Atlas de Peligros y/o Riesgo del Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco

SEDATU
SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

PPR
PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS

HAB Consultores Ambientales

Número de Expediente: SOT7DGOTAZR/PR/PP/02_A/114015PR000039/16

Contenido

Capítulo 1. Introducción, antecedentes y objetivos 9
1.1 Introducción 9
1.2 Antecedentes 10
1.3 Objetivo 12
1.4 Propósitos 13
1.5 Metas 13
Capítulo 2. Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica. 15
2.1 Determinación de la zona de estudio 15
2.2 Mapa base 15
2.3 Determinación del nivel de análisis 19
Capítulo 3. Caracterización de los elementos del medio natural 24
3.1 Fisiografía 24
3.2 Geomorfología 26
3.3 Geología 28
3.4 Edafología 30
3.5 Hidrografía 33
3.6 Cuencas y subcuencas 34
3.7 Clima 38
3.8 Uso del suelo y vegetación 41
Capítulo 4. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos 47
4.1 Dinámica demográfica 47
4.2 Características sociales 53
4.3 Características de la vivienda 72

4.4 Caracterización de los elementos económicos 72
4.5 Equipamiento e infraestructura 77
4.6 Áreas de Reserva Urbana 80
Capítulo 5. Identificación de amenazas y peligros, ante fenómenos perturbadores de origen natural 84
5.1 Vulcanismo (Erupciones Volcánicas) 87
5.2 Sismicidad 111
5.3 Inestabilidad de Laderas (Deslizamientos, Flujos y Derrumbes o Caídos) 138
5.4 Flujos (Lodo, Tierra y Suelo, Lahar) 169
5.5 Derrumbes o Caídos 188
5.6 Hundimientos y Subsidencia 203
5.7 Subsidencia 214
5.8 Agrietamientos 237
5.9 Ondas Cálidas y Gélidas (Temperaturas Máximas y Mínimas Extremas) 251
5.10 Sequias 258
5.11 Heladas 268
5.12 Tormentas de Granizo 268
5.13 Tormentas de Nieve 270
5.14 Ciclones tropicales. Ondas Tropicales 270
5.15 Tornados 270
5.16 Tormentas Eléctricas 270
5.17 Tormentas de Polvo 274
5.18 Inundaciones 274
Capítulo 6. Vulnerabilidad 315
6.1 Vulnerabilidad Social 315
6.2 Rezago social 316

Índice de figuras

Figura 1-1. Sequía en Autlán de Navarro, Septiembre de 2015 10
Figura 1-2. Creciente del arroyo el Coajinque por el huracán Jova. Octubre, 2015 11
Figura 1-3. Río Ahuacapan, Autlán de Navarro. Octubre 2015 11
Figura 1-4. Deslave en Autlán de Navarro. Octubre 2011 11
Figura 1-5. Colapso de suelo en Autlán de Navarro, 6 de noviembre de 2006 11
Figura 2-1. Mapa Base escala 1:50,000. 16
Figura 2-2. Mapa Base escala 1:7,000. 18
Figura 3-1. Mapa de provincias y subprovincias fisiográficas. 25
Figura 3-2. Mapa de Geomorfología, estructuras del relieve. 27
Figura 3-3. Mapa de unidades litológicas presentes en el área de estudio. 29
Figura 3-4. Distribución de los tipos de suelo en el área de estudio 32
Figura 3-5. Mapa. Acuíferos y zonas de recarga de agua. 35
Figura 3-6. Climas 40
Figura 3-7. Uso de Suelo y Vegetación 42
Figura 3-8 Mapa de Áreas Naturales Protegidas dentro del área de estudio. 45
Figura 4-1. Distribución de la Población por localidad 49
Figura 4-2. Densidad de Población 51
Figura 4-3. Densidad de Población a nivel manzana 52
Figura 4-4. Distribución de la población analfabeta en el municipio de Autlán 53
Figura 4-5 Distribución de la población con discapacidad en el municipio de Autlán 55
Figura 4-6. Población con discapacidad a nivel manzana 57
Figura 4-7. Distribución de la población sin derechohabiencia a la salud en el municipio de Autlán. 59
Figura 4-8. Distribución de la población sin derechohabiencia a la salud a nivel manzana. 60
Figura 4-9. Distribución de la población que habla alguna lengua indígena en el municipio de Autlán. 62
Figura 4-10. Población de habla indígena nivel manzana 64
Figura 4-11. Hacinamiento de la población 66
Figura 4-12. Hacinamiento de la población 67
Figura 4-13. Distribución de las viviendas con piso de tierra en el municipio de Autlán 68
Figura 4-14. Marginación por localidad 70
Figura 4-15. Grado de marginación 71
Figura 4-16.Áreas de reserva urbana 80
Figura 4-17. Expansión del Área Urbana 81
Figura 5-1. Regionalización Sísmica de México. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-2. Ubicación del Bloque Jalisco en relación con las Placas de Norteamérica, Rivera, Cocos y del pacífico. ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 5-3. Localización epicentral de sismos máximos ocurridos en torno al ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-4. Mapa sismotectónico de la costa del Bloque de Jalisco, zonas de ruptura de las grandes terremotos y brechas (gaps) sísmicos existentes. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-5. Ubicación del Municipio de Autlán dentro del bloque Jalisco. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-6. Áreas de rupturas en placas tectónicas por grandes sismos del siglo XX. Las estrellas indican sismos ocurridos en el continente a profundidades someras y no superan una magnitud de 7.0. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-7. Distribución de la sismicidad registrada por NEIC (Centro Nacional de Información de Terremotos, por sus siglas en inglés) de 1973-2010, clasificados por profundidad, los círculos rojos son los epicentros con profundidad mayor a 50 Km y los círculos verdes de profundidad menor a 50 Km, magnitudes que oscilan entre 3.1 a 8.0. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-8. Áreas de rupturas de los sismos de 1932 y 1995. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-9. Sismicidad registrada por SISVOC entre los años 2001 y 2002. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-10. Sismicidad registrada por SISVOC en 2003. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-11. Actividad y regionalización Sísmica en el Occidente de México 1900-2015. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-12. Zonas Sísmicas en México. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-13. Mapa Global de Intensidades ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-14. Aceleraciones máximas del terreno en México ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-15. Aceleración máxima esperada en un periodo de retorno de 10 años ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-16. Aceleración máxima del terreno para un periodo de retorno de 100 años. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-17. Aceleraciones máximas del terreno para periodo de retorno de 500 años. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-18. Mapa de periodos de retorno para aceleraciones del 0.15 % g o mayores (CFE, 2004). La escala de la derecha tiene valores en años. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5-19. Mapa del peligro por sismos en el Municipio de Autlán, en función de la celeración máxima esperada del terreno. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 6-1. Modelo de rezago social a nivel municipal, Autlán 317
Figura 6-2. Modelo de rezago social a nivel Ageb, cabecera municipal Autlán 317
Figura 6-3. Cuestionario para evaluar capacidad de respuesta 318
Figura 6-4. Cuestionario para evaluar la percepción local. 321
Figura 6-5. Modelo espacial de percepción local del riesgo, municipal. 324
Figura 6-6. Modelo espacial de percepción local del riesgo, cabecera. 325
Figura 6-7. Modelo espacial del grado de vulnerabilidad social (GVS), municipio de Autlán. 331
Figura 6-8. Modelo espacial del grado de vulnerabilidad social (GVS), cabecera municipal Autlán 332

Índice de Gráficos

Gráfico 4-1. Distribución de las unidades económicas. Autlán de Navarro 2015 73
Gráfico 4-2. Valor de la producción agrícola 2010-2014 (miles de pesos). 74
Gráfico 4-3. Valor de la producción ganadera, Autlán 2010 - 2014 (miles de pesos) 75
Gráfico 4-4. Empleo histórico en Autlán de Navarro. (Trabajadores asegurados x 1,000) 76

Gráfico 5-1. Gráficas de comportamiento de la sequía intraestival del municipio de Autlán de Navarro ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Gráfico 6-1. Genero de personas entrevistadas 326
Gráfico 6-2. Edades de las personas encuestadas 326
Gráfico 6-3. Porcentaje de edades de personas entrevistadas 326
Gráfico 6-4. Resultados de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 2,3,4, y 5 del cuestionario de CENAPRED 2006. 328
Gráfico 6-5. Resultados de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 9,11,14, y 15 del cuestionario de CENAPRED 2006 328
Gráfico 6-6. . Resultados de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 16,17,20, y 25 del cuestionario de CENAPRED 2006 329

Índice de Tablas

Tabla 1-1. Relación de Municipios con Riesgo Global del estado de Jalisco 9
Tabla 3-1. Provincias fisiográficas 26
Tabla 3-2. Relieve en la zona de estudio 26
Tabla 3-3. Geología presente en al área de estudio 28
Tabla 3-4. Tipos de suelo y la superficie que ocupan en el área de estudio. 31
Tabla 3-5. Clasificaciones Líneas de Flujo 33
Tabla 3-6. Aprovechamiento de aguas subterráneas 33
Tabla 3-7. Regiones hidrológicas, cuencas y subcuencas y superficie que ocupan en el área de estudio. 36
Tabla 3-8. Tipos de clima y su descripción en el área de estudio. 38
Tabla 3-9. Usos del suelo en el municipio 41
Tabla 3-10. Superficie de Áreas Naturales Protegidas dentro del área de estudio. 44
Tabla 4-1. Población por sexo, porcentaje en el municipio Autlán de Navarro, Jalisco. 47
Tabla 4-2. Proyección de la población 47
Tabla 4-3. Población por sexo, porcentaje en el municipio. 48
Tabla 4-4. Población analfabeta en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro. 53
Tabla 4-5. Población de 15 años y más analfabeta según sexo y grupos de edad 53
Tabla 4-6. Población de 14 años y más que asiste a la escuela al 2015 53
Tabla 4-7. Población de 15 años y más según el grado promedio de escolaridad y sexo Jalisco y Autlán de Navarro, 2015 53
Tabla 4-8. Población con discapacidad (población con limitación en la actividad) en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro. 55
Tabla 4-9.Población de 3 años y más según condición de habla indígena y sexo 58
Tabla 4-10.Población sin derechohabiencia en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro. 58
Tabla 4-11.Población total y sin afiliación a servicios de salud por sexo, 2015 58
Tabla 4-12.Tasa de personal medico de las instituciones del sector publico de salud por mil habitantes, 2015 58

Tabla 4-13. Tasa de mortalidad por mil habitantes 58
Tabla 4-14. Pobreza Multidimensional 61
Tabla 4-15. Población que habla alguna lengua indígena en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro. 62
Tabla 4-16. Casas con piso de tierra en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro. 65
Tabla 4-17.Viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual según material en pisos 65
Tabla 4-18. Índice de Marginación 2010-2015 69
Tabla 4-19. Viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual según disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y la comunicación por tipo de bien o tecnología 72
Tabla 4-20. Viviendas particulares habitadas según disponibilidad de drenaje y tipo de desagüe 72
Tabla 4-21. Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada, 2015 72
Tabla 4-22. Unidades económicas en Autlán, 2015. 73
Tabla 4-23. Subsectores con mayor valor agregado censal bruto. 73
Tabla 4-24. Producción agrícola municipal en 2010 y 2015. 74
Tabla 4-25. Trabajadores asegurados. Región Sierra de Amula de Jalisco. 2012-2015 75
Tabla 4-26. Trabajadores asegurados 2010-2016 76
Tabla 4-27. Población ocupada y su distribución porcentual según ingreso 2010 y 2015 76
Tabla 4-28. Población ocupada y su distribución porcentual según sector de actividad económica 2010 y 2015 77
Tabla 4-29 .Estimados de la población de 12 años y más y su distribución porcentual según condición de actividad económica y de ocupación por municipio y sexo .....
77
Tabla 4-30. Plantas Municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales. Abastecimiento de agua potable 79
Tabla 4-31. Expansión de la ciudad 80
Tabla 5-1. Fenómenos perturbadores naturales y químicos 84
Tabla 5-2. Fenómenos Geológicos que la SEDATU recomienda analizar en la zona de estudio. 84
Tabla 5-3. Niveles de análisis para los fenómenos meteorológicos. 85
Tabla 5-4 Aceleraciones máximas para diferente periodo de retorno en el Municipio de Autlán ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5-5.Aceleración Máxima esperada ante sismos de diferentes magnitud y distancia epicentral. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5-6. Aceleraciones máximas esperadas generadas por un sismo de 8.2 grados ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5-7.Perceptibilidad de Fenómenos Geológicos en el Municipio de Autlán (Preeliminar). 250
Tabla 5-8.Precipitación Histórica Media Mensual registrada en *EMA 14019* para (periodo 1945-2000) ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5-9. Resultados de encuesta de percepción de peligro a la población. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 5-10. Eventos Registrados en la presa ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 6-1. Índice de rezago social 316
Tabla 6-2.Resultado del cuestionario capacidad de respuesta 320
Tabla 6-3.Rangos (percepción local del riesgo zona rural) 322
Tabla 6-4. Rangos (percepción local) 322

Tabla 6-5. Rangos (percepción local del riesgo zona urbana) 322
Tabla 6-6.Tabla de rangos, percepción local del riesgo en el sector educativo 323
Tabla 6-7. Tabla de rangos, percepción local del riesgo en el sector salud 323
Tabla 6-8.Rangos para determinar el Grado de Vulnerabilidad Social 330

Capítulo 1.

Introducción, antecedentes y objetivos

Capítulo 1. Introducción, antecedentes y objetivos

1.1 Introducción

Un Atlas de Riesgo son sistemas que integran información sobre fenómenos perturbadores a los que está expuesta una comunidad y su entorno. Se identifica a las zonas susceptibles de recibir daños e incluye las medidas de mitigación previas a la ocurrencia de una catástrofe, las cuales sirven para evitar los daños, minimizarlos o resistirlos en mejores condiciones.

Está herramienta pretende entender e identificar el peligro asociado a los fenómenos naturales. Conocer la vulnerabilidad al peligro en la zona donde se realizan las actividades cotidianas. Evidenciar los escenarios de riesgo en los periodos de retorno para los fenómenos naturales que representen un riesgo en la región donde se vive. Obtener información de los desastres de diferentes niveles y escenarios para estar preparados y prevenirlos.

La elaboración de un Atlas de Riesgos por Fenómenos Naturales, Químicos, Sanitarios y Socio-organizativos del Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, pretende crear una herramienta que informe a la población sobre los peligros naturales y antrópicos que existen en el municipio, con la finalidad de que ésta tenga una capacidad de respuesta durante un evento susceptible de afectación, asimismo permite, la zonificación y el análisis de área con probabilidad a ser afectadas por estos fenómenos, posibilitará una rápida actuación por parte de los Sistemas de Protección Civil involucrados en la emergencia.

La relación municipal con Riesgo Global de las reglas de Operación para el Programa de Prevención de Riesgos, para el ejercicio fiscal 2016, muestra la relación de los municipios con un índice de riesgo global. En el Municipio de Autlán de Navarro se considera un índice de riesgo global Muy alto (Tabla 1-1.).

Tabla 1-1. Relación de Municipios con Riesgo Global del estado de Jalisco

Clave	Municipio	Índice
14003	Ahualulco de Mercado	Alto
14004	Amacueca	Alto
14006	Ameca	Alto
14007	San Juanito de Escobedo	Alto
14014	Atoyac	Alto
14015	Autlán de Navarro	Muy alto
14022	Cihuatlán	Alto
14023	Zapotlán el Grande	Muy alto
14024	Cocula	Alto
14032	Chiquilistlán	Alto
14034	Ejutla	Alto
14036	Etzatlán	Alto
14037	El Grullo	Alto
14038	Guachinango	Alto
14039	Guadalajara	Alto
14040	Hostotipaquillo	Alto
14052	Juchitlán	Alto
14054	El Limón	Alto
14055	Magdalena	Alto
14065	Pihuamo	Alto
14067	Puerto Vallarta	Muy alto
14075	San Marcos	Alto
14079	Gómez Farías	Alto
14082	Sayula	Alto
14085	Tamazula de Gordiano	Alto
14086	Tapalpa	Alto
14087	Tecalitlán	Alto
14099	Tolimán	Muy alto
14102	Tonaya	Alto
14103	Tonila	Muy alto
14106	Tuxcacuesco	Alto
14108	Tuxpan	Muy alto
14113	San Gabriel	Muy alto
14121	Zapotiltic	Muy alto
14122	Zapotitlán de Vadillo	Muy alto

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2015. Reglas de operación del Programa de Prevención de Riesgos, para el ejercicio fiscal 2016.

Se realiza un diagnóstico integral del Riesgo en el Municipio de Autlán de Navarro, considerando las condiciones del medio físico natural y el medio social en relación con los fenómenos de origen natural que inciden en él. Se elabora una descripción de los principales fenómenos de origen natural que han impactado al Municipio y un recuento histórico de su acontecer, así como un análisis de las principales amenazas. De igual forma, se describen las herramientas informáticas, geográficas, que se utilizaron en el desarrollo del sistema de Información geográfica, indispensable en la generación del Atlas de Riesgos.

Se presentan las especificaciones técnicas para el desarrollo del **"Atlas de Peligros y/o Riesgos del Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco."**, por medio de los cuales se asegure que el municipio en cuestión tenga la herramienta necesaria para el diagnóstico, ponderación y detección precisa de riesgos, peligros y/o vulnerabilidad a través de cartografía y documentos metodológicos en el ámbito de los peligros y o riesgos.

El Atlas se realizará tomando como metodología las “Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o, Riesgos 2016, SEDATU”, en el que cobra especial relevancia el Sistema de Información Geográfica (SIG). Este sistema integral de información, que se presenta para la elaboración del Atlas de riesgos para el Municipio de Autlán de Navarro, permite establecer bases de datos y realizar el análisis del peligro, del riesgo y de la vulnerabilidad ante desastres a escala Municipal, con objeto de generar mapas y un sistemas geográficos de información.

La metodología de estudio y planteamientos utilizados permitirán obtener información precisa, acerca de los sistemas perturbadores que afectan al Municipio. De esta forma la metodología representada considerará desde el nivel más básico de estudio y obtención de información; el cual de manera progresiva aumentará la complejidad de acuerdo a las características de los fenómenos afectables e información obtenida.

De acuerdo con lo anterior, los “Alcances Técnicos” se conforman por unos condicionamientos que establecen el grado de complejidad con que serán abordados, principalmente los estudios de los riesgos; estos son:

1) Determinar y justificar desde el punto de vista técnico las causas que generan los riesgos geológicos y hidrometeorológicos.
2) Establecer métodos o ideologías para reducir, prevenir y controlar permanentemente el riesgo (mitigación del riesgo).
3) Revertir el proceso de construcción social de los riesgos
4) Fortalecer la capacidad de reacción autoridad-población (resiliencia).

Para cumplir con los aspectos anteriores, la responsabilidad de los organismos encargados en el estudio de peligros y/o riesgos, no debe terminar con la transferencia de la información obtenida a las autoridades. Adicionalmente, la investigación multidisciplinaria, en conjunto con los sistemas de protección civil, deben trabajar activamente en la información y educación de la población y los medios de comunicación sobre los fenómenos naturales y antropogénicos en general y sobre la naturaleza de los posibles peligros en particular. Los científicos están calificados para interpretar el significado de las observaciones y mediciones efectuadas en un fenómeno físico, y son las personas apropiadas para servir como enlace en el flujo de información a todos los grupos que necesitan estar al tanto sobre los fenómenos y sus peligros asociados.

1.2 Antecedentes

En el municipio de Autlán de Navarro, considerado en las “Reglas de operación del Programa de Prevención de Riesgos, para el ejercicio fiscal 2016, con índice global de riesgo “Muy alto” (DOF, 2015). Al analizar la base de datos del inventario de peligros de la Unidad Estatal de Protección Civil y Bomberos del Estado de Jalisco (UEPCyB), 2015 aparecen las razones por las cuales el municipio está con esa categoría pues registra la presencia de fenómenos perturbadores de tipo hidrometerológicos, geológicos, socio-organizativos, químicos y sanitarios entre los que destacan los siguientes:

Granizadas, en las localidades de Mezquitán y Agua Hedionda, el fenómeno ha ocasionado daños en cultivos y viviendas. Mientras que el tema de las inundaciones es más frecuente en los registros históricos del inventario de peligros, pues la base de datos registra 15 eventos con diversos grados de afectación tanto en la parte urbana como en la parte rural del municipio y el tema de lluvias torrenciales registra cuatro eventos en igual número de localidades rurales.

Sequías, este fenómeno se ha presentado en tres localidades rurales; en la localidad Bellavista y el Rodeo, se presentan pocas lluvias en el año, lo que afecta principalmente a la agricultura. En la localidad de Mezquitán se han reportado sequias entre los meses de abril y mayo, lo que afecta principalmente al ganado ya que cada año hay pérdidas de alrededor de 200 cabezas de ganado.

Figura 1-1. Sequía en Autlán de Navarro, Septiembre de 2015

Fuente: Red Universitaria de Jalisco (http://www.udg.mx/es/noticia/jalisco-registro-una-canicula-mas-severa-este-2015)

Tormentas eléctricas, este fenómeno se ha registrado en el Chante y en Ahuacapán. El inventario de peligros antes señalado (UEPCyB, 2015) informa que “en la localidad Ahuacapán en la temporada de lluvias se registran tormentas eléctricas en las cuales hay rayos que afectan a la comunidad. En la localidad el Chante, durante el temporal de lluvias se registran fuertes tormentas eléctricas con el peligro latente de la caída de un rayo, como ya ha ocurrido y afectado a los pobladores”. Por su parte, el tema de los vientos tiene cuatro registros en el inventario y ha afectado a las localidades de Ahuacapán, Rincón de Luisa, San Francisco de Arriba y los Pozos. En todas estas localidades se han visto afectadas las viviendas y es común el derribo del arbolado urbano.

Figura 1-2. Creciente del arroyo el Coajinque por el huracán Jova. Octubre, 2015

Fuente: Radio Costa, 2015. http://www.radiocosta.com.mx/celebran-dia-municipal-de-proteccion-civil-en-autlan/

Figura 1-3. Río Ahuacapan, Autlán de Navarro. Octubre 2015

Fuente: Radio Costa, 2015 (http://www.radiocosta.com.mx/1200-personas-evacuadas-y-danos-materiales-por-el-paso-de-patricia-por-autlan/)

Deslaves, en cuanto a este tema se han presentado casos en la cabecera municipal de Autlán, en específico en el arroyo el Cangrejo y a lo largo del arroyo el Coajinque. El Detalle estriba en que "dentro de la cabecera municipal se encuentra el arroyo el cangrejo, el cual tiene una pendiente pronunciada, generando que el flujo tome gran velocidad arrastrando grandes sedimentos, pasando por un costado de las colonias las Rosas y Lázaro Cárdenas. Mientras que el arroyo el Coajinque en el cual confluyen escurrimientos del cerro las Verduras, donde el flujo del agua baja con gran velocidad, arrastrando rocas y lodo, provocando deslaves a los lados y a lo largo del arroyo, ocasionado pérdidas" (UEPCyB, 2015).

