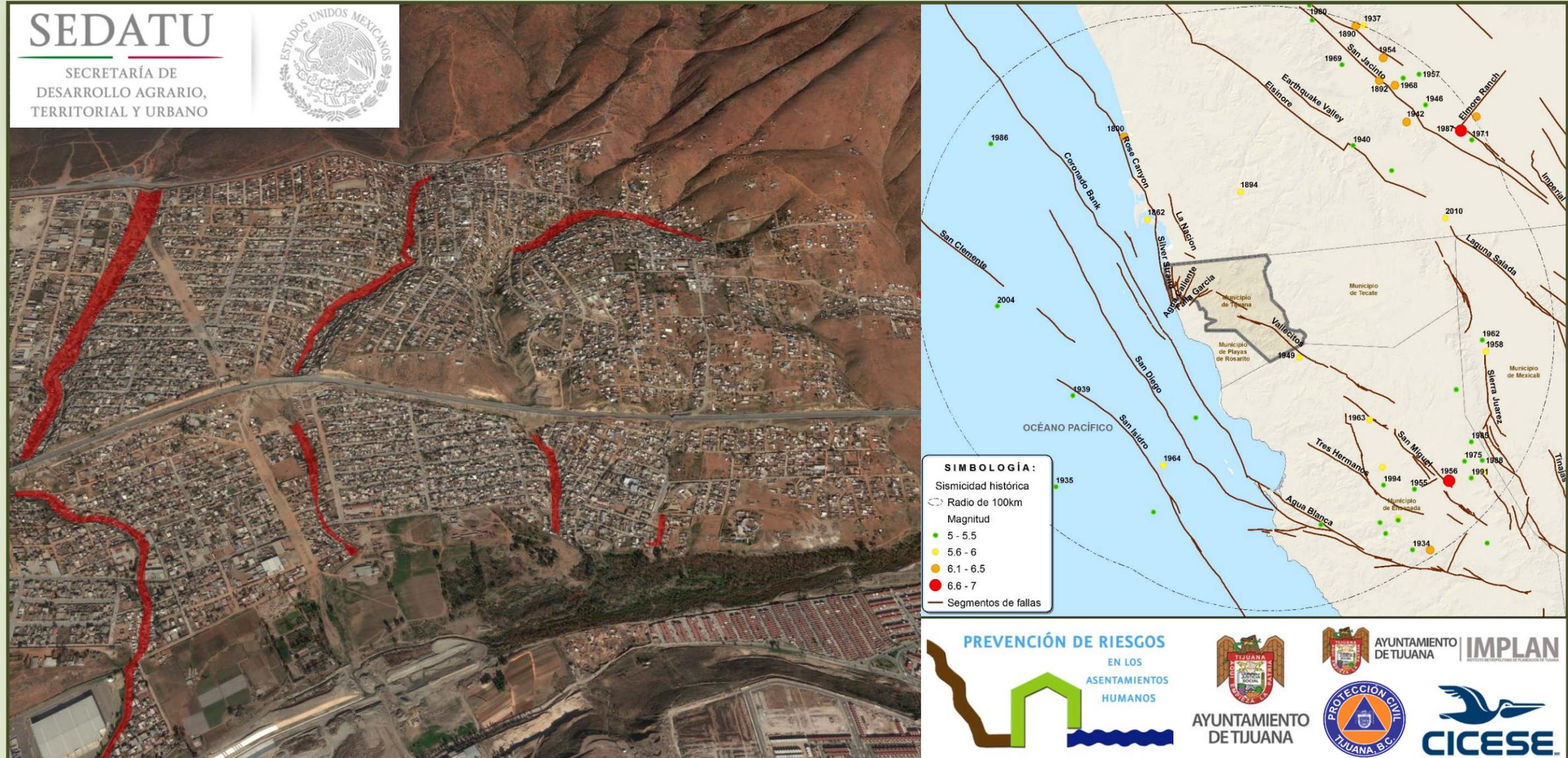


# Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tijuana 2014



Diciembre 2014  
 Versión Final  
 Número de expediente: PP14/02004/AE/1/0002  
 Número de Obra: 402004PP003128  
 Municipio de Tijuana, Baja California

M.C. Luis Humberto Mendoza Garcilazo  
 Ejecutor del proyecto atlas de riesgos  
 Centro de Investigación Científica y de  
 Educación Superior de Ensenada, B. C.  
 lmendoza@cicese.mx

## ÍNDICE

CAPÍTULO I. Introducción, antecedentes y objetivos.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes. ....	1
1.3 Objetivo .....	2
CAPÍTULO II. Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica. ....	3
CAPÍTULO III. Caracterización de los elementos del medio natural. ....	8
3.1. Fisiografía (provincias, subprovincias).....	8
3.2. Geomorfología (sistema de topoformas).....	10
3.3. Geología (minas, fallas y tipos de roca).....	12
3.4. Edafología.....	15
3.5. Hidrología (corrientes y cuerpos de agua).....	17
3.6. Cuencas y sub-cuencas.....	21
3.7. Clima.....	23
3.1. Uso de suelo y vegetación.....	25
3.1. Áreas naturales protegidas.....	27
CAPÍTULO IV. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos.....	28
4.1 Elementos demográficos: dinámica demográfica, proyección de población al 2030, distribución de población, densidad de población pirámide de edades y mortalidad. ....	28
4.2 Características sociales: escolaridad, hacinamiento, población con discapacidad, marginación, pobreza y equipamiento.....	31
4.3 Principales actividades económicas en la zona .....	35
4.4 Equipamiento, salud, educativo, recreativo y/o esparcimiento.....	37
4.5 Reserva territorial.....	40

CAPÍTULO V. Identificación de peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen natural .....	41
5.1 Erupciones volcánicas .....	41
5.2 Sismos (epicentros con sus respectivas magnitudes).....	41
5.2.1 Distribución de los epicentros de la sismicidad histórica ocurrida dentro de un radio de 100 km alrededor de la ciudad de Tijuana.....	41
5.2.2 Mapa de riesgo sísmico para el 2% de probabilidad de excedencia, dentro de un intervalo de 50 años.....	44
5.2.3 Mapa de riesgo sísmico para el 10% de probabilidad de excedencia, dentro de un intervalo de 50 años. ....	46
5.2.4 Aceleraciones máximas del suelo (PGA), sobre roca firme, calculadas con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008) .....	48
5.2.5 Caracterización del efecto de sitio por medio de las principales unidades geológicas superficiales que forman los suelos de la ciudad de Tijuana.....	51
5.2.6 Caracterización del efecto de sitio por medio de la velocidad de propagación de ondas de corte, promediadas en los primeros 30 metros del subsuelo ( $\beta_{30}$ ). ....	53
5.2.7 Mapa de periodos dominantes del movimiento del suelo, en la zona urbana de Tijuana, Baja California .....	55
5.2.8 Vulnerabilidad.....	57
5.3 Tsunamis .....	58
5.4 Inestabilidad de laderas .....	60
5.5 Flujos .....	65
5.6 Caídos o derrumbes.....	65
5.7 Hundimientos .....	65
5.8 Subsistencia .....	65
5.9 Agrietamientos.....	67
5.10 Ondas cálidas y gélidas (temperaturas máximas y mínimas extremas).....	69

5.11	Sequías.....	80
5.12	Heladas.....	83
5.13	Tormentas de granizo .....	84
5.14	Tormentas de nieve .....	85
5.15	Ciclones tropicales.....	85
5.16	Tornados.....	86
5.17	Vientos y tormentas de polvo.....	87
5.18	Tormentas eléctricas.....	87
5.19	Lluvias extremas .....	89
5.20	Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres .....	90
5.21	Incendios forestales .....	97
CAPITULO VI: Obras y/o acciones preventivas .....		101
6.1	Sitios para obras de mitigación de riesgo de inundación .....	101
6.2	Sitios para obras de mitigación de riesgo de deslizamientos. ....	103
Referencias .....		105
Consultoría en CICESE que elaboraron el Atlas de Riesgo del Municipio de Tijuana .....		109

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Mapa base del municipio de Tijuana.....6

Figura 2. Mapa base urbano de Tijuana, las líneas amarillas indican los cuadrantes en que se dividió la zona urbana (ver anexos).....7

Figura 3. Provincias fisiográficas de Tijuana, (INEGI 2009).....9

Figura 4. Geomorfología de Tijuana (INEGI, 2009), Zona urbana (Aragón, 1996).....11

Figura 5. Mapa geológico de Tijuana, INEGI, 2009. ....14

Figura 6. Mapa de edafología, INEGI Serie I escala 1:250,000, Continuo Nacional. ....16

Figura 7. Hidrografía superficial y subterránea. Fuente CONAGUA (índice de archivos \*.kmz), INEGI. ....20

Figura 8. Cuencas y microcuencas hidrográficas, Fuente: CICESE, INEGI, 2010.....22

Figura 9. Mapa de climas predominantes en el Municipio de Tijuana.....24

Figura 10. Mapa de uso de suelo y vegetación, INEGI-IMPLAN Tijuana.....26

Figura 11. Crecimiento poblacional de Tijuana elaborada con datos del Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI.....28

Figura 12. Proyección de población de Tijuana 2010-2030 elaborada con datos de CONAPO de proyecciones de población 2010-2030.....28

Figura 13. Distribución de población de Tijuana. (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).....29

Figura 14. Densidad de población de Tijuana por localidad (hab/km<sup>2</sup>).....29

Figura 15. Densidad de población de Tijuana por manzana (hab/km<sup>2</sup>).....30

Figura 16. Estructura por edades de la población, Tijuana (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).....30

Figura 17. Pirámide de la población por grupos de edad (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).....30

Figura 18. Distribución porcentual de los nacimientos ocurridos según grupos quinquenales de edad de la madre. INEGI. Consulta interactiva de datos. Nacimientos en 2013.....31

Figura 19. Gráfica de mortalidad Tijuana. INEGI. Estadísticas de mortalidad, 2013. Consulta interactiva de datos (Causas detalladas CIE).....31

Figura 20. Distribución porcentual de la población de 3 años y más hablantes de lengua indígena. (INEGI). ....31

Figura 21. Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010. Cuestionario básico Entidad federativa/Tema: Baja California/Educación.....32

Figura 22. Porcentaje de hacinamiento para Tijuana, elaborada con datos de CONAPO 2010. ....33

Figura 23. Distribución de hacinamiento para Tijuana, elaborada con datos de INEGI 2010.....33

Figura 24. Porcentaje de variables que miden el grado de Marginación de Tijuana. ....33

Figura 25. Mapa de grado de marginación por AGEB para Tijuana, elaborado con datos del Censo 2010 de INEGI.....34

Figura 26. Porcentaje de grado de marginación urbana para Tijuana (INEGI 2010).....34

Figura 27. Distribución por manzana de viviendas con piso de tierra (Censo 2010 INEGI). ....34

Figura 28. Población de Tijuana con discapacidad (Censo INEGI 2010).....35

Figura 29. Distribución de habitantes por manzana con alguna discapacidad.....35

Figura 30. Distribución de las actividades económicas principales por sector, elaborado con datos de DENUE, INEGI 2010. ....36

Figura 31. Población económicamente activa, Tijuana 2010 Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010. Cuestionario Básico/Características Económicas.....36

Figura 32. Actividad de la población no económicamente activa. INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.....36

Figura 33. Distribución porcentual de la población económicamente activa por localidad. ....37

Figura 34. Unidades médicas de salud en Tijuana (Datos INEGI). ....37

Figura 35. Distribución de hospitales en Tijuana clasificados en públicos, privados y de seguros. ....38

Figura 36. Distribución porcentual de la población por condición de derechohabiencia a servicios de salud, Tijuana 2010. ....38

Figura 37. Porcentaje de afiliados al seguro en instituciones de salud, Tijuana 2010.....38

Figura 38. Porcentaje de escuelas por nivel de educación, Tijuana 2011.....	39	Figura 56. Mapa de amenaza de deslizamiento.....	63
Figura 39. Porcentaje del personal docente para los diferentes niveles educativos, Tijuana 2011....	39	Figura 57. Zonas susceptibles a deslizamiento analizando las variables de topografía, geología superficial, suelos y población.....	64
Figura 40. Distribución de escuelas de nivel básico y medio superior en Tijuana.....	39	Figura 58. Mapa de Amenaza de derrumbes. ....	66
Figura 41. Distribución de reserva territorial Tijuana.....	40	Figura 59. Zonas susceptibles a agrietamientos. Basado en el mapa edafológico de INEGI, serie I, continuo nacional.....	68
Figura 42. Sismicidad histórica. Terremotos fuertes ocurridos en la historia documentada de la región aledaña a Tijuana, donde están incluidos sismos con y sin registro instrumental.....	42	Figura 60. Datos de temperaturas máximas estacionales.....	70
Figura 43. Sismicidad histórica. Terremotos con magnitud igual o mayor a 3.0, registrados instrumentalmente desde 1932 (CalTech y SCEC) o desde 1980 (RESNOM-CICESE).....	43	Figura 61. Mapa de temperaturas máximas extremas en verano. ....	71
Figura 44. Mapa de fallas localizadas en un radio de 300 km.....	44	Figura 62. Mapa de temperaturas máximas (promedio) en el mes de julio, obtenida de la base de datos del CLICOM.....	72
Figura 45. Mapa de riesgo sísmico para el 2% de probabilidad de excedencia, dentro de un intervalo de 50 años. ....	45	Figura 63. Datos de temperaturas mínimas estacionales.....	73
Figura 46. Mapa de riesgo sísmico para el 10% de probabilidad de excedencia, dentro de un intervalo de 50 años.....	47	Figura 64. Mapa de temperatura máxima para un periodo de retorno de 5 años.....	74
Figura 47. Aceleraciones máximas del suelo (PGA), sobre roca firme, calculadas con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008). ....	49	Figura 65. Mapa de temperatura máxima para un periodo de retorno de 10 años.....	74
Figura 48. Periodos de retorno (en años) de PGA, sobre roca firme, calculadas con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008). ....	50	Figura 66. Mapa de temperatura máxima para un periodo de retorno de 25 años.....	75
Figura 49. Mapa de la caracterización del efecto de sitio por medio de las principales unidades geológicas superficiales que forman los suelos de Tijuana.....	52	Figura 67. Mapa de temperatura máxima para un periodo de retorno de 50 años.....	75
Figura 50. Caracterización del efecto de sitio por medio de la velocidad de propagación de ondas de corte, promediadas en los primeros 30 metros del subsuelo ( $\beta_{30}$ ).....	54	Figura 68. Mapa de temperaturas mínimas extremas en invierno (valores menores a 2 °C).....	77
Figura 51. Mapa de periodos dominantes del movimiento del suelo, en la región de Tijuana, Baja California.....	56	Figura 69. Mapa de temperatura mínima para un periodo de retorno de 5 años. ....	78
Figura 52. Indicadores de rezago social que sirvieron para estimar la vulnerabilidad en viviendas...	57	Figura 70. Mapa de temperatura mínima para un periodo de retorno de 10 años. ....	78
Figura 53. Indicadores que sirvieron para estimar la vulnerabilidad social. ....	57	Figura 71. Mapa de temperatura mínima para un periodo de retorno de 25 años. ....	79
Figura 54. Cota de 5-10 metros sobre el nivel medio del mar.....	58	Figura 72. Mapa de temperatura mínima para un periodo de retorno de 50 años. ....	79
Figura 55. Cota de 5-10 metros sobre el nivel medio del mar, el polígono naranja muestra asentamientos humanos bajo la cota de 10 m (CENAPRED).....	59	Figura 73. Promedio de precipitación (mm) 1929-2011, estación Presa Rodríguez.....	80
		Figura 74. Intensidad de sequía para Baja California, incluye el municipio de Tijuana, Junio de 2015 (Datos obtenidos de CONAGUA –SMN). ....	81
		Figura 75. Intensidad de sequía para el municipio de Tijuana en el periodo de 2012 a 2015. Las barras de color de izquierda a derecha representan los años en orden ascendente, para el 2015 solo se presentan registros de enero a junio. (Datos obtenidos de CONAGUA –SMN). ....	81

Figura 76: Mapa de sequía para Tijuana. Representa sequía extrema (D3), en la escala de intensidad del NDAM, para el 2015 de acuerdo al monitor de sequías de CONAGUA (SMN) para los meses de enero a junio de 2015. ....	82	Figura 92. Resultado de peligro de inundación para un periodo de retorno de 500 años para el Este de Tijuana.....	95
Figura 77: Mapa de zonas susceptibles a heladas (basado en mapa de periodos de retorno 50 años de ondas gélidas).....	83	Figura 93. Zonas potenciales a inundarse por reconocimiento en campo por Protección Civil municipal 2013-2014 con inundaciones históricas. ....	96
Figura 78: Mapa de días con granizadas. Elaborado con datos de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional. ....	84	Figura 94. Índice de peligro de incendios temporada noviembre abril. ....	98
Figura 79. Mapa de Huracanes históricos, se muestra la tormenta tropical Jen-Kath que afectó el municipio de Tijuana. ....	86	Figura 95. Índice de peligro de incendios temporada mayo a agosto. ....	99
Figura 80: Mapa de días con tormentas eléctricas. Elaborado con datos de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional. ....	88	Figura 96. Índice de peligro de incendios temporada septiembre a octubre. ....	100
Figura 81. Análisis de datos de precipitación máxima diaria, para los meses de enero a abril (Datos esmas CNA), estación Presa Rodríguez, Tijuana. ....	89	Figura 97. Ubicación Subcuenca Los Laureles, en Tijuana, Baja California (IMTA-IMPLAN 2004). ....	101
Figura 82. Análisis de datos de precipitación máxima diaria, para los meses de octubre a noviembre (Datos esmas CNA) estación Presa Rodríguez, Tijuana.....	89	Figura 98. Se muestra en color rojo las áreas de escurrimientos en las subcuencas Las Torres y Nido de las Águilas hasta su intersección con el entronque a la autopista Tijuana-Tecate-Mexicali que conecta el transito civil e industrial en la frontera entre México y Estados Unidos de América. ....	102
Figura 83. Isoyetas para los periodos de retorno de 500 y 1000 años (SCT). ....	90	Figura 99. Se muestra en polígono color amarillo el área de afectación del deslizamiento ocurrido en la Colonia Cumbres de Rubí 1998.....	103
Figura 84. Mapa de lluvias extremas (PRONACOSE 2014), con probabilidad a ocurrir entre 2061 y 2090. ....	90	Figura 100. Se muestra el área de afectación del deslizamiento ocurrido en la Colonia Laderas de Monterrey. ....	103
Figura 85. Arroyos estudiados y evaluados en HEC-RAS de la zona urbana de Tijuana. ....	91		
Figura 86. Fotos de secciones de arroyos tomadas en recorrido en campo, del cual se tomaron topografía, ancho y forma. ....	92		
Figura 87. Subcuenca 53 con arroyo y secciones transversales. ....	92		
Figura 88. Resultado de tirante de agua para la cuenca 53 exportado a ArcGIS. ....	93		
Figura 89. Resultado de peligro de inundación para un periodo de retorno de 10 años para el Oeste de Tijuana. ....	94		
Figura 90. Resultado de peligro de inundación para un periodo de retorno de 500 años para el Oeste de Tijuana. ....	94		
Figura 91. Resultado de peligro de inundación para un periodo de retorno de 10 años para el Este de Tijuana. ....	95		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Determinación del nivel de análisis .....	4	Tabla 21. Estaciones Climatológicas con mes, año y temperatura máxima registrada.....	70
Tabla 2. Provincias Fisiográficas del Municipio de Tijuana (INEGI, 2009).....	8	Tabla 22. Vulnerabilidad por altas temperaturas (SEDATU, 2014).....	73
Tabla 3. Sistemas de topoformas del Municipio de Tijuana (INEGI, 2009).....	10	Tabla 23. Estaciones Climatológicas con mes, año y temperatura mínima registrada.....	76
Tabla 4. Geología del Municipio de Tijuana (INEGI, 2009).....	12	Tabla 24. Clasificación de la intensidad de la sequía (NADM).....	81
Tabla 5. Estratigrafía característica de la zona urbana de Tijuana, B. C. (Modificada de Minch, 1967 y Flynn, 1970).....	13	Tabla 25. Efectos ambientales por heladas (SEDATU, 2014).....	83
Tabla 6. Tipos de suelo de Tijuana.....	15	Tabla 26. Días con granizo registrados en las estaciones climatológicas en el Municipio de Tijuana (y cercanas). Datos de las normales climatológicas elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional.....	84
Tabla 7. Región hidrológica 1, cuencas y subcuencas en C.....	17	Tabla 27. Código de intensidad de color basada en la escala Saffir-Simpson:.....	85
Tabla 8 Descripción de los acuíferos presentes en la zona. Fuente (CNA et al, 1999).....	18	Tabla 28. Días con tormentas eléctricas registrados en las estaciones climatológicas en el Municipio de Tijuana (y cercanas). Datos de las normales climatológicas elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional.....	87
Tabla 9. Tabla maestra de acuíferos de Tijuana, actualizada al 31 dic 2009.....	19	Tabla 29. Tabla de atributos de subcuencas, datos para cálculos de caudales.....	92
Tabla 10 Cuencas y subcuencas donde se asienta la zona urbana de Tijuana.....	21	Tabla 30: Propuesta de sitios para realizar obras y acciones para mitigar riesgos en Tijuana. ....	104
Tabla 11. Distribución de los tipos de climas.....	23		
Tabla 12. (a) Distribución del uso de suelo y vegetación Modificada INEGI, (b) Uso y destino del Suelo 2009 del Centro de población y área urbana.....	25		
Tabla 13. Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), CONABIO.....	27		
Tabla 14. Distribución porcentual de la población según tamaño de localidad por grandes grupos de edad 2010. (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).....	29		
Tabla 15. Población que habla una lengua indígena en el Municipio de Tijuana. (INEGI).....	31		
Tabla 16. Distribución porcentual de escolaridad del municipio de Tijuana, en comparación con el resto del Estado.....	32		
Tabla 17. Unidades económicas Censo 2010 INEGI.....	35		
Tabla 18. Clasificación de suelos según la tabla 1613.5.2 (SITE CLASS DEFINITIONS) del IBC (2006).....	53		
Tabla 19. Tabla de atributos de la capa (shapefile) de deslizamientos históricos de Tijuana.....	62		
Tabla 20. Estaciones Climatológicas en el Municipio de Tijuana (y cercanas).....	69		

## CAPÍTULO I. Introducción, antecedentes y objetivos.

### 1.1 Introducción.

Para la elaboración del Atlas de Riesgos de Tijuana se ha conformado un grupo de trabajo de personas e instituciones de Baja California, que cuentan con información y experiencia en el tema a tratar.

Basados en las experiencias desde la fundación de la ciudad de Tijuana (1889) sobre los peligros naturales principales a que se encuentra expuesto el municipio de Tijuana, el contenido a desarrollar en este atlas es:

- Peligro por deslizamientos
- Peligro sísmico
- Peligro por inundaciones
- Peligro por incendios forestales.

**Deslizamientos.** – El desplazamiento imprevisto de volúmenes de material, siguiendo el talud natural, se conoce como movimiento de masas. Este fenómeno responde a factores inevitables como pendientes naturales, atracción gravitacional, debilitamiento de materiales, presencia de agua y estructura geológica. El proceso puede suscitarse e incluso acelerarse por actividades propias del desarrollo urbano o por una eventual ocurrencia de un sismo. Las diferentes variedades de movimientos de masa (deslizamientos) identificadas en Tijuana, son: i) Caídas de bloques, ii) deslizamiento de laderas, iii) flujos de detritos. Se presentarán las áreas de peligro por deslizamiento, desde muy bajo hasta alto, el análisis se basa en estudios geológicos y geofísicos, el análisis también comprende el registro de deslizamientos históricos y su impacto en la ciudad.

**Riesgo Sísmico.** - Se cuantificará el peligro asociado al fenómeno sísmico en el área de estudio. Para ello, se emplearán tres tipos de caracterizaciones del peligro. 1) Caracterización derivada de métodos probabilísticos, expresable en mapas de distribución de probabilidades de excedencia de la aceleración pico del suelo (PGA) y en mapas de periodos de retorno para niveles de PGA. Se acudirá a tres fuentes de información para esta caracterización: los mapas publicados por CENAPRED, los mapas de peligro del USGS National Seismic Hazard Mapping Project y los mapas generados con programas como CRISIS2014 de la UNAM y comparación de PRODISIS de la CFE.

2) Caracterización derivada de parámetros físicos medidos en el área, como el efecto de sitio por medio de las velocidades de propagación de ondas de corte y los periodos dominantes del movimiento del suelo. Para esta caracterización se utilizarán los estudios que CICESE ha realizado en Tijuana.

3) Caracterización por medio de la sismicidad histórica, para lo cual recurriremos a publicaciones científicas y de divulgación.

**Inundaciones.** - Se presenta el peligro de inundaciones en la parte urbana de Tijuana para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años basados en la guía del CENAPRED. Se cuantifica el riesgo basados en estudios previos por CONAGUA y registros históricos de inundaciones con verificación en campo en las recientes épocas de lluvias de años anteriores.

**Incendios forestales.** - Se presentan escenarios para determinar el índice de peligro de incendios forestales en tres temporadas para el municipio de Tijuana. Este análisis se basa en modelos computaciones y registros de incendios históricos.

Además de estos fenómenos principales, en el municipio de Tijuana se presentan otros fenómenos con menor frecuencia e impacto. Los fenómenos evaluados son: tsunamis, derrumbes, sequías, ondas cálidas, gélidas, lluvias extremas, granizo y tormentas eléctricas.

### 1.2 Antecedentes.

Anterior a este trabajo Tijuana cuenta con el documento “Atlas de Riesgos del Municipio de Tijuana, B. Versión 1.0 Marzo 2000”. Este documento fue realizado por la Dirección Municipal de Protección Civil durante el XVI Ayuntamiento, con el apoyo de CICESE (Rosquillas A., Mendoza, L, 2000).

Los peligros naturales a los que está expuesto el municipio de Tijuana se agrupan por su origen en: geológico e hidrometeorológico. Entre los de origen geológico se tienen: Sismos, tsunamis, inestabilidad de laderas, flujos, derrumbes, hundimientos, agrietamientos.

En los de origen hidrometeorológico se tienen: Ondas cálidas y gélidas, sequías, heladas, tormentas de granizo, tornados, tormentas de polvo, tormentas eléctricas, lluvias extremas, inundaciones.

Entre estos fenómenos, los de mayor impacto han sido los hidrometeorológicos, siendo el de mayor afectación el ocurrido en enero de 1993, con una precipitación de 50 mm en menos de 24 horas y 210 mm en 14 días (Romo, 1996). Las afectaciones de este evento atmosférico comprenden: pérdida de vidas por arrastre en zonas de escurrimientos pluviales, inundaciones en partes bajas, deslizamientos de masas de terreno y cuantiosas pérdidas materiales.

El municipio de Tijuana se encuentra dentro de la llamada zona de cizalla del sur de California, asociada a la interacción de las placas tectónicas del Pacífico y Norteamérica. Esta zona tiene una elevada actividad sísmica, concentrada en varias zonas sismogénicas que se esparcen desde el eje San Andrés-Golfo de California, hasta la plataforma continental del Pacífico. El peligro y riesgo sísmico en Tijuana se intensifica debido a los factores topográficos y litológicos presentes en el área. En el pasado se han desarrollado algunos estudios sobre el peligro y el riesgo sísmico en la región de Tijuana. Reichle et al. (1990) desarrollaron un escenario sísmico para San Diego-Tijuana. Acosta y Montalvo (1997) construyeron mapas para los movimientos pico del suelo, esperados para el rompimiento de la Falla La Nación. Montalvo (1996) utilizó estos mapas para analizar el peligro de deslizamientos en el área de Tijuana; Winckell et al. (2000) los empleó para realizar un escenario de daños para Tijuana y el proyecto Radius Tijuana (2000) los incorporó a las cartas de riesgos del municipio de Tijuana junto con mapas de daños a la infraestructura urbana.

Diferentes trabajos de investigación han señalado reiteradamente, en los últimos años, que el potencial de ocurrencia de un sismo de magnitud importante (mayor a magnitud 6.0) en el área Tijuana San Diego, va en aumento. Mayor cantidad y calidad de estudios y datos, así como importantes evidencias geológicas, han permitido conocer mejor el comportamiento y configuración de las estructuras geológicas activas.

El escenario sísmico para el municipio de Tijuana es particularmente importante, lo que implica que una eventualidad como las previstas, causará problemas a sus habitantes y propiedades, a la infraestructura y a los servicios. Por esto, resulta de gran importancia continuar con los esfuerzos en materia de prevención y respuesta a una emergencia mayor.

En recientes estimaciones realizadas para el Atlas Estatal de Riesgos, en el modelado de alturas de ola generadas por un evento sísmico en piso oceánico (tsunami o maremoto) para las costas bajacalifornianas, indica que la mayor amenaza ocurre para un terremoto en la fosa Las Marianas (al oeste de la placa Pacífico) de magnitud 9.0. Dada la topografía de la costa en el área de Tijuana no se consideran mayores afectaciones. Se debe indicar que aun cuando las fallas activas frente a las costas de Tijuana no son de movimiento vertical considerable, no se debe descartar sus efectos quizá por un deslizamiento de masa de terreno en la plataforma continental.

### 1.3 Objetivo

Contribuir con la actualización de mapas y ubicación de riesgos, para ayudar en el manejo de riesgos en la región de Tijuana, mediante la especificación del peligro y su presentación mediante parámetros físicos que cumplan con las siguientes características: cuantitativos, no ambiguos, de uso directo, con facilidades de actualización y de uso estandarizado. La mejor manera de presentar los resultados del objetivo es mediante mapas de escala 1:50,000. En particular, los parámetros que caracterizan al peligro sísmico (aceleraciones pico del suelo, periodos de retorno, probabilidades de excedencia, efecto de sitio y periodos dominantes) pueden ser empleados para la estimación del riesgo sobre las estructuras existentes, así como en el diseño de nuevas estructuras. Los planificadores del desarrollo urbano pueden emplear esos parámetros para prevenir el colapso o parálisis de la infraestructura urbana después de un sismo. Las agencias de auxilio a la población pueden apoyarse en los resultados de este objetivo para diseñar estrategias óptimas de atención a la población en situaciones de emergencia sísmica.

Sin descuidar la ocurrencia de otros fenómenos como el hidrometeorológico, de mayor facilidad de aviso a la población y acciones de remediación oportuna.

## CAPÍTULO II. Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica.

Para el presente Atlas de Riesgos se generaron mapas bases a nivel municipal y urbano (figura 1 y 2), con la finalidad de mostrar en ellos los niveles de investigación utilizados en cada fenómeno perturbador analizado.

Estos mapas fueron desarrollados a partir de información cartográfica del INEGI y presenta los siguientes elementos:

- Límites político administrativos.
- Localidades.
- Curvas de nivel (con cotas maestras).
- Modelo digital del terreno (MDT LIDAR).
- Rasgos topográficos.
- Corrientes y cuerpos de.
- Principales obras de infraestructura y líneas de conducción.
- Límites y/o nombre de colonias.
- Equipamiento.
- Vialidades con nombre.
- AGEB-Manzana (área geoestadística básica).

La tabla No. 1 presenta los niveles de investigación utilizados para identificar cada uno de los fenómenos perturbadores de origen geológico e hidrometeorológico, así como las escalas de representación en las que se mapeó la información obtenida en los análisis mencionados.

El nivel de análisis de cada peligro se desarrolló a diferentes escalas que van de 1:10,000 a 1:1'000,000, representados en los mapas a nivel municipal y urbano de acuerdo a la disponibilidad de datos e información compartida.

Tabla 1. Determinación del nivel de análisis

Fenómeno	Nivel de análisis	Observación	Mapa	Escala
<b>Geológicos</b>				
<b>Erupciones volcánicas</b>	I	El desarrollo de este tema indica que a una distancia de 100 km desde los límites del municipio no se tiene documentado ningún aparato volcánico activo.		
<b>Sismos</b>	IV	Fallas y sismos	Mapa sismicidad histórica ocurrida dentro de un radio de 100 km alrededor de Tijuana. Mapa sismicidad instrumentada ocurrida dentro de un radio de 100 km.	1:1,000,000
	V	Aceleración (PGA)	Mapa de riesgo sísmico para el 2% de probabilidad, dentro de un intervalo de 50 años.	1:180,000
			Mapa de riesgo sísmico para el 10% de probabilidad, dentro de un intervalo de 50 años.	1:180,000
			Mapa de aceleraciones máximas del suelo (PGA), sobre roca firme, calculadas con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008).	1:180,000
			Mapa de periodos de retorno (en años) de PGA, sobre roca firme, calculadas con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008).	1:180,000
	IV	Velocidad onda de corte	Mapa de la caracterización del efecto de sitio por medio de las principales unidades geológicas superficiales que forman los suelos de Tijuana.	1:180,000
			Mapa de caracterización del efecto de sitio por medio de la velocidad de propagación de ondas de corte, promediadas en los primeros 30 metros del subsuelo ( $\beta_{30}$ ).	1:180,000
V	Periodos dominantes	Mapa de periodos dominantes del movimiento del suelo, en la región de Tijuana, Baja California.	1:100,000	
<b>Tsunamis</b>	I	Mapa con la cota de 5 a 10 metros	Mapa cota 5 a 10 msnm.	1:20,000
			Zonas susceptibles a daños bajo la cota 5 a 10 msnm.	1:10,000
<b>Inestabilidad de laderas</b>	I	Deslizamientos históricos	Amenaza de deslizamiento.	1:100,000
	II	Potencial de deslizamientos	Susceptible a deslizamiento.	1:180,000
<b>Flujos</b>	I	Se desarrolló con mayor énfasis en inestabilidad de laderas por la relación de las variables estudiadas.		
<b>Caídos o Derrumbes</b>	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes	Mapa de amenaza de derrumbe.	1:20,000
<b>Hundimientos</b>	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes. En Tijuana se debe dar en áreas de poca extensión y no se tiene documentación alguna al presente.		
<b>Subsidencia</b>	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes. No se tiene documentado daños.		
<b>Agrietamientos</b>	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes	Mapa de áreas susceptibles a agrietamiento.	1:180,000

Fenómeno	Nivel de análisis	Observación	Mapa	Escala
<b>Hidrometeorológicos</b>				
Ondas cálidas y gélidas	I	Temperaturas máximas extremas en verano Temperaturas mínimas extremas en invierno	Ondas cálidas. Ondas cálidas CLICOM. Ondas gélidas.	1:180,000
	II	Distribución estadística de temperaturas máximas registrada por mes en un periodo de 30 años (CLICOM) Distribución estadística de temperaturas mínimas registrada por mes en un periodo de 30 años (CLICOM)	Periodo de retorno ondas cálidas Periodo de retorno 5 años ondas cálidas Periodo de retorno 10 años ondas cálidas Periodo de retorno 25 años ondas cálidas Periodo de retorno 50 años ondas cálidas	Periodo de retorno ondas gélidas Periodo de retorno 5 años ondas gélidas Periodo de retorno 10 años ondas gélidas Periodo de retorno 25 años ondas gélidas Periodo de retorno 50 años ondas gélidas
Sequías	I	El análisis se hizo por registro de datos meteorológicos de precipitación y reporte del monitor de sequía por mes de CONAGUA	Sequias.	1:180,000
Heladas	I	Análisis de ondas gélidas	Zonas susceptibles a heladas.	1:180,000
Tormentas de granizo	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes	Granizadas.	1:180,000
Tormentas de nieve	I	Se hizo análisis, se presentan en las zonas altas del municipio.		
Ciclones Tropicales	I	Mapa de Huracanes históricos	Mapa de huracanes históricos.	1:180,000
Tornados	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes		
Vientos Tormentas de polvo	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes. Este fenómeno se asocia a incendios forestales con mayor énfasis por condición Santa Ana.		
Tormentas eléctricas	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes	Mapa de tormentas eléctricas.	1:180,000
Lluvias extremas	I	El análisis se hizo por registro de datos meteorológicos de precipitación e isoyetas publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes	Mapa de isoyetas. Mapa de lluvias extremas.	1:180,000
Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres	II	Peligro diferentes periodos de retorno	Mapa de subcuencas y arroyos estudiados. Peligro de inundación 5 periodos de retorno.	1:80,000 1:50,000
	I	El análisis se hizo por reporte de antecedentes y recorrido en campo.	Zonas potenciales a inundarse por reconocimiento en campo por Protección Civil Municipal.	1:100,000
Incendios forestales	<b>CICESE - CONAFOR</b>	Incendios históricos Índice de peligro de incendios (IPIF) – modelo matemático	Peligro forestal temporada noviembre – abril, incluye incendios históricos e IPIF. Peligro forestal temporada mayo – agosto, incluye incendios históricos e IPIF. Peligro forestal temporada septiembre – octubre, incluye incendios históricos e IPIF.	1:180,000

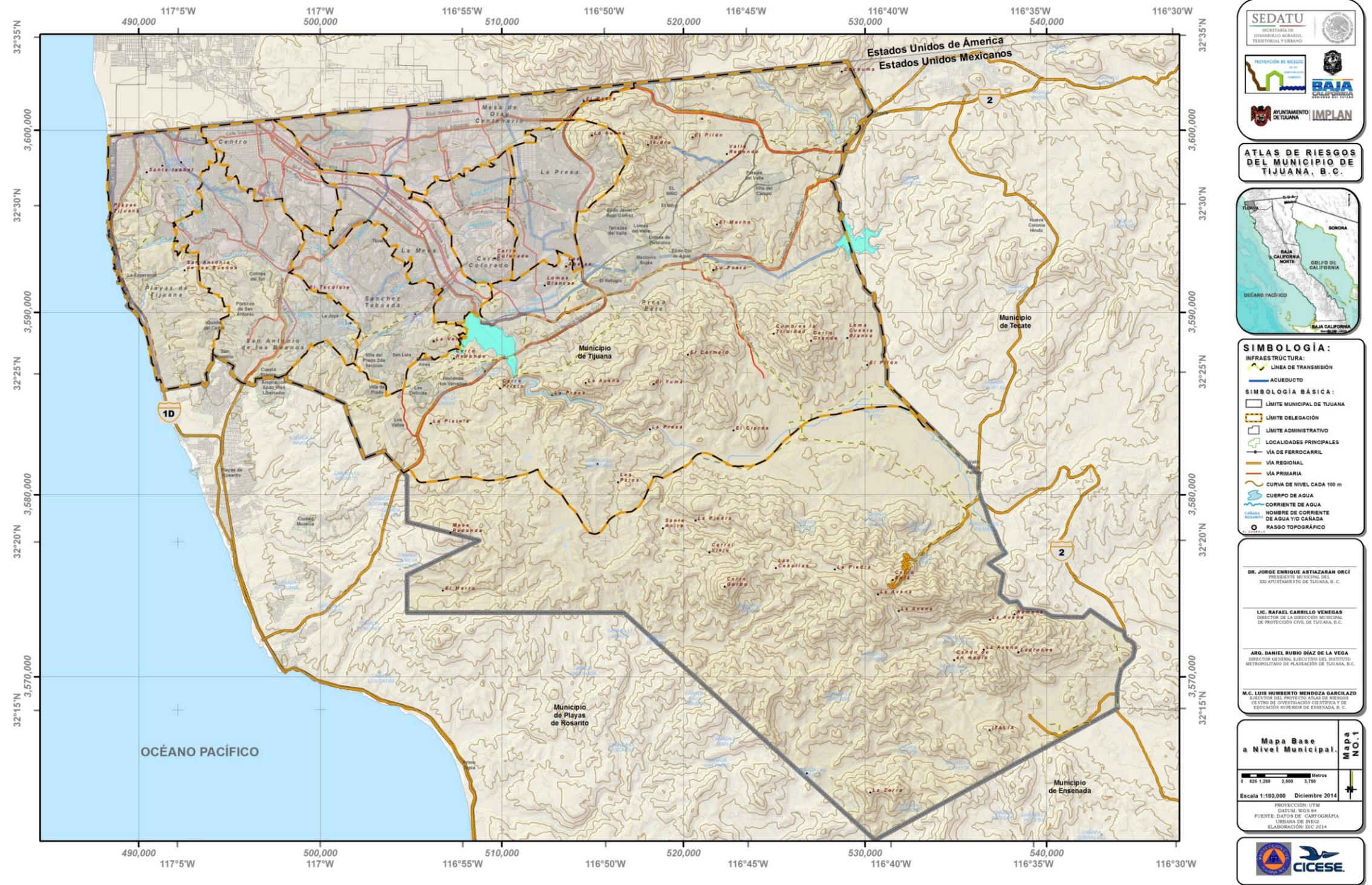


Figura 1. Mapa base del municipio de Tijuana.

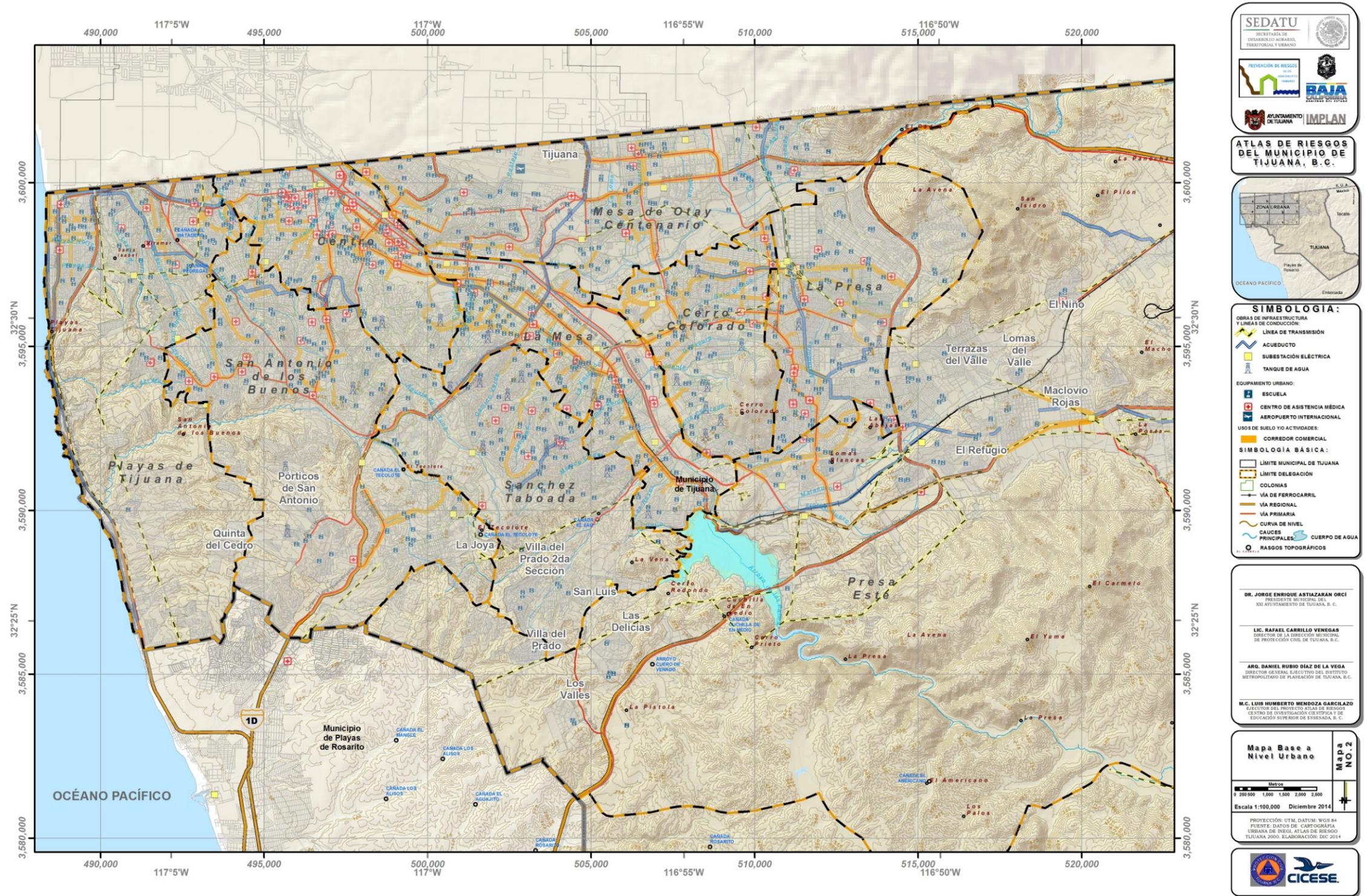


Figura 2. Mapa base urbano de Tijuana, las líneas amarillas indican los cuadrantes en que se dividió la zona urbana (ver anexos).

## CAPÍTULO III. Caracterización de los elementos del medio natural.

El municipio de Tijuana se localiza en el extremo noroeste del Estado de Baja California, cubriendo un área de 1237.86 km<sup>2</sup>. Limita al norte con el condado de San Diego California, EUA, al oeste con el Océano Pacífico, al sur con los Municipios de Playas de Rosarito y Ensenada; al este con el municipio de Tecate. Su cabecera municipal “Tijuana” se asienta en el Valle del Río Tijuana, en esta zona se extiende la mancha urbana.

El entendimiento del medio natural del municipio de Tijuana es muy generalizado por lo que es necesario aumentar el conocimiento del suelo y subsuelo por medio de disciplinas como la geología, geofísica y sismología. Instituciones Científicas han realizado estudios en el municipio sin embargo estos son muy localizados, por lo que es necesario aumentar el conocimiento en estos aspectos para que la información se difunda hacia las disciplinas profesionales y a la comunidad en general. Esta difusión del conocimiento contribuirá a disminuir niveles de riesgos asociados a edificaciones no adecuadas al tipo de suelos donde están cimentadas.

Tijuana se localiza sobre depósitos sedimentarios pobremente consolidados donde son comunes los movimientos de ladera que corresponden a una combinación de factores geológicos (estructurales, estratigráficos y litológicos), topográficos, geomorfológicos y antropogénicos (Atlas Riesgos Tijuana versión 2000). Estos deslizamientos de ladera pueden ser inducidos por lluvias, terremotos u otro fenómeno natural. Para identificar estas zonas de riesgo es necesario realizar un estudio integral a detalle principalmente en la zona urbana donde existe mayor vulnerabilidad social.

En esta sección, se describen las características principales del medio físico natural a nivel región, donde a partir de un análisis integral de la información topográfica, geológica, hidrológica, climática y edafológica se forman unidades relativamente homogéneas (INEGI), el análisis de la hidrología superficial y subterránea permite conocer los aprovechamientos hídricos que existen en la entidad y, finalmente con el uso de suelo, vegetación y áreas naturales protegidas. El estudio de todas estas disciplinas permite indagar las posibles fuentes de riesgo. Como punto de partida esta información nos lleva al conocimiento regional del municipio, posteriormente se identificarán los centros de población y las características que predominan en la zona metropolitana, lo que reflejará su situación actual.

### 3.1. Fisiografía (provincias, subprovincias)

Fisiográficamente el municipio de Tijuana se localiza en la Subprovincia denominada Sierras de Baja California Norte, a su vez contenida en la Provincia Península de Baja California (INEGI, 2009).

La Provincia Península de Baja California, se localiza a lo largo de la Península del mismo nombre con una dirección preferencial NO-SE, limita al norte con el Valle de San Joaquín en Estados Unidos y al sur termina en Cabo San Lucas con una longitud de 1430 km y anchura media de 75 km. A su vez se divide en tres subprovincias: Sierras de Baja California Norte, Sierra La Giganta y la Discontinuidad Fisiográfica del Desierto de San Sebastián Vizcaíno (Figura 3).

La subprovincia Sierras de Baja California Norte se caracteriza por estar conformada por rocas batolíticas graníticas, metamórficas y sedimentarias con un rango de edad que varía del Mesozoico al Reciente, predominando las rocas sedimentarias en la superficie del municipio.

La fisiografía donde se asienta y se desarrolla la mancha urbana de la ciudad de Tijuana, se caracteriza por tener áreas muy accidentadas con altas pendientes y suelos muy poco compactos. La edad de las rocas sedimentarias sobre las que la ciudad de Tijuana está asentada, permite establecer que está edificada sobre depósitos Recientes, muy jóvenes desde el punto de vista geológico (3.0-1.5 millones de años), poco consolidados.

Las elevaciones topográficas varían desde el nivel del mar hasta aquellas con más de 1000 a 3000 msnm, éstas la constituyen las formaciones serranas.

Tabla 2. Provincias Fisiográficas del Municipio de Tijuana (INEGI, 2009).

Provincia Fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	% Municipal
Península de Baja California	Sierras de Baja California Norte	100

Fuente: Cálculo basado en mapa de la Figura 3.

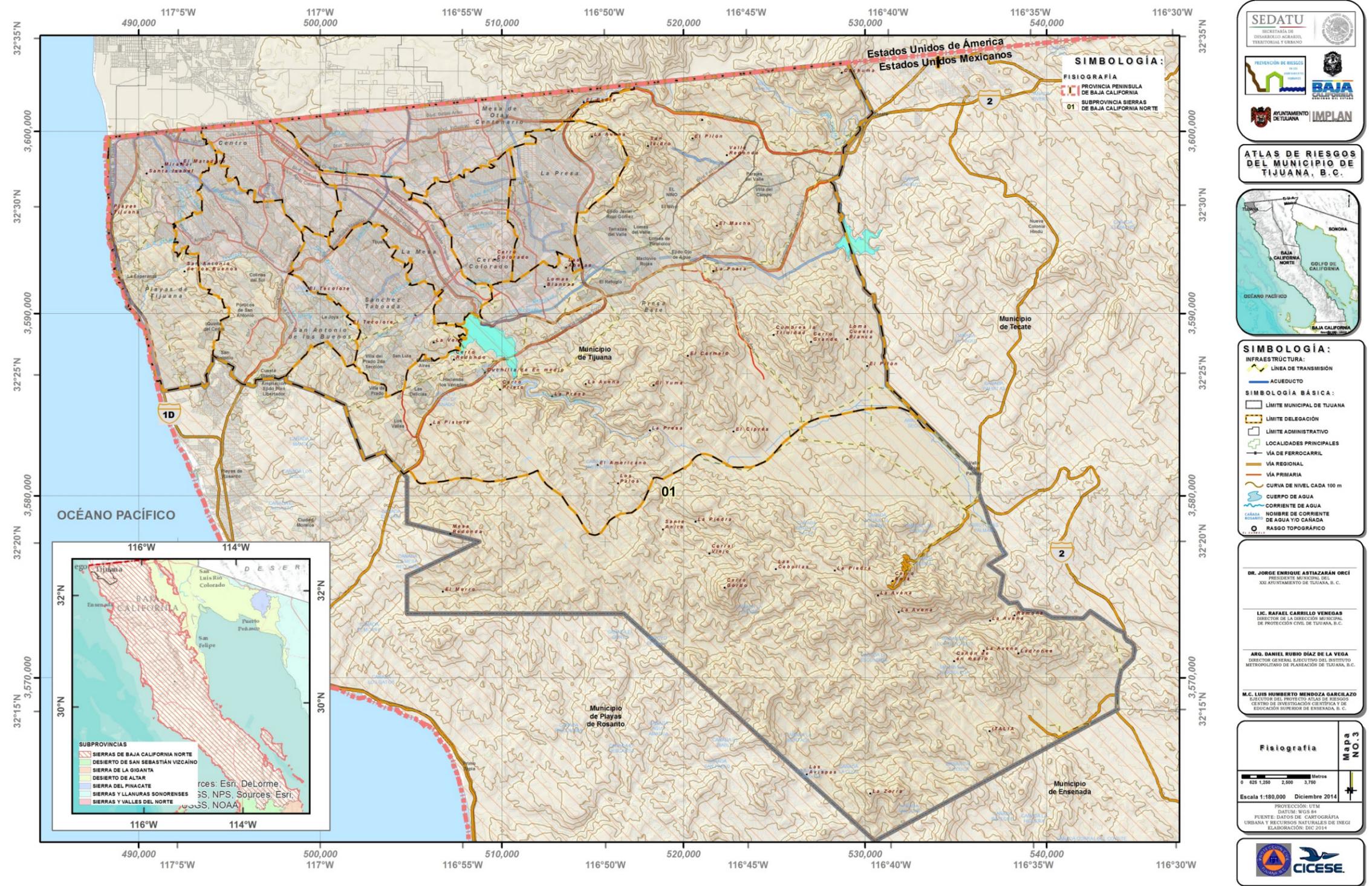


Figura 3. Provincias fisiográficas de Tijuana, (INEGI 2009).

### 3.2. Geomorfología (sistema de topoformas)

El análisis geomorfológico se refiere a las formas y procesos del relieve. Analizando la topografía de Tijuana, así como la identificación de rasgos del terreno a partir de interpretación fotogeológica, Aragón (1996) identificó 6 zonas geomorfológicas, que son: Mesa de Otay (Meseta compleja)<sup>1</sup>, Zona Río (Llanura aluvial costera)<sup>1</sup>, Sierras Alargadas (Meseta compleja con lomeríos)<sup>1</sup>, Sierra de la Presa (Sierra baja)<sup>1</sup>, Sierra de la Gloria (Sierra Alta)<sup>1</sup> y Cerro Colorado (Meseta compleja)<sup>1</sup>, citados por la importancia que actualmente reviste, además debe incluirse como expresión geomorfológica el área de Playas de Tijuana. Estas formas terrestres comúnmente están asociadas al tipo de materiales dominantes (suelos o rocas), a sus propiedades físico-químicas y al tipo e intensidad de agentes naturales que se han manifestado a través del tiempo, destruyendo progresivamente y desgastando las masas originales.

La Mesa de Otay ocupa la parte norte y noroeste de la ciudad, destacan sus amplias mesas, cortadas abruptamente por escarpes altos. La Zona Río corresponde al valle fluvial generado por los cauces del Río Tijuana y el Río Alamar, distinguiéndose por ocupar áreas de bajo relieve topográfico. Las Sierras Alargadas corresponden a la parte oeste y sur de la ciudad, donde destacan lomeríos elongados, intensamente afectados por canales de escurrimiento que constituyen verdaderas amenazas para la población asentada en sus límites. La Sierra de la presa (Sierra Baja) es el conjunto de elevaciones que se ubican en la parte sur y este de la presa Abelardo L. Rodríguez. La Sierra de la Gloria (Sierra Alta) está formada por elevaciones regulares del extremo noreste.

El Cerro Colorado se localiza en la parte este de Tijuana, siendo el rasgo más alto del entorno. Playas de Tijuana está ubicada en el extremo noroeste de la zona urbana, ocupando parte de la zona costera y caracterizándose por ser una zona de pendiente suave. Otros rasgos predominantes son la Sierra de la Gloria, y Sierra de la Presa, estos se encuentran al este de la mancha urbana (Figura 4).

El extremo oeste de la Cuenca del Río Tijuana coincide con el trazo y avance de la zona urbana, cuyo eje de referencia ha sido la configuración de los Ríos Tijuana y Alamar (Chávez, 1996; Romo, 1996). Esto significa que al menos una parte de cada expresión geomorfológica de las mencionadas, queda incluida en la cuenca referida (Figura 4).

<sup>1</sup> Según clasificación del INEGI (2009)

La tabla 3 muestra las topoformas y porcentaje de área que ocupan en el en el municipio (INEGI, 2009) las topoformas Sierra baja y Meseta compleja son las presentan mayor área en el Municipio,

Tabla 3. Sistemas de topoformas del Municipio de Tijuana (INEGI, 2009).

Topoforma	Área (km <sup>2</sup> )	% Municipal
Llanura aluvial costera salina	78.34	6.33
Lomerío escarpado	8.18	0.66
Lomerío escarpado con bajadas	118.91	9.61
Lomerío tendido	91.63	7.40
Meseta compleja	319.78	25.83
Meseta compleja con lomerío	102.61	8.29
Meseta disectada con lomerío	7.58	0.61
Sierra alta	53.87	4.35
Sierra baja	389.62	31.48
Valle intermontano abierto	4.74	0.38
Valle intermontano abierto con lomerío	9.14	0.74
Valle intermontano cerrado	53.44	4.32
Total	1237.84	100.00

Fuente: Cálculo basado en mapa de la Figura 4.

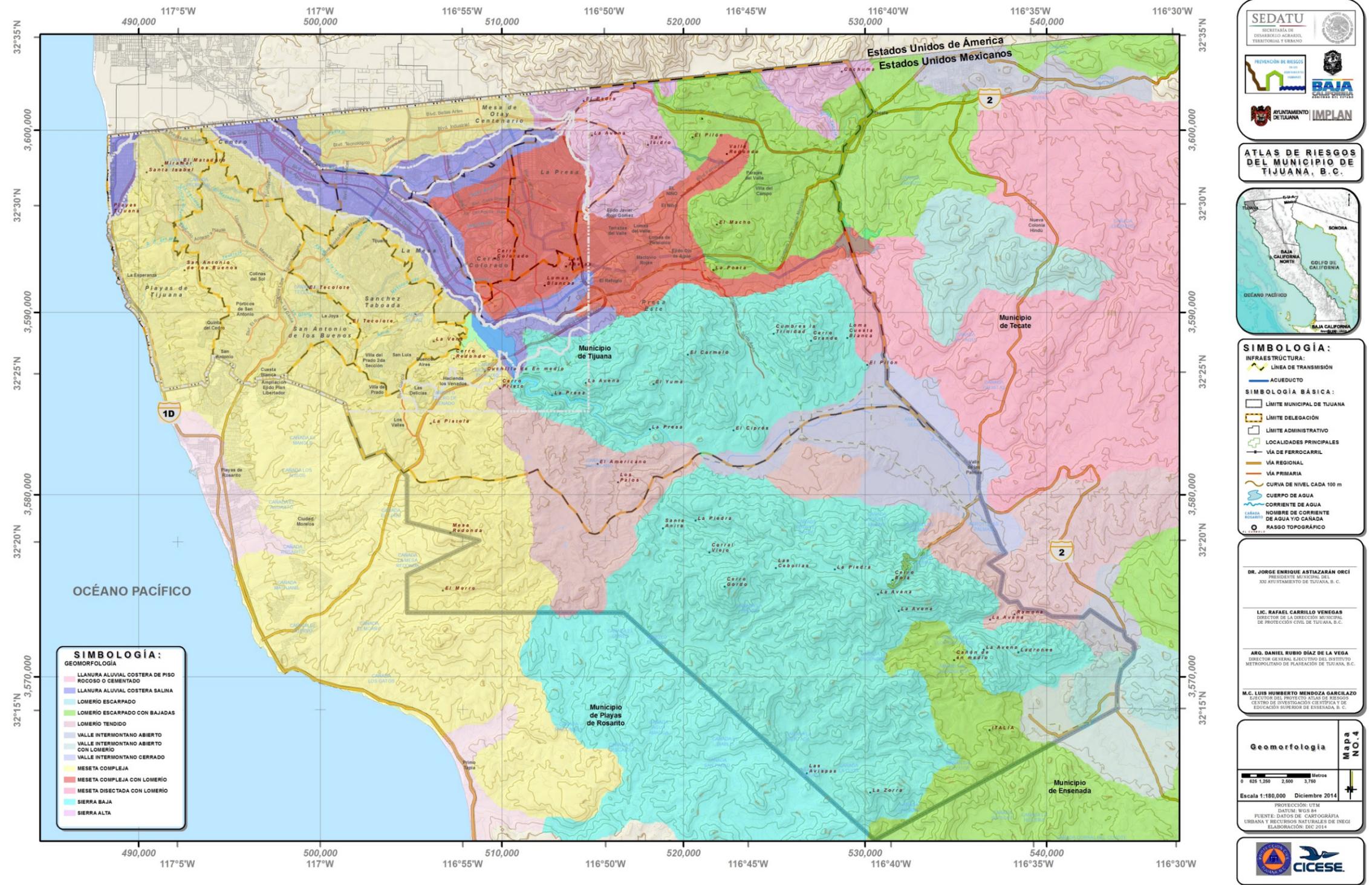


Figura 4. Geomorfología de Tijuana (INEGI, 2009), Zona urbana (Aragón, 1996).

### 3.3. Geología (minas, fallas y tipos de roca)

Existen importantes contrastes de origen geológico en la ciudad, especialmente si se consideran las expresiones geomorfológicas, las asociaciones y relaciones litológicas, los arreglos geológico-estructurales y la edad de los materiales expuestos. Cada uno de estos aspectos responde de manera particular a los diferentes agentes que los afectan. Cuando estos agentes se conjuntan o rebasan la condición de equilibrio de fuerzas, pueden generar escenarios muy delicados y de riesgo (Diagnóstico de Riesgos Urbanos, Parte I, Sergio Vázquez Hernández, 2002 Editado por Ayuntamiento de Tijuana, Dirección de Protección Civil).

Una descripción generalizada del municipio de Tijuana, se describe a continuación: a las unidades cretácicas del basamento les sobreyace la Formación (Fm.) Rosarito Beach del Mioceno, la cual está bien expuesta entre las ciudades de Tijuana y Ensenada. La Fm. Rosarito Beach está formada por derrames basálticos y brechas que tienen interestratificadas arenas con matriz de lodo, tobas, arenas tobáceas, calizas y conglomerados. Con base en su distribución, trama y contenido faunístico el ambiente de depósito de los sedimentos fue interpretado como fluvial, lacustre y de plataforma marina (Ashby, 1989). Durante el Plio-Pleistoceno, en los alrededores de Tijuana, se depositó la Fm. San Diego sobre las tobas de la Fm. Rosarito Beach. Está constituida por arenas finas en la base, arenas y conglomerados en la cima, que fueron depositados en cuencas estructurales de tipo transtensional (Minch et al., 1984). La sobreyace discordantemente la Fm. Lindavista del Pleistoceno-Reciente (Gastil et al., 1975) formada por areniscas y conglomerados que, en el sur de Tijuana, coronan los cerros y las mesetas. La Ciudad de Tijuana está edificada principalmente sobre estas dos últimas formaciones. Solamente el Cerro Colorado y el Cerro de la Abeja, en el extremo este, contrastan por su origen volcánico. Rocas volcánicas también son visibles en el extremo suroeste, cerca de la colindancia con el Municipio de Playas de Rosarito. Un tercer grupo de origen volcánico existe en el extremo sureste. Menores exposiciones de rocas ígneas intrusivas y metamórficas aparecen en el extremo noreste y sur-sureste.

La distribución en tiempo y espacio de la litología mencionada varía de manera importante, de acuerdo a la zona de la ciudad que se analice; sin embargo a grandes rasgos, basados en estudios previos, se pueden considerar dos columnas estratigráficas representativas (Minch, 1967; Flynn, 1970), una de la parte este y otra de la parte oeste (Tabla 5). En la tabla los materiales más antiguos se anotan en la parte inferior, siendo más jóvenes a medida que se asciende.

Es importante aclarar que no en cualquier sitio se encontrará esta distribución, ni tendrá exactamente las mismas características, pero precisamente esta incertidumbre es la que eventualmente se hace importante tener presente en problemas de riesgo geológico, por lo tanto, siempre será útil describirla, obteniendo la información más amplia y detallada que sea posible; lo cual daría la oportunidad de contar con información más confiable de la distribución estratigráfica en el municipio (López Álvarez, 2002).

La figura 5 muestra el mapa Geológico del Municipio de Tijuana donde se presentan las principales unidades litológicas (datos vectoriales geológicos escala 1:250000, INEGI, 2000) y rasgos estructurales (Gastil et al., 1975) La tabla 4 muestra sus porcentajes en superficie.

