible, el ciclo hidrológico natural previo al proceso de urbanización o intervención humana. Se busca minimizar los impactos del desarrollo urbano en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en origen, durante su transporte y en destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de la actuación (Woods-Ballard, et al., 2007)

Las posibles opciones de infraestructura que se pueden construir incluyen:

- Sistemas de infiltración
  - Superficies permeables
  - Pozos y zanjas de infiltración
  - Depósitos de infiltración
  - Cubiertas naturales
- Sistemas de transporte permeable
  - Drenes filtrantes
  - Cunetas verdes
  - Franjas filtrantes
- Sistemas de tratamiento pasivo
  - Depósitos de detención
  - Estanques de retención
  - Humedales artificiales

6.2.6 Cambio climático

El cambio climático es un proceso a largo plazo que afectara directa o indirectamente muchas de las actividades humanas. Las consideraciones relacionadas con los cambios en la precipitación pluvial y el clima a nivel local y regional, están directamente asociadas a fenómenos meteorológicos cuyo origen se da a niveles internacionales y globales. El cambio climático afectara además a los servicios ecosistémicos presentes en un territorio dado, afectando a su vez la capacidad de resilencia de los ecosistemas y de los pobladores que dependen de estos sistemas.

Probablemente el elemento más amenazado por el cambio climático, es la disponibilidad de agua tanto para consumo humano, como para uso industrial y agrícola. Este factor afectara a su vez a la vulnerabilidad de la población.

6.3 Educación y Comunicación.

Las acciones de educación relacionadas con los peligros y riesgos naturales en el municipio se podrán enfocar en tres grandes áreas.

6.3.1 Campañas de educación para la prevención.

La educación y el entrenamiento, tanto formal como informal, preparan a las personas de todo nivel para participar en el manejo del peligro y la ponderación de los riesgos. El proceso de aprendizaje puede llevarse al cabo de muy diversas maneras, mediante el uso de folletos, volantes o anuncios en la vía pública. También se puede echar mano de los sistemas de comunicación (radio, TV e internet), desarrollando producciones que permita identificar los peligros y riesgos y ponderara las opciones de mitigación. Además, se pueden preparar cursos, talleres, conferencias y seminarios organizados por agencias especializadas de asistencia para desastres, dirigidos a distintas audiencias: Escuelas, Organizaciones de la Sociedad Civil, Sindicatos y empleados de gobierno.

La sensibilidad de la población ante este tipo de riesgos, aumenta cuando la sociedad acaba de enfrentar algún desastre. Las investigaciones post-desastre describen los aspectos cualitativos y cuantitativos de los peligros naturales y, frecuentemente, mejoran la información producida por modelos y conjeturas, indicando en qué áreas el desarrollo debe ser muy restringido o evitado.

Resultados directos del proceso de aprendizaje son (1) revisar y (en su caso) mejorar las políticas y las acciones los sistemas de prevención, los reglamentos de construcción, las normas, las capacidades de construcción y diseño; (2) el desarrollo de legislación para la adopción de estas políticas y el fortalecimiento o creación de nuevas organizaciones de desastre; (3) el mejoramiento de los aspectos importantes de logística para la prevención de desastres, tales como sistemas de comunicación y de alertas; y (4) el establecimiento de organizaciones comunitarias y de recursos para confrontar desastres futuros.

6.3.2 Campañas de educación para el mejor uso de los escurrimientos urbanos.

Una acción de educación específica que deberá llevarse al cabo, tiene que ver con el uso de los cauces de los arroyos en la zona urbana. Durante nuestros recorridos de campo, pudimos percatarnos que la ciudadanía no considera a los cauces como una parte importante del paisaje urbano; esto se refleja en las grandes cantidades de basura y materiales desecho de construcción que azolvan a los arroyos de Saltillo.

El municipio deberá impulsar una agresiva campaña de educación sobre el uso de los arroyos que atraviesan la ciudad, para modificar el comportamiento de la ciudadanía en relación al uso de estos; en particular, el evitar que sean empleados como basureros clandestinos, ya que estas acciones tiene un impacto negativo en los cauces, la salud de los pobladores que habitan en la cercanía de estos y en el paisaje urbano en general.