Figura 1-4. Deslave en Autlán de Navarro. Octubre 2011

Fuente: PROCESO,2011

Respecto a **deslizamiento y colapso de suelo** se han reportado casos en la ladera norte del cerro Colorado, ladera este y sur del cerro la Capilla, cerro de la Vainilla, al noreste de la cabecera municipal y en la localidad Agua Hedionda. Los detalles de estos registros indican que al suroeste de la cabecera municipal se encuentra ubicado el cerro conocido como cerro el Colorado, en el cual, una parte de la ladera se localizan asentamientos irregulares de viviendas, quedado expuesta a posibles deslaves. Al norte de la cabecera municipal se localiza el cerro la Capilla en la cual se encuentran un gran número de asentamientos irregulares, con peligro a ser afectados por deslizamientos del cerro, debido a la inclinación de la ladera. Al noreste de la cabecera municipal se localiza el cerro denominado cerro de la vainilla, en el cual aún no se asientan viviendas en su laderas, lo que se encuentra en peligro son las brechas que conducen al relleno sanitario. En la localidad Agua Hedionda hay peligro de deslizamientos y colapso de suelo en la zona oeste de la localidad en las faldas del cerro la Joya Verde, esto provoca afectaciones en viviendas.

Figura 1-5. Colapso de suelo en Autlán de Navarro, 6 de noviembre de 2006

Fuente: El Informador, 2017

Flujos de lodo, este fenómeno se reportó en la cabecera municipal, en la calle Perú, ocasionando daños en 25 casas. Otro sitio con registro es en la calle Ramos Millán ocasionando daños en 35 casas. Sismos, se tienen registros de daños severos en la cabecera municipal, uno de los puntos que se tienen identificados con mayor peligro es el hospital regional de primer contacto, aquí la afluencia de personas es constante.

En cuanto a los peligros **socio-organizativos**, en el municipio de Autlán se registran dos tipos, uno es por concentración artística y por acto religioso. En el primer caso el peligro estriba en la concentración masiva de personas en eventos artísticos o culturales en el auditorio Emilio Hernández López ubicado en la cabecera municipal, otro caso es por la concentración masiva en los eventos taurinos anuales durante 10 días anteriores al miércoles de ceniza (en el carnaval). El tercer caso es el riesgo por concentración masiva por eventos artísticos o culturales en el auditorio general Marcelino García Barragán de la escuela preparatoria regional de la U de G.

Los eventos religiosos que congregan grandes cantidades de personas y que representan cierto peligro se ubican en Ahuacapán por la representación de la pasión de Cristo en semana santa, donde se reúnen de 1,500 a 2,000 personas en ciertas horas del día. Por su parte, en esta localidad del Chante, se hace una celebración religiosa en los meses de noviembre y diciembre los días 27 al 5 respectivamente, a la cual asisten aproximadamente 3,000 personas. Al tiempo que en la cabecera municipal, específicamente en la localidad del Cerrito se registra una concentración de 3,500 personas en ciertas horas del día por las fiestas patronales de la virgen de Guadalupe.

Por su parte la prensa también ha registrado la presencia de fenómenos naturales que han afectado a la población y sus bienes, en un breve recuento histórico de los últimos 18 años los datos sobre los fenómenos naturales que han impactado en la región, muestran que los más recurrentes son los derivados de las lluvias, principalmente inundaciones y deslizamientos y los sismos.

En 2016, se señaló al municipio como uno de los que reportaron más estragos por las lluvias, en materia de incremento de accidentes automovilísticos. En 2015 el municipio se vio afectado por el paso de 2 huracanes, en el mes de junio por el huracán “Carlos” que ocasionó daños menores y en octubre el huracán “Patricia”, donde se reportaron daños inmediatos como inundaciones, desbordamientos y arrastre de vehículos, se documentó a más de mil personas albergadas para disminuir los riesgos sanitarios.

Otro registro histórico importante en cuanto a daños por huracanes, fue en 2011, donde el municipio fue declarado zona de desastre junto con otros 37 del estado debido a las fuertes lluvias que trajo el huracán “Jova”, para el siguiente año, 2012, aun se percibieron estragos del mismo, aunado a una sequía histórica que acabo con miles de hectáreas de cultivos y cabezas de ganado.

En los años 2006 y 1999 también se registraron daños por huracanes, “Lane” y “Greg” respectivamente, que ocasionaron lluvias intensas, deslaves y bloqueos carreteros.

En lo que respecta a sismos se han presentado en el municipio de 2012 a 2016 algunos sismos que van de los 4 a los 5.6 grados, mismos que han ocasionado daños menores. Sin embargo existe registro de sismos de mayor magnitud, se presentaron uno en enero de 2003 de 7.6 grados por el cual se declaran 25 municipios como zona de desastre, para el municipio se estimaron 257 viviendas dañadas y el de octubre de 1995, donde un fuerte sismo que ocasionó daños a viviendas, incluyendo la presidencia municipal.

Fuente: Elaboración propia con datos de El Informador, disponible en: http://hemeroteca.informador.com.mx/, consultado el 25/08/2016.

1.3 Objetivo

Definir los peligros naturales a los que está expuesta la población del municipio y crear escenarios que permitan a los Sistemas de Protección Civil implementar medidas de prevención y mitigación frente a diversos peligros identificados.

Objetivos específicos

1) Recuperar y sistematizar la percepción de la sociedad sobre el riesgo, así como conocer la capacidad de respuesta de las autoridades locales de protección civil del municipio.
2) Analizar los fenómenos perturbadores de tipo geológicos e hidrometeriológicos, explicar su magnitud y medir el riesgo al que está expuesta la sociedad, sus bienes y el medio ambiente (análisis de peligro-vulnerabilidad).
3) Obtener instrumentos confiables y capaces de integrarse a una base de datos nacional y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) del Municipio y del gobierno del estado (sig.jalisco.gob.mx. mapajalisco.gob.mx) para que sea consultable por la sociedad.

1.4 Propósitos

Elaborar los diagnósticos a nivel local consultando en un porcentaje muy alto de localidades rurales y colonias urbanas.

Aplicar las especificaciones técnicas para el desarrollo del “Atlas de Peligros y/o Riesgos del Municipio”, SEDATU, 2016 para identificar y cuantificar los peligros, establecer las funciones de vulnerabilidad y exposición, y estimar el grado de riesgo del municipio.

Es propósito que el “Atlas de peligros y riesgos del municipio de Autlán de Navarro” producto sea aprobado por el cabildo del municipio para que sea un instrumento de mejora regulatoria y permita al municipio ejercer las obligaciones que le marcan las leyes en materia de protección civil.

Fortalecer las capacidades de la Unidad Municipal de Protección Civil del municipio con el uso y actualización del Sistemas de Información Geográfica del Atlas (SIG). Generando una serie cartográfica de 90 o más mapas integrados en el SIG (*.mxd).

Contar con elementos para justificar la elaboración de cartografía a más detalle de algunos poblados del municipio, ya que actualmente sólo la cabecera municipal y la delegación del Chante cuentan con cartografía para calcular los modelos de inundación, el resto de las localidades no cuentan con cartografía a detalle.

1.5 Metas

Estudiar y detallar los riesgos a vulcanismo, sismos, inestabilidad de laderas, flujos, caídos o derrumbes, hundimientos, subsidencia, agrietamientos, ondas cálidas y gélidas, sequías, heladas, tormentas de granizo, tormentas eléctricas, ciclones tropicales, tornados, tormentas de polvo, lluvias extremas, inundaciones.

Identificar las medidas de mitigación o adaptación a cada tipo de peligro al que está expuesta la población de Autlán de Navarro atendiendo a la información disponible.

Elaborar un SIG del atlas de peligros y riesgos del municipio de Autlán de Navarro e incorporarlo a los servicios públicos de información georreferenciada.

Capítulo 2.

Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica

Capítulo 2. Determinación de niveles de análisis y escalas de representación cartográfica.

2.1 Determinación de la zona de estudio

El municipio de Autlán de Navarro es un municipio del estado de Jalisco, comprendido en la Región Sierra de Amula, la cabecera municipal es Autlán de la Grana que funciona como polo coyuntural en el intercambio comercial y catapultando al municipio como líder en la región.

Por decreto del 16 de junio de 1853, se dispuso que se establecieran ayuntamientos en las poblaciones que eran cabeceras de los cantones en que se dividió el estado, entre ellas se considera a Autlán. Tradicionalmente fue conocido por Autlán de la Grana, debido a la abundancia de un insecto de nombre "Cochinilla" que se criaba en las hojas o pencas del nopal, cuya sangre, color púrpura o "grana" utilizaban los indígenas para teñir sus telas o vestiduras. Por decreto número 4562, publicado el 27 de Julio de 1939, la población de Autlán de la Grana llevaría en lo sucesivo el nombre de Autlán de Navarro en memoria del General y maestro Paulino Navarro, oriundo de este municipio, quién murió el 23 de diciembre de 1923 en el cumplimiento de su deber defendiendo las instituciones de la República.

El área de estudio que se determinó para llevar acabo el atlas de riesgo del municipio de Autlán de Navarro, está en función del polígono del Marco Geoestadístico Municipal (AGEM) del conjunto de datos vectoriales, INEGI 2016. La información del Marco Geoestadístico constituye un auxiliar en la delimitación entre entidades y municipios, sobre todo, en los lugares en que los límites político administrativos se encuentran indefinidos.

Las áreas geoestadísticas cuentan con una clave única en el territorio nacional, lo que permite relacionar los datos estadísticos específicos del lugar, así como; la vinculación de la estadística demográfica oficial y con los lugares geográficos correspondientes e incrustados en los conjuntos de datos vectoriales y toponímicos de las cartas topográficas que sirven de base para la edición cartográfica del proyecto.

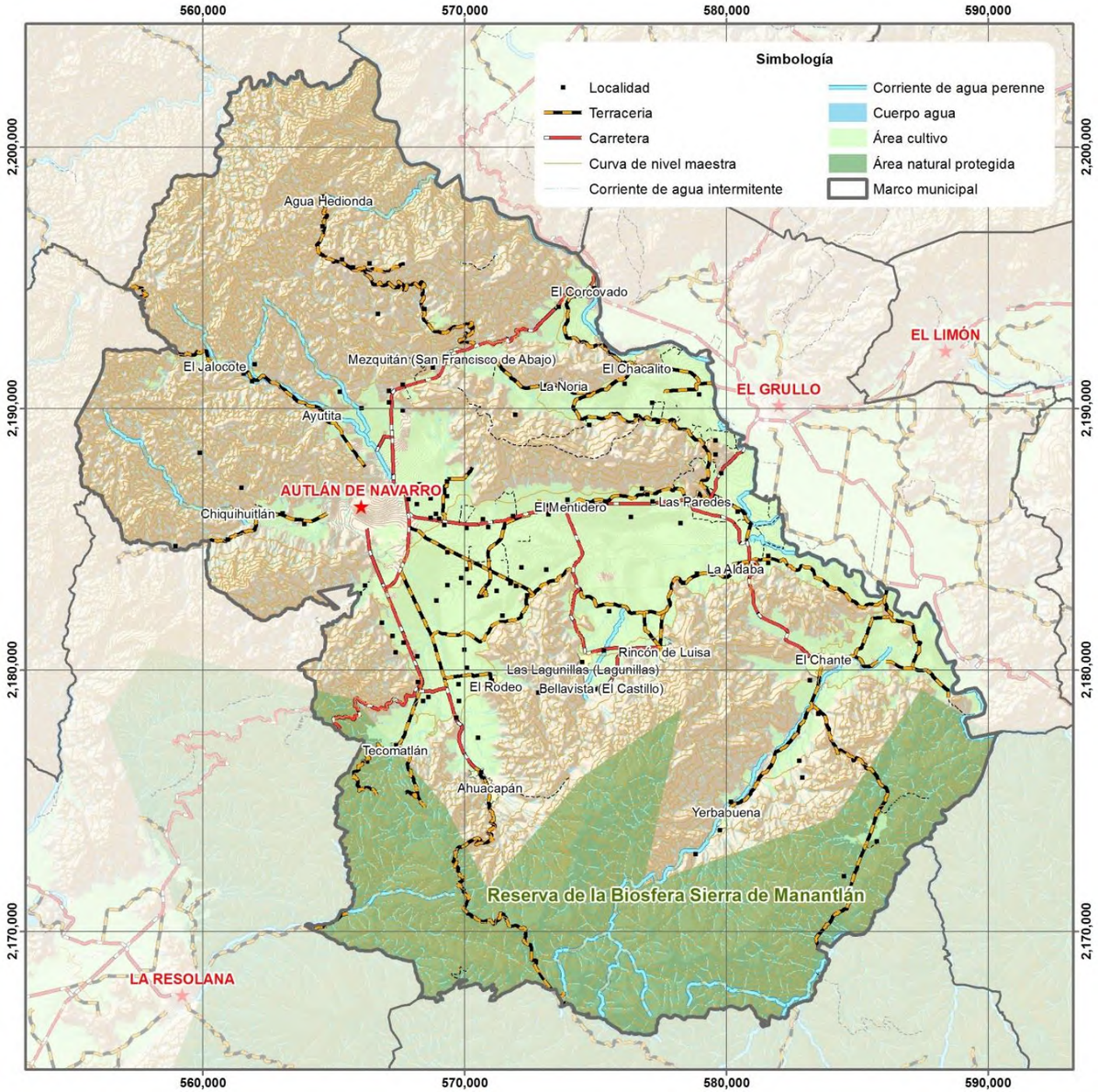
El municipio de Autlán de Navarro tiene una superficie 704 km^2. Por su superficie se ubica en la posición 39 con relación al resto de los municipios del estado. La referencia geográfica del municipio está comprendida en las siguientes coordenadas extremas: al Oeste -104°28'27.3'', al Este -104°8'6.5'', al Norte 19°55'34.7'' y al Sur 19°35'14.3''. Tiene colindancia con los siguientes municipios, Al norte con Ayutla y Unión de Tula, al este El Grullo, al sur con Cuautitlán de García Barragán y al oeste Casimiro Castillo, Villa Purificación.

2.2 Mapa base

En este atlas de riesgo se utilizaron dos escalas de trabajo, la cobertura municipal escala 1:50,000 donde se representa la cartografía temática para la caracterización del medio natural, sociodemográfico y económico, así como; la identificación de peligros con cobertura municipal como los geológicos: fallas y fracturas, sismo, vulcanismo, inestabilidad de laderas, flujo, caídos o derrumbes, hundimientos, subsidencia y agrietamientos. En los fenómenos del grupo hidrometeorológicos se identifican las ondas cálidas, las sequías, heladas, tormentas de granizo, tormenta de nieve, ciclones tropicales, tornados, tormentas de polvo, tormentas eléctricas, lluvias extremas e inundaciones.

En el mapa base municipal se representará los modelos planteados para el cálculo de la vulnerabilidad social y la identificación de la vulnerabilidad física o sistemas expuestos, así como los resultado puntuales de los peligros que se estudiaron de manera local y se elaboró los modelos cartográficos a escalas grandes 1:20,000 o mayor (entendiéndose como mayor 1:15,000, 1:10,000 o 1:5,000).

Figura 2-1. Mapa Base escala 1:50,000.



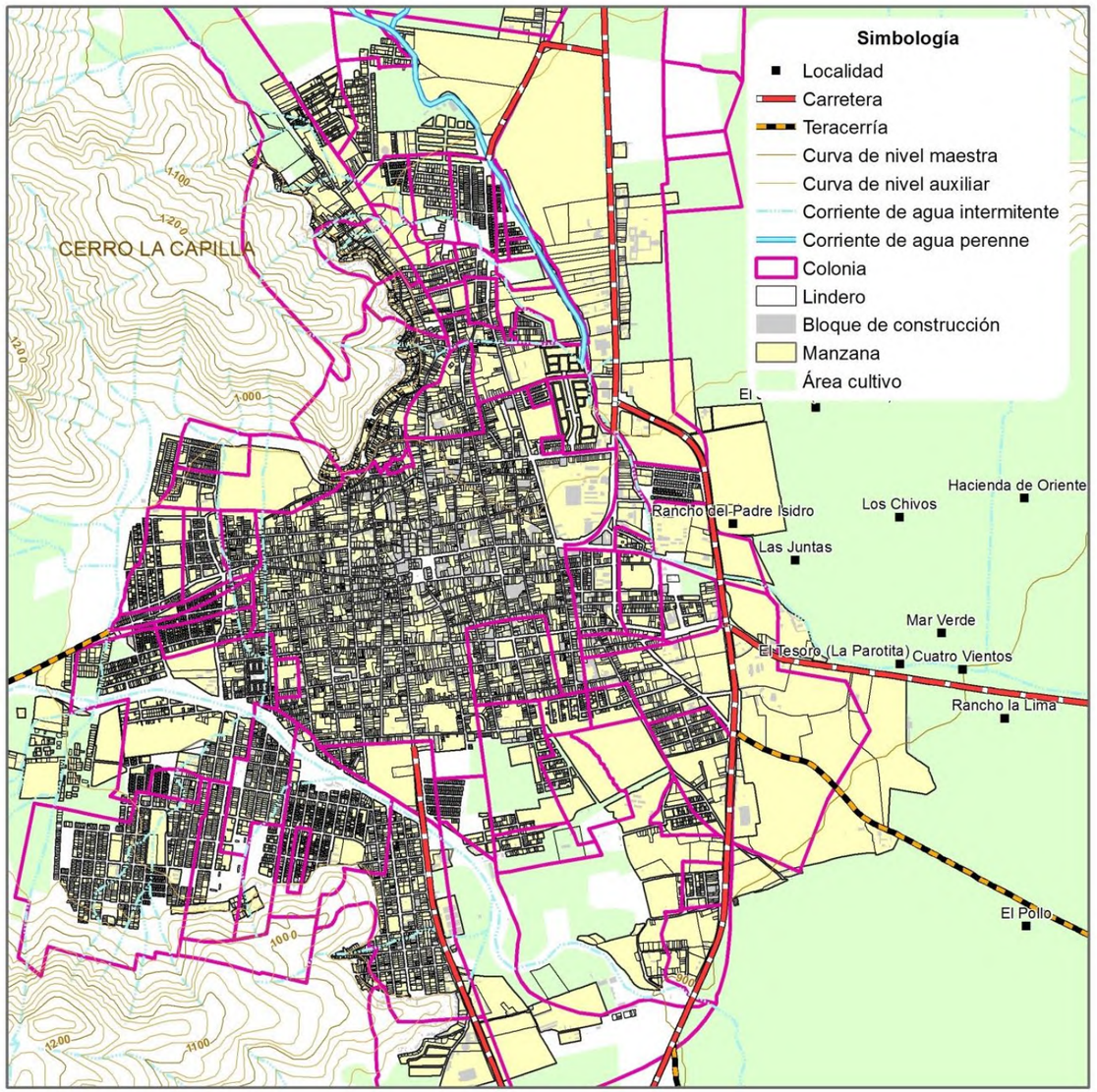
Fuente: Elaboración propia con base en cartógrafía topográfica del INEGI 2000-2015

En el mapa base municipal se representará los modelos planteados para el cálculo de la vulnerabilidad social y la identificación de la vulnerabilidad física o sistemas expuestos, así como los resultado puntuales de los peligros que se estudiaron de manera local y se elaboró los modelos cartográficos a escalas grandes 1:20,000 o mayor (entendiéndose como mayor 1:15,000, 1:10,000 o 1:5,000).

El mapa base municipal contiene las siguientes coberturas o conjuntos de datos vectoriales: límites municipales (Marco geoestadístico municipal), cabeceras municipales, localidades, carreteras, calles, brechas, veredas, terracerías, pista de aviación, líneas de trasmisión eléctrica, subestación eléctrica acueductos, rasgos hidrográficos, topónimos, curvas de nivel, áreas urbanas, cuerpos de agua, áreas de cultivo, áreas naturales protegidas , modelo digital de elevación.

El mapa base urbano o de cabecera municipal es la segunda escala, está determinada para generar cartografía a nivel urbano, desde escala 1:20,000 a 1:4,500, donde se podrán representar sobre una base cartográfica a detalle mapas de traza manzanera, AGEB-urbanos y localidades. Estos mapas se estructuran con base en las siguientes coberturas o conjuntos de datos vectoriales: Calles, líneas de transmisión eléctrica, acueductos, rasgos hidrográficos, curvas de nivel, cuerpos de agua, áreas de cultivo, área urbana, colonias y el modelo digital de elevación.

Figura 2-2. Mapa Base escala 1:7,000.



Fuente: Elaboración propia con base en cartógrafía topográfica del INEGI 2000-2015

2.3 Determinación del nivel de análisis

El nivel de análisis determinado para cada fenómeno estudiado de tipo geológico que se identifican en las base de datos y registros históricos de los inventarios de peligros y riesgo de la unidad municipal de protección civil de Autlán, en el municipio se identifica peligros que afectan en su mayoría a la población que habita en la zona urbana de la cabecera municipal, son originados a partir de fenómenos naturales como son:

1. **Vulcanismo**

   Vulcanismo con el fenómeno de caída de ceniza, varían dependiendo del volumen del material expulsado, la duración o intensidad de la erupción y la duración de los vientos dominantes al suceder está. La dirección de los vientos dominantes en el Volcán de Colima son de SW-NE durante la mayor parte del año, a excepción de los primeros meses en que varían de NW y E; si sumamos estas características de los antecedentes históricos de las erupciones de 1818, 1913 y los eventos registrados en los 2 últimos años.

	NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
	Nivel 2: Ubicación dentro del contexto geológico de México e investigación bibliográfica. Determinar el nivel de afectación por erupciones volcánicas (depósito de cenizas) en el área de interés. Elaboración del mapa por depósito de cenizas. Modelado usando el programa ash3d de la USGS para determinar espesores de cenizas. Elaboración de mapas de peligros y riesgos por depósito de cenizas.	Municipal

2. **Sismos**

   Los Sismos son perturbaciones repentinas del subsuelo cuyos impactos socioeconómicos repercuten sobre las actividades del hombre. El estudio de estos fenómenos se traduce en mejorías en su comprensión y en el desarrollo urbano regional.

   Los sismos están relacionados con el movimiento de placas en el pacifico, movimientos del bloque Jalisco y actividad volcánica. Los dos primeros son producidos por la interacción de placas tectónicas.

	NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
	Nivel 2: Determinación de la frecuencia con que se presentan los sismos y la máxima aceleración del suelo a esperar en la zona de interés, utilizando leyes de atenuación. Ubicación de la zona, en mapas de Aceleración Máxima del Terreno y Periodos de Retorno de 10, 100 y 500 años publicados por el CENAPRED. Ubicación de la zona en cuestión en el Mapa de Periodos de Retorno para Aceleraciones de 15% de g o Mayores publicado por CENAPRED. Elaboración de mapas de peligros y riesgo por sismo.	Municipal

3. **Tsunamis**

   Éste fenómeno no incide en el área de estudio, por lo tanto no se desarrollara en el Atlas de Riesgo.

4. **Inestabilidad de laderas**

   Los deslizamientos de laderas se refieren al movimiento de grandes volúmenes de suelo que se desliza sobre una pendiente, éste tipo de fenómeno amenaza a las construcciones que se encuentran debajo de la zona de falla, debido a que se pueden producir grandes aportes de material sólido, que puede enterrar a las construcciones que se encuentran en la parte baja del talud. Así mismo, las construcciones que se encuentren encima de la zona de falla.
   Las zonas más susceptibles a sufrir deslizamiento o ser afectados por estos son las que presentan una combinación de todas o algunos de los siguientes factores: topografía accidentada, pendientes cóncavas o escarpadas (mayores de 25 %), suelo poco profundo o impermeable, desforestación o poca vegetación, estructuras (fallas, fracturas), manantiales y corrientes de agua.

	NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
	Nivel 2: Análisis de información para estudios realizados en el territorio. Elaboración de cartografía especializada. Análisis multicriterio con base en cartografía temática. Elaboración de mapa de peligro y riesgos por inestabilidad de laderas.	Municipal, Cabecera y Localidad

5. Flujos

Flujo de suelo y fragmentos de roca se define como un río de estos materiales originado tras una fuerte lluvia que ocasiona inundaciones, o también como resultado de un terremoto o erupción volcánica. Arrastra consigo limo, arena, rocas, entre otras cosas. Puede viajar, sin aviso, varios kilómetros desde su origen y a una gran velocidad. En su recorrido puede aumentar de tamaño a medida que arrastra árboles, basura etc., destruyendo todo lo que este a su paso.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 2: Recopilación de información de estudios realizados en el territorio. Elaboración de cartografía especializada. Análisis multicriterio con base en cartografía temática. Elaboración de mapa de peligro y riesgo por flujos.	Municipal, Cabecera y Localidad

6. Caídos o derrumbes

Los derrumbes están relacionados en este caso a taludes en el municipio, estos corresponden a los macizos rocosos, el espesor de los suelos es corto en los casos del pie de los taludes de la serranía, es decir los taludes en peligro de derrumbe o desprendimiento de detritos son rocosos. Las avalanchas de roca generan pérdidas de vidas humanas y mayores costos en infraestructura y viviendas dañadas; aunado a esto habría que agregar el costo de operación anual para la remoción de escombros en las carreteras, brechas y terracerías en el municipio.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 2: Recopilación de información de estudios realizados en el territorio. Elaboración de cartografía especializada. Análisis multicriterio con base en cartografía temática. Elaboración de mapas de peligros y riesgos por caídos o derrumbes.	Municipal, Cabecera y Localidad

7. Hundimientos

Los hundimientos afectan a las personas y construcciones que se encuentran asentadas sobre cauces de arroyo, fallas o fracturas o zonas que presenten material no compactado, situación que se agrava cuando ocurren precipitaciones extremas, en la zona urbana de Autlán de la Grana el peligro por hundimientos, probablemente se debe a que el material en donde está asentada es susceptible de erosionarse en forma acelerada, sobre todo si existen fugas en el sistema de agua y alcantarillado.

También debido a las condiciones inestables de este suelo, es posible que durante un fenómeno sísmico, combinado con una saturación de agua, el suelo se ablande (fenómeno de licuefacción) y las construcciones que se encuentran en su superficie se hundan. Otra razón es que existen pozos que se encuentran a menos de 500 m unos de otros, lo que influye en el abatimiento y posterior hundimiento.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 1: Generar cartografía general de Hundimientos. Elaborar mapas de peligros y riesgos por Hundimientos.	Municipal, Cabecera y Localidad

8. Subsidencia

La subsidencia del terreno es un peligro natural que afecta a amplias zonas del territorio causando importantes daños económicos y una gran alarma social. La subsidencia del terreno puede deberse a numerosas causas como la disolución de materiales profundos, la construcción de obras subterráneas o de galerías mineras, la erosión del terreno en profundidad, el flujo lateral del suelo, la compactación de los materiales que constituyen el terreno o la actividad tectónica.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 1: Generar cartografía general de Subsidencia. Elaborar mapas de peligros y riesgos por Subsidencia.	Municipal

9. Agrietamientos

Las Fallas y Fracturas son de gran importancia, ya que estas implican por una parte el agrietamiento del terreno y por otra un desplazamiento de las dos secciones y con el tiempo, tienden a dañar las construcciones que edifican sobre ellas. A diferencia de las fracturas que se manifiestan como rompimiento de las rocas y placas, sin que esto implique desplazamiento; sin embargo, constituyen terrenos inestables, sobre los que no se recomienda generar edificaciones.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 2: Determinación de la Presencia del fenómeno perturbador agrietamientos .Determinación del origen del sistema perturbador (grietas).Estudios de evaluación de subsuelo por métodos indirectos para detectar fracturamiento. Elaboración de mapas por peligros y riesgos por agrietamientos.	Municipal, Cabecera y Localidad

Por otra parte el nivel de análisis determinado para los fenómenos Hidrometeorológicos que inciden en el municipio de Autlán en mayor medida son:

10. Ondas cálidas y gélidas

Según la OMS la ola de calor es un calentamiento importante del aire, o invasión de aire muy cálido, sobre una zona extensa que suele durar unos días e, incluso, semanas. Las temperaturas máximas podrían generar un escenario crítico y dar lugar a una mayor incidencia de casos como el golpe de calor, el agotamiento por calor, el síncope y los calambres por calor.
Las personas más vulnerables a las ondas de calor son los niños menores de 5 años, los adultos mayores de 65 años (porque tienen mayor probabilidad de enfermedades crónicas), los trabajadores agrícolas, los migrantes, los enfermos y las personas con sobrepeso.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 2. Metodología: Ajuste de datos históricos a una distribución de probabilidad, determinación de períodos de retorno 5, 10, 25 y 50 años. Determinación de gradientes térmicos altitudinales. Elaboración de mapas del fenómeno y del peligro.	Municipal

11. Sequías

La sequía para el municipio estará en función del resultado de una deficiencia en la precipitación, respecto a lo considerado “normal”, de modo que, cuando se extiende a través de una estación o más tiempo, es insuficiente para satisfacer las demandas humanas y del ambiente.

Las sequías causaron más del 50% del total de muertes debidas a desastres naturales entre el 1900 y el 2004 y representaron el 35% de la población afectada por desastres y el 7% de las pérdidas económicas, después de las inundaciones y los terremotos.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 3. Evapotranspiración por el método de Thornthwaite y Hargreaves. Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado (SPEI). Aplicación del análisis regional de frecuencia de sequía basado en L-momentos. Determinación de periodos de retorno 5 10, 25 y 50 años.	Municipal

12. Heladas

Se considera la ocurrencia de Heladas para el municipio cuando la temperatura del aire registrada en un termómetro instalado dentro de la casilla de observaciones meteorológicas y a una altura de 1.50 m sobre el nivel del suelo, es de 0°C. Esto constituye el concepto de helada meteorológica.

Las bajas temperaturas provocan, en las regiones donde se presentan, graves problemas a la agricultura y la salud de la población expuesta y dañan la infraestructura y entorpecen los servicios que esta presta.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 3. Trazo de isotermas de temperaturas iguales a 0 °C y menores mediante de interpo-lación. Determinación de gradientes térmicos altitudinales. Tazo de isolineas mediante Interpolación. Determinación de zona de peligro.	Municipal

13. Tormentas de granizo

El granizo se forma durante las tormentas eléctricas, cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulonimbus son arrastrados verticalmente por corrientes de aire turbulento característico de las tormentas. Las piedras de granizo crecen por las colisiones sucesivas de estas partículas de agua fría, esto es, agua que está a una temperatura menor que la de su punto de congelación, pero que permanece en estado líquido. Esta agua queda suspendida en la nube por la que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire, caen por efectos de la gravedad al suelo. Las piedras de granizo tienen diámetros que varían entre 2 milímetros y 13 centímetros, las mayores pueden ser muy destructivas.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 2. Ajuste de una distribución de probabilidad para la ocurrencia o no de granizada. Determinación de periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años. Trazo de isolíneas con días de ocurrencia.	Municipal

14. Tormentas de nieve

Éste fenómeno no incide en el área de estudio, por lo tanto no se desarrollara en el Atlas de Riesgo.

15. Ciclones tropicales

Los ciclones tropicales han causado algunos de los peores desastres debidos a fenómenos naturales. Países con litorales marítimos amplios, relieves bajos y poco desarrollados han sido fuertemente impactados por este fenómeno causando la muerte a decenas de miles de

personas y pérdidas económicas de gran magnitud. En México el huracán Gilbert en 1988 causó la muerte a 200 personas y Pauline en 1997 provocó 228 decesos.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 2. Análisis de imágenes de satélite. Cartografía de eventos que han afectado a la entidad. Levantamiento de cuestionarios. Determinación de trayectorias de y trazado de áreas de influencia.	Municipal

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.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 2 Cuestionario a la población sobre la presencia del fenómeno. Recuperación y georreferenciación de las trayectorias. Determinación de la energía potencial disponible y elaboración del mapa.	Municipal

17. Tormentas polvo

Éste fenómeno no incide en el área de estudio, por lo tanto no se desarrollara en el Atlas de Riesgo.

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 (cumulunimbus) 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.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 2. Ajuste de una distribución de probabilidad para la ocurrencia de tormentas eléctricas. Determinación de periodos de retorno a 5, 10, 25 y 50 años. Gradientes de tormenta eléctrica.	Municipal

19. Lluvias extremas

Éste fenómeno no incide en el área de estudio, por lo tanto no se desarrollara en el Atlas de Riesgo.

20. Inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres

Para el municipio definiremos inundación como “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. En este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas, de acuerdo al glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974).

Con lo anterior, se entiende por inundación: aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

El peligro de inundaciones en el municipio está dado por desbordamiento de causes debido al exceso de lluvia que se relaciona directamente con la intensidad de la precipitación, la topografía y la infraestructura construida en la zona de estudio.

NIVELES DE ANÁLISIS PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS DE RIESGOS (TR2016)	ESCALA DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA
Nivel 3. Elaboración de modelos matemáticos para simular las inundaciones por flujo no permanente bidimensional. Caracterización de la severidad de las inundaciones. Determinación de valores de profundidad, velocidad, y flujo para periodos de retorno2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.	Cabecera y localidad

Capítulo 3. Caracterización de los elementos del medio natural

Capítulo 3. Caracterización de los elementos del medio natural

3.1 Fisiografía

Provincias

Para el caso del área de estudio, Municipio de Autlán de Navarro, su fisiografía está representada, por un lado, por las provincias de la Sierra Madre del Sur en 70% y el Eje Neovolcánico o Sierra Volcánica Transversal en un 30%. La provincia Sierra Madre del Sur se extiende a lo largo y muy cerca de la costa del Pacifico con una dirección general de noroeste a sureste, su altitud es casi constante de poco más de 2000 m en ella nacen varias corrientes que desembocan en el Océano Pacifico y en su vertiente interior se localizan las cuencas del río Balsas, Verde y Tehuantepec. Es la provincia de mayor complejidad geológica. Podemos encontrar, rocas ígneas, sedimentarias y la mayor abundancia de rocas metamórficas del país. El choque de las placas tectónicas de Cocos y la placa Norteamericana, provocó el levantamiento de esta Sierra y ha determinado en gran parte su complejidad. Para el caso de la provincia Eje Neovolcánico, cuyo 30% abarca nuestra área de estudio, se caracteriza, al igual que la Sierra Madre del Sur, en una de las provincias con mayor variación de relieve y de tipos de rocas. Se extiende desde el Océano Pacifico hasta el Golfo de México, constituyendo una ancha faja de 130 km. Inicia en la Costa Occidental en la desembocadura del Río Grande Santiago a la Bahía de Banderas, continua hacia el sureste hasta encontrar el Volcán de Colima para después continuar aproximadamente sobre el paralelo 19° N, hasta legar al Pico de Orizaba y al Cofre de Perote, alcanzando 880 km. de longitud. Esta cordillera es la más alta del país, puesto que algunas cimas se encuentran coronadas de nieve permanentemente. Limita a la Sierra Madre, Oriental y Occidental y del Sur. Esta importante estructura determina el límite físico entre el Norte del continente y Centroamérica, así como el límite Altimétrico, orográfico y climatológico.

Subprovincias

La subprovincia Sierras de las Costas de Jalisco y Colima, presenta gran presencia en el área de estudio, esta gran subprovincia ocupa un área considerable equivalente al 24.6% de la superficie total del estado de Jalisco y el 70% respecto a l total del municipio en cuestión, cabe mencionar que su área incluye los municipios de Cabo Corrientes, Casimiro Castillo, Cihuatlán, Cuautitlán, Cuautla, La Huerta, Mascota, Puerto Vallarta, Purificación, San Sebastián, Talpa de Allende, Tomatlán y parte de los municipios de Ateguillo, Autlán de Navarro, Mixtlán, Tolimán y Tuxcacuesco. Estas sierras tienen dos tipos de rocas: granito y las rocas volcánicas con alto contenido de sílice. Se trata en ambos casos de rocas ígneas. Estas grandes sierras están constituidas en más de la mitad de su extensión por un enorme cuerpo (o cuerpos) de granito, ahora emergido. A estas masas intrusivas de gran tamaño se les llama batolitos y siempre se les encuentra asociados a cordilleras. En su estado actual, el batolito integra una sierra de mediana altitud en la que se han abierto amplios valles intermontanos de excavación, todavía con muy escaso relleno aluvial y casi siempre con un drenaje hacia el sur que desemboca en el Océano Pacífico. Se levanta más o menos abruptamente del mar y presenta un desarrollo incipiente de valles y llanuras costeras.

La subprovincia es diferente de otras de la Sierra Madre del Sur porque carece de alineamientos estructurales de este a oeste.

Para el caso de la Subprovincia Sierras de Jalisco que involucra al 30% de la superficie municipal aproximadamente, la cual inserta totalmente en el estado de Jalisco, está constituida por dos tipos básicos de topoformas generales: montañas y mesetas. Entre sus extremos norte y sur, las cadenas montañosas de rocas ígneas que componen la sierra, se levantan por encima de los 2,000 m.s.n.m., en tanto que las superficies más bajas se encuentran a una altitud de 800 m.s.n.m. La subprovincia de las Sierras de Jalisco presenta los siguientes sistemas de topoformas: Gran Sierra Volcánica Compleja o Grandes Estrato-Volcanes, Sierra de Laderas Abruptas, Sierra de Laderas Tendidas, Sierra de Laderas Tendidas con Llanos, Sierra Compleja, Escudo-Volcán Aislado, Meseta Lávica, Mesetas Lávicas asociadas con cañadas, Mesetas Escalonadas asociadas con lomeríos, Mesetas Pequeñas con lomeríos, Lomerío Suave asociado con cañadas, Valle de Laderas Escarpadas, Valle de Laderas Tendidas, Valle de Laderas Tendidas asociado con lomeríos, Cañón y Pequeño Llano Aislado.

Respecto a las topoformas que conforman el área del Municipio de Autlán de Navarro, se encuentran la Sierra alta compleja, cubriendo aproximadamente el 70.0%, para el caso de la Llanura aluvial de piso rocoso o cementado aproxima al 23.71% de la superficie municipal, por último la Sierra volcánica de estrato volcanes o estrato volcanes aislados apenas engloba un 6.29%.

Figura 3-1. Mapa de provincias y subprovincias fisiográficas.

Fuente: Fisiografía, Provincias fisiográficas de la "Carta Fisiográfica", INEGI, 2001.

Tabla 3-1. Provincias fisiográficas

Entidad	Nombre	Ha	%
Provincia	Eje Neovolcánico	21,179.90	30.05%
Provincia	Sierra Madre del Sur	49,286.92	69.94%
Total		70,466.82	100%

Fuente: Fisiografía, Provincias fisiográficas de la "Carta Fisiográfica", INEGI, 2001.

3.2 Geomorfología

La geomorfología es la ciencia del relieve, investiga los procesos que lo crean, y explica su desarrollo y su transformación. La cartografía geomorfológica permite visualizar la diversidad territorial del relieve y relacionarla con otros factores ambientales. Las formas del paisaje se dividen en clases que incluyen a todas aquellas formas que son similares tanto en forma externa como en origen. Los rasgos geomorfológicos de una región guían en gran medida el uso de los recursos naturales, la ubicación de los asentamientos humanos y las actividades básicas de la población. (Geissert D 2004.)

Llanura Aluvial de Piso Rocoso o Cementado

Llanura aluvial de piso rocoso o cementado, abarca de Chapalilla a Ixtlán del Río; meseta basáltica con cañadas, en la localidad San José de Gracia; sierra volcánica de laderas escarpadas, sitio en que están ubicados la población Cofradía de Chocolón (La Cofradía) y el volcán San Juan; llanura costera, que comprende de Ixtapan de la Concepción a Zacualpan y Las Varas; sierra de escudovolcanes, lugar en el que se ubican las poblaciones El Divisadero y Altavista; llanura costera de piso rocoso o cementado, en la zona de Peñita de Jaltemba; sierra compleja, que corresponde al Cerro Grande (San Pedro); y valle de laderas escarpadas con lomeríos, al norte y este de Salazares.

Sierra Alta Compleja

Es el más extendido, el relieve principal lo conforman las sierras Vallejo y Zapotán; llanura costera con deltas, corresponde a la llanura costera del río Ameca, lugar en el que están situadas las poblaciones Valle de Banderas y San Juan de Abajo; llanura de piso rocoso o cementado con lomeríos, en la cual se asientan las localidades Punta de Mita e Higuera Blanca; lomerío, bordea a la sierra Vallejo en sus flancos oriental y sur; valle ramificado con lomeríos, en las poblaciones Monteón y Lo de Marcos; y valle ramificado, sitio donde se localiza el poblado Aguamilpa. (INEGI, 2000)

Sierra Volcánica con Estrato Volcanes o Estrato Volcanes Aislados

En la provincia a fisiográfica Eje Neovolcánico, también llamada Sierra Volcánica Transversal.

Franja volcánica irregular que cruza al país de oeste a este (del Océano Pacífico al Golfo de México), entre los paralelos 19° y 22c N, aproximadamente. Colinda al norte con la Llanura Costera del Pacífico, la Sierra Madre Occidental, la Mesa del Centro, la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo Norte; al sur con la Sierra Madre del Sur y la Llanura Costera del Golfo Sur; al oeste, con el Océano Pacífico y la Sierra Madre del Sur; y al este, con el Golfo de México.

Se extiende sobre parte de los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, México, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Veracruz y el Distrito Federal (González M., 2004)

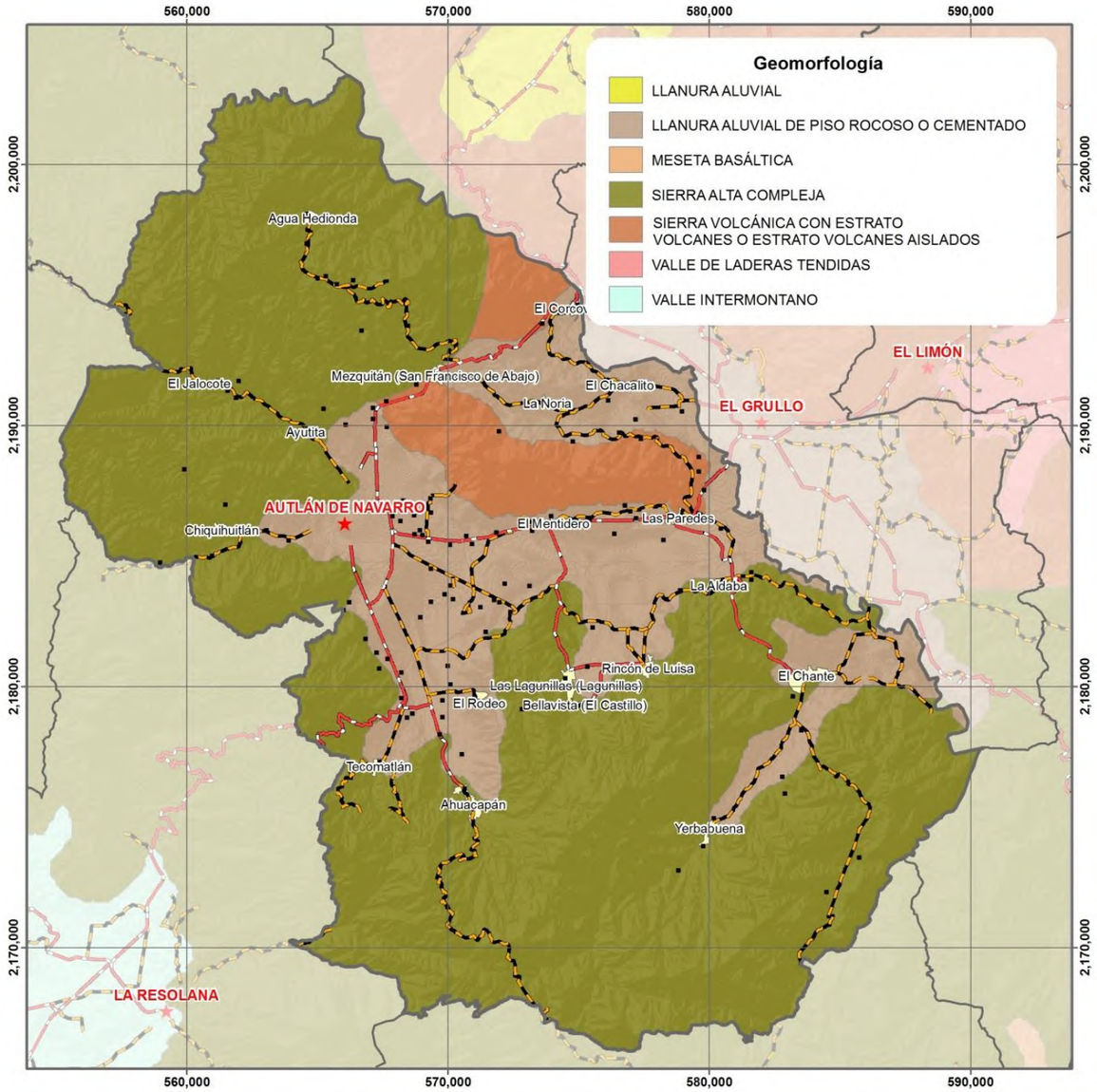
Al municipio de Autlán de Navarro lo caracterizan estructuras del relieve de tres características distintas, con las siguientes superficies:

Tabla 3-2. Relieve en la zona de estudio

Estructura del relieve	Hectáreas	%
Sierra Alta Compleja	4,9142.17	69.74
Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados	4,490.27	6.38
Llanura aluvial de piso rocoso o cementado	16,834.39	23.88
Total	70,466.83	100.00

Fuente: Geomorfología, Sistemas de topofomas, Fisiografía INEGI, 2001

Figura 3-2. Mapa de Geomorfología, estructuras del relieve.



Fuente: Geomorfología, Sistemas de topofomas, Fisiografía INEGI, 2001

3.3 Geología

El municipio de Autlán de Navarro se encuentra ubicado sobre zonas de suelo que pertenecen a dos periodos, el período Cenozoico y Mesozoico compuestos por rocas de clase ígnea extrusiva y sedimentaria. (INEGI, 2001).

Litología

En el área de estudio se identifican 2 tipos de unidades litológicas: rocas predominantes y suelos (INEGI, 1971b). Respecto a las rocas se tienen 5 tipos, las areniscas-conglomerado, granito, toba ácida, toba intermedia y el volcanoclástico. Respecto a los suelos de tipo aluvial, son los únicos encontrados en el área de estudio en asociación con las rocas. Las rocas sedimentaria areniscas-conglomerado de grano grueso mayores a los 2 mm a más de 250 mm (gravilla 2-4 mm, matatena 4-6 mm, guijarro 64 - 256 mm y peñasco > 256 mm); de formas esféricas a poco esféricas y de grado de redondez anguloso a bien redondeados. Por la presencia de arcillas (matriz y/o cementante) se diferencian los siguientes tipos de conglomerados: ortoconglomerados (matriz <15 %) y paraconglomerados (matriz > 15%. Las areniscas Roca constituida por minerales, fragmentos del tamaño de la arena 1/16 mm a 2 mm. Se pueden clasificar en forma general por el porcentaje de matriz (material que engloba a los fragmentos) en arenitas (0-15 %) y wacas (15-75%), por su contenido de minerales (cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca) en: arcosas, ortocuarcitas y litarenitas, Grawvaca (lítica o feldespática).

Las rocas Ígnea intrusiva de tipo granito, encontradas en la zona de estudio, también conocido como piedra berroqueña, es una roca ígnea plutónica formada esencialmente por cuarzo, feldespato y mica. Mientras el término según los estándares de Unión Internacional de Ciencias Geológicas refiere una composición estricta, el término granito es a menudo usado dentro y fuera de la geología en un sentido más amplio incluyendo a rocas como tonalitas y sienitas de cuarzo. Las rocas toba ácida del área de estudio, suelen estar representadas por riolitas que consisten de cuarzo y feldespato alcalino en mayor proporción que la plagioclasa sódica, riodacita que consiste de cuarzo, la plagioclasa sódica se presenta en mayor proporción que el feldespato alcalino y dacita, compuesta de cuarzo y plagioclasa sódica .