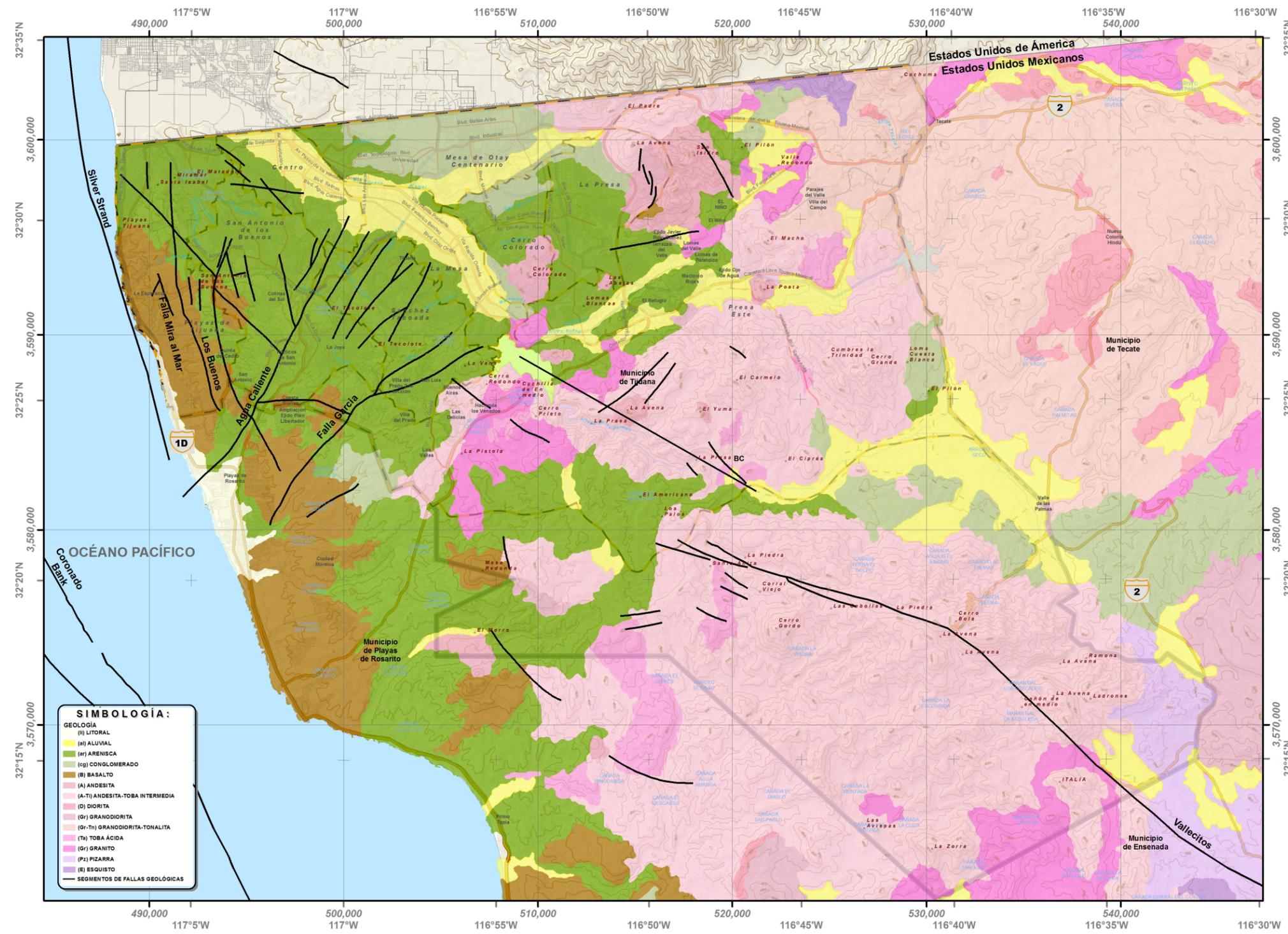
Tabla 4. Geología del Municipio de Tijuana (INEGI, 2009).

TIPO	CLAVE	ÁREA	% MUNICIPAL
Andesita-Toba intermedia	K(A-Ti)	482.52	38.98
Arenisca	Tpl(ar)	279.94	22.62
Aluvial	Q(al)	129.51	10.46
Conglomerado	Q(cg)	72.13	5.83
Granito	K(Gr)	61.36	4.96
Granodiorita-Tonalita	K(Gd-Tn)	45.36	3.66
Arenisca	Ks(ar)	43.03	3.48
Basalto	Ts(B)	36.72	2.97
Andesita	Ts(A)	35.01	2.83
Toba ácida	Ts(Ta)	19.20	1.55
Pizarra	M(Pz)	17.44	1.41
Esquisto	M(E)	5.15	0.42
Arenisca	Q(ar)	5.05	0.41
Granodiorita	K(Gd)	3.63	0.29
Litoral	Q(li)	1.08	0.09
Diorita	K(D)	0.70	0.06
<b>Total</b>		<b>1237.82</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Cálculo basado en mapa de la Figura 5.

Tabla 5. Estratigrafía característica de la zona urbana de Tijuana, B. C. (Modificada de Minch, 1967 y Flynn, 1970).

EDAD	LITOLOGÍA (EXTREMO OESTE)	ESPESOR (METROS)	EDAD	LITOLOGIA (EXTREMO ESTE)	ESPESOR (METROS)
Reciente	Depósitos de terraza: Areniscas fosilíferas sin consolidar.	Sin determinar	Reciente	Aluvión: Arena, limo, arcilla y conglomerado.	Variable
Pleistoceno	Fm. Lindavista: Terrazas de areniscas y conglomerado.	0 – 4.6	Pleistoceno	Depósitos de terraza: Areniscas y limolitas de escasa compactación.	Sin determinar
Plioceno	Fm. San Diego: Conglomerados y areniscas color marrón, fosilíferas.	200	Plioceno	Fm San Diego: Arenisca y Conglomerado color café.	90
Mioceno-Plioceno	Fm Rosarito Beach: Basaltos, tobas interestratificadas, areniscas, brechas y calizas.	> 1155	Mioceno	Fm. Rosarito Beach: Alternancia de basalto y arenisca. Localmente ceniza y tobas.	200 - 250
Eoceno	Indiferenciada: Areniscas.	Sin determinar (50 metros expuestos)	Eoceno	Fm. Buenos Aires: Arenisca, Lodolita arenosa y Lutita. Conglomerado. Fm. Delicias: Arenisca fosilífera y Lodolita.	130 – 150 43 - 60
Cretácico	Fm. Rosario: Areniscas y lutitas.	Sin determinar	Cretácico	Fm. Rosario: Arenisca y lodolita. Fm. Redonda: Conglomerado.	120 60 - 120
Jurásico	Fm. Santiago Peak: Rocas metavolcánicas y metasedimentarias.	Sin determinar			



**SIMBOLOGÍA:**

**GEOLOGÍA**

- (l) LITORAL
- (al) ALUVIAL
- (ar) ARENISCAS
- (cg) CONGLOMERADO
- (B) BASALTO
- (A) ANDESITA
- (A-Ti) ANDESITA-TOBA INTERMEDIA
- (D) DIORITA
- (Gr-Th) GRANODIORITA-TONALITA
- (Th) TOBA ÁCIDA
- (Gr) GRANITO
- (Pz) PIZARRA
- (E) ESQUISTO
- SEGMENTOS DE FALLAS GEOLÓGICAS

ATLAS DE RIESGOS  
DEL MUNICIPIO DE  
TIJUANA, B.C.



**SIMBOLOGÍA:**

**INFRAESTRUCTURA:**

- LÍNEA DE TRANSMISIÓN
- ACUEDUCTO

**SIMBOLOGÍA BÁSICA:**

- LÍMITE MUNICIPAL DE TIJUANA
- LÍMITE DELEGACIÓN
- LÍMITE ADMINISTRATIVO
- LOCALIDADES PRINCIPALES
- VÍA DE FERROCARRIL
- VÍA REGIONAL
- VÍA PRIMARIA
- CURVA DE NIVEL CADA 100 m
- CUERPO DE AGUA
- CORRIENTE DE AGUA
- NOMBRE DE CORRIENTE DE AGUA Y/O CAJADA
- RASGO TOPOGRÁFICO

**DR. JORGE ENRIQUE ASTAZARÁN ORCI**  
PRESIDENTE MUNICIPAL DEL  
AYUNTAMIENTO DE TIJUANA, B. C.

**LIC. RAFAEL CARRILLO VENEGAS**  
DIRECTOR DE LA DIRECCIÓN MUNICIPAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL DE TIJUANA, B. C.

**ARG. DANIEL RUBIO DÍAZ DE LA VEGA**  
DIRECTOR GENERAL EJECUTIVO DEL INSTITUTO  
METROPOLITANO DE PLANEACIÓN DE TIJUANA, B. C.

**M.C. LUIS HUMBERTO MENDOZA GARCILAZO**  
DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE  
EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, B. C.

**Geología Superficial**

Mapa N.º 3

Escala 1:180,000 Diciembre 2014

PROYECCIÓN: UTM  
DATUM: WGS 84  
FUENTE: DATOS DE CARTOGRAFÍA  
URBANA Y RECURSOS NATURALES DE INEGI  
ELABORACIÓN: DIC 2014



Figura 5. Mapa geológico de Tijuana, INEGI, 2009.

### 3.4. Edafología

Los suelos del Municipio de Tijuana presentan espesores diversos, dependiendo de su posición topográfica. Se pueden encontrar desde ausentes en las partes más altas de las sierras, hasta cercanos a un metro en regiones localizadas en los valles. En cuanto a su estructura, presentan fases líticas y pedregosas de tipo detrítico con espesores escasos y carentes de vegetación, y de composición mayormente sódica. El relieve topográfico de la ciudad ha permitido el desarrollo de seis tipos de suelo: Regosol, Litosol, Xerosol, Vertisol, Fluvisol y Feozem (Figura 6).

De acuerdo a la clasificación FAO/UNESCO las unidades edáficas encontradas en el Municipio de Tijuana son: Litosol (L), Vertisol crómico (Vc), Xerosol háplico (Xh), Fluvisol eútrico (Je), y Regosol eútrico (Re) como se muestra en la Figura 6 (Tabla 4).

#### Litosol

Estos suelos son muy delgados (menos de 10 cm.), son de textura media, poco desarrollados, pedregosos de topografía accidentada y susceptibles a la erosión (SPP, 1982). Este tipo de suelo es el que predomina con un 52% del área del Municipio.

#### Vertisol crómico

Estos suelos ocupan el 27.5% de la superficie Municipal. Se caracterizan por tener más del 40% de arcilla, dominando la arcilla montmorillonita que al contacto con el agua se expande, con lo que sus poros se cierran y el suelo se vuelve 'chicloso' y se anega con facilidad por drenaje insuficiente; contrariamente, en la época de secas, el suelo se endurece y agrieta (SPP, 1982); se les conoce como suelos expansivos debido a que provocan hundimientos diferenciales y cuarteaduras en las construcciones.

#### Xerosol háplico

Se caracterizan por tener una capa superficial de tono claro y muy pobre en humus, debajo de la cual puede haber un subsuelo rico en arcillas. Los xerosoles tienen baja susceptibilidad a la erosión, excepto cuando están en pendientes o sobre caliche (SPP, 1982). En el Municipio tiene un área de 5.38%.

#### Fluvisol eútrico

El Fluvisol está formado por depósitos aluviales recientes, se observan en el 3.83 % del territorio Municipal, son de color claro y tienen una estructura de bloques subangulares en A, las capas carecen de estructura, poros, consistencia, adhesividad y plasticidad (SPP, 1982).

#### Regosol calcárico

Están formados por materiales no consolidados y blandos; presentan muy poco contenido de materia orgánica en el horizonte A, por lo que se consideran poco evolucionados hasta que no se constituya una estructura estable característica de un horizonte B. Carecen de horizonte de diagnóstico. El color en seco, en general, es café y café rojizo oscuro; en húmedo, presentan una coloración clara, con gran parecido a la roca sobre la que subyacen. Por lo general son de textura media y presentan fases dúricas, líticas y gravosas (SPP, 1982).

#### Feozem calcárico

Este tipo de suelo es el que ocupa un área menor en el Municipio. Estos suelos reaccionan al HCl al menos en alguna parte del suelo entre 20 y 50 cm de profundidad; tiene un horizonte A mólico (rico en materia orgánica) y un horizonte B cámbico (SPP, 1982).

La información edafológica nos proporciona la ubicación y características de los distintos tipos de suelo. De esta forma los especialistas y planeadores del desarrollo pueden identificar la formación de conglomerados no consolidados o inestables. Estos últimos están compuestos por materiales arenosos de texturas gruesas y medias, y se erosionan fácilmente. Por estas características es que donde se encuentran estos suelos ocurren intensos movimientos de masa o deslizamientos, ocasionando muertes, destrucción de infraestructura y equipamiento urbano y propiedades. Los conglomerados son inestables lo que constituye un gran problema ambiental principalmente durante la época de lluvias. La Tabla 4 resume las superficies que ocupa cada una de las unidades de suelos en el área de estudio.

Tabla 6. Tipos de suelo de Tijuana.

TIPO DE SUELO	CLAVE	% MUNICIPAL	km <sup>2</sup>
Litosol	L	51.71	639.69
Vertisol crómico	Vc	19.67	243.30
Xerosol háplico	Xh	5.32	65.85
Fluvisol eútrico	Je	6.12	75.76
Regosol eútrico	Re	3.24	40.06
ZU		13.54	167.54
H2O		0.39	4.86
Total		100.00	1237.06

Fuente: Cálculo propio basado en Mapa 6.

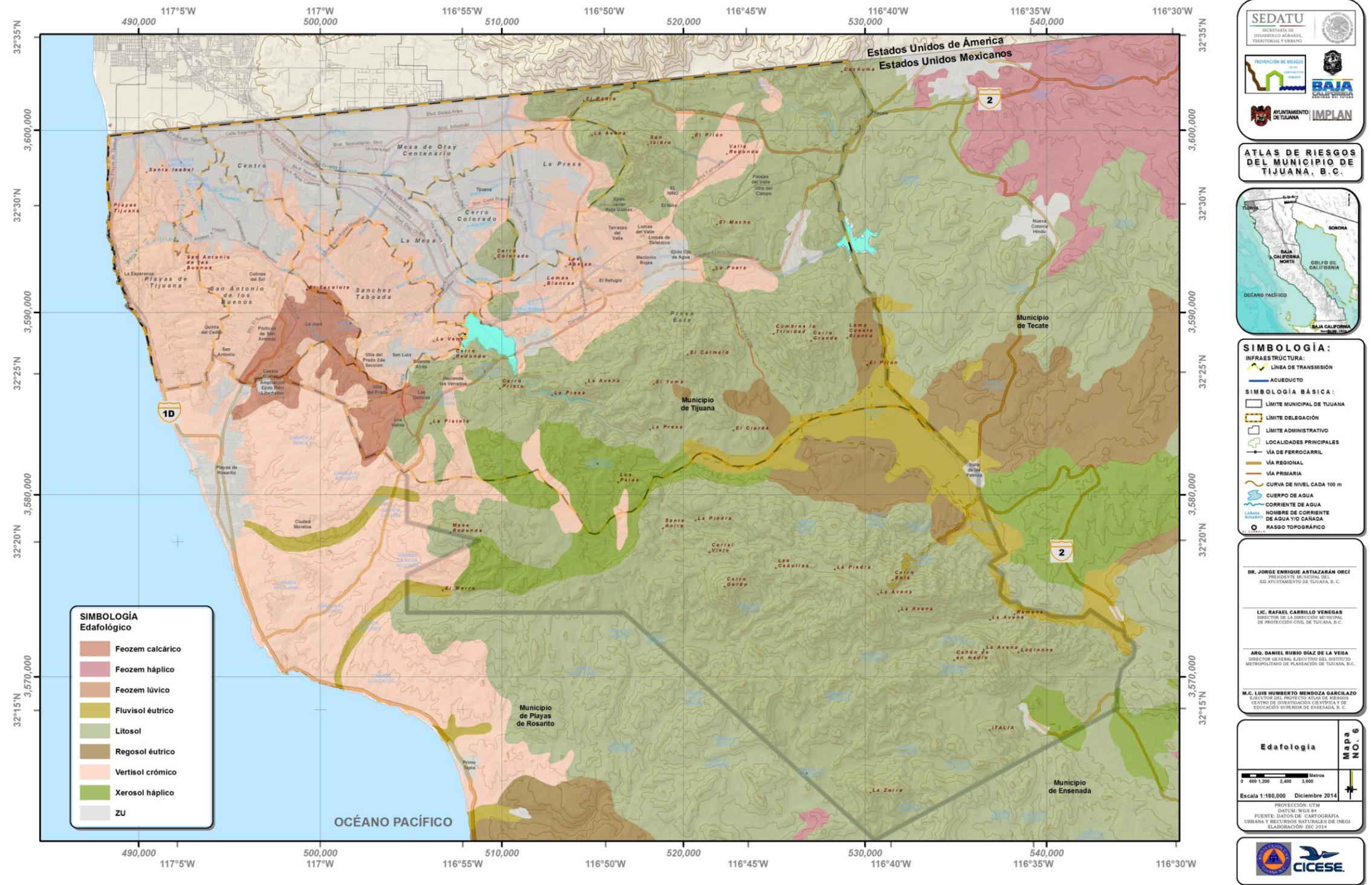


Figura 6. Mapa de edafología, INEGI Serie I escala 1:250,000, Continuo Nacional.

### 3.5. Hidrología (corrientes y cuerpos de agua)

El municipio de Tijuana pertenece a una de las zonas más áridas del país donde la mayoría de las corrientes fluviales son de carácter intermitente, o con escurrimientos mínimos en breves periodos de tiempo en el año. Situación similar en lo relacionado con los acuíferos, que son pequeños y localizados y existen escasos sistemas acuáticos continentales, lacustres, ríos, arroyos, manantiales, etc. Esta situación genera una alta dependencia en el agua extraída de pozos, de dos presas existentes en la región y el acueducto Río Colorado-Tijuana.

#### Hidrología superficial

Tijuana, se encuentra en la Región Hidrológica 1 (RH-1) llamada Baja California Noroeste (Ensenada), que tiene un área de 26,599.50 km<sup>2</sup> y representa el 37.4 % de la superficie estatal. La región está totalmente dentro del Estado de Baja California de acuerdo a las definiciones nacionales. Sin embargo comparte algunas corrientes con los Estados Unidos lo que indica una continuidad más allá de la frontera internacional en la región hidrológica de South Coast.

El municipio de Tijuana se encuentran específicamente en las subcuencas “d”- Arroyo El Descanso, “e”- Río Las Palmas y “f”- Río Tijuana y en menor proporción “c”- R. Guadalupe (Tabla 5).

Tabla 7. Región hidrológica 1, cuencas y subcuencas en C

Cuenca	Clave	Nombre	% Municipal*
	C	R. Tijuana - A. de Maneadero.	100
Sub-cuencas en C	c	R. Guadalupe	5.21
	d	A. El Descanso	21.10
	e	R. Las Palmas	35.64
	f	R. Tijuana	38.03

Fuente: INEGI. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (Calculo basado en Figura 7)

Entre los cuerpos de agua importantes dentro la zona de estudio son las presas Abelardo L. Rodríguez y El Carrizo:

La Abelardo L. Rodríguez (450 ha, CNA, 1999) presentó un descenso del volumen de almacenamiento hasta alcanzar un valor prácticamente nulo durante la década de los 50 hasta 1977 (Reyes Coca y colaboradores, 2004, Hernández Cerda y colaboradores, 2004) y en los años 1988, 1997 y del 2002 hasta la actualidad. Las variaciones del volumen de la presa están condicionadas, además de la precipitación, por la evaporación y la temperatura.

El Carrizo es derivadora del acueducto Río Colorado – Tijuana, no depende mayormente de los aportes pluviales. En la última década su volumen y su nivel han permanecido relativamente constantes (PRONACOSE, 2014).

Las corrientes intermitentes al llevar agua sólo en época de lluvias, captan agua de afluentes secundarios que hacen que en poco tiempo aumenten su caudal, generando así corrientes de acción erosiva y de arrastre, que modela los cauces anualmente. La mayoría de los arroyos tienen escaso potencial hidrológico utilitario (agricultura, doméstico, pecuario, etc.) debido a la escasa precipitación, presentan pendientes de 5%-15%, la mayoría sin delimitación, obras de protección o canalización. En muchos de estos cauces se presenta invasión ilegal.

Los principales ríos son:

- Río Tijuana. Canalizado 100% con concreto. Eje vial articulador de la ciudad. Principal zona comercial y de desarrollo urbano.
- Arroyo Alamar. En proceso de canalización. Zona de recarga acuífera. Flujo de agua permanente y escaso.
- Arroyo Las Palmas. Sin canalización. Recarga de mantos acuíferos. Aporte de agua a la Presa “Abelardo L. Rodríguez”.
- Arroyo Matanuco. Recarga de mantos acuíferos. Inicia canalización.
- Arroyo El Florido. Recarga de mantos acuíferos. Sin canalización.

#### Hidrología subterránea

El agua subterránea se considera como no renovable debido a la escasa precipitación pluvial, y la lenta renovación de las fuentes de agua subterráneas para efectos productivos. De acuerdo a las condiciones geohidrológicas del Estado, todo el territorio se considera como zona de veda a la extracción.

El Sistema Acuífero Transfronterizo San Diego-Tijuana se localiza en la porción sur del Estado de California, en los EUA, y en la porción norte del Estado de Baja California, en México. En esta región el clima es seco y la agricultura es la actividad principal. La demanda de agua para usos es alta en ambos países, concentrándose en las ciudades de San Diego en los EUA y Tijuana en México.

El acuífero está conformado por materiales aluviales en los valles y por conglomerados en las terrazas y lomeríos adyacentes. Su extensión superficial es reducida y su espesor en territorio mexicano es de unos 300 m; en la planicie de San Diego su espesor es menor. A México le corresponde la parte “aguas arriba” del sistema. La extracción de agua subterránea es mayor en territorio mexicano, aunque disminuyó al incrementarse la importación de agua desde la cuenca del Río Colorado para el abastecimiento de Tijuana. La salinidad del agua subterránea aumenta con la profundidad en territorio mexicano y en la planicie costera de San Diego se registra la ocurrencia de intrusión de agua marina en la franja costera (UNESCO-OEA, 2007).

El crecimiento urbano de Tijuana ha originado una contaminación creciente del acuífero y el ascenso de los niveles freáticos provocado por las fugas en las redes hidráulicas. El sistema es importante para el desarrollo urbano en ambos países, aunque se tiende a incrementar la importación de agua desde la cuenca del río Colorado (UNESCO-OEA, 2007).

En el municipio de Tijuana, existen cuatro zonas de recarga natural al acuífero, siendo los arroyos Alamar, El Florido, Matanuco, y Las Palmas, dónde se generan los principales sistemas de flujos regionales y locales, así como afloramientos de aguas subterráneas (manantiales de aguas frías), algunos localizados hacia la parte media de los afloramientos ígneos al noreste del centro de población, presentando cambios en la litología y permeabilidad. La Comisión Nacional del Agua en 1996, reporta que el acuífero del Río Tijuana tiene una recarga de 24.8 millones de metros cúbicos, en tanto que se extraen 24 millones de metros cúbicos, considerando que se encuentra en equilibrio. La Tabla 8 y 9 muestra la descripción de los acuíferos pertenecientes al municipio de Tijuana y su relación de recarga extracción y condiciones geohidrológicas respectivamente.

#### Fuentes de abastecimiento de la Ciudad de Tijuana

Las fuentes de abastecimiento para la población de Tijuana son subterráneas y superficiales.

- Aguas subterráneas: captadas por pozos profundos, de los denominados pozos de Tijuana y Pozos de la “Misión” (ver Figura No. 7).
- Aguas superficiales: Presa Abelardo L. Rodríguez que recibe afluente de la cuenca del Río Tijuana o Río Palmas y las provenientes del Río Colorado en el Valle de Mexicali (acueducto desde otra cuenca) con riesgos en la calidad del agua (salinización).

Tabla 8 Descripción de los acuíferos presentes en la zona. Fuente (CNA et al, 1999).

ACUÍFERO	DESCRIPCIÓN
TIJUANA	Se localiza al sureste de la ciudad en la subcuenca del Río Tijuana. Es un acuífero tipo libre en depósitos aluviales que rellenan un valle, formado con grava y arena así como limo y arcilla. La extracción se realiza en 429 aprovechamientos (33% pozos). El uso a que se destina el agua subterránea es: 47% riego; 29% público y 23% industria. <b>N.E.</b> (m): 5-10; <b>Espesor</b> (m): 60; <b>Caudales promedio</b> (l/s) 10-50
TECATE	Se localiza hacia el sureste de la Ciudad de Tecate en la subcuenca del Río Tijuana. El acuífero está conformado por tres valles intermontanos, es tipo libre y está constituido por grava, arena, limo y arcilla. La extracción se realiza con 57 pozos y 30 norias. El agua se destina principalmente al riego (50%) y uso público (36%). <b>N.E.</b> (m): 1-8; <b>Espesor</b> (m): 50; <b>Caudales promedio</b> (l/s) 30
EL DESCANSO	Se ubica al sureste de la ciudad de Tijuana, a 22 km de Rosarito, en la vertiente del Pacífico sobre la subcuenca del río Tijuana. El acuífero es pequeño, de tipo libre, constituido de materiales fluviales y aluviales: boleos, gravas y arenas. La poca extracción se realiza a través de 15 pozos y 4 norias. <b>N.E.</b> (m): 1-6; <b>Espesor</b> (m): 22; <b>Caudales promedio</b> (l/s) 5
LOS MEDANOS	Se ubica junto a la zona de El Descanso, a 19 km al sur de Rosarito también sobre la vertiente del Pacífico. Su acuífero también es pequeño y de tipo libre, constituido por boleos, gravas y arenas asociados con depósitos fluviales. La extracción se realiza a través de 9 pozos, 7 norias. El uso a que se destina es para riego <b>N.E.</b> (m): 1-10; <b>Espesor</b> (m): 40; <b>Caudales promedio</b> (l/s) 5-10
LAS PALMAS	Se localiza al oeste del poblado Las Palmas y al sur de Tecate, sobre la subcuenca del río las Palmas que alimenta a la presa A.L. Rodríguez. El acuífero es tipo libre, en arenas y gravas de buena permeabilidad. La extracción se realiza a través de 89 aprovechamientos. El agua se utiliza básicamente con fines agropecuarios. <b>N.E.</b> (m): 3-10; <b>Espesor</b> (m): 30-100; <b>Caudales promedio</b> (l/s) 10-30
ROSARITO	Se localiza al sur de Tijuana y sobre la vertiente del Pacífico. La extracción se realiza en cerca de 154 aprovechamientos, principalmente norias (39 pozos). La extracción se destina principalmente para riego. <b>N.E.</b> (m): 10-80; <b>Espesor</b> (m): s/d; <b>Caudales promedio</b> (l/s) <10

Tabla 9. Tabla maestra de acuíferos de Tijuana, actualizada al 31 dic 2009.

CLAVE GEOH.	ACUÍFERO	RH	CUENCA	SUBREGIÓN HIDROLÓGICA	RECARGA (hm <sup>3</sup> /año)	EXTRACCIÓN (hm <sup>3</sup> /año)	CONDICIÓN GEOHIDROLÓGICA	VOLUMEN CONCESIONADO Y/O REGISTRADO REPDA 31-MZO-2009	DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS AL 31-MZO-2009	DÉFICIT DE AGUAS SUBTERRÁNEAS AL 31-MZO-2009
BCA01	TIJUANA	01	RÍO TIJUANA-A. MANEADERO	RIO TIJUANA	16.00	17.00	SUBEXPLOTADO	15.47	0.53	0.00
BCA02	TECATE	01	RÍO TIJUANA-A. MANEADERO	RIO TIJUANA	10.10	11.00	SUBEXPLOTADO	12.04	0.00	- 1.94
BCA03	EL DESCANSO	01	RÍO TIJUANA-A. MANEADERO	RIO TIJUANA	2.70	1.90	SUBEXPLOTADO	1.85	0.45	0.00
BCA04	LOS MEDANOS	01	RÍO TIJUANA-A. MANEADERO	RIO TIJUANA	1.80	0.70	SUBEXPLOTADO	0.72	0.98	0.00
BCA05	LAS PALMAS	01	RÍO TIJUANA-A. MANEADERO	RIO TIJUANA	10.50	7.90	SUBEXPLOTADO	11.25	0.00	- 4.25
BCA45	ROSARITO	01	A. SANTA CATARINA-A.ROSARIO	RIO TIJUANA	6.20	3.90	SUBEXPLOTADO	4.18	1.52	0.00

Fuente: CONAGUA, 2009.

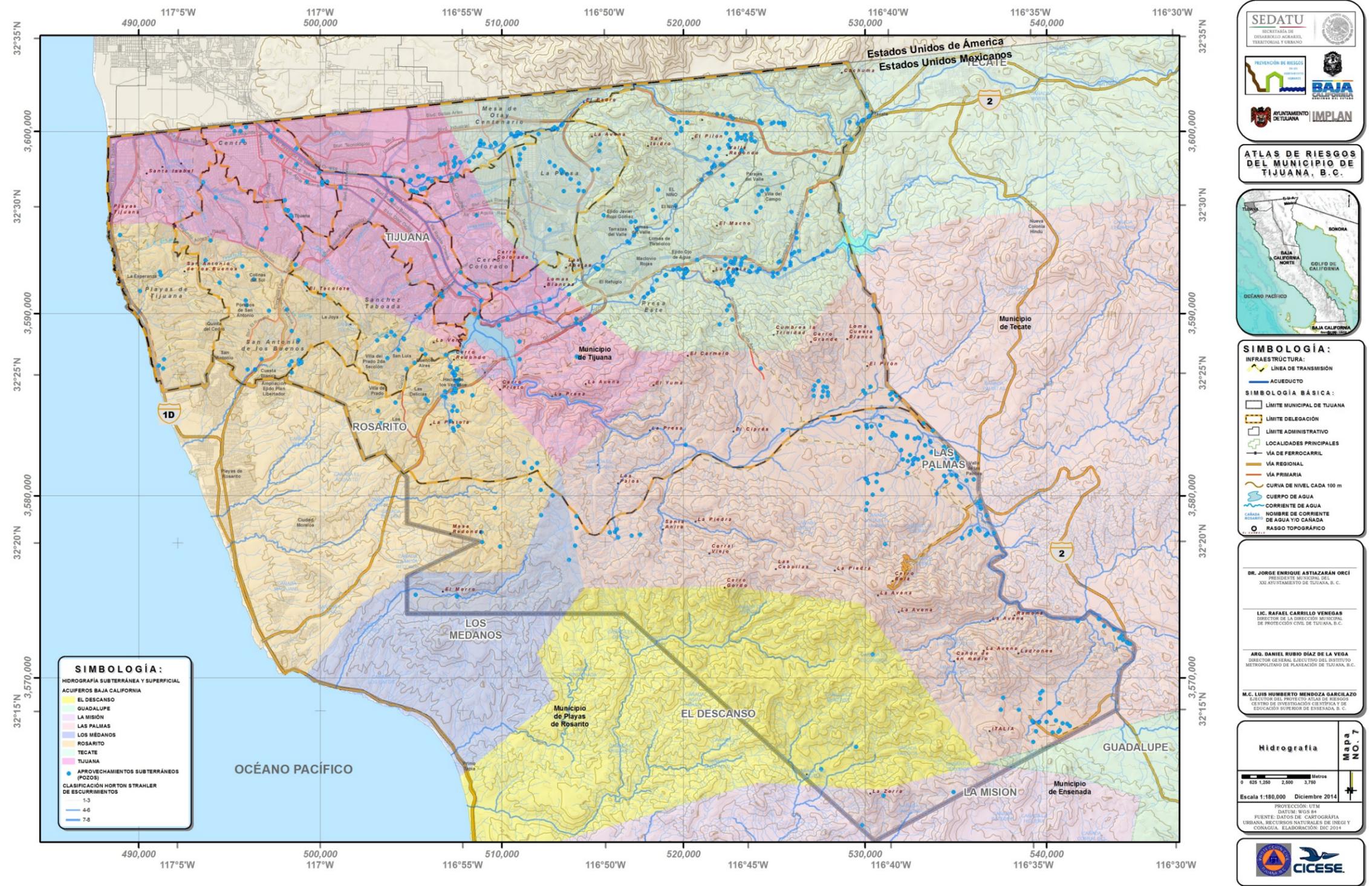


Figura 7. Hidrografía superficial y subterránea. Fuente CONAGUA (índice de archivos \*.kmz), INEGI.

### 3.6. Cuencas y sub-cuencas

Una cuenca es el área geográfica por donde transita el agua hacia una corriente principal (cauce o río) y luego hacia un punto común de salida. Las cuencas superficiales tienen límites físicos naturales llamados parte aguas. Para obtener estos límites se realizó un análisis del relieve topográfico (Modelo Digital de Elevación MDE).

Existen tres niveles de cuencas, las cuencas asociadas a grandes sistemas hidrológicos, subcuencas o cuencas de segundo orden y un tercer nivel que puede denominarse microcuencas. En el presente análisis se identificaron las cuencas con un área mayor a 100 km<sup>2</sup> y las microcuencas con un área menor a 30 km<sup>2</sup>.

En el recuadro de la Figura 8 se observa la cuenca Río Tijuana en color azul-verde (cyan). Ésta cuenca es la de mayor relevancia por su carácter binacional. Se ubica en el ángulo que forma la línea internacional entre México, EU y el Océano Pacífico. La región abarca 4,450 km<sup>2</sup> de los cuales cerca de dos terceras partes se encuentran dentro del territorio mexicano. Las mayores elevaciones se localizan en el extremo noreste, en el condado de San Diego, California, donde se alcanza una altura de 1,964 metros sobre el nivel del mar (msnm). En la parte mexicana la mayor altitud, de 1,850 msnm, se ubica en el extremo sureste, en la Sierra de Juárez. Casi toda la cuenca es montañosa y con una topografía accidentada.

El Río Tijuana se origina en el arroyo de Agua Hechicera que nace en la Sierra de Juárez; recibe el aporte de tres afluentes antes de llegar a la Presa Abelardo L. Rodríguez, denominado en ese punto Arroyo Palmas. Aguas abajo de la presa se denomina Río Tijuana, cruza la ciudad, se interna en territorio de los Estados Unidos y desemboca finalmente en el Océano Pacífico.

El extremo oeste de la Cuenca del Río Tijuana coincide con el trazo y avance de la zona urbana, cuyo eje de referencia ha sido la configuración de los Ríos Tijuana y Alamar (Chávez, 1996; Romo, 1996). Esto significa que al menos una parte de cada expresión geomorfológica de las mencionadas, queda incluida en la cuenca referida.

La CESPT tiene identificada 29 subcuencas hidrológicas, 24 pertenecientes a la cuenca del río Tijuana; y 5 más, de la vertiente del Océano Pacífico (Tabla 10). Presentan superficies variables, pendientes moderadas con alta erosión y velocidades de escurrimiento de moderado a alto. Precipitación promedio baja y litología dominante tipo sedimentario aluvial.

Tabla 10 Cuencas y subcuencas donde se asienta la zona urbana de Tijuana.

Cuenca	Subcuenca		Superficie (km <sup>2</sup> )	
	No.	Descripción		
Río Tijuana	1	Matanuco	168.24	
	2	El Florido	20.42	
	3	El Sainz	20.26	
	4	México Lindo	5.29	
	5	Cerro Colorado	5.84	
	6	Guaycura Presidentes	4.88	
	7	El Gato Bronco	8.73	
	8	La Mesa	7.65	
	9	Sánchez Taboada	5.61	
	10	Sistema Álamos	15.61	
	11	Camino Verde	7.16	
	12	Tributarios Alamar izq.	39.27	
	13	Tributario Alamar der.	43.97	
	14	La Pechuga	7.10	
	15	Agua Caliente	12.62	
	16	Aguaje de la Tuna	15.49	
	17	Pastejé o Aviación	22.80	
	18	Emiliano Zapata	17.49	
	19	Sistema Centro	15.61	
	20	Cañón del Sol	4.28	
	21	El Matadero	17.29	
	22	Valle de las Palmas	3,952.86	
	30	Cueros de Venado	34.37	
	31	Los Laureles	12.16	
		<i>Subtotal</i>		<i>4,465.00</i>
	Vertiente del Océano Pacífico	23	Playas Norte	7.45
		24	Playas Sur	9.57
		25	San Antonio de los Buenos	41.87
		26	San Antonio del Mar	23.09
		27	Plan Libertador	32.52
		<i>Subtotal</i>		<i>114.5</i>
<i>Total</i>			<i>4,579.5</i>	

Fuente: Plan Maestro de Agua Potable y saneamiento de en los Municipios de Tijuana y Playas de Rosarito, CESPT, 2003.

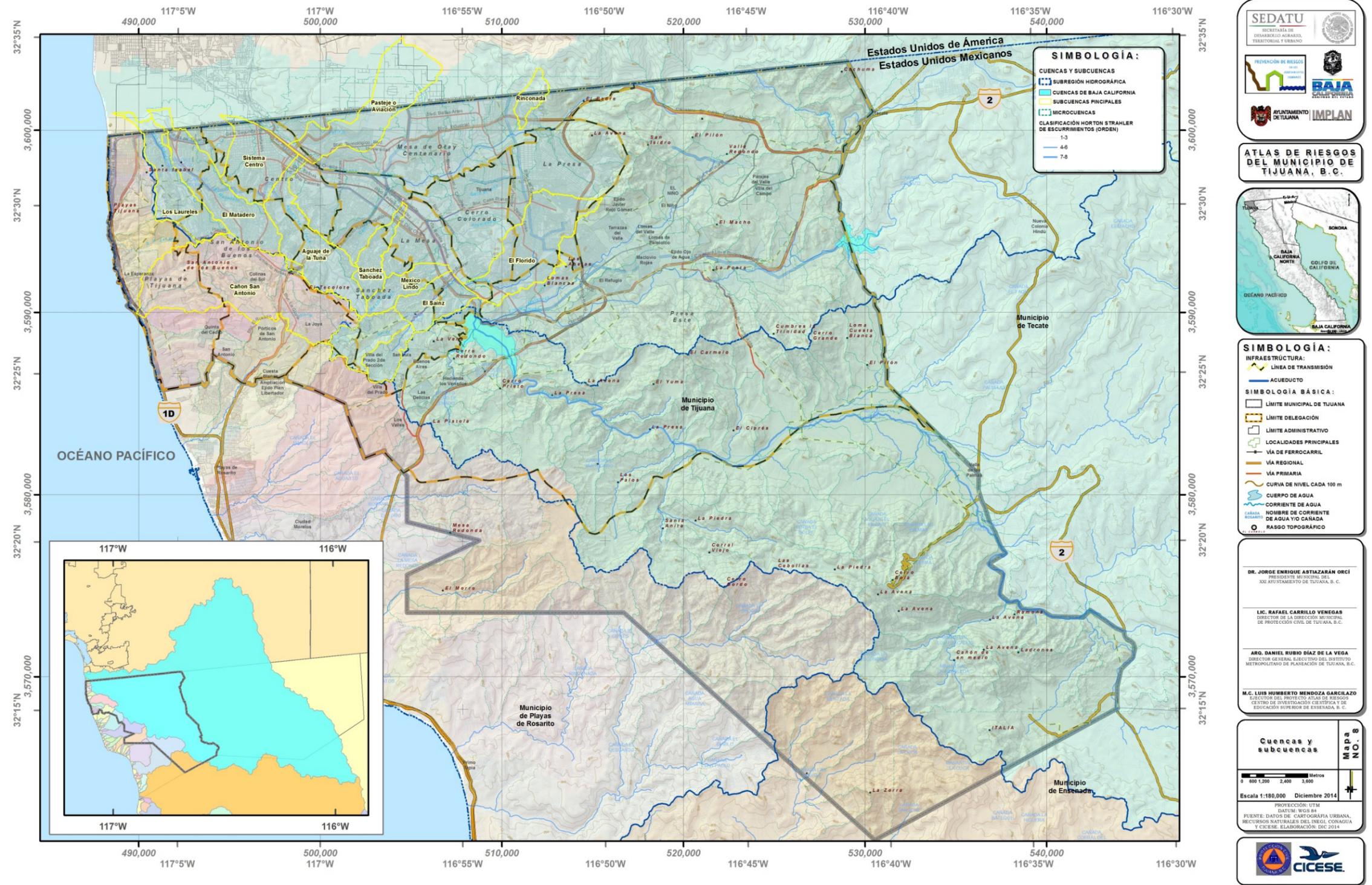


Figura 8. Cuencas y microcuencas hidrográficas, Fuente: CICESE, INEGI, 2010.

### 3.7. Clima

La clasificación oficial que se asigna al clima de Tijuana es la basada en la escala ‘Enriqueta García’, la cual determina un clima predominante árido, templado y seco (también llamado mediterráneo). Los tipos climáticos son BSks (clima templado) que se presenta en la mayor parte del Estado cubriendo un área de 1103 km<sup>2</sup> (Tabla 11) el tipo Cs (Templado subhúmedo) ocupa un área de 133.3 km<sup>2</sup> predominando al sureste del Municipio. Como se observa en el mapa de la Figura 9.

Tabla 11. Distribución de los tipos de climas.

Clima	Área km <sup>2</sup>	% Municipal
<b>BSks</b>	1103.08	89.22
<b>Cs</b>	133.33	10.78
<b>Total</b>	1237.18	100.00

Fuente: PRONACOSE, 2014.

#### Temperatura

Para el municipio de Tijuana se tienen temperaturas promedio de 14.6° y 18°C (la máxima es de 23°C) en los meses de agosto y de 10° a 11°C en invierno.

#### Precipitación

En Tijuana, el régimen de lluvias es de noviembre a abril con promedio anual de 203 mm. En enero de 1993 ocurrieron severas inundaciones en Tijuana a causa de precipitaciones extraordinarias (50 mm en menos de 24 horas y 210 mm en catorce días). El saldo que dejaron estos eventos fue de 40 muertos y la ciudad estuvo paralizada por un mes y los costos materiales ascendieron a millones de dólares. Lo que puso de manifiesto la vulnerabilidad y deficiencias urbanas en la ciudad.

#### Vientos

Los vientos dominantes son de dirección Noroeste y Sureste, con una velocidad media de 10 Km/hr, situación que se mantiene casi constante a lo largo del año. Se presentan vientos dominantes que van de tierra a mar que son cálidos y secos, y que se mueven a través de las montañas. Estos patrones son interrumpidos cuando soplan los vientos de “Santa Ana”. Este fenómeno se caracteriza por vientos fuertes, secos y calientes, provenientes del noreste, pasando por las montañas con dirección al mar, lo que ocasiona movimientos de masas de aire de tierra. Tal condición puede ocurrir durante un periodo que suele variar de algunos días hasta algunas semanas al año.

#### Neblina

La región presenta muy baja intensidad de niebla; con registros de 18.4 días anuales (en la estación Tijuana).

#### Nubosidad

Con respecto a la nubosidad, se observa la presencia de cielo nublado en 117.37 días del año, de los cuales 59.86 se consideran como días medio nublados, mientras que en promedio 57.51 días al año encontramos el cielo nublado cerrado. Los cielos despejados se presentan en promedio durante 247.0 días al año.

#### Asolamiento

Los meses con mayor número de días despejados son julio, agosto, septiembre y octubre, En promedio anualmente se registran de 151 días con sol, 124 días parcialmente nublados y 90 días nublados con alba al ocaso.

#### Evaporación

La tasa de evaporación anual es muy alta. El promedio reportado en Chula Vista, California, durante el periodo 1919-1981 es de 161 cm., (64 pulgadas) por año, con la máxima ocurrencia en julio, un promedio de 19 cm., (7.6 pulgadas) por mes. El promedio mensual de evaporación mínimo sucede en diciembre, con 7 cm., (2.8 pulgadas). Estos patrones son interrumpidos cuando soplan los vientos de “Santa Ana”.

#### Granizadas

Las granizadas son inapreciables en la mayoría del municipio el rango varía de 0 a 1 granizadas al año.

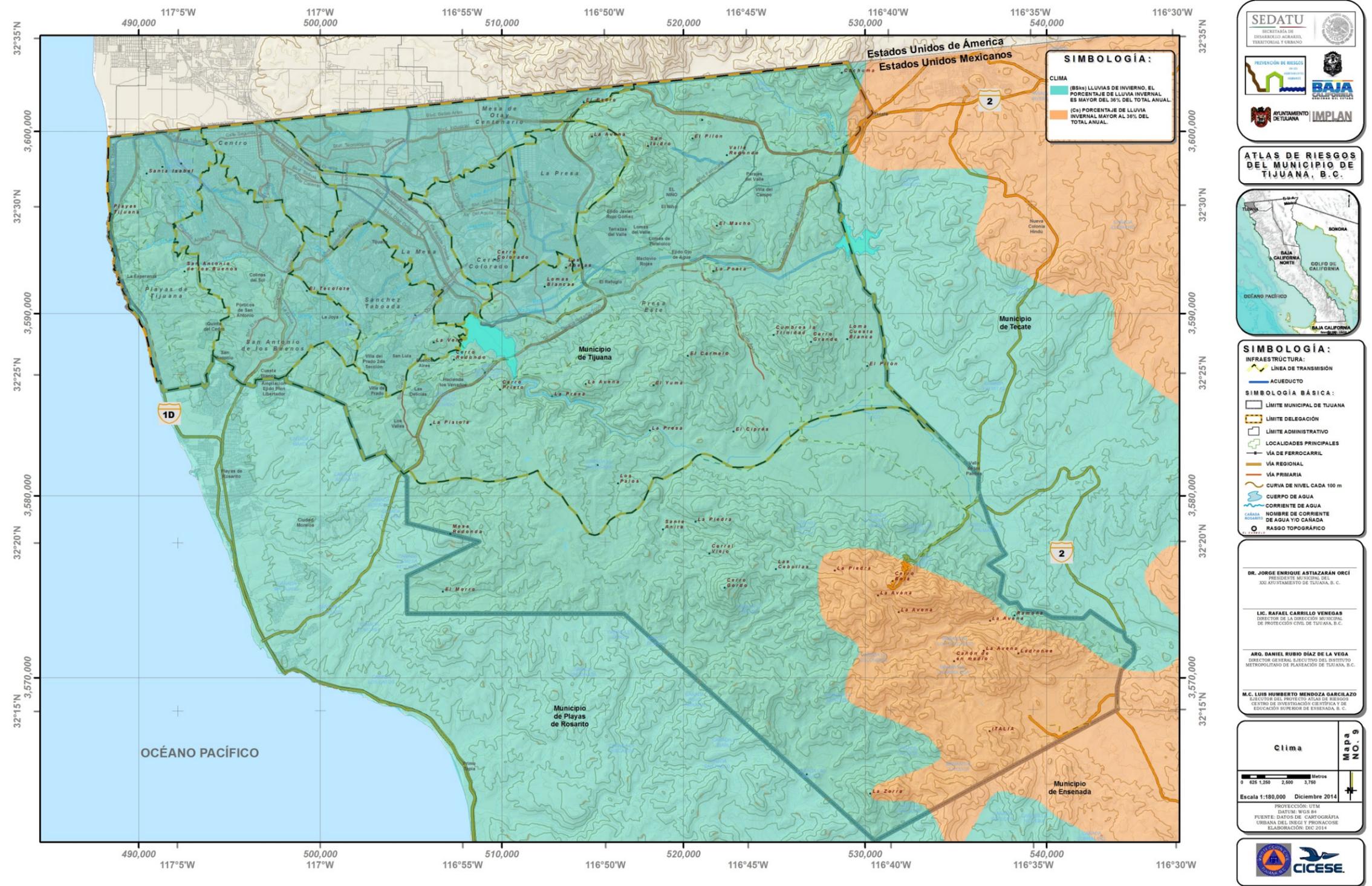


Figura 9. Mapa de climas predominantes en el Municipio de Tijuana.

### 3.1. Uso de suelo y vegetación

Este apartado se desarrolló de acuerdo a la carta de uso de suelo y vegetación del INEGI, escala 1:250 000 Serie IV (Conjunto Nacional) actualizada al 2007-2010. A esta información se le sobrepuso el 'shape' de la mancha urbana proporcionada por el IMPLAN Tijuana para obtener la información actualizada de la mancha urbana y el resto del municipio.

La Tabla No 12 (a) muestra los usos de suelo y vegetación del INEGI en la cual se observa que el Chaparral cubre la mayor parte del área del municipio con un total de 622 km<sup>2</sup>. De acuerdo a la clasificación que surge de la elaboración del Inventario nacional forestal y de suelos (CONAFOR, 2012). El chaparral es una asociación generalmente densa, de arbustos resistentes al fuego, que se desarrolla sobre todo en laderas de cerros sobre suelos poco fértiles y de textura granular, en climas semicálidos y semifríos con baja humedad, por arriba del nivel de los matorrales de zonas áridas y semiáridas de pastizales naturales y en ocasiones mezclada con los bosques de pino y encino.

La mancha urbana presenta un área de 345.60 km<sup>2</sup>, el Centro de Población de Tijuana se emplaza mayormente al norte y noroeste del territorio municipal. El área urbana de Tijuana, está considerada como aquella superficie que ha sido sujeta a acciones de urbanización y edificación (área urbanizada), incluyendo baldíos (superficie no ocupada).

El pastizal inducido cubre un área de 124 km<sup>2</sup> y el agrícola - pecuaria-forestal con 96.67 km<sup>2</sup>. El resto del municipio presenta zonas sin vegetación aparente, Bosque de encino, vegetación de galería y cuerpos de agua, en menor proporción.

La tabla 12 (b) muestra los usos de suelo del centro de población y la mancha urbana como son: el habitacional, comercial y servicios, especial, baldío y el industrial; y respecto a los destinos de suelo, se integra el suelo ocupado por los diversos derechos de vía tanto para vialidad como por infraestructura; por su parte en estos se incluyen los equipamientos pero solo aquellos considerados como públicos mientras que los particulares se consideran como usos de suelo (IMPLAN Tijuana, 2009).

Tabla 12. (a) Distribución del uso de suelo y vegetación Modificada INEGI, (b) Uso y destino del Suelo 2009 del Centro de población y área urbana.

a)

Uso de suelo y vegetación	Área km <sup>2</sup>	% Municipal
Chaparral	622.25	50.30
Mancha Urbana	345.60	27.93
Pastizal inducido	124.06	10.03
Agrícola-Pecuaria-Forestal	96.67	7.81
Bosque inducido	14.27	1.15
Asentamientos Humanos	9.99	0.81
Sin vegetación aparente	9.44	0.76
Bosque de encino	7.33	0.59
Cuerpo de agua	4.48	0.36
Vegetación de galería	3.96	0.32
Total	1238.05	100.00

Fuente: Calculo basado en mapa de figura 10.

b)

Uso y destino de suelo	Centro de Población		Área Urbana	
	(has)	%	(has)	%
Habitacional	12,307.10	13.36	11,819.20	34.39
Industrial	5,640.92	6.13	3,511.31	10.22
Comercio y servicios	1,071.95	1.16	1,064.40	3.1
Equipamiento Urbano	1,994.92	2.17	1,929.81	5.62
Especial	423.5657	0.46	285.6782	0.83
Baldío	62,170.77	67.51	8,842.48	25.73
Vialidades	6,674.88	7.25	6,624.47	19.28
Cuerpo de agua	1,801.72	1.96	288.0905	0.84
Total	92,108.73	100	34,365.42	100

Fuente IMPLAN Tijuana 2009.

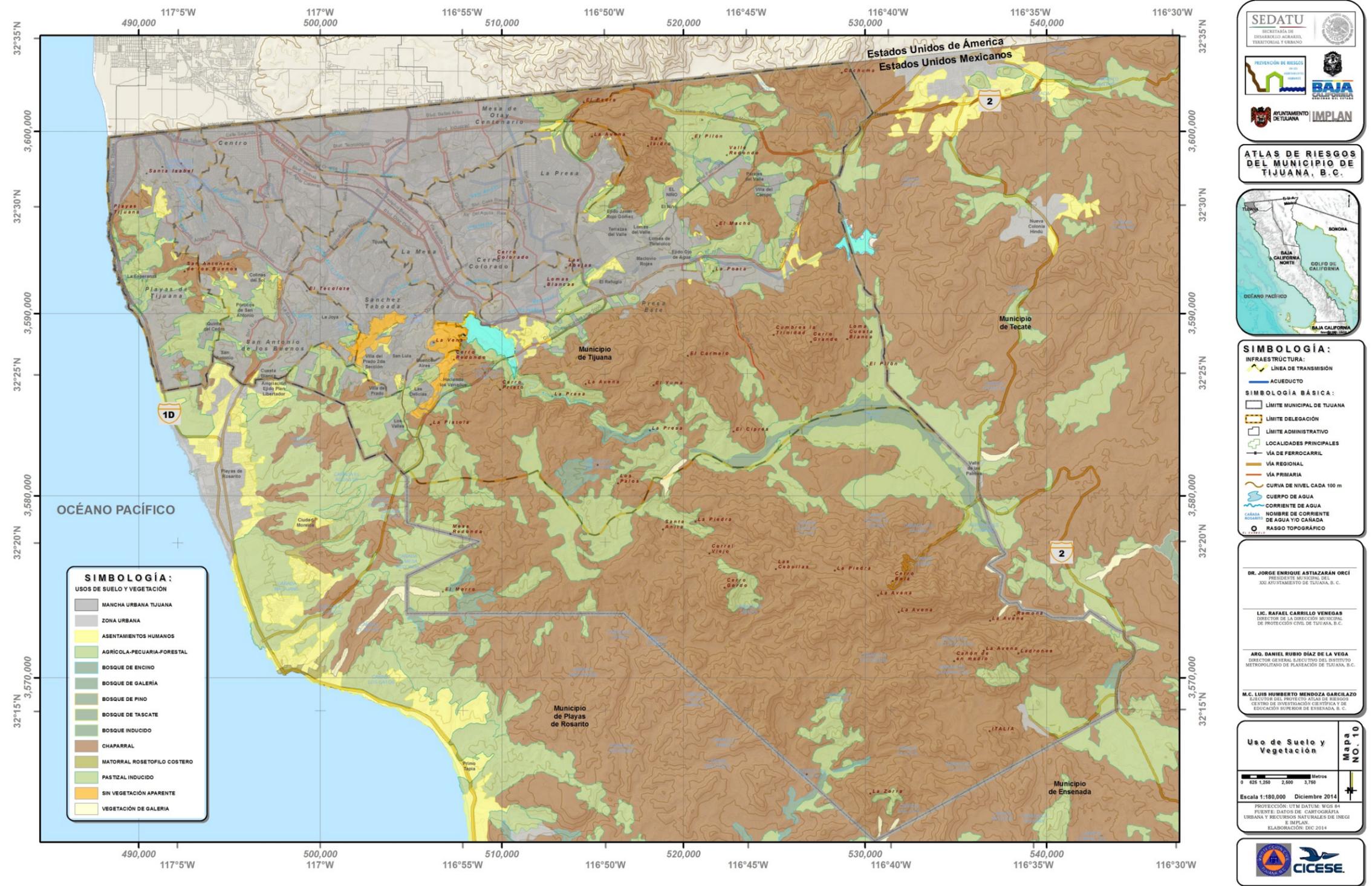


Figura 10. Mapa de uso de suelo y vegetación, INEGI-IMPLAN Tijuana.

### 3.1. Áreas naturales protegidas

Las Áreas Naturales Protegidas son zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción y en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas.

Se crean mediante un decreto presidencial y las actividades que pueden llevarse a cabo en ellas se establecen de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, su reglamento, el programa de manejo y los programas de ordenamiento ecológico. Están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la Ley.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas administra actualmente 176 áreas naturales de carácter federal, que representan más de 25,394 hectáreas y están divididas en Nueve Regiones en el país.

Actualmente Baja California cuenta con distintas áreas naturales protegidas establecidas mediante decretos publicados en el Diario Oficial de la Federación, D.O.F., con diferentes categorías como Reservas de la Biosfera, Áreas de Protección de Flora y Fauna y Parques Nacionales, en base a los criterios establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

En el municipio de Tijuana no se encuentra ningún área protegida, sin embargo La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO, lleva a cabo el Programa Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad que se orienta a la detección de áreas cuyas características físicas y bióticas sean particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad. (DGE-SIDUE, 2006). La zona Santa María-El Descanso se considera una Región Terrestre Prioritaria, ya que se ubica en una zona de clima mediterráneo y constituye uno de los remanentes de matorral costero, además de la presencia de los humedales del Río el Descanso, localizado al suroeste del Municipio (Tabla 13).

Tabla 13. Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), CONABIO.

Región prioritaria	Información general
<p><b>SANTA MARIA-EL DESCANSO</b>  <b>LOCALIDADES:</b>                      Ensenada; Playas de Rosarito, El Sauzal;                      Primo Tapia, Colonia Santa Anita, BC.  <b>MUNICIPIOS:</b>                      Tijuana y Ensenada</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO, como Región Terrestre Prioritaria con la asignación de RTP-10.</li> <li>• Región muy importante botánica y ecológicamente por ubicarse en una de las cinco zonas con clima mediterráneo en el mundo, con un endemismo florístico muy alto. Región definida como prioritaria por constituir uno de los remanentes de matorral costero en la parte norte de Baja California, además de la presencia de los humedales del río El Descanso.</li> <li>• Posee las mejores poblaciones conocidas de <i>Polioptila melanura</i>, endémica del matorral costero en Baja California.</li> <li>• Esta RTP tiene como límite las subcuencas Cañón El Descanso y La Ilusión, e incluye los cañones San Carlos y San Francisquito, la Cañada El Morro y el área que ocupa el matorral rosetófilo costero y remanentes de chaparral.</li> </ul>

## CAPÍTULO IV. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

4.1 Elementos demográficos: dinámica demográfica, proyección de población al 2030, distribución de población, densidad de población pirámide de edades y mortalidad.

### Dinámica demográfica

Tijuana se encuentra dentro de la franja fronteriza de los Estados Unidos de América y México. Por su ubicación geográfica se ha caracterizado por su gran dinamismo económico, ocasionando, entre otros factores, la creciente corriente migratoria que deriva en un elevado crecimiento demográfico. Tan solo durante la segunda mitad del siglo XX la población de la franja fronteriza de México se multiplicó 4.5 veces al pasar de 3.8 millones a 17.4 millones de habitantes entre 1950 y el 2000 respectivamente, siendo Baja California una de las entidades que más incrementó su población durante este periodo, multiplicándose once veces su población. (IMPLAN-Tijuana, 2008).

Tijuana es el tercer municipio más poblado a nivel nacional, concentrando la mitad de la población de Baja California, con un 49.4% del total de la población estatal, equivalente a 1 millón 670 mil 365 personas. Se estima que para 2030 supere los 2 millones de habitantes con una tasa de crecimiento poblacional de 1.02%. La figura 11 muestra el crecimiento poblacional de Tijuana de 1960 a 2010.

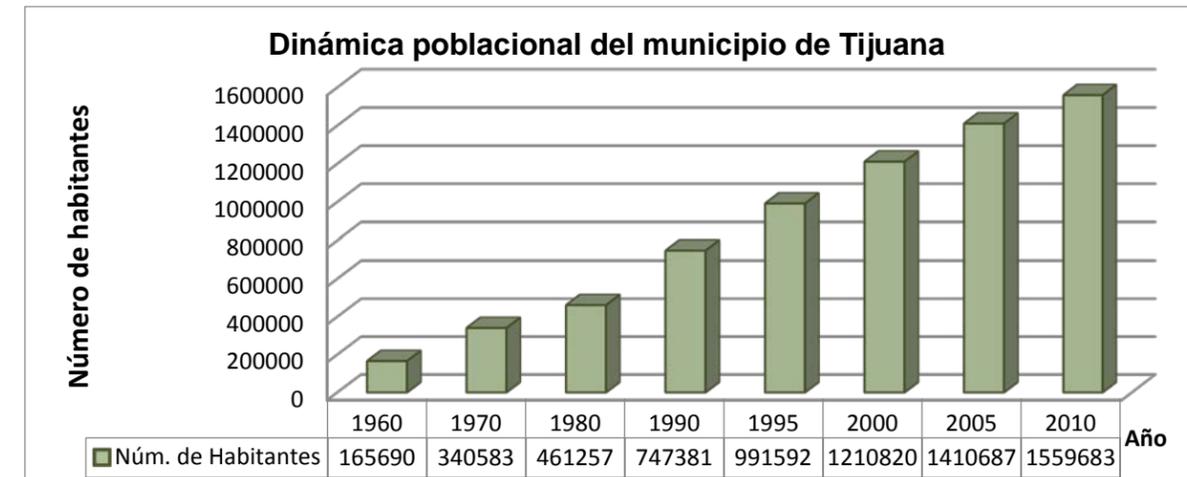


Figura 11. Crecimiento poblacional de Tijuana elaborada con datos del Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI.

### Proyección de población al 2030

Las proyecciones de población estimadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) para el periodo 2010 - 2030, establecen una disminución en las tasas de crecimiento, como se aprecia en la figura 12.

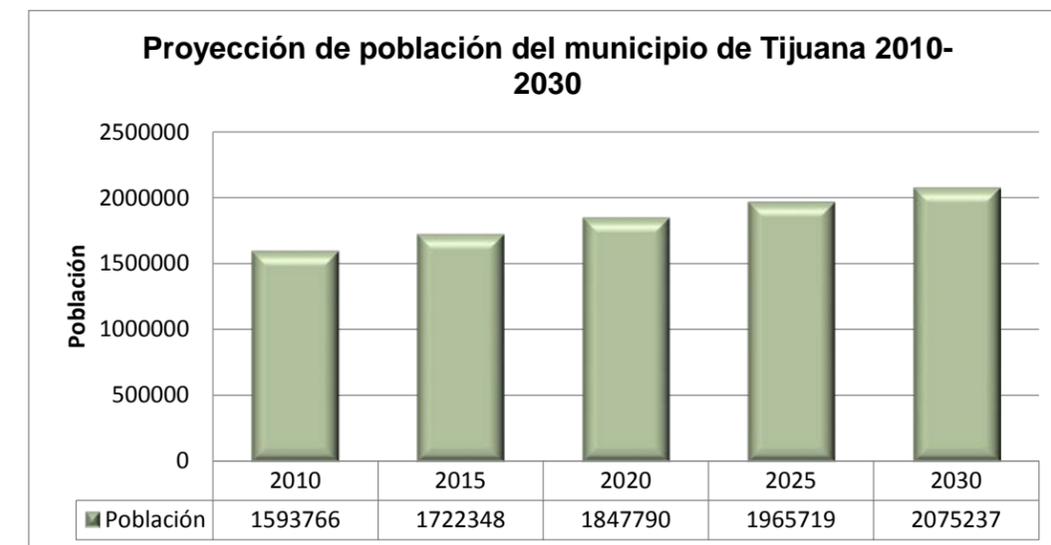


Figura 12. Proyección de población de Tijuana 2010-2030 elaborada con datos de CONAPO de proyecciones de población 2010-2030.

### Distribución de población

Los resultados del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2010 revelan que 2.5% de la población de Tijuana reside en zonas de menos de 2500 habitantes, mientras que 83% habita en asentamientos de 100 mil y más habitantes. Existe una mayor concentración de la población en localidades urbanizadas con más de 100 mil habitantes (Tabla 14 y figura 13).

Tabla 14. Distribución porcentual de la población según tamaño de localidad por grandes grupos de edad 2010. (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).

Grupo de edades	Tamaño de localidad			
	Menos de 2,500 habitantes (%)	2,500-14,999 habitantes (%)	15,000 – 99,999 habitantes (%)	100,000 y más habitantes (%)
Total	2.5	4.2	9.7	83.4
0 a14	2.9	5.2	11.4	80.3
15 a 64	2.4	4.0	9.3	84.1
65 y más	1.9	1.5	3.7	92.8

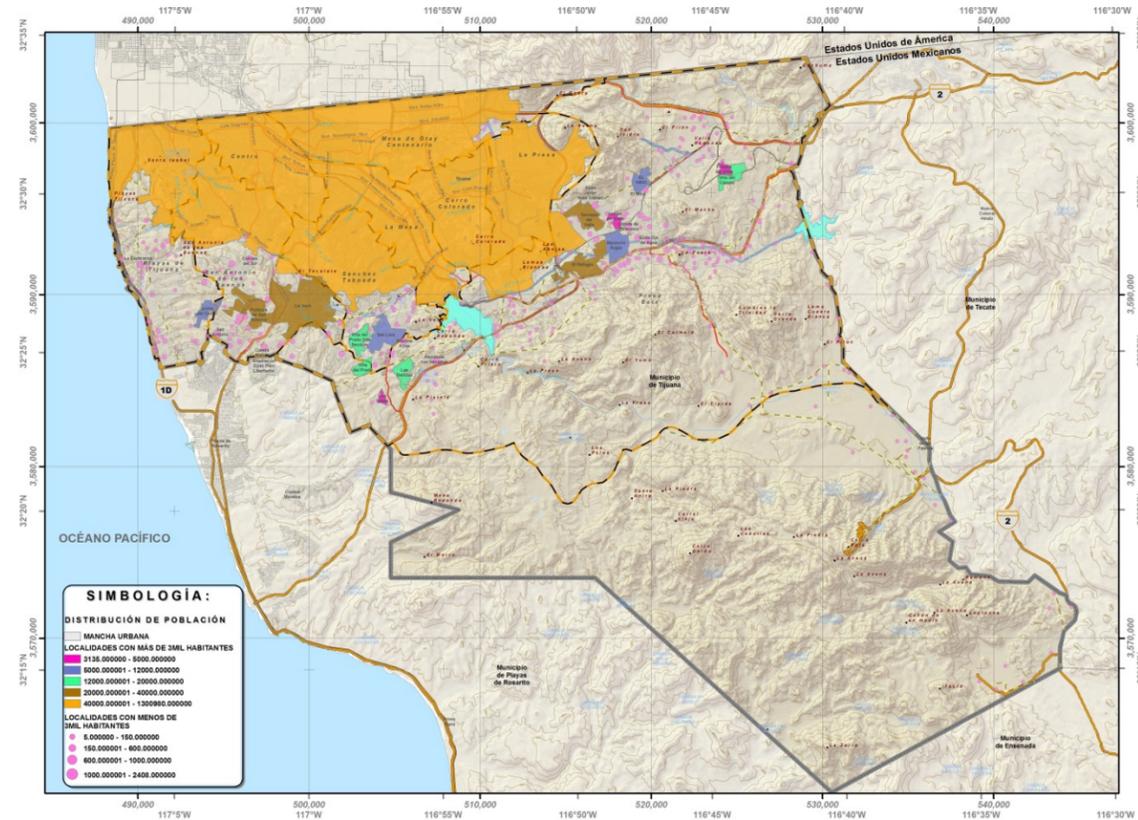


Figura 13. Distribución de población de Tijuana. (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).