6.3.3 Capacitación del personal municipal

El primer frente de personal que permitirá modificar muchos de los comportamientos negativos en relación a los peligros y riesgos naturales en el municipio, son los empleados del propio municipio. Ellos son los encargados de hacer cumplir las leyes y reglamentos relacionados con los aspectos de protección civil. Por lo que será una tarea primordial el sensibilizarlos y motivarlos a cumplir y hacer cumplir dichos reglamentos. Estos ciudadanos son tanto habitantes de la ciudad, como funcionarios y empleados municipales, por lo que participación en el esfuerzo por hacer cambiar el comportamiento de los habitantes del municipio, es muy importante.

6.3.4 Comunicación

La comunicación es una acción fundamental en la reducción de riesgos. Básicamente, se pueden identificar dos estrategias de comunicación: por una parte, los procedimientos de comunicación general a la población en materia de riesgos, ya que aporta un mejor entendimiento del riesgo existente, además de facilitar el conocimiento de los procedimientos de actuación durante un evento dado; por otra parte, la comunicación durante el evento se centra en el aviso a la población sobre la amenaza de carácter inminente, mediante la utilización de sistemas de alarma. Esta actividad implica generar una coordinación muy estrecha entre los tres niveles de gobierno y sus diferentes componentes, estas son: IMPLAN, unidades de las protección civil, policía, Desarrollo urbano, y muy importante las jefes ejecutivos a nivel municipal y estatal.

La comunicación sobre riesgos debe ser continua, buscando informar y educar a la población de los peligros más frecuentes y/o severos que enfrenta, así como de las estrategias de mitigación y respuesta ante la presencia de un evento perturbador. Esta actividad implica generar una coordinación muy estrecha entre los tres niveles de gobierno y sus diferentes componentes, estas son: IMPLAN, unidades de las protección civil, policía,, Desarrollo urbano, y muy importante las jefes ejecutivos a nivel municipal y estatal.

Otro elemento importante en este proceso son los medios de comunicación, en particular los electrónicos, ya que estos pueden responder muy rápidamente ante la ocurrencia de un evento. Habrá que desarrollar sistemas de comunicación y coordinación entre las autoridades municipales y los medios para este fin.

6.3.5 Movilización

Ante situaciones extremas, es necesario recurrir a los procesos de movilización y evacuación, dichas labores incluyen las acciones llevadas a cabo por fuerzas de seguridad y servicios de emergencia para la reducción de los impactos de un evento. Se clasifican en tres categorías en función del tiempo disponible para la evacuación (Jonkman, 2007):

Evacuación preventiva
Evacuación forzosa
Huida.

6.4 Atlas de riesgos y otros instrumentos

Las universidades, centros de investigación y agencias gubernamentales juegan el principal rol formal en la preparación de individuos y la comunidad antes las amenazas naturales. En relación al Atlas de Riesgos, existen varias acciones que las autoridades municipales en colaboración con otras organizaciones deben de implementar para que el Atlas sea una herramienta útil para la toma de decisiones.

6.4.1 Administración del Atlas de Riesgos.

El Atlas de riesgos es una herramienta computacional cuya efectividad depende de tres aspectos: la integración horizontal del Atlas de Riesgos; la capacitación del personal encargado de su operación y de la disponibilidad de datos adecuados para el Atlas.

En relación al primer punto, el municipio deberá asignar la administración del Atlas de Riesgos al IMPLAN, dado su carácter de elemento regulador del desarrollo municipal y su capacidad de visualizar y entender los distinto aspectos de la administración municipal.

Esto no implica que el único usuario del Atlas será el IMPLAN, todo lo contrario; como parte del diseño computacional del uso del Atlas de Riesgos, se deberá contemplar la interconexión de los distintos elementos del gobierno municipal (Protección civil, Desarrollo Urbano, Policía, Ecología, etc.) al sistema de manejo del Atlas, de tal manera que la coordinación de acciones en relación a una amenaza específica se pueda dar de manera horizontal entre las unidades de acción del gobierno municipal.

Con respecto al segundo punto, se propone que el municipio contrate y capacite a personal especializado que sea el encargado del manejo del atlas de riesgos municipal y que mantenga una estrecha comunicación y coordinación con otros elementos del gobierno municipal para garantizar la fluidez en la comunicación (en caso de la presencia de alguna amenaza), así como en el proceso cotidiano de mantenimiento del Atlas de Riesgos.