Para el caso de las tobas intermedias encontradas en el área de estudio, se caracterizan por raquita, lalita, andesita. En ese mismo orden, la raquita consiste esencialmente de feldespato alcalino y plagioclasa sódica subordinada. Roca lalita que consiste esencialmente de cantidades semejantes de feldespato alcalino y plagioclasa sódica. La andesita es roca volcánica generalmente porfídica que consiste de plagioclasa sódica.

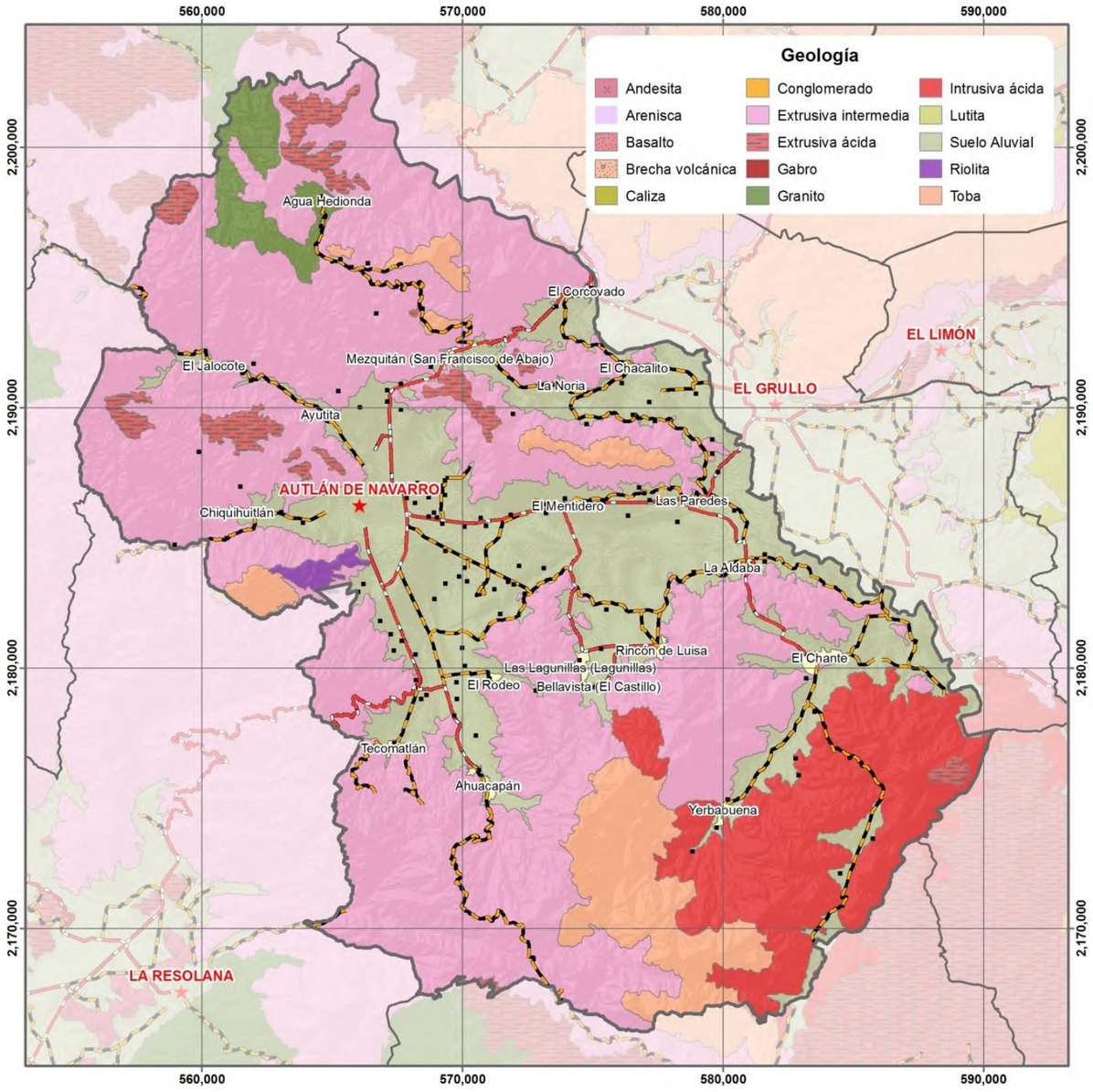
Por último la roca Volcanoclástico del área de estudio, está constituida de fragmentos derivados por cualquier mecanismo y origen depositada en ambientes continental y marino. Su clasificación se basa en la combinación textural-estructural de rocas piroclásticas y de rocas sedimentarias. El tamaño de sus componentes varía de arcillas-cenizas a bloques-bombas.

Tabla 3-3. Geología presente en al área de estudio

Tipo	Superficie (ha)	%
Arenisca-Conglomerado	852.65	1.18
Aluvial	18,484.91	26.24
Granito	12,644.19	17.95
Toba Ácida	6,561.30	9.32
Toba intermedia	30,620.80	43.46
Volcanoclástico	1,302.94	1.85
Total	70,466.82	100

Fuente: Geología 1:50,000, INEGI. Digitalizado por IIEG, 2015. INEGI, 2001.

Figura 3-3. Mapa de unidades litológicas presentes en el área de estudio.



Fuente: Geología 1:50,000, INEGI. Digitalizado por IIEG, 2015. INEGI, 2001.

3.4 Edafología

Conforme a la descripción y clasificación del INEGI 1971, en el área que comprende el Municipio de Autlán de Navarro, se identifican 7 unidades de suelos, encontrando que el Regosol es el suelo dominante.

Suelo dominante es el **Regosol 37.55%** del griego *Reghos*: cobija o capa de material suelto que cubre la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. En México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad.

Se incluyen en este grupo los suelos arenosos costeros y que son empleados para el cultivo de coco y sandía con buenos rendimientos. En Jalisco y otros estados del centro se cultivan granos con resultados de moderados a bajos. Para uso forestal y pecuario tienen rendimientos variables. El símbolo cartográfico para su representación es (R).

Cambisol 21.86% del latín *cambiare*. Suelo que cambia. Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en las zonas áridas. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. También pertenecen a esta unidad algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate. Son muy abundantes, se destinan a muchos usos y sus rendimientos son muy variables pues dependen del clima donde se encuentre el suelo. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión. Su símbolo es (B).

Leptosol o Litosol 19.10% Del griego *lithos*: piedra. Literalmente, suelo de piedra. Son los suelos más abundantes del país pues ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lamerías y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable dependiendo de otros factores ambientales. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su uso es forestal; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo más o menos limitado y en algunos casos se destinan a la agricultura, en especial al cultivo de maíz o el nopal, condicionado a la presencia de suficiente agua. No tiene subunidades y su símbolo es (1).

Phaeozem 13.19% Del griego *phaeo*: pardo; y del ruso zemljá: tierra. Literalmente, tierra parda. Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, semejante a las capas superficiales de los Chernozems y los Castañozems, pero sin presentar las capas ricas en cal con las que cuentan estos dos tipos de suelos. Los Feozems son de profundidad muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. Los Feozems menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, tienen rendimientos más bajos y se erosionan con más facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobretodo de la disponibilidad de agua para riego. Su símbolo en la carta edafológica es (H).

Vertisol 3.66% Del latín *vertere*, voltear. Literalmente, suelo que se revuelve o que se voltea. Suelos de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural va de selvas bajas a pastizales y matorrales. Se caracterizan por su estructura masiva. Y 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. Su color más común es el negro o gris oscuro en la zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Ocupan gran parte de importantes distritos de riego en Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza. En estos suelos se produce la mayor parte de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización. Su símbolo es (V).

Fluvisol 1.46% del latín *fluvius*: río. Literalmente, suelo de río. Se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por agua. Son suelos muy poco desarrollados, medianamente profundos y presentan generalmente estructura débil o suelta. Se encuentran en todos los climas y regiones de México cercanos siempre a lechos de los ríos. Los ahuehuetes, ceibas y sauces son especies típicas que se desarrollan sobre estos suelos. Los Fluvisoles presentan capas alternadas de arena con piedras o gravas redondeadas, como efecto de la corriente y crecidas del agua en los ríos. Sus usos y rendimientos dependen de la subunidad de Fluvisol que se trate. Los más apreciados en la agricultura son los Fluvisoles mólicos y calcáricos por tener mayor disponibilidad de nutrientes a las plantas. El símbolo para representarlos dentro de la carta edafológica es (J).

Luvisol 0.45% Del latin *luvi*, luo: lavar. Literalmente, suelo con acumulación de arcilla. Son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas como los Altos de Chiapas y el extremo sur de la Sierra Madre Occidental, en los estados de Durango y Nayarit, aunque en algunas ocasiones también pueden encontrarse en climas más secos como los Altos de Jalisco o los Valles Centrales de Oaxaca. La vegetación es generalmente de bosque o selva y se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser obscuros. Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados. En algunos cultivos de café y frutales en zonas tropicales, de aguacate en zonas templadas, donde registran rendimientos muy favorables. Con pastizales cultivados o inducidos pueden dar buenas utilidades en la ganadería. Los aserraderos más importantes del país se encuentran en zonas de Luvisoles, sin embargo, debe tenerse en cuenta que son suelos con alta susceptibilidad a la erosión. En México 4 de cada 100 hectáreas está ocupada por Luvisoles. El símbolo para su representación cartográfica es (L).

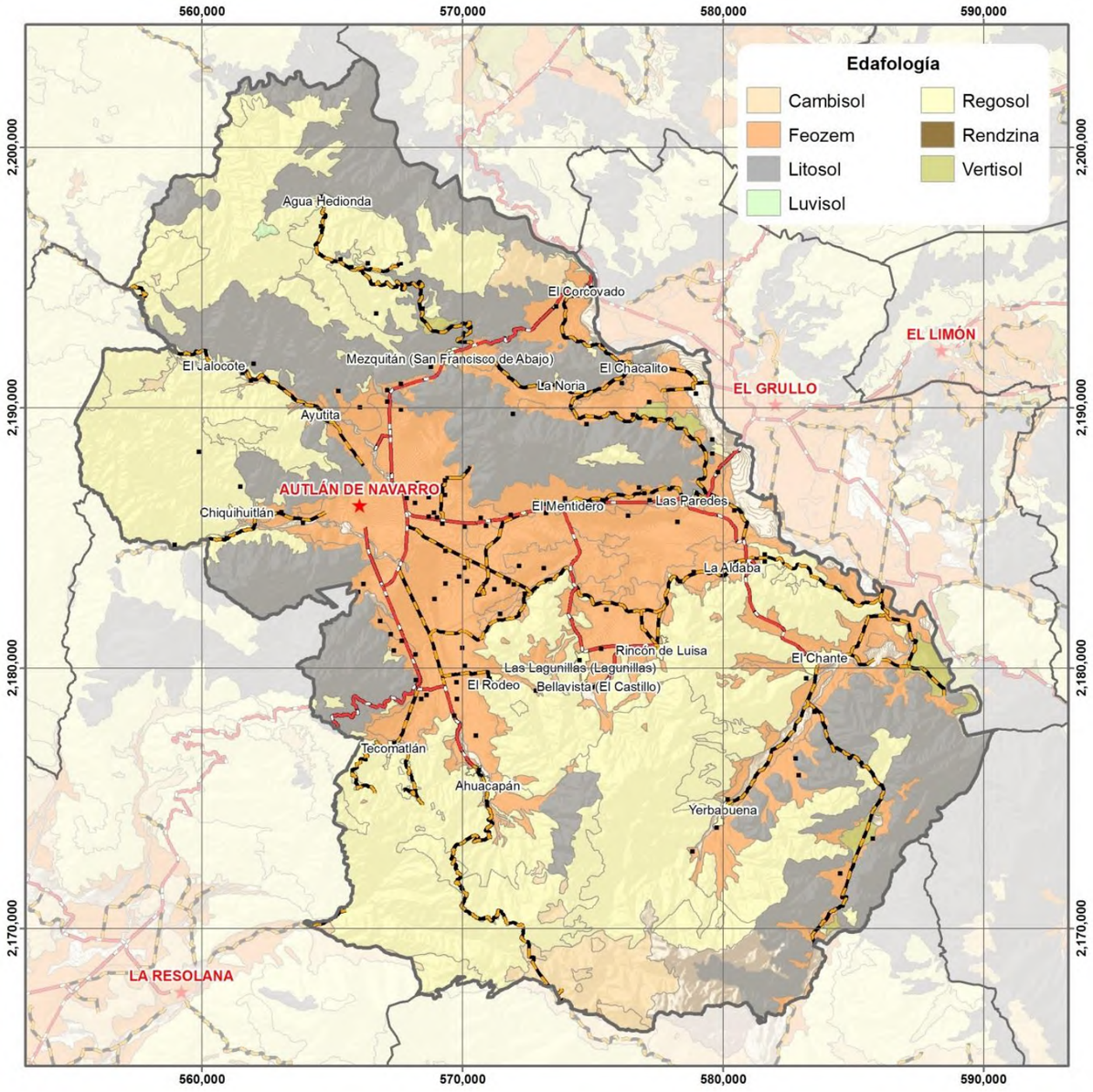
Tabla 3-4. Tipos de suelo y la superficie que ocupan en el área de estudio.

Tipo de suelo	Superficie (ha)	Porcentaje
Acrisol	829.99	1.18%
Cambisol	1,994.55	2.83%
Feozem	17,294.51	24.54%
Fluvisol	1,736.38	2.46%
Litosol	17,984.16	25.52%
Luvisol	37.26	0.05%
Planosol	14.28	0.02%
Regosol	29,974.12	42.54%
Vertisol	601.58	0.85%
Total	**70,466.83**	**100%**

Fuente: Edafología 1:50,000, INEGI. Digitalizado por IIEG, 2015. INEGI, 2001

.

Figura 3-4. Distribución de los tipos de suelo en el área de estudio



Fuente: Edafología 1:50,000, INEGI. Digitalizado por IIEG, 2015. INEGI, 2001

3.5 Hidrografía

Las principales corrientes de agua en el municipio son: el Río Ayuquila, Río Purificación y el Río La Yerbabuena. Cuenta con el embalse de La Laguna y El Pantano.

Tabla 3-5. Clasificaciones Líneas de Flujo

Río	Clasificación Strahler Magnitud de orden (Subcuenca)	Longitudes de líneas de flujo aguas arriba a nivel de subcuenca (m)	Longitud de trayectoria (sumatoria de longitudes aguas abajo) a nivel de subcuenca (m)
Río Ayuquila	7	6,493,617.53	47,956.15
Río Amborín	4	77,064.32	120,145.01
Río La Yerbabuena	4	105,367.68	54,868.36
Río Manantlán	5	116,737.39	42,529.10
Río Ayutla	7	5,952,280.48	71,708.87
Río Purificación	7	1,141,201.717	86,591.68

Fuente: SIATL, INEGI 2017.

Acuíferos

Se refiere acuífero a cualquier formación o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento, y cuyos límites laterales y verticales se definen (Ley de Aguas Nacionales, 2013).

Para fines de administración del agua subterránea, el país se ha dividido en 653 acuíferos, cuyos nombres oficiales fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 20 de diciembre de 2013 y de acuerdo con la CONAGUA (2015), actualmente 202 están sobreexplotados.

En el estado se identifican un total de 59 acuíferos dentro de los límites de Jalisco y de acuerdo con la última publicación del DOF el 20 de abril de 2015, de los 59 acuíferos que están en el Estado de Jalisco, 26 están sobreexplotados y 33 sub-explotados (Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco,2015).

Para efectos de publicación de disponibilidad de aguas subterráneas en acuíferos del país, el Diario Oficial de la Federación considera:

- Sub-explotados aquellos acuíferos en los que existe un volumen disponible de aguas subterráneas para nuevas concesiones por parte de la CONAGUA.
- Sobre-explotados aquellos acuíferos en los que no existe un volumen disponible de aguas subterráneas para nuevas concesiones por parte de la CONAGUA.

El municipio de Autlán de Navarro se encuentra en su mayor parte en el Acuífero Autlán, sin embargo se ubica también sobre los acuíferos de Unión de Tula y La Huerta, los cuales se encuentran localizados al suroeste del estado de Jalisco.

Ocupación territorial de los acuíferos en el municipio

El Acuífero Autlán ocupa el 90.91 % del total del territorio municipal; mientras que el Acuífero La Huerta ocupa el 4.78 % y Unión de Tula el 3.60 % restante.

Usos de las aguas subterráneas en el municipio

Según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA; 2013, 07) de la CONAGUA, existen 249 aprovechamientos de aguas subterráneas en el municipio de Autlán de Navarro, los cuales se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 3-6. Aprovechamiento de aguas subterráneas

Uso	Cantidad	Volumen	%Volumen
Acuacultura	1	0.000954	0.00
Agrícola	196	22.374819	81.21
P. Urbano	44	4.415703	12.40
Servicios	4	1.258974	4.57
Industrial	3	0.5	1.81
Pecuario	1	0.001971	0.01
Total	249	27.552421	100.00

Fuente: REPDA; 2013, 07, CONAGUA.

Disponibilidad de aguas subterráneas

De acuerdo con el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, la Disponibilidad Media Anual de Aguas Subterráneas (1), se obtiene de restar al Volumen de Recarga

Total Media Anual (2), el valor de la Descarga Natural Comprometida (3) y el Volumen de Aguas

Subterráneas Concesionado e Inscrito en el REPDA (4): DAS(1) = RECARGA(2) – DNC(3) – REPDA(4).

Acuífero Autlán: -1.847591 Mm3 /año (CONAGUA; 2015):

DAS = RECARGA – DNC – REPDA

DAS = 76.0 - 0.0 - 77.847591 = -1.847591 Mm3/año

El resultado indica que existe un déficit de aguas subterráneas -1.847591 Mm³ por año, por lo que actualmente no existe volumen disponible para nuevas concesiones.

Acuífero Unión de Tula: 1.610799 Mm3 /año (CONAGUA; 2015):

DAS = RECARGA – DNC – REPDA

DAS = 103.3 – 84.3 – 17.389201 = 1.610799 Mm3/año

El resultado indica que existe un volumen de aguas subterráneas de 1.610799 Mm³ por año disponible para nuevas concesiones. **Acuífero La Huerta:** -4.908195 Mm3 /año (CONAGUA; 2015):

DAS = RECARGA – DNC – REPDA

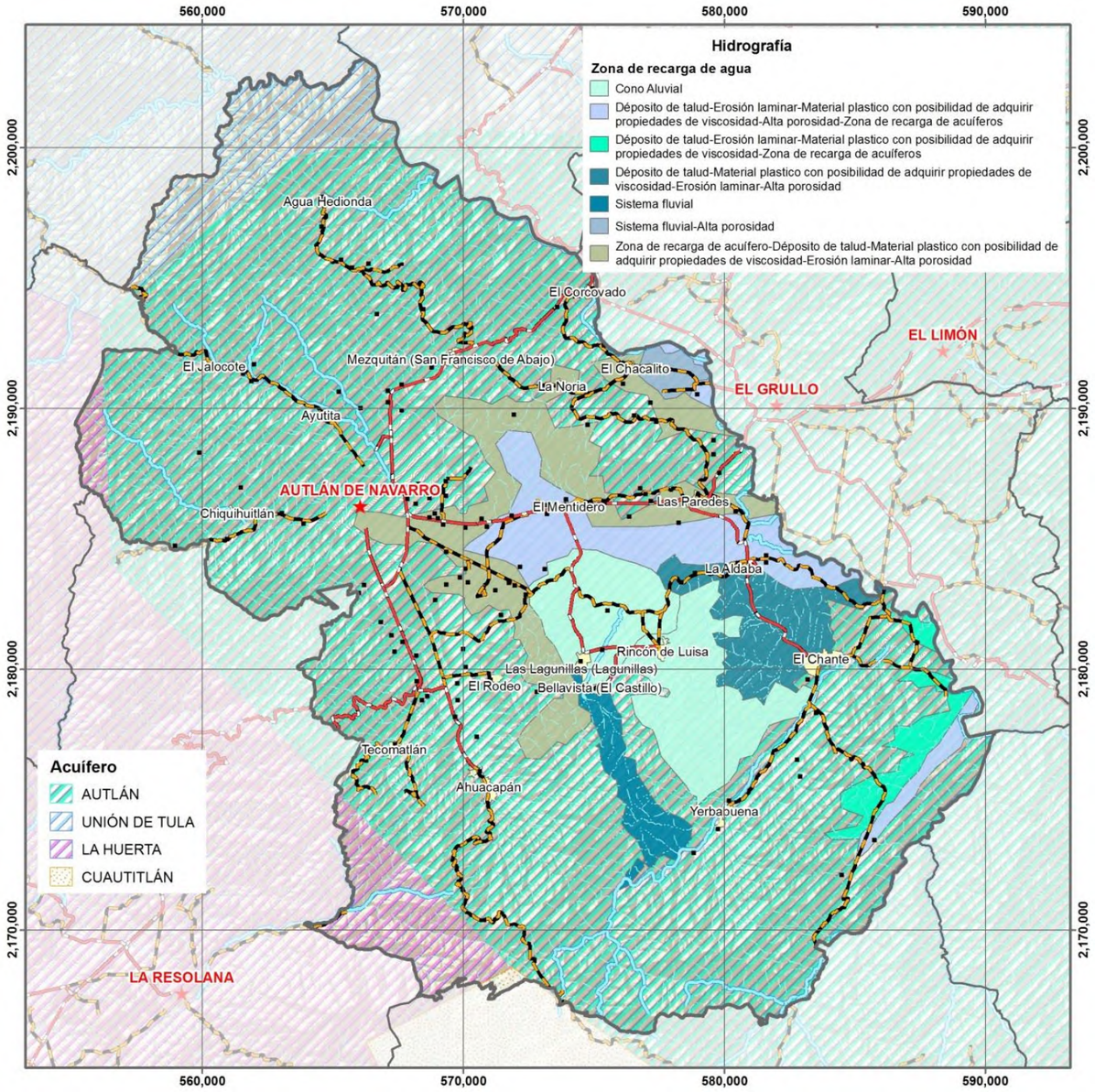
DAS = 64.5 - 8.1 - 61.308195 = -4.908195 Mm3/año

El resultado indica que existe un déficit de aguas subterráneas de -4.908195 Mm³ por año, por lo que actualmente no existe volumen disponible para nuevas concesiones.

3.6 Cuencas y subcuencas

El municipio de Autlán de Navarro de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014) se encuentra en la Región Hidrológica Administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico; Región Hidrológica 16 Armería — Coahuayana en las Cuencas Hidrológicas Canoas, Corcovado y en la Región Hidrológica 15 Costa de Jalisco, en la Cuenca Hidrológica del Río Purificación.

Figura 3-5. Mapa. Acuíferos y zonas de recarga de agua.