### Densidad de población

Otro indicador que expresa la concentración de los habitantes en el territorio es la densidad de población, que relaciona el espacio físico de un área territorial respecto al número de personas que lo habitan. En Tijuana se registra una densidad de 1,365 habitantes por km<sup>2</sup> (COPLADE, 2013). Las figuras 14 y 15 muestran la densidad de población de Tijuana por localidad y por manzana (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).

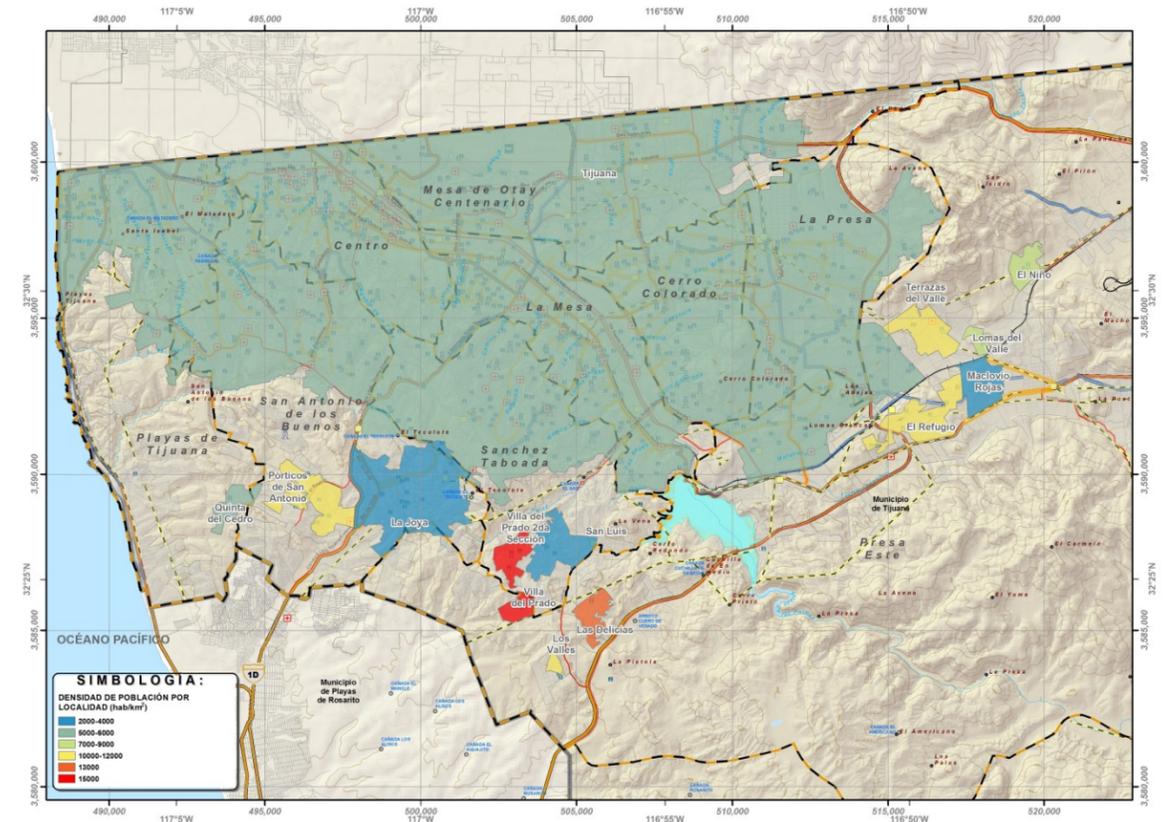


Figura 14. Densidad de población de Tijuana por localidad (hab/km<sup>2</sup>).

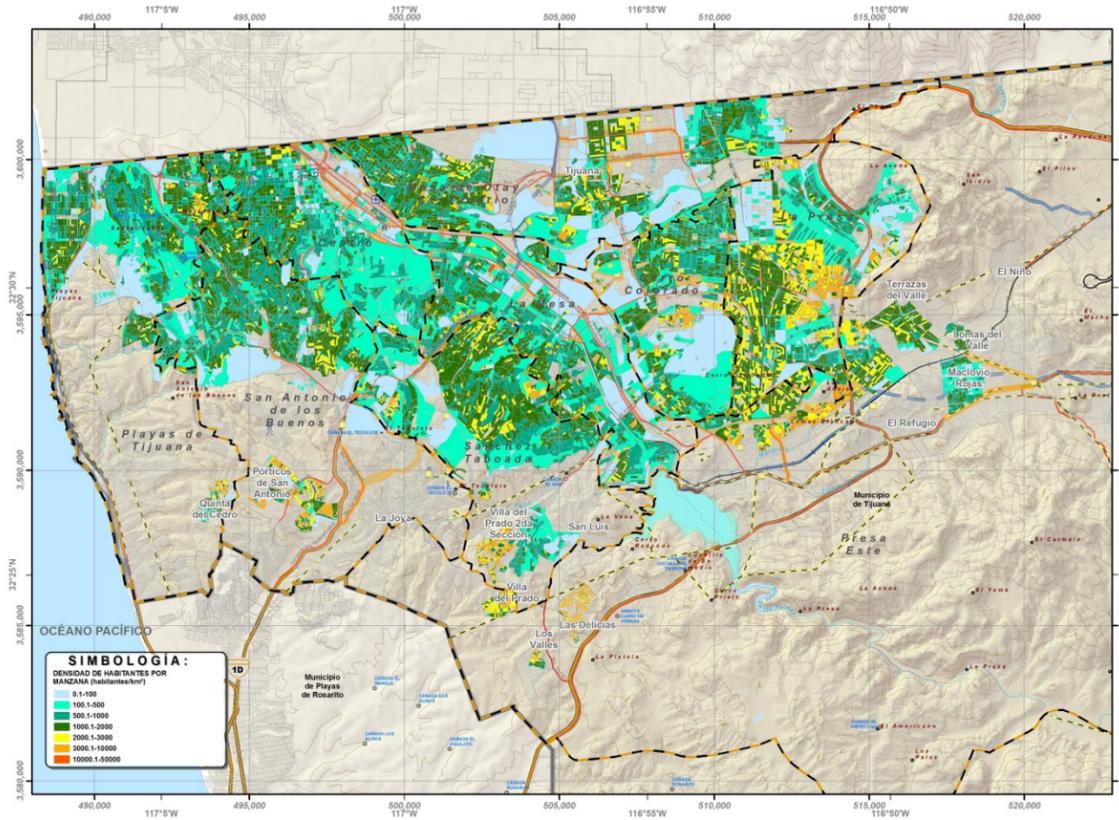


Figura 15. Densidad de población de Tijuana por manzana (hab/km²).

### Distribución porcentual de la población

De acuerdo al censo de población y vivienda de INEGI, 2010, la población de Tijuana se concentra mayormente en las edades de 15 a 64 años (Figura 16).

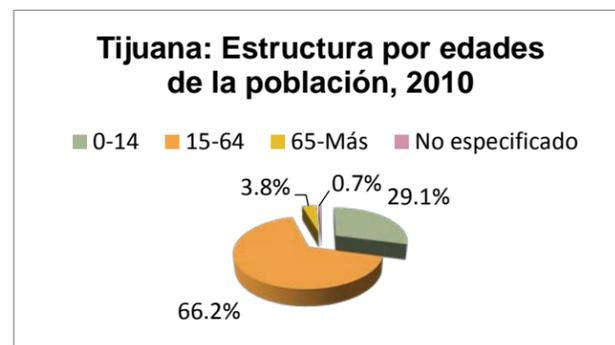


Figura 16. Estructura por edades de la población, Tijuana (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).

La pirámide de edades en el municipio de Tijuana permite analizar la estructura poblacional así como las necesidades y requerimientos por grupo de edad (Figura 17).

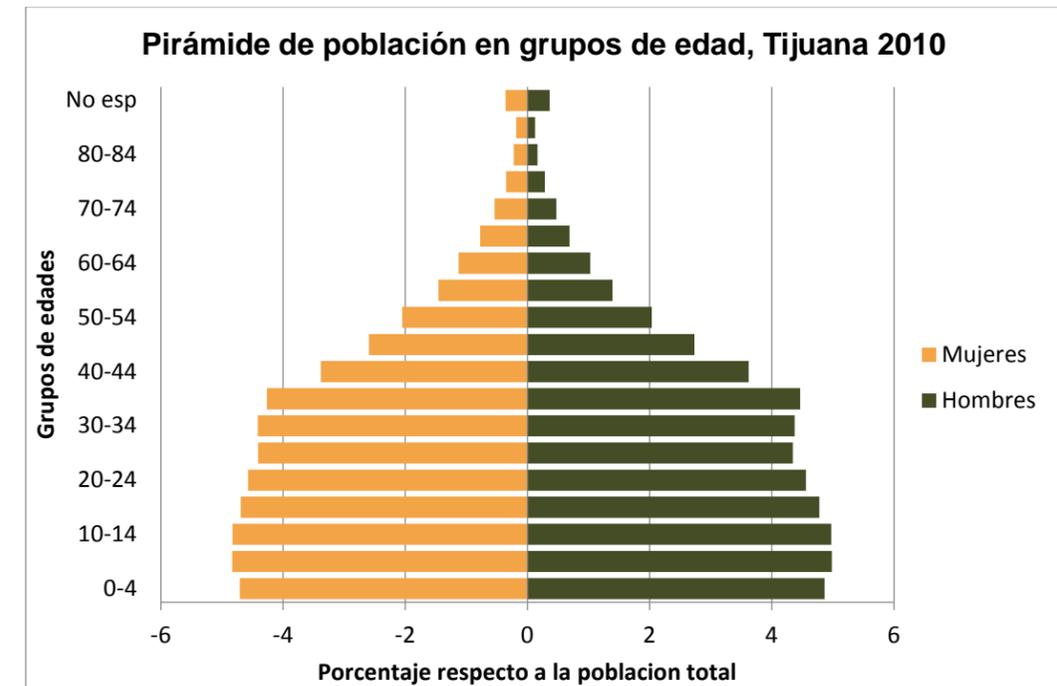


Figura 17. Pirámide de la población por grupos de edad (INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados de cuestionario básico).

### Fecundidad

La fecundidad es una de las variables que determinan el crecimiento, la estructura de la población y la forma en que ésta se distribuye en el territorio (Figura 18). Al 2013, en Tijuana nacen cada día 85 infantes. El 53.6 % de las madres tiene entre 20 y 29 años, mientras un número de nacimientos (18.2%) provienen de madres que tienen menos de 20 años. (INEGI, 2013).

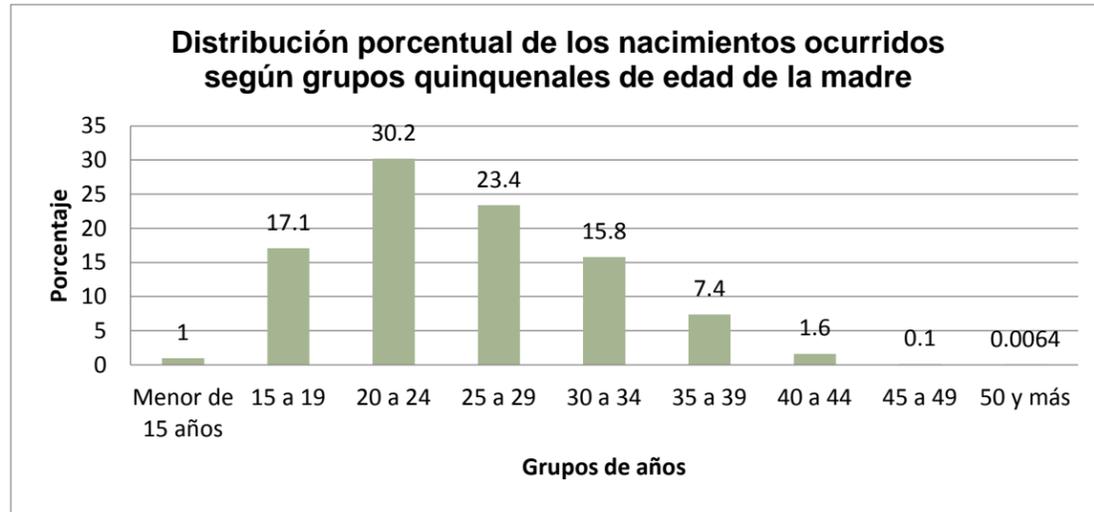


Figura 18. Distribución porcentual de los nacimientos ocurridos según grupos quinquenales de edad de la madre. INEGI. Consulta interactiva de datos. Nacimientos en 2013.

### Mortalidad

En el año 2013, se registraron en Tijuana 7,520 defunciones, 61.1% corresponden a hombres y 38.8% a mujeres, en 0.1% de los casos no se especificó el sexo (INEGI, 2013). La figura 19 muestra las causas de las defunciones en Tijuana, según datos de INEGI. Se estima que la tasa bruta de mortalidad en el municipio de Tijuana al año 2010 fue de 4.9%.

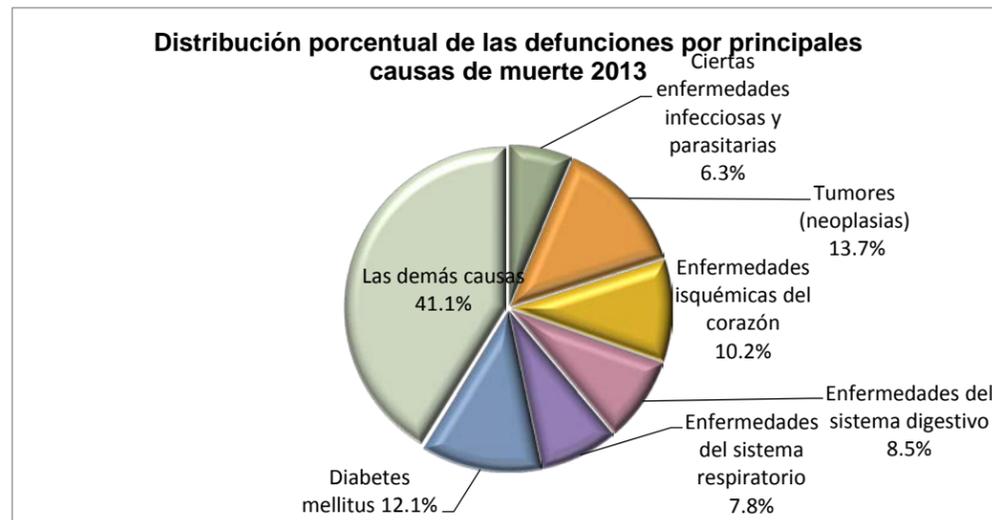


Figura 19. Gráfica de mortalidad Tijuana. INEGI. Estadísticas de mortalidad, 2013. Consulta interactiva de datos (Causas detalladas CIE).

### 4.2 Características sociales: escolaridad, hacinamiento, población con discapacidad, marginación, pobreza y equipamiento

#### Población de habla indígena

Los grupos indígenas están considerados entre la población más vulnerable, tanto por su desconocimiento de las normas que rigen la convivencia social de la vida ciudadana como por estar fuera del “escudo protector” de su comunidad de origen (Tijuana Indígena, Estudio sobre las condiciones de vida e integración social de la población indígena a la ciudad). La tabla 15 y figura 20 muestran la distribución porcentual de la población de habla indígena de Tijuana.

Tabla 15. Población que habla una lengua indígena en el Municipio de Tijuana. (INEGI).

Municipio	Población de 3 años y más	Población de 3 años y más que no habla alguna lengua indígena	Población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena	No especificó
Tijuana	1,461,433	1,437,832	12,124	11,477
Porcentaje	100%	98.38	0.82%	0.78%

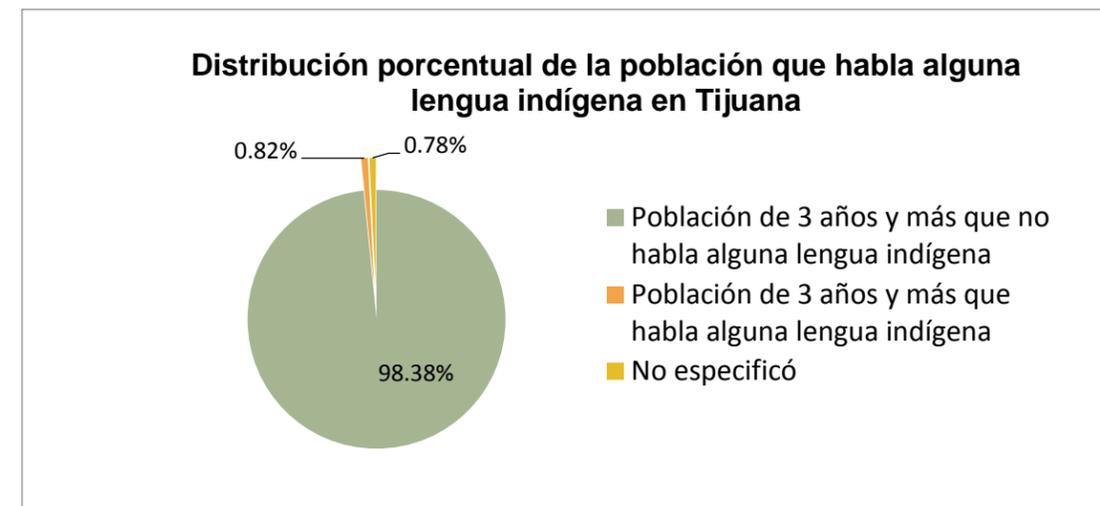


Figura 20. Distribución porcentual de la población de 3 años y más hablantes de lengua indígena. (INEGI).

### Analfabetismo

En el municipio de Tijuana los datos censales de 2010 muestran que 22,816 personas de 15 años y más, no saben leer ni escribir (2.0% del total). En Baja California el porcentaje es de 2.5% y el porcentaje nacional es de 6.9%.

### Escolaridad

Con base a los datos del censo 2010, en Tijuana el 24% de la población de 15 años y más concluyeron al menos la primaria y el 3.3% no tiene escolaridad o solo cursaron preescolar. La tabla 16 y figura 21 muestran esta distribución porcentual.

Tabla 16. Distribución porcentual de escolaridad del municipio de Tijuana, en comparación con el resto del Estado.

	Población 15 años y más	Concluyó la primaria	Sin escolaridad o solo cursaron preescolar
Tijuana	1,093,196	24%	3.3%
Baja California	2,215,759	23%	3.9%

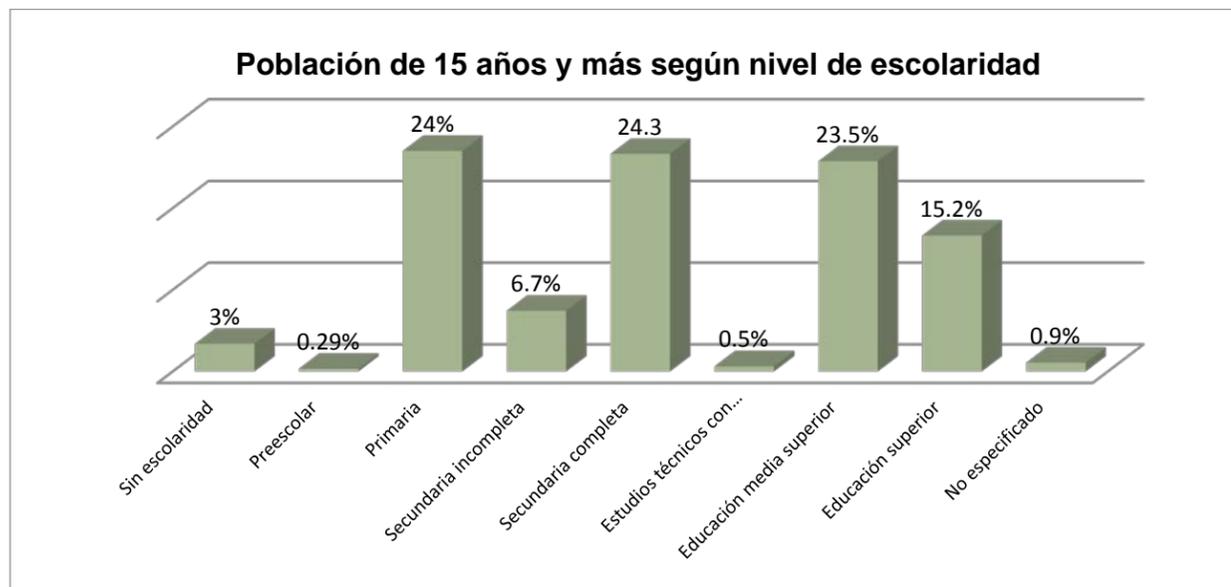


Figura 21. Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010. Cuestionario básico Entidad federativa/Tema: Baja California/Educación.

### Hacinamiento

De acuerdo al Consejo Nacional de Población (CONAPO), la información captada en el Censo 2010 referente a la disponibilidad de dormitorios, estableció la condición de que el número de ocupantes de cada dormitorio debería ser mayor de dos ocupantes para considerar a dicha vivienda con algún nivel de hacinamiento. Los datos para Tijuana muestra que el porcentaje de viviendas con hacinamiento (con más de 2 personas por cuarto) en el 2010 fue de 4.1%. La figura 22 muestra el porcentaje de hacinamiento por AGEBS con datos de CONAPO 2010 y la figura 23 muestra la distribución de hacinamiento por manzanas con datos de INEGI 2010, considerando a más de dos personas durmiendo en el mismo cuarto.

De acuerdo con las estimaciones del Plan Estatal de Vivienda 2001-2007 del gobierno de Baja California, en el año 2000 las viviendas que registraron algún nivel de hacinamiento fue de 123 100. Tijuana registró 63 400 viviendas con ocupantes en esta condición, ocupando el segundo lugar a nivel estatal con mayor hacinamiento.

Tijuana es la ciudad con más población en la entidad, el principal destino de las corrientes migratorias y con más oferta de empleo en el Estado. La dinámica de su crecimiento y actividad económica extiende su área de influencia más allá de los límites municipales. Por esta razón es que los municipios de la Zona Metropolitana (Tijuana-Tecate-Playas Rosarito) presentan características similares en el crecimiento demográfico de sus poblaciones, en el poblamiento de los territorios municipales aledaños y en las presiones sobre suelo, vivienda y servicios urbanos. Prácticamente la totalidad de la población de Tijuana reside en comunidades urbanas de alta densidad de población y espacialmente concentradas.

### Marginación

Según la CONAPO el grado de marginación para el municipio de Tijuana se encuentra en la categoría de muy bajo. Se clasificó a Tijuana con muy bajo rezago social a nivel municipal, que lo ubica en el lugar 2 314 de un total de 2 456 municipios que contempla el estudio, es decir, se encuentra entre los menos rezagados en el contexto nacional. Sin embargo, existen colonias que requieren atención ya que se encuentran en pobreza alta y muy alta, lo que afecta directamente a 2 421 habitantes del municipio de Tijuana, según datos del INEGI.

Se puede ver en la siguiente imagen algunas zonas de Tijuana con grado de marginación muy alto. Muchas colonias de Tijuana viven en situaciones precarias, algunas de ellas viven en lugares de alto riesgo o viven en lugares insalubres. Algunas viviendas están hechas con materiales de

construcción inseguros, elaboradas con alambre, lámina y hasta cartón. Las figuras 24, 25 y 26 muestran respectivamente las variables, grado y porcentajes de marginación para Tijuana.

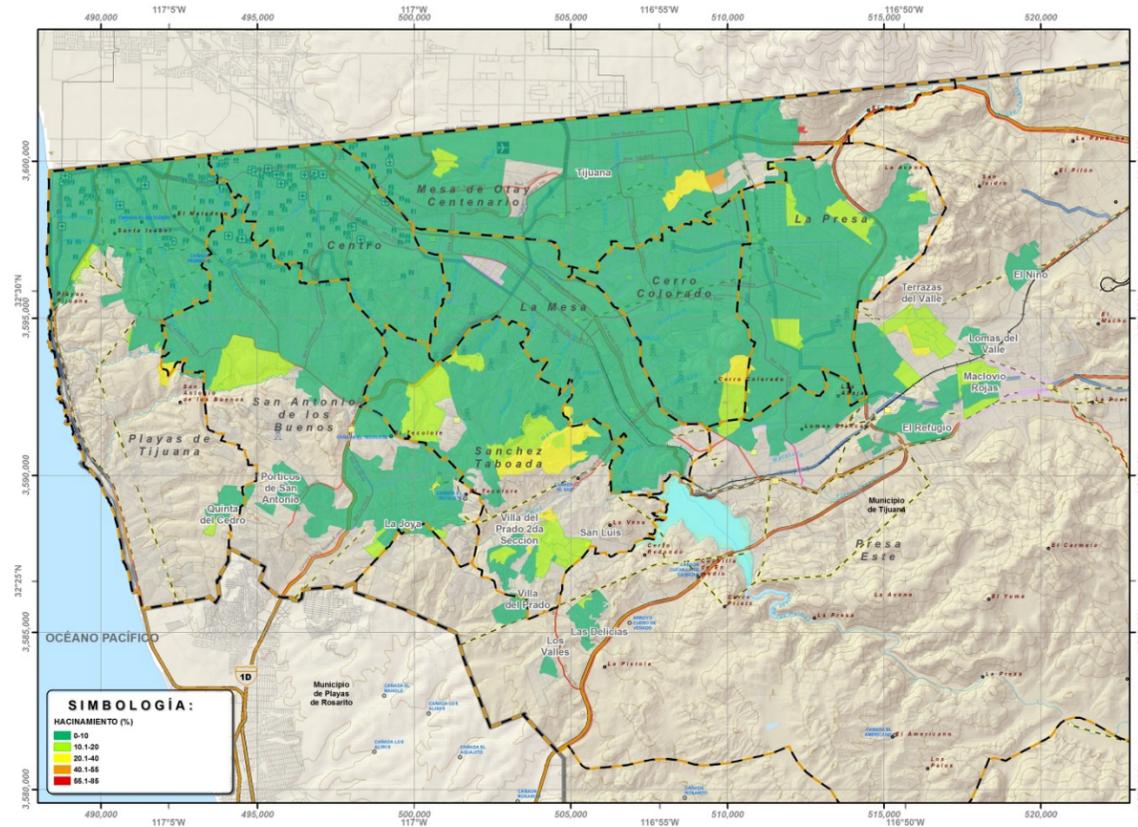


Figura 22. Porcentaje de hacinamiento para Tijuana, elaborada con datos de CONAPO 2010.

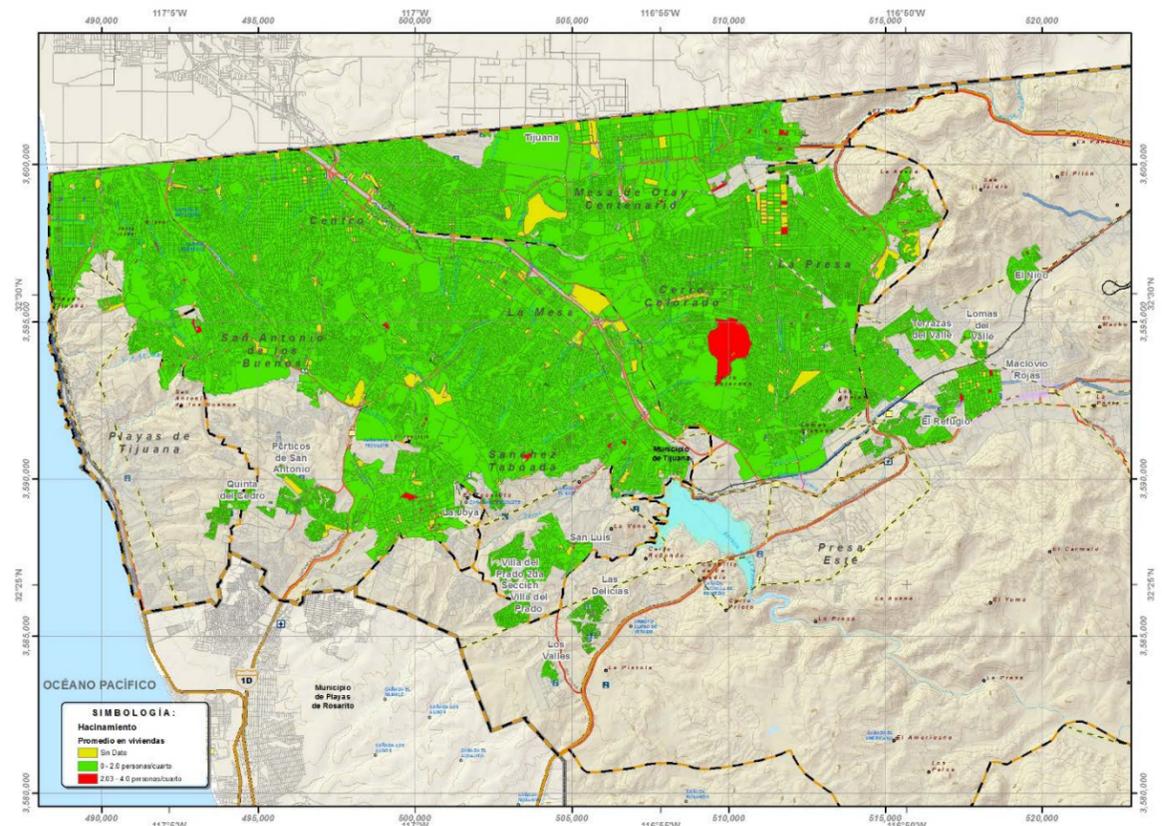


Figura 23. Distribución de hacinamiento para Tijuana, elaborada con datos de INEGI 2010.

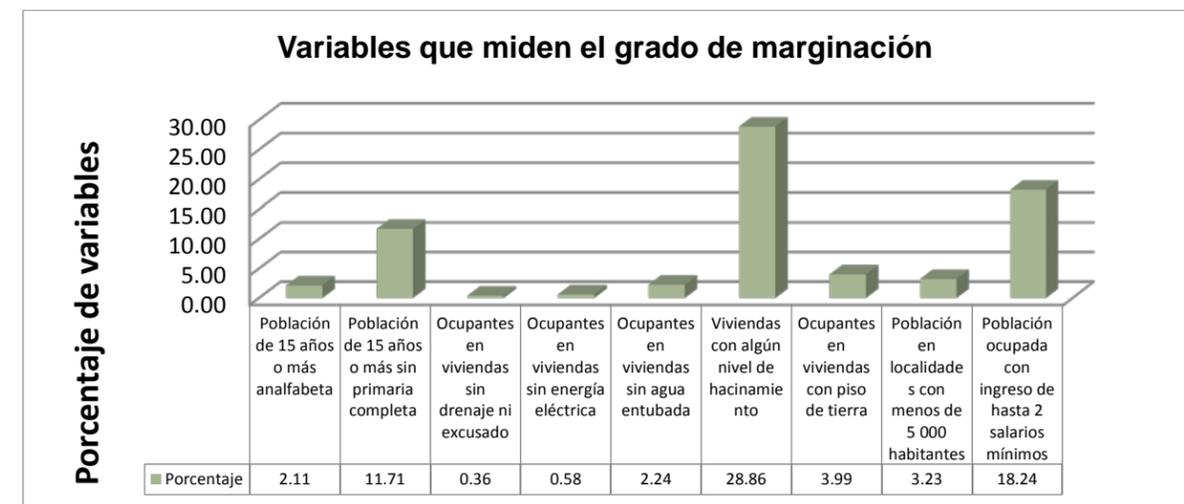


Figura 24. Porcentaje de variables que miden el grado de Marginación de Tijuana.

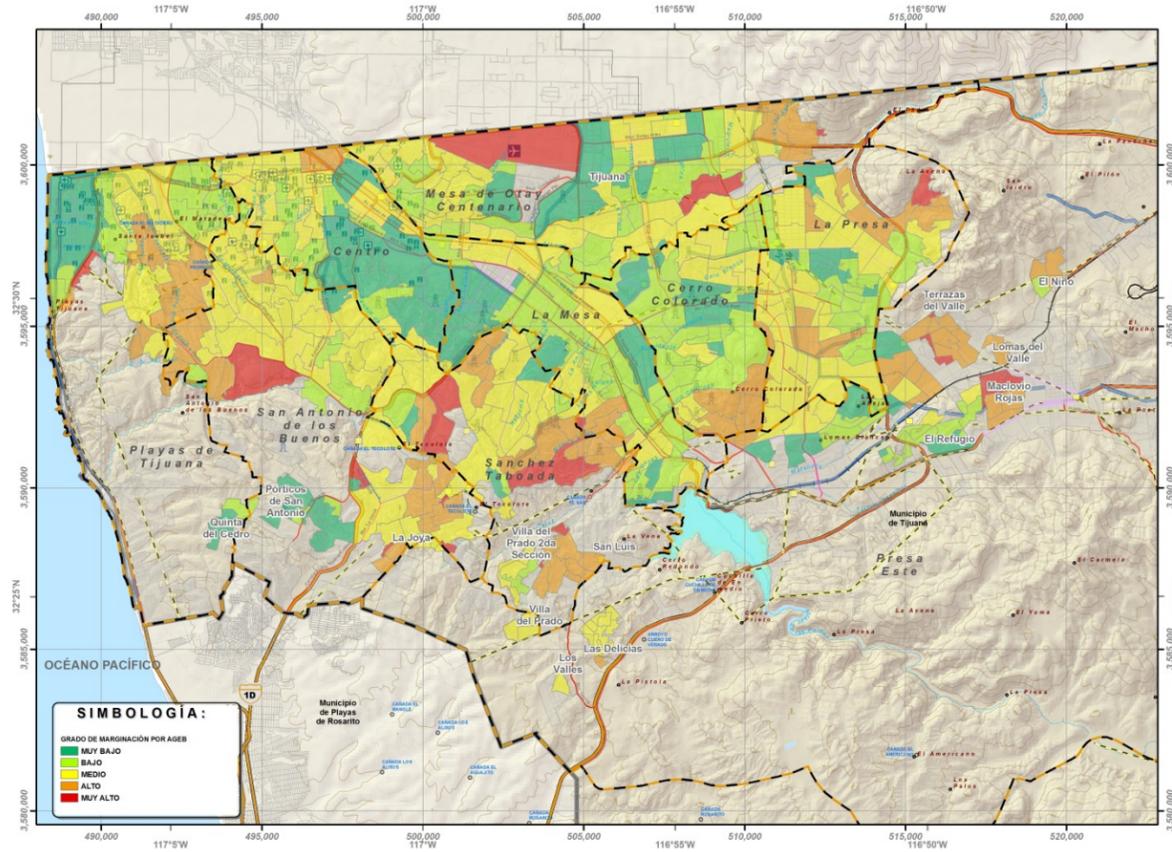


Figura 25. Mapa de grado de marginación por AGEB para Tijuana, elaborado con datos del Censo 2010 de INEGI.

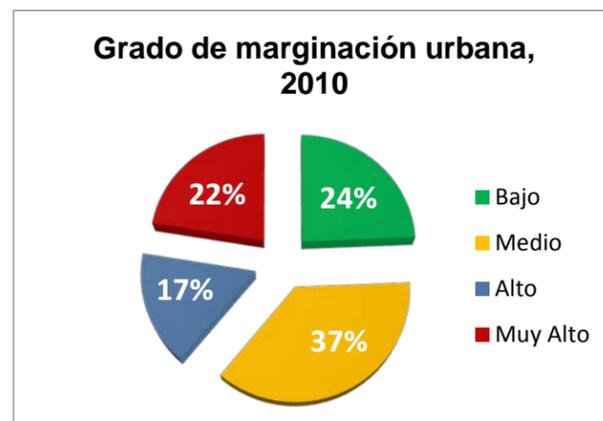


Figura 26. Porcentaje de grado de marginación urbana para Tijuana (INEGI 2010).

### Pobreza

La pobreza está relacionada en cierta medida con la vulnerabilidad de viviendas debido a las carencias para cumplir con las especificaciones básicas de la construcción. La figura 26 muestra las viviendas con piso de tierra asociadas a la pobreza y vulnerabilidad. La vulnerabilidad social se asocia a la pobreza de acuerdo a los indicadores económicos.

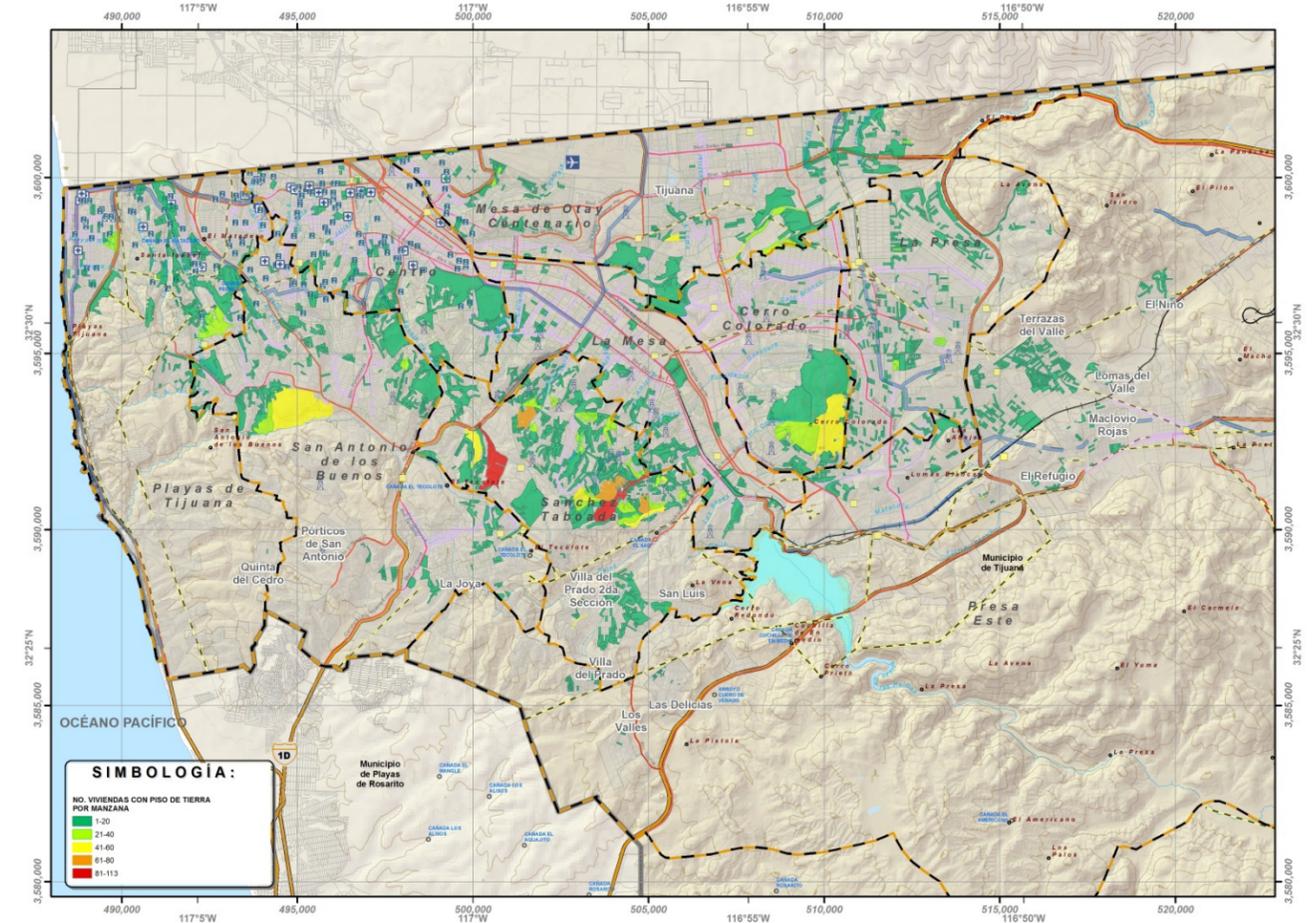


Figura 27. Distribución por manzana de viviendas con piso de tierra (Censo 2010 INEGI).

### Población con discapacidades

Un factor que asocia a la vulnerabilidad social es la población con discapacidad. En Tijuana el 3.25% tiene alguna discapacidad. El 1.7% no tiene la capacidad de moverse o caminar, este factor determina la vulnerabilidad de la persona ante un fenómeno perturbador. Las figuras 28 y 29 muestran el porcentaje y distribución de población con alguna discapacidad.

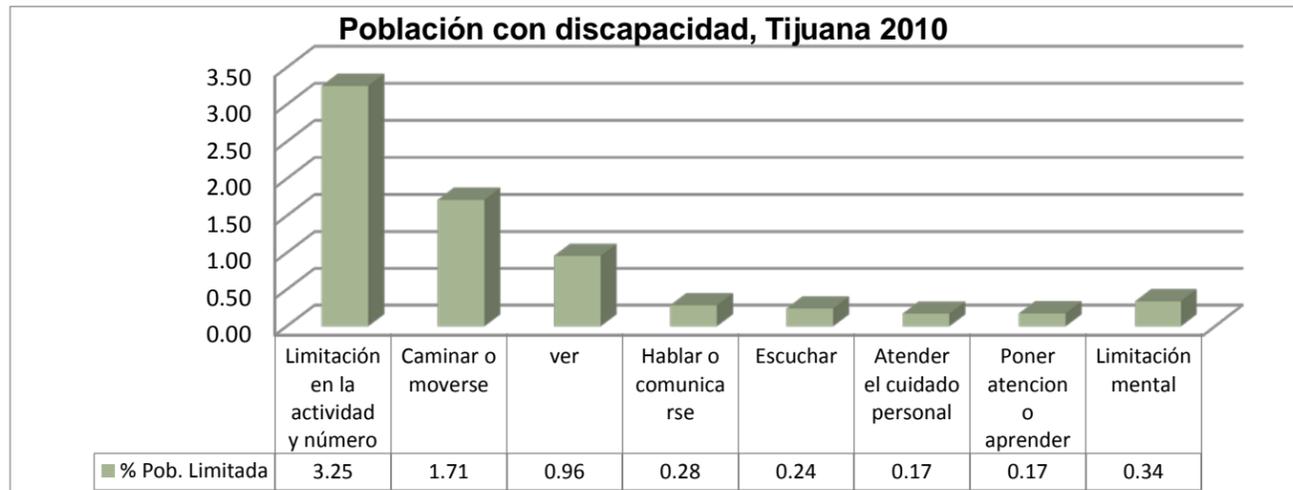


Figura 28. Población de Tijuana con discapacidad (Censo INEGI 2010)

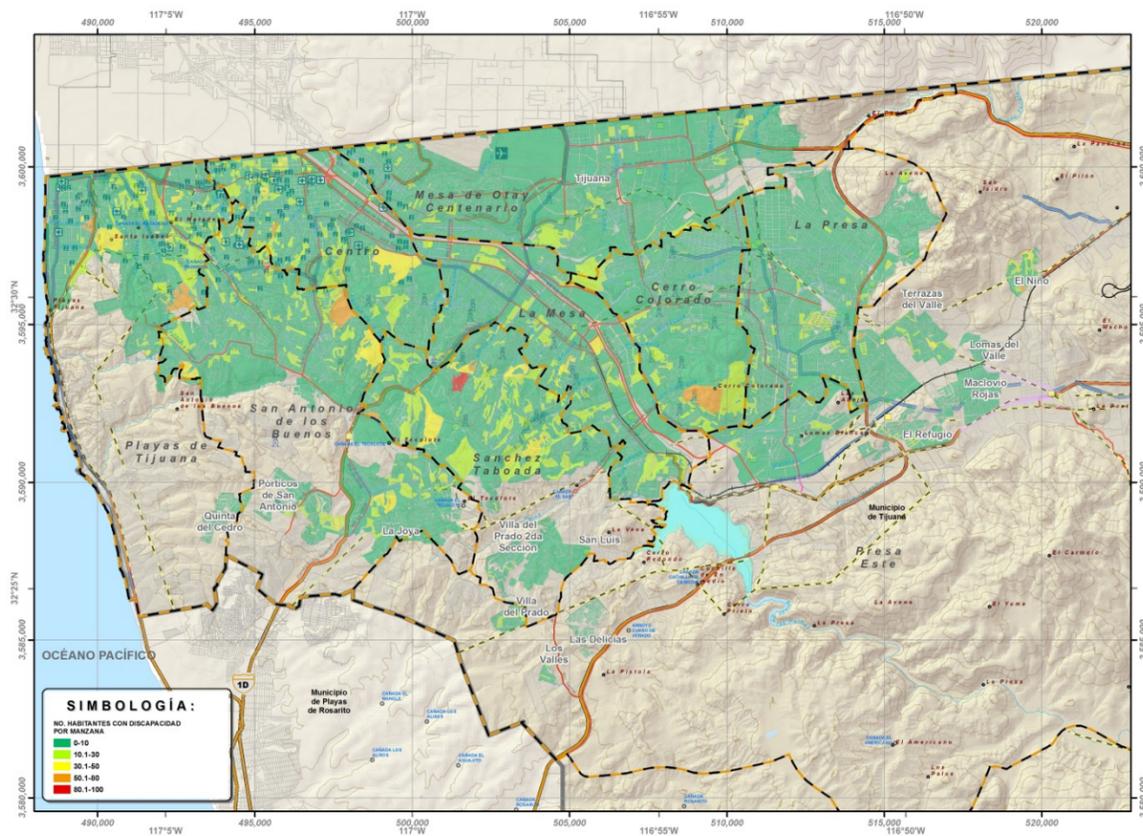


Figura 29. Distribución de habitantes por manzana con alguna discapacidad.

#### 4.3 Principales actividades económicas en la zona

Las actividades económicas del Municipio de Tijuana (Tabla 17) cuentan con un perfil socioeconómico enfocado al sector secundario y terciario que corresponde a la industria y comercio. La industria maquiladora es la más relevante, siguiéndole la industria de alimentos y bebidas, industria de la construcción y fabricación de productos metálicos y no metálicos. Las ramas comerciales más sobresalientes son la de alimentos y bebidas, prendas de vestir, gases y combustibles, materias primas y auxiliares, equipo de transporte, refacciones y accesorios, etc. (Actividad Económica Tijuana, Principales Sectores, Productos y Servicios, Baja California, Gobierno del Estado). Su distribución se muestra en la figura 30.

Tabla 17. Unidades económicas Censo 2010 INEGI.

Sector	Actividad económica	TOTAL
Primario	(11) Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	6
	(23) Construcción	397
Secundario	(31 - 33) Industrias manufactureras	3096
	(43) Comercio al por mayor	1640
Terciario	(46) Comercio al por menor	18150
	(54) Servicios profesionales, científicos y técnicos	1625
	(56) Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	1419
	(61) Servicios educativos	1537
	(62) Servicios de salud y de asistencia social	3021
	(71) Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	384
	(72) Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	4134
	(81) Otros servicios excepto actividades gubernamentales	7891

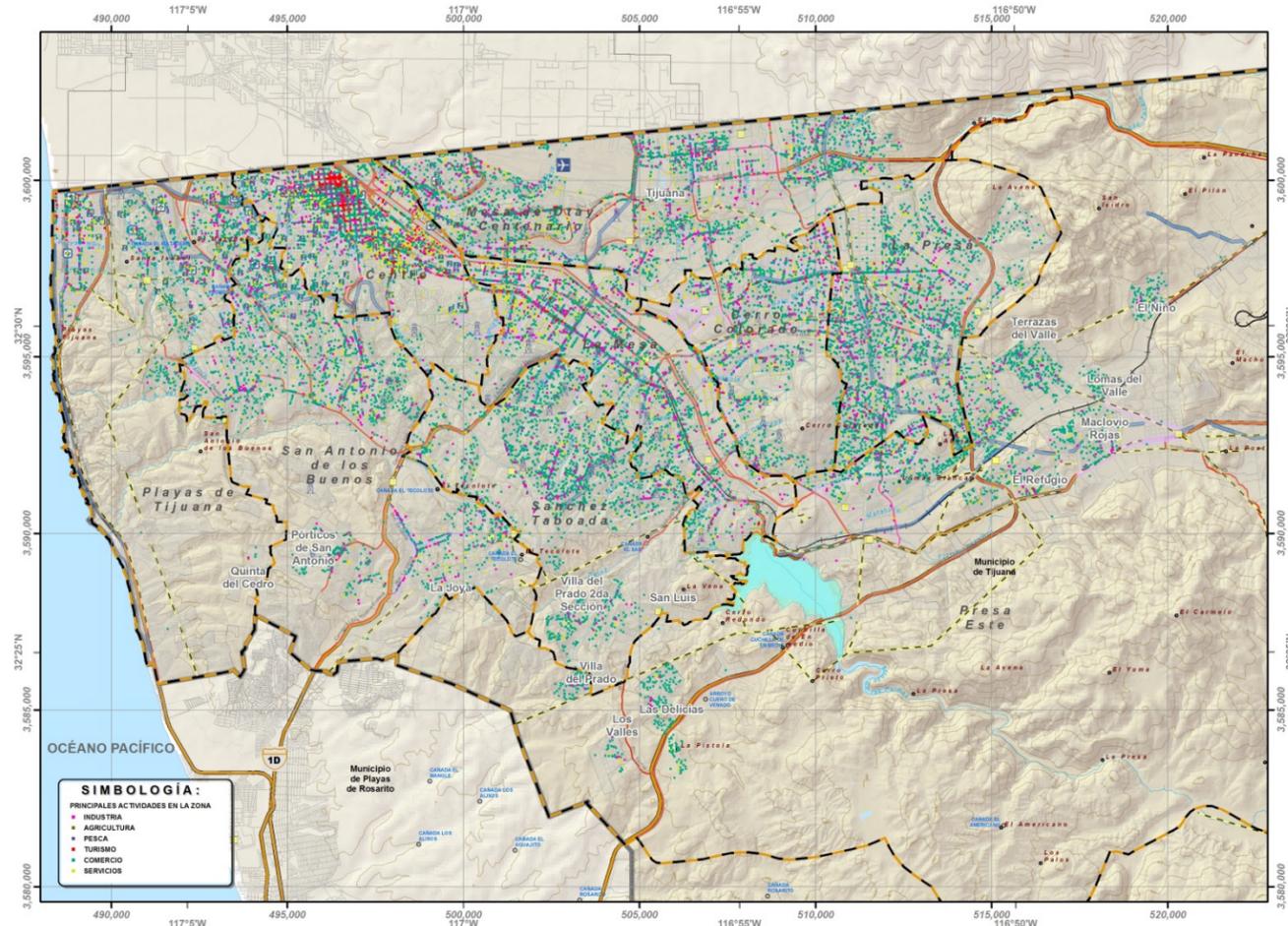


Figura 30. Distribución de las actividades económicas principales por sector, elaborado con datos de DENUE, INEGI 2010.

### Características de la Población Económicamente Activa

El municipio de Tijuana se concentra en un punto geográfico estratégico regional, con capacidad instalada en infraestructura, actividades económicas (Industria, servicios diversos, turismo, comercio, actividades primarias, principalmente), servicios y equipamiento urbano, permitiendo ser un polo de atracción en inversión y por consecuencia de población provenientes del interior del país y de otros países latinoamericanos, y en menor medida de países del resto del mundo. En el año 2010 la población económicamente activa en el municipio fue de 696,907 personas, es decir, el 58% (figura 31).

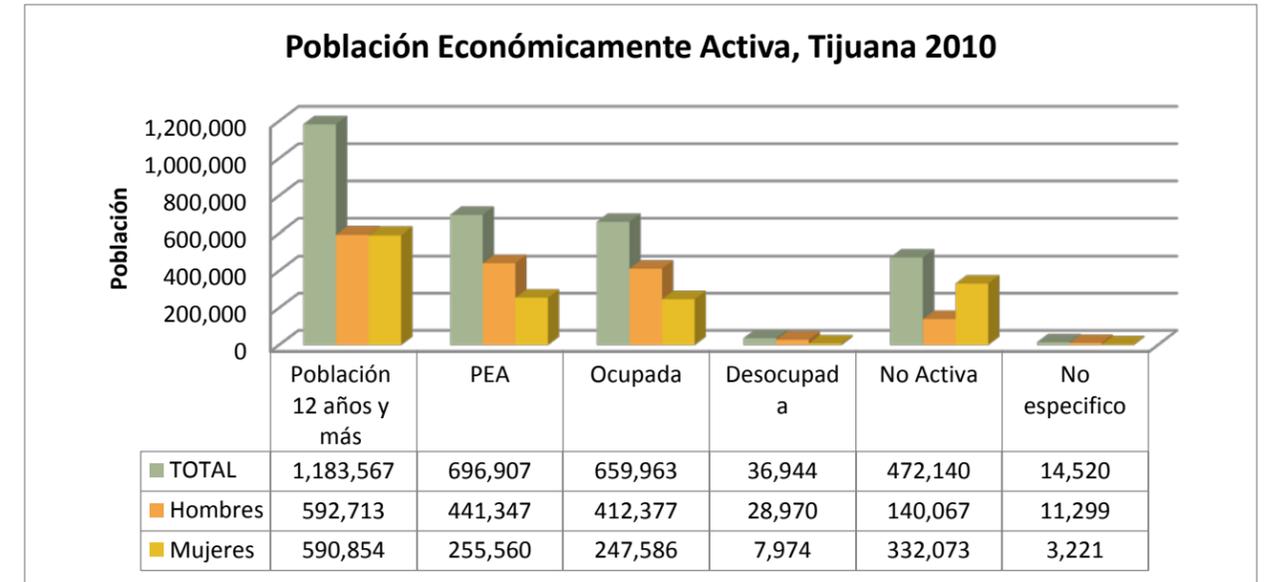


Figura 31. Población económicamente activa, Tijuana 2010 Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010. Cuestionario Básico/Características Económicas.

De acuerdo al Censo 2010 de INEGI un 40% de la población es inactiva, y está constituida por personas que por distintas razones no participan en la producción de bienes y servicios. Entre este grupo se encuentran los pensionados o jubilados, los estudiantes, personas dedicadas a los quehaceres del hogar, las personas que tienen alguna limitación física permanente (figura 32). Su distribución se muestra en la figura 33.

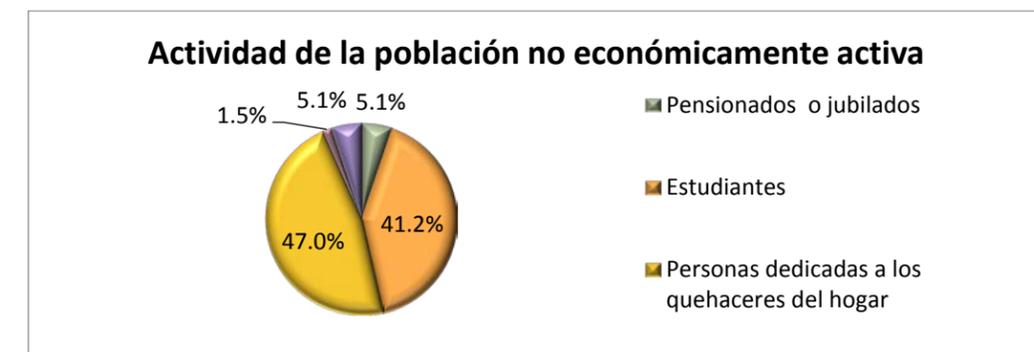


Figura 32. Actividad de la población no económicamente activa. INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.

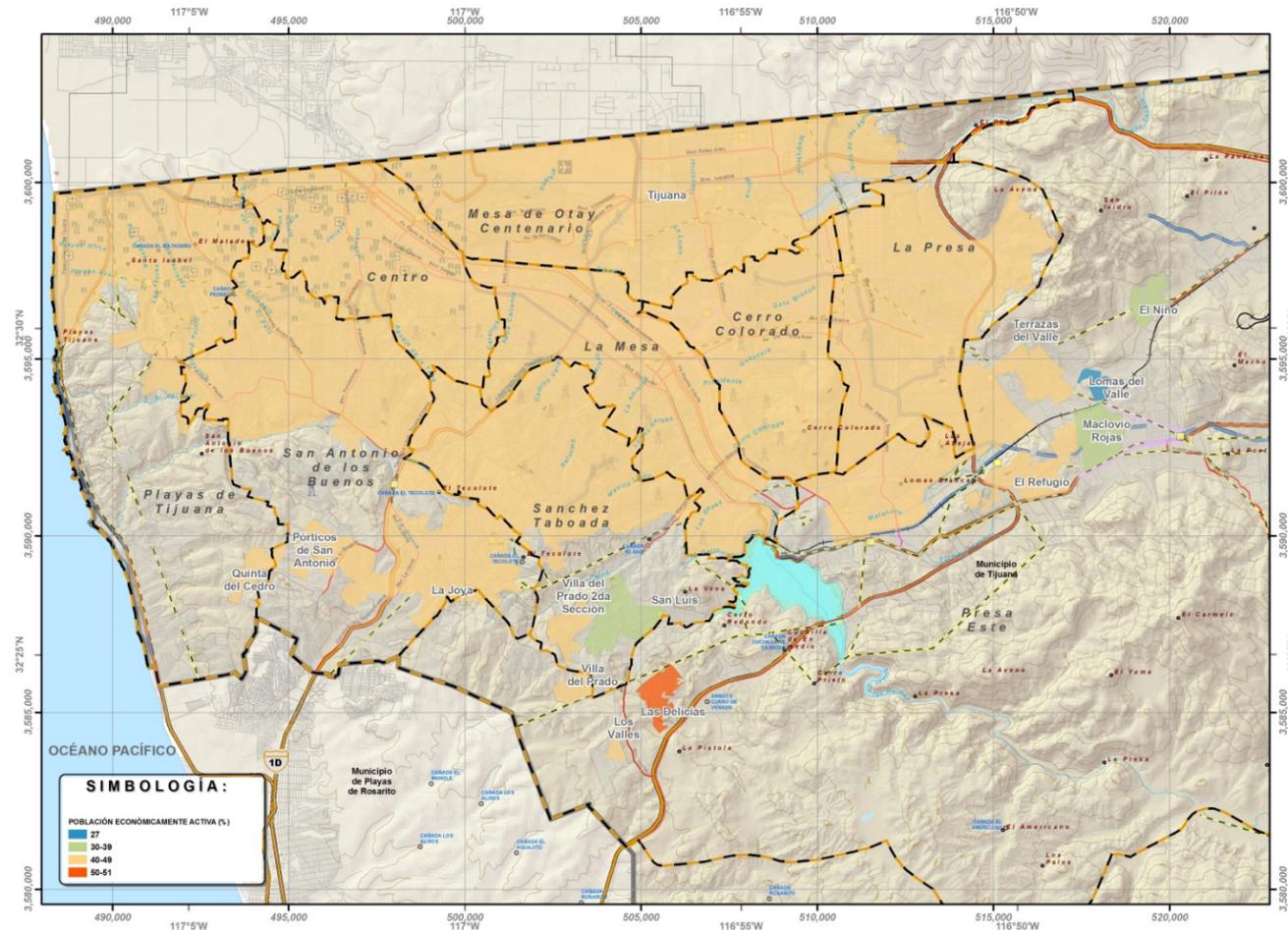


Figura 33. Distribución porcentual de la población económicamente activa por localidad.

instalaciones de servicios médicos, de hospitalización y laboratorio de análisis y estudios clínicos, con instrumentación, equipo moderno y de tecnología avanzada. (Infraestructura Social y de Comunicaciones Tijuana, Baja California Gobierno del Estado, [www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro\\_estado/municipios/tijuana/educacion.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/educacion.jsp)). Las figuras 34 y 35 muestran la distribución de unidades médicas en Tijuana, que van desde el sector público (ISESALUD), afiliaciones a algún tipo de seguro como resultado de alguna prestación laboral (derechohabiciencia) y unidades médicas privadas que atienden cualquier especialidad.

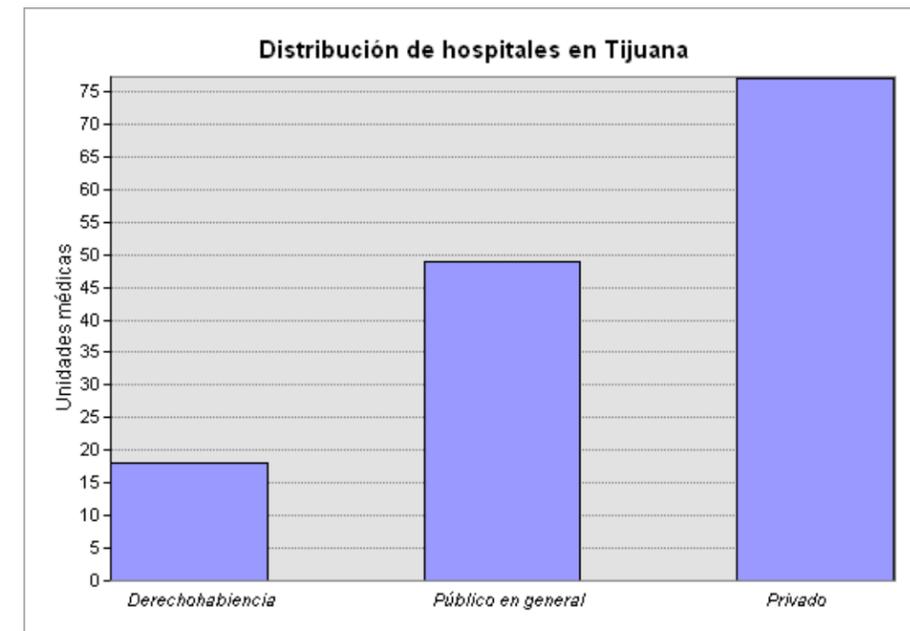


Figura 34. Unidades médicas de salud en Tijuana (Datos INEGI).