6.4.2 Actualización de datos

Una premisa básica en el desarrollo y uso del Atlas de Riesgos, es que su efectividad depende directamente de la calidad de los datos usados en su elaboración. Y la calidad de los datos depende de las especificaciones técnicas para su colecta y análisis, así como de la actualidad de los datos.

El municipio deberá buscar un financiamiento fijo para la actualización de datos pertinentes al Atlas de Riesgos. De particular relevancia son los datos topográficos, climatológicos y de población. Los primeros (tal y como se demostró en este estudio) se pueden adquirir y actualizar por medio de tecnología de Lidar aéreo, misma que dan un cubrimiento consistente y puede generar información a resoluciones muy finas. La información climatológica puede obtenerse, por medio una inversión (compartida entre el municipio, el gobierno del Estado y la CONAGUA) en la adquisición de estaciones meteorológicas automáticas, que capturen los datos del clima en tiempo real, y transmitan la información al IMPLAN y otras dependencias de gobierno.

Finalmente, la información de población podar obtenerse de los datos que el INEGI colecta cada 5 años durante los censos de población. Pero también deberá buscarse el actualizar y mejorar los sistemas de manejo de información catastral (tanto urbana como rural) de tal manera que Catastro pueda ser una fuente importante de información sobre el uso del suelo municipal.

6.4.3 Estrategias de predicción

La predicción de la ocurrencia de un fenómeno perturbador (de ser posible esto) es una herramienta importante en la reducción del riesgo que este fenómeno implica, ya que puede reducir ampliamente las consecuencias de la misma, combinada con adecuados sistemas de aviso y procedimientos de evacuación.

El intervalo de tiempo de anticipación es el margen existente desde que se predice la ocurrencia de un fenómeno perturbador hasta que éste tiene lugar; y se le denomina “tiempo de predicción” o “tiempo de aviso”. Mientras más grande sea este periodo, mayor será la efectividad de las medidas para evitar consecuencias; La posibilidad de poder llevar al cabo la predicción dependerá de varios factores: la existencia de un “Atlas de Riesgos” operacional y actualizado (ver sección 6.4.1 de este informe); la capacitación del personal responsable del Atlas de Riesgos (Ver sección 6.4.1 de este informe) y de otras agencias municipales relacionadas con el tema (protección civil, policía, desarrollo urbano); y de la disponibilidad de información actualizada (Ver la sección 6.4.2 de este informe).

Se deberán construir herramientas predictoras consistentes en dos fases: La primera fase consiste en la predicción (ya sea meteorológica o geológica) y se basa en el conocimiento científico y el uso de nuevas tecnologías para predecir el estado de un fenómeno perturbador a corto plazo y su potencial ubicación. La segunda fase corresponde con la pre-caracterización de avenidas, de los posibles impactos de dicho fenómeno perturbador, de tal manera que se pueda implementar acciones coordinadas para minimizar o en su caso evitar los impactos del fenómeno perturbador.

6.4.4 Coordinación intra-municipal en la colecta y uso de la información

El municipio deberá diseñar y financiar estrategias de colecta de información y un sistema de coordinación de manejo de la información, que de acceso a todas las agencias del gobierno municipal a dicha información. Deberá basarse en la premisa de que lo que no se mide no se puede evaluar, y que la persona o agencia gubernamental más adecuada para colectar la información, es aquella que la necesita para tomar decisiones; por lo que su motivación para impulsar la colecta de datos es alta.

6.4.5 Peligros antropogénicos

En el Atlas de Riesgos que recibe el municipio de Saltillo, solo se analizaron los fenómenos naturales: hidrometeorológicos y geológicos. Para completar la tarea de prevención de riesgos a nivel municipal, se deberán analizar también los riesgos de tipo Químico-tecnológicos relacionados con el almacenamiento, uso y transporte de substancias químicas que pueden poner en riesgo la vida y bienes de los ciudadanos del municipio. De menor probabilidad de ocurrencia, pero que también pueden llegar a representar un riesgo a la población son los fenómenos Sanitario-Ambientales, definidos como una calamidad que se genera por la acción patógena de agentes biológicos que atacan a la población, los animales o las cosechas, causando su muerte o la alteración de su salud. Los peligros y riesgos sanitarios se presentan principalmente por el acelerado crecimiento de la población y el desarrollo industrial. Estas se ubican con más frecuencia en lugares con mayor concentración humana

6.4.6 Estudios específicos

Se requieren estudios específicos para el diseño de las obras de mitigación que se proponga construir el municipio, en atención a los resultados presentados en el Atlas de Riesgos. Específicamente se deberán de realizar proyectos ejecutivos de las obras requeridas para la resolución de los problemas de inundaciones (fluviales y pluviales) producidos por el arroyo “El Cuatro”.