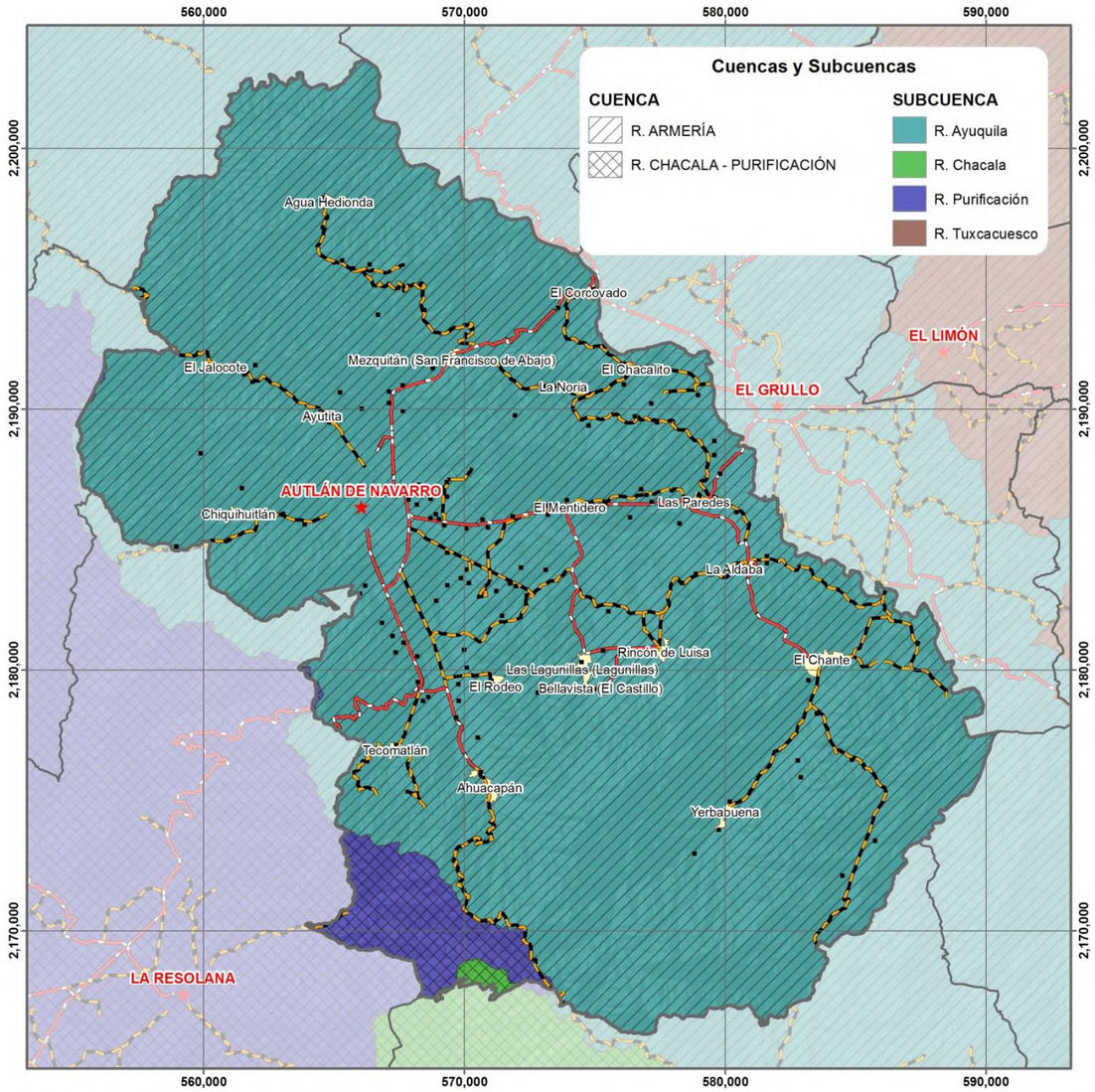
Fuente: Acuíferos, CONAGUA, 2015 y Zonas de Recarga de Agua, IITEJ, 2001

Tabla 3-7. Regiones hidrológicas, cuencas y subcuencas y superficie que ocupan en el área de estudio.

CVE RH	RH	CUENCA	CVE SUBCUENCA	SUBCUENCA	DENSIDAD DE DRENAJE	LUGAR DONDE DRENA	ELEVACIÓN MÁX. (m)	ELEVACIÓN MÍN(m)	PENDIENTE MEDIA (%)	TIPO	Ha	%
RH15	Costa de Jalisco	R. Chacala - Purificación	RH15Ab	R. Chacala	RH15Ac	Río Purificación	2,880	0	39.37	Exorréica	197.44	0.28%
RH15	Costa de Jalisco	R. Chacala - Purificación	RH15Ac	R. Purificación	3.27	Mar	2,525	3	33.34	Exorréica	2,510.3	3.56%
RH16	Armería - Coahuayana	R. Armería	RH16Bc	R. Ayuquila	RH16Ba	Río Armería	2,305	677	39.09	Exorréica	67,759	96.16%
										TOTAL	**70,467.82**	**100**

Fuente: Cuencas y Subcuencas, SIATL, INEGI 2010

Figura 3-6. Cuencas y Subcuencas



Cuencas y Subcuencas, SIATL, INEGI 2010

3.7 Clima

La mayor parte del municipio de Autlán de Navarro (49.2%) tiene clima semicálido semihúmedo. La temperatura media anual es de 21.2°C, mientras que sus máximas y mínimas promedio oscilan entre 32.8°C y 9.5°C respectivamente. La precipitación media anual es de 967mm.

En la Tabla 3-8 se describen las características de temperatura y precipitación que presenta cada tipo de clima, así como la superficie y la proporción que ocupa en el área de estudio. Conforme a la clasificación de Köppen modificada por E. García.

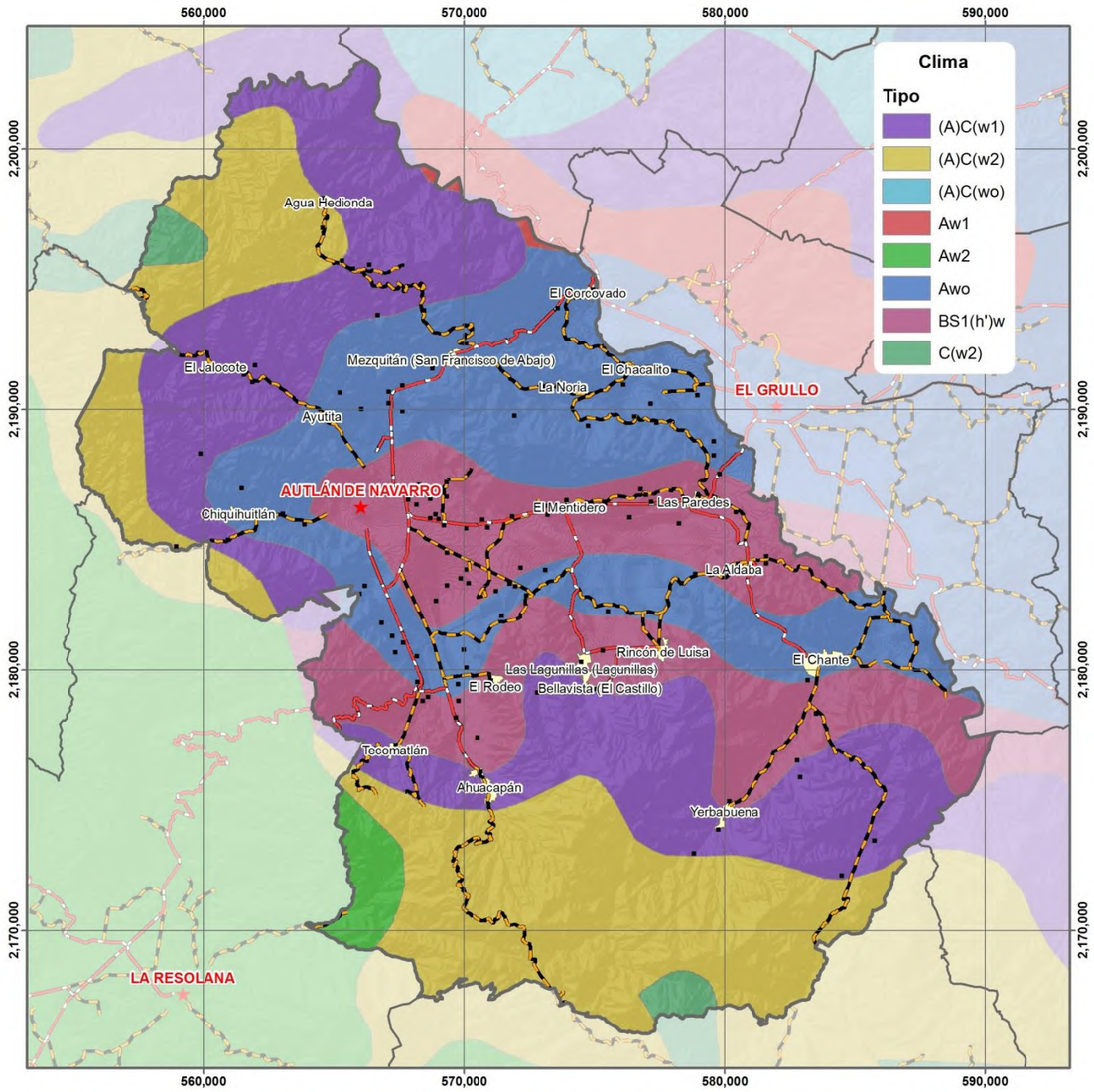
Tabla 3-8. Tipos de clima y su descripción en el área de estudio.

Tipo de clima	Temperatura	Precipitación	Ha	%
(A)C(w2)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frio menor de18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22§C.	Precipitación del mes más seco menor a 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	5,526.77	7.84%
(A)C(w1)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frio menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% anual.	10,073.73	14.30%
Aw2	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	1,110.07	1.58%
Awo	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	17,181.42	24.38%
C(w2)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.	414.06	0.59%
Aw1	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	120.45	0.17%
BS1(h')w	Semiárido cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frio mayor de 18°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	7,650.37	10.86%
BS1(h')w	Semiárido cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frio mayor de 18°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	7,836.93	11.12%
(A)C(w1)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frio menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% anual.	85,87.47	12.19%
(A)C(w2)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frio menor de18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor a 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	11,574.20	16.43%
C(w2)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2%	391.36	0.56%

Tipo de clima	Temperatura	Precipitación	Ha	%
	del mes más caliente bajo 22°C.	del total anual.		
		TOTAL	**70,466.82**	**100%**

Fuente: Clima (clasificación de Köppen, modificado por García), CONABIO 1998.

Figura 3-7. Climas



Fuente: Clasificación de Koppen, modificado por García, CONABIO 1998.

3.8 Uso del suelo y vegetación

El Municipio tiene una cobertura de 24.2% de bosques, 30.0% de selvas y 35.9% destinada a la agricultura. En los últimos 25 años el municipio ha recuperado 15.67 km^2 de superficie con vegetación natural y presenta 18.95% de la superficie con riesgo de erosión. En el ordenamiento ecológico territorial, el 47.54% de su territorio está bajo políticas ambientales de conservación.

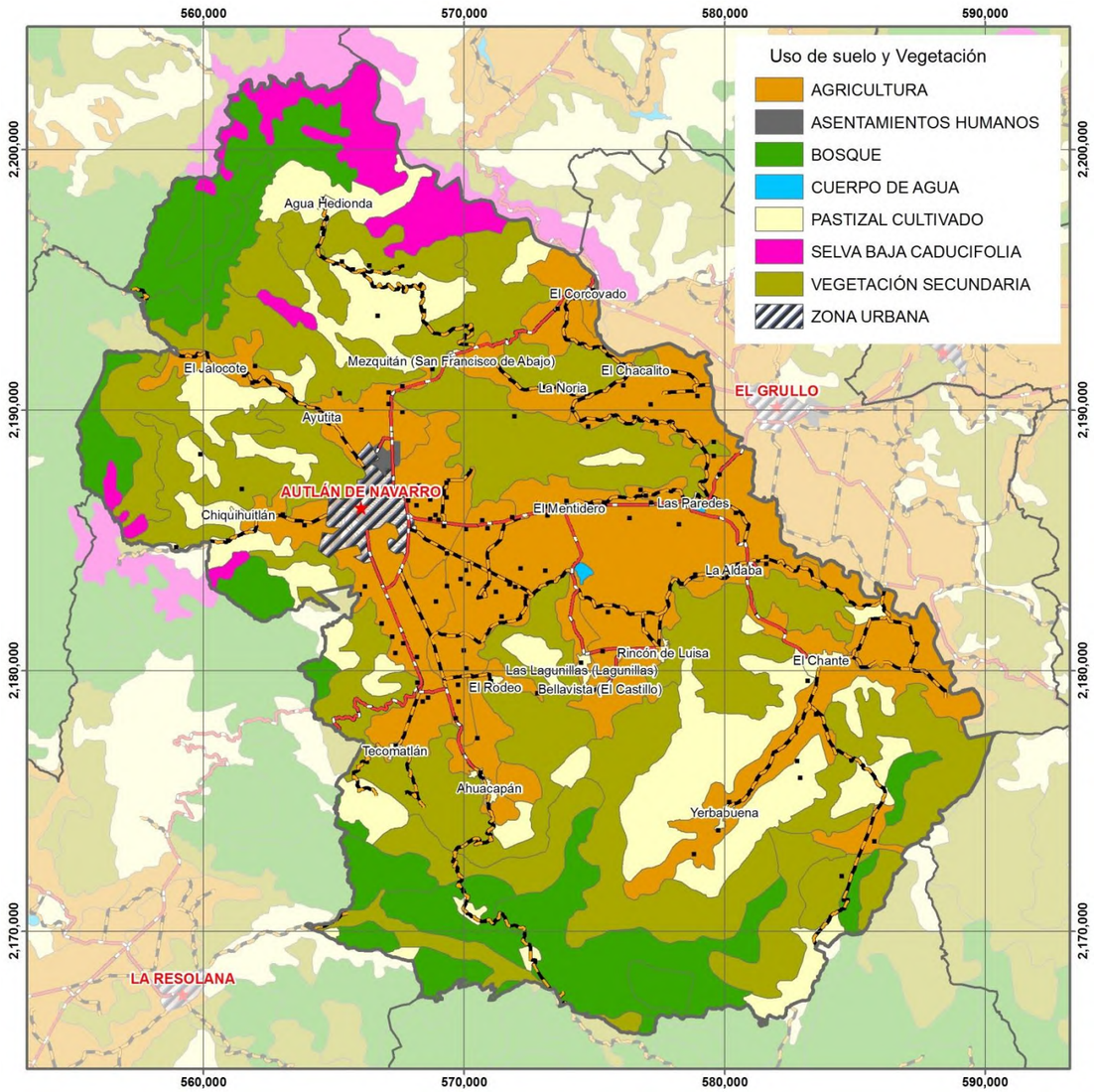
Para el área de estudio se identificaron 22 clases de uso del suelo y vegetación, las cuales se muestran en la El 26.9% de la superficie total del área de estudio está representada por Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Baja Caducifolia, donde el 13.13% corresponde usos de Agricultura de Riego Semipermanente y el restante 8.82% a zona de Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Encino. Por otra parte, el 51.12% de la superficie del área de estudio presenta coberturas variadas, siendo el pastizal el más abundante ocupando el 8.74% de la superficie, seguido del bosque de encino que ocupa el 6.09%, mientras que el bosque de pino-encino ocupa el 5.68% de la superficie respectivamente. El restante 32.25% de la superficie del área de estudio corresponde a áreas sin vegetación secundaria arbórea y arbustiva de encino pino, áreas urbanas y cuerpos de agua.

Tabla 3-9. Usos del suelo en el municipio

Clase	Superficie Hectáreas	%
Asentamientos humanos	85.64	0.13
Bosque mesófilo de montaña	807.38	1.23
Bosque de pino-encino	3,713.03	5.68
Bosque de encino	3,985.97	6.09
Bosque de encino-pino	1,498.26	2.29
Cuerpo de agua	46.52	0.07
Pastizal cultivado	4,643.59	7.1
Pastizal inducido	5,718.35	8.74
Agricultura de riego anual y semipermanente	1,657.13	2.53
Agricultura de riego semipermanente	8,586.51	13.13
Agricultura de riego semipermanente y permanente	524.62	0.8
Selva baja caducifolia	2,572.71	3.93
Agricultura de temporal anual	3,518.50	5.38
Agricultura de temporal anual y permanente	212.33	0.32
Agricultura de temporal anual y semipermanente	212.33	0.32
Vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña	589.25	0.9
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	5,769.72	8.82
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	1,605.99	2.46
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	1,100.53	1.68
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	87.92	0.13
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	17,590.35	26.9
Zona urbana	875.36	1.34
Total	**65,402.09**	**100.00**

Fuente: Uso de suelo y vegetación, elaboración propia a partir de la clasificación supervisada de imágenes LANDSAT 8 de fecha 25 de diciembre de 2015 y 30 de marzo de 2016.

Figura 3-8. Uso de Suelo y Vegetación



Fuente : Uso de suelo y vegetación, elaboración propia a partir de la clasificación supervisada de imágenes LANDSAT 8 de fecha 25 de diciembre de 2015 y 30 de marzo de 2016.

Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Baja Caducifolia

Vegetación secundaria: es el estado sucesional de la vegetación en el que hay indicios de que ha sido eliminada o perturbada a un grado que ha sido modificada sustancialmente.

Vegetación dominada por árboles de diferentes especies de hoja caduca, se desarrolla en ambientes cálidos con diferencias muy marcadas entre las temporadas de lluvias y secas. De manera semejante a las selvas perennifolias, se dividen en medianas y bajas en función de la altura de la vegetación arbórea dominante. El dosel rara vez rebasa los 15 metros de altura, aunque en algunos casos llega a los 30 metros. Las selvas bajas caducifolias se desarrollan en climas del trópico húmedo y subhúmedo en condiciones de anegación total del suelo en la temporada de lluvias, que seca durante el estiaje, y constituyen el límite térmico e hídrico de los tipos de vegetación de las zonas cálido-húmedas (Pennington & Sarukhan, 1968).

Se localiza a lo largo de la costa del Pacífico Sur hasta el sur del estado de Sonora en su límite norte, en las faldas bajas y los cañones de la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre Occidental, en las planicies, llanuras y otras zonas bajas e inundables de la Península de Yucatán y el sur de Veracruz y Tabasco. Se presentan en zonas con temperaturas anuales superiores a 20°C y precipitaciones anuales de 1,200 mm como máximo, usualmente son del orden de los 800 mm, con una temporada seca que puede durar hasta siete u ocho meses (Challenger, 2008).

Agricultura de riego Semipermanente

Riego: Cuando el suministro de agua utilizado para su desarrollo es suministrado por fuentes externas, por ejemplo, un pozo, una presa, un río, etcétera.

*Semipermanentes***:** Su ciclo vegetativo dura entre uno y diez años, como el caso de la papaya, la piña y la caña de azúcar.

Estos agrosistemas utilizan agua suplementaria para el desarrollo de los cultivos durante el ciclo agrícola, por lo que su definición se basa principalmente en la manera de cómo se realiza la aplicación del agua, por ejemplo la aspersión, goteo, o cualquier otra técnica, es el caso del agua rodada (distribución del agua a través de surcos o bien tubería a partir de un canal principal y que se distribuye directamente a la planta), por bombeo desde la fuente de suministro (un pozo, por ejemplo) o por gravedad cuando va directamente a un canal principal desde aguas arriba de una presa o un cuerpo de agua natural.

Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Encino

Vegetación Secundaría: es el estado sucesional de la vegetación en el que hay indicios de que ha sido eliminada o perturbada a un grado que ha sido modificada sustancialmente.

El bosque de encino se encuentra en la transición entre el bosque tropical caducifolio y el bosque de encino-pino, se presenta en condiciones climáticas algo secas. Las especies arbóreas dominantes son *Quercus magnoliifolia* y *Q. resinosa*, de la familia Fagaceae, mientras que en el estrato herbáceo está constituido principalmente por especies pertenecientes a las familias Compositae, Gramineae y Leguminosae (Sociedad Botánica de México, 1987).

Los bosques de encino se desarrollan sobre diversas clases de roca madre, en suelos profundos de terrenos aluviales planos y en ocasiones a las orillas de arroyos en tierras permanentemente húmedas. Este tipo de comunidades se llegan a desarrollar sobre suelos someros muy rocosos e inclinados. El suelo presenta abundante hojarasca y materia orgánica en el horizonte superficial.

Entre los usos que se le dan al bosque de encino se encuentra la explotación forestal para la extracción de madera, sin embargo, este aprovechamiento se da solo a escala local, esto debido a que están formados por árboles de bajo tamaño con troncos delgados. La madera que se extrae del encino se emplea para construcciones locales, muebles, postes y como combustible, ya sea directamente o transformada en carbón vegetal. La corteza y las agallas que se forman en algunas de sus hojas, al ser ricas en taninos, se utilizan en la curtiduría. Los frutos se utilizan como alimento para los puercos y algunos también se utilizan para el consumo humano (Rzedowski, 2006). Sin embargo, la continua explotación y extracción de madera ha provocado que este tipo de vegetación tienda a fases secundarias, que a su vez se van incorporando a actividades agrícolas y pecuarias (INEGI, 2005).

Bosque de encino

El bosque de encino se encuentra en la transición entre el bosque tropical caducifolio y el bosque de encino-pino, se presenta en condiciones climáticas algo secas. Las especies arbóreas dominantes son *Quercus magnoliifolia* y *Q. resinosa*, de la familia Fagaceae, mientras que en el estrato herbáceo está constituido principalmente por especies pertenecientes a las familias Compositae, Gramineae y Leguminosae (Sociedad Botánica de México, 1987).

Los bosques de encino se desarrollan sobre diversas clases de roca madre, en suelos profundos de terrenos aluviales planos y en ocasiones a las orillas de arroyos en tierras permanentemente húmedas. Este tipo de comunidades se llegan a desarrollar sobre suelos someros muy rocosos e inclinados. El suelo presenta abundante hojarasca y materia orgánica en el horizonte superficial.

Entre los usos que se le dan al bosque de encino se encuentra la explotación forestal para la extracción de madera, sin embargo, este aprovechamiento se da solo a escala local, esto debido a que están formados por árboles de bajo tamaño con troncos delgados. La madera que se extrae del encino se emplea para construcciones locales, muebles, postes y como combustible, ya sea directamente o transformada en carbón vegetal. La corteza y las agallas que se forman en algunas de sus hojas, al ser ricas en taninos, se utilizan en la curtiduría. Los frutos se utilizan como alimento para los puercos y algunos también se utilizan para el consumo humano (Rzedowski, 2006). Sin embargo, la continua explotación y extracción de madera ha provocado que este tipo de vegetación tienda a fases secundarias, que a su vez se van incorporando a actividades agrícolas y pecuarias (INEGI, 2005).

Entre las especies dominantes de este tipo de vegetación se encuentran *Lysiloma divaricata*, *Amphipterygium* spp., *Bursera* spp., *Ceiba aesculifolia*, *Cyrtocarpa procera*, *Jatropha cordata*, *Lonchocarpus* spp., *Lysiloma* spp., *Pseudosmodingium perniciosum*, *Trichilia* spp., y en los lugares cercanos a cursos temporales de agua destacan *Conzattia multiflora*, *Ficus* spp. y *Enterolobium cyclocarpum* (Rzedowski, 2006).

Desde el punto de vista de la explotación forestal este tipo de vegetación es de escasa importancia, ya que el tamaño y la forma de sus árboles no presentan las características deseables para el comercio. Sin embargo, localmente sí se extrae madera de muchos de sus componentes, utilizándose para construcción, fabricación de artesanías, muebles y utensilios diversos, así como para postes, combustible y otros propósitos. Asimismo, la corteza de algunas leguminosas es utilizada como fuente de taninos para la curtiduría. No obstante, el uso más común de la tierra consiste en la ganadería extensiva de vacunos que pastan libremente sobre grandes extensiones. Además, existen zonas que se utilizan para la agricultura siendo el cultivo más frecuente el maíz y algunos frutales de clima caliente (Rzedowski, 2006).

.