#### 4.4 Equipamiento, salud, educativo, recreativo y/o esparcimiento.

##### Salud

El municipio de Tijuana tiene una infraestructura de primer orden que lo ubica como el centro más importante del noroeste del país, contando con servicios de atención a la salud por instituciones públicas, tales como Instituto de Servicios de Salud Pública del Estado de Baja California (ISESALUD), el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS); el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE); el Desarrollo Integral de la Familia (DIF); la Secretaría de Salud (SSA) y el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado y Municipios de Baja California (ISSSTECALI). A cargo de particulares se tienen

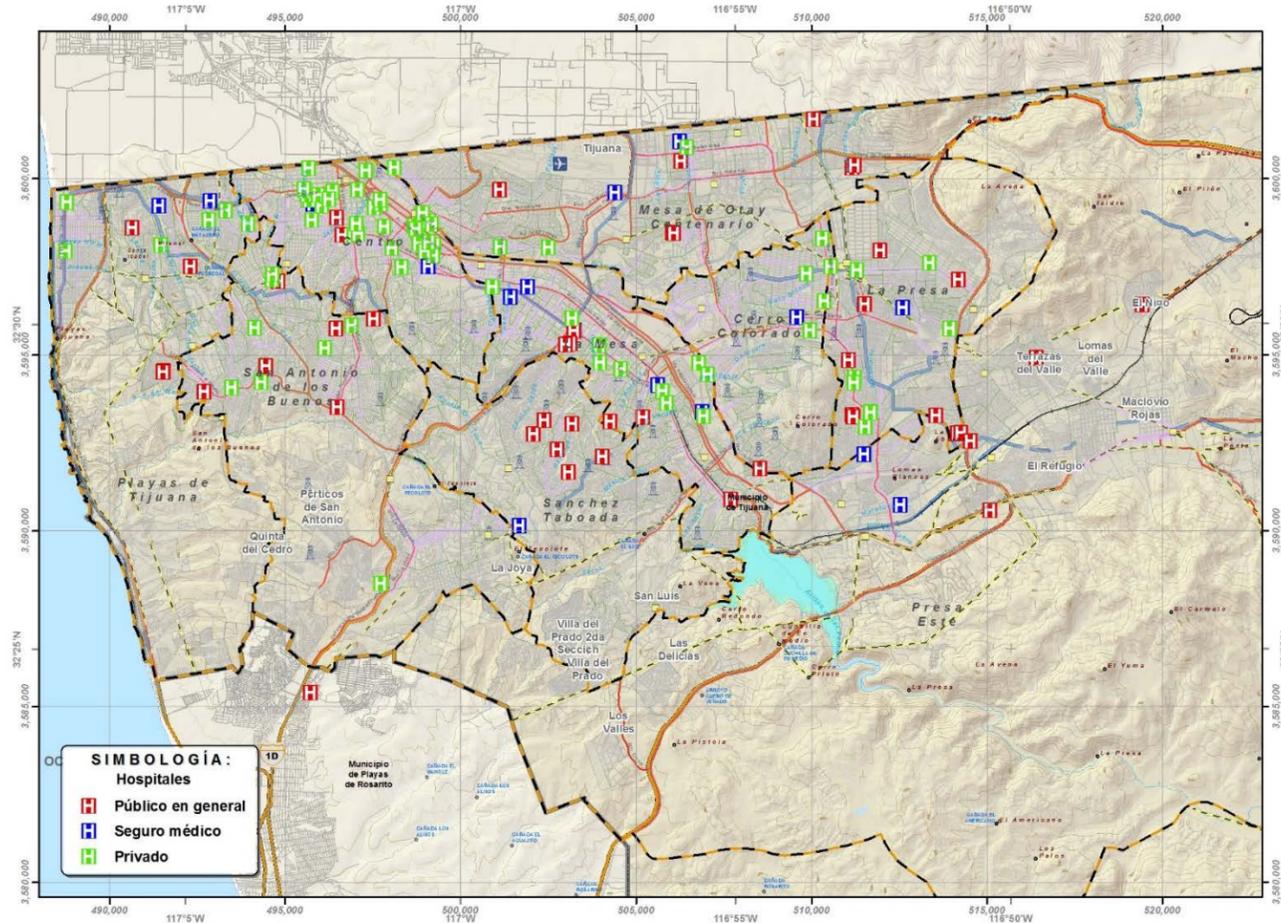


Figura 35. Distribución de hospitales en Tijuana clasificados en públicos, privados y de seguros.

El 64% de la población de Tijuana tiene acceso a servicios de salud por derechohabencia (figura 36), la clasificación de la derechohabencia se muestra en la figura 37, la mayoría de las afiliaciones están en el IMSS (Ayuntamiento de Tijuana – Dirección Municipal de Salud, <http://www.tijuana.gob.mx/dependencias/dms/>).

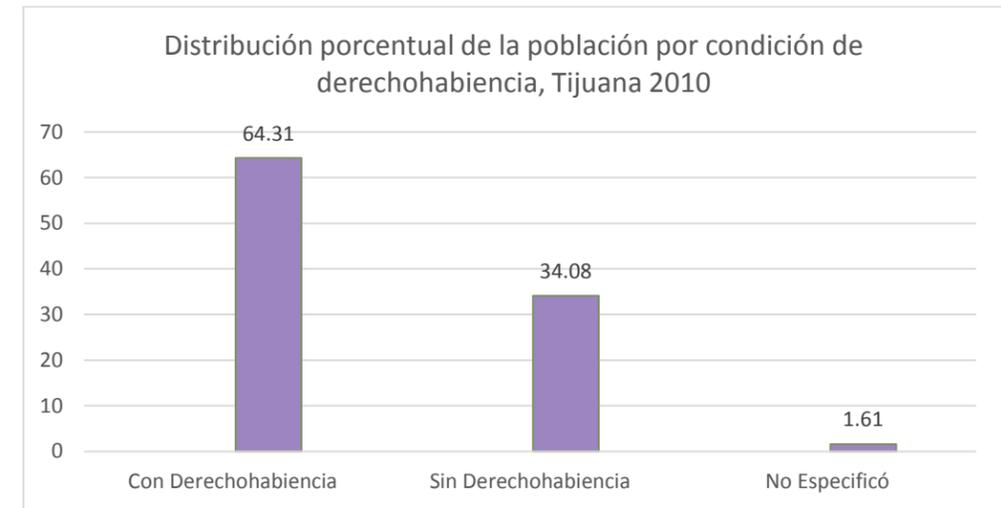


Figura 36. Distribución porcentual de la población por condición de derechohabencia a servicios de salud, Tijuana 2010.

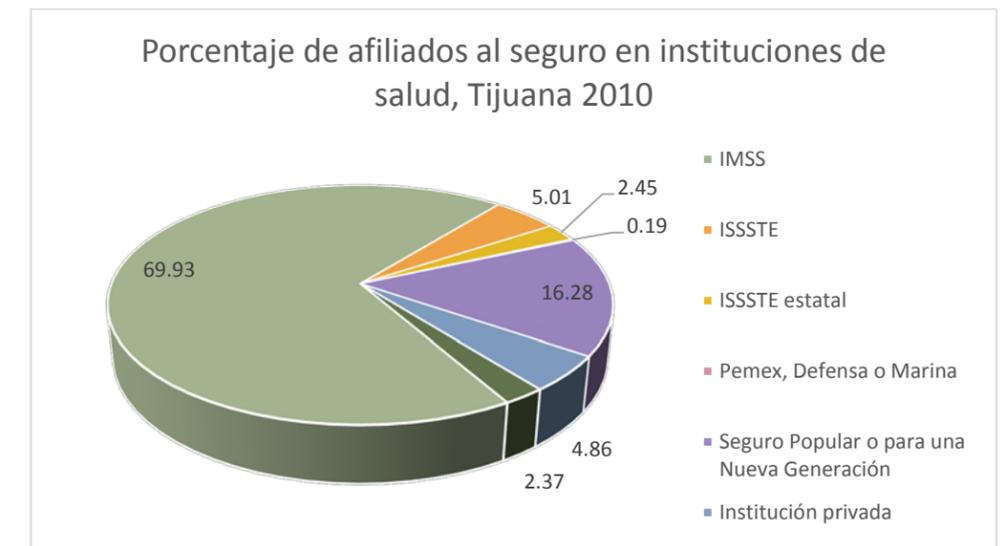


Figura 37. Porcentaje de afiliados al seguro en instituciones de salud, Tijuana 2010.

### Educativo

El municipio de Tijuana tiene la infraestructura adecuada para absorber a toda la población demandante. En el aspecto de educación, ésta se imparte en todos los niveles desde educación básica a educación de nivel superior (figuras 38 a 40), estos datos se obtienen del Banco de Información de INEGI (<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biinegi/>).

La población analfabeta en el municipio es mínima con respecto a su población total, ya que existe el Instituto Nacional de Educación para Adultos (INEA) y el Consejo Nacional de Fomento Educativo (CONAFE), mismos que satisfacen este rubro, impartiendo el primero, cursos de alfabetización y el segundo, secundaria y preparatoria a la población adulta ([http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro\\_estado/municipios/tijuana/educacion.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/educacion.jsp)).

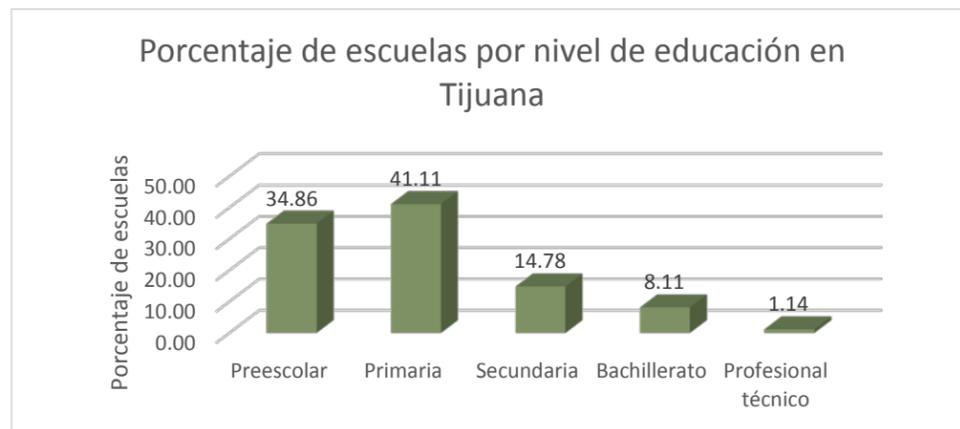


Figura 38. Porcentaje de escuelas por nivel de educación, Tijuana 2011.

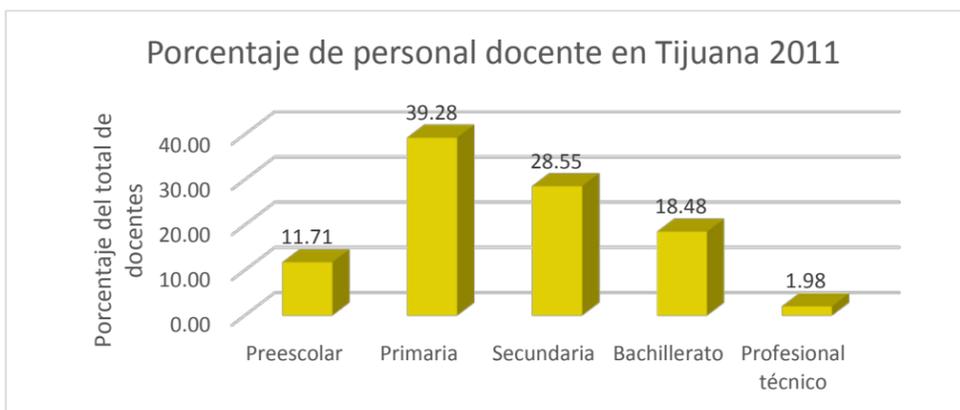


Figura 39. Porcentaje del personal docente para los diferentes niveles educativos, Tijuana 2011.

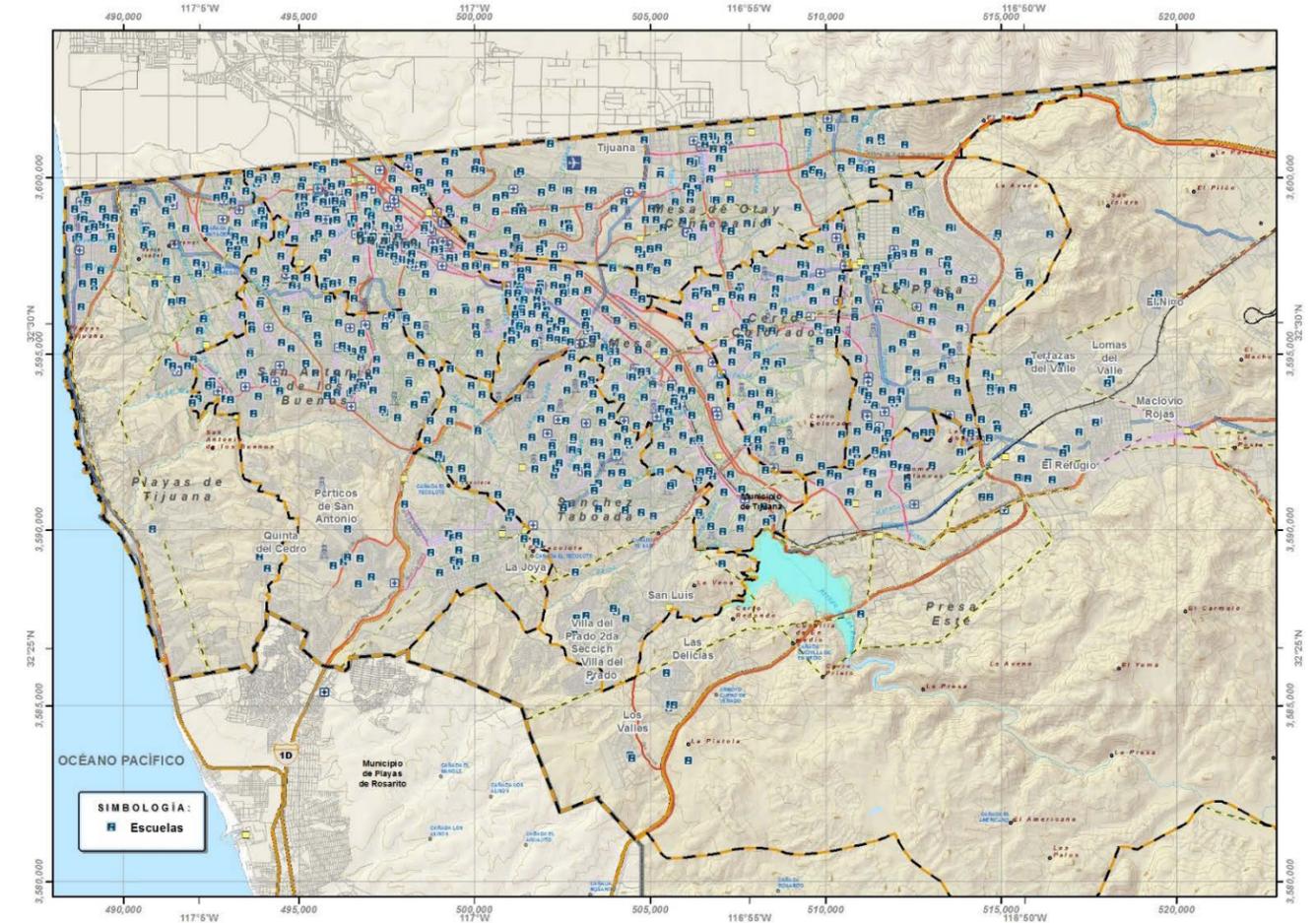


Figura 40. Distribución de escuelas de nivel básico y medio superior en Tijuana.

## Recreativo

En el aspecto cultural y recreativo Tijuana es el municipio mejor equipado de la entidad; existe el Centro Cultural Tijuana que cuenta con un omniteatro que opera con la más alta tecnología en su género, albergando además, un museo, auditorio, teatro, sala de lectura, cine, sala de concierto, sistema de información computarizada, sala de artesanías y centro comercial. El municipio también tiene la Casa de la Cultura, donde se imparten clases de pintura, danza y música ([http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro\\_estado/municipios/tijuana/educacion.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/educacion.jsp)).

El INEGI registra un total de 545 establecimientos dedicados a servicios de esparcimiento cultural y deportivo, entre los que se encuentran, museos, sitios históricos, zoológicos, parques naturales y otros más.

El mapa base urbano contiene el equipamiento de estos elementos.

## 4.5 Reserva territorial

Dentro del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tijuana 2010- 2030 se considera que la reserva territorial y dotación de superficies para vivienda son aspectos definidos en los programas de desarrollo urbano, este aspecto se obtuvo de este programa elaborado por el IMPLAN – Tijuana en 2009 (figura 41).

Para garantizar la superficie asignada para reserva territorial y vivienda, la Ley de Desarrollo Urbano de Baja California (LDU) establece la necesidad de contar con la declaratoria correspondiente, sin embargo a la fecha esto no se ha concretado, si bien se han elaborado diversos estudios, la problemática existente respecto a la irregularidad en la tenencia del suelo así como la necesidad del recurso para su adquisición siguen siendo el principal obstáculo. Tan solo dentro del área urbana del territorio municipal se estima que el 32.75% del suelo corresponde a zonas ocupadas y/o desarrolladas por entidades paraestatales como el Instituto para el Desarrollo Inmobiliario y de la Vivienda para el Estado de Baja California (INDIVI) (IMPLAN-Tijuana, 2008).

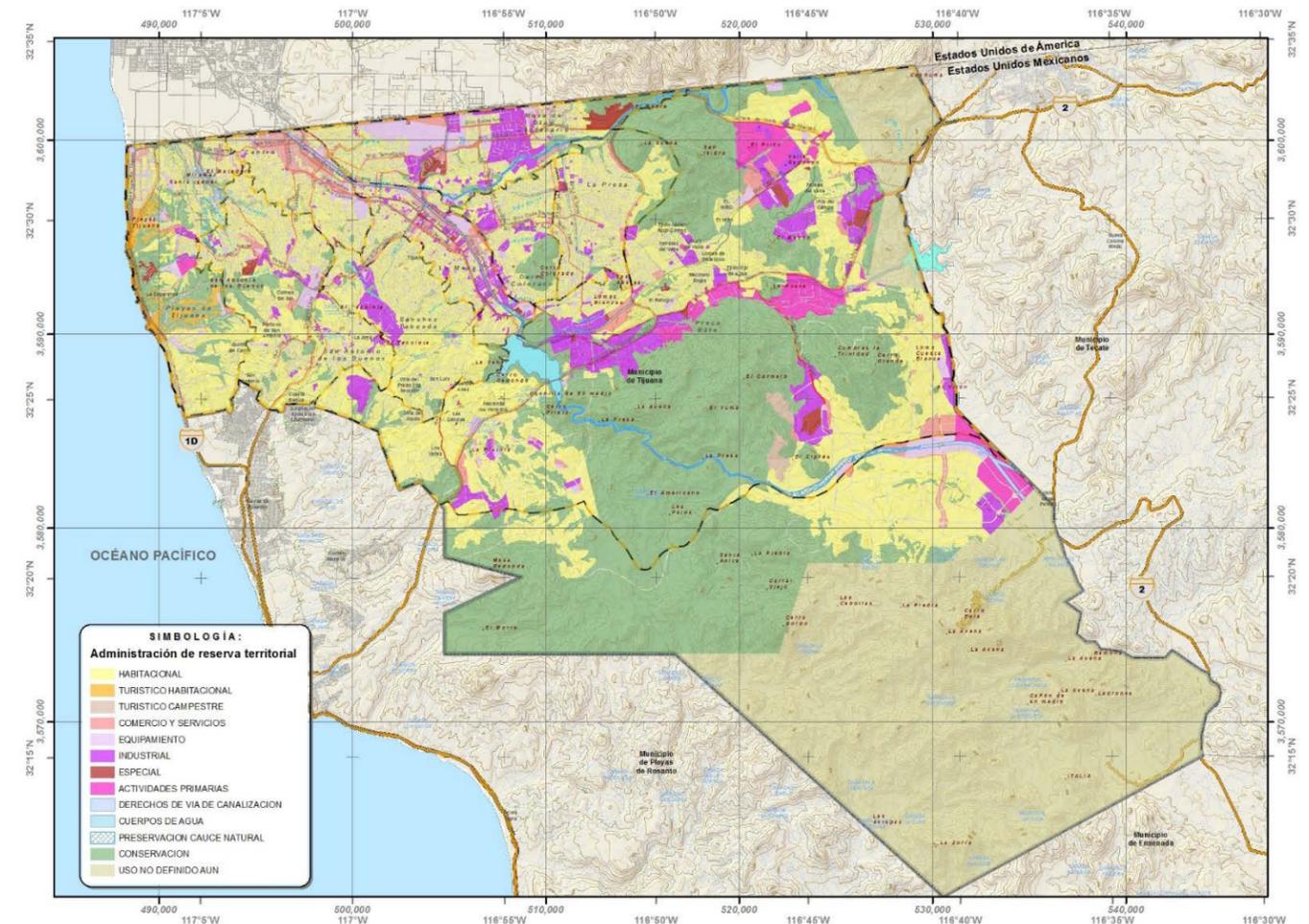


Figura 41. Distribución de reserva territorial Tijuana.

## CAPÍTULO V. Identificación de peligros, vulnerabilidad y riesgos ante fenómenos perturbadores de origen natural

### 5.1 Erupciones volcánicas

En algunas zonas del planeta, el calor interno funde el material rocoso el cual sube a la superficie en forma de volcanes. Los centros de dispersión de corteza terrestre son los sitios ideales para la ocurrencia de vulcanismo y se considera que el 80% de este volumen se lleva a cabo en estos ambientes tectónicos, pero en forma no explosiva o que se considere peligrosa. En las zonas de choque de placas tectónicas también ocurre vulcanismo pero con la diferencia que si puede resultar peligroso por su forma explosiva de materiales asociados.

En la zona del municipio Tijuana el ambiente tectónico es de fallas transformadas de desplazamiento horizontal donde no se espera ocurra vulcanismo y donde no se tiene documentado haya ocurrido en los últimos 10 000 años. A distancia de 100 km desde los límites del municipio no se tiene documentado ningún aparato volcánico activo.

### 5.2 Sismos (epicentros con sus respectivas magnitudes)

Desde su fundación en 1889, Tijuana no ha sufrido los efectos de un sismo de magnitud importante. Hasta 1984, la región Tijuana-San Diego se consideraba relativamente segura respecto a los sismos (Masry, 1989), sin embargo, a partir de ese año se ha detectado un incremento en la actividad de niveles de deformación regional (Heaton y Jones, 1989). Como ejemplos destacan el sismo del 19 de agosto de 1978, de magnitud 3.5, con epicentro en el Cañón de la Presa (Espinosa, 1983); así como el sismo del 16 de octubre de 1999, de magnitud 7.1 y con epicentro al Noreste de San Diego, California. En el primer caso, se reportaron evidencias de escarpes y derrumbes recientes en el Cañón de la Presa (Washbur, 1980; citado en Espinosa, 1983); en el segundo caso se reportaron daños materiales menores, pero hubo mucha intranquilidad en la población, a pesar de haber ocurrido en las primeras horas del día, incluso se reportaron réplicas de magnitud 5.3 y 5.8 en la zona epicentral, a 200 kms al noreste de Tijuana.

Particularmente, el sismo de octubre de 1999, ha permitido que la ciudadanía se interese en el tema de prevención de riesgos y acepte las acciones que con esa intención lleva a cabo Protección Civil y CICESE (Rosquillas y Mendoza, 2000), entre las que se incluyen simulacros de gabinete para que la población esté preparada ante nuevas contingencias de este tipo. Tijuana está incluida en una región considerada como sísmicamente activa y lo mismo está expuesta a los efectos de movimientos con epicentros locales que a efectos por epicentros en zonas relativamente cercanas, como lo demuestran los ejemplos citados; las eventuales afectaciones finalmente estarán en función de la magnitud del evento, la ubicación y distancia del epicentro y el efecto que la propagación de ondas pueda generar en los suelos característicos de la ciudad.

#### 5.2.1 Distribución de los epicentros de la sismicidad histórica ocurrida dentro de un radio de 100 km alrededor de la ciudad de Tijuana

El primer mapa para evaluar el peligro sísmico contiene a los epicentros históricos (figura 42) y muestra la distribución de los epicentros de la sismicidad histórica ocurrida dentro de un radio de 100 km alrededor del municipio Tijuana, Baja California. Desde magnitudes 5.0 hasta 7.0; el tamaño y color del símbolo epicentral es proporcional a la magnitud. Debe tenerse cuidado con este mapa, ya que solo muestra los sismos en un radio de 100 kms.

#### Metodología sismicidad histórica

Se elaboraron dos mapas con diferente enfoque: uno con las localizaciones aproximadas de los sismos fuertes ocurridos en la región en toda la historia documentada localmente (figura 42). Para ello se recopiló información contenida en catálogos que refieren terremotos previos a la disponibilidad de instrumentos registradores y cuyas características quedaron consignadas en reportes periodísticos y reseñas de diversa índole, además de los sismos fuertes de la época instrumental. La intención de este mapa es mostrar la capacidad de generación de sismos fuertes dentro de la región de estudio. El segundo mapa (figura 43) muestra la distribución epicentral de los sismos de magnitud mayor o igual a 3.0, registrados instrumentalmente por las redes sísmicas locales. Allí están incluidos los epicentros reportados en los catálogos del Southern California Earthquake Center y de CalTech desde 1932, y en los catálogos de la Red Sísmica del Noroeste de México del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, desde 1980. La finalidad de este mapa es la de mostrar la asociación entre la sismicidad regional y los principales sistemas de fallas geológicas.

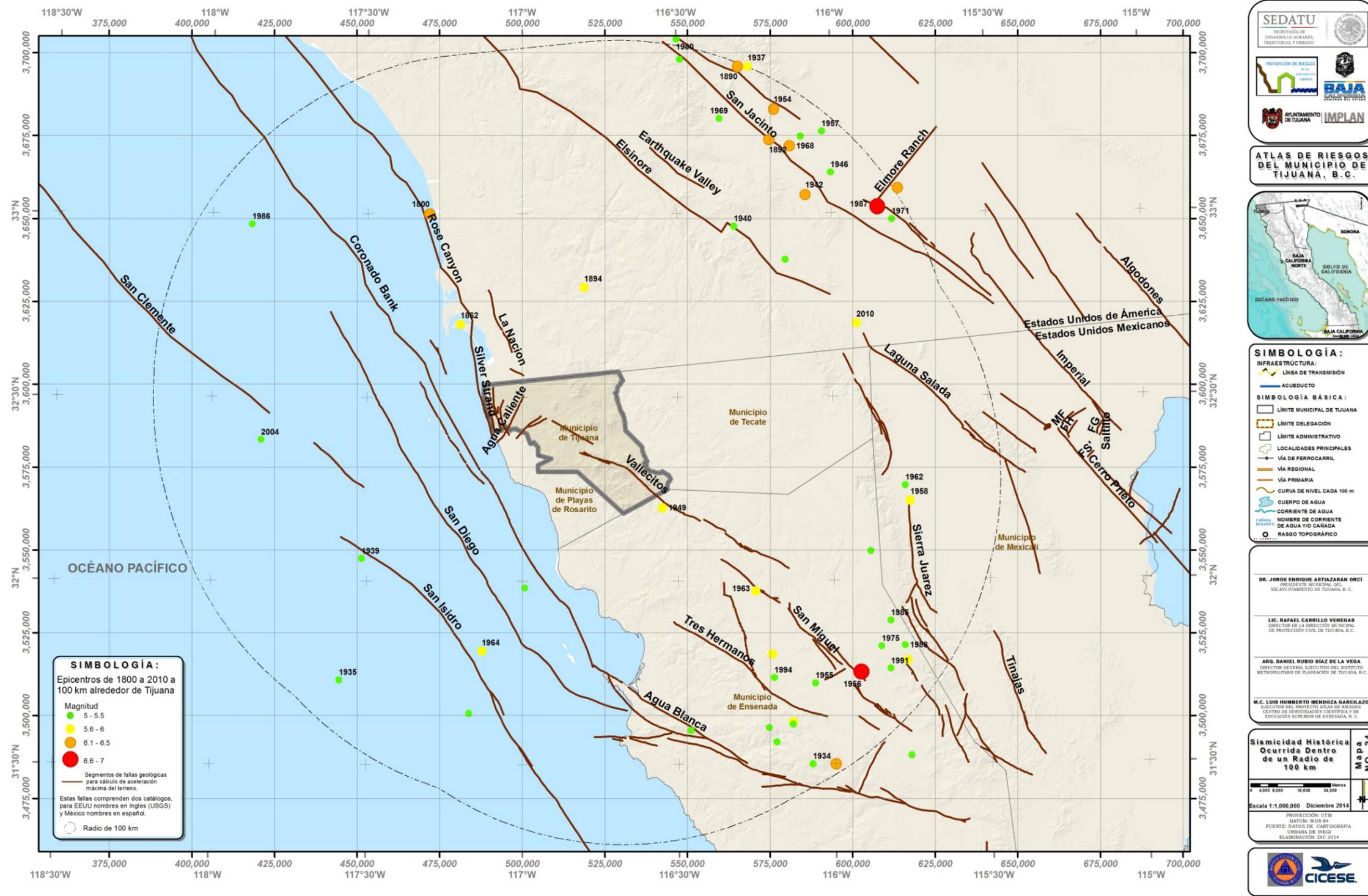


Figura 42. Sismicidad histórica. Terremotos fuertes ocurridos en la historia documentada de la región aledaña a Tijuana, donde están incluidos sismos con y sin registro instrumental.

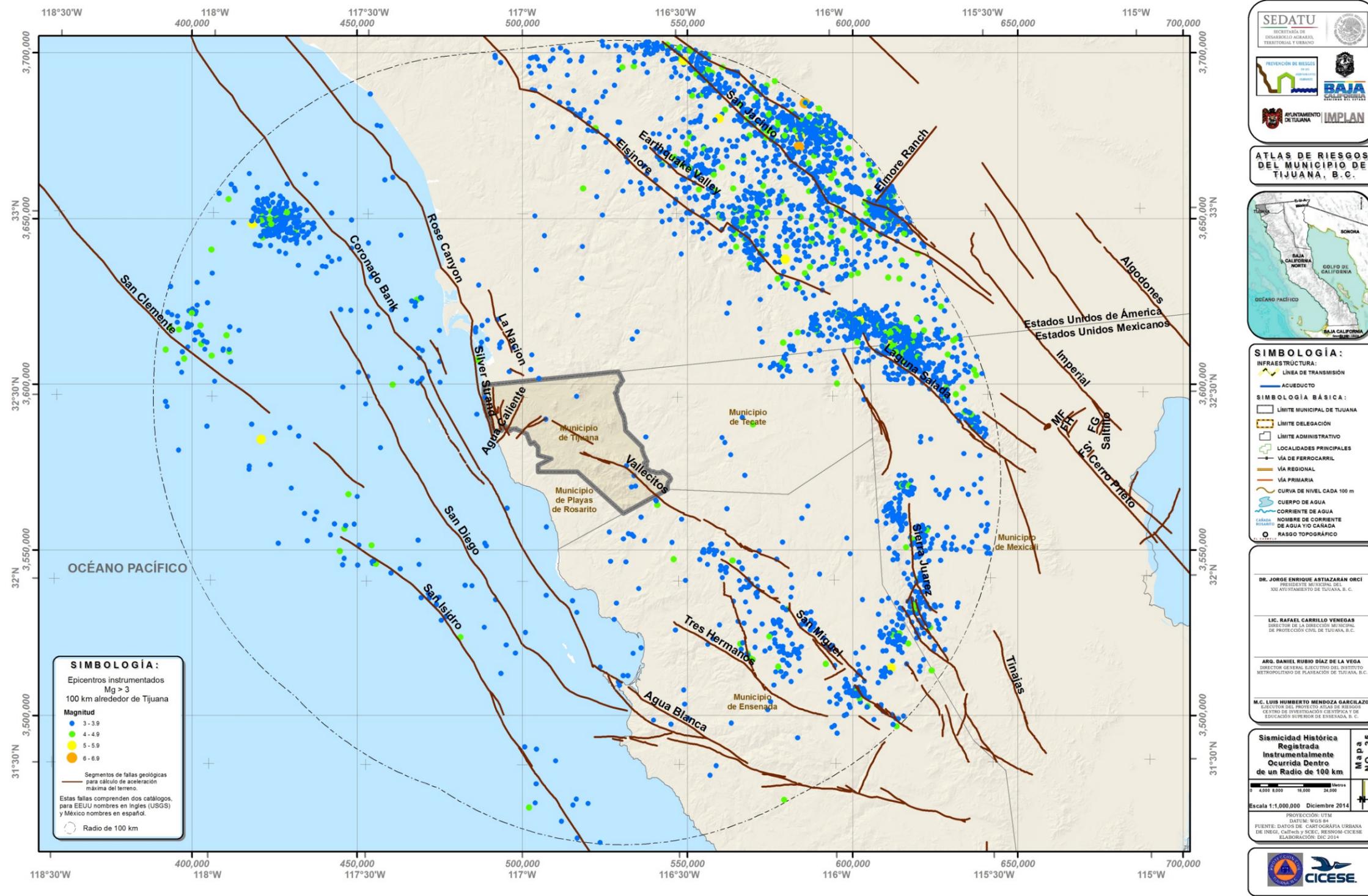


Figura 43. Sismicidad histórica. Terremotos con magnitud igual o mayor a 3.0, registrados instrumentalmente desde 1932 (CalTech y SCEC) o desde 1980 (RESNOM-CICESE).

### Resultado del análisis

Es notable la escasa presencia de terremotos fuertes en la vecindad de Tijuana (alrededor de 40 km). La mayoría de los sismos fuertes están asociados a los sistemas de fallas de San Miguel, Cerro Prieto, Imperial y San Andrés. Sin embargo, esta aparente quietud sísmica no reduce el peligro sísmico de la región, ya que existen fallas geológicas cercanas, con potencial sismogénico (ver el mapa de la figura 44 de localización de fallas).

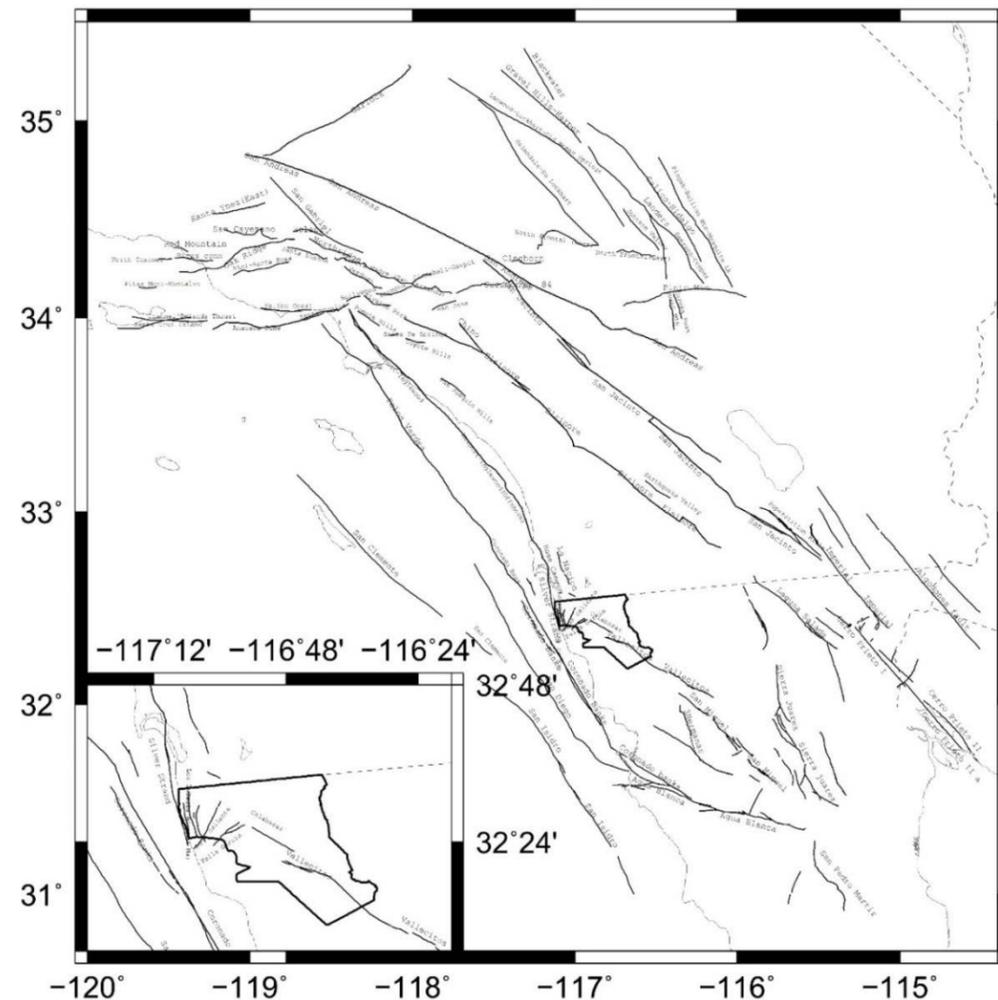


Figura 44. Mapa de fallas localizadas en un radio de 300 km.

### 5.2.2 Mapa de riesgo sísmico para el 2% de probabilidad de excedencia, dentro de un intervalo de 50 años.

Se muestra la distribución esperada del valor de la aceleración pico del suelo (PGA), en g (aceleración de la gravedad terrestre al nivel del geoide estándar), dentro del intervalo de 50 años, con el 2% de probabilidad de excedencia (Figura 45).

#### Metodología PGA 50 años 2% de probabilidad

Se aplicó un método de análisis estadístico y probabilístico del peligro sísmico que ha sido ampliamente empleado en varias partes del mundo, principalmente para la estimación de los mapas de peligro del USGS en los Estados Unidos, el cual está ampliamente descrito en Petersen et al. (2008). Una descripción abreviada sería la siguiente. Se calculan las curvas de frecuencia de excedencia anual para un nivel dado del movimiento del suelo; luego se aplica un análisis de probabilidades, basado en la ecuación de Poisson, independiente del tiempo, para obtener la frecuencia anual de excedencia asociada a una probabilidad de excedencia (2% y 10% en este trabajo) en un periodo de tiempo (50 años en este trabajo). La interpolación de las curvas de frecuencia anual de excedencia producen los mapas de peligro sísmico.

El mapa fue creado con el programa de graficado GMT, a partir de los valores puntuales obtenidos con el software y datos proporcionados por el United States Geological Service (USGS), en su departamento de Geological Hazards. Las fuentes sísmicas fueron caracterizadas por medio de las trazas conocidas de las principales fallas sismogénicas en un radio de 300 km del municipio de Tijuana (Figura 44), con magnitudes ya sea históricas o estimadas mediante relaciones con dimensiones geométricas (Ellsworth, 2003; Hanks and Bakun, 2002). El periodo de recurrencia o la frecuencia de ocurrencia de cada falla es estimado mediante la frecuencia característica o mediante la relación de Gutenberg-Richter, con  $b=0.8$  constante (Frankel and others, 2002; Petersen and others, 1996).

Se utilizaron tres modelos de atenuación sísmica para calcular la aceleración pico: Boore and Atkinson (2008), Campbell and Bozorgnia (2008), y Chiou and Youngs (2008). Las estimaciones de peligro fueron realizadas considerando sitio de roca firme uniforme, con velocidades promedio de ondas de corte en los primeros 30m del subsuelo ( $\beta_{30}$ ) iguales a 760 m/s.

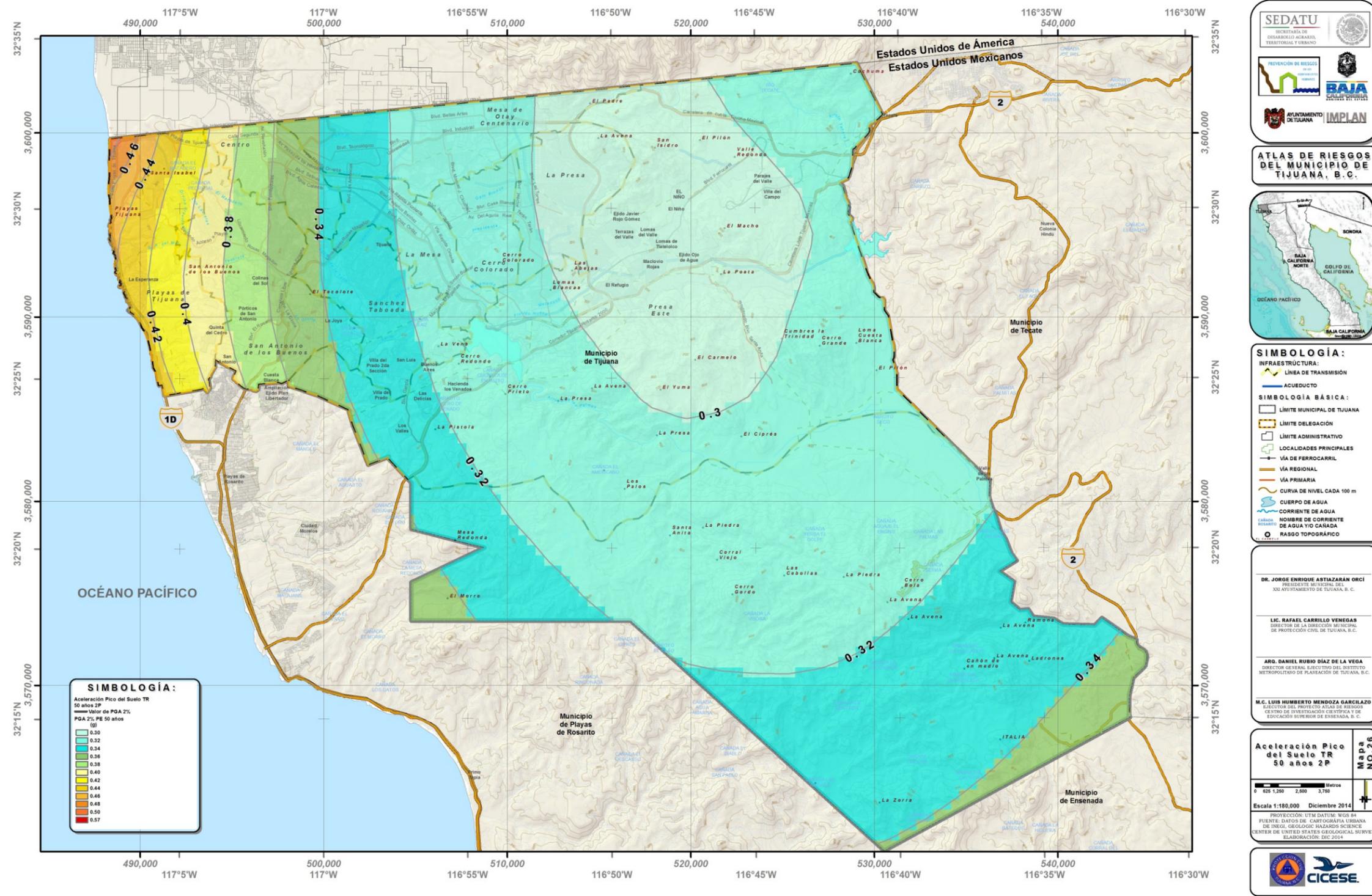


Figura 45. Mapa de riesgo sísmico para el 2% de probabilidad de excedencia, dentro de un intervalo de 50 años.

### Resultado del análisis

Las aceleraciones pico del suelo, para el mapa más improbable, el del 2% de probabilidad, adquieren valores entre 320 y 450 cm/s<sup>2</sup> en la actual mancha urbana de Tijuana. El peligro sísmico para la probabilidad del 2% de excedencia en 50 años es del orden de 2.0 mayor que para el 10% de probabilidad de excedencia.

#### 5.2.3 Mapa de riesgo sísmico para el 10% de probabilidad de excedencia, dentro de un intervalo de 50 años.

Se muestra la distribución esperada del valor de la aceleración pico del suelo (PGA), en g (aceleración de la gravedad terrestre al nivel del geoide de referencia), dentro del intervalo de 50 años, con el 10% de probabilidad de excedencia (Figura 46).

#### Metodología PGA 50 años 10% de probabilidad

Se aplicó un método de análisis estadístico y probabilístico del peligro sísmico que ha sido ampliamente empleado en varias partes del mundo, principalmente para la estimación de los mapas de peligro del USGS en los Estados Unidos, el cual está ampliamente descrito en Petersen et al. (2008). Una descripción abreviada sería la siguiente. Se calculan las curvas de frecuencia de excedencia anual para un nivel dado del movimiento del suelo; luego se aplica un análisis de probabilidades, basado en la ecuación de Poisson, independiente del tiempo, para obtener la frecuencia anual de excedencia asociada a una probabilidad de excedencia (2% y 10% en este trabajo) en un periodo de tiempo (50 años en este trabajo). La interpolación de las curvas de frecuencia anual de excedencia producen los mapas de peligro sísmico.

El mapa fué creado con el programa de graficado GMT, a partir de los valores puntuales obtenidos con el software y datos proporcionados por el United States Geological Service (USGS), en su departamento de Geological Hazards. Las fuentes sísmicas fueron caracterizadas por medio de las trazas conocidas de las principales fallas sismogénicas en un radio de 300 km del municipio de Tijuana (figura 44), con magnitudes ya sea históricas o estimadas mediante relaciones con dimensiones geométricas (Ellsworth, 2003; Hanks and Bakun, 2002). El periodo de recurrencia o la frecuencia de ocurrencia de cada falla es estimado mediante la frecuencia característica o mediante la relación de Gutenberg-Richter, con  $b=0.8$  constante (Frankel and others, 2002; Petersen and others, 1996).

Se utilizaron tres modelos de atenuación sísmica para calcular la aceleración pico: Boore and Atkinson (2008), Campbell and Bozorgnia (2008), y Chiou and Youngs (2008).

Las estimaciones de peligro fueron realizadas considerando sitio de roca firme uniforme, con velocidades promedio de ondas de corte en los primeros 30m del subsuelo ( $\beta_{30}$ ) iguales a 760 m/s.

### Resultado del análisis

Las aceleraciones pico del suelo, para el mapa del 10% de probabilidad, adquieren valores entre 160 y 190 cm/s<sup>2</sup> en la actual mancha urbana de Tijuana. El peligro sísmico para la probabilidad del 2% de excedencia en 50 años es del orden de 2.0 mayor que para el 10% de probabilidad de excedencia.

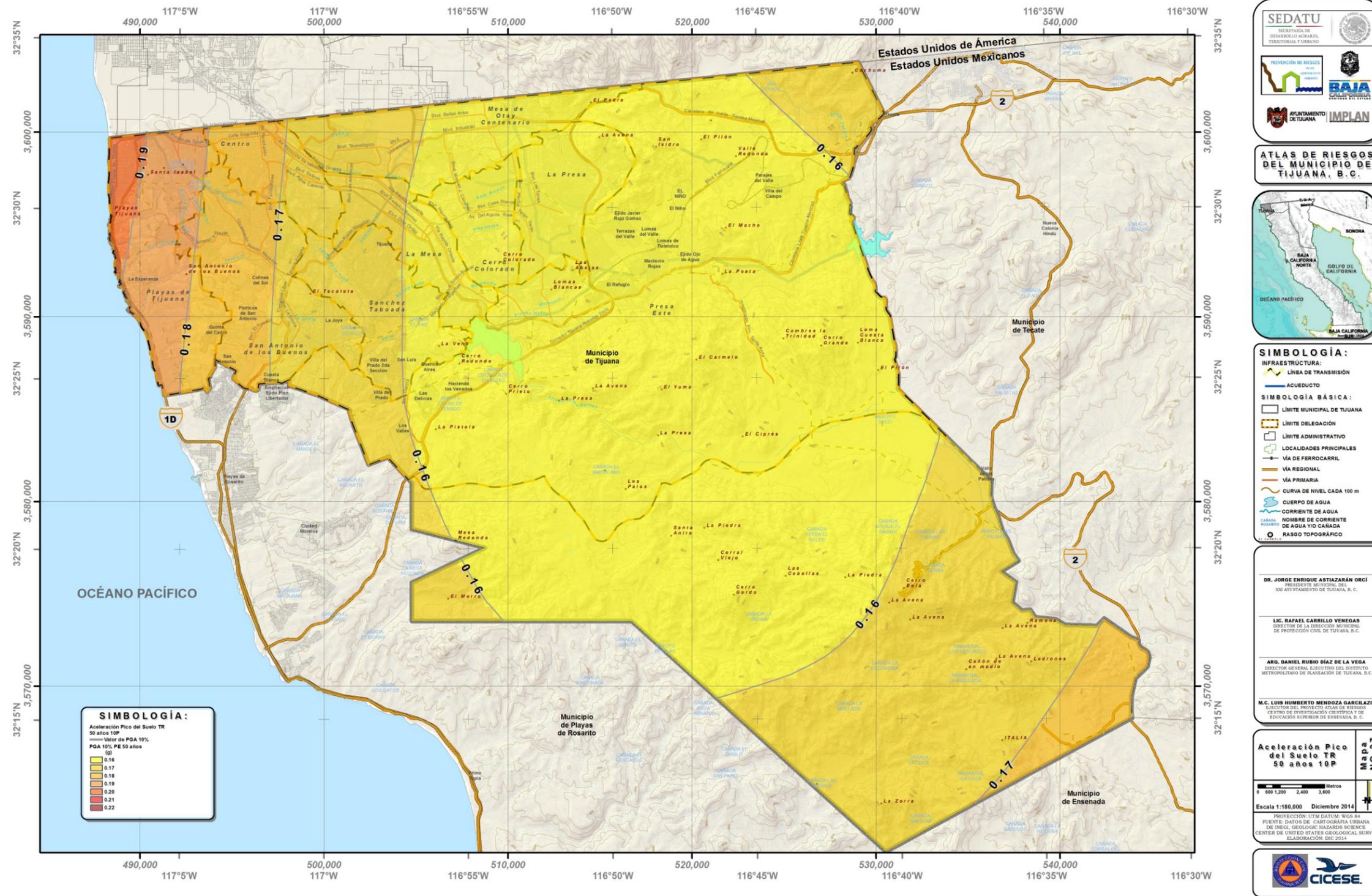


Figura 46. Mapa de riesgo sísmico para el 10% de probabilidad de excedencia, dentro de un intervalo de 50 años.

#### 5.2.4 Aceleraciones máximas del suelo (PGA), sobre roca firme, calculadas con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008)

Aceleraciones máximas del suelo (PGA), sobre roca firme,  $\text{cm/s}^2$  (Figura 47).

##### **Metodología de PGA PRODISIS**

El mapa fue creado con el programa de graficado GMT, a partir de los valores puntuales de la aceleración pico, distribuidos dentro del municipio de Tijuana, Baja California, los cuales fueron calculados con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008) de la Comisión Federal de Electricidad, descrito en el manual.

##### **Resultado del análisis**

El municipio de Tijuana queda totalmente incluido dentro de las zonas de aceleraciones entre 138 y 141  $\text{cm/s}^2$ , mientras que el centro histórico de la ciudad quedaría en la zona de aceleración de 138  $\text{cm/s}^2$ . Estos valores de aceleración corresponden a periodos de retorno entre 2600 y 2700 años, estimado con el programa PRODISIS (ver mapa de periodos de retorno figura 48).

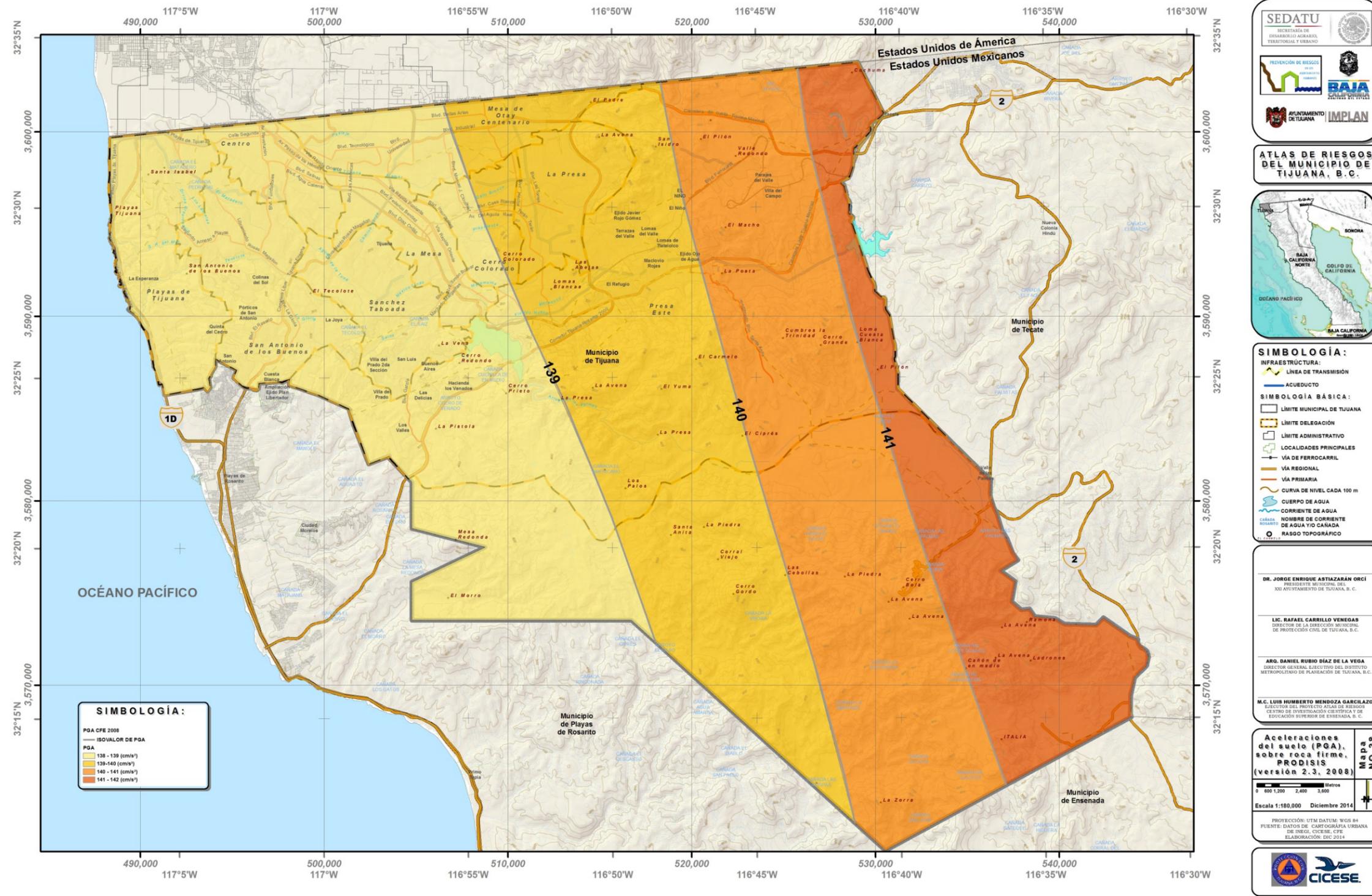


Figura 47. Aceleraciones máximas del suelo (PGA), sobre roca firme, calculadas con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008).

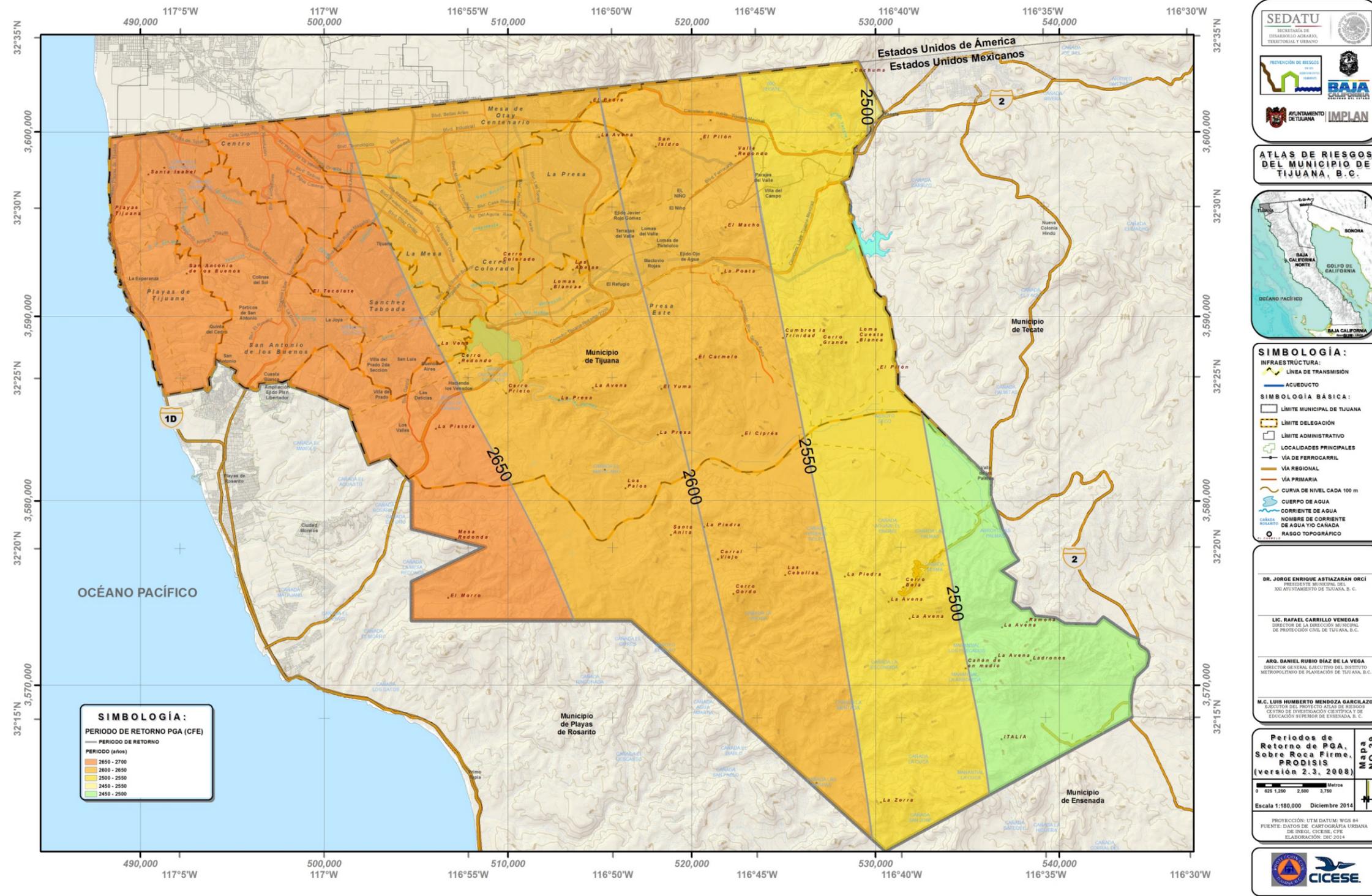


Figura 48. Periodos de retorno (en años) de PGA, sobre roca firme, calculadas con el programa PRODISIS (versión 2.3, 2008).

### 5.2.5 Caracterización del efecto de sitio por medio de las principales unidades geológicas superficiales que forman los suelos de la ciudad de Tijuana.

En el mapa se muestran las principales unidades geológicas superficiales que forman los suelos de la ciudad de Tijuana. Cada unidad tiene asignada una velocidad promedio de propagación de las ondas de corte en los primeros 30 m del subsuelo ( $\beta_{30}$ ).

#### Metodología de mapa de velocidades de onda de corte $\beta_{30}$

Caracterización del efecto de sitio por medio de la velocidad de propagación de ondas de corte, promediadas en los primeros 30 metros del subsuelo ( $\beta_{30}$ ). Existe una significativa relación entre el efecto de sitio y las condiciones geológicas superficiales (Aki, 1988), expresadas éstas por medio de algún parámetro cuantitativo como la  $\beta_{30}$  (Bullen y Bolt, 1987; Aki y Richards, 1980). La utilidad de este parámetro es para introducir el efecto local de sitio en las aceleraciones mostradas en los mapas de peligro sísmico, las cuales corresponden a estimaciones en roca firme. En este trabajo se han empleado los resultados publicados (Acosta et al., 2009) de mediciones puntuales de la  $\beta_{30}$  realizadas en cada tipo de suelo, por medio de dos métodos geofísicos: perfiles sísmicos de refracción con fuente artificial y el método de la sísmica de dispersión de ondas superficiales, con registros de microtemores.

La descripción detallada de las mediciones de  $\beta_{30}$  se encuentra en:

Acosta Chang, J. G., G. A. Arellano Zepeda, E. Ruiz Cruz, L. H. Mendoza Garcilazo, R. Reyes Serrano, I. Méndez Figueroa, E. Rocha Guerrero, S. Vázquez Hernández y A. M. Frías León. (2009). Microzonificación sísmica de Tijuana. Informe técnico de CICESE para Gobierno del Estado y FOPREDEN. pp. 115 (PA: 99093).

Aki, K. 1988. "Local site effects on strong ground motion". Earthquake engineering and soil dynamics II. Recent advances in ground-motion evaluation. Von Thun Ed. ASCE Geotech. Special Publication. 20: 103-155 p.

Aki, K. and P.G. Richards. 1980. "Quantitative Seismology, Theory and Methods". Volume I. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 557 pp.

Bullen, K. E., Bolt, B. A. "An Introduction to the theory of seismology", Cambridge University Press 1985.

#### Resultado del análisis

Se puede considerar que los asentamientos humanos en Tijuana se encuentran sobre formaciones geológicas superficiales de muy variada respuesta sísmica (figura 49). Hacia el sur y oriente de la zona urbana, se encuentran formaciones caracterizadas por  $\beta_{30}$  propias de roca firme (Igia, Igea y basalto), mientras que el resto de los asentamientos se encuentran en material sedimentario, desde compacto (arenisca-conglomerado,  $\beta_{30} = 400$  m/s<sup>2</sup>), hasta no consolidados (aluvión,  $\beta_{30} = 200$  m/s<sup>2</sup>).

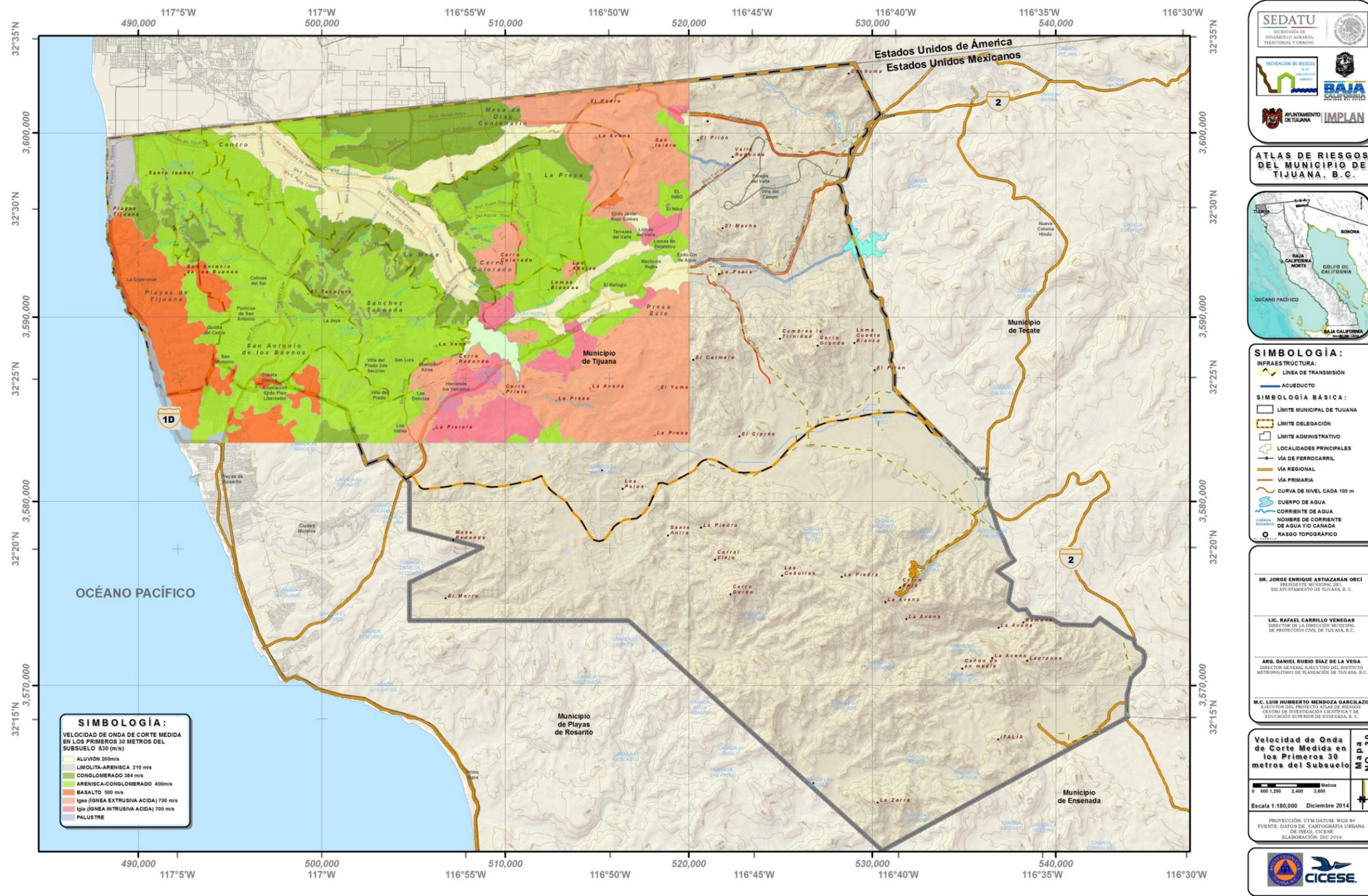


Figura 49. Mapa de la caracterización del efecto de sitio por medio de las principales unidades geológicas superficiales que forman los suelos de Tijuana.