De igual manera hace falta obtener información más precisa sobre la litología, rumbos y echados de rocas para poder estimar más adecuadamente los riesgos geológicos asociados a los caídos, derrumbes y movimientos de masas.

Otro elemento de información de gran importancia son los datos climatológicos. El municipio de Saltillo deberá buscar un convenio de colaboración con la CNA para ampliar la red de observatorios climatológicos automáticos en el territorio municipal, para poder implementar un sistema de alerta temprana que se base en la información colectada por esta red de estaciones.

6.5 Acciones concretas.

Las acciones concretas que se pueden implementar consisten en trabajos que permitirán mejorar las condiciones básicas de la red hidrológica de la zona urbana, impactando también en los aspectos de salud pública e imagen urbana.

6.5.1 Limpieza de la red hidrológica urbana

Tal y como se menciona en la sección 5.3.11, en los recorridos de campo se encontró una gran cantidad de basura en los arroyos urbano. La remoción de la basura acumulada en los arroyos deberá ser una tarea que las autoridades municipales lleven al cabo con el objeto de minimizar el arrastre de materiales que pueden crear problemas de azolve o contaminación aguas abajo.

Deberá ser una tarea permanente de las autoridades, en colaboración con la ciudadanía, ya que son estos últimos los que en primer lugar son los generadores de estos desecho y también pueden ser la primer línea de vigilancia del estado de los arroyos, a través de campañas de educación cívica (ver 6.3 – Educación y Comunicación de este informe) y acción comunitaria.

6.5.2 Recuperación de la capacidad del gasto de los arroyos

Relacionado con el punto anterior está el proceso de remoción de azolve en los cauces de los arroyos.; así como la reingeniería de estructuras que obstaculizan el libre paso del agua en los escurrimientos. Esto tendrá un impacto directo en la capacidad de gasto de los arroyos, así como en el comportamiento hidráulico de los mismos, evitando puntos de conflicto en donde la capacidad de los arroyos este disminuida y exista la posibilidad de retención de escurrimientos, pudiendo originar inundaciones.

De igual manera que en el punto 6.5.1(Limpieza de la red hidrológica urbana), este trabajo deberá ser permanente y ligado a acciones de vigilancia para evitar que acciones clandestinas vuelvan a impactar la capacidad de los cauces. Se recomienda llevar al cabo un estudio específico sobre la presencia de estructuras construidas sobre los cauces y analizar su posible afectación en la capacidad de gastos de los arroyos.

6.5.3 "Desaparición de arroyos" en la zona urbana

Un problema detectado en la zona urbana y documentado en de este informe, es la "desaparición de arroyos" en la zona urbana. Este es un problema típico de muchas ciudades en el norte de México, en donde existen muchos arroyos de régimen intermitente que son obstruidos, rellenados o simplemente ignorados durante el proceso de urbanización.

Si la urbanización se llevó al cabo de forma "legal", (con base en un proyecto de urbanización autorizado por las autoridades competentes), es común encontrar (en ocasiones) la existencia de alcantarillas u otras estructuras diseñadas para captar y canalizar los escurrimientos. Es también muy común, que estas estructuras no estén adecuadamente diseñadas para captar y conducir el escurrimiento producido por la urbanización (para la cual fueron diseñadas y construidas), y mucho menos para conducir los escurrimientos producidos por otros desarrollos cuenca arriba.

En el caso de las urbanizaciones llevadas al cabo por posesionarios sin un proyecto de urbanización, es común observar que los arroyos simplemente desaparecen en aquellos puntos en donde hay cambios de pendiente y el arroyo no tenía bien definido un cauce natural.

Independientemente del origen del problema, esto representa un peligro para los habitantes de la ciudad, en particular en los puntos en donde esta problemática ocurre, pues esta condición puede originar puntos de acumulación de agua que puede devengar en inundaciones que pueden afectar a las propiedades cercanas a estos puntos, las personas que se encuentre en sus inmediaciones y el tráfico vehicular.