Áreas Naturales Protegidas

Dentro del área de estudio se localiza el área natural protegida "La Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán" (RBSM), decretada el 23 de marzo de 1987. El RBSM se localiza en los municipios de Autlán de Navarro, Casimiro Castillo, Cuautitlán de García Barragán, Tolimán y Tuxcacuesco, del estado de Jalisco, y Comala y Minatitlán, del estado de Colima. Con una superficie de 139,577 hectáreas.

La Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán es considerada una de las Áreas Naturales Protegidas más importantes del Occidente de México debido a su riqueza natural, extensión territorial y los servicios ambientales que brinda, así como por la diversidad biológica y de ecosistemas que protege y por su aportación de agua, que abastece a más de 430 mil habitantes en la región.

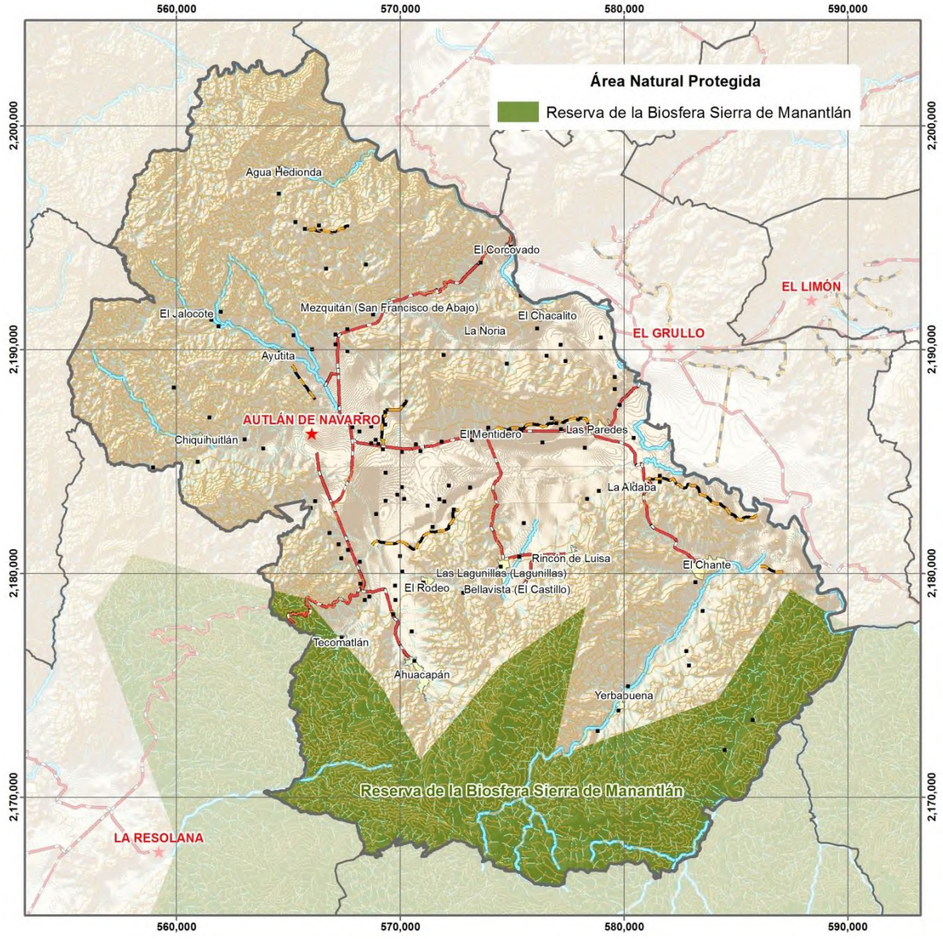
El descubrimiento del teocintle "*Zea diploperennis*", planta con gran potencial para el mejoramiento genético del maíz, fue realizado por investigadores de la Universidad de Guadalajara y la Universidad de Wisconsin-Madison en la Sierra de Manantlán en 1979. Esto atrajo la atención nacional e internacional por considerarla área prioritaria para la conservación de los recursos genéticos silvestres en Mesoamérica.

Tabla 3-10. Superficie de Áreas Naturales Protegidas dentro del área de estudio.

Tipo	Categoría	ANP	Extensión ha	Extensión ha en Autlán de Navarro	% de ha del ANP en Autlán de Navarro
Federal	Reserva de la Biosfera	Sierra de Manantlán	139, 577.12	16, 492.60	11.81

Fuente: ANP, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, CONANP 2016.

Figura 3-9 Mapa de Áreas Naturales Protegidas dentro del área de estudio.



Fuente: CONANP 2016. ANP, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán.

Capítulo 4. Caracterización de los elementos sociales y demográficos

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

4.1 Dinámica demográfica

El municipio de Autlán de Navarro pertenece a la Región Sierra de Amula su población en 2015 según la Encuesta Intercensal era de 60 mil 572 personas; 48.8 por ciento hombres y 51.2 por ciento mujeres, los habitantes del municipio representaban el 35.3 por ciento del total regional (ver Tabla 4-1). Comparando este monto poblacional con el del año 2010, se obtiene que la población municipal aumentó un 5.2 por ciento en cinco años.

Tabla 4-1. Población por sexo, porcentaje en el municipio Autlán de Navarro, Jalisco.

No.	Municipio/localidad	Población total 2010	Población 2015			
			Total	Porcentaje en el municipio	Hombres	Mujeres
015	015 AUTLAN DE NAVARRO	57,559	60,572	100.00	29,573	30,999

Fuente: IIEG, 2015.Diagnostico del Municipio, Autlán de Navarro.

Se estima que para el 2020 esta población aumentará a 64 mil 458 habitantes, donde 31 mil 506 son hombres y 32 mil 952 mujeres, manteniendo el 0.8 por ciento de la población total del estado.

4.1.1 Proyección al 2010 - 2030 (localidad según CONAPO)

Las proyecciones de población constituyen un marco, un instrumento analítico y la base estadística demográfica fundamental para planificar la actividad económica y social de un país. Las estimaciones futuras de población son necesarias para conocer cuál será la demanda de servicios, por ejemplo, en materia de salud, educación, empleo, vivienda y de otros servicios sociales, para asignar recursos, definir y aplicar planes o programas de desarrollo. Además, permiten anticipar situaciones de riesgo y aprovechar las ventajas del cambio en la estructura poblacional, mismas que deben estar consideradas en el diseño de políticas, planes y programas que orientarán el desarrollo de cada entidad federativa y sus municipios.

En los próximos decenios la población de Jalisco completará la última fase de la transición demográfica, encaminándose rápidamente a un crecimiento de la población joven cada vez más reducido y a un perfil envejecido. Las previsiones para 2030 sugieren que la población en Autlán de Navarro podría alcanzar aproximadamente 70,000 habitantes; por lo tanto, el municipio seguirá enfrentando en los próximos años el desafío de proporcionar a sus habitantes empleo, vivienda, vestido, alimentación, educación y salud. (CONAPO; consultado 2016)

Tabla 4-2. Proyección de la población

Clave localidad	0001	0053	9999
Nombre de la localidad	Autlán de Navarro	El Mentidero	Resto
2010	45,964	1,424	10,909
2011	46,436	1,494	11,023
2012	46,908	1,567	11,137
2013	47,365	1,643	11,248
2014	47,811	1,722	11,356
2015	48,246	1,804	11,461
2016	48,670	1,890	11,564
2017	49,083	1,979	11,665
2018	49,484	2,072	11,763
2019	49,871	2,168	11,857
2020	50,242	2,268	11,948
2021	50,602	2,372	12,037
2022	50,955	2,480	12,124
2023	51,299	2,593	12,208
2024	51,633	2,710	12,291
2025	51,955	2,831	12,371
2026	52,266	2,958	12,448
2027	52,564	3,089	12,522
2028	52,850	3,225	12,594
2029	53,123	3,366	12,662
2030	53,383	3,512	12,728

Fuente: Elaborado por el IIEG con base en CONAPO; Proyecciones de la población para los municipios de México 2010-2030 (actualización abril de 2013).

Nota: Se seleccionaron las localidades para las que se estima en cualquier año del periodo de prospectiva alcancen los 2,500 habitantes

4.1.2 Distribución de población (por localidad)

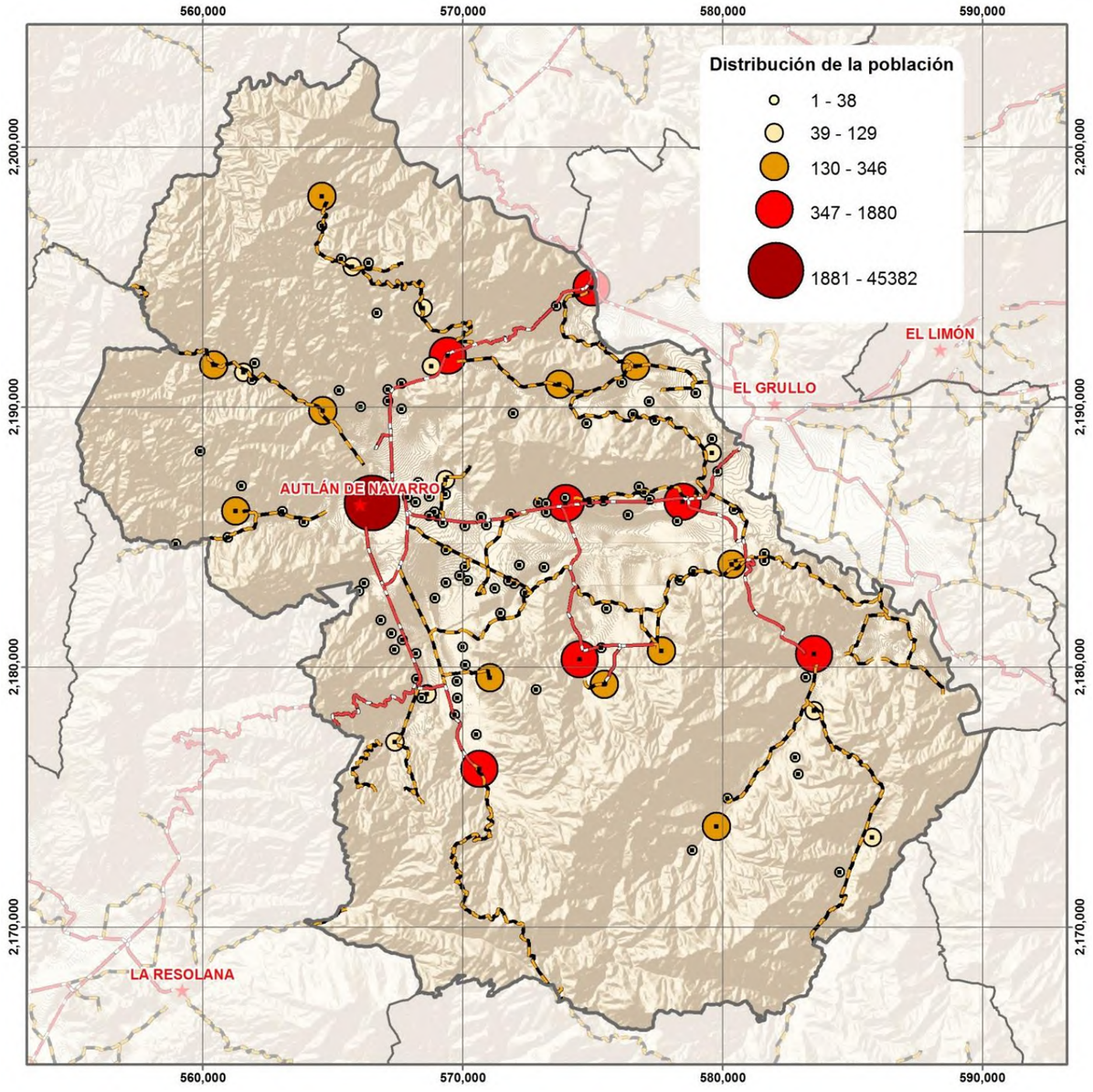
El municipio en 2010 contaba con 124 localidades, de éstas, 18 eran de dos viviendas y 64 de una. La cabecera municipal de Autlán de Navarro es la localidad más poblada con 45 mil 382 personas, y representaba el 78.8 por ciento de la población, le sigue El Chante con el 3.3, El Mentidero con el 2.4, El Corcovado con el 2.2 y Ahuacapán con el 1.7 por ciento del total municipal.

Tabla 4-3. Población por sexo, porcentaje en el municipio.

Clave	No.	Municipio/localidad	Población total 2000	Población 2010			
				Total	% Mpo.	Hombres	Mujeres
		015 Autlán de Navarro	50,846	57,559	100.00	28,210	29,349
0001	1	Autlán de Navarro	39,310	45,382	78.8	22,002	23,380
0027	2	El Chante	2,004	1,880	3.3	912	968
0053	3	El Mentidero	861	1,406	2.4	709	697
0022	4	El Corcovado	1,183	1,295	2.2	650	645
0005	5	Ahuacapán	979	985	1.7	501	484

Fuente: IIEG, 2015.Diagnostico del Municipio, Autlán de Navarro.

Figura 4-1. Distribución de la Población por localidad



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, censos y conteos nacionales, 2010-2015

4.1.3 Densidad de la población (por manzana en zonas urbanas).

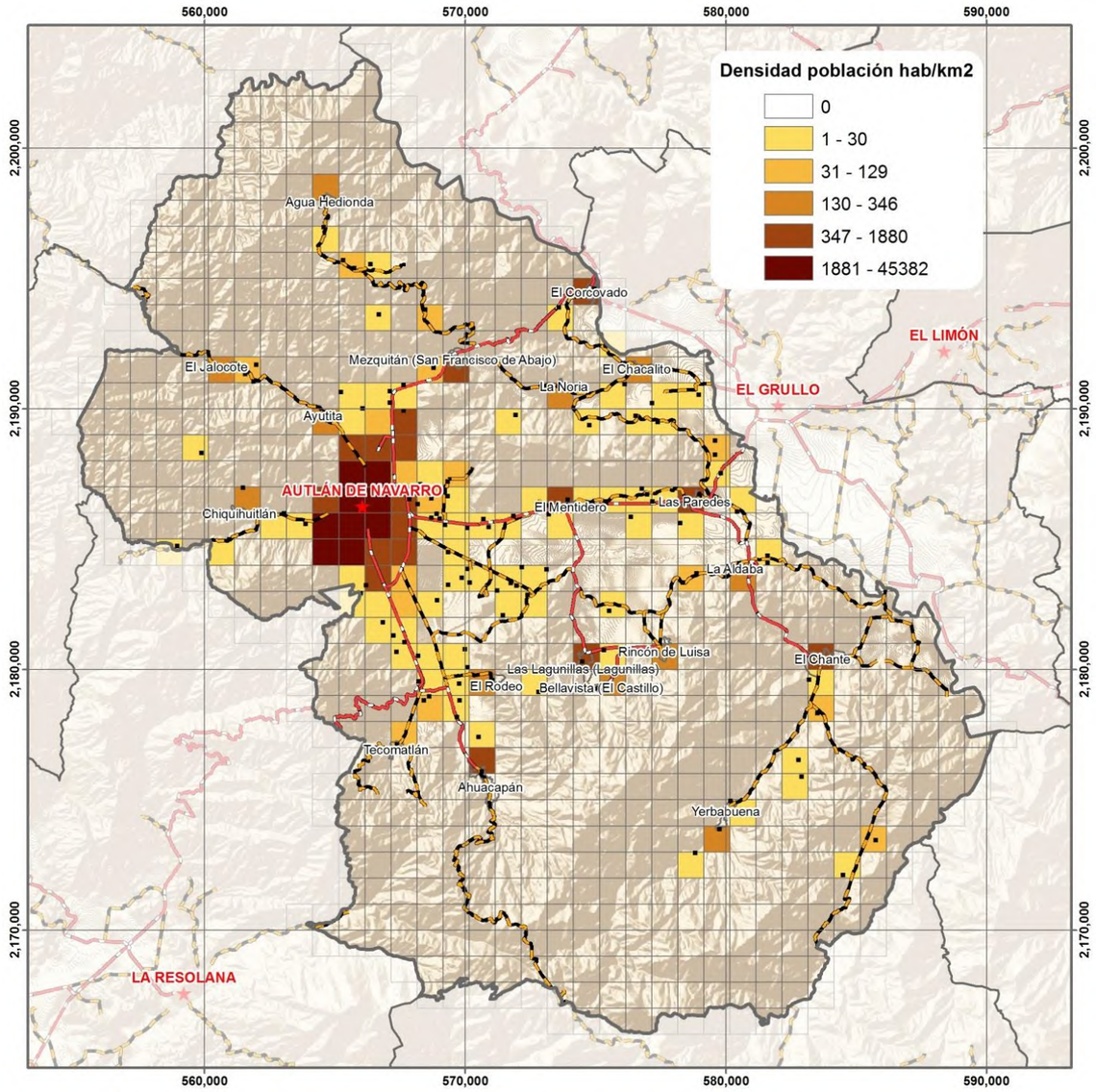
La densidad de población es una medida de distribución de población de un país o región, que es equivalente al número de habitantes dividido entre el área donde habitan. Indica el número de personas que viven en cada unidad de superficie, y normalmente se expresa en habitantes por km2.

$$\text{Densidad de población} = \frac{\text{nº de habitantes}}{\text{Superficie de la zona}}$$

El municipio en 2010 contaba con 124 localidades, de éstas, 18 eran de dos viviendas y 64 de una, el resto de 3 viviendas. La cabecera municipal de Autlán de Navarro es la localidad más poblada con 45 mil 382 personas, y representaba el 78.8 por ciento de la población, le sigue El Chante con el 3.3, El Mentidero con el 2.4, El Corcovado con el 2.2 y Ahuacapán con el 1.7 por ciento del total municipal (Figura4-2).

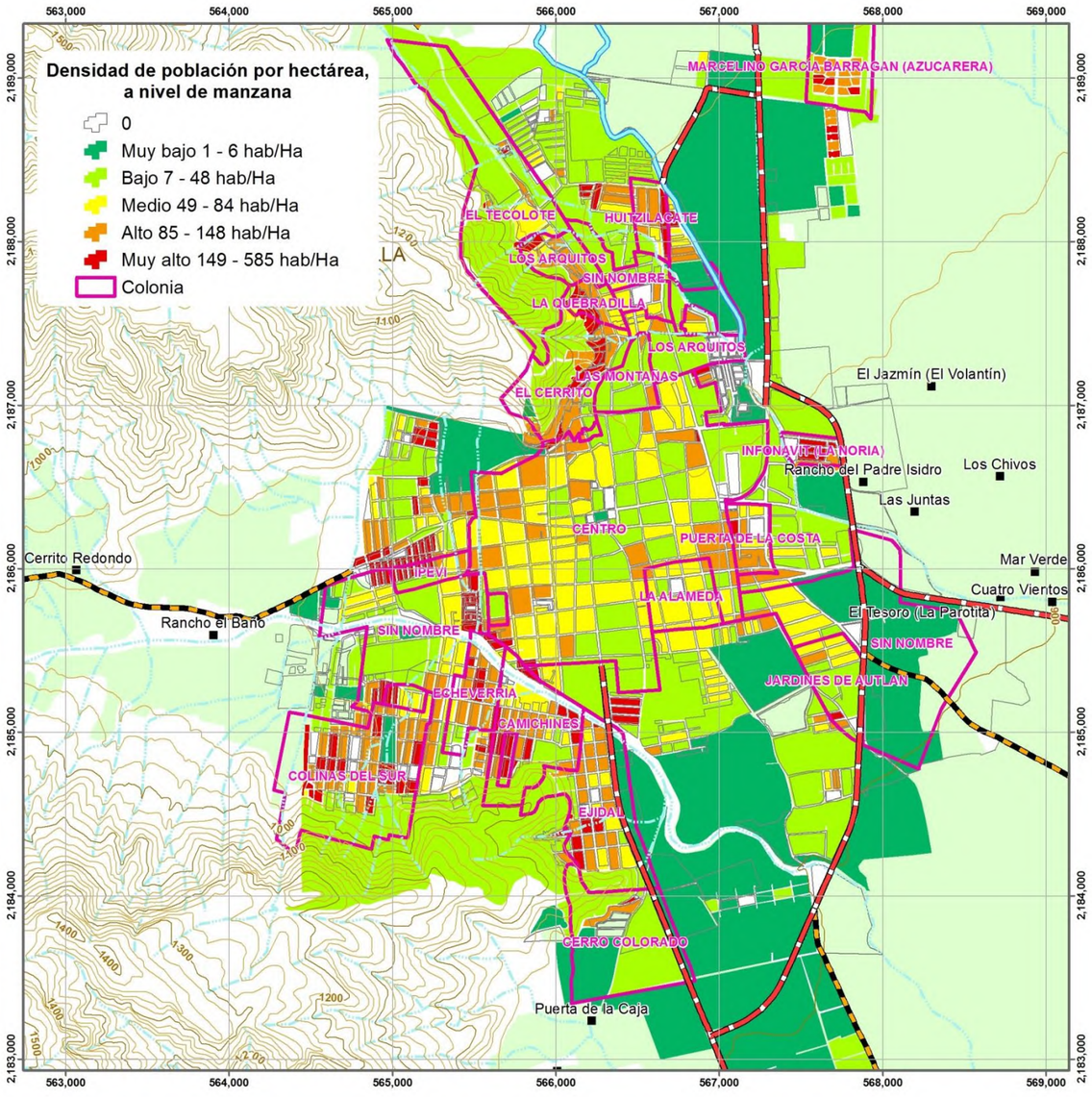
En lo que respecta a la densidad de población por manzana, se puede observar en la Figura 4-3, que para el centro de la cabecera municipal se distribuyen densidades de población que van de un nivel bajo a alto primordialmente y que las manzanas con mayor densidad de población se encuentran al Sureste en las colonias Camichines, Echeverria, Colinas del Sur e IPEVI, al Noreste en las colonias el Cerrito, Las Montañas y La Quebradilla, así como en la Este en la colonia INFONAVIT (la Noria).

Figura 4-2. Densidad de Población



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, censos y conteos nacionales, 2010-2015

Figura 4-3.Densidad de Población a nivel manzana



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, censos y conteos nacionales, 2010-2015

4.2 Características sociales

4.2.1 Porcentaje de analfabetismo, población de 14 años y más que asiste a la escuela y grado promedio de escolaridad.

Para el año 2010, el censo de población y vivienda del INEGI, registró una población de 15 años y más analfabetas de 1,933 personas, 212 personas más que para 2015. Las 10 localidades que en 2010 presentan mayor población analfabeta son Autlán de Navarro, El Mentidero, El Chante, El Corcovado, Ahuacapán, Las Lagunillas (Lagunillas), Bellavista (El Castillo), Mezquitán (San Francisco de Abajo), El Chacalito y La Noria, tal como se muestra en los siguientes tabla y mapa.

Tabla 4-4. Población analfabeta en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro.