### 5.2.6 Caracterización del efecto de sitio por medio de la velocidad de propagación de ondas de corte, promediadas en los primeros 30 metros del subsuelo ( $\beta_{30}$ ).

En el mapa de la figura 50 se muestra la distribución de los tipos de suelos de la zona urbana Tijuana, según la clasificación de suelos de la International Building Code (IBC 2006). Cada unidad tiene asignada una velocidad promedio de onda de corte ( $\beta_{30}$ ).

#### Metodología de caracterización del efecto de sitio

Caracterización del efecto de sitio por medio de la velocidad de propagación de ondas de corte, promediadas en los primeros 30 metros del subsuelo ( $\beta_{30}$ ). Existe una significativa relación entre el efecto de sitio y las condiciones geológicas superficiales (Aki, 1988), expresadas éstas por medio de algún parámetro cuantitativo como la  $\beta_{30}$  (Bullen y Bolt, 1987; Aki y Richards, 1980). La utilidad de este parámetro es para introducir el efecto local de sitio en las aceleraciones mostradas en los mapas de peligro sísmico, las cuales corresponden a estimaciones en roca firme. En este trabajo se han empleado los resultados publicados (Acosta *et al.*, 2009) de mediciones puntuales de la  $\beta_{30}$  realizadas en cada tipo de suelo, por medio de dos métodos geofísicos: perfiles sísmicos de refracción con fuente artificial y el método de la sísmica de dispersión de ondas superficiales, con registros de microtemores. La descripción detallada de las mediciones de  $\beta_{30}$  se encuentra en:

Acosta Chang, J. G., G. A. Arellano Zepeda, E. Ruiz Cruz, L. H. Mendoza Garcilazo, R. Reyes Serrano, I. Méndez Figueroa, E. Rocha Guerrero, S. Vázquez Hernández y A. M. Frías León. (2009). Microzonificación sísmica de Tijuana. Informe técnico de CICESE para el Gobierno del Estado y FOPREDEN. pp. 115 (PA: 99093).

#### Resultado del análisis

De acuerdo a la distribución de los valores de la  $\beta_{30}$ , en la zona urbana de Tijuana se presentan dos tipos de suelos de la clasificación de la IBC (2006): C y D, caracterizados por los rangos de

velocidades indicadas en la tabla 18, en la cual también se indican las características mecánicas de esos tipos de suelos.

La utilidad de este parámetro es para introducir el efecto local de sitio en las aceleraciones mostradas en los mapas de peligro sísmico, las cuales corresponden a estimaciones en roca firme.

Tabla 18. Clasificación de suelos según la tabla 1613.5.2 (SITE CLASS DEFINITIONS) del IBC (2006).

Tipo	$\beta_{30}$ (m/s)	Material
A	> 1,500	Roca competente
B	760 – 1,500	Roca de cualquier espesor
C	360 – 760	Suelo muy denso o roca blanda
D	180 – 360	Suelo rígido de cualquier espesor
E	< 180	Suelo blando o arcillas de más de 3m
F	Suelos vulnerables a una excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	

IBC (2006). *International Building Code. Capítulo 16, sección 1613.* International Code Council, EE.UU.

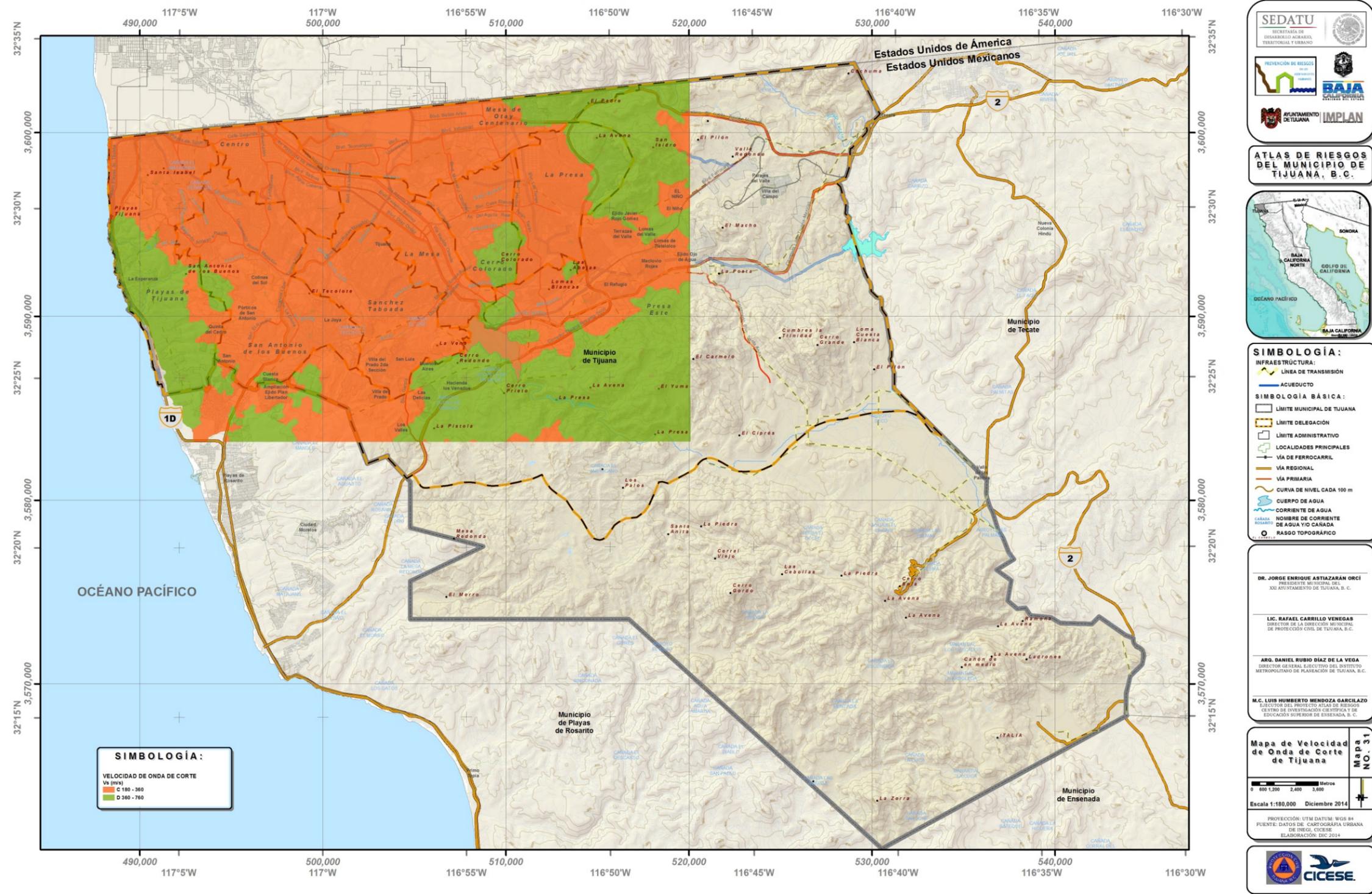


Figura 50. Caracterización del efecto de sitio por medio de la velocidad de propagación de ondas de corte, promediadas en los primeros 30 metros del subsuelo ( $\beta_{30}$ ).

### 5.2.7 Mapa de periodos dominantes del movimiento del suelo, en la zona urbana de Tijuana, Baja California

#### **Metodología de periodos dominantes del movimiento del suelo, en la región de Tijuana**

Los contornos de isoperiodos fueron creados mediante el ajuste de interpolación de 120 valores medidos in situ por Acosta et al., 2009. El cálculo del periodo dominante se lleva a cabo por medio de la llamada Técnica de Nakamura (Nakamura, 1989), la cual se basa en el aislamiento del efecto de sitio, en particular del periodo dominante, mediante el empleo de cocientes espectrales. Esta técnica asume que los efectos de sitio son debidos a una sola capa de suelo sobre un semiespacio elástico. Los datos básicos para evaluar el periodo dominante son registros digitales de microtemores (vibración sísmica ambiental), obtenidos en 120 sitios distribuidos dentro de la zona urbana de Tijuana (Acosta et al., 2009).

#### **Resultado del análisis**

La figura 51 muestra que en las zonas con afloramiento de roca firme (sur y oriente de la ciudad), se presentan los periodos dominantes más bajos (<0.5 s), mientras que en las zonas con sedimentos más profundos (centro y suroeste) los periodos dominantes alcanzan valores de hasta 3.0 s. El centro histórico de la ciudad se encuentra en las zonas con periodos entre 1.5 y 2.5 s.

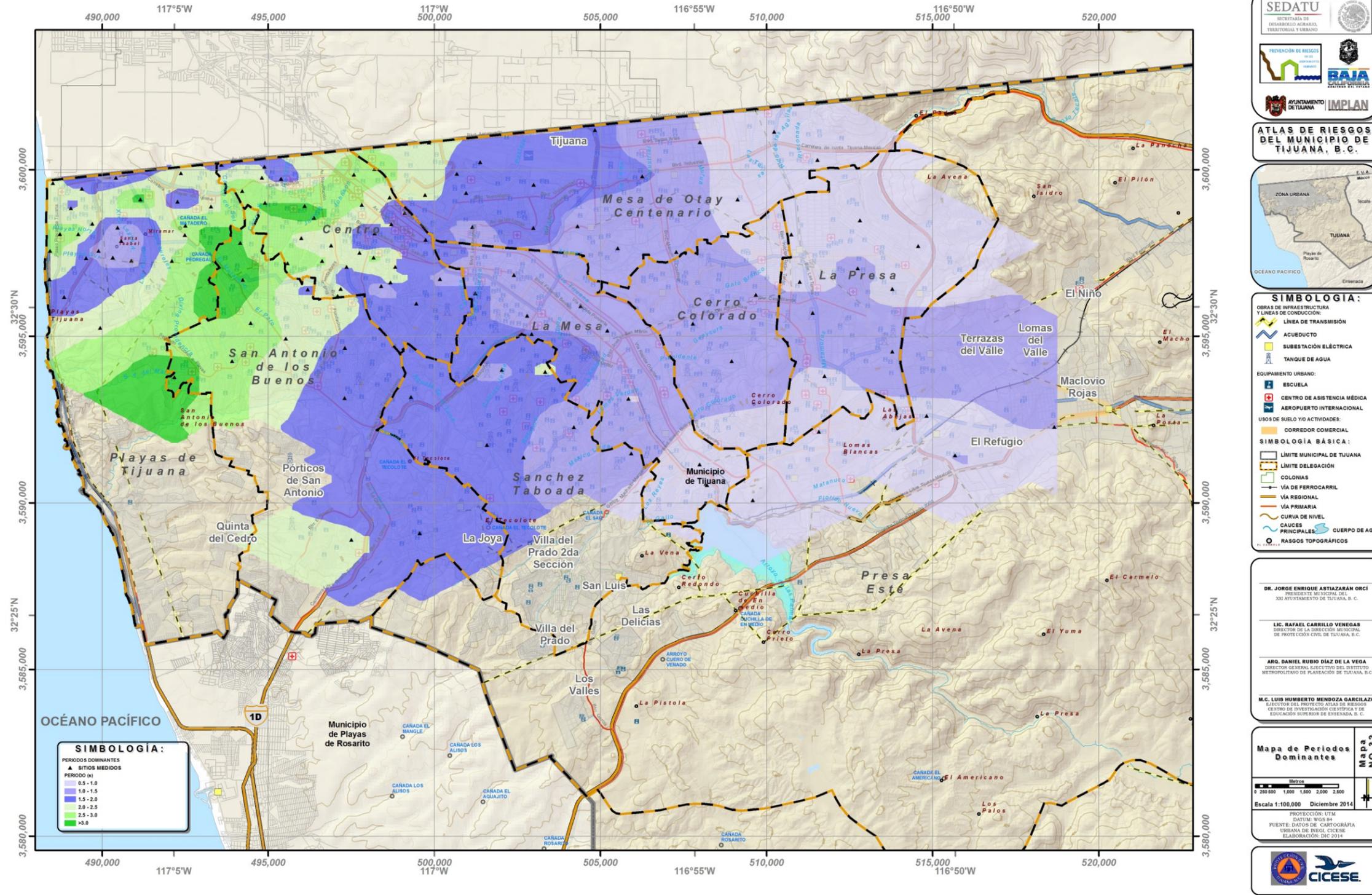


Figura 51. Mapa de periodos dominantes del movimiento del suelo, en la región de Tijuana, Baja California.

### 5.2.8 Vulnerabilidad

Los peligros naturales invariablemente son la respuesta a procesos terrestres o atmosféricos, cuando se manifiestan con altas concentraciones de energía en suelos, rocas, agua y atmósfera. Desastre es una palabra que significa 'yuxtaposición' que ocurre cuando en un tiempo y espacio un fenómeno de alta energía se conjuga con un elemento débil. En la zona urbana de Tijuana los riesgos son resultado de un complejo conjunto de interacciones entre el sistema natural y el sistema social.

Es importante precisar que la vulnerabilidad es el grado que indica la propensión del sistema afectable a los daños que pueda causar el impacto de un fenómeno natural destructivo, es decir, determina la facilidad con que el sistema afectable cambia de un estado normal a uno de desastre (Protección Civil).

El factor más importante que regula la vulnerabilidad de una zona es el marco natural imperante, el cual incluye la situación geográfica, el clima, la tectónica y geología dominante. Bajo este esquema, Tijuana se ubica en una latitud donde impera el clima templado, con baja producción de materia orgánica y moderada precipitación pluvial, concentrada en invierno (Judson y Kauffman, 1990). Esto implicaría que el intemperismo químico sería escaso, dominando el intemperismo físico. No obstante, las evidencias encontradas en algunos puntos de la ciudad, indican condiciones diferentes, lo cual implica que el factor tiempo y el factor composición de suelos, aunados a los eventos geológicos de gran magnitud, también juegan un papel importante; pero esto solo ha sido evidente a partir de algunos estudios detallados sobre la naturaleza de eventos.

De forma general, sin mencionar ningún peligro o riesgo específico, con datos del Censo de INEGI 2010 se analizaron los indicadores de vulnerabilidad de viviendas y rezago social (figura 52). No se tuvo acceso a los microdatos que contienen información de paredes y techos para evaluar la vulnerabilidad de viviendas por peligros y así poder evaluar el riesgo. El único acceso a los datos fue el censo por manzana, donde se asociaron las características de la vivienda como indicadores de vulnerabilidad, estos indicadores son: viviendas con un solo cuarto, viviendas con piso de tierra, viviendas que no disponen agua entubada potable, viviendas que no disponen drenaje y viviendas que no disponen energía eléctrica, estos indicadores se tomaron del análisis de marginación, hacinamiento y pobreza (Figuras 22 a 27 del Capítulo IV). Sin embargo, este trabajo se estará actualizando constantemente.

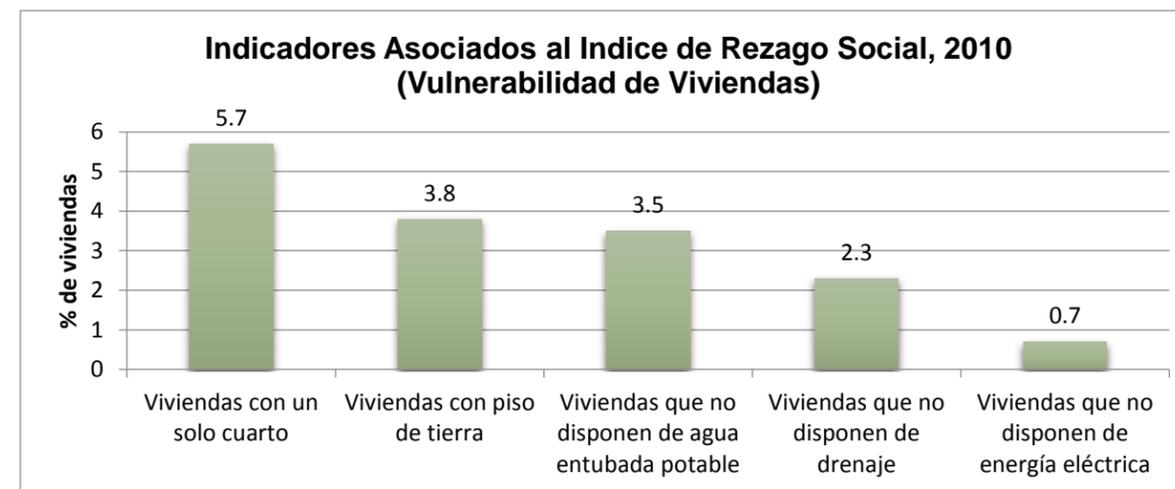


Figura 52. Indicadores de rezago social que sirvieron para estimar la vulnerabilidad en viviendas.

La vulnerabilidad social también se determinó con datos del censo, incluyendo en el análisis a los niños menores de 5 años, población con discapacidad para moverse y adultos mayores a 60 años (figura 53). Suele considerarse que los niños y los ancianos son sujetos en situación de vulnerabilidad debido a carencias o diferencias físicas en las que se encuentran. Las personas ancianas son vulnerables a diferentes riesgos, como enfermedades y fenómenos naturales.

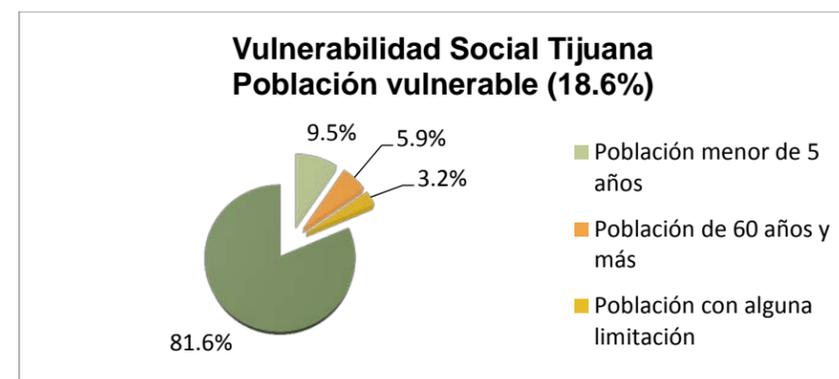


Figura 53. Indicadores que sirvieron para estimar la vulnerabilidad social.

Los indicadores de vulnerabilidad de vivienda y vulnerabilidad social muestran una aproximación de la vulnerabilidad de la población y de viviendas de Tijuana, sin embargo, estos datos son muy amplios y se necesita un análisis más específico y recorrido en campo para poder evaluar la vulnerabilidad a cada peligro que la población esté expuesta. Los criterios presentados en este trabajo se basaron en el estudio técnicas de información geográfica (Vázquez, et al, 2014).

Existe vulnerabilidad real (física) en Tijuana, asociada a todos los fenómenos potencialmente generadores de eventos destructivos, esta condición es variable tanto en magnitud, como en cobertura, porque siempre se espera que cada fenómeno actúe por sí solo, pero inevitablemente tendrá asociación o respuesta con la topografía y el tipo y calidad de suelos. Así por ejemplo, un sismo, dependiendo de su magnitud, puede generar daños inmediatos a obras civiles, pero también puede provocar movimientos de masas, licuefacción, contaminación por derrames o fugas, eventualmente oleajes anormales, escurrimientos impetuosos e inundaciones por fugas de obras de almacenamiento, e incluso incendios, conocidos como peligros colaterales.

### 5.3 Tsunamis

Aunque las costas de la península de Baja California tienen muy baja probabilidad de generar este fenómeno, no se considera sean productoras directas de tsunamis de origen local. La costa del Pacífico es la más vulnerable al arribo de este tipo de fenómenos de origen lejano que proceden de la fuente sísmica más activa del mundo, el Cinturón Sísmico Circumpacífico. Mientras que en el Golfo de California, la posibilidad de ocurrencia de tsunamis es mínima porque el desplazamiento de las fallas en su lecho marino es horizontal.

La zona generadora de tsunamis con mayor potencial de afectación para Tijuana es la fosa Las Marianas en la parte occidental de la placa Pacífico, resultado de un modelado numérico para un sismo magnitud 9.0 (Atlas Riesgos del Estado de Baja California, 2014). Las alturas máximas estimadas son del orden de 4-5 m.

El CENAPRED (SEDATU, 2012) indica que las poblaciones costeras que se encuentren en una cota por debajo de 10 metros de altura sobre el nivel medio del mar presentan vulnerabilidad, ya que la altura máxima histórica de olas generadas por tsunamis es de 10-11 metros en nuestro país. Las figuras 54 y 55 muestran las zonas debajo de la cota 5-10 m, así como en un polígono naranja las zonas susceptibles a recibir daños bajo estas cotas.

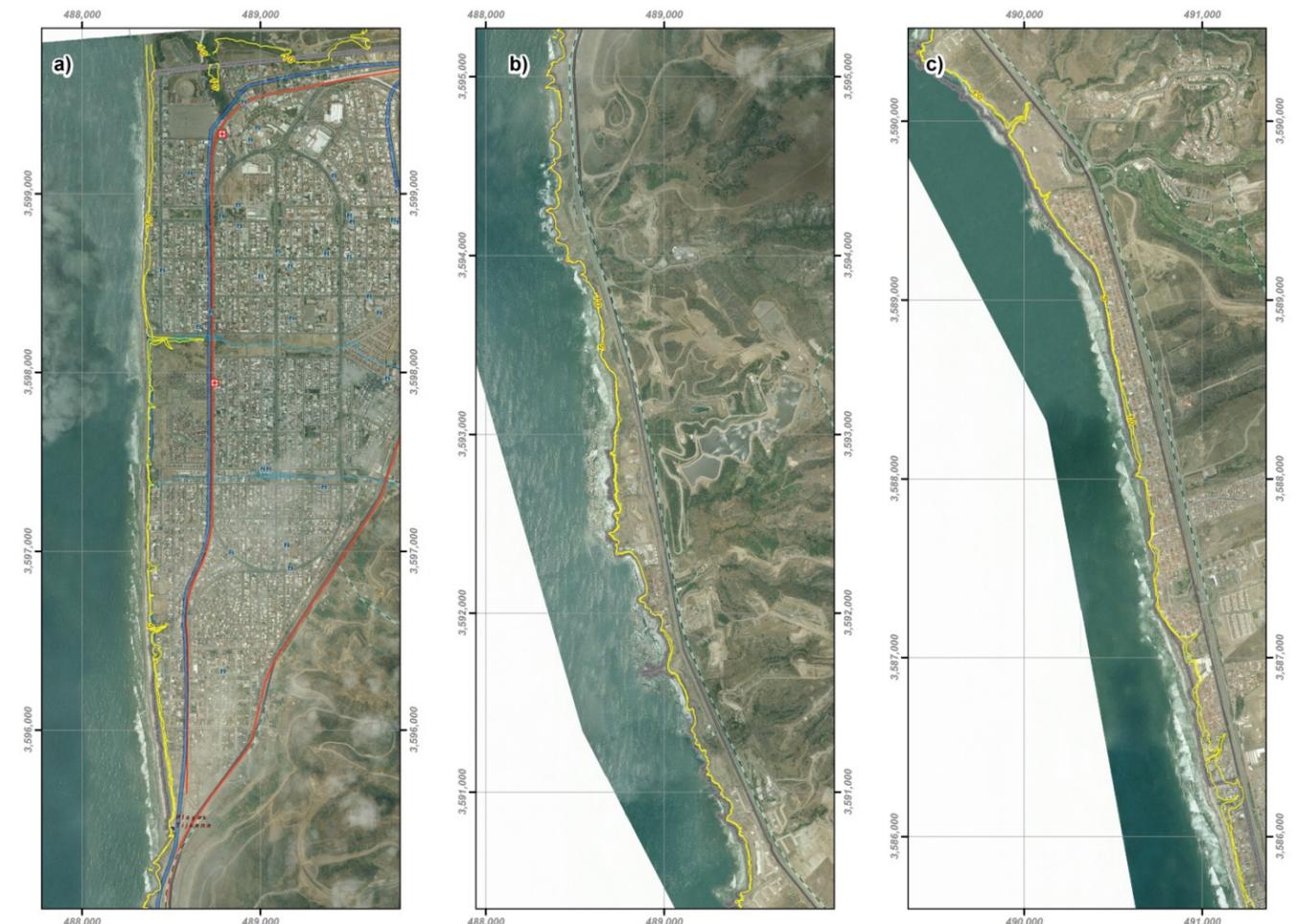


Figura 54. Cota de 5-10 metros sobre el nivel medio del mar.



Figura 55. Cota de 5-10 metros sobre el nivel medio del mar, el polígono naranja muestra asentamientos humanos bajo la cota de 10 m (CENAPRED).

## 5.4 Inestabilidad de laderas

El desplazamiento imprevisto de volúmenes de material, siguiendo el talud natural, se conoce como movimiento de masas (Abbott, 1999). Este fenómeno responde a factores inevitables como pendientes naturales, atracción gravitacional, debilitamiento de materiales, presencia de agua y estructura geológica. El proceso puede suscitarse, e incluso acelerarse por actividades propias del desarrollo urbano o por eventual manifestación de sismo. Las diferentes variedades de movimiento de masas identificadas en Tijuana, son: Caídas de bloques, como el caso del Túnel 2 de la vía del ferrocarril Tijuana-Tecate, en diciembre de 2000. Deslizamientos de ladera, como el ocurrido el 7 de marzo de 2001 en la Colonia Maestros. Flujos de detritos (materiales sueltos), como ocurrió en varias colonias populares asentadas en laderas y zonas con urbanización incompleta durante las lluvias extraordinarias de 1993 (Bocco y colaboradores, 1993).

La manifestación de movimientos de masas en Tijuana, tradicionalmente ha sido explicada en función de la precipitación pluvial invernal característica de la región, sin embargo durante 2001 acontecieron eventos “fuera de temporada”, como el caso Fraccionamiento Lomas del Río-Colonia Alfonso Ballesteros, donde un volumen importante de material cedió y ha afectado a residentes de Alfonso Ballesteros y a compradores y desarrolladores de Lomas del Río. Otro caso representativo es el movimiento de material en el talud del Libramiento Sur, ubicado en Col. Valle del Sur, ocurrido el 29 de agosto de 2001.

La atención a los movimientos de masas se ha dado a partir de 1992 (Estudio CICESE Deslizamiento Pastejé), sin embargo los casos que se han revisado a detalle son minoría, y de esos solo unos cuantos han sido objeto de acciones concretas para corregir o minimizar los efectos, tal es el caso del talud cercano a la tienda Ley en la colonia Anexa Roma. Existen sin embargo, evidencias en parte importante de la ciudad, sobre eventos ocurridos previo al rápido crecimiento de la mancha urbana; en algunos de estos sitios se han fundado colonias populares, por ejemplo la parte norte de la Colonia Libertad, desarrollada sobre terrenos que forman parte de una masa colapsada en el pasado (Hart, 1977), implicando con ello importante riesgo latente que no ha sido evaluado.

### Objetivo General

Identificar los factores de ocurrencia involucrados en el proceso de debilitamiento y eventual inestabilidad de terrenos naturales.

El mapa de deslizamiento se muestra como peligro ponderado desde el más bajo hasta alto, se superpone a esta capa de peligro los deslizamientos históricos que han causado daño en Tijuana,

el nivel de análisis es 1 para ambos casos (figura 56). La cobertura es limitada pues solo se ha aplicado en la actual zona urbana.

### Metodología para identificar peligro de deslizamiento (aplicada a casos aislados zona urbana)

#### a). Aplicación de Ingeniería Geológica

a.1 Compilación de información previa respecto a manifestaciones anteriores en la zona o región.

a.2 Análisis de fotografías aéreas (fotogeología).

a.3 Reconocimiento de campo.

Caracterización de la estratigrafía local.

Obtención de muestras representativas.

Identificación y descripción de estructuras geológicas.

Descripción del comportamiento y alcance de la masa desprendida y su evolución.

Identificación de zonas húmedas o saturadas del terreno o el entorno.

Identificación de factores antropogénicos.

a.4 Análisis de Laboratorio.

Análisis granulométrico.

Análisis petrográfico.

Análisis por Rayos X.

a.5 Análisis de Gabinete

Toda la información colectada a partir de fotogeología, reconocimiento de campo y resultados de laboratorio; se integra y correlaciona. Se asocia condiciones con evidencias, se realizan estadísticas de datos y finalmente se da forma a los resultados vía informe técnico, planteando la discusión de los resultados, conclusiones y recomendaciones.

*NOTA: Existen variantes que van en función de requerimientos específicos o generales de acuerdo al interés en un determinado evento (conocimiento general, la aplicación de reglamentos, viabilidad de obras o declaratorias). En condiciones óptimas se aplican métodos geofísicos de exploración.*

b). Geofísica de exploración

b.1 Métodos eléctricos.

b.1.2 Método Schlumberger.

b.1.3 Método Dipolo-Dipolo.

b.2 Métodos sísmicos.

C. Acervo fotográfico

geología superficial (destacando las áreas con suelos 'suaves' identificados por la velocidad de onda S superficial), tipo de suelo (particularmente arcillosos) y el uso habitacional.

Los resultados se muestran en la figura 57. A cada variable se le asignó un valor ponderado y la suma total define los valores de riesgo asociado. Esta información debe ser considerada como general y solo como aspecto preventivo, ya que define las áreas donde debe aplicarse la metodología descrita anteriormente y que se ha aplicado solo en casos específicos y aislados en la actual zona urbana. De destacar que, se ha aplicado una vez ocurrido el fenómeno, para identificar las causas y evaluar la conveniencia o no de invertir en obras de mitigación.

**Metodología para deslizamientos históricos (aplicada en casos aislados)**

Trabajos de campo

- Obtención y/o verificación de coordenadas (georeferenciadas) de puntos que conforman los polígonos donde se enmarcan los sitios objeto de estudio;
- Realización del inventario de daños geotécnicos y estructurales los sitios;
- Toma de datos e información a pie de campo mediante formularios, entrevistas y encuestas;
- Reporte fotográfico;

Trabajos de gabinete

- Recopilación y análisis de información y documentos relacionados con el proyecto;
- Elaboración de planes y cronogramas de trabajo;
- Procesamiento de los datos e información obtenidos en trabajos de campo;
- Evaluación y clasificación del nivel socioeconómico de los sitios objeto de estudio según AMAI;
- Elaboración de fichas técnicas de los sitios objeto de estudio;
- Elaboración de memoria descriptiva de cada sitio;
- Ubicación en los mapas los polígonos donde se enmarcan los sitios objetos de estudio;
- Elaboración de informes y mapas, y envío de información a los coordinadores del proyecto.

Esta información se presenta gráficamente y su contenido en un archivo 'shape' en el cual su tabla de atributos contiene la afectación de colonias afectadas (tabla 19).

Para dar cobertura a todo el Municipio Tijuana se aplicó a través de SIG, la correlación entre topografía (diferentes rangos de pendientes: < 30 grados, entre 30 y 45 grados y > 45 grados),

Tabla 19. Tabla de atributos de la capa (shapefile) de deslizamientos históricos de Tijuana.

Nº Polígono	Colonia	Delegación	Tipo de movimiento	Estado del movimiento	Daños
1	Costa azul	Playas de Tijuana	Deslizamiento rotacional	Inactivo	4 viviendas afectadas
2	Los altos	Playas de Tijuana	Deslizamiento rotacional	Activo	5 viviendas en riesgo
3	Primer ayuntamiento	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Activo	36 viviendas con pérdidas totales
4	Niños héroes	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Inactivo	10 viviendas con pérdidas totales
5	Cumbres del rubí	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Activo	79 viviendas con pérdidas totales
6	Autoservicio la gloria	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Activo	1 gasolinera y muros perimetrales afectados
7	Laderas de Monterrey	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Activo	21 viviendas con pérdidas totales y 4 vialidades secundarias afectadas
8	A Ballesteros	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Activo	6 viviendas con daños parciales
9	Lomas del río	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Activo	13 edificios unifamiliares de 5 niveles con pérdidas totales
10	Tejamen	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Inactivo	1 vivienda y un muro perimetral afectados
11	Patrimonio familiar	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Inactivo	4 viviendas afectadas
12	Cuauhtémoc sur	San Antonio de los Buenos	Deslizamiento rotacional	Activo	1 vialidad principal afectada
13	Los maestros	Sánchez Taboada	Deslizamiento rotacional	Inactivo	13 viviendas afectadas, con pérdidas totales en estructura

14	Aguaje de la tuna	Sánchez Taboada	Deslizamiento rotacional	Activo	1 vialidad principal afectada y 2 naves industriales
15	Defensores de B.C.	Mesa de Otay	Deslizamiento rotacional	Activo	60 viviendas afectadas y una vialidad
16	70-76	Mesa de Otay	Deslizamiento rotacional	Inactivo	20 viviendas en riesgo, en caso de un nuevo movimiento
17	Camino verde polígono 2	Sánchez Taboada	Deslizamiento rotacional	Inactivo	1 vivienda en riesgo
18	Camino verde polígono 1	Sánchez Taboada	Deslizamiento rotacional	Inactivo	71 viviendas con pérdidas totales
19	Lomas conjunto residencial (sector norte)	La Mesa	Aún no ha ocurrido el deslizamiento	Activo	Se observan agrietamientos en viviendas aledañas a la ladera
20	Sánchez Taboada	Sánchez Taboada	Deslizamiento rotacional	Activo	20 viviendas en riesgo y 1 vialidad afectada
21	Jardín dorado	Mesa de Otay	Deslizamiento rotacional	Activo	1 vialidad secundaria afectada y el Blvd. Terán Terán en el momento del movimiento
22	Terrazas de la presa	La Presa	Deslizamiento rotacional	Activo	3 viviendas con pérdidas totales y 14 en riesgo.
23	Anexa Miramar	Playas de Tijuana	Deslizamiento complejo	Activo	19 viviendas con pérdidas totales.

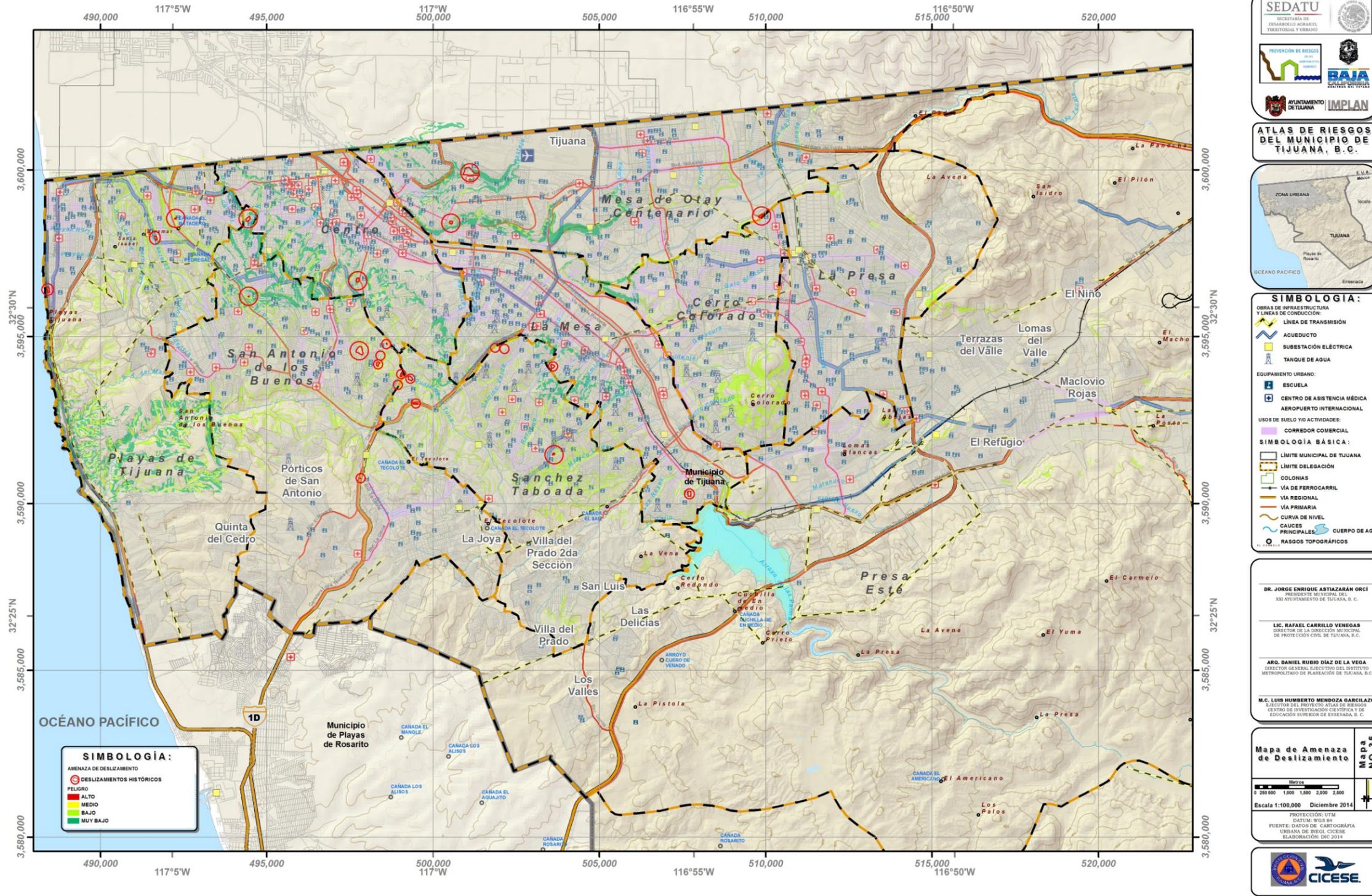


Figura 56. Mapa de amenaza de deslizamiento.

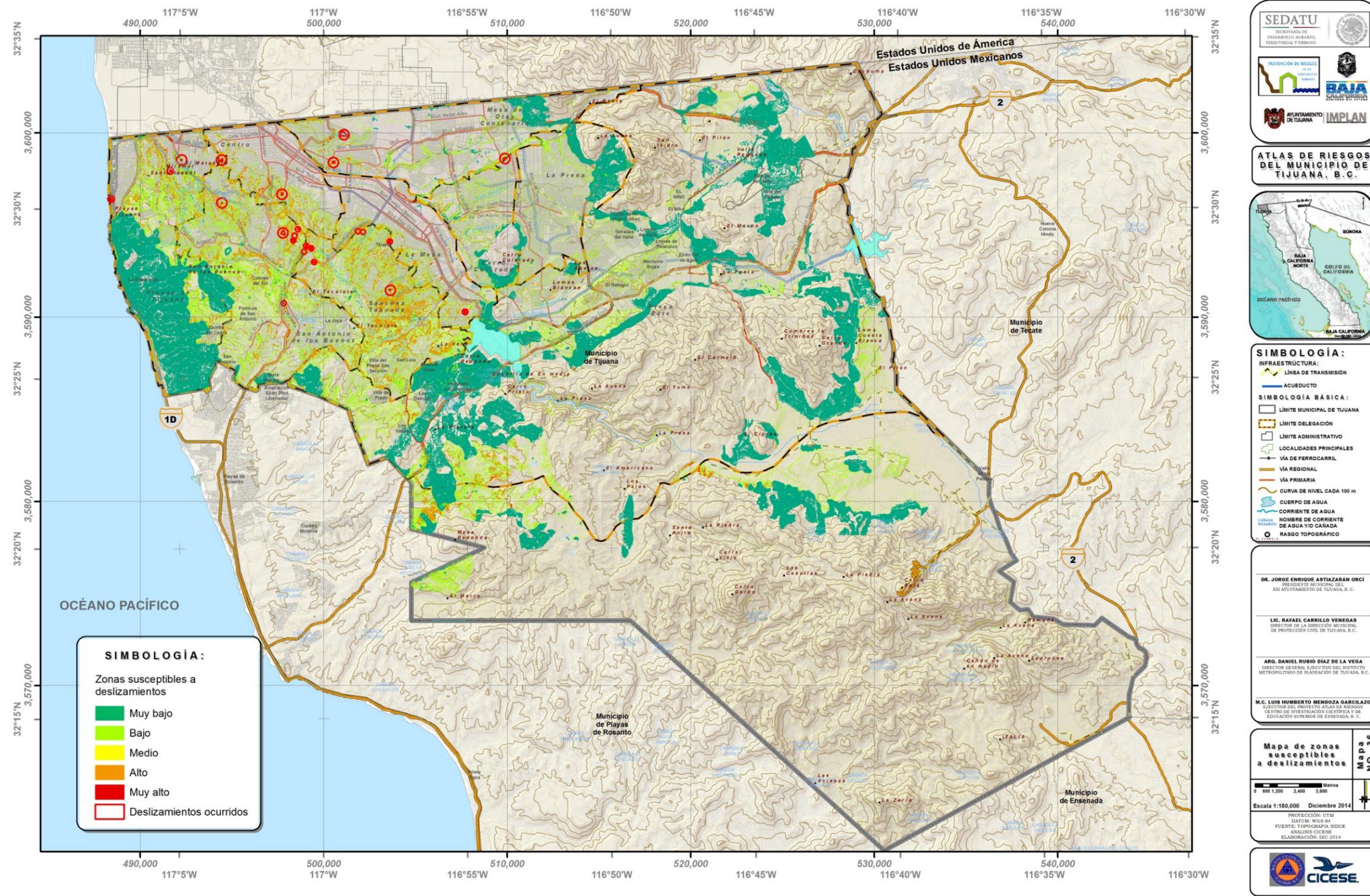


Figura 57. Zonas susceptibles a deslizamiento analizando las variables de topografía, geología superficial, suelos y población.

## 5.5 Flujos

Son movimientos de masa de terreno que se comportan como fluidos. Los tamaños de material que fluyen son desde rocas hasta arenas, arcillas, hielo y nieve o mezcla de varios de ellos. Sus velocidades van de muy lentas a muy rápidas. En el municipio de Tijuana no se tiene documentado pero se sabe de su ocurrencia en las áreas de cañones (topografía abrupta).

## 5.6 Caídos o derrumbes

Estos ocurren cuando masas de roca elevadas se separan a lo largo de fracturas, o planos de debilidad. Los detonadores para ello pueden ser lluvias intensas, nevadas, sismos u otros factores, incluso la construcción de carreteras.

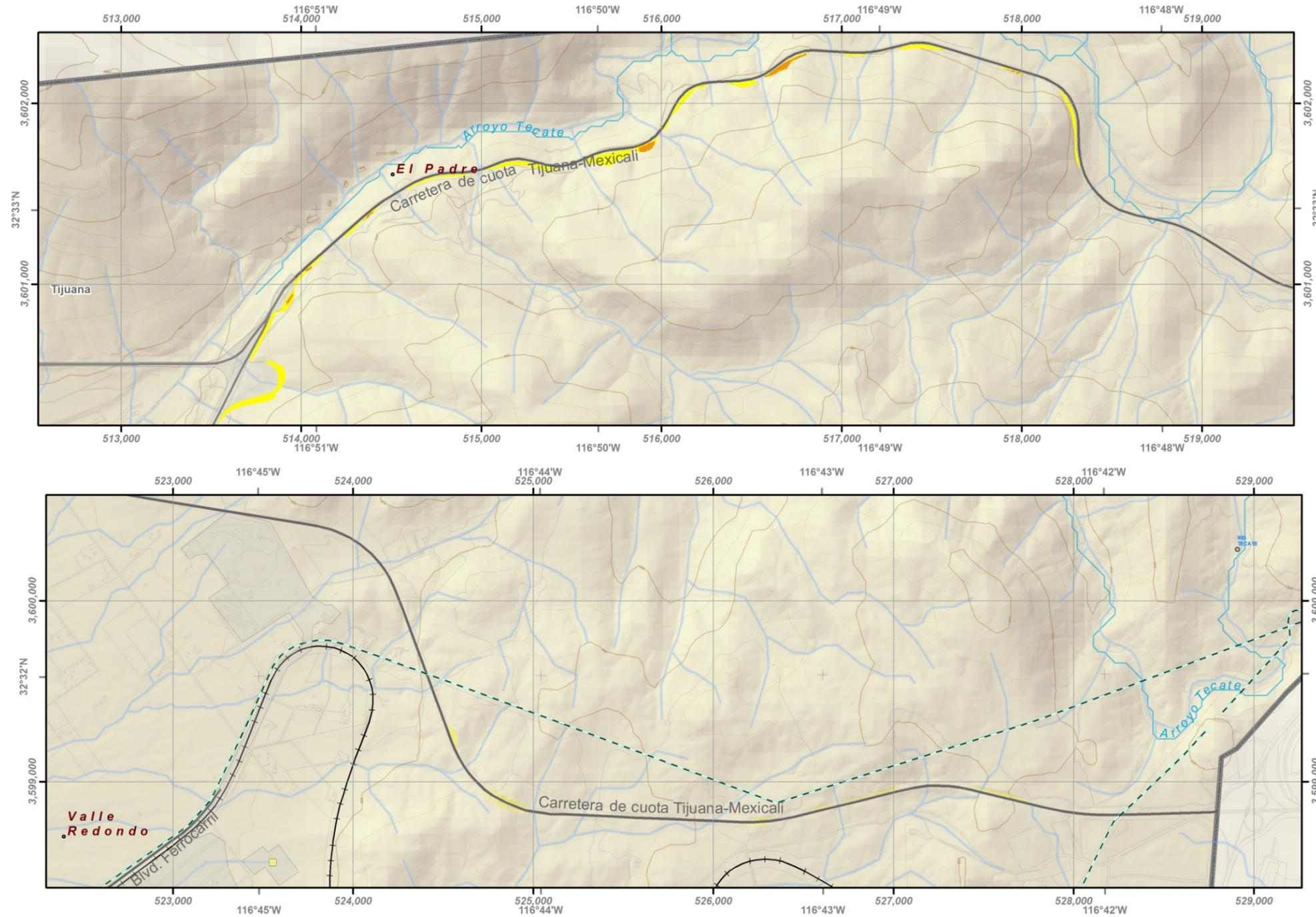
En Tijuana los cortes realizados para construir la autopista Tijuana-Tecate presentan pendientes mayores a 70°. El mapa de la Figura 58 presenta un mapa de amenaza de derrumbe, se realizó analizando imágenes de Google Earth Pro y mapas de pendientes. En las zonas con mayor pendiente ya se tienen obras que evitan que el material caído invada los carriles de circulación (mallas y muros contención).

## 5.7 Hundimientos

Asociado a la extracción de fluidos (agua) por actividad humana. Ocurre en áreas de arenas depositadas por acarreo erosivo en partes altas. También puede ocurrir en suelos arcillosos, particularmente con contenido de montmorillonita. Los suelos tipo vertisol y xerosol son áreas con potencial a este fenómeno (consultar mapa de la figura 59) En Tijuana se debe dar en áreas de poca extensión y no se tiene documentación alguna al presente.

## 5.8 Subsistencia

En este fenómeno el movimiento es vertical. No se asocia con tectonismo, ni movimiento de fallas o volcanismo, sino a la pérdida de material bajo la superficie por sedimentos saturados de agua o colapsos en cavernas preexistentes. Los sitios susceptibles son los valles aluviales que alojan acuíferos y que su explotación, gradualmente puede producir el hundimiento de la superficie. Para Tijuana, su valle aluvial del lecho Rio Tijuana ha sido encementado (Canalización Rio Tijuana) por lo que la explotación de pozos, podría tener efecto sobre esta obra civil de concreto. No se tiene documentado daños aún y la Comisión Nacional del Agua CNA, tendrá que considerar este efecto.



ATLAS DE RIESGOS  
DEL MUNICIPIO DE  
TIJUANA, B.C.



**SIMBOLOGÍA:**

**INTENSIDAD**

- ALTO
- MEDIO

**OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y LINEAS DE CONDUCCIÓN:**

- LINEA DE TRANSMISIÓN
- ACUEDUCTO
- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
- TANQUE DE AGUA

**EQUIPAMIENTO URBANO:**

- ESCUELA
- CENTRO DE ASISTENCIA MÉDICA

**SIMBOLOGÍA BÁSICA:**

- LÍMITE MUNICIPAL DE TIJUANA
- VÍA DE FERROCARRIL
- VÍA REGIONAL
- VÍA PRIMARIA
- CURVA DE NIVEL
- CAUCES PRINCIPALES
- RASGOS TOPOGRÁFICOS

DR. JORGE ENRIQUE ASTIAZARÁN ORCI  
PRESIDENTE MUNICIPAL DEL  
XXI AYUNTAMIENTO DE TIJUANA, B. C.

LIC. RAFAEL CARRILLO VENEGAS  
DIRECTOR DE LA DIRECCIÓN MUNICIPAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL DE TIJUANA, B. C.

ARG. DANIEL RUBIO DÍAZ DE LA VEGA  
DIRECTOR GENERAL EJECUTIVO DEL INSTITUTO  
METEOROLÓGICO DE PLANEACIÓN DE TIJUANA, B. C.

M.C. LUIS HUMBERTO MENDOZA GARCILAZO  
SECTOR DEL PROYECTO ATLAS DE RIESGOS  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE  
EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, B. C.

Mapa de Amenaza  
de Derrumbe

Mapa  
NO. 37

Escala 1:20,000 Diciembre 2014

PROYECCIÓN: UTM  
DATUM: WGS 84  
FUENTE DADOS DE CARTOGRAFÍA  
URBANA DE INEGI, CICESE  
ELABORACIÓN: DIC 2014



Figura 58. Mapa de Amenaza de derrumbes.

## 5.9 Agrietamientos

El agrietamiento del terreno es la manifestación superficial, y en ocasiones a profundidad, de una serie esfuerzos de tensión y distorsiones que se generan en el subsuelo debido a las fuerzas y deformaciones inducidas por el hundimiento regional, desecación de los suelos, deslizamientos de laderas, aplicación de sobrecargas, ocurrencia de sismos, presencia de fallas geológicas, licuación de suelos, generación de flujos subterráneos, excavaciones subterráneas, entre otros (Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED).

El hundimiento y el agrietamiento del terreno son fenómenos difíciles de predecir debido a que su determinación requiere del conocimiento preciso de las propiedades mecánicas de resistencia y deformación del subsuelo, de su distribución estratigráfica, del conocimiento de las variaciones o anomalías subterráneas, de la determinación de la forma y distribución del basamento, del conocimiento del nivel freático y de su variación con el tiempo y de la determinación de las propiedades hidráulicas del terreno, entre otras (Atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED).

Este fenómeno se asocia a la presencia superficial de arcillas expansivas (montmorillonita), que por efecto de saturación de agua expanden su volumen y por efecto de energía solar y consecuente deshidratación disminuyen su volumen, formando con ello grietas en superficie. Para Tijuana, los suelos vertisol y xerosol tienen este potencial. Del mapa de Edafología (Capítulo 3, INEGI) se seleccionaron áreas con los suelos vertisol y Xerosol para construir el mapa de la figura 59, además se anexó información de perfiles de suelo elaborados por INEGI.

El Vertisol se presenta en suelos de climas templados y cálidos especialmente en zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. Se caracterizan por su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas y que por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad (INEGI, 2004). En los perfiles de suelo (INEGI, SERIE I) se registró un contenido de arcilla que varía de 34 a 40 %.

El Xerosol se localiza en zonas áridas y semi áridas del centro y norte de México. Tienen por lo general una capa superficial de color claro por el bajo contenido de materia orgánica. Debajo de esta capa puede haber un subsuelo rico en arcillas o bien muy semejante a la capa superficial (INEGI, 2004). En el perfil de suelo realizado en este tipo de suelo el contenido de arcilla no supera el 10%. Con la información anterior se pondero el mapa zonas susceptibles a agrietamientos.

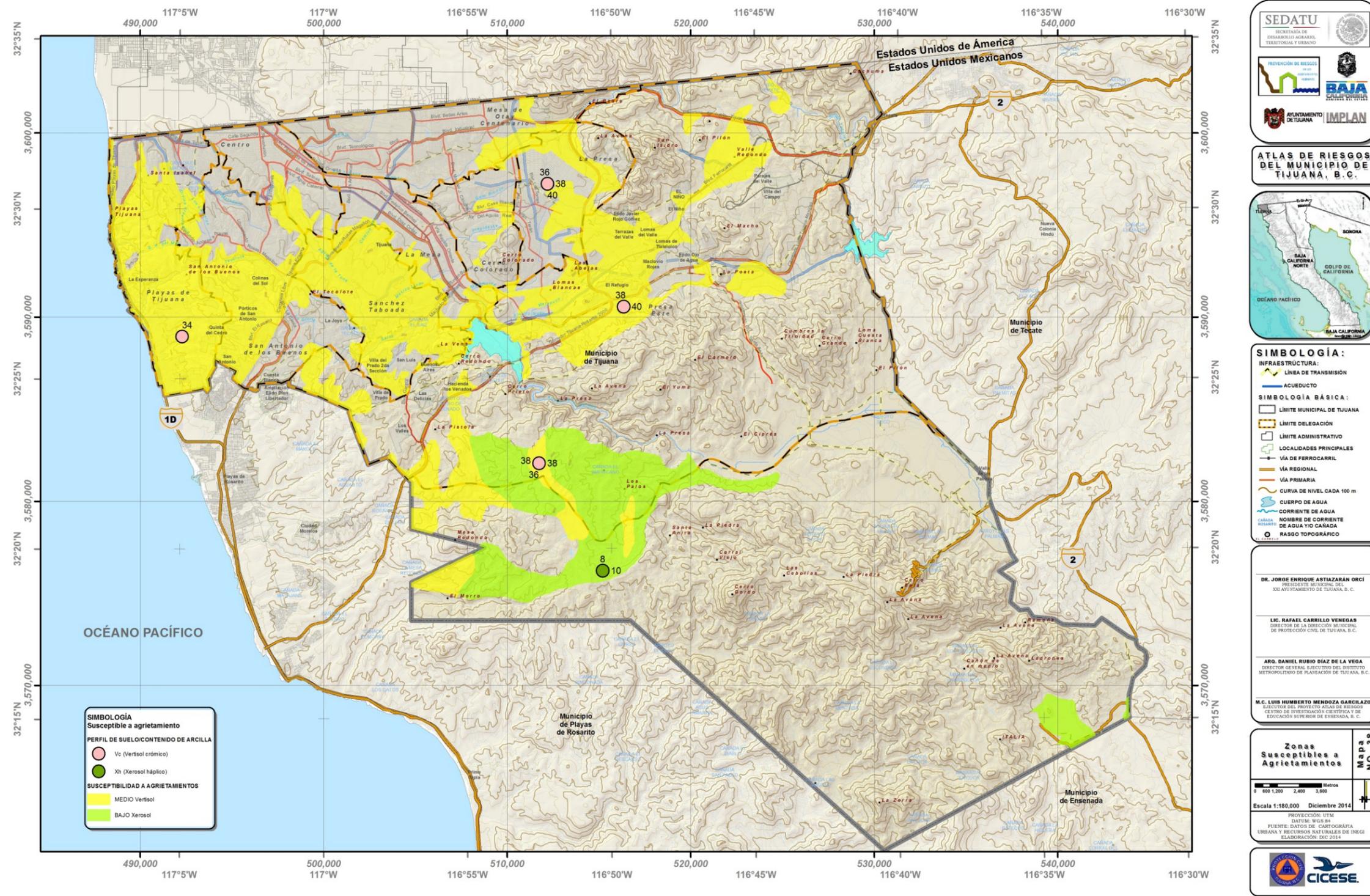


Figura 59. Zonas susceptibles a agrietamientos. Basado en el mapa edafológico de INEGI, serie I, continuo nacional.

### 5.10 Ondas cálidas y gélidas (temperaturas máximas y mínimas extremas)

Las ondas cálidas y gélidas son eventos climatológicos de temperaturas extremas. A las ondas cálidas le corresponden los valores más altos de temperaturas y a las ondas gélidas le corresponden los valores más bajos de temperaturas, los cuáles no están en condiciones de clima normal, si no, que sobrepasan a las temperaturas promedio normales. Representan una amenaza para la vulnerabilidad de la población. Las ondas frías se dan en invierno y causan muchos problemas a la salud de la población, incluso hasta la muerte. Las ondas de calor se dan generalmente en el verano, se han registrado muchos casos de muerte por onda de calor en Europa y Estados Unidos. (UN-GSEWS, 2006).

La temperatura máxima es la mayor temperatura registrada en un día y que se presenta generalmente entre las 14:00 y las 16:00 horas. Del mismo modo la mínima es la menor temperatura registrada en un día, y se puede observar por lo general entre las 06:00 y las 08:00 horas (INIFAP, 2006).

En el mundo, las altas y bajas temperaturas extremas se encuentran en las regiones típicamente cálidas y frías, respectivamente; sin embargo, se pueden presentar también en climas templados, que ocupan latitudes medias. En estas últimas, las temperaturas se consideran extremas cuando descienden sustancialmente de lo normal. Por ejemplo, mientras que en la Antártida una temperatura de -7 °C es considerada propia de un ambiente templado, en Florida ésta sería extremadamente fría (CENAPRED, 2001).

#### Metodología - Nivel de análisis 1.

Para el análisis de ondas cálidas y gélidas se obtuvieron los registros de datos climatológicos de tres décadas de temperaturas máximas y mínimas (extremas) mensuales, de cada una de las estaciones climatológicas ubicadas en el municipio de Tijuana, para determinar cómo se presentan las temperaturas extremas en el municipio. La tabla 20 muestra las estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CNA) localizadas en el municipio de Tijuana. Incluye información de las estaciones que se encuentran operando, suspendidas además del número de años de registro y el organismo que las opera.

Tabla 20. Estaciones Climatológicas en el Municipio de Tijuana (y cercanas).

Estación	Nombre	Años de registro		Organismo	Estado
		de	hasta		
2068	Tijuana	1971	2000	CONAGUA DGE	Suspendida
2038	Presa Rodríguez	1981	2010	CONAGUA DGE	Operando
2156	El Florido	1981	2010	CONAGUA-DGE	Operando
2114	Ejido Carmen Serdán	1980	2011	CONAGUA-DGE	Operando
2124	El Carrizo II	1980	2011	CONAGUA-DGE	Operando
2030	La Puerta	1981	2011	CONAGUA-DGE	Operando
2069	Valle de las Palmas	1981	2010	CONAGUA-DGE	Operando
2077	La Misión	1981	2010	CONAGUA-DGE	Operando
2024	El Testerazo	1970	2009	CONAGUA-DGE	Operando

#### Ondas cálidas

Para las ondas cálidas se analizaron los datos de temperatura máxima mensual (normal climatológica) del Servicio Meteorológico Nacional para un registro de aproximadamente 30 años (<http://smn.cna.gob.mx>), de las estaciones contenidas en la tabla 20. Una normal climatológica es un valor medio de los elementos meteorológicos (para este caso es temperatura) calculados con los datos recabados durante un periodo largo y relativamente uniformes, generalmente de 30 años. A partir de estos datos se obtuvieron los valores de temperaturas máximas estacionales y normales estacionales, con los cuales se construyó una base de datos para realizar una interpolación de isolíneas y ubicar los valores máximos y normales en un mapa del municipio. La interpolación se hizo usando la herramienta 'spline' en ArcGIS de la cual se obtuvieron isolíneas que resultaron de los registros de cada estación climatológica.

**Análisis de resultados**

En el gráfico de la figura 60 se observan las temperaturas máximas (valor puntual) para cada una de las estaciones utilizadas en este estudio, además de las normales climatológicas de los meses de junio, julio y agosto (promedio). Como se puede observar las estaciones del año que presentan valores más elevados son primavera, otoño y verano, siendo esta última la que registró los valores más altos alcanzando temperaturas de 43 °C, que rebasa el límite superior de tolerancia. Esta temperatura máxima se registró en la estación Valle de las Palmas, ubicada al sureste de la zona Urbana de Tijuana durante el verano.

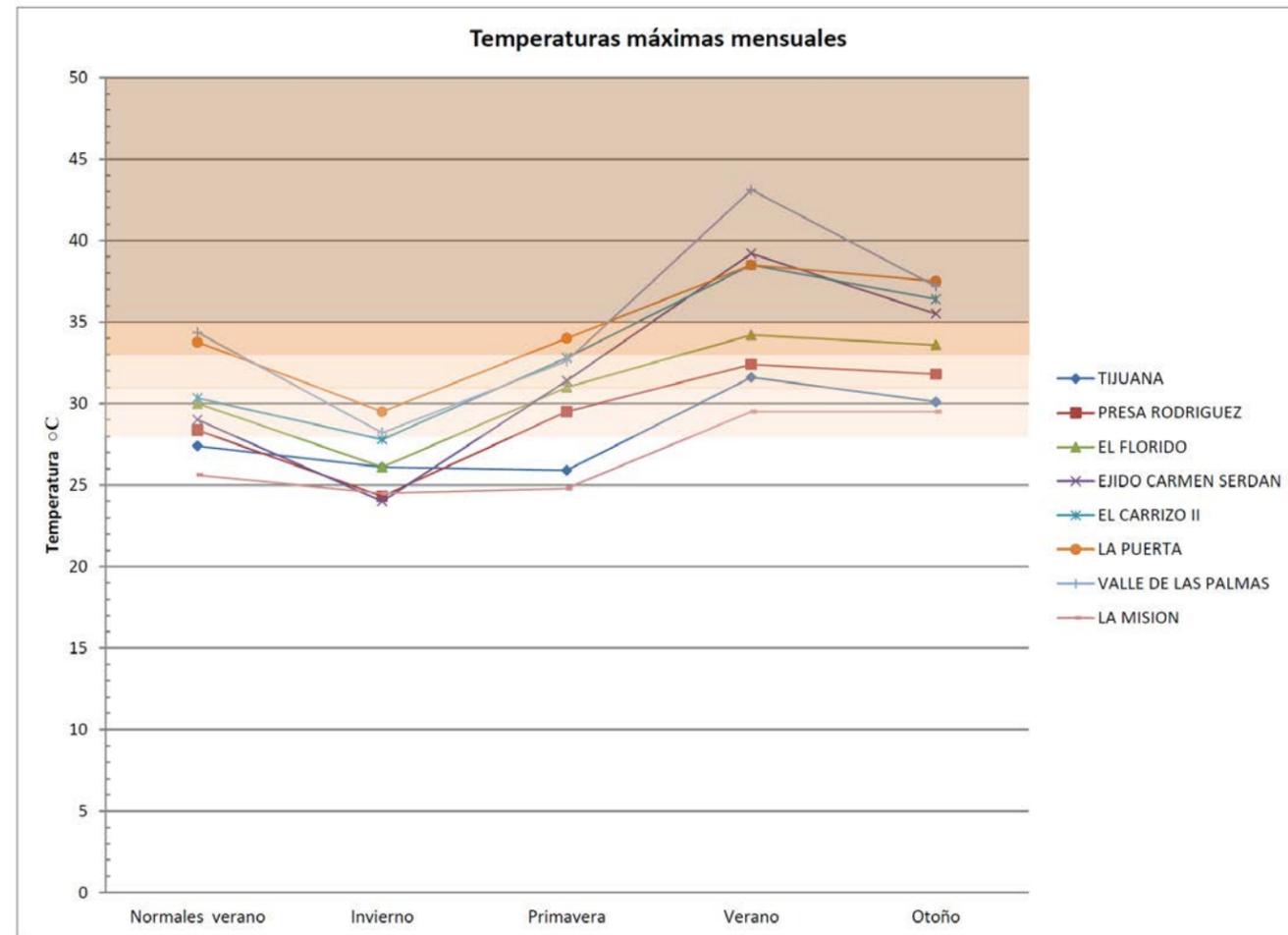


Figura 60. Datos de temperaturas máximas estacionales.

Las altas temperaturas están asociadas a los meses del periodo de verano en el municipio de Tijuana así como la ocurrencia de ondas de calor. En el mapa de la figura 60 se muestra un promedio de la temperatura normal de los meses de junio, julio y agosto (líneas color verde), además las temperaturas extremas máximas del mismo periodo (líneas negras).