Se propone llevar al cabo un estudio específico de la ocurrencia de esto puntos conflictivos, que considere además de su ubicación, sus dimensiones actuales, y su posible modificación para acomodar adecuadamente los gastos que deberán de permitir pasar durante la ocurrencia de eventos extraordinarios de lluvia.

6.5.4 Monitoreo de escurrimientos y red de drenaje.

Aunque no directamente ligado con la problemática de este trabajo, la presencia de drenaje sanitario en los cauces de los arroyos urbanos, puede llegar a representar un problema serio de salud pública; en caso de que llegara a ocurrir un evento extraordinario y se produjeran inundaciones aguas debajo de los arroyos que tiene este tipo de problemática.

Este problema es particularmente serio en el arroyo Santiaguito y La Encantada, en los que se detectó la presencia de agua de drenaje sanitario, derramándose en las aguas de ambos arroyos.

De igual manera, habrá que llevar al cabo un programa de inspección de posible derrames (autorizados o ilegales) de aguas de desecho de industrias, comercios u otras actividades; e implementar medidas correctivas *Ad Hoc* para evitar este tipo de contaminación en el futuro.

Vinculado a la problemática antes mencionada, está la necesidad de la creación de un programa permanente de monitoreo y mantenimiento de la red de drenaje pluvial de la ciudad. De tal manera que las autoridades tengan la certeza de que este sistema (que representa una inversión muy importante desde el punto de vista económico) verdaderamente cumple con sus funciones.

7 CONSIDERACIONES FINALES

La importancia de los Atlas de Riesgos, reside en que la población y sus autoridades los utilicen con fines de la gestión del territorio, que permita con ello generar un desarrollo verdaderamente sostenible.

Los desastres son producidos por la coincidencia de dos elementos, la ocurrencia de un elemento perturbador y la ocupación (ya sea directa o indirecta) del territorio por parte de los seres humanos. Solo con la identificación precisa (en el tiempo y el espacio) de la presencia de seres humanos en una zona de peligro será posible tomar acciones adecuadas para mitigar dichos riesgos.

La coordinación entre los distintos elementos encargados de atender los peligros en el territorio municipal es de primordial importancia. Solo será posible prepararse y responder adecuadamente a la ocurrencia de un fenómeno perturbador si existe esta coordinación.

El análisis de vulnerabilidad y riesgos es la fuente básica para incorporar la gestión de riesgos en los procesos de planeación del desarrollo territorial y debe buscar las siguientes metas:

Proponer medidas de mitigación y prevención de riesgos a desastres

Promover y orientar el crecimiento urbano, en zonas que presenten los mejores niveles de aptitud y seguridad física ante los peligros naturales y antrópicos.

Promover actividades productivas que no incrementen el peligro a la población.

Identificar y priorizar acciones y proyectos de infraestructura que busquen la reducción del riesgo.

Es decir, el Atlas de Riesgos es un instrumento dinámico que sirve para la toma de decisiones de las autoridades municipales; diversas dependencias podrán hacer uso de esta herramienta en su proceso de toma de decisiones, por lo que es de gran importancia el promover la coordinación intra-gubernamental y una filosofía de compartir la información.

8 BIBLIOGRAFÍA

Alberich, T. (2004): GUÍA FÁCIL DE LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA. Dykinson S.L. ISBN 84-9772-324-4

Atlas de Nacional de México, 2007. Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México. http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-2007/anm-2007.php

Aguilar, A. (2011). Crece población de Saltillo en 600 mil personas en 50 años. El Heraldo de Saltillo, Coahuila. Encontrado en: http://www.elheraldodesaltillo.mx/saltillo/p2_articleid/28428

Ampudia, I. (2014). En Torreón y Saltillo, 50% de población vulnerable de Coahuila. El Siglo de Coahuila. Coahuila. Encontrado en: http://siglocoahuila.mx/noticia/8498.en-torreon-y-saltillo-50-de-poblacion-vulnerable-de-coahuila.html

AUASAC (2008), Asociación Usuarios del Agua de Saltillo, A.C., http://auasac.blogspot.mx/, consultado el 1 de octubre de 2014 a las 14:30 hrs.

AVES (2011), Museo de las aves de México, A.C. http://www.museodelasaves.com.mx/, consultado el 3 de octubre de 2014 a las 8:13 hrs.