Localidad	Analfabeta
Autlán de Navarro	1240
El Mentidero	145
El Chante	113
El Corcovado	65
Ahuacapán	48
Las Lagunillas (Lagunillas)	39
Bellavista (El Castillo)	34
Mezquitán (San Francisco de Abajo)	34
El Chacalito	27
La Noria	20

Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Tabla 4-5. Población de 15 años y más analfabeta según sexo y grupos de edad

Grupos de edad	Población de 15 años y más			Analfabeta					
	Total	Hombres	Mujeres	Total		Hombres		Mujeres	
				%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto
Total	**43,492**	**20,965**	**22,527**	**4.0**	**1,721**	**51.8**	**892**	**48.2**	**829**
15-17 años	3,207	1,585	1,622	0.6	19	100.0	19	0.0	0
18-24 años	7,423	3,762	3,661	1.4	107	82.2	88	17.8	19
25-34 años	9,422	4,338	5,084	1.8	166	53.6	89	46.4	77
35-44 años	7,972	4,006	3,966	3.7	298	63.8	190	36.2	108
45-54 años	6,396	2,975	3,421	3.9	252	48.0	121	52.0	131
55-64 años	4,281	2,092	2,189	5.5	237	40.5	96	59.5	141
65 años y más	4,791	2,207	2,584	13.4	642	45.0	289	55.0	353

Fuente: Elaborado por IIEG, Encuesta Intercensal al 2015

Tabla 4-6. Población de 14 años y más que asiste a la escuela al 2015

Asiste	No asiste	No especificado	Total
6,539	37,888	145	44,572

Fuente: Elaborado por el IIEG, Encuesta Intercensal 2015

Grado promedio de escolaridad

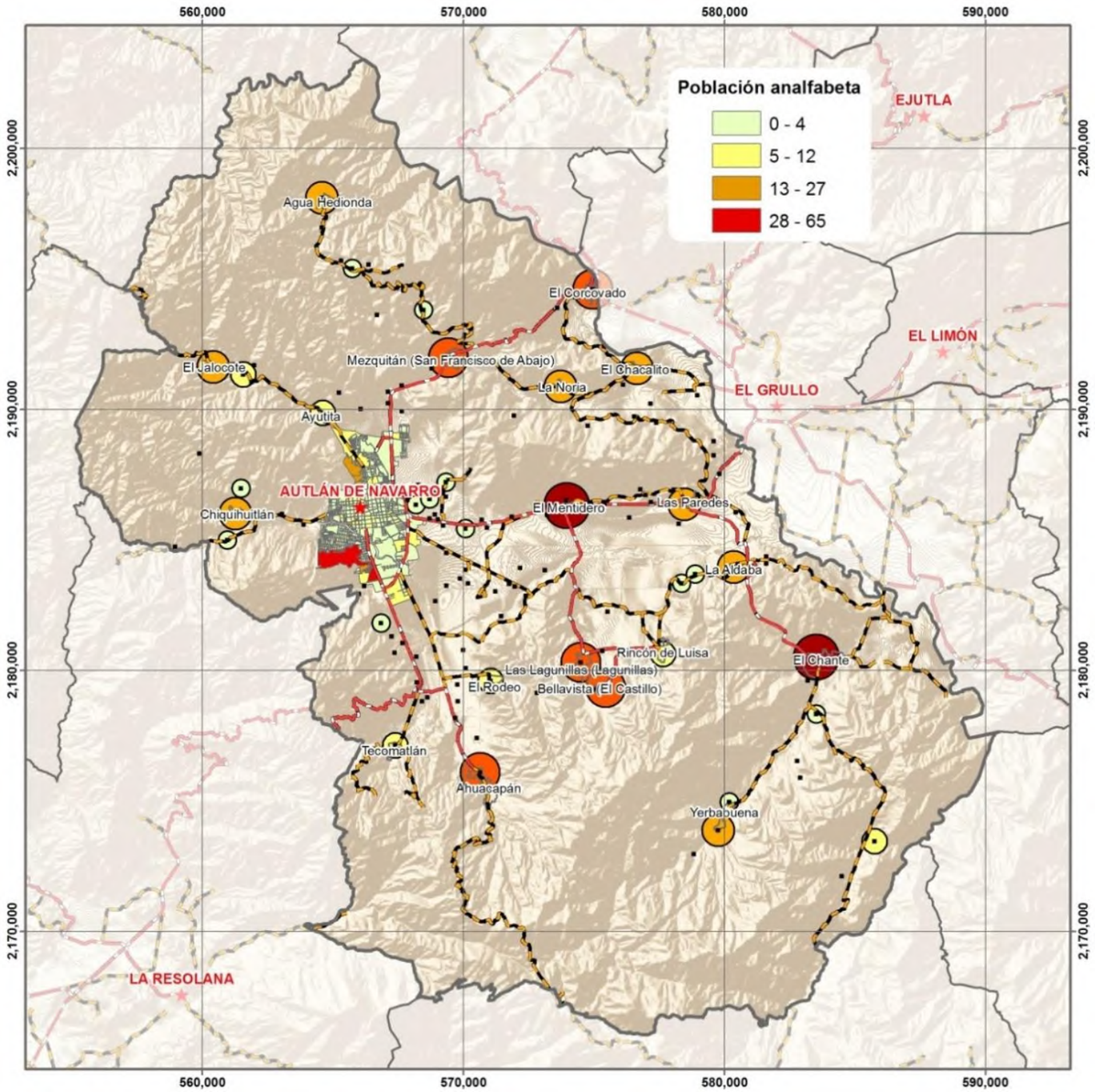
Tabla 4-7. Población de 15 años y más según el grado promedio de escolaridad y sexo Jalisco y Autlán de Navarro, 2015

Municipio	Sexo	Población de 15 años y más	Grado promedio de escolaridad
Jalisco	Total	5,657,534	9.21
Jalisco	Hombres	2,730,996	9.30
Jalisco	Mujeres	2,926,538	9.13
015 Autlán de Navarro	Total	43,492	9.22
015 Autlán de Navarro	Hombres	20,965	9.14
015 Autlán de Navarro	Mujeres	22,527	9.29

Fuente: Elaborado por el IIEG, Encuesta Intercensal 2015

Respecto a la cabecera municipal y la distribución de la población analfabeta por manzana en 2010, se encontró que el 100% de la población de 15 años y más que no sabe leer y escribir (analfabeta) se localiza en el 20% de las manzanas, visiblemente concentradas al sur de la cabecera municipal.

Figura 4-4. Distribución de la población analfabeta en el municipio de Autlán



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

4.2.2 Población con discapacidad (población con limitación en la actividad) por localidad y manzana.

Según los datos del censo de población y vivienda 2010 del INEGI, en el municipio habitaban 2, 765 personas con algún tipo de discapacidad, las localidades que presentaron mayor población en estas condiciones fueron Autlán de Navarro, El Chante, Mezquitán (San Francisco de Abajo), Ahuacapán, El Corcovado, Las Paredes, El Mentidero, Las Lagunillas (Lagunillas), Agua Hedionda y la Yerbabuena. Véase la siguiente tabla y la figura.

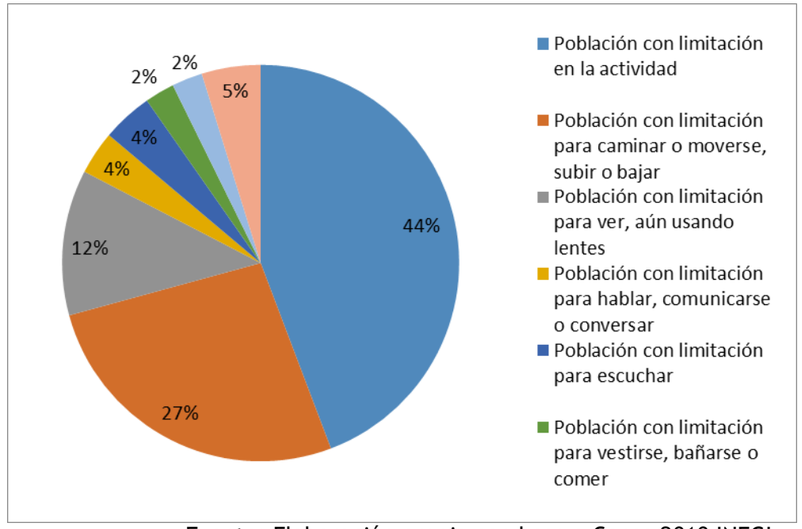
Tabla 4-8. Población con discapacidad (población con limitación en la actividad) en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro.

Localidad	Personas con discapacidad
Autlán de Navarro	1,871
El Chante	166
Mezquitán (San Francisco de Abajo)	145
Ahuacapán	114
El Corcovado	74
Las Paredes	68
El Mentidero	55
Las Lagunillas (Lagunillas)	51
Agua Hedionda	26
Yerbabuena	24

Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Hay un gran porcentaje de localidades, 85 de 124 que no registran población con limitación en la actividad (discapacidad), al tiempo que Autlán, el Chante, Mezquitán y Ahuacapán albergan al 83% de la población con estas características (Figura 4-5).

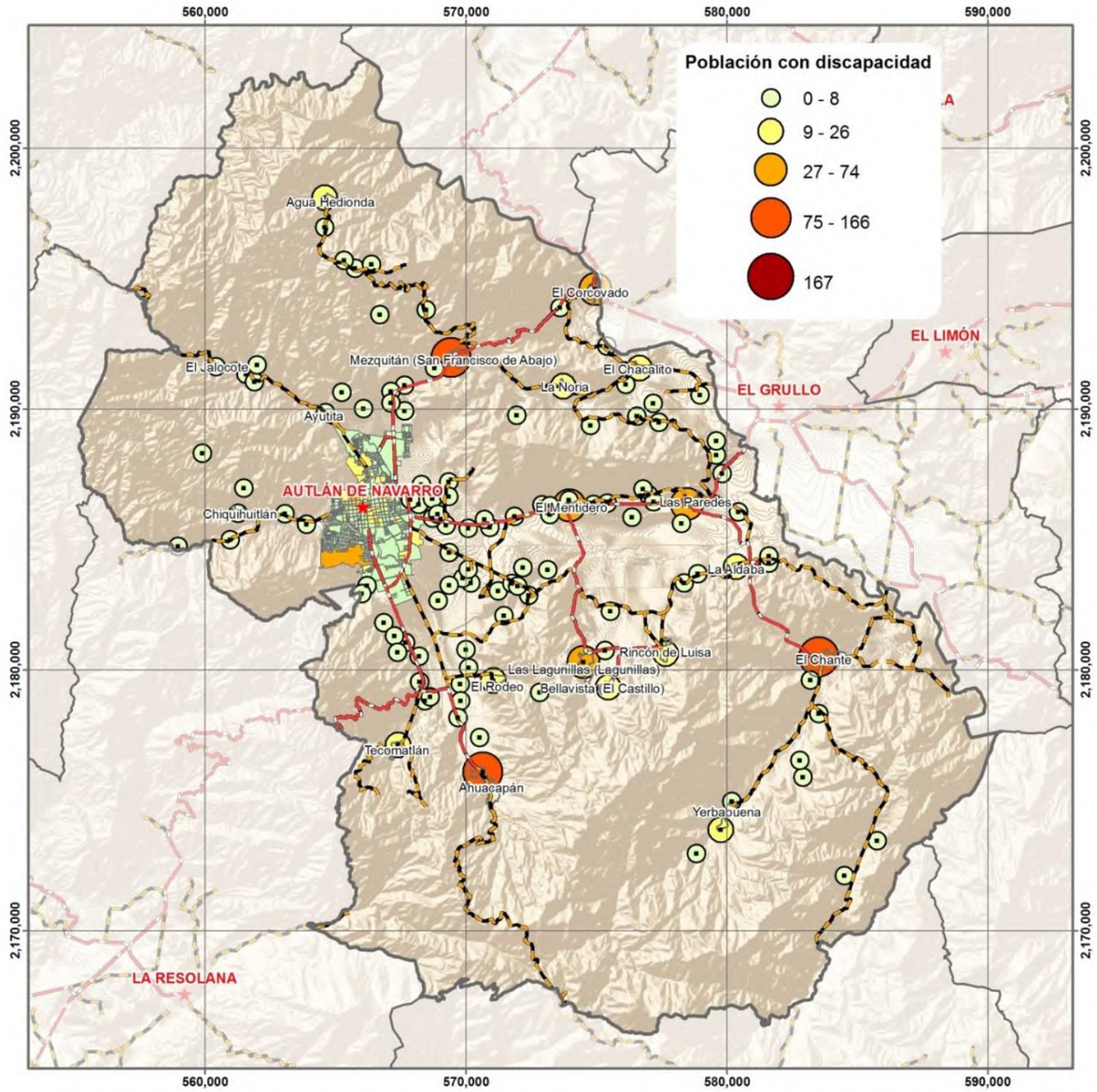
Con respecto a la distribución de la población con discapacidad a nivel de manzana, esta se concentra en 235 manzanas de 760 que registró el censo de población y vivienda de INEGI del año 2010. Esto quiere decir que cerca del 70% de las manzanas censadas no registra población con discapacidad en la cabecera municipal (Figura 4-6).



Fuente: Elaboración propia con base a Censo 2010 INEGI.

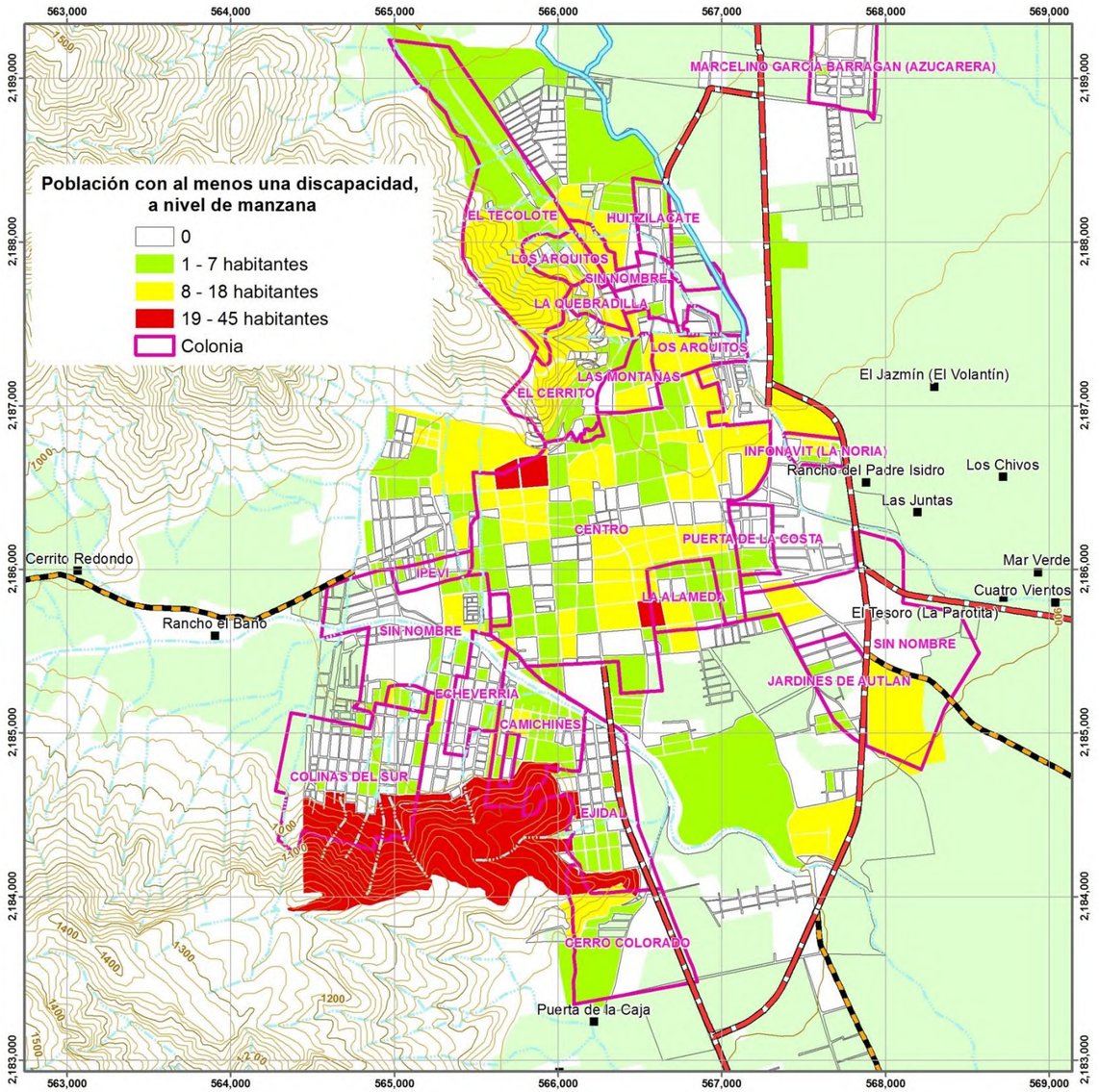
Se anexa tabulado con detalle por localidad y por manzana

Figura 4-5 Distribución de la población con discapacidad en el municipio de Autlán



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Figura 4-6. Población con discapacidad a nivel manzana



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

4.2.3 Población que habla alguna lengua indígena y no habla español

Las poblaciones indígenas tienen usos y costumbres propias. Poseen formas particulares de comprender el mundo y de interactuar con él visten, comen, celebran sus festividades, conviven y nombran a sus propias autoridades, de acuerdo a esa concepción que tienen de la vida. Un elemento muy importante que los distingue y les da identidad, es la lengua con la que se comunican. En México, 7 millones 382 mil 785 personas de 3 años y más hablan alguna lengua indígena, las más habladas son: Náhuatl, Maya y Tseltal.

El fenómeno de la migración favorece a que Autlán tenga población indígena, esto convierte en Autlán en el octavo municipio en el estado, con población hablante de lenguas autóctonas. (Cabrera, 2013).

Tabla 4-9.Población de 3 años y más según condición de habla indígena y sexo

Sexo	Población de 3 años y más	Condición de habla indígena											
		Habla lengua indígena								No habla lengua indígena		No especificado	
		Condición de habla española											
		Total		Habla español		No habla español		No especificado					
		Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
Total	57,190	1,047	1.83	968	92.45	15	1.43	64	6.11	56,018	97.95	125	0.22
Hombres	27,910	566	2.03	526	92.93	15	2.65	25	4.42	27,282	97.75	62	0.22
Mujeres	29,280	481	1.64	442	91.89	0	0.00	39	8.11	28,736	98.14	63	0.22

Fuente: Elaborado por el IIEG con base en INEGI; Encuesta Intercensal 2015.

4.2.4 Salud (población sin derechohabiencia, médicos por cada mil habitantes y tasa de mortalidad).

De acuerdo con el censo de población y vivienda del año 2010, de INEGI, en Autlán residía una población total de 14,899 personas que no contaban con derechohabiencia a los servicios de salud. Las localidades en que se concentra esta población son Autlán de Navarro, El Mentidero, El Chante, El Corcovado, Ahuacapán, Las Paredes, las Lagunillas, Mezquitán, la Aldaba y Ayutita.

Ahora bien, en la cabecera municipal de Autlán, la distribución de la población sin derechohabiencia es muy amplia, pues en 2010 hubo presencia de esta población en 549 manzanas de 760 manzanas que integraban la traza urbana de ese centro de población en el año 2010.

Tabla 4-10.Población sin derechohabiencia en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro.

Localidad	Población sin derechohabiencia
Autlán de Navarro	12,050
El Mentidero	560
El Chante	467
El Corcovado	340
Ahuacapán	276
Las Paredes	217
Las Lagunillas (Lagunillas)	167
Mezquitán (San Francisco de Abajo)	129
La Aldaba	101
Ayutita	89

Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Tabla 4-11.Población total y sin afiliación a servicios de salud por sexo, 2015

Municipio	Sexo	Población total	Condición de afiliación a servicios de salud[1]	
			No afiliada	
			%	Absoluto
Total	**Total**	**7,844,830**	**18.8**	**1,477,412**
Total	Hombres	3,835,069	20.43	783,581
Total	Mujeres	4,009,761	17.30	693,831
015 Autlán de Navarro	**Total**	**60,572**	**13.59**	**8,229**
015 Autlán de Navarro	Hombres	29,573	15.86	4,690
015 Autlán de Navarro	Mujeres	30,999	11.42	3,539

Fuente: Elaborado por IIEG con base al INEGI, Encuesta Intercensal, 2015.

Tabla 4-12.Tasa de personal medico de las instituciones del sector publico de salud por mil habitantes, 2015

Clave	Municipio	Población total 2015	Personal médico de las instituciones del sector público 2015	Tasa 2015
015	Autlán de Navarro	60,572	183	3.0

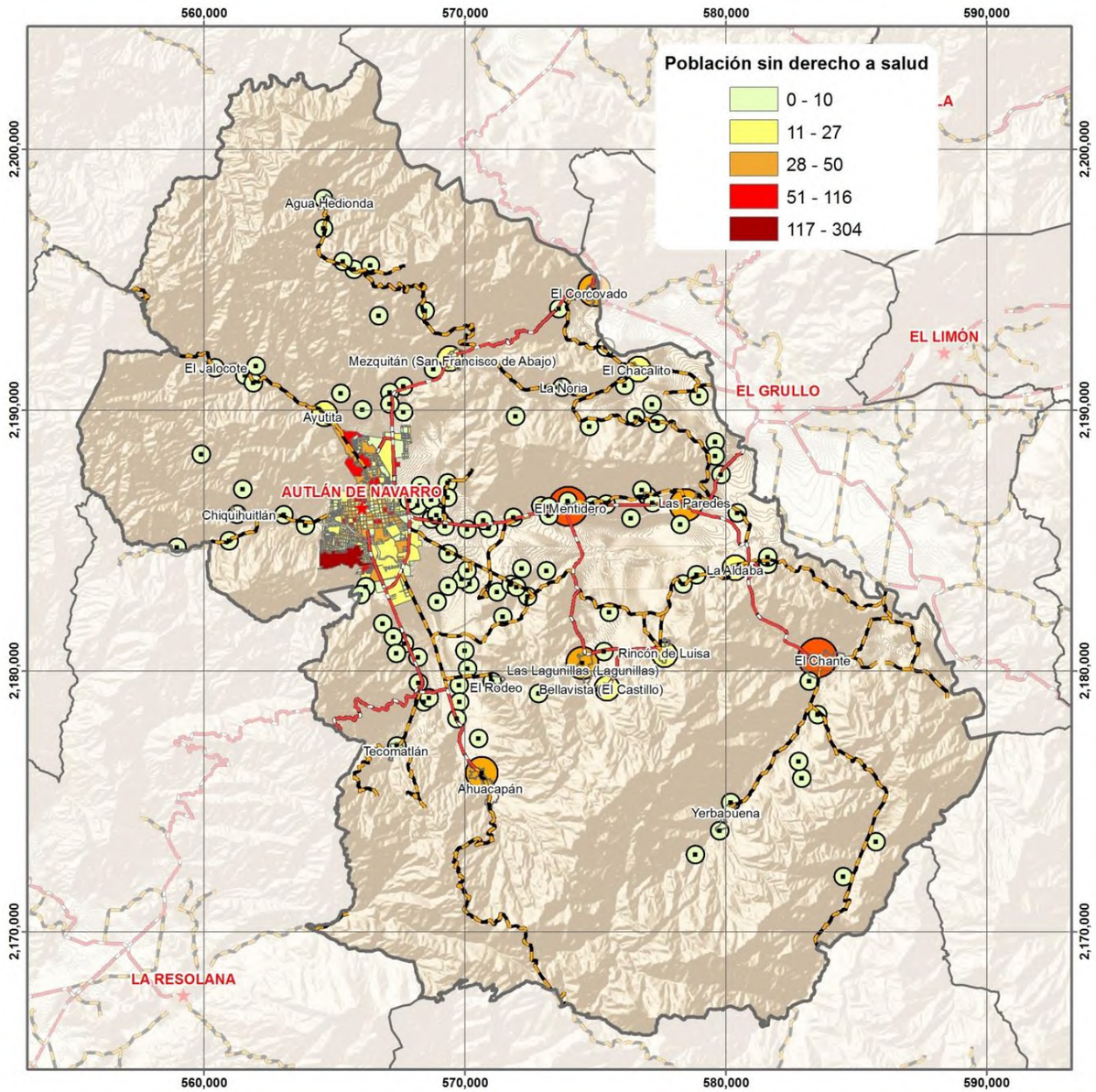
Fuente: Elaborado por el IIEG con base en INEGI; Anuario Estadístico de Jalisco 2015 y Encuesta Intercensal 2015