La tabla 21 muestra una relación de las temperaturas máximas extremas registradas en verano, con las cuales se construyó el mapa de la figura 61.

Tabla 21. Estaciones Climatológicas con mes, año y temperatura máxima registrada.

Número	Nombre	Mes Máxima	Año Máxima	Temperatura Máxima
2068	Tijuana	Julio	1972	31.6
2038	Presa Rodríguez	Julio	2006	32.4
2156	El Florido	Agosto	1995	34.2
2114	Ejido Carmen Serdán	Agosto	1994	39.2
2124	El Carrizo II	Agosto	2000	38.5
2030	La Puerta	Julio	2005	38.5
2069	Valle de las Palmas	Julio	2006	43.1
2077	La Misión	Julio	2006	29.5

Fuente: Elaboración propia con datos de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional.

El mapa muestra que las temperaturas más elevadas se presentan en la estación Valle de las Palmas. En la zona urbana de oeste a este se observa una variación de temperaturas que van de 31 a 37 °C por lo que en la zona urbana se presenta incomodidad extrema y condiciones de estrés en las personas, de acuerdo a la tabla 22 de vulnerabilidad, designada por SEDATU.

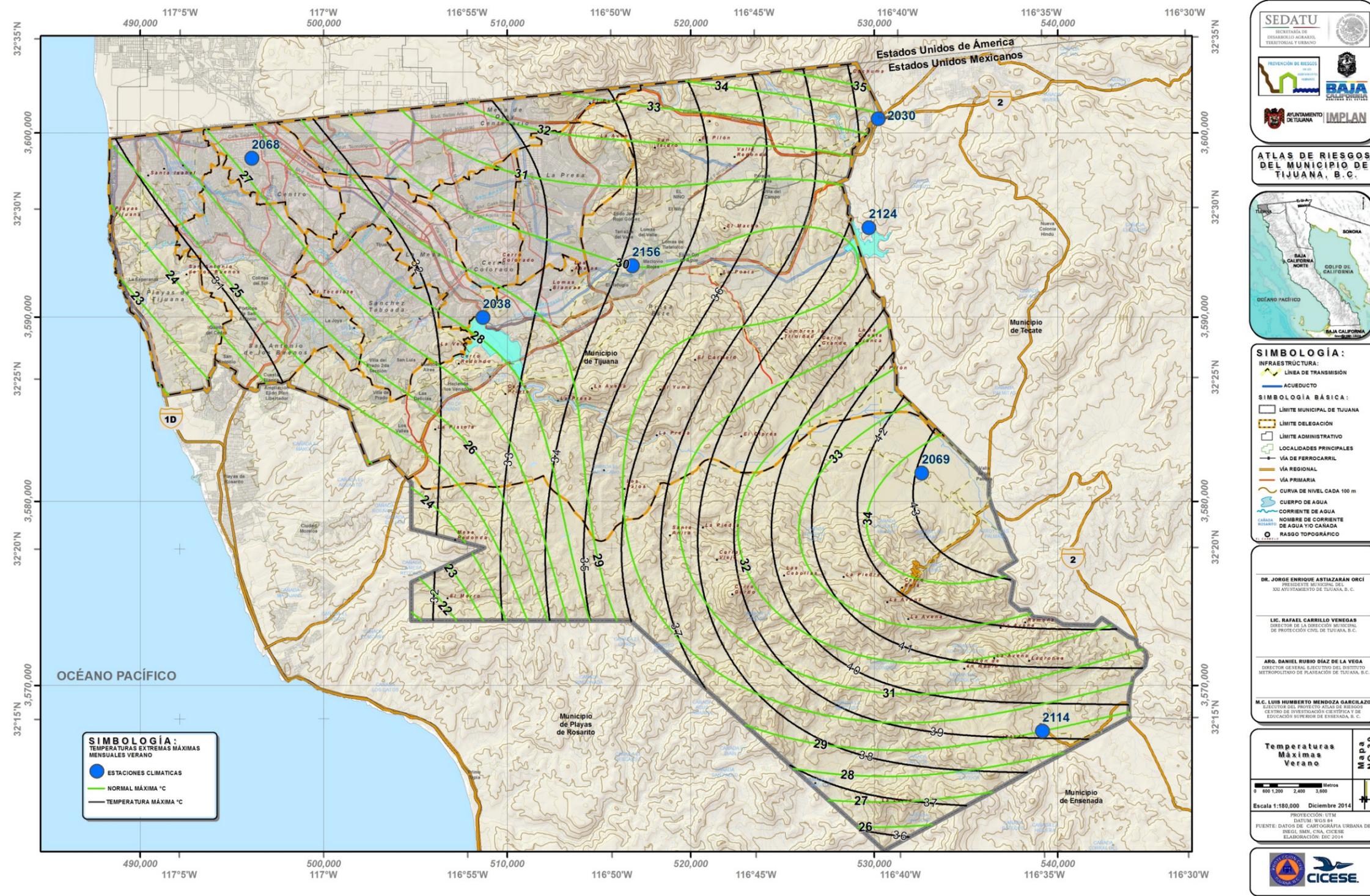


Figura 61. Mapa de temperaturas máximas extremas en verano.

### Metodología - Nivel de análisis 2

Observando los resultados de temperaturas máximas obtenidos en el nivel 1, se comparó con el mapa de temperaturas altas de la Base de Datos Climatológica Nacional (sistema CLICOM) para obtener la tendencia de las temperaturas en el municipio (figura 62), partiendo de este mapa se hizo el análisis de peligro para diferentes periodos de retorno.

CICESE (<http://clicom-mex.cicese.mx/malla>). Este mapa fue construido con valores de temperatura promedio mensual, Por lo que los valores son menores al mapa presentado en la figura 61.

### Periodos de retorno

Para este análisis se descargaron datos de las temperaturas máximas mensuales de cada año y se ajustaron a una distribución de probabilidad de valores extremos para determinar periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años.

Se consultó una serie de artículos sobre distribución de probabilidad de valores extremos para determinar las temperaturas altas y se encontró que la distribución que más se ajusta es la distribución de Gumbel 1995, (Ecuación 1), siendo esta una de las distribuciones estadísticas más usadas para predicción de valores extremos (El Morjani, 2011). Para este trabajo se tomó como ejemplo el trabajo de El Morjani, 2011 que usa valores para los índices de calor, sin embargo, este análisis solo usa los datos de temperatura máxima extrema, debido a la limitación de datos de humedad relativa por año. Los datos que se utilizaron corresponden a los datos de temperatura máxima mensual del ciclo anual por 30 años, de 1980 a 2010.

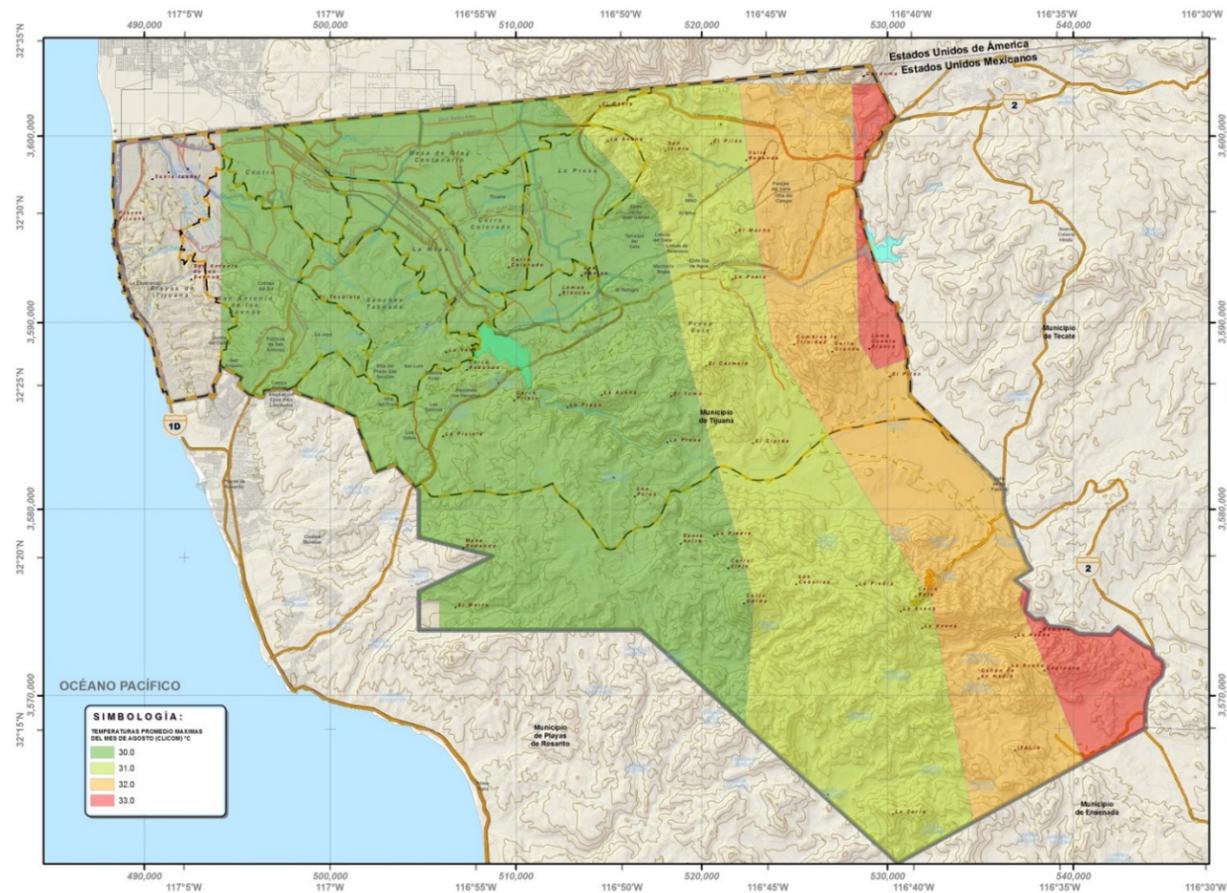


Figura 62. Mapa de temperaturas máximas (promedio) en el mes de julio, obtenida de la base de datos del CLICOM.

Para crear el mapa de la figura 62 se utilizó el programa CLICOM en malla. Los datos climáticos diarios del CLICOM del SMN fueron transformados a una malla de 1/8 de grado por Zhu y Lettenmier (2007) y Munoz-Arriola et al. (2009) y la plataforma gráfica fue desarrollada en el

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-a}{b}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde F(x) es la función de distribución acumulativa, a y b son los parámetros de ajustes de Gumbel (ecuaciones 2 y 3).

$$b = \frac{S_x}{S_u} \quad \text{Ecuación 2} \quad a = \bar{x} - b\bar{u} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $S_x$  = Desviación estándar anual de temperaturas extremas,  $S_u$  = Desviación estándar reducida de Gumbel,

Para determinar los valores para diferentes periodos de retorno se despeja la ecuación 1 y resulta la ecuación 4. Esta ecuación se usó con los registros de cada una de las estaciones y posteriormente se interpolaron los valores para obtener la distribución de temperatura máxima en el municipio para cada periodo de retorno.

$$X_T = a + bu = a + b \left( -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

En este trabajo se calificaron los rangos de la tabla 22 desde bajo hasta muy alto para asignar una intensidad cualitativa en el mapa, a consideración de los autores de este trabajo, sin embargo, no deben usarse para cuantificar el peligro. Cabe señalar que solo se está interpolando información de 8 estaciones climáticas de las cuales solo dos se encuentran cerca del área urbana, Presa Rodríguez (2038) y Tijuana (2068) esta última está suspendida y solo cuenta con registros hasta el año 1984.

Tabla 22. Vulnerabilidad por altas temperaturas (SEDATU, 2014).

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

Las figuras 63 a 66 muestran la interpolación de los valores de retorno para los periodos de 5, 10, 25 y 50 años.

### Ondas Gélidas

Las bajas temperaturas en México se presentan durante los meses de noviembre a marzo, siendo los meses más fríos, diciembre y enero. En este periodo, el fenómeno genera severos problemas en la salud, infraestructura y en los bienes de la población, que en ocasiones se traducen en pérdidas de vidas humanas (SEDATU, 2014). En esta temporada es donde se dan los fenómenos de tormentas de nieve, granizo, heladas y nevadas.

### Metodología - Nivel de análisis 1

En las ondas gélidas se analizaron normales climatológicas de temperatura mínima mensual para un registro de aproximadamente 30 años (<http://smn.cna.gob.mx>) en cada una de las estaciones cercanas y dentro del municipio. A partir de estos datos se obtuvieron los valores de temperaturas mínimas y normales estacionales. Con estos datos se construyó una base de datos y la gráfica de la figura 67.

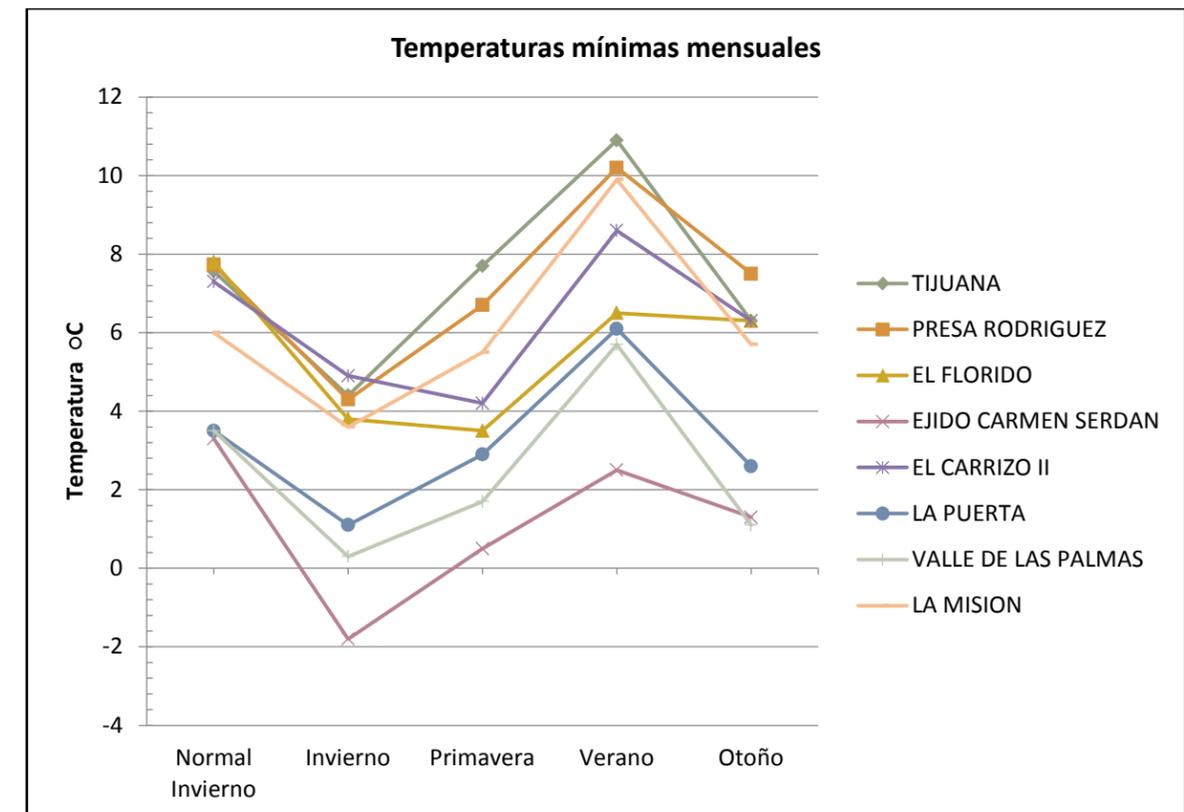


Figura 63. Datos de temperaturas mínimas estacionales.

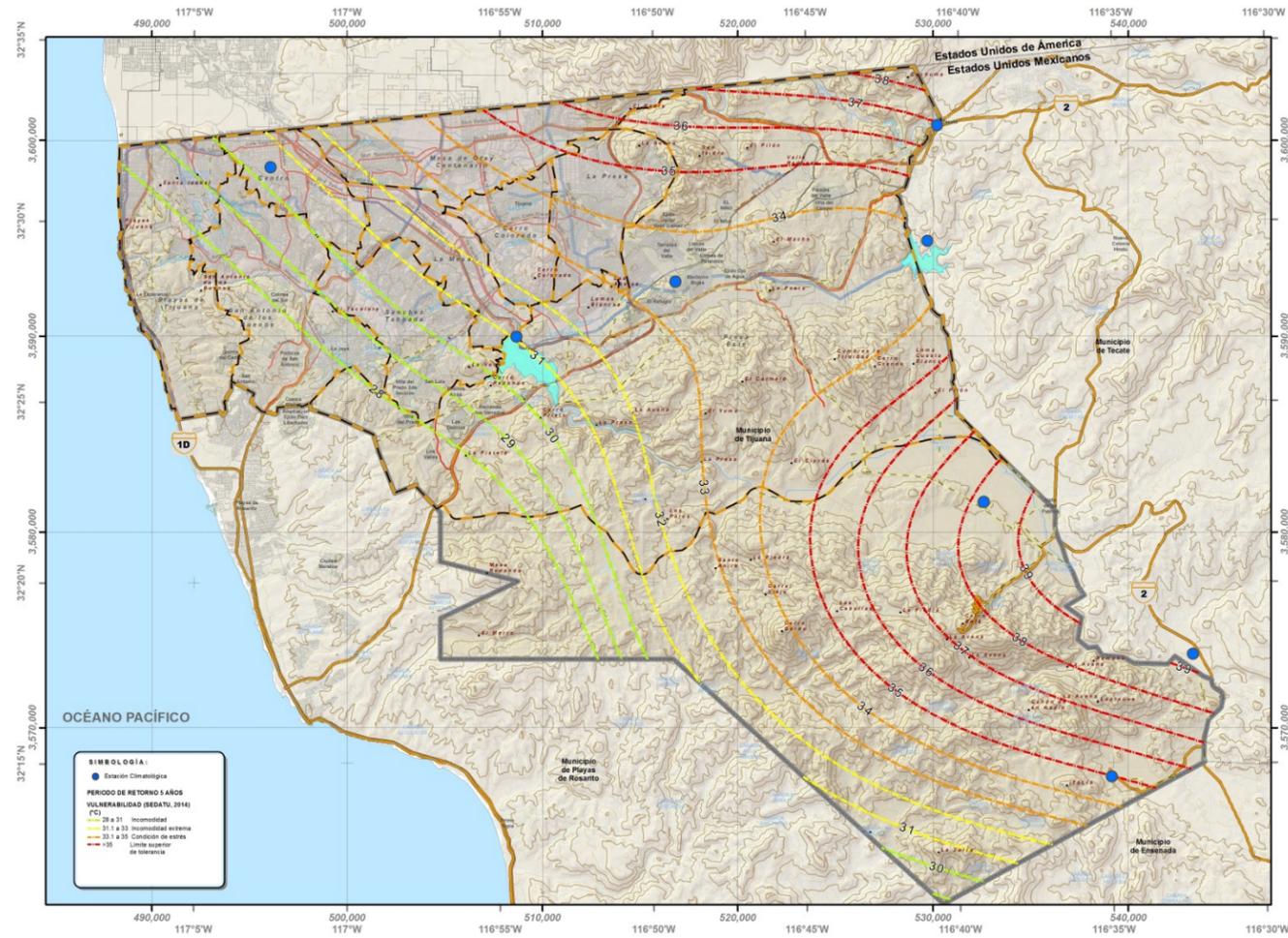


Figura 64. Mapa de temperatura máxima para un periodo de retorno de 5 años.

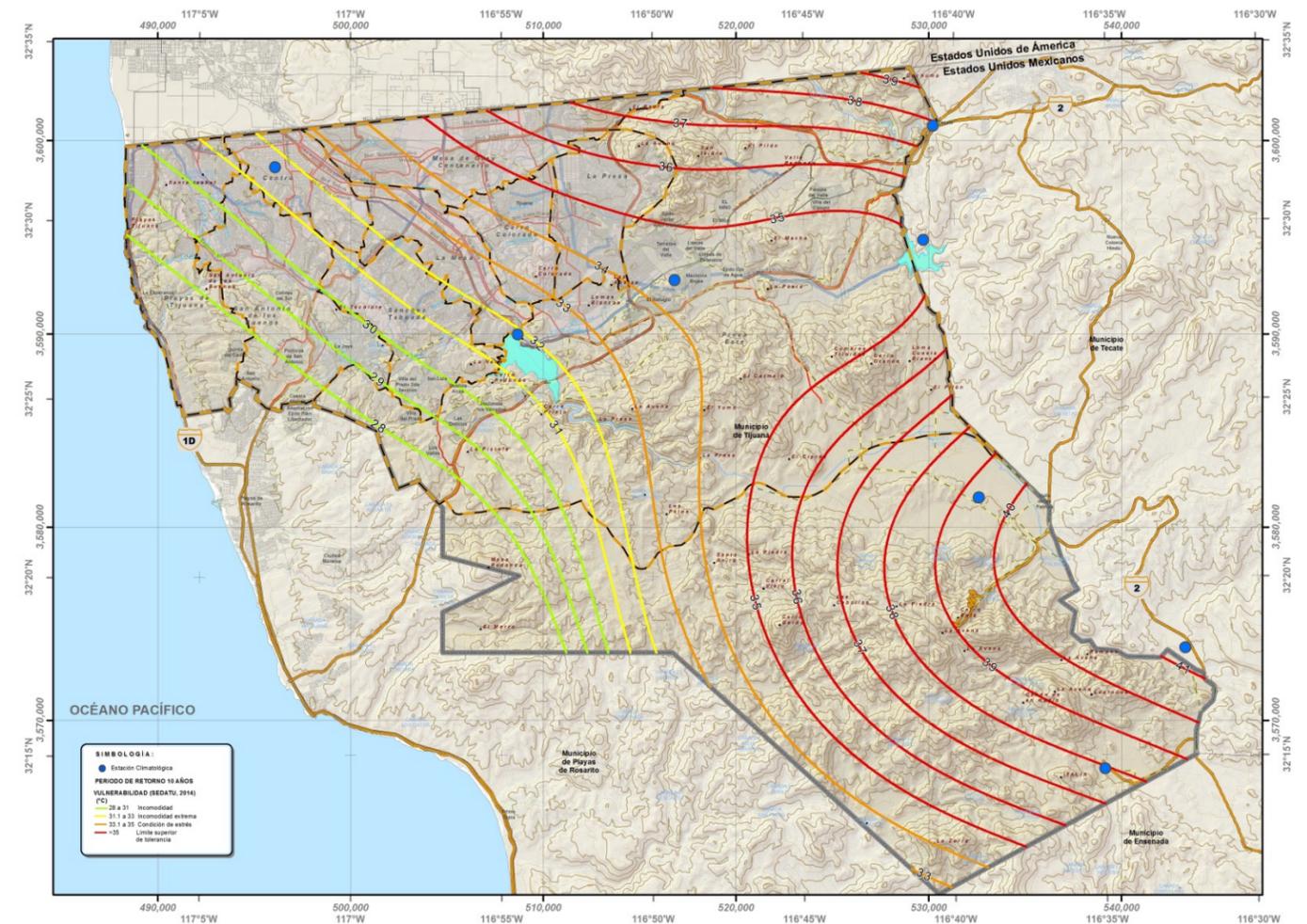


Figura 65. Mapa de temperatura máxima para un periodo de retorno de 10 años.

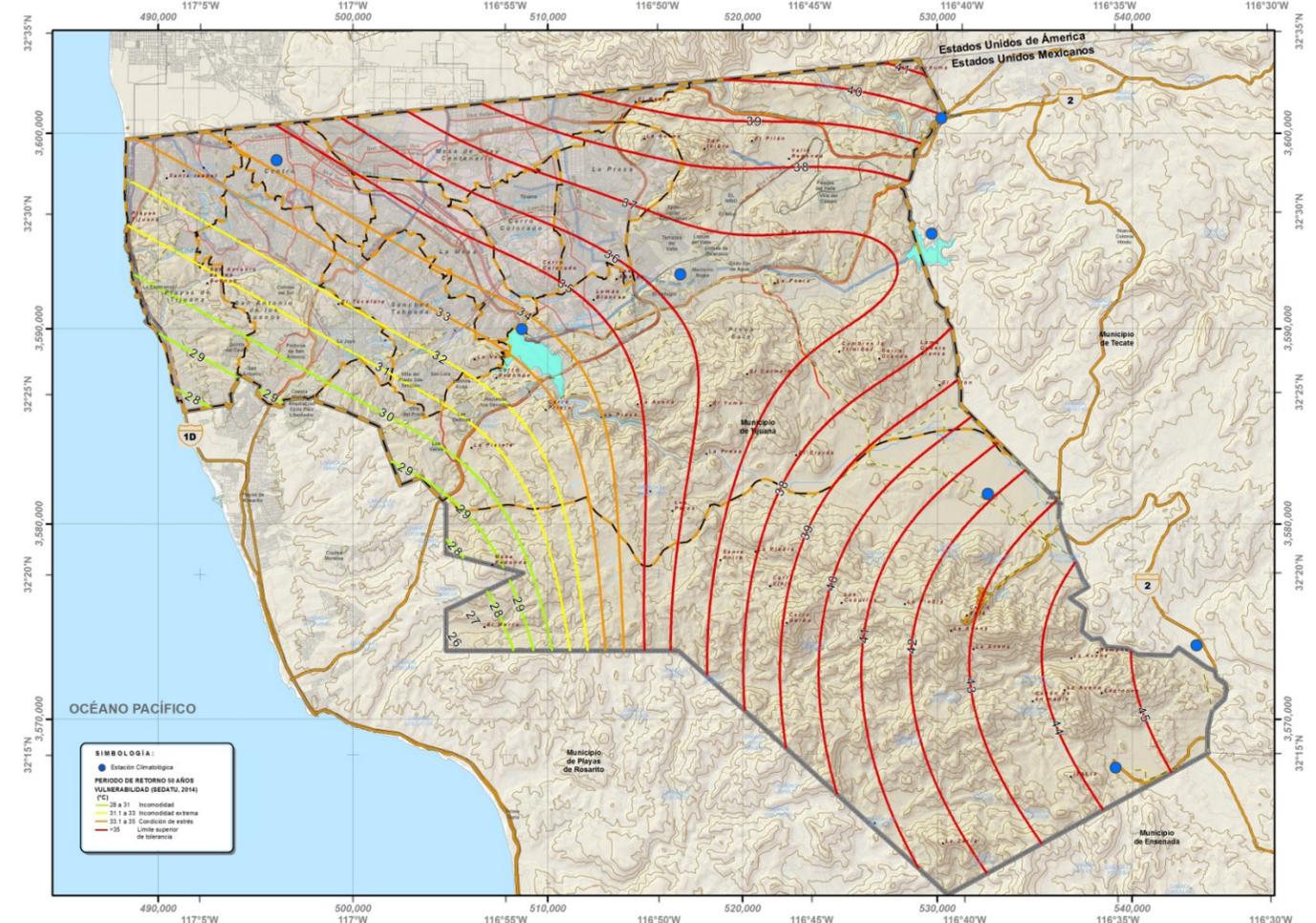
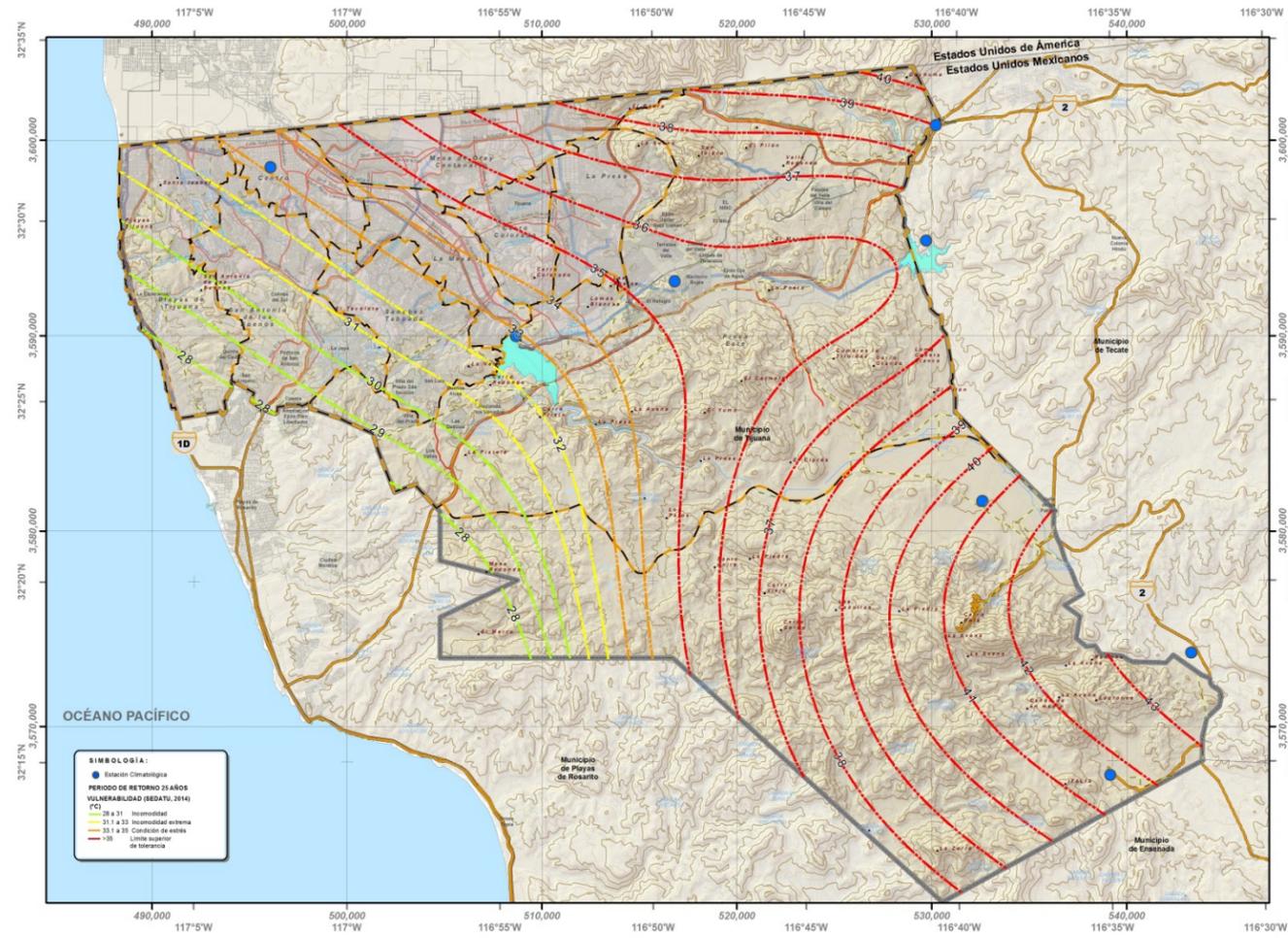


Tabla 23. Estaciones Climatológicas con mes, año y temperatura mínima registrada.

Número	Nombre	Mes	Año	Temperatura
		Mínima	Mínima	Mínima
2068	Tijuana	Diciembre	1980	4.4
2038	Presa Rodríguez	Diciembre	1987	4.3
2156	El Florido	Diciembre/febrero	1998/1999	3.8
2114	Ejido Carmen Serdán	Enero	2004	-1.8
2124	El Carrizo II	Diciembre	1987	4.9
2030	La Puerta	Diciembre/enero/febrero	1998/2007/1990	1.1
2069	Valle de las Palmas	Diciembre	2001	0.3
2077	La Misión	Diciembre	2006	3.6

Fuente: Elaboración propia con datos de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional.

### Análisis de resultados

La grafica de la figura 67 y la tabla 23 muestran datos de las temperaturas mínimas estacionales. En la cual se observa que la temperatura mínima mensual observada es de -1.8 °C en la estación Ejido Carmen Serdán al sur del municipio de Tijuana. Las temperaturas menores a 2 °C se presentan en las zonas altas del Municipio al noreste (estación La Puerta) y al sur (Valle de las Palmas y Ejido Carmen Serdán) como se observa en el mapa de la figura 68. Cabe indicar que se ha documentado que la temperatura diaria ha alcanzado valores de hasta -4 °C bajo cero en las zonas montañosas el 15 de febrero 2008 (fascículo tormentas severas CENAPRED).

### Metodología - Nivel de análisis 2

Al igual que en las ondas cálidas, se hizo el análisis para diferentes periodos de retorno para determinar la distribución de las temperaturas bajas y la probabilidad para los periodos 5, 10, 25 y 50 años con datos del CLICOM.

### Periodos de retorno

Para este análisis se descargaron datos de las temperaturas mínimas mensuales de cada año y se ajustaron a una distribución de probabilidad de valores extremos para determinar periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años. Se siguió el mismo análisis que se hizo en ondas gélidas pero ajustando las ecuaciones a temperaturas mínimas con la distribución de Gumbel para el mínimo (ecuación 1), publicadas por Ibáñez, 2011.

Los datos que se utilizaron corresponden a los datos de temperatura mínima mensual del ciclo anual por 30 años, de 1980 a 2010.

$$F(x) = 1 - e^{-e^{\frac{x-a}{b}}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde F(x) es la función de distribución acumulativa, a y b son los parámetros de ajustes de Gumbel (ecuaciones 2 y 3).

Se sigue el mismo proceso que se hizo para ondas cálidas y se obtienen los valores de temperaturas mínimas para cada periodo de retorno (figura 69 a 72).

### Análisis de resultados

Se observa de acuerdo a la interpolación de valores en cada una de las estaciones climáticas del municipio, que las temperaturas bajas tienden hacia el sureste y noreste del municipio, lejos de la zona urbana que es donde se concentra la mayor parte de la población de Tijuana.

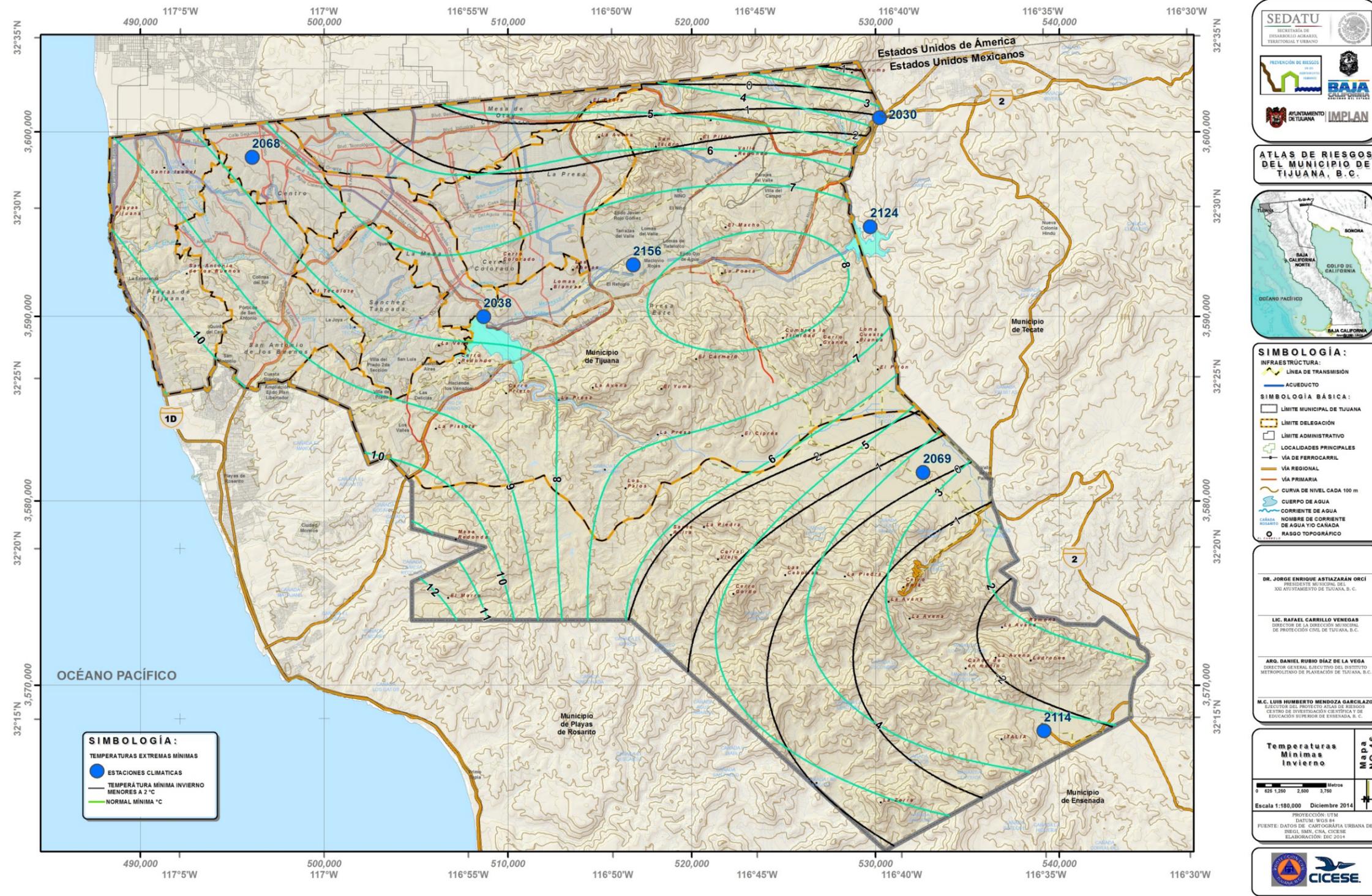


Figura 68. Mapa de temperaturas mínimas extremas en invierno (valores menores a 2 °C).

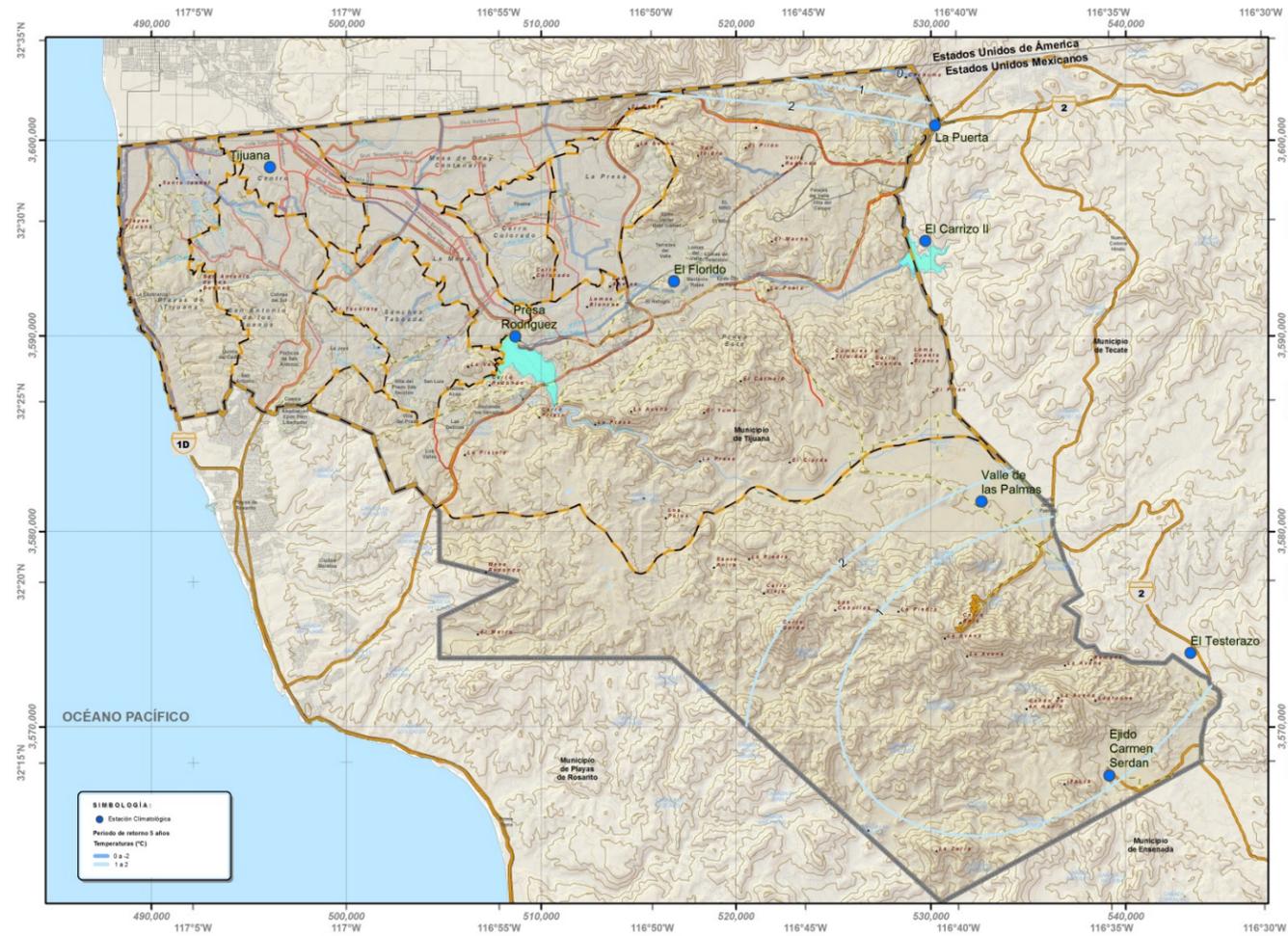


Figura 69. Mapa de temperatura mínima para un periodo de retorno de 5 años.

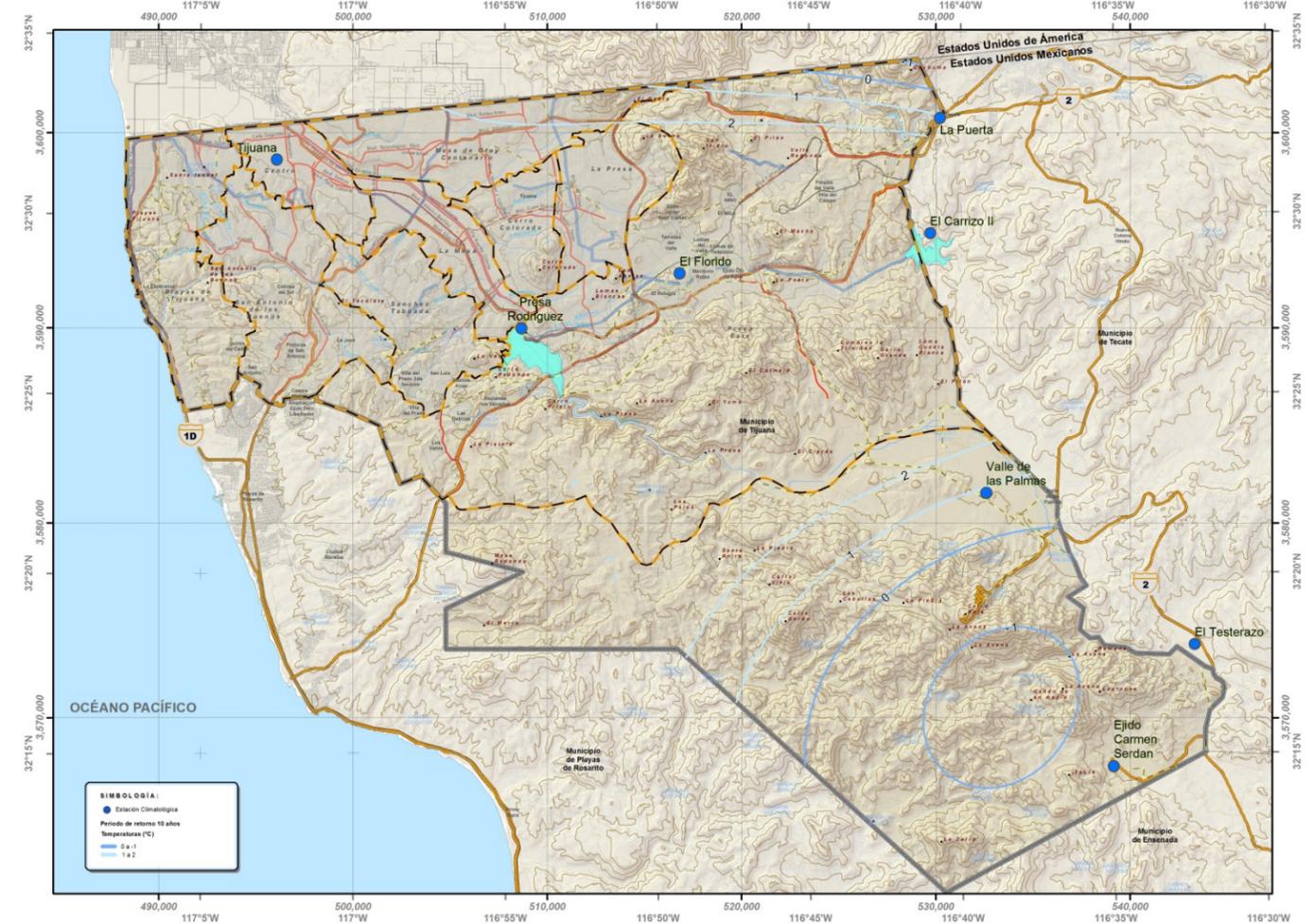


Figura 70. Mapa de temperatura mínima para un periodo de retorno de 10 años.

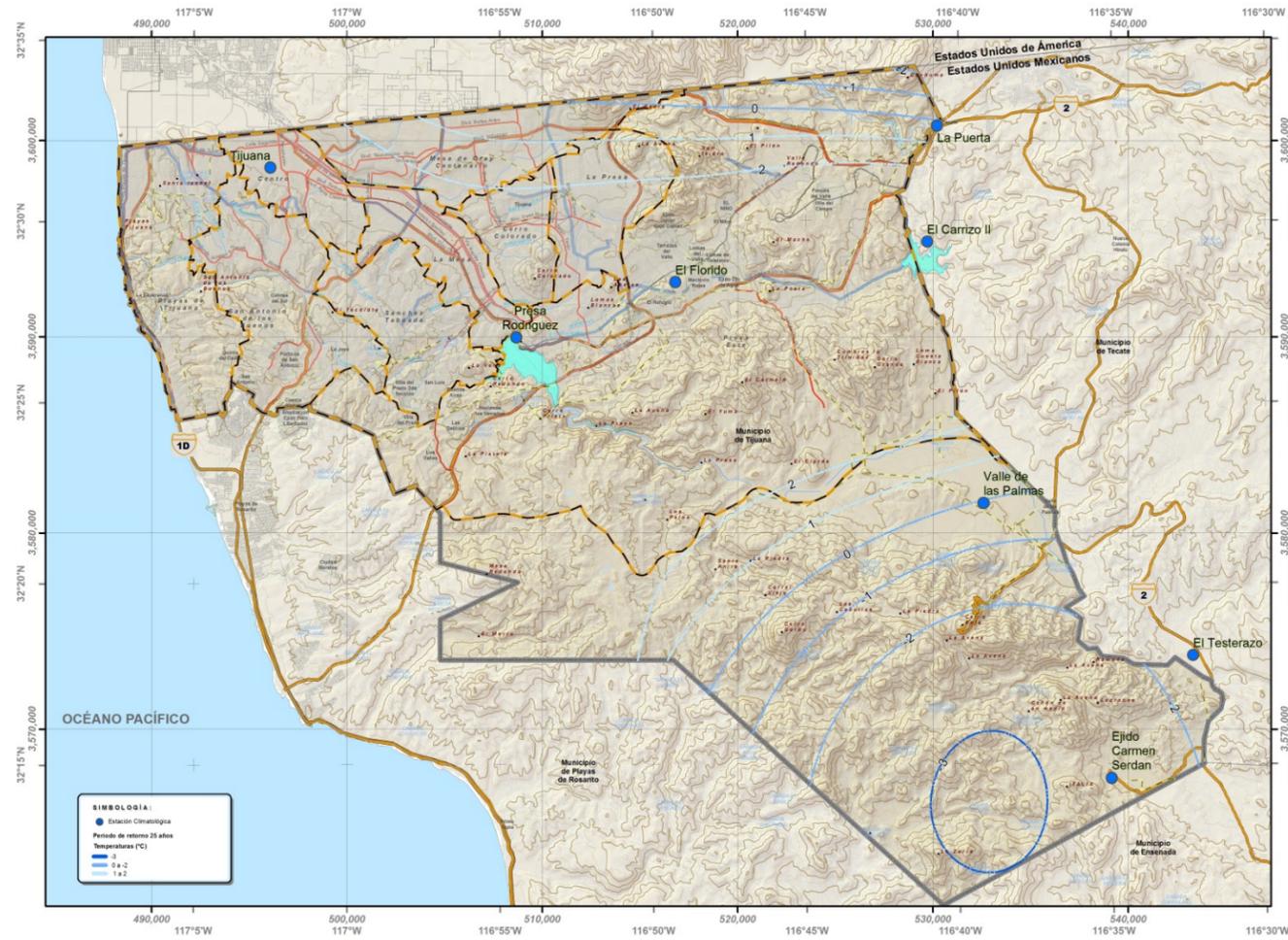


Figura 71. Mapa de temperatura mínima para un periodo de retorno de 25 años.

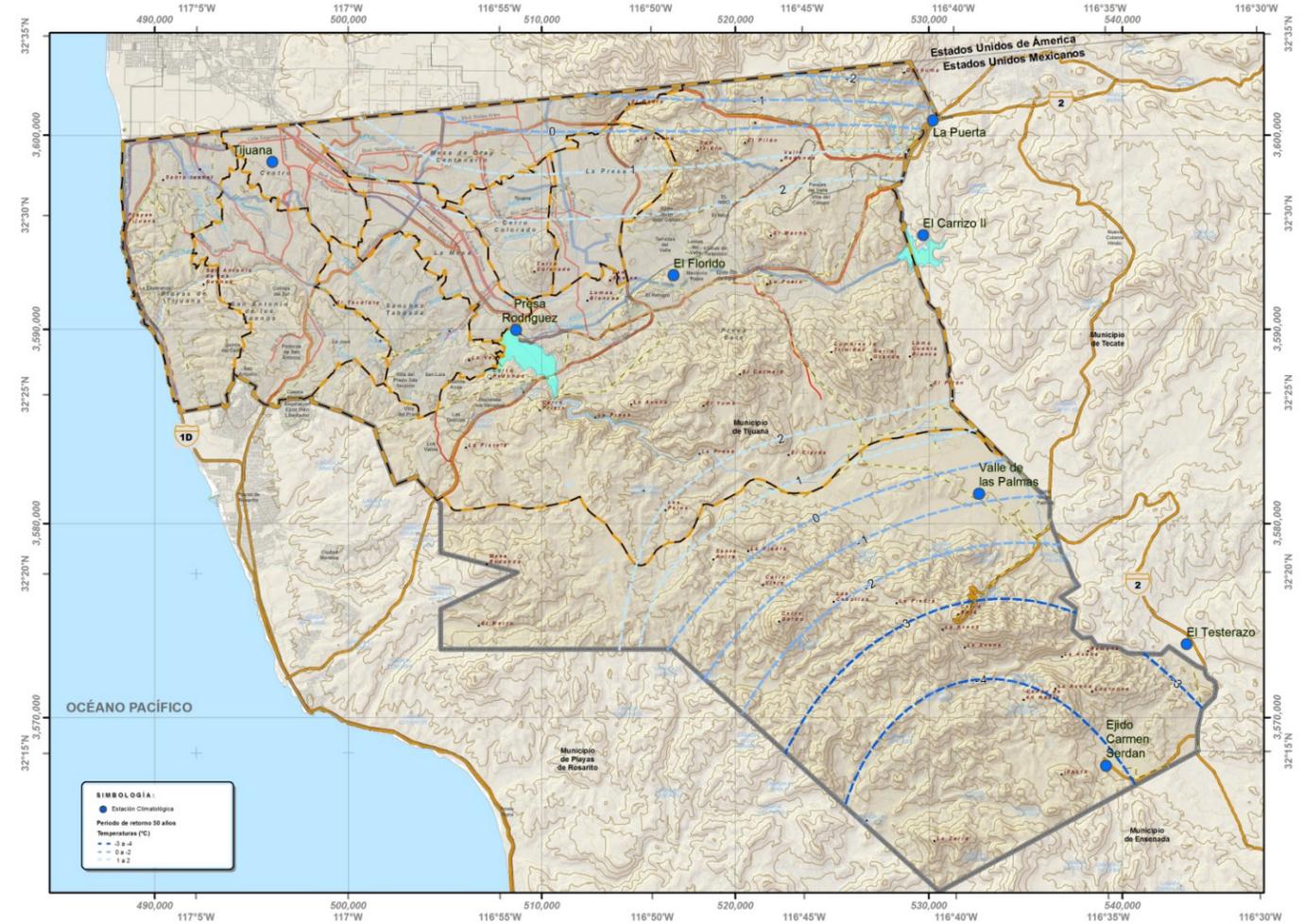


Figura 72. Mapa de temperatura mínima para un periodo de retorno de 50 años.

### 5.11 Sequías

No existe una definición de sequía que sea aceptada universalmente. Sus definiciones dependen del enfoque científico (meteorología, hidrología, geografía, etc.) o de la actividad económica que se afecta (CENAPRED, 2002). En Baja California la sequía es por las siguientes causas: 1.- meteorológica se asocia a la falta de agua por precipitación atmosférica, el grado de sequía se calcula mensualmente en tres estaciones, Mexicali, Valle de las Palmas y Ensenada. Los veranos son secos y con pocas lluvias en el invierno. 2.- Climática cuando las lluvias de un ciclo anual o varios años son por debajo de lo normal (Atlas Mexicali, UABC, 2011).

En Tijuana se registraron daños por sequía en junio de 2000, la falta de agua hizo que se remataran 300 reses a 16 y 20 pesos por kilogramo (CENAPRED, 2002). No hay muchos estudios de evaluación de sequía en Tijuana, sin embargo, haciendo un análisis meteorológico se puede hacer una estimación aproximada del comportamiento de la sequía para Tijuana. Se recomienda visitar el sitio [www.peac-bc.cicese.mx](http://www.peac-bc.cicese.mx) para más detalles del comportamiento de sequía en Baja California y [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20:monitor-de-sequia-en-mexico-msm&catid=12:climatologia&Itemid=74](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=20:monitor-de-sequia-en-mexico-msm&catid=12:climatologia&Itemid=74) para el comportamiento de sequía a nivel nacional.

Para el municipio de Tijuana se hizo un análisis de sequía con información reportada por el monitor de sequía de CONAGUA.

#### Metodología

##### Nivel de análisis 1

Se hizo un análisis de sequía meteorológica para determinar los meses más secos con una variable (menor precipitación). Con datos de la estación Presa Rodríguez se obtuvo el promedio de las precipitaciones para un periodo de 1929 a 2011, que cubre solo una parte del municipio de Tijuana, no se aplicó el índice de precipitación estandarizada (SPI) por falta de datos en las demás estaciones, solo se observó el comportamiento de la precipitación en una estación. La figura 73 muestra la media de precipitación y su tendencia de menor precipitación para los meses de mayo a septiembre en ese periodo. Luego de este análisis se compara esta tendencia con los mapas de sequía del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de CONAGUA para identificar los meses secos y compararlos con la figura 73.

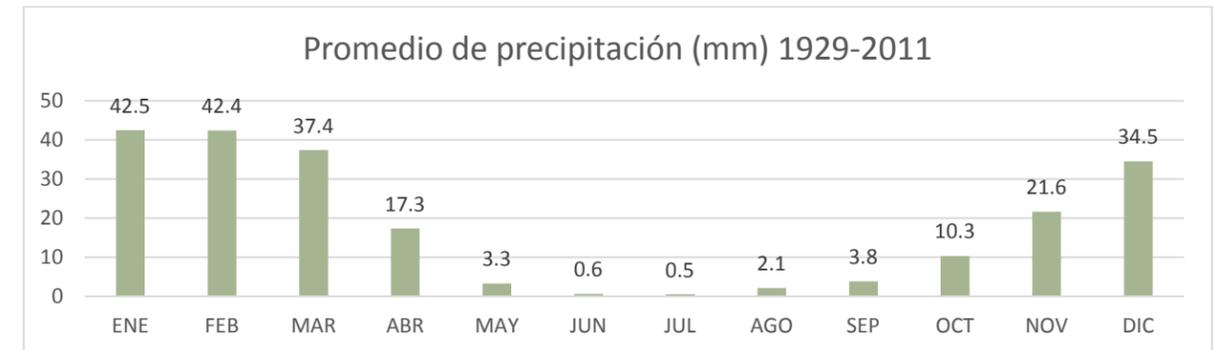


Figura 73. Promedio de precipitación (mm) 1929-2011, estación Presa Rodríguez.

El SMN es la dependencia oficial del gobierno mexicano encargada de proporcionar información meteorológica (estado del tiempo) y climatológica. Para ello se apoya en el Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM). En el año 2014 adquirió su carácter nacional, lo que le permitió emitir mapas de sequía en escala de tiempo diferente a la mensual, con un índice de severidad de sequía.

#### Índice de severidad de sequía

Se basa en la obtención e interpretación de diversos índices o indicadores de sequía tales como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) que cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación (30, 90, 180, 365 días), Anomalía de lluvia en Porcentaje de lo Normal (30, 90, 180, 365 días). Índice Satelital de Salud de la Vegetación (VHI) que mide el grado de estrés de la vegetación a través de la radiancia observada, el Modelo de Humedad del Suelo Leaky Bucket CPC-NOAA que estima la humedad del suelo mediante un modelo hidrológico de una capa, El Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI), la Anomalía de la Temperatura Media, el Porcentaje de Disponibilidad de Agua en las presas del país y la aportación de expertos locales. Estos índices se despliegan en capas o layers a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y mediante un consenso se determinan las regiones afectadas por sequía, de acuerdo a la escala de intensidades que es común en los tres países (Canadá, Estados Unidos y México) que va desde anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) hasta sequía excepcional (D4). Como resultado del consenso se trazan polígonos para cada intensidad de sequía, generando archivos tipo shapefile. Cuando los polígonos corresponden al análisis de mediados de mes (emitido los días 15 de cada mes) se utilizan para cuantificar la sequía sobre el territorio nacional y cuando corresponden a la evaluación final de cualquier mes

complementa además al mapa regional o continental del NADM, dando como resultado la siguiente escala de intensidad de sequía mostrados en la tabla 24.

Tabla 24. Clasificación de la intensidad de la sequía (NADM).

Escala	Intensidad	Descripción
D0	Anormalmente Seco (D0)	Se trata de una condición de sequedad, no es una categoría de sequía. Se presenta al inicio o al final de un periodo de sequía. Al inicio de un periodo de sequía: debido a la sequedad de corto plazo puede ocasionar el retraso de la siembra de los cultivos anuales, un limitado crecimiento de los cultivos o pastos y existe el riesgo de incendios. Al final del periodo de sequía: puede persistir déficit de agua, los pastos o cultivos pueden no recuperarse completamente.
D1	Sequía Moderada (D1)	Se presentan algunos daños en los cultivos y pastos; existe un alto riesgo de incendios, bajos niveles en ríos, arroyos, embalses, abrevaderos y pozos, se sugiere restricción voluntaria en el uso del agua.
D2	Sequía Severa (D2)	Probables pérdidas en cultivos o pastos, alto riesgo de incendios, es común la escasez de agua, se deben imponer restricciones en el uso del agua.
D3	Sequía Extrema (D3)	Pérdidas mayores en cultivos y pastos, el riesgo de incendios forestales es extremo, se generalizan las restricciones en el uso del agua debido a su escasez.
D4	Sequía Excepcional (D4)	Pérdidas excepcionales y generalizadas de cultivos o pastos, riesgo excepcional de incendios, escasez total de agua en embalses, arroyos y pozos, es probable una situación de emergencia debido a la ausencia de agua.

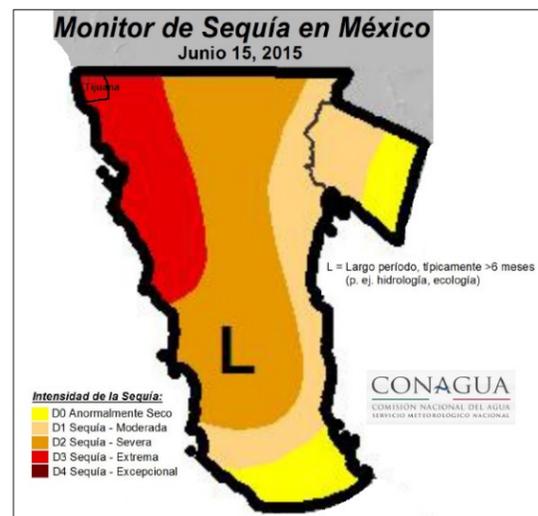


Figura 74. Intensidad de sequía para Baja California, incluye el municipio de Tijuana, Junio de 2015 (Datos obtenidos de CONAGUA –SMN).

Se consultó el monitor de sequías (SMN) para determinar la tendencia de la sequía por mes de 2012 a 2015 y compararla con el promedio de precipitación de los meses anteriores del periodo de 1929 a 2011. Para el año 2012 no se presentó sequía en Tijuana. En 2013 de abril a agosto fue moderada, de septiembre a diciembre severa. En enero de 2014 fue severa, de febrero a diciembre de ese año extrema. En 2015 de enero a junio fue extrema, con impacto de la sequía determinado como largo periodo (L), típicamente mayor a seis meses, de acuerdo a NADM. La figura 74 muestra la sequía reportada del SMN para el mes de junio y la figura 75 muestra el comportamiento de la sequía reportada por el SMN de 2012 a 2015.

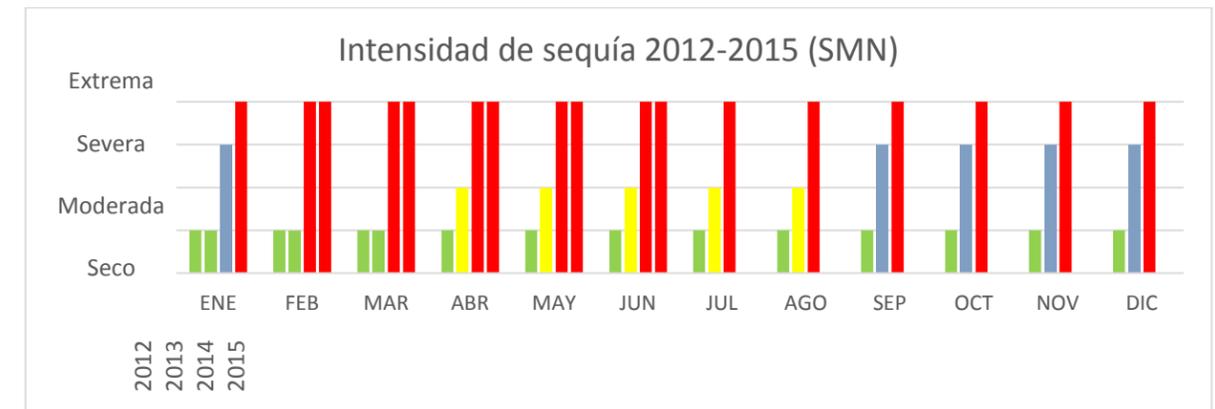


Figura 75. Intensidad de sequía para el municipio de Tijuana en el periodo de 2012 a 2015. Las barras de color de izquierda a derecha representan los años en orden ascendente, para el 2015 solo se presentan registros de enero a junio. (Datos obtenidos de CONAGUA –SMN).

### Análisis de resultados

Los resultados del monitor de sequía (SMN) muestran discrepancia con los promedios de precipitaciones de los años anteriores mostrados en la figura 66. Podría considerarse que este año puede significar una sequía de extrema a excepcional para Tijuana, en la escala de intensidad del NADM mostrados en la tabla 24, puesto que en los meses que se supone son de lluvia no ha llovido (de enero a abril), esta tendencia resultaría en una lluvia nula para los meses de mayo a septiembre donde generalmente no llueve. La figura 76 muestra el mapa de sequía para el municipio de Tijuana con sequía extrema en la primera mitad del año 2015 de acuerdo al monitor de sequía SMN. De este resultado se puede interpretar que se espera sequía de extrema a excepcional para los meses de julio a octubre de 2015, debido a que el último resultado el monitor de sequía para junio muestra un periodo largo de sequía, mayor a seis meses (figura 74).