Carbajal Suárez, Y. (2013). La Competitividad de la industria Automotriz del Estado de México: Condiciones y retos de la cadena automotriz-autopartes. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 272p.

Campos-Aranda, D. F. (2012). Estimación de la severidad de sequías ambiental es mediante registros de lluvia mensual. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 3(1), 123-130.

CENAPRED, 2001. Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Dr. Óscar Arturo Fuentes Mariles y M. en I. Fermín García Jiménez. Heladas, Serie Fascículos. M. en G., Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED, Secretaría de Gobernación. México, D. F.

CENAPRED, 2012. Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos Hidrometeorológicos, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos.

CENAPRED, 2014. Tormentas Severas, Serie Fascículos. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Secretaría de Gobernación. México, DF. 1 edición, Agosto de 2010, versión electrónica 2014. http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/189.pdf

CENAPRED_2, 2014. Subsistema de Información sobre riesgos, peligros y Vulnerabilidad, Tornados. Centro Nacional para la Prevención de Desastres, CENAPRED. Consultado a Octubre de 2014 en: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/tornados.

CIESE, 2014. Escala de Vientos de Beaufort. Proyecto Cielo Azul, Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE), Stevens Institute of Technology, New Jersey. http://ciese.org/curriculum/weatherproj2/es/popup/beaufort.shtml.

CONAPO 2012. Índice de marginación urbana 2010. Consejo Nacional de Población. Consultado el 29 de octubre de 2014. Página de la CONAPO, Índices de Marginación: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Capitulo_1_Marginacion_Urbana_2010

CONAPO 2012. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Consejo Nacional de Población. Consultado el 29 de octubre de 2014. Página de la CONAPO, Índices de Marginación: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/mf2010/CapitulosPDF/1_4.pdf

CONEVAL (2014). Informe anual sobre la situación de la pobreza y rezago social. Secretaria de Desarrollo Social y Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.

Corominas, J., Van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., Fotopoulou, S., ... & Smith, J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73(2), 209-263.

Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 43(1), 27-29.

DESIERTO (2009), Museo del Desierto de Saltillo, A.C., http://www.museodeldesierto.org/, consultado el 6 de octubre de 2014 a las 18:02 hrs.

Earthwuake Track. 2014. Los terremotos recientes cerca de Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. Encontrado en: http://es.earthquaketrack.com/mx-07-saltillo/recent.

Elsiglodetorreón, 2013. Tolvanera causa estragos, Periódico: El siglo de Torreón. http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/945567.tolvanera-causa-estragos.html

Escalante-Sandoval, S., C. Agustín y L. Reyes Chávez. Análisis de Sequías. México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2005 (2 vols.).

ESRI. 2104. Soil Hydrology of the United States. Environmental Systems Research Institute. Recuperado en http://resources.arcgis.com/es/communities/soils/02ms00000008000000.htm.

Estado, C. d. (20 de julio de 1999). Código Municipal para el Estado de Coahuila de Zaragoza. Periódico Oficial .

Estado, C. d. (6 de julio de 2001). Reglamento Interior del R. Ayuntamiento del Municipio de Saltillo. Periódico Oficial.

GARCÍA-RUIZ, et al. 1986. La acumulación de nieve en el Pirineo Central y su influencia Hidrológica. Pirineos, 127: 27 a 72. JACA.

Hernández-Cerda, M. E., & Carrasco-Anaya, G. (2007). Rasgos climáticos más importantes. Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana, Universidad Nacional Autónoma de México, 57-72.

Herrera-Pérez, 2012. Análisis de la susceptibilidad a la subsidencia en el estado de San Luis Potosí (México) como herramienta de la gestión ambiental. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina.

IFRC, 2014. ¿Qué es la vulnerabilidad?, Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. Revisado el 3 de noviembre del 2014. http://www.ifrc.org/es/introduccion/disaster-management/sobre-desastres/que-es-un-desastre/que-es-la-vulnerabilidad/

IMCO 2014. Índice de vulnerabilidad climática de las ciudades mexicanas. Instituto Mexicano para la Competitividad. Capturada en noviembre 3 del 2014 en http://vulnerabilidadclimatica.org.mx/.