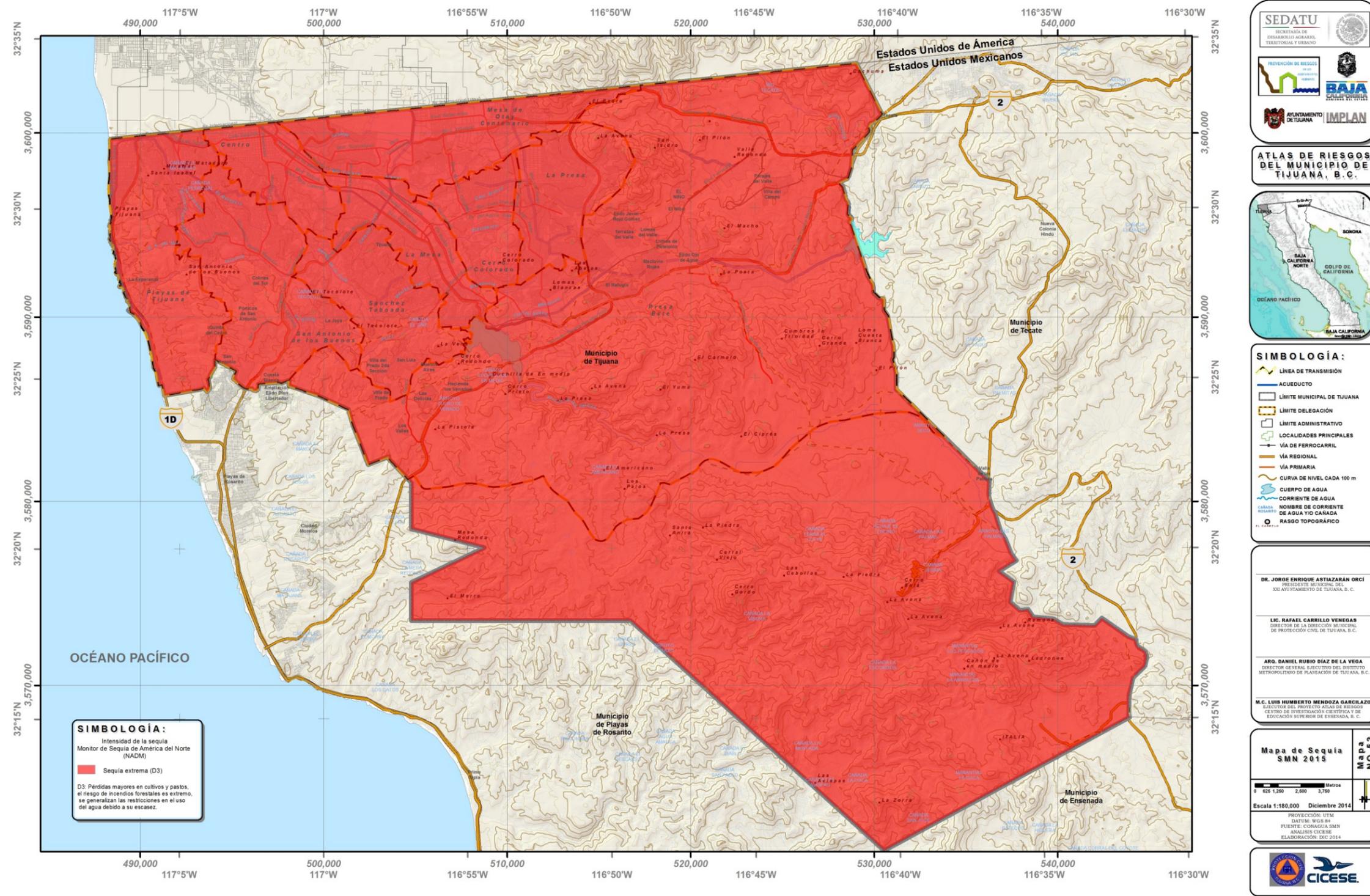


Figura 76: Mapa de sequía para Tijuana. Representa sequía extrema (D3), en la escala de intensidad del NDAM, para el 2015 de acuerdo al monitor de sequías de CONAGUA (SMN) para los meses de enero a junio de 2015.

### 5.12 Heladas

La helada es la disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua 0°C. La cubierta de hielo, es una de sus formas producida por la sublimación del vapor de agua sobre los objetos; ocurre cuando se presentan dichas temperaturas (CENAPRED, 2001). Las heladas se presentan particularmente en las noches de invierno por una fuerte pérdida radiactiva. Suele acompañarse de una inversión térmica junto al suelo, donde se presentan los valores mínimos, que pueden descender a los 2°C o aún más (CENAPRED, 2001). Las heladas se clasifican de acuerdo a la estación del año que se presentan en: Primaverales, Otoñales e Invernales. Generalmente se presentan en la madrugada o cuando está saliendo el sol.

Los rasgos topográficos como los valles son los lugares donde se presentan con mayor frecuencia las heladas. Este fenómeno puede provocar pérdidas a la agricultura y afectar la salud de la población urbana y rural, siendo más vulnerables aquellas que viven en casas frágiles, indigentes, así como niños y personas de la tercera edad (CENAPRED, 2001).

En el norte y centro de la República Mexicana, durante los meses fríos del año (noviembre-febrero), se presentan temperaturas menores de 0 ° C. Las heladas más intensas están asociadas al desplazamiento de las grandes masas polares, que desde finales del otoño se desplazan de norte a sur sobre el país. En Baja California se tienen documentados tres municipios afectados por heladas (fascículo heladas, CENAPRED).

Tabla 25. Efectos ambientales por heladas (SEDATU, 2014)

Temperatura	Designación	Vulnerabilidad
0 a -3.5°	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	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	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	Muy severa	Muchas plantas pierden todos sus órganos. Algunos frutos no protegidos se dañan totalmente. Los daños son elevados en las zonas tropicales.

La tabla 25 muestra los efectos ambientales ante una helada. Como se puede observar del mapa de la figura 77 las zonas propensas a temperaturas bajo cero son las que se encuentran al noreste (estación La Puerta) y al sur (Valle de las Palmas, Ejido Carmen Serdán y Testerazo). Este mapa se obtuvo a partir del análisis del periodo de retorno de 50 años para temperaturas mínimas (figura 72), en el cual se sombrea en amarillo las zonas debajo de la cota 0°C, estas son susceptibles a presentar heladas.

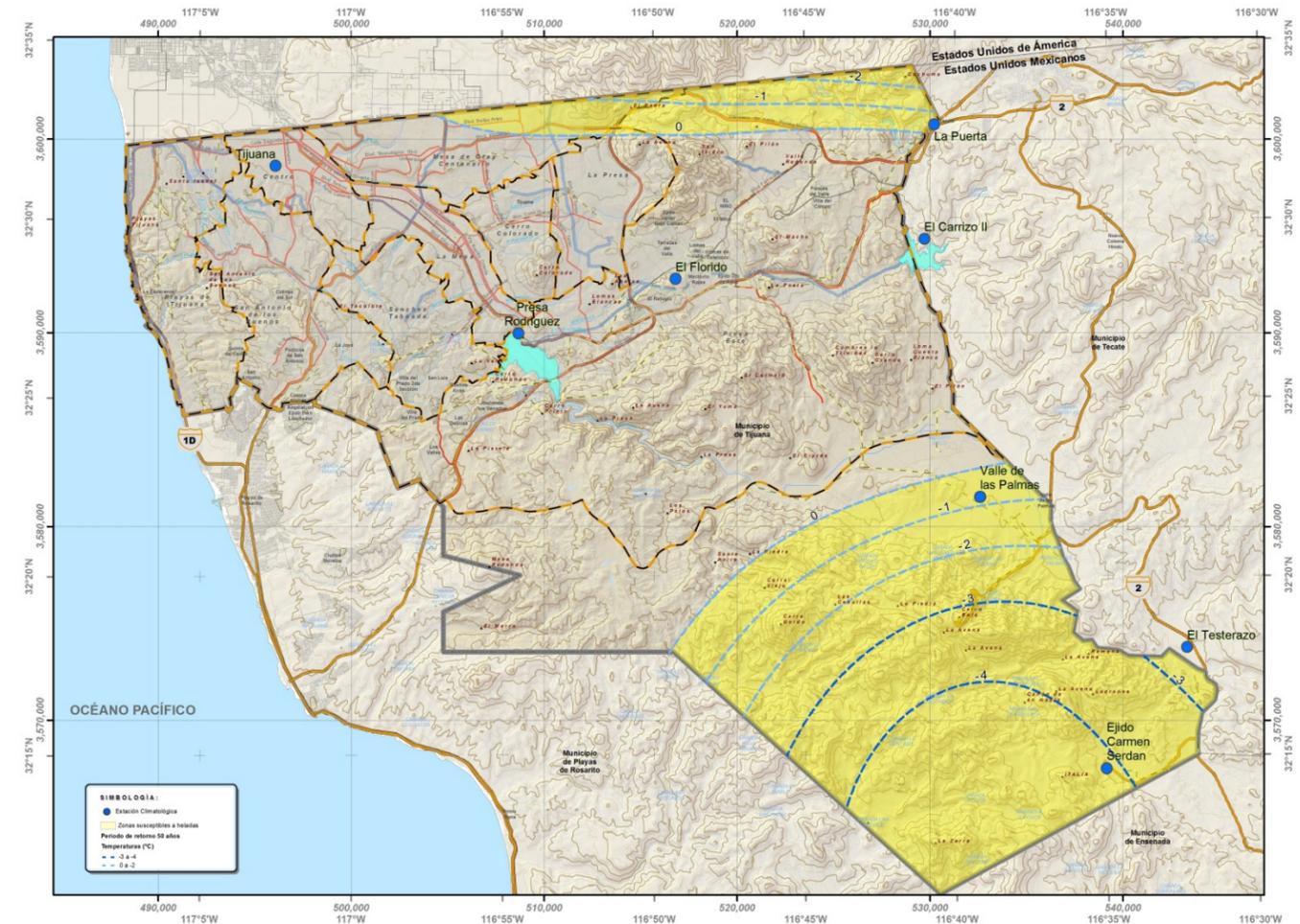


Figura 77: Mapa de zonas susceptibles a heladas (basado en mapa de periodos de retorno 50 años de ondas gélidas).

### 5.13 Tormentas de granizo

El granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo y se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulonimbus son arrastrados por corrientes ascendentes de aire. El tamaño de las piedras de granizo está entre los 5 milímetros de diámetro hasta el tamaño de una pelota de golf y las mayores pueden ser muy destructivas, como para romper ventanas y dañar la lámina de los automóviles; pero el mayor daño se produce en los cultivos o a veces, varias piedras pueden solidificarse formando grandes masas de hielo y nieve sin forma. (CENAPRED, 2014).

Las granizadas causan daños a la agricultura, viviendas e infraestructura. En México se presenta la distribución de las granizadas en las Sierras, con mayor incidencia en mayo, julio y agosto. Se considera un peligro y riesgo de tormentas de granizo cuando hay más de un día con granizo. (CENAPRED, 2014).

En Tijuana solo hay registros de dos días con granizo en diferentes fechas. La primera granizada ocurrió el 31 de marzo de 1998, sólo afectó el oriente de la ciudad dejando una capa de 15 cm de espesor. La segunda granizada ocurrió el 15 de febrero de 2008 a causa de una tormenta proveniente de Alaska, afectando sólo en las zonas montañosas del municipio. (CENAPRED, 2014).

Tabla 26. Días con granizo registrados en las estaciones climatológicas en el Municipio de Tijuana (y cercanas). Datos de las normales climatológicas elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional.

Estación	Años con datos (prom)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2068	13	0	0	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.4
2038	18	0.1	0.1	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0.8
2156	10	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
2114	10	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
2124	18	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.3
2030	20	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0.2	1.2
2069	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1

### Metodología

#### Nivel de análisis 1

Se realizó un análisis de los días de granizo publicados en las normales climatológicas del SMN, estos datos se presentan en la tabla 26 y corresponden a las siete estaciones climáticas localizadas en el municipio. Se realizó una interpolación spline con estos datos como se observa en el mapa de la figura 78.

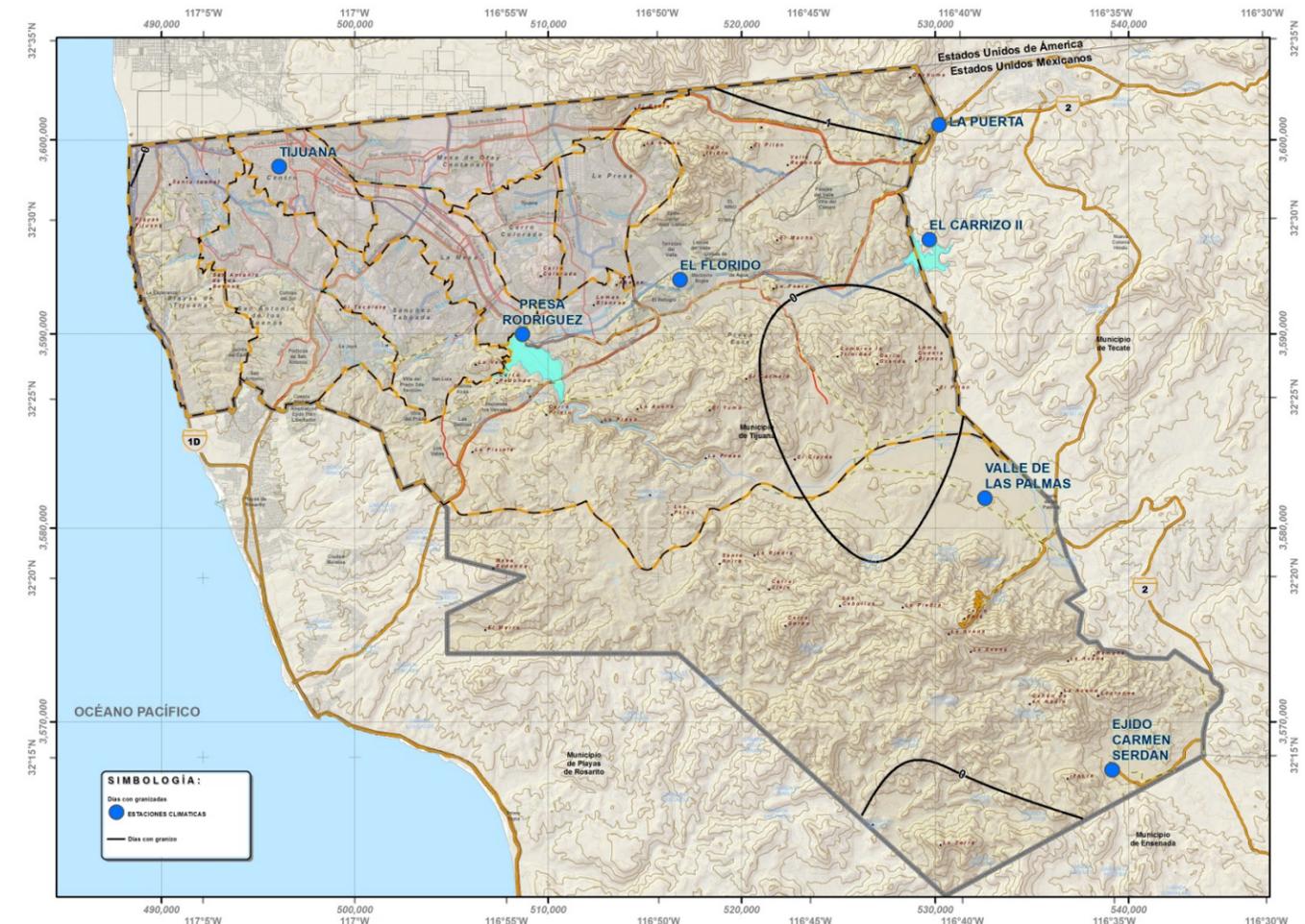


Figura 78: Mapa de días con granizadas. Elaborado con datos de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional.

De la tabla 26 y figura 78 se concluye que la frecuencia de granizadas en Tijuana es esporádica, por lo que no se considera como un peligro relevante en el municipio.

### 5.14 Tormentas de nieve

Una nevada es una precipitación que se compone de cristales de hielo que caen al piso. Ocurre cuando el vapor de agua contenido en el aire asciende hasta alcanzar zonas que tienen temperaturas similares a la de congelación. Las nevadas se presentan en espacios generalmente elevados. Estas condiciones ocurren en las montañas elevadas de México. En Baja California las zonas propensas a nevadas son las Sierras La Rumorosa, Juárez y San Pedro Mártir.

La vulnerabilidad ante este fenómeno se vincula con la acumulación de nieve en las laderas del relieve, lo que suele ocasionar deslizamientos y con esto afectar a zonas de cultivo y a poblaciones que se encuentran más abajo. También el peso de la nieve es peligroso en los techos de las casas y las copas de los árboles, las cuales pueden colapsarse. Congelamiento y marchitez de pasto, hierbas y vegetación en general, mantos de agua, suelo, casas, edificios, etcétera. (SEDATU, 2014).

En Tijuana se tienen registradas nevadas: en el 2008, una repentina y copiosa nevada cayó en las zonas altas de Baja California, además de nieve también hubo granizo y fuertes lluvias que provocaron que la temperatura descendiera drásticamente hasta los 4 grados bajo cero en las zonas montañosas (CENAPRED, 2014). En 2014 ingresaron al país tres tormentas invernales. Los estados más afectados por estos sistemas con descensos de temperatura y nevadas en regiones montañosas fueron: Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y Tamaulipas. El 31 de diciembre, la tormenta se ubicó entre Baja California, Sonora y provocó descenso de temperatura. Se reportaron nevadas en La Rumorosa y El Carrizo en Baja California. Los efectos de esta tormenta invernal perduraron hasta el 2 de enero de 2015 (SMN, reporte anual 2014).

### 5.15 Ciclones tropicales

El ciclón es una perturbación atmosférica de área casi circular con presiones que disminuyen hacia su interior. Consiste en una gran masa de aire con vientos fuertes que giran en forma de remolino alrededor de un centro de baja presión. Esta perturbación, que suele trasladarse con velocidades de 10 a 40 km/h, transporta humedad (Fuentes Mariles, 1972). Se origina en las regiones tropicales, asociado con un centro de baja presión, fuertes vientos y poderosas tormentas.

De todos los ciclones o huracanes que llegan a México solo el 6% ha tocado tierra o ha pasado cerca en Baja California. Debido a la localización geográfica en que se encuentra la entidad, la actividad ciclónica es de poca ocurrencia. El mes en que mayormente se presentan los ciclones es el de septiembre con 7 años de ocurrencia (1924, 1926, 1946, 1947, 1963, 1968 y 1992), le sigue agosto con 2 (1929 y 1951), el año con más ciclones es 1928 con dos.

En el municipio de Tijuana según el registro de ciclones Históricos solo se ha presentado un evento clasificado como tormenta tropical Jen-Kath (Figura 79) según la escala Saffir-Simpson (ver tabla 27). Esta se presentó del 17 al 19 de septiembre de 1963 con vientos de 45 mph, que se debilitó cerca de Baja California y causó varias pulgadas de lluvias a California (<http://weather.unisys.com>). Para más información visitar [www.met-wrf.cicese.mx](http://www.met-wrf.cicese.mx).

Tabla 27. Código de intensidad de color basada en la escala Saffir-Simpson:

Tipo	Categoría	Presión (mb)	Viento (knots)	Viento (mph)	Color de línea
Depresión	td	-----	< 34	< 39	Green
Tormenta Tropical	TS	-----	34-63	39-73	Yellow
Huracán	1	> 980	64-82	74-95	Red
Huracán	2	965-980	83-95	96-110	Light Red
Huracán	3	945-965	96-112	111-130	Magenta
Huracán	4	920-945	113-135	131-155	Light Magenta
Huracán	5	< 920	>135	>155	White



Figura 79. Mapa de Huracanes históricos, se muestra la tormenta tropical Jen-Kath que afectó el municipio de Tijuana.

### 5.16 Tornados

Un tornado es la perturbación atmosférica más violenta en forma de vórtice, el cual aparece en la base de una nube de tipo cumuliforme, resultado de una gran inestabilidad, provocada por un fuerte descenso de la presión en el centro del fenómeno y fuertes vientos que circulan en forma ciclónica alrededor de éste. De acuerdo con el Servicio Meteorológico de los EUA (NWS, 1992), los tornados se forman cuando chocan masas de aire con diferentes características físicas de densidad, temperatura, humedad y velocidad.

Cuando se observa un tornado se puede distinguir una nube de color blanco o gris claro, mientras que el vórtice se encuentra suspendido de ésta; cuando el vórtice hace contacto con la tierra se presenta una nube de un color gris oscuro o negro debido al polvo y escombros que son succionados del suelo por la violencia del remolino (CENAPRED, 2014).

México presenta las condiciones meteorológicas necesarias para la formación de los tornados superceldas y no-superceldas (Macías, 2001). En algunos lugares se presentan estacionalmente y en otros esporádicamente. En la actualidad, los registros que se han logrado recabar para conocer la frecuencia e intensidad de estos fenómenos, además de su localización geográfica, son pocos, remitiéndose exclusivamente a una recopilación de información existente entre testimonios históricos en la época de 958-1822, siglo XIX-XX, notas periodísticas 2000-2007, e información popular obtenida en trabajo de campo (Avendaño, 2006).

Para el caso de Tijuana no se han registrado tornados. Sin embargo, en la guía del CENAPRED sobre tormentas severas (CENAPRED, 2014) aparece en el mapa de distribución de tornados un registro para Tijuana en el periodo 2000 – 2008, el cual publican sin ninguna certeza y agregan una nota que dice: Esta distribución de tornados debe de tomarse con las reservas necesarias, ya que no hay verificación exhaustiva de cada uno de los eventos registrados.

### 5.17 Vientos y tormentas de polvo

Los vientos se rigen por perturbaciones atmosféricas. Los vientos dominantes se disponen en una serie de cinturones alrededor del globo terrestre. El comportamiento del viento también varía según sea la época del año (fascículo INEGI, 2002). Para la región del noroeste de México se presentan ya sea por un ciclón tropical o por condición Santa Ana. Para Tijuana, el viento más recurrente, con frecuencia cada año y que causa daños al Estado de Baja California es el viento Santa Ana.

Un viento Santa Ana es un viento seco, a veces caliente y con mucho polvo en el suroeste de California y norte de Baja California que sopla hacia el oeste a través de los cañones hacia las zonas costeras. Los vientos Santa Ana son un fenómeno estacional, ocurren mayormente en el otoño, invierno y primavera, tendiendo el máximo en diciembre. Suele tener su origen cuando el aire frío se esparce hacia el sur en la Gran Cuenca, atrapado entre las rocas del este y las Sierras, con la cordillera de la costa al sur de California. Esta masa de aire fría se caracteriza por la alta presión cerca de la superficie de la tierra. Los vientos son impulsados en el sur de California hasta el norte de Baja California cuando la presión de esta masa de aire exterior excede la presión a lo largo de la Costa (<http://meteora.ucsd.edu/>).

La Condición de Santa Ana es un mecanismo que contribuye sustancialmente a la fertilización del océano de la Península de Baja California. Esto ocurre normalmente de octubre a marzo, generan tormentas de polvo, que pueden afectar a la salud de la población y promueve la propagación de incendios forestales por la falta de humedad en el aire (CICESE, 2011).

El principal peligro que generan estos vientos son los incendios forestales, por lo tanto se da mayor énfasis al desarrollo de peligro por incendios forestales (sección 5.21).

### 5.18 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). Las tormentas se asocian a nubes convectivas (cumulonimbus) y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos; pero en ocasiones puede ser nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo (OMM, 1993). Son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados. (CENAPRED, 2014).

Las tormentas eléctricas en México ocurren entre mayo y octubre. Se presentan con mayor frecuencia durante horas de la tarde o de la noche. Además, su ámbito es local o regional y son intermitentes como resultado de la topografía del país (UNAM, 2007). Así, el promedio anual de días con tormenta es de 30 y el máximo es de 100 sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de Chiapas, Montañas del Norte de Chiapas y Sistema Volcánico Transversal.

Tabla 28. Días con tormentas eléctricas registrados en las estaciones climatológicas en el Municipio de Tijuana (y cercanas). Datos de las normales climatológicas elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional.

Estación	Años con datos (prom)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2068	13	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
2038	18	0.1	0.1	0.2	0	0.1	0	0.1	0.2	0.1	0	0.3	0.1	1.3
2156	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2114	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2124	18	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.2
2030	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2069	19	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1

### Nivel de análisis 1

Se realizó un análisis de los días con tormentas eléctricas publicados en las normales climatológicas del SMN, estos datos se presentan en la tabla 28 y corresponden a las siete estaciones climáticas localizadas en el municipio. Se realizó una interpolación spline con estos datos como se observa en el mapa de la figura 80.

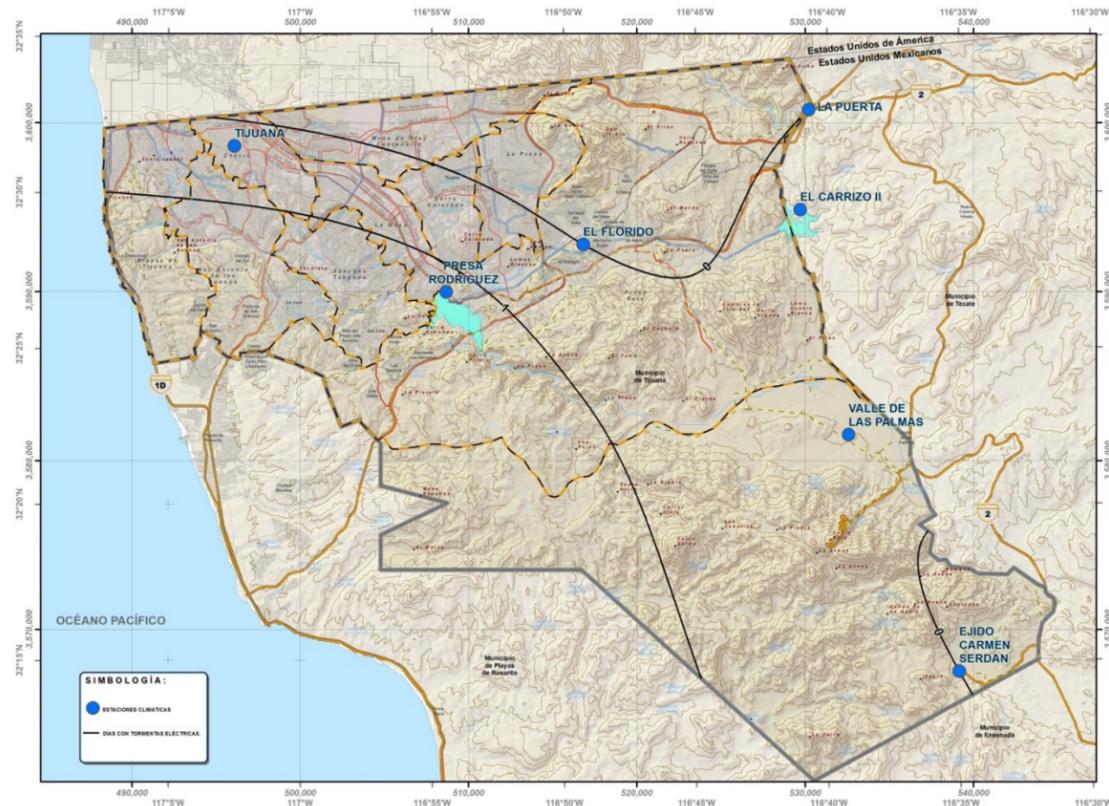


Figura 80: Mapa de días con tormentas eléctricas. Elaborado con datos de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional.

De la tabla 28 y figura 80 se concluye que en Tijuana no se han presentado tormentas eléctricas con recurrencia anual, el fenómeno es esporádico pues la precipitación en los meses de tormentas es escasa. Puede considerarse un peligro no recurrente en Tijuana.

### 5.19 Lluvias extremas

Se consideran lluvias extremas a las lluvias con intensidades de precipitación máximas capaces de crear inundaciones o con probabilidad de inundaciones. Las intensidades de precipitación consisten en saber cuál es la duración de la lluvia y la altura que alcanzará en un intervalo de tiempo. La idea básica del peligro de las lluvias extremas, es que si un municipio tiene un registro histórico de lluvias que puede correlacionarse con daños, es entonces posible definir, en primer nivel, un umbral o valor crítico para la intensidad de la lluvia (Obasi, 2001).

El CENAPRED ha elaborado mapas de isoyetas (línea curva que une los puntos, en un mapa, que presentan las mismas precipitaciones en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se pueden diseñar un gran número de mapas con isoyetas, por ejemplo: isoyetas de la precipitación media del mes de enero, de febrero, etc., o las isoyetas de las precipitaciones medias anuales, etc., a escala nacional, donde puede estimarse un umbral de precipitación para cualquier municipio o ciudad del territorio nacional, para diferentes periodos de retorno. Donde cada periodo de retorno representa la probabilidad de ocurrencia y las máximas precipitaciones que pueden darse.

En el municipio de Tijuana las máximas precipitaciones que se han presentado han sido en el año 1993 alcanzó los 315.2 mm y en 2004 con 207.9 mm. Estos dos casos han sido de poca duración, sin embargo ocasionaron inundaciones, por lo tanto, debe considerarse como un evento que puede repetirse e incluso rebasar las anteriores precipitaciones.

#### Metodología

##### Nivel de análisis 1

Se hizo el análisis de las lluvias extremas a través de registros históricos de precipitación máxima, de la estación con más registros, la Presa Rodríguez, para el periodo de 1933 a 2010, donde se han presentado las máximas precipitaciones por día. Para el análisis se tomaron los valores máximos diarios con precipitaciones mayores a 100 mm, las cuales se consideran puedan causar una inundación. Se tienen registros en 1993 y 2004 como eventos de corta duración y muy localizados. Los daños que pueden causar estas lluvias se describen en el apartado de inundaciones.

Las figuras 81 y 82 muestran las máximas precipitaciones registradas en los meses de lluvias, que corresponden a los meses de enero a abril y de octubre a diciembre. Se analizaron registros de 77 años y las gráficas muestran una frecuencia muy baja de lluvias extremas, esto indica que la probabilidad de ocurrencia es baja como muestran las intensidades reportadas en los mapas de isoyetas para los diferentes periodos de retorno.

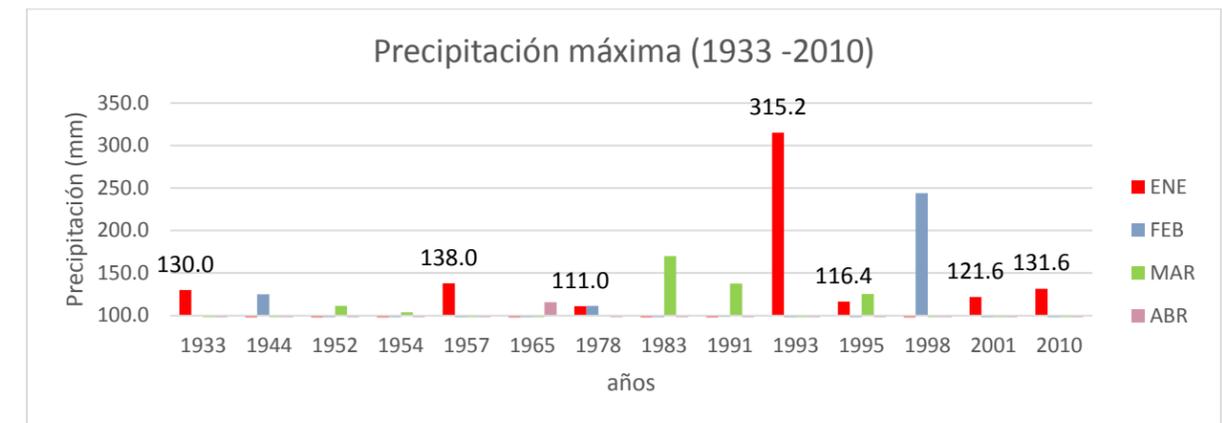


Figura 81. Análisis de datos de precipitación máxima diaria, para los meses de enero a abril (Datos esmas CNA), estación Presa Rodríguez, Tijuana.

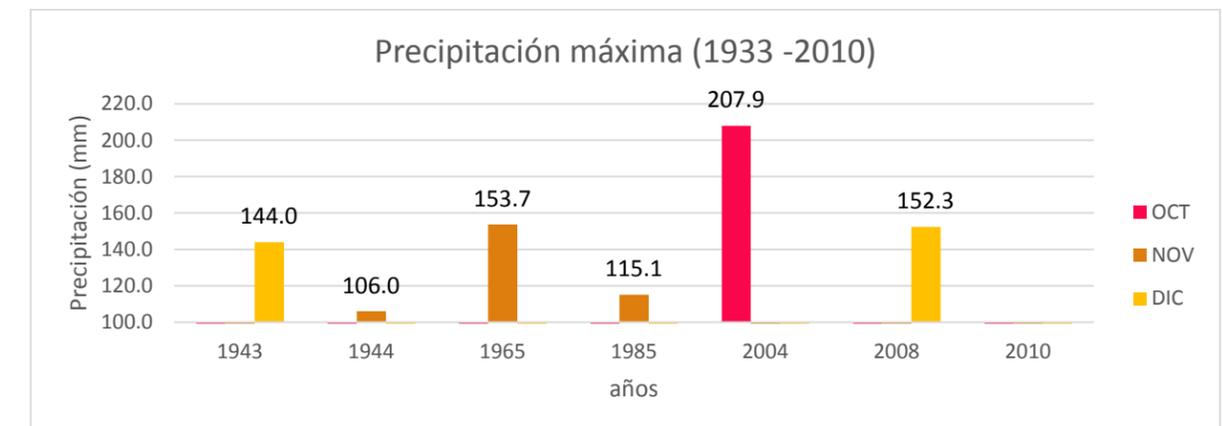


Figura 82. Análisis de datos de precipitación máxima diaria, para los meses de octubre a noviembre (Datos esmas CNA) estación Presa Rodríguez, Tijuana.

**Análisis de resultados**

Se compararon los registros de precipitaciones máximas de 77 años con los mapas de isoyetas publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte en 2014, que tienen que ver con precipitaciones torrenciales típicas de la ocurrencia y recurrencia de sistemas tropicales. Se encontró que las máximas precipitaciones registradas para Tijuana corresponden a periodos de retorno de 500 y 1000 años (figura 83). La aproximación de estas isoyetas resulta en los isopolígonos de lluvias extremas, igual a las lluvias registradas para Baja California como lluvias extremas en el programa contra la sequía (PRONACOSE, 2014), de este programa se extrajo el mapa de lluvias extremas, el cual indica que estas precipitaciones ocurrirían entre 2061 y 2090 (figura 84).

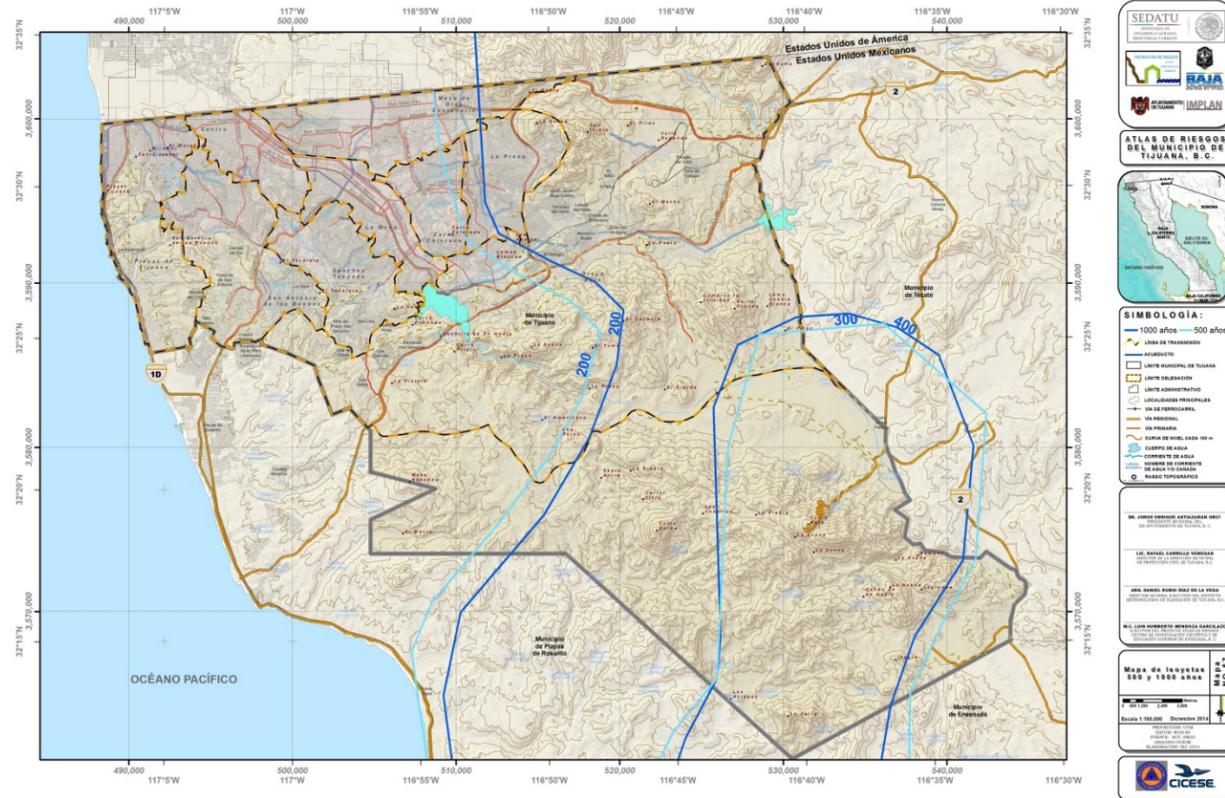


Figura 83. Isoyetas para los periodos de retorno de 500 y 1000 años (SCT).

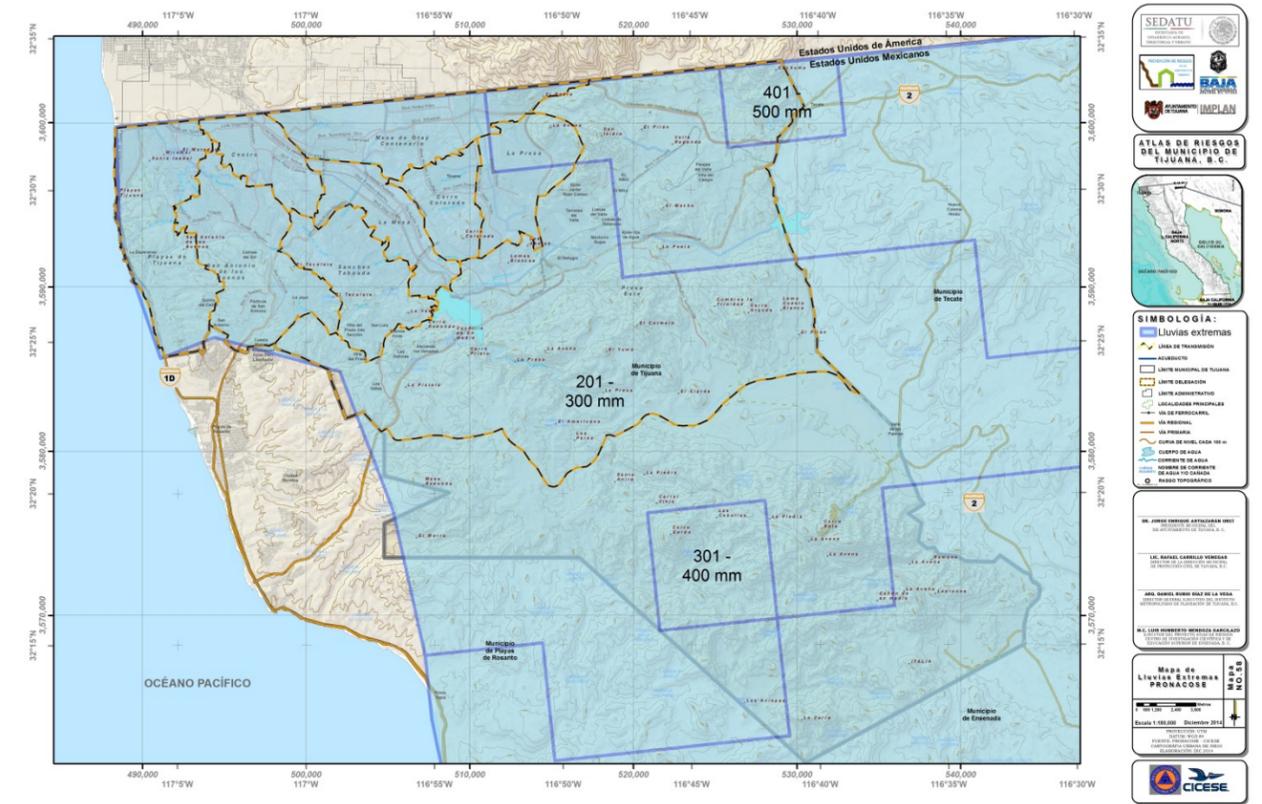


Figura 84. Mapa de lluvias extremas (PRONACOSE 2014), con probabilidad a ocurrir entre 2061 y 2090.

5.20 Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres

Las inundaciones que se han presentado en Tijuana han sido de tipo pluvial. Las primeras inundaciones registradas para la historia de Tijuana son de 1874 a 1891 provocadas por las intensas lluvias y originaron la ubicación de la ciudad actual. Parte de zona urbana de Tijuana se encuentra dentro de la Cuenca del Río Tijuana, la cual se concentra en ambos lados de la frontera, dos terceras partes en México y una en Estados Unidos. En sus inicios, Tijuana era un poblado, llamado localidad de la Tía Juana, en terreno de Estados Unidos y la inundación de 1891 obligó el traslado del pueblo a los terrenos que hoy ocupa el centro histórico de Tijuana (Conklin, 1988). El establecimiento original sobre la llanura de inundación del río Tijuana y su posterior ubicación sobre una terraza del mismo río determinan, hasta el momento, el carácter vulnerable de la ciudad ante lluvias intensas (Rodríguez Esteves, 2007).

El clima dominante de Tijuana es templado, semiseco extremo (Gobierno del Estado, 2001), con temperatura media anual de 12-18 grados centígrados y precipitación pluvial anual promedio de 273 milímetros, esencialmente durante la temporada invernal. Variaciones importantes a esos parámetros se presentaron en 1993 y 1998, años en que las precipitaciones alcanzaron 316 y 432 milímetros respectivamente. Particularmente crítico fue el año de 1993, porque se manifestaron inundaciones, flujos de lodo, flujos de detritos, debilitamiento, inestabilidad y movimiento de masas; arrojando un saldo calificado como catastrófico, porque afectó propiedades, infraestructura e integridad de personas, incluyendo 39 decesos (Rosquillas y Mendoza, 2000). En 1998, se presentaron inundaciones, algunos flujos de lodo e inevitablemente movimientos de masas. El pronóstico para el período octubre 2014-abril 2015 considera una precipitación para la región ligeramente arriba del promedio, lo que significa atención por las condiciones de riesgo asociadas.

La ciudad de Tijuana es muy vulnerable a este tipo de evento debido a la topografía accidentada y precipitaciones intensas de poca duración que se traducen en escurrimientos rápidos. Las consecuencias de las inundaciones se agravan debido a que dentro de la ciudad existen áreas con formaciones geológicas de sedimentos marinos que presentan derrumbes potenciales y suelos arcillosos grises que se expanden cuando son humedecidos por las lluvias (Ojeda y Álvarez, 2000).

## Método de estudio de peligro por inundación

### Nivel de análisis 2

Basado en la metodología del CENAPRED (Metodología para la elaboración de mapas de riesgos por inundaciones en zonas urbanas, 1ª edición, julio 2011, Versión Electrónica 2014). Modelo matemático MDT celdas 5 x 5m. Análisis nivel 2 bases de SEDATU Tirante de agua vs velocidad de flujo, HEC-RAS. Herramientas (softwares): ArcGIS 10.1, HEC-GeoRAS, HEC-RAS y Excel.

A partir del modelo digital de elevación del terreno (MDT LIDAR resolución 5m x 5m) se determinaron las cuencas y arroyos de Tijuana para evaluar el peligro de inundación con el método de la guía de CENAPRED. Luego de delimitar los arroyos se hizo un recorrido en campo para comparar los arroyos, lo observado en campo fue que los arroyos corresponden a la red pluvial de Tijuana, esta red se consultó en la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), de donde se obtuvo la cartografía de la red pluvial. Con los datos de las cuencas, arroyos y la red pluvial se tomaron mediciones en los arroyos para determinar la capacidad de agua que corre por estos arroyos ante las precipitaciones de mayor intensidad en Tijuana. El análisis se hizo en

canales de cielo abierto y terminó donde el agua es canalizada por alguna alcantarilla hacia el río Tijuana. Los arroyos estudiados se muestra en la figura 85 y corresponden a:

1. Pastejé o Aviación (PaoA53)
2. El Matadero (EIMa65)
3. Los Laureles (LoLa66)
4. Sistema Centro (SiCe69)
5. Aguaje de la Tuna (AgTu90)
6. Sánchez Taboada (SaT121)
7. El Florido (EIF1144)
8. El Sainz (EISa177)
9. Cañón San Antonio (CaSa123)
10. Rinconada (Rinc21)

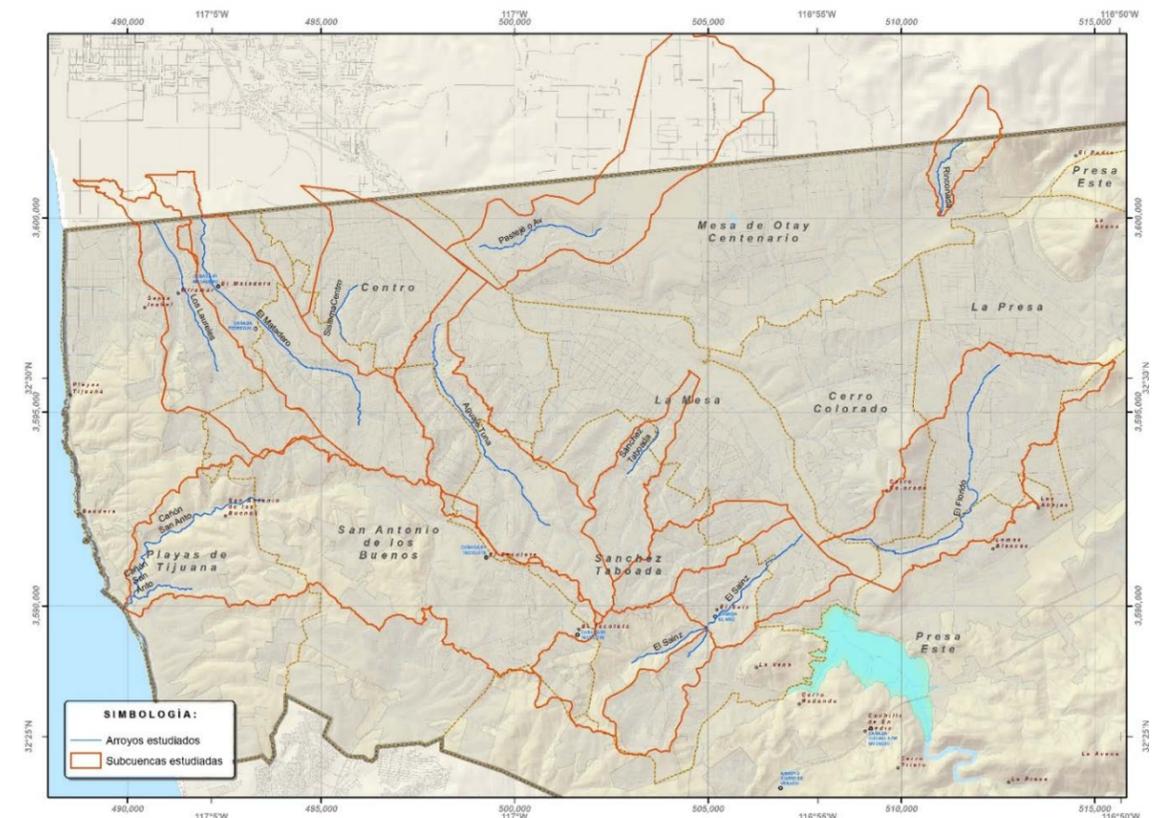


Figura 85. Arroyos estudiados y evaluados en HEC-RAS de la zona urbana de Tijuana.

Para evaluar cada uno de estos arroyos se determinó el gasto de agua que circulará aplicando el método racional americano definido como la ecuación 6:

$Q = 0.278CI_pA \rightarrow$  Ecuación 6, donde:

Q = Gasto en m<sup>3</sup>/s  
 C = Coeficiente de escurrimiento, adimensional  
 I<sub>p</sub> = Intensidad de lluvia de la tormenta de diseño, en mm/h  
 A = Superficie drenada en km<sup>2</sup>

Los datos de precipitación para calcular el caudal se tomaron de las isoyetas de la Secretaría de Comunicación y Transporte publicadas en 2014. Se evaluaron 6 periodos de retorno: 10, 20, 25, 50, 100 y 500 años. Las características físicas de las subcuencas se calcularon con el MDT, el coeficiente de escurrimiento con datos de la pendiente, uso de suelo y edafología de los mapas de INEGI. Todos los datos y cálculos de los caudales para los diferentes periodos de retorno se encuentran en la tabla de atributos de las subcuencas (Tabla 29).

Tabla 29. Tabla de atributos de subcuencas, datos para cálculos de caudales

GridID	Nombre	BasinSlope	Tc_min	area	Slp	RivLen	Ts	Us	Pt	C_esc
21	Rinconada	14.522282	25.3649	2.85547	0.055756	2375.53347	1.5	0.3	2.5	1.125
53	Pasteje o Aviación	4.374787	48.9165	18.6501	0.020337	3706.58	1.5	0.3	1.5	0.675
65	El Matadero	11.514283	84.0246	16.23	0.023095	7974.86	1.5	0.3	2.5	1.125
66	Los Laureles	13.080239	49.3697	12.1296	0.026853	4310.52	1.5	0.3	2.5	1.125
69	Sistema Centro	7.710511	46.8426	12.3027	0.020664	3531.83	1	0.3	2	0.6
90	Aguaje de la Tuna	13.248885	56.3152	16.0786	0.029106	5324.33	1.5	0.2	2.5	0.75
121	Sanchez Taboada	11.081741	25.1478	5.60258	0.03033	1907.67	1.5	0.2	2.5	0.75
144	El Florido	9.434137	107.588	19.5314	0.013443	8387.5	1.5	0.3	2	0.9
155	Mexico Lindo	14.965141	18.439	5.49037	0.033178	1333.43	1.5	0.2	2.5	0.75
177	El Sainz	14.416584	48.1505	7.65105	0.025713	3708.61332	1.5	0.2	2.5	0.75
177	El Sainz	14.45647	15.9619	4.44199	0.031117	972.480231	1.5	0.2	2.5	0.75
177	El Sainz	16.365808	31.9728	7.41411	0.027218	2241.944075	1.5	0.2	2.5	0.75

Nombre	I_10yr	I_20yr	I_25yr	I_50yr	I_100y	I_500y	Qm3s_10	Qm3s_20	Qm3s_25	Qm3s_50	Qm3s_100	Qm3s_500
Rinconada	32.5	38	39.8	44.8	50.1	114.67	29.0241	33.9358	35.543	40.0086	44.7417	102.406
Pasteje o Av	46	49.5	52	55	57.5	79.87	160.986	173.235	181.98	192.483	201.232	279.52
El Matadero	32.2	34.3	36	39	40	56.04	163.445	174.104	182.73	197.961	203.037	284.455
Los Laurele	45.5	49	51	54.5	57	79.27	172.606	185.883	193.47	206.748	216.231	300.713
Sistema Cen	47.2	51.2	53.5	57	59.7	81.72	96.8587	105.067	109.78	116.969	122.51	167.697
Aguaje de la	25.8	31	33	38	42	73.3	86.4916	103.924	110.62	127.391	140.8	245.73
Sanchez Ta	33	38	39.8	45	50	115.99	38.5486	44.3892	46.491	52.5662	58.4069	135.492
El Florido	14	24	24.8	28	31.2	47.29	68.4146	117.282	121.19	136.829	152.467	231.095
Mexico Lind	39	45	47	52	59	132	44.6449	51.5134	53.802	59.5266	67.5398	151.106
El Sainz	35.5	38	39	43	49.5	80.47	56.6312	60.6193	62.214	68.5955	78.9646	128.369
El Sainz	49	57	63.5	68.5	71.5	138.81	45.3816	52.7908	58.810	63.4416	66.2201	128.56
El Sainz	39.5	44	48.5	49	58.5	101.92	61.0608	68.017	74.973	75.7463	90.4318	157.552

**Ejemplo de modelado en HEC-RAS para la subcuenca 53**

Una vez calculado el caudal se hace el modelado con el HEC-RAS para conocer el área de inundación. En cada uno de los arroyos se trazaron secciones transversales, siguiendo los puntos de mediciones en campo, estas secciones se editaron en el HEC-RAS, se introdujeron los datos de coeficientes de rugosidad de 'manning', caudal y condiciones de frontera para el régimen de flujo. En el HEC-RAS se revisó cada sección para editar los datos del canal, profundidad, forma y ancho (Figuras 86 y 87). Luego se introdujeron los datos del caudal para los 6 periodos de retorno.



Figura 86. Fotos de secciones de arroyos tomadas en recorrido en campo, del cual se tomaron topografía, ancho y forma.

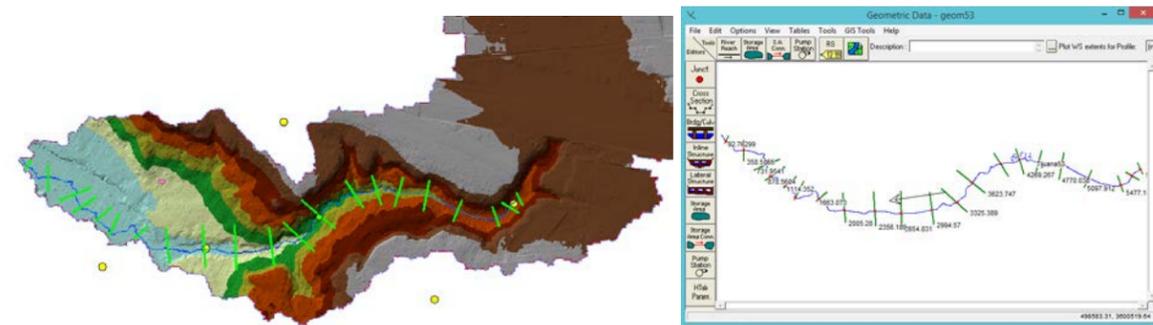


Figura 87. Subcuenca 53 con arroyo y secciones transversales.

Se computó el programa para determinar la altura del agua y las velocidades de flujo, estos datos se exportaron a ArcGIS y con el diagrama de Dórrigo (bases de SEDATU) se ponderó el peligro de inundación.

### Resultado del análisis

Para cada uno de los arroyos se obtuvieron diferentes alturas de agua en cada periodo de retorno. La figura 81 muestra el resultado para 500 años del ejemplo 53 correspondiente a Pastejé o Aviación.

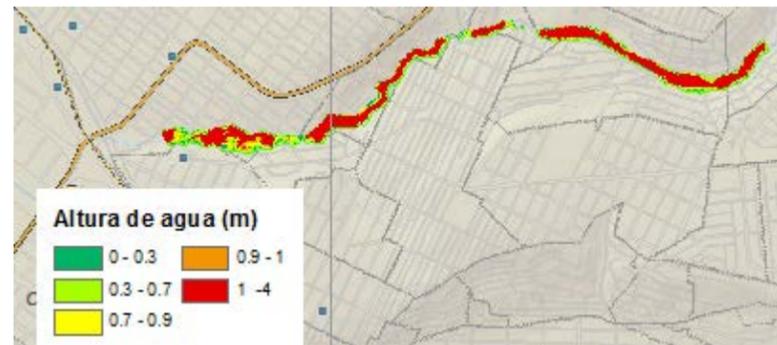


Figura 88. Resultado de tirante de agua para la cuenca 53 exportado a ArcGIS.

Los datos y resultados digitales para cada uno de los arroyos estudiados se encuentran en carpetas con el número de cada subcuenca, contienen los datos preparados en ArcGIS, el proyecto HEC-RAS con extensión \*.prj y los resultados a verse en ArcGIS, dentro de la subcarpeta "02004\_INUNDACION\_ESCENARIOS" en la CARPETA BASE.

Del análisis de los 6 periodos de retorno resultaron 12 mapas, a escala 1:50,000 en el que se dividió a la zona urbana en zonas Este y Oeste para mejor visualización de los mapas de peligros. Todos los mapas están en la CARPETA BASE. Las figuras 89 a 92 muestran los resultados para periodos de retorno más bajos y más altos en el análisis (10 años y 500 años).

Además del análisis por cada periodo de retorno se cuenta con el mapa de zonas potenciales a inundarse, hecho a partir de un recorrido y reconocimiento en campo por Protección Civil municipal en el periodo 2013-2014 previo y posterior a la temporada de lluvia (figura 93).

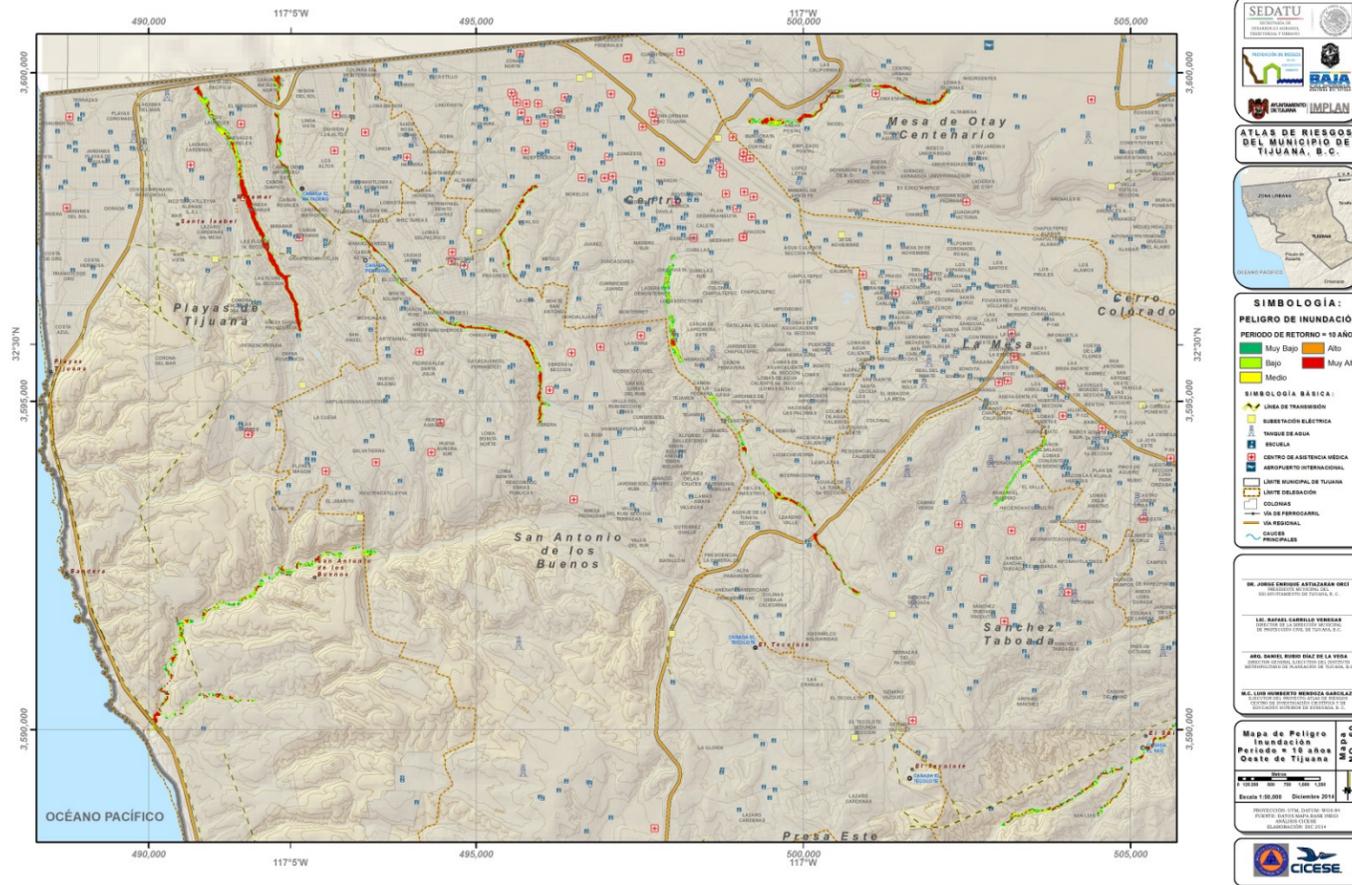


Figura 89. Resultado de peligro de inundación para un periodo de retorno de 10 años para el Oeste de Tijuana.

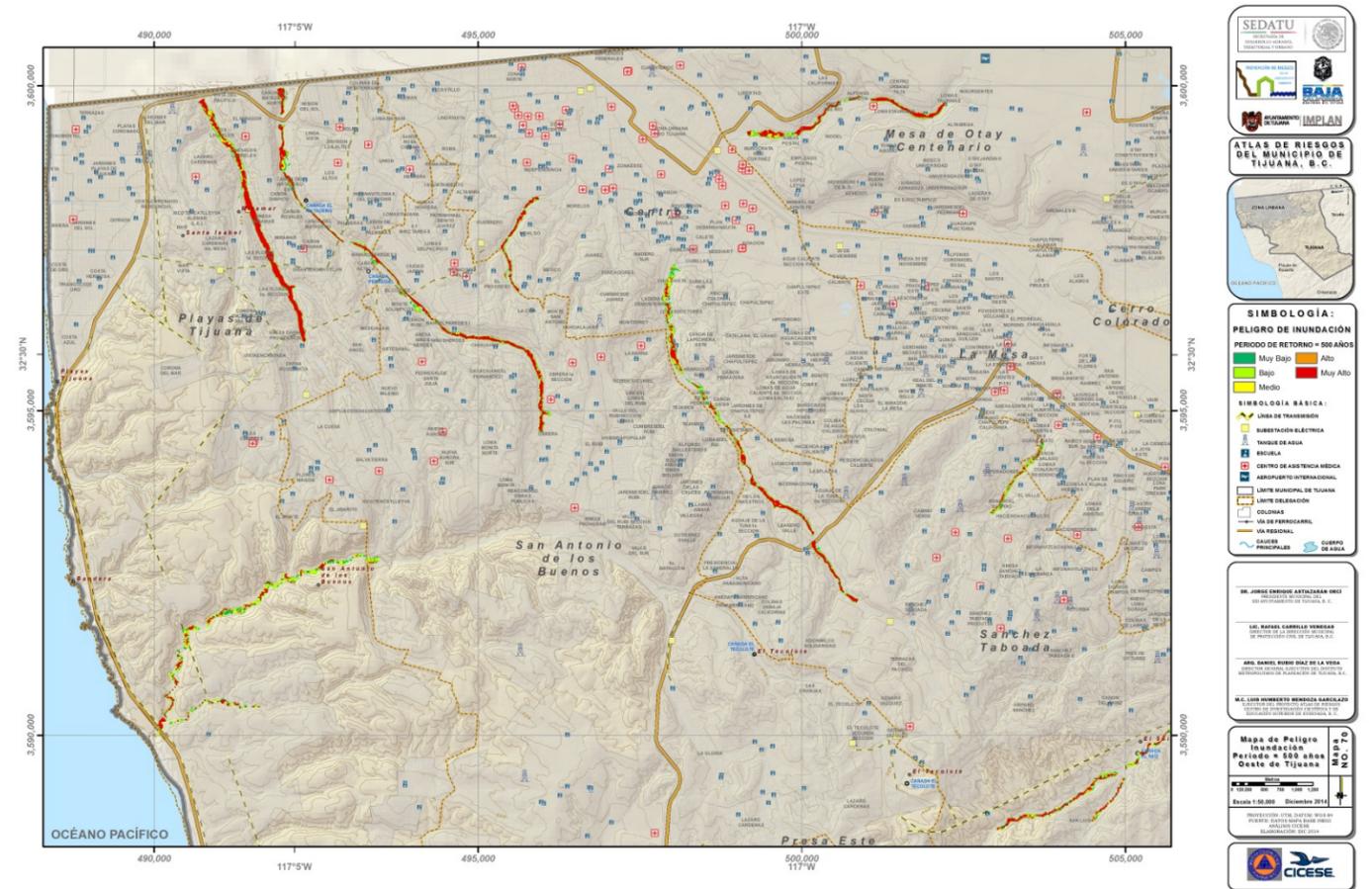


Figura 90. Resultado de peligro de inundación para un periodo de retorno de 500 años para el Oeste de Tijuana.

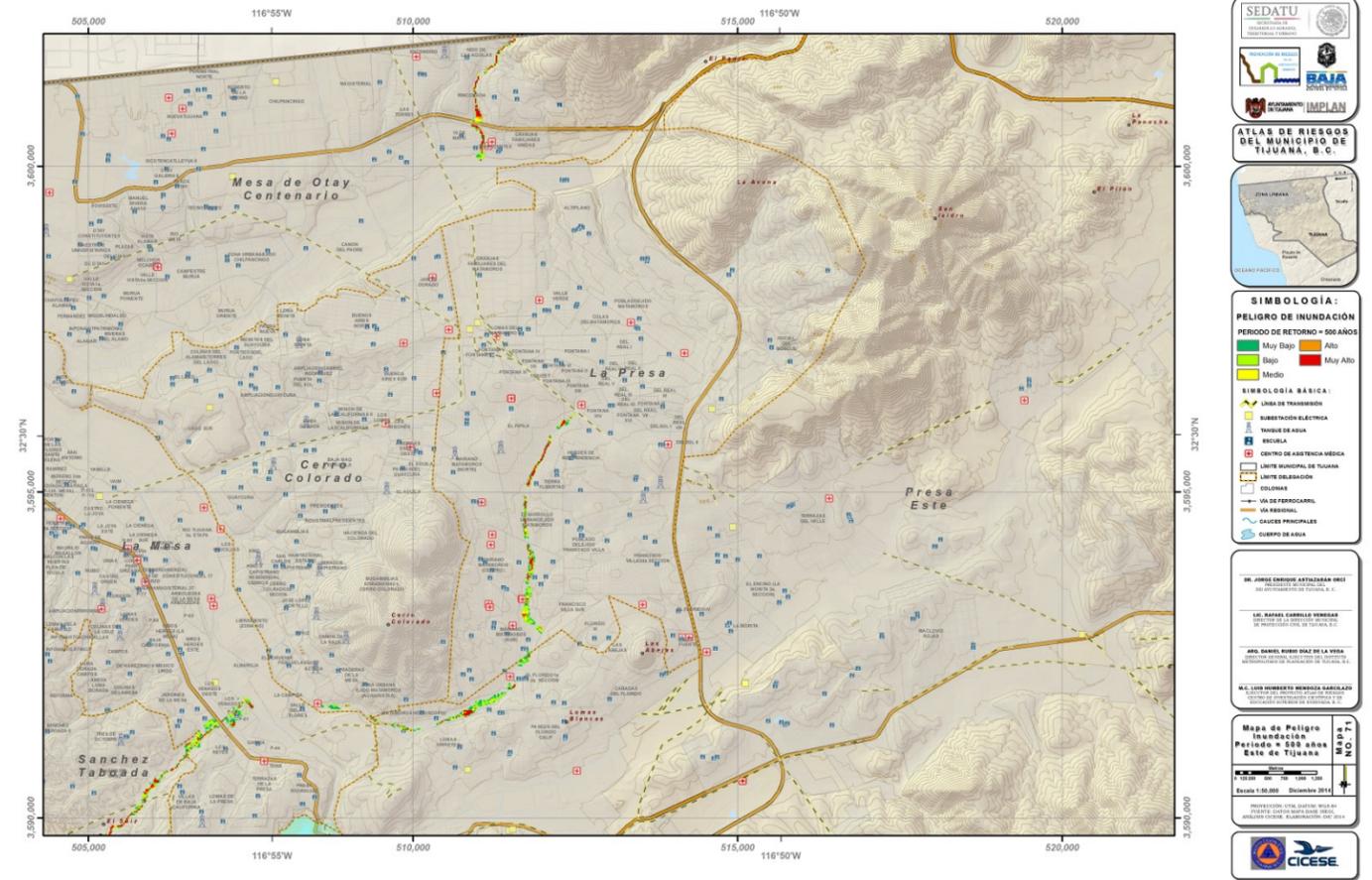
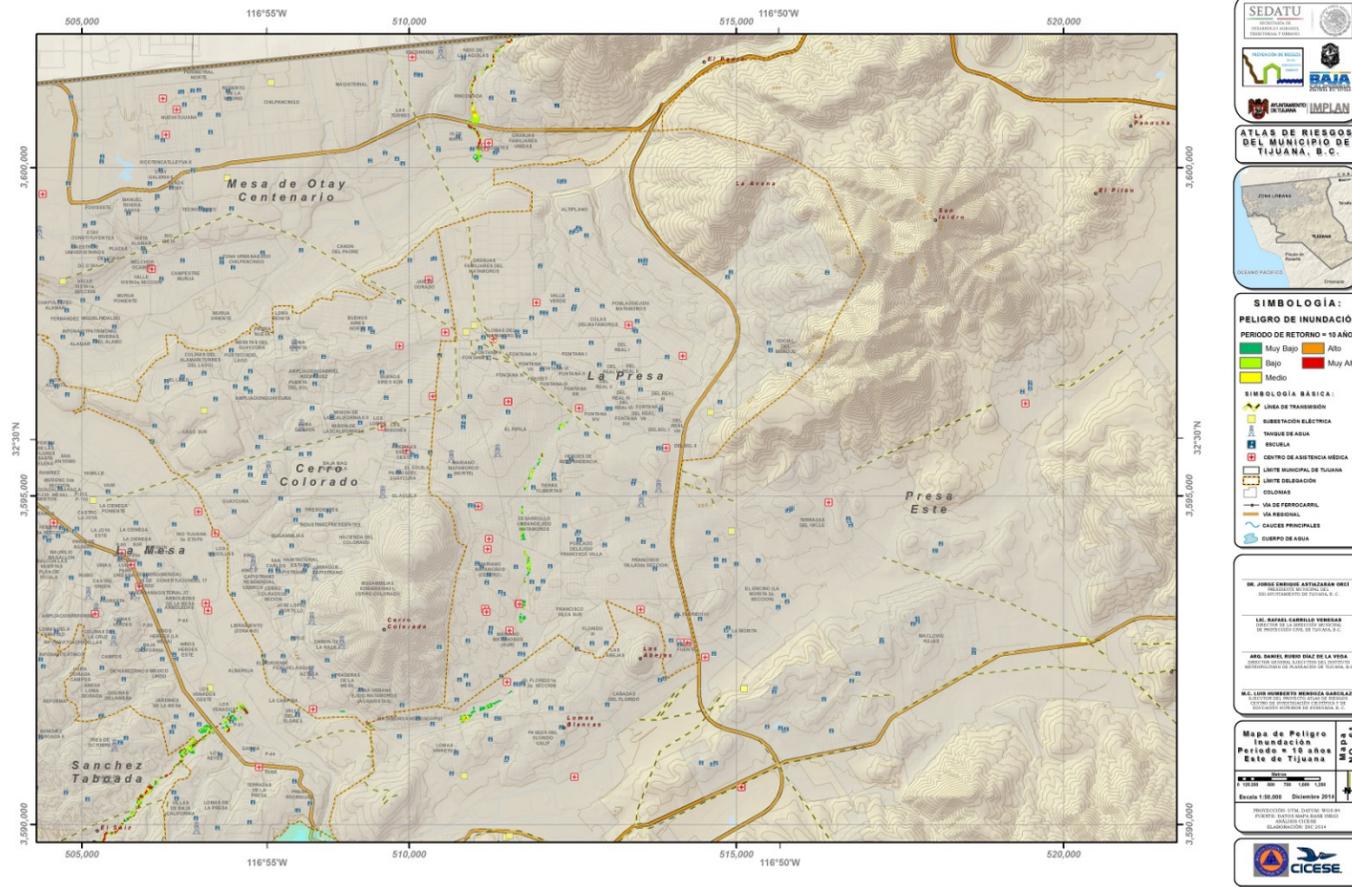


Figura 91. Resultado de peligro de inundación para un periodo de retorno de 10 años para el Este de Tijuana.

Figura 92. Resultado de peligro de inundación para un periodo de retorno de 500 años para el Este de Tijuana.

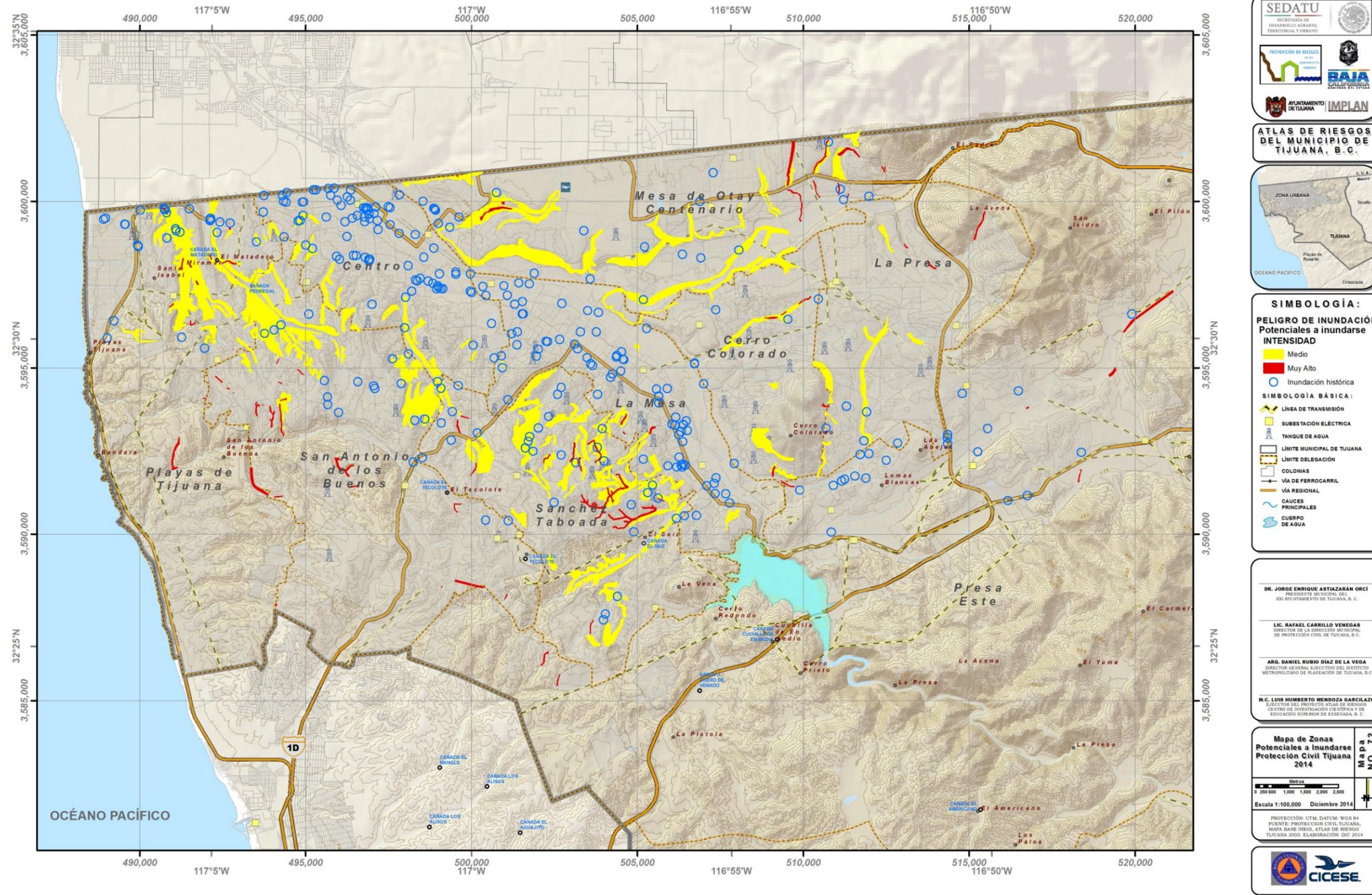


Figura 93. Zonas potenciales a inundarse por reconocimiento en campo por Protección Civil municipal 2013-2014 con inundaciones históricas.

## 5.21 Incendios forestales

Los incendios forestales en Baja California representan un peligro muy latente derivados de la sequía, vientos Santa Ana y la acción del hombre. Estos incendios abarcan toda la península, por tanto incluyen a Tijuana. Los incendios históricos muestran las causas de los incendios, los cuales han ocasionado muchos daños y pérdidas a la población. En este atlas se incluyeron los mapas de índice de peligros de incendios con la capa de incendios históricos para realizar el análisis de riesgo. El objetivo es identificar geográficamente los índices de peligro de incendios, para la estimación de las áreas propensas a peligros de incendios forestales en diferentes escenarios.

La CONAFOR es la instancia que recopila la información estadística de la ocurrencia de incendios forestales en cada una de las entidades federativas y la concentra en el Centro Nacional de Control de Incendios Forestales, atiende a este fenómeno en tres temporadas: temporada 1 de noviembre a abril (Figura 94), temporada 2 (Figura 95) de mayo a agosto y temporada 3 de septiembre a octubre (Figura 96).

### Metodología para determinar el índice de peligro de incendios forestales

Para obtener el índice de peligro de incendios en la zona forestal de Baja California, se llevó a cabo la siguiente metodología:

1. Analizar el modelo matemático de Rothermel para la determinación de índices de peligro de incendio.
2. Analizar las características de los modelos de combustibles requeridos por el modelo de Rothermel.
3. Analizar las variables meteorológicas requeridas para el modelo de Rothermel.
4. Analizar de los tipos de vegetación de Baja California para definir el modelo de combustible correspondiente.
5. Clasificar los tipos de vegetación asignando un modelo de combustible y registrarlo en la base de datos de la representación vectorial de la vegetación.
6. Analizar los datos meteorológicos históricos de la zona forestal de Baja California para seleccionar la información correspondiente a la temporada uno, noviembre a abril.
7. Generar una base de datos de los datos meteorológicos históricos de la temporada.
8. Obtener los promedios de cada una de las variables meteorológicas requeridas para el cálculo de los índices de peligro de incendio.

9. Generar una base de datos con las características de los modelos de combustibles.
10. Generar una base de datos de los polígonos de forma que representen la vegetación de Baja California, con la referencia del modelo de combustible y datos meteorológicos históricos correspondientes.
11. Implementar un algoritmo computacional para el cálculo de índices de peligro de incendio.
12. Generar un nuevo Shape de índices de peligro de incendio a partir de los resultados del cálculo.
13. Crear un modelo de geoprocésamiento con el ModelBuilder de ArcGis para generar los índices de peligro de incendio forestales (IPIF). El modelo incluye:
  - a. Índices de peligro de incendio del modelo de Rothermel.
  - b. Frecuencia de incendios forestales históricos.
  - c. Pendientes de terreno de la zona forestal, derivadas del modelo digital de elevación.
14. Clasificar los resultados de los IPIF para generar la cobertura espacial en la herramienta ArcMap 9.3.

Para el dato de incendios históricos se obtuvo a través de la Dirección Estatal de Protección Civil donde se solicitó de manera oficial a la Gerencia Estatal Baja California (CONAFOR) con sede en la Cd. de Mexicali, B. C., los datos estadísticos de incendios en los cuales se incluyó la siguiente información: listado de incendios por temporada con ubicación geográfica (grados-minutos-segundos), nombre del predio y/o paraje donde ocurrió el incendio, municipio donde ocurrieron los incendios, fecha de inicio, fecha de término, causas probables que ocasionaron los incendios, de acuerdo a indicios encontrados en el sitio donde inició el incendio, superficie afectada total y por tipo de estrato vegetal. La georeferenciación de los incendios se llevó a cabo por brigadistas de la Comisión Nacional Forestal utilizando aparatos GPS marca Garmin, de diferentes modelos configurados con el Datum WGS-84. De cada incendio se registró la coordenada geográfica en el punto de inicio de cada incendio, donde a su vez se tomó el nombre del paraje más cercano.

Se construyó una base de datos y posteriormente se convirtió en el formato \*.shp (ESRI 2009) para ser visualizada espacialmente en un sistema de información geográfica. La base de datos fue depurada, descartando aquellos incendios ocurridos en terrenos baldíos en centros de población urbanos, sin eliminar aquellos ubicados en la zona de interfase forestal-urbana (periferia de los centros urbanos). Los datos, incluye también incendios forestales ocurridos en Áreas Naturales Protegidas de Baja California.

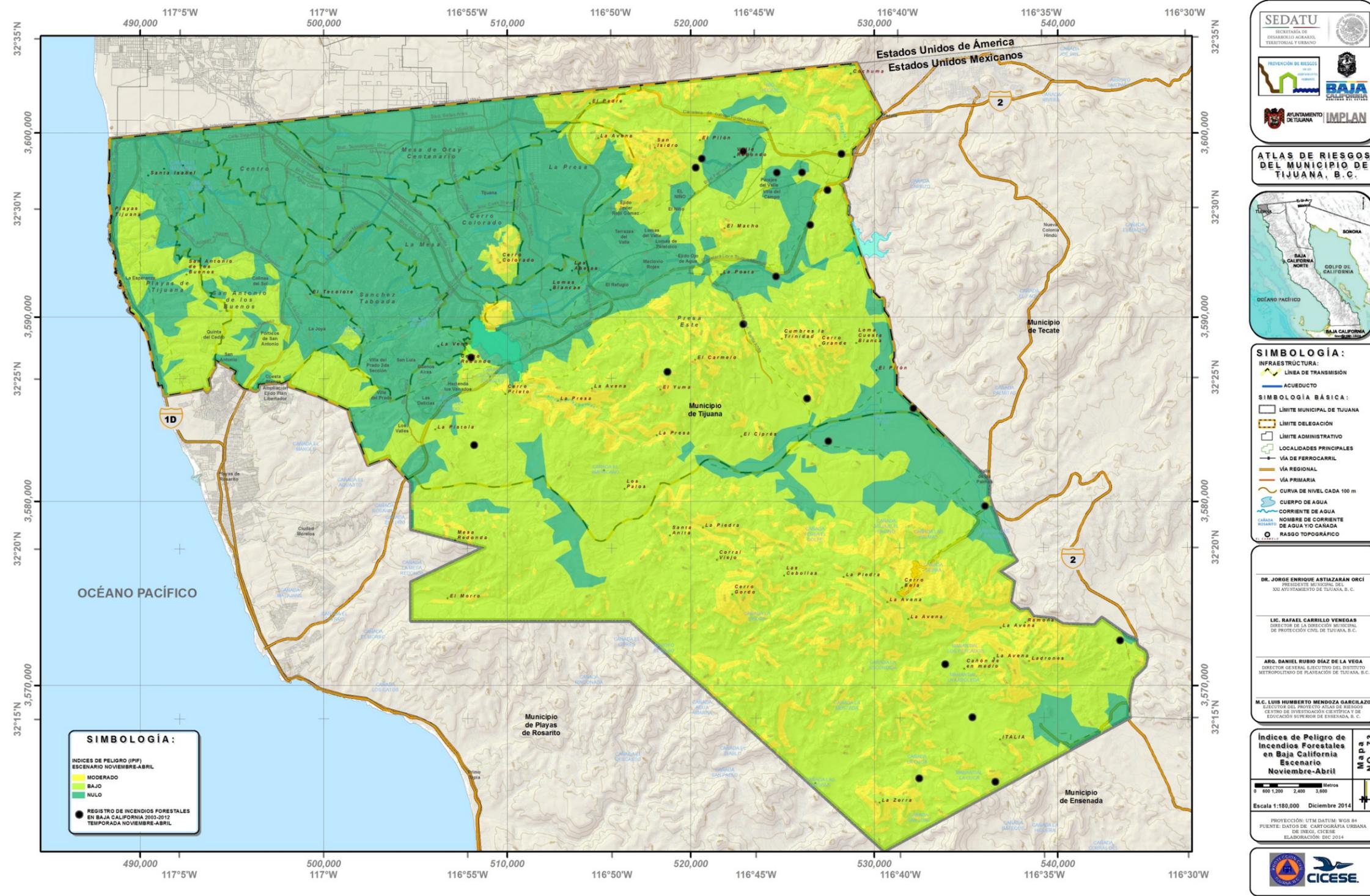


Figura 94. Índice de peligro de incendios temporada noviembre abril.

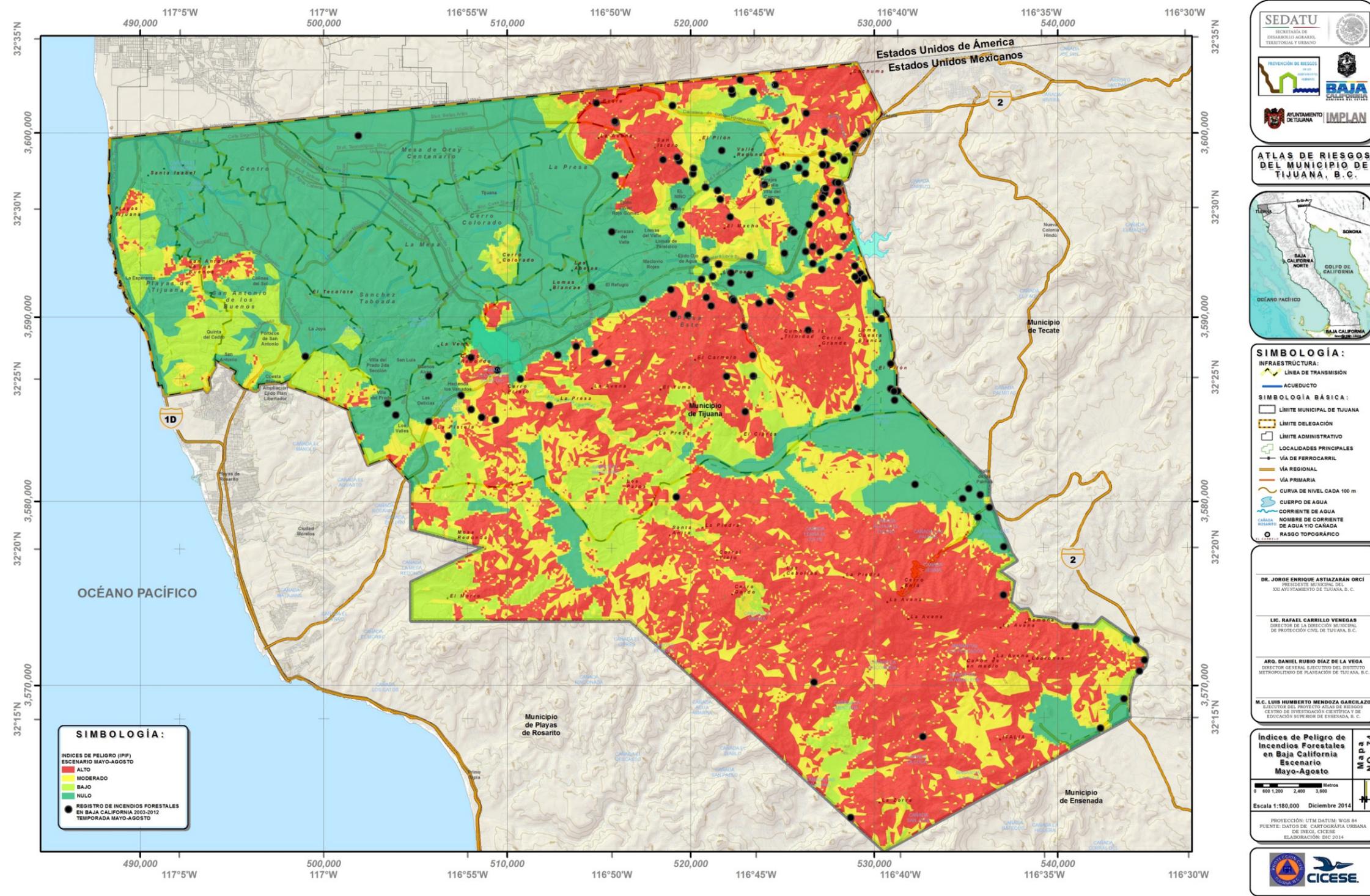


Figura 95. Índice de peligro de incendios temporada mayo a agosto.

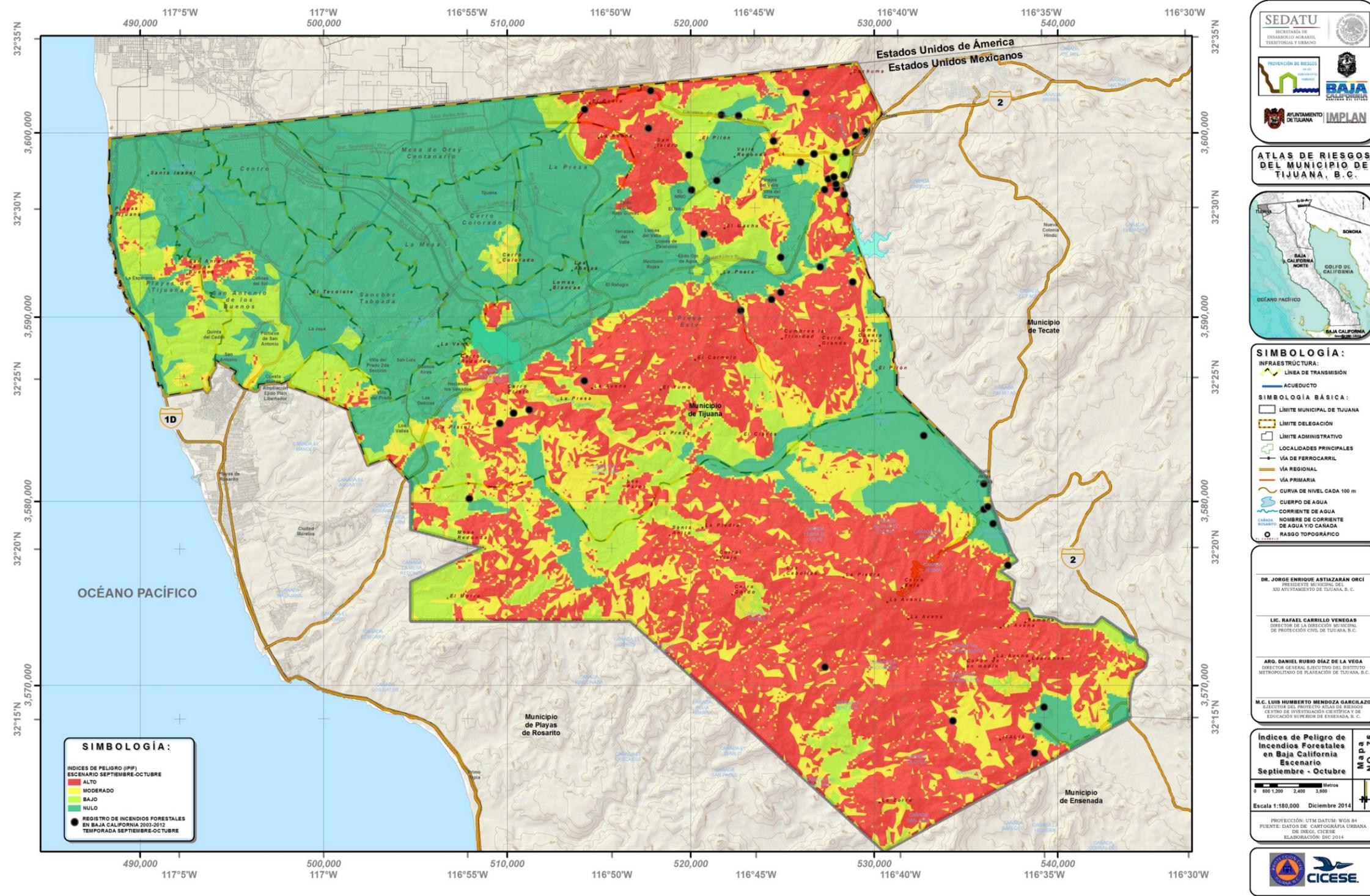


Figura 96. Índice de peligro de incendios temporada septiembre a octubre.

## CAPITULO VI: Obras y/o acciones preventivas

De acuerdo a los mapas de peligros y registros históricos del comportamiento de cada fenómeno perturbador, se determinaron los peligros que más han afectado a Tijuana, que son las inundaciones y los deslizamientos. Se encontraron tres áreas principales donde se propone realizar obras de infraestructura para mitigar el riesgo por inundación y dos áreas para mitigar el riesgo por deslizamientos. El resumen de estos sitios está contenido en la tabla 30.

La información sobre viviendas y personas en estas áreas de riesgo se localiza en las oficinas de Protección Civil de Tijuana, este dato varía de la información del Censo 2010 de INEGI, ya que la dinámica del crecimiento poblacional varía cada año.

Las zonas que se proponen para realizar obras preventivas se mencionan en el siguiente apartado, sin embargo las obras serán propuestas por la dependencia encargada de esta acción.

### 6.1 Sitios para obras de mitigación de riesgo de inundación

#### Subcuenca Cañón Los Laureles, Tijuana, Baja California

Desde hace tiempo diferentes instituciones como: International Community Foundation (ICF), National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), San Diego State University (SDSU), U.S. Environmental Protection Agency (EPA), California Coastal Conservancy, Tijuana River National Estuarine Research Reserve (TRNERR) California Department of Parks and Recreation, Southern California Wetlands Recovery Project, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Instituto Municipal de Planeación de Tijuana (IMPLAN Tijuana), el Colegio de la Frontera Norte (COLEF) y otras instituciones no gubernamentales, han estado trabajando en la preservación de las condiciones ambientales de las cuencas binacionales, ya sea que éstas se localicen en México y lleguen a los Estados Unidos o viceversa.

La presencia del Estuario del Río Tijuana en el límite de la frontera México-Estados Unidos, catalogada como una zona de Reserva Nacional y de la existencia de afectaciones generadas por el desarrollo urbano y asentamientos humanos en la parte Mexicana de la Subcuenca de Cañón

Los Laureles (Figura 97), han motivado la necesidad de realizar acciones y proyectos coordinados que ayuden a disminuir los impactos negativos en el Estuario.

En el diagnóstico, se abordan diferentes conceptos y problemáticas desarrollados a lo largo del documento, que abarcan desde la descripción de factores físicos y ambientales, que incluyen:

- Análisis de lluvia
- Periodos de retorno
- Delimitación de microcuencas
- Composición de suelos
- Problemas de deslizamientos y flujos de lodo
- Erosión
- Flora y vegetación
- Aspectos sociodemográficos y
- Aspectos legales e institucionales.

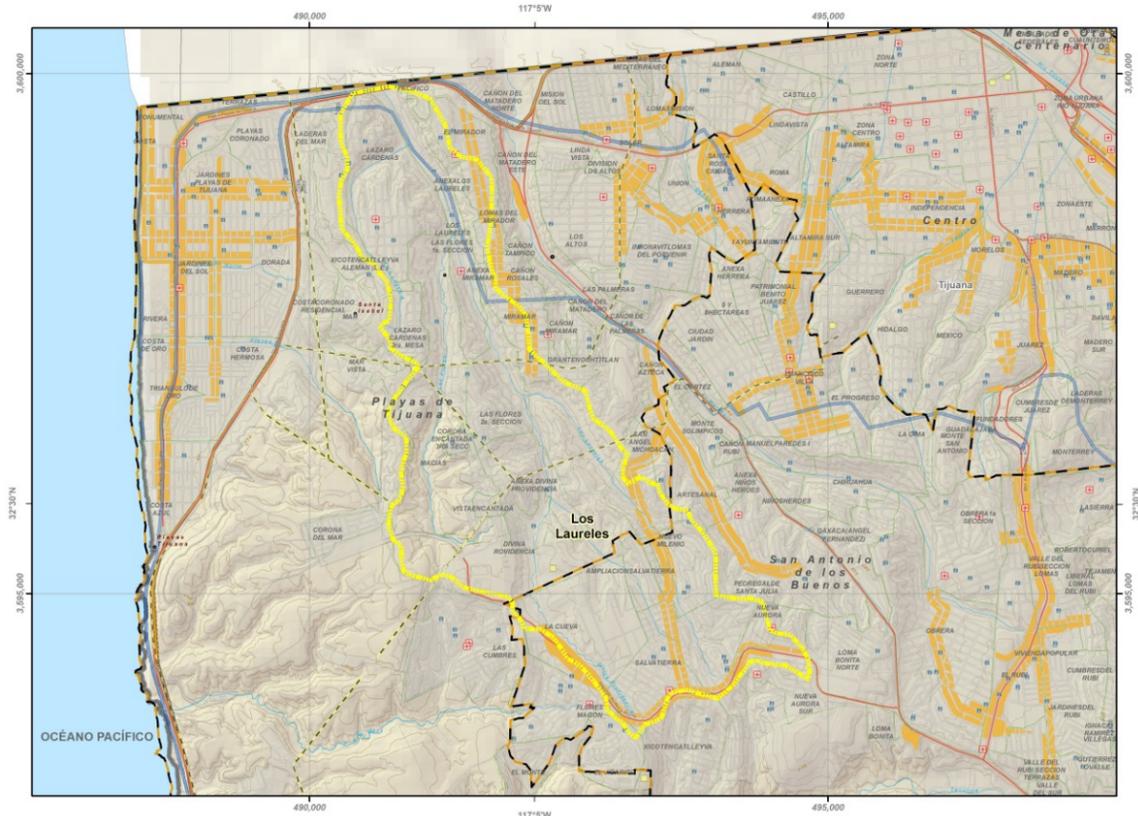


Figura 97. Ubicación Subcuenca Los Laureles, en Tijuana, Baja California (IMTA-IMPLAN 2004).

En el documento Diagnóstico Integral de la subcuenca hidrológica Los Laureles, Tijuana, B.C. se enlistan acciones para reducir vulnerabilidad.

Algunos de los problemas más importantes que han sido detectados en la parte Mexicana de la Subcuenca son los siguientes:

- Un acelerado y desordenado proceso de urbanización.
- La remoción de la vegetación arbustiva original y el cambio del uso del suelo.
- La intensificación de la erosión, deslaves y arrastre de sedimentos.
- La contaminación a los cauces naturales por aguas residuales y desechos sólidos.
- La alta vulnerabilidad de los habitantes de la zona ante posibles desastres naturales, derrumbes y deslaves principalmente.

Del lado estadounidense se tienen como principales problemas los siguientes:

- La sedimentación excesiva por el transporte de sedimentos.
- El aporte de contaminantes y basura al hábitat natural del Estuario.
- La desecación y pérdida de canales de inundación y zonas de humedal natural.
- La generación de externalidades negativas a los servicios ambientales y recreativos que ofrece el parque 'Border Field'.

### Cañones de Colonia Las Torres y Colonia Nido de las Águilas

Otras dos subcuencas binacionales son las que se localizan en las Colonias Las Torres y Nido de las Águilas, al oriente de la zona urbana Tijuana. Ambas reciben considerables escurrimientos provenientes del vecino país y se concentran en cañones que actualmente están habitados por asentamientos irregulares, exponiendo sus vidas y bienes. También debe considerarse que los escurrimientos y posible taponamiento de la obra al cruzar amenaza una importante vialidad que conecta a la ciudad de Tijuana hacia el oriente, por la autopista Tijuana-Tecate-Mexicali (Figura 98).

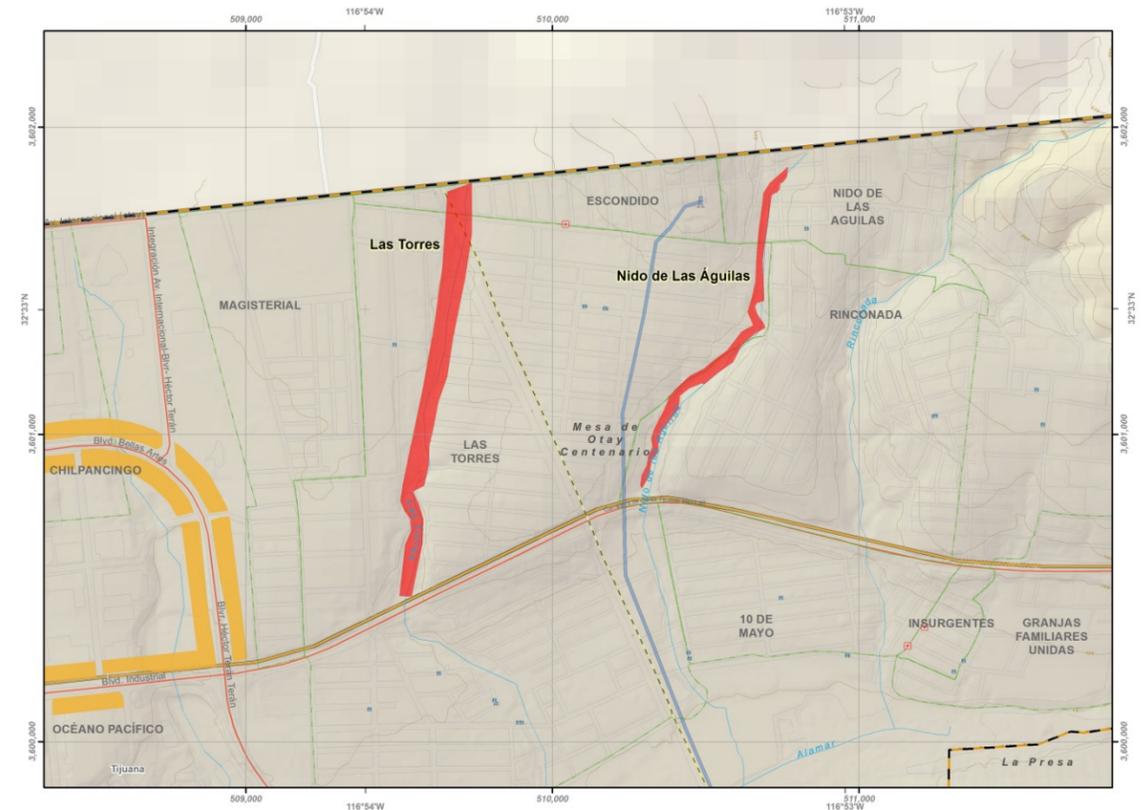


Figura 98. Se muestra en color rojo las áreas de escurrimientos en las subcuencas Las Torres y Nido de las Águilas hasta su intersección con el entronque a la autopista Tijuana-Tecate-Mexicali que conecta el tránsito civil e industrial en la frontera entre México y Estados Unidos de América.

## 6.2 Sitios para obras de mitigación de riesgo de deslizamientos.

### Cumbres del Rubí

Deslizamiento ocurrido en 1998 y reactivado en 2000 (Figura 99). En CICESE se tiene un estudio financiado por Gobierno del Estado y CESPT para delimitar áreas afectadas y con potencial futuro (CICESE,2014). En la parte más alta está una instalación de línea vital (tanque agua que abastece zona poniente de la ciudad).

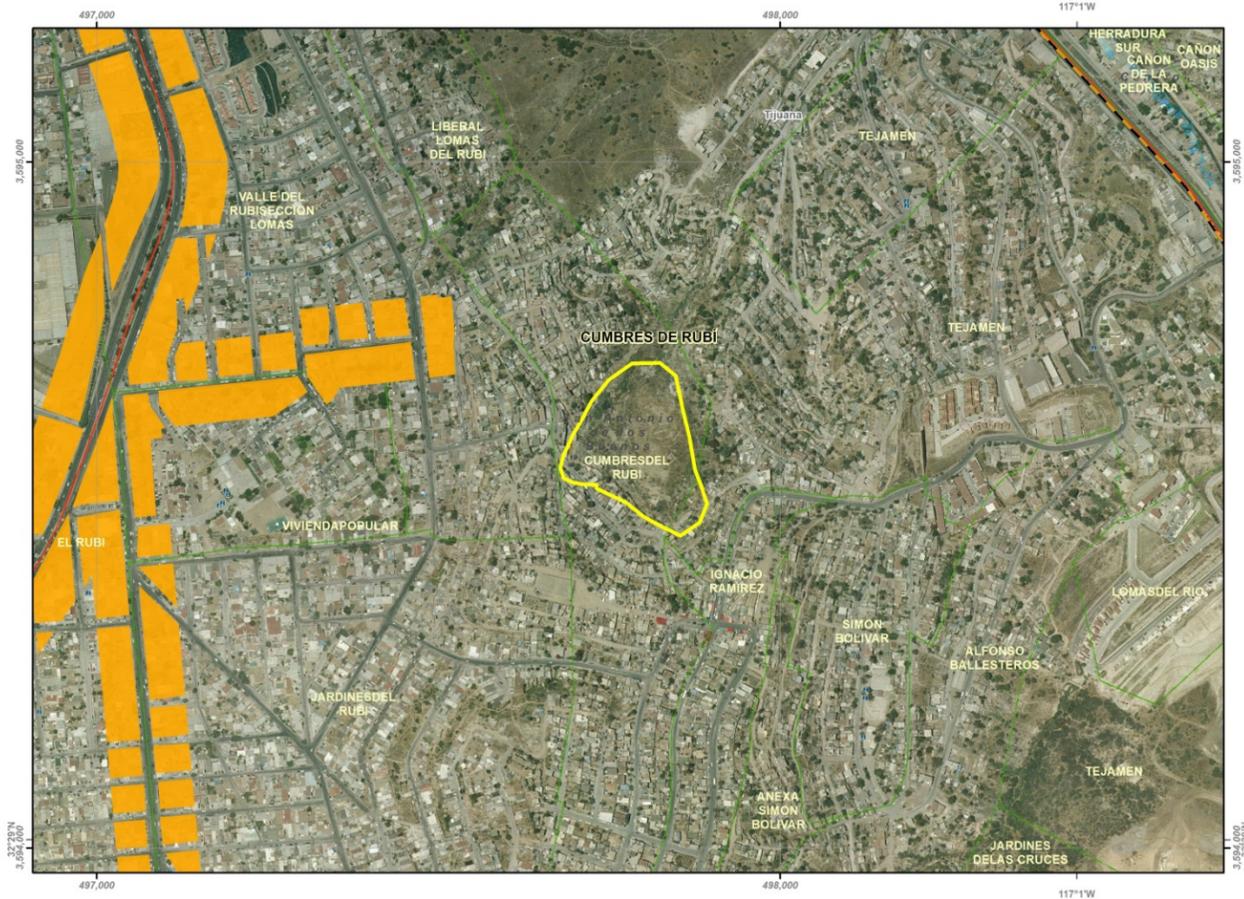


Figura 99. Se muestra en polígono color amarillo el área de afectación del deslizamiento ocurrido en la Colonia Cumbres de Rubí 1998.

### Laderas de Monterrey

Deslizamiento reactivado en mayor área en mayo 2010 (Figura 100). Existen varios estudios que intentan explicar las causas y algunas acciones de solución. Su reactivación o aumento de área puede interrumpir una importante vialidad que conecta el centro de la ciudad con la salida hacia el sur de la península.



Figura 100. Se muestra el área de afectación del deslizamiento ocurrido en la Colonia Laderas de Monterrey.

Tabla 30: Propuesta de sitios para realizar obras y acciones para mitigar riesgos en Tijuana.

PROPUESTAS DE OBRAS Y ACCIONES				
FENÓMENOS/ RIESGOS	UBICACIÓN	CAUSA	OBRA O ACCIÓN PROPUESTA	OBSERVACIONES
<b>Hidrometeorológicos</b>				
<b>Inundaciones</b>				
1	Colonia Los Laureles. Delegación Playas de Tijuana	Seguimiento a las causas descritas del estudio 2004 (IMTA-IMPLAN Tijuana)	Seguimiento a las recomendaciones del estudio 2004	
2	Colonia Las Torres. Delegación Mesa de Otay Centenario	Recibe escurrimientos de una cuenca de USA	Canalización y reubicación de personas	Zonas críticas inundables reconocidas en campo por Protección Civil Tijuana
3	Colonia Nido de las Águilas. Delegación Mesa de Otay Centenario	Recibe escurrimientos de una cuenca de USA	Canalización y reubicación de personas	
<b>Geológicos</b>				
<b>Deslizamientos de taludes o movimientos de masas</b>				
1	Colonia Cumbres de Rubí. Delegación San Antonio de Los Buenos	Movimiento en proceso desde 1998	Estudio y propuesta de solución ingenieril	Consultar con Protección Civil Tijuana y la Coordinación de Protección del Estado de Baja California sobre la propuesta de obras en estos lugares
2	Colonia Laderas Monterrey. Delegación San Antonio de Los Buenos	Movimiento en proceso desde 2010	Estudio y propuesta de solución ingenieril	Consultar fotos en anexos y tabla de atributos del archivo 02004_Deslizamientos historicos.shp

## Referencias

Abbot, P. a. W. E. (eds.). "Earthquakes and Other Perils: San Diego Region". San Diego Association of Geologists, San Diego, California.

Abbott, P. L. (1999). "Natural Disasters". Second edition. WCB/McGraw-Hill. Boston. 397 pt".

Acosta Chang, J. G., G. A. Arellano Zepeda, E. Ruiz Cruz, L. H. Mendoza Garcilazo, R. Reyes Serrano, I. Méndez Figueroa, E. Rocha Guerrero, S. Vázquez Hernández y A. M. Frías León. (2009). "Microzonificación sísmica de Tijuana." Informe técnico de CICESE para Gobierno del Estado y FOPREDEN. pp. 115 (PA: 99093).

Acosta Chang. J. G., M. A., J. C. (1997). "Intensidades sísmicas para la región de Tijuana, Baja California, a partir del posible rompimiento de la falla La Nación (Mw=6.5)." GEOS 17(3): 10.

Aki, K., Ed. (1988). Local site effects on strong ground motion. In Van Thun, J.L. (Ed) Earthquake engineering and soil dynamics II. Recent advances in ground-motion evaluation Geotechnical Special Publication No.20, American Society of Civil Engineers Reston, VA, pp 103-155.

Aki, K. a. P. G. R. (1980). "Quantitative Seismology, Theory and Methods". W. H. Freeman and Company. San Francisco. 557 pp Vol. 1.

Aragón Arreola, M. d. J. (1994). Evaluación de Riesgo Geológico debido a movimientos de ladera en la ciudad de Tijuana, B. C., México. Ensenada, México. , CICESE. Tesis de maestría: 124 pt.

Ashby, J. R., Jr. (1989). "Miocene tectonostratigraphic history of the Rosarito Beach Basin, northwestern Baja California: Implications for the early tectonic development of the southern California Continental Borderland." University of California at Los Angeles, tesis de Maestria, 149 p.

"Atlas de riesgos del Estado de Baja California. Actualización e identificación de peligros". (2014). Financiado por: Fondo de Prevención de Desastres (FOPREDEN) y Gobierno del Estado. Elaborado por CICESE.

Boore, D. M., and Atkinson, G.M (2008). "Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s." Earthquake Spectra Vol 24 (No. 1).

Bullen, K. E., Bolt, B. A (1985). An Introduction to the theory of seismology. Cambridge University Press

Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y. (2008). "Ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10.0 s." Earthquake Spectra Vol. 24 (No. 1).

CENAPRED (2001). "Heladas". Serie de fascículos. M en G. Lucía Guadalupe Matías Ramírez, Dr. Óscar Arturo Fuentes Mariles y M. en I. Fermín García Jiménez.

CENAPRED (2002). "Sequías". Serie de fascículos. F. M. García Jiménez, Matías Ramírez.

CENAPRED (2011). Metodología para la elaboración de mapas de riesgos por inundaciones en zonas urbanas.

CENAPRED (2014). Tormentas Severas. Versión electrónica 2014. A. A. Prieto R, Matías L.

CESPT (2003). "Plan Maestro de Agua Potable y saneamiento de en los Municipios de Tijuana y Playas de Rosarito."

Comisión Federal de Electricidad (2008). "Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo". México.

Chávez Velazco, G. (1996). "Geomorfología de la Cuenca del Río Tijuana aplicada al análisis de uso del suelo a nivel regional." Tesis de maestría, CICESE. 70 pt.

Chiou, B. S.-J. a. Y. R. R. (2008). "An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra." Earthquake Spectra, 24(1), 173-215.

CICESE, G. (2011). Baja California Situation Analysis (B.C.SA). Mexico Systematic Inventory and Evaluation for Risk Assessment (SIERA) Methodology. A Comprehensive Analysis of Baja California Situation on Risk Assessment.

CICESE (2004) Reporte Técnico. "Delimitación Del Área No Apta Para Asentamientos Humanos E Infraestructura Urbana En La Zona De Movimiento De Masas De Terreno De Las Colonias, Cumbres Del Rubí, Anexa Ramírez y Tejamen, Delegación San Antonio de los Buenos, Tijuana, Baja California". División Ciencias de la Tierra, Departamento De Sismología, Grupo De Sismología Aplicada a La Ingeniería.

CNA-Sistemas Hidráulicos y Ambientales S.A. de C.V (1999). "ESTRATEGIA DE GRAN VISIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO Y MANEJO DEL AGUA EN LAS CIUDADES Y CUENCAS DE LA FRONTERA NORTE EN EL PERIODO 1999 - 2025".

CONAFOR (2012). "Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe 2004-2009".

CONAPO (2010). "Proyecciones de la Población 2010-2030".

Conklin, D. T. (1988). "Orígenes de Tijuana", en Mathes, Miguel (comp.), Baja California. Textos de su historia, t. I, México, D. F., Instituto de Investigaciones Doctor José María Luis Mora, Secretaría de Educación Pública y Gobierno del Estado de Baja California. In: La confrontación de los desastres naturales: construcción social del riesgo y variabilidad climática. (Rodríguez Esteves Eds.). Revista: Frontera Norte Vol. 19 No. 37 enero - junio de 2007. Colegio de la Frontera Norte Tijuana, México".

COPLADE (2013). "Apuntes de Población de Baja California. Mexicali. B.C. Julio 2013 Año 4 Vol 2".

DGE-SIDUE, D. G. d. E. D., Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado (SIDUE) (2006). "Programa de ordenamiento ecológico de Baja California".

El Morjani Z. (2001) Methodology document for the WHO e-atlas of disaster risk. Volume 1. Exposure to natural hazards Version 2.0: Heat wave hazard modelling. Taroudant poly-disciplinary faculty of the Ibn Zohr University of Agadir, Morocco. 2011, ISBN:978-9954-0-5396-6.

Ellsworth, W. (2003). "Appendix D—Magnitude and area data for strike slip earthquakes in Working Group on California Earthquake Probabilities, Earthquake Probabilities in the San Francisco Bay Region- 2002-2031. U.S." Geological Survey Open-File Report 03–214, 6pps.

Espinosa Cardeña, J. M. (1983). "Gravedad y Magnetismo en la parte norte del sistema de fallas San Miguel, tramo Tijuana-Valle de las Palmas." Tesis de maestría. CICESE. 78 pt.

Flynn, C. J. (1970). "Post-Batholithic Geology of The La Gloria-Presa Rodríguez area, Baja California, Mexico." Geological Society of America Bulletin, v. 81, p. 1789-1806.

Frankel, A. D., Petersen, M.D., Mueller, C.S., Haller, K.M., Wheeler, R.L., Leyendecker, E.V., Wesson, R.L., Harmsen, S.C., Cramer, C.H., Perkins, D.M., Rukstales, K.S (2002). "Documentation for the 2002 update of the National Seismic Hazard Maps." U.S. Geological Survey Open-File Report 2002–420, 39 p.

Frez Cardenas, J. D. y. J. J. G. G. (1989). "Sismicidad y mecanismos focales en el Valle Mexicali-Imperial (1973-1985)". Geofísica Internacional. 28 (No.3); pp 643-691 p.

Fuentes Mariles, Ó. A. (1997). "Probabilidad de presentación de Ciclones Tropicales en México." Cuadernos de Investigación, Centro Nacional de Prevención de Desastres 42.

Gastil, G. R., Richard P. Philips y Edwin C. Allison. (1975). "Reconnaissance Geology of the state of Baja California." The Geological Society of America, Inc., Memoir 140. Boulder Colorado 170 pt.

Gumbel E.J., 1965. A Quick Estimation of the Parameters in Frechet's Distribution. Rev. Int. Stat. Inst. Vol. 33 (3), 349–363 p.

Hanks, T. C., and Bakun, W.H. (2002). "A bilinear source-scaling model for M–log A observations of continental earthquakes." Bulletin of the Seismological Society of America Vol. 92(1841–1846).

Heaton, T. H. a. L. M. J. (1989). "Seismological Research Issues in the PARTE I. San Diego Region. En: Glenn Roquemore, Susan Tanges and Marian Wright, editors; Workshop on "The seismic risk in the San Diego Region: Special Focus on the Rose Canyon Fault System". Proceedings. June 29-30. San Diego CA. p. 42-49.

Ibáñez Rosales A. (2011) Análisis estadístico de valores extremos y aplicaciones.

IBC (2006). "International Building Code. Capítulo 16, sección 1613. International Code Council, EE.UU".

IMPLAN Tijuana (2008). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Tijuana, B. C. PDUCP T 2010-2030.

IMPLAN Tijuana (2012). Sociedad en Movimiento Boletín I, Enero-Marzo 2012.

IMPLAN-Tijuana (2008). "Actualización del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tijuana, B.C". (PDUCP T 2010-2030).

INEGI (2004). "Guía para la Interpretación de Cartografía Edafología".

INEGI (11 de Julio 2013.). "Estadísticas a Propósito del Día Mundial de la Población Datos de Baja California".

INEGI (2007-2010). "Carta de Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250000, Serie IV. Clave: I1111, Hoja: Tijuana".

INEGI (2009). "Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Tijuana, Baja California".

INEGI. (2010). "Censo General de Población y Vivienda 2010. Información de interés Nacional".

INEGI (2010). "Red Hidrográfica Escala 1:50000, Edición: 2.0".

INEGI (2013). "Estadísticas a propósito del día mundial de la población. 11 de julio de 2013".

INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010: Cuestionario Básico.

INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados de Cuestionario Básico Fecha de elaboración: 17/02/2011. Población de 3 años y más por municipio, sexo y grupos quinquenales de edad según condición de habla indígena y condición de habla española. Entidad Federativa/Tema: Baja California/Lengua Indígena.

INIFAP (2006). "Estadísticas climatológicas básicas del estado de Baja California (periodo 1961-2003). Centro de Investigación Regional del Noroeste.

Judson Sheldon and Marvin E. Kauffman (1990). Physical Geology. E. C. Prentice Hall, N. J.

Laura Velasco Ortiz, R. C. V., Marie Laure Coubés Ravaille, Marcos Reyes Santos y Rafael Vela González (2010). "Estudio Sobre las Condiciones de Vida e Integración Social de la Población Indígena a la Ciudad." Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (ISBN 978-970-753-174-1).

Lina Ojeda Revah, a. G. Á. (2000). "La reforestación de Tijuana, Baja California como un mecanismo de reducción de riesgos naturales." Estudios Fronterizos, Universidad Autónoma de Baja California Vol. 1 (julio-diciembre Num. 002): 9-31.

López Álvarez, L. A. et. al (2002). "DIAGNOSTICO DE RIESGOS URBANOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE TIJUANA." H. Ayuntamiento de Tijuana (XVI y XVII) Dirección Municipal de Protección Civil. Tijuana.

Diagnóstico de Riesgos Urbanos, Parte I, Sergio Vázquez Hernández, 2002 Editado por Ayuntamiento de Tijuana, Dirección de Protección Civil.

Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo. (2008). Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas. México.

Masry, A. M. (1989). "Seismicity & Tectonics in San Diego. En: Glenn Roquemore, Su-san Tanges and Marian Wright, editors; Workshop on "The seismic risk in the San Diego Region: Special Focus on the Rose Canyon Fault System". Proceedings. June 29-30. San Diego CA. p. 34-35.

Minch, J. A. (1967). "Stratigraphy and Structure of the Tijuana-Rosarito Beach Area, Northwestern Baja California, Mexico". Geological Society of America Bulletin. v. 78, p. 1155-1178.

Minch, J. A., Ashby, J.R., Demeré, T.A., Kuper, H.T., (1984). "Correlation and depositional environments of the Middle Miocene Rosarito Beach Formation of northwestern Baja California, México, en Minch, J.A., Ashby, J.R. (eds.), Miocene and Cretaceous Depositional environments, Northwestern Baja California, México." American Association of Petroleum Geologists, Pacific Section, 54, 33-46.

Nakamura, Y. (1989). "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface". Quarterly Rept. Railway Tech. Res. Inst. Jap. 30: 25-33.

Obasi, G. O. P. (2001). "Voluntarios para el tiempo, el clima y el agua", mensaje del secretario general de la Organización Meteorológica Mundial en el día meteorológico mundial."

Petersen, M., Frankel, A., Harmsen, S., Mueller, C., Haller, K., Wheeler, R., Wesson, R., Zeng, Y., Boyd, O., Perkins, D., Luco, N., Field, E., Wills, C., and Rukstales, K., (2008). "Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps: U.S. ." Geological Survey Open-File Report 2008-1128, 61 pp.

Petersen Mark, A. D. F., Stephen C. Harmsen, Charles S. Mueller, Kathleen M. Haller, Russell L. Wheeler, Robert L. Wesson, Yuehua Zeng, Oliver S. Boyd, David M. Perkins, Nicolas Luco, Edward H. Field, Chris J. Wills, and Kenneth S. Rukstales, (2008). "Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps." U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. Open-File Report 2008-1128.

Petersen, M. D., Bryant, W.A., Cramer, C.H., Cao, T., Reichle, M.S., Frankel, A.D., Lienkaemper, J.J., McCrory, P.A., and Schwartz, D.P. (1996). "Probabilistic seismic hazard assessment for the State of California: California " Department of Conservation, Division of Mines and Geology Open-File Report 96-08. (also U.S. Geological Open-File Report 96-706), 33 p.

PRONACOSE (2014). "Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía." Consejo de Cuenca Baja California y Municipio de San Luis Río Colorado, Sonora. 1a. versión.

RADIUS (2000). "Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters, Tijuana." RADIUS PROJECT. UN-ISDR.

Reichle, M., J.E. Kahle, T.G., Atkinson, E.H. Johnson, R.A. Olson, H.J. Lagario, K.V. Steinbruge, L.S. Cluff, T.P. Haney, and J.E. Powers (1990). "Planning scenario for a major earthquake, San Diego-Tijuana metropolitan area". California Department of Conservation, Division of Mines and Geology Special Publication (100): 189, and maps.

René Vázquez Jiménez, I. M. G., Rocío N. Ramos Bernal (2014). SIG aplicado a la evaluación de vulnerabilidad por inundación en la ciudad de Tixtla, Guerrero. México. XVI Congreso de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

Rodríguez Esteves, J. M. (2007). "La conformación de los desastres naturales. Construcción social del riesgo y vulnerabilidad climática en Tijuana B.C." Frontera Norte 19(037): 83-112.

Romo Aguilar, M. d. L. (1996). RIESGOS NATURALES Y VULNERABILIDAD SOCIAL EN TIJUANA, B. C. Tijuana, El Colegio de la Frontera Norte.

Rosquillas, A., y Mendoza, L. (2000). "Atlas Municipal de Riesgos versión 1.0." Editado por la Dirección Municipal de Protección Civil.

Rosquillas A., y. M. L. (2000). "Proyecto RADIUS, Reportes I, II y Final." Editados por la Dirección Municipal de Protección Civil.

Salas M, J. M., Núñez F (sin fecha). "Mapas de precipitación con duraciones de 1 y 24 h aplicados en la protección civil."

SEDATU (2014). "Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo"

SEGOB (2010). Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010. SEDESOL CONAPO INEGI. México: 35.

SEMARNAT-CNA (2014). "Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía, Consejo de Cuenca de Baja California y Municipio de San Luis Río Colorado, Sonora." Consejo de Cuenca de Baja California y Municipio de San Luis Río Colorado, Sonora.

Soares J. (2003). "Aplicación de la microzonación sísmica a la vulnerabilidad de estructuras críticas en la ciudad de Ensenada, B.C.". Tesis de maestría en ciencias." CICESE.

SPP (1982). "Carta edafológica. Escala: 250,000. Hoja: Tijuana."

Systems, U.-G. S. o. E. W. (2006). "An assessment of capacities, gaps and opportunities towards building a comprehensive global early warning system for all natural hazards".

UNESCO-OEA (2007). "Sistemas Acuíferos Transfronterizos en las Américas (Evaluación Preliminar)". Programa UNESCO/OEA ISARM Américas Acuíferos Transfronterizos de las Américas

Washbur, R. (1980). "Geology and relationship to structural lineaments observed from aerial photographs (Presa Rodriguez area)" Reporte no publicado. San Diego State University, San Diego CA, 22 pt.

Winckell A., L. P. M., Chávez G. Vela R. y González C. (2000). "Aportes para un escenario sísmico en Tijuana." Colegio de la Frontera Norte (ISBN 968-6075-84-4).

XVI Congreso de Tecnologías de la Información Geográfica, 26 y 27 de Junio de 2014, René Vázquez Jiménez, Irving Manrique González, Rocío N. Ramos Bernal.

CENAPRED.

<http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-geologicos/hundimientos-regionales-y-locales-agrietamientos>

CONAGUA. (2009). "Índice de archivos \*.kmz"

<http://siga.conagua.gob.mx/REPDA/Menu/FrameKMZ.htm>.

CONAGUA (2009). "Tabla Maestra de Acuíferos, cierre al 31 de diciembre de 2009, [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)."

HEC-GeoRAS: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hec-georas.html>.

HEC-RAS: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>.

<http://smn.cna.gob.mx>.

[http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro\\_estado/municipios/tijuana/educacion.jsp](http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios/tijuana/educacion.jsp).

<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2013/poblacion2.pdf>.

[www.met-wrf.cicese.mx](http://www.met-wrf.cicese.mx)

[www.peac-bc.cicese.mx](http://www.peac-bc.cicese.mx)

<http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/6/1/images/trpc.pdf>

<http://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/Global-Survey-of-Early-Warning-Systems.pdf>.

## Consultoría en CICESE que elaboraron el Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tijuana 2014.

### Responsables Técnicos del Informe CICESE

M. en C. Luis Humberto Mendoza Garcilazo	Coordinador – Consultor.
M. en C. José Guadalupe Acosta Chang	Peligro sísmico.
M. en C. Sergio Vázquez Hernández	Inestabilidad de laderas.
M. en C. Ena del Carmen Gamez Balmaceda	Peligro hidrometeorológico y SIG.
M. en C. Jessica Jazmín Salas Ariza	Peligro hidrometeorológico y SIG.

M. en C. Juan Galindo Santiago  
(IMPLAN Tijuana)

Apoyo en mapas base y datos.

Dirección de Protección Civil  
del Municipio de Tijuana

Apoyo en riesgo hidrometeorológico.

Coordinación de Protección Civil  
del Estado de Baja California

Mapas del Atlas de Peligro Estatal  
para ajuste a escala municipal.

### Colaboradores del Informe CICESE

M. en C. Euclides Ruíz Cruz	Peligro sísmico.
Oc. Gustavo Arellano Zepeda	Peligro sísmico.
M. I. Rogelio Reyes Serrano	Apoyo en estadísticas (Cap. IV).
Lcc. Orlando Granados Hernández	Apoyo en estadísticas (Cap. IV).
Irma Gabriela Hernández Barrera	Apoyo administrativo.

### Agradecimientos:

Agradecemos al I.G José Alberto Moreno Saucedo y al LPT. Víctor Álvarez Durán de la Dirección General de Ordenamiento Territorial y de Atención a Zonas de Riesgo, por sus observaciones y comentarios durante el desarrollo de este atlas

A la delegación SEDATU en Baja California, en particular al C.P.P Jaime Osvaldo Estrada Rivas por su apoyo administrativo.

### Colaboradores Externos



## Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tijuana, Baja California.

El Atlas de riesgos es un elemento básico para definir acciones enfocadas a guiar el desarrollo territorial hacia espacios ordenados y sustentables. El municipio es el usuario principal a través de las autoridades de Protección Civil Municipal y del Instituto Metropolitano de Planeación de Tijuana (IMPLAN Tijuana). Este atlas fue elaborado siguiendo las “Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2014” propuestas por la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU) con el Programa Prevención de Riesgos en Asentamientos Humanos (PRAH). La elaboración del atlas estuvo a cargo del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Baja California (CICESE).