INAFED 1. 2014. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Saltillo. Obtenida el 3 de julio del 2014. http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM05coahuila/municipios/05030a.html

INAFED 2. 2014. Sistema Nacional de Información Municipal, SEGOB. Obtenida el 3 de julio del 2014. http://www.snim.rami.gob.mx/l

INEGI (2011). Panorama sociodemográfico de Coahuila de Zaragoza. Censo de Población y Vivienda 2010 e Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.

INEGI (2009). Estadísticas históricas de México 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI. 2014 Compendio de información geográfica municipal 2010, Saltillo. Coahuila de Zaragoza. Obtenida el 25 de junio del 2014. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx

Infono (2014). Eglantina Canales (2012). Impone retos el acelerado crecimiento de Saltillo, Coah. Encontrado en: http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/impone-retos-el-acelerado-crecimiento-de-saltillo.

ITER, 2010. Sistema de Integración Territorial, ITER, Censo de población y vivienda 2010, Principales resultados por localidad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Macías Medrano, J.M., y A. Avedaño García. 2013. Climatología de tornados en México. Investigaciones Geográficas, Boletin del Instituto de Geografía, UNAM. 83:74-97pp.

Matías-Ramírez, 2004. Actualización del Índice de Riesgo por ondas de Calor en México, Sistema Nacional de Protección Civil. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 1pp

Mendoza, M. J. y L. Domínguez M. 2006. Estimación del peligro y el riesgo de deslizamientos en laderas. Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Secretaría de Gobernación.280pp.

NADM, 2014. Bi-annual North American Drought Monitor Forum, June, 2014. Ontario Canada.

NSIDC, 2014. National Snow & IceData Center, Advancing Knowledge of Earth´s frozen regions. ICSU, World Data System, CIRES, University of Colorado Boulder. http://nsidc.org/cryosphere/snow/index.html.

Palacio-Prieto, J.L., M.T. Sánchez-Salazar, J.M. Casado Izquierdo, • E. Propin Frejomil, J. Delgado Campos, A. Velázquez Montes. • L. Chias Becerril, M.I. Ortiz Álvarez, J. González Sánchez. • G. Negrete Fernández, J. Gabriel Morales, R. Márquez Huitzil. 2004. Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. SEMARNAT, INE, UNAM, SEDESOL.161 pags.

Pérez-Vidal, H., Lunagómez-Rocha, M. A., & Acosta-Pérez, L. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco. Universidad y ciencia, 26(2), 151-162.

Pichardo, E. (2010). Ya somos 725 mil en Saltillo. El Zócalo de Saltillo, Coahuila. Encontrado en: http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/ya-somos-725-mil-en-saltillo.

PROFAUNA (2008), PROFAUNA, A.C.,http://www.profauna.org.mx/, consultado el 11 de octubre de 2014 a las 7:21 hrs.

Ramos-Zúñiga Luis G., Hugo C. Medina-Ferrusquía y Juan C. Montalvo-Arrieta. 2012. Patrones de sismicidad en la curvatura de Monterrey, noreste de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 29(2):572-589.

SAGARPA, consultado a 2014. Hidrogeología aplicada a las pequeñas obras hidráulicas, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA, Colegio de Postgraduados. http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_HIDROLOG%C3%8DA.pdf

Salinas-Zavala CA, Lluch-Cota SE, Hernández-Vázquez S, Lluch-Cota DB (1998) La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. Atmósfera 2(1): 29-44.

SALTILLO (2014), MUNICIPIO DE SALTILLO, http://www.saltillo.gob.mx/, consultado el 30 de octubre de 2014 a las 21:07 hrs.

SEDATU, 2014. Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de datos Geográficos para Representar el Riesgo 2014. Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano. Subsecretaría de Ordenamiento Territorial. Dirección General de Ordenamiento Territorial y de Atención a Zonas de Riesgo.

SEMARNAT (2012) http://consejos.semarnat.gob.mx/wp-content/uploads/2014/02/Cuadro-COAHUILA.pdf, consultado el 01 de noviembre de 2014

Soil Survey Division Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

United States Department of Agriculture. 1986. Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55 (TR-55) (Second Edition). Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.

Zepeda Ramos, O. y S. González Martínez (Editores). 2001. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de desastres en México. CENAPRED. 225. Pags.

Zócalo, 2014. Viacrucis sobre ruedas, Coahuila tiene las carreteras más peligrosas del país, Periódico: Zócalo Saltillo. http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/viacrucis-sobre-ruedas-coahuila-tiene-las-carreteras-mas-peligrosas-del-pai