Tabla 4-13. Tasa de mortalidad por mil habitantes

Clave	Municipio	Población total 2015	Defunciones generales 2015	Tasa 2015
015	Autlán de Navarro	60,572	388	6.4

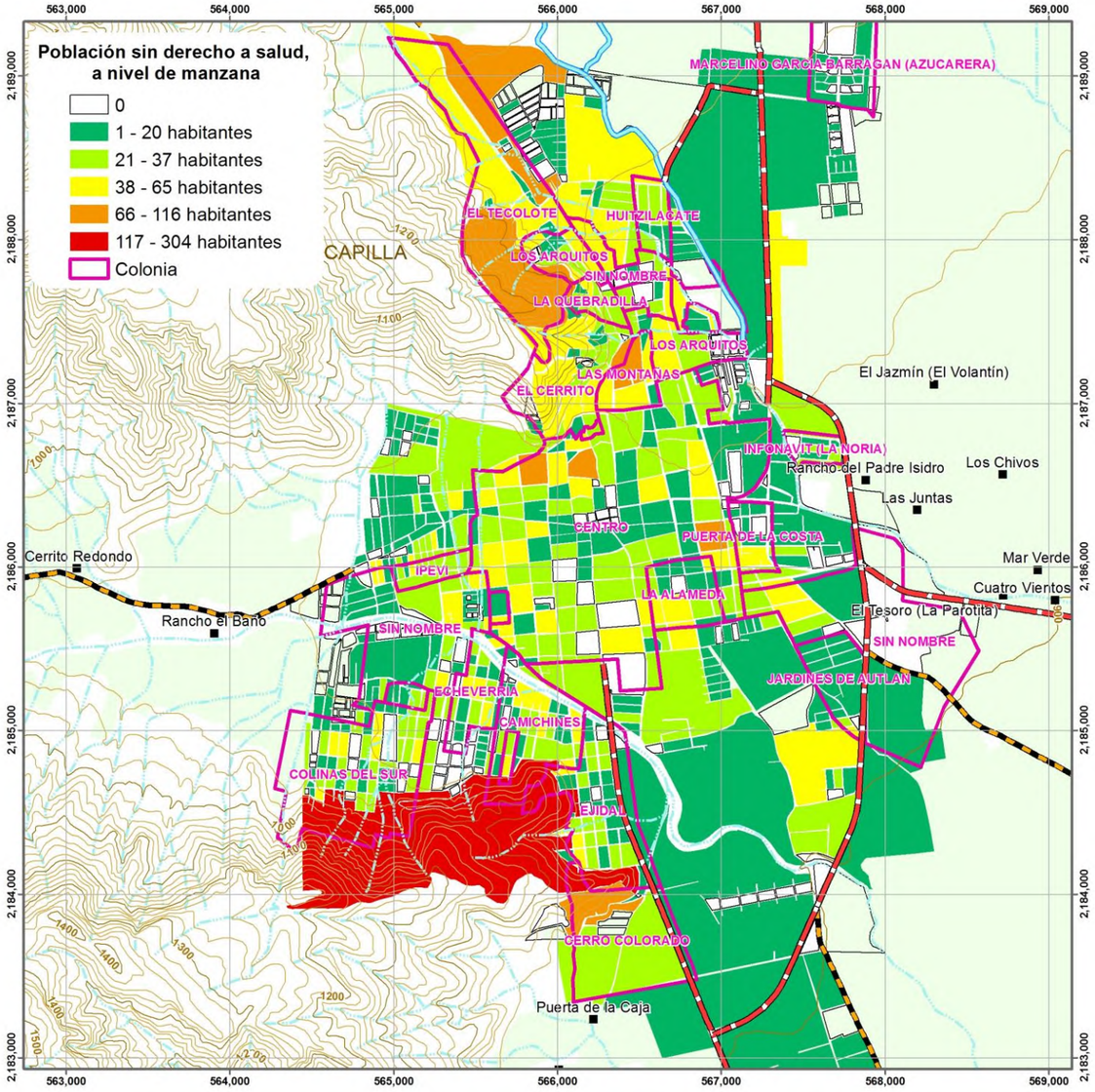
Fuente: Elaborado por el IIEG con base en INEGI; Estadísticas de mortalidad y Encuesta Intercensal 2015.

Figura 4-7. Distribución de la población sin derechohabiencia a la salud en el municipio de Autlán.



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Figura 4-8. Distribución de la población sin derechohabiencia a la salud a nivel manzana.



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

4.2.5 Pobreza

La pobreza, está asociada a condiciones de vida que vulneran la dignidad de las personas, limitan sus derechos y libertades fundamentales, impiden la satisfacción de sus necesidades básicas e imposibilitan su plena integración social. De acuerdo con esta concepción, una persona se considera en situación de pobreza multidimensional cuando sus ingresos son insuficientes para adquirir los bienes y los servicios que requiere para satisfacer sus necesidades y presenta carencia en al menos uno de los siguientes seis indicadores: rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social calidad y espacios de la vivienda servicios básicos en la vivienda.

La nueva metodología para medir el fenómeno de la pobreza fue desarrollada por el CONEVAL y permite profundizar en el estudio de la pobreza, ya que además de medir los ingresos, como tradicionalmente se realizaba, se analizan las carencias sociales desde una óptica de los derechos sociales.

Estos componentes permitirán dar un seguimiento puntual de las carencias sociales y al bienestar económico de la población, además de proporcionar elementos para el diagnóstico y seguimiento de la situación de la pobreza en nuestro país, desde un enfoque novedoso y consistente con las disposiciones legales aplicables y que retoma los desarrollos académicos recientes en materia de medición de la pobreza.

En términos generales de acuerdo a su ingreso y a su índice de privación social se proponen la siguiente clasificación:

- Pobres multidimensionales.- Población con ingreso inferior al valor de la línea de bienestar y que padece al menos una carencia social.
- Vulnerables por carencias sociales.- Población que presenta una o más carencias sociales, pero cuyo ingreso es superior a la línea de bienestar.
- Vulnerables por ingresos.- Población que no presenta carencias sociales y cuyo ingreso es inferior o igual a la línea de bienestar.
- No pobre multidimensional y no vulnerable.- Población cuyo ingreso es superior a la línea de bienestar y que no tiene carencia social alguna.

Tabla 4-14. Pobreza Multidimensional

Porcentaje de la población, número de personas número promedio de carencias sociales en los indicadores de pobreza

Indicadores	Porcentaje	Número de personas	Número promedio de carencias
Pobreza			
Población en situación de pobreza	33.2	19,031	2.3
Población en situación de pobreza moderada	28.5	16,323	2.1
Población en situación de pobreza extrema	4.7	2,708	3.6
Población vulnerable por carencias sociales	32.7	18,727	1.8
Población vulnerable por ingresos	7.7	4,416	0.0
Población no pobre y no vulnerable	26.4	15,140	0.0
Privación social			
Población con al menos una carencia social	65.9	37,758	2.1
Población con al menos tres carencias sociales	18.7	10,692	3.5
Indicadores de carencia social			
Rezago educativo	19.0	10,908	2.5
Acceso a los servicios de salud	18.9	10,842	2.7
Acceso a la seguridad social	51.6	29,596	2.2
Calidad y espacios de la vivienda	7.4	4,228	3.4
Acceso a los servicios básicos en la vivienda	14.1	8,073	3.1
Acceso a la alimentación	24.1	13,796	3.0
Bienestar económico			
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo	11.7	6,690	2.2
Población con ingreso inferior a la línea de bienestar	40.9	23,447	1.9

Fuente: Elaborado por el IIEG con base en estimaciones del CONEVAL, con base en INEGI, MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010

En la tabla anterior se muestra el porcentaje y número de personas en situación de pobreza, vulnerable por carencias sociales, vulnerable por ingresos y; no pobre y no vulnerable en Autlán de Navarro el 33.2 por ciento de la población se encuentra en situación de pobreza, es decir 19 mil 031 personas comparten esta situación en el municipio, así mismo el 32.7 por ciento (18,727 personas) de la población es vulnerable por carencias sociales; el 7.7 por ciento es vulnerable por ingresos y 26.4 por ciento es no pobre y no vulnerable.

Es importante agregar que el 4.7 por ciento de Autlán de Navarro presentó pobreza extrema, es decir 2 mil 708 personas, y un 28.5 por ciento en pobreza moderada (16,323 personas). De los indicadores de carencias sociales, destaca que el acceso a la seguridad social es la más alta con un 51.6 por ciento, que en términos relativos se trata de 29 mil 596 habitantes. El que menos porcentaje acumulan es la carencia y espacios de la vivienda, con el 7.4 por ciento.

4.2.6 Porcentaje de población de habla indígena

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 de INEGI, la población que habla alguna lengua indígena es ubica en sólo 12 de las 124 localidades con que cuenta el municipio de Autlán, concentrándose principalmente en la cabecera municipal y en el Mentidero. En la cabecera municipal la población que habla alguna lengua indígena se asienta en tan sólo 26 manzanas de las 760 que integran la traza urbana del municipio en el año 2010, véase la siguiente tabla y mapa de referencia.

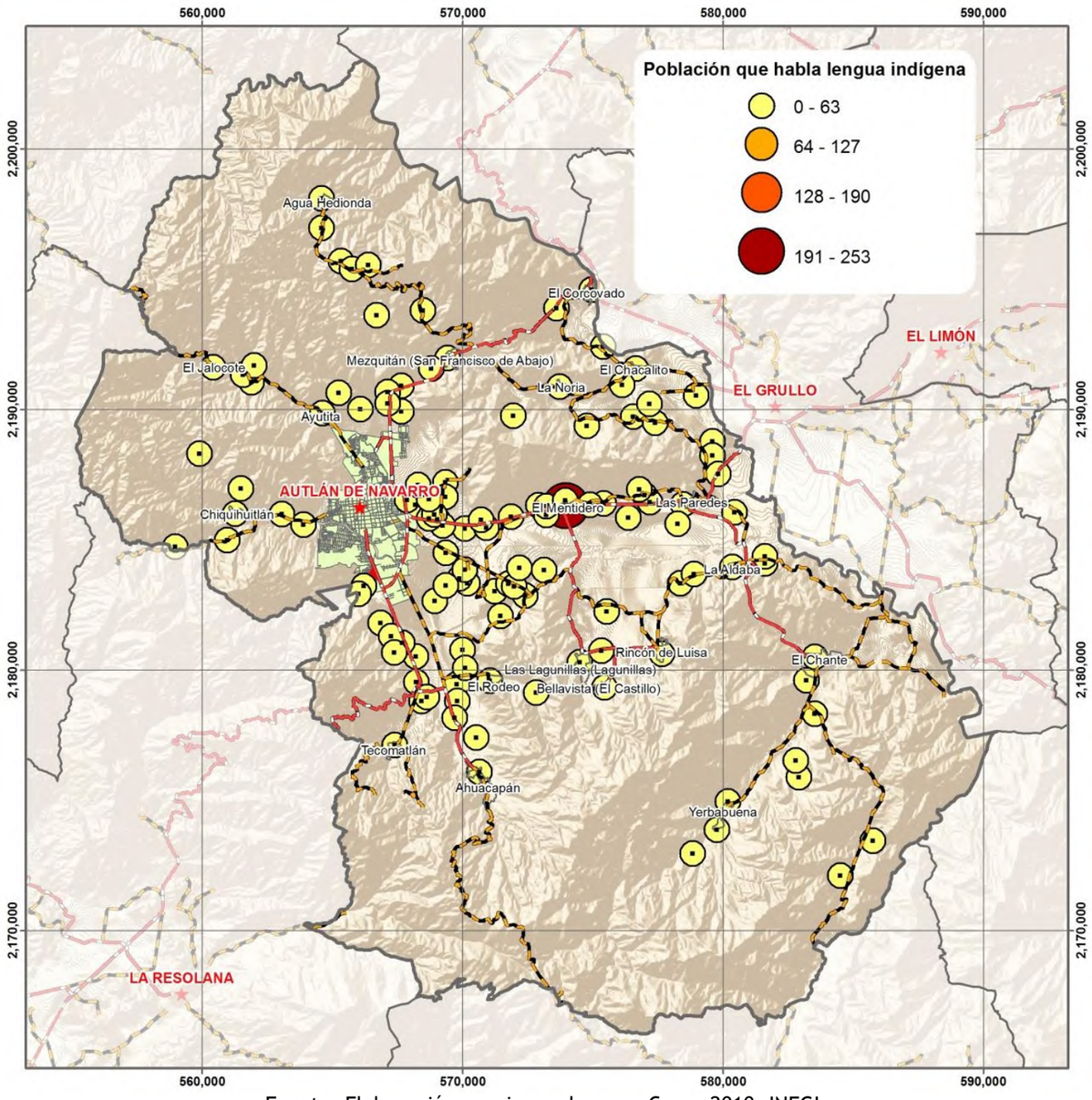
Tabla 4-15. Población que habla alguna lengua indígena en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro.

Localidad	Población de habla indígena
Autlán de Navarro	311
El Mentidero	253
El Chante	6
Agua Hedionda	4
El Corcovado	2
Yerbabuena	2
Las Paredes	2
Ahuacapán	1
Chiquihuitlán	1
Mezquitán (San Francisco de Abajo)	1

Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

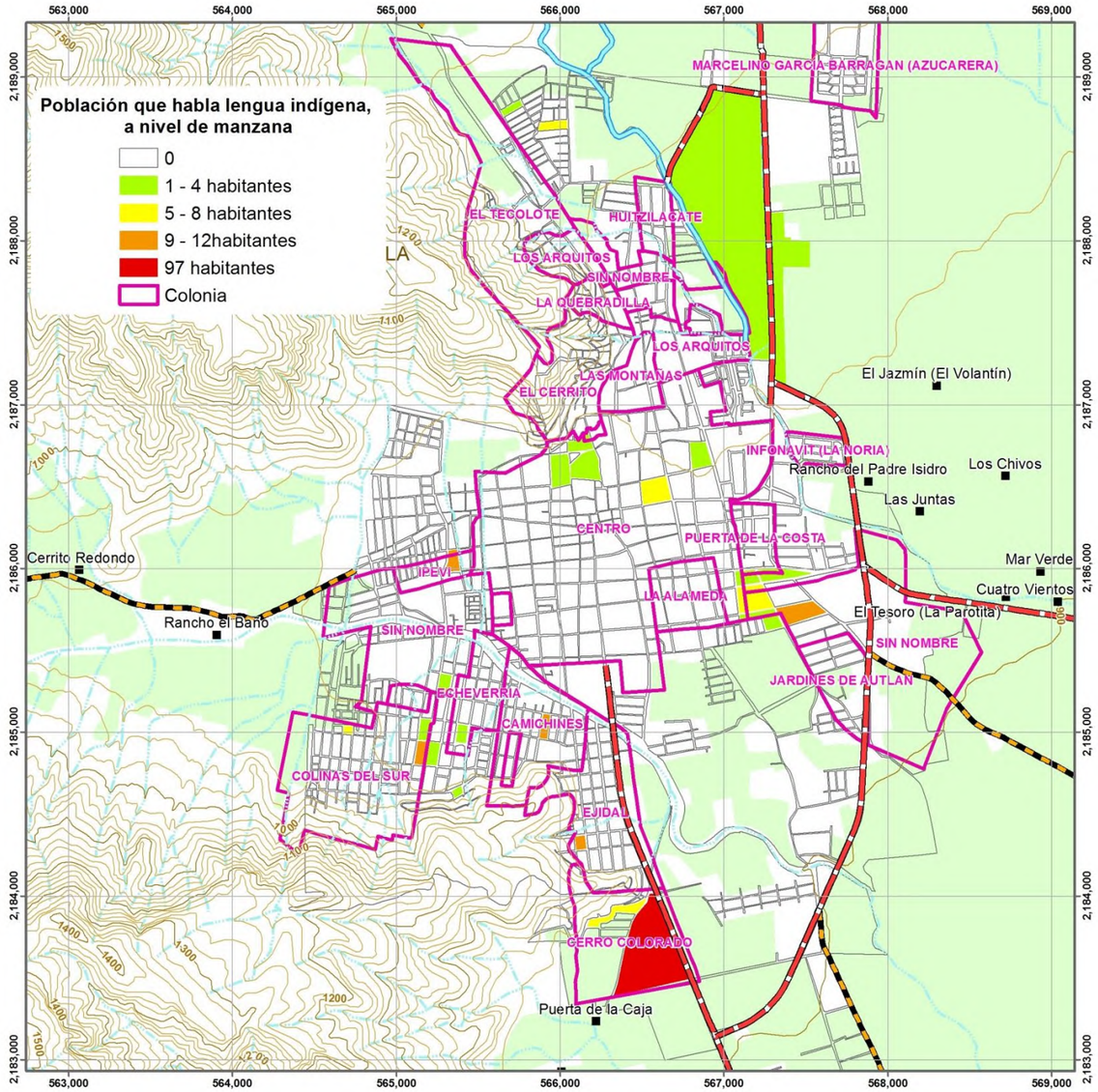
En lo que respecta a la cabecera municipal, la manzana con mayor habla de una lengua indígena está en la colonia el Cerro Colorado, con 97 habitantes, seguida por manzanas en la colonia El Tesoro, Colinas del Sur, Ejidal e IPEVI, que presentan de 9 a 12 habitantes, en las colonias Centro, La Alameda, Colinas del Sur y Huitzilacate presentan de 5 a 8 habitantes, entre las colonias con 1 a 4 habitantes son manzanas en la colonia el Huizilacate, Centro, Jardines de Autlán, INFONAVIT (La Noria), Echeverría y Colinas del Sur (Figura 4-9).

Figura 4-9. Distribución de la población que habla alguna lengua indígena en el municipio de Autlán.



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Figura 4-10. Población de habla indígena nivel manzana



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

4.2.7 Hacinamiento (promedio de ocupantes por cuarto) por manzana

El concepto de hacinamiento es considerado en el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco cuando el promedio de ocupantes por cuarto es de tres o más personas. De esta manera, según los datos del censo de población y vivienda 2010, solamente la localidad del Pabellón presenta en promedio tres ocupantes por cuarto, el resto de las localidades tiene como máximo dos ocupantes por cuarto, en particular la cabecera municipal de Autlán el promedio es de un ocupante por cuarto.

Pisos de tierra

De acuerdo con los registros del censo de población y vivienda 2010 del INEGI, durante ese registro todavía se registraban casas con pisos de tierra, las principales localidades afectadas por esa carencia eran El Chante, El Corcovado, Ahaucapán entre otras menos relevantes, véase la siguiente tabla y el mapa. Al tiempo que en la cabecera municipal de Autlán se registraron 183 casas que no tenían piso firme en las fechas del censo 2010, estas viviendas con pisos de tierra se distribuyen en 43 manzanas de 760 con se encontraba integrada la traza urbana del centro de población.

Tabla 4-16. Casas con piso de tierra en las principales localidades del municipio de Autlán de Navarro.

Localidad	Casas con piso de tierra
El Chante	17
El Corcovado	11
Ahuacapán	10
Las Lagunillas (Lagunillas)	6
El Mentidero	6
Ayutita	4
El Jalocote	4
La Noria	4
Las Paredes	4
Las Juntas	4

Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Tabla 4-17.Viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual según material en pisos

Viviendas particulares habitadas[1]	Material en pisos							
	Tierra		Cemento o firme		Mosaico, madera u otro recubrimiento		No especificado	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
16,370	495	3.02	6,266	38.28	9,566	58.44	43	0.26

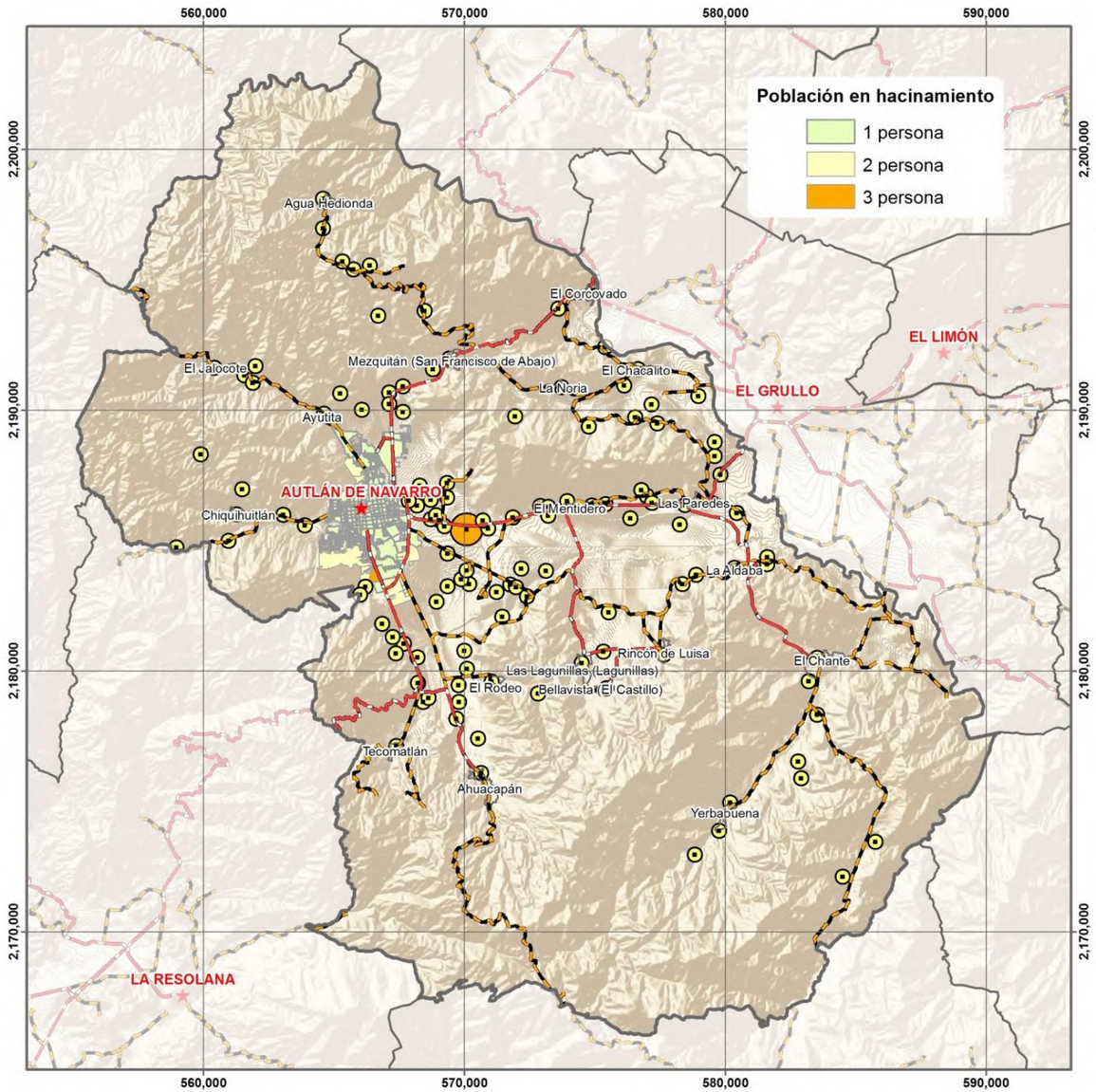
Fuente: Elaborado por el IIEG con base en INEGI; Encuesta Intercensal 2015.

1 Excluye las siguientes clases de vivienda: locales no construidos para habitación, viviendas móviles y refugios.

En el municipio de Autlán es muy bajo el porcentaje de viviendas con piso de tierra, 96.98% de las viviendas tienen algún piso para cubrir la tierra.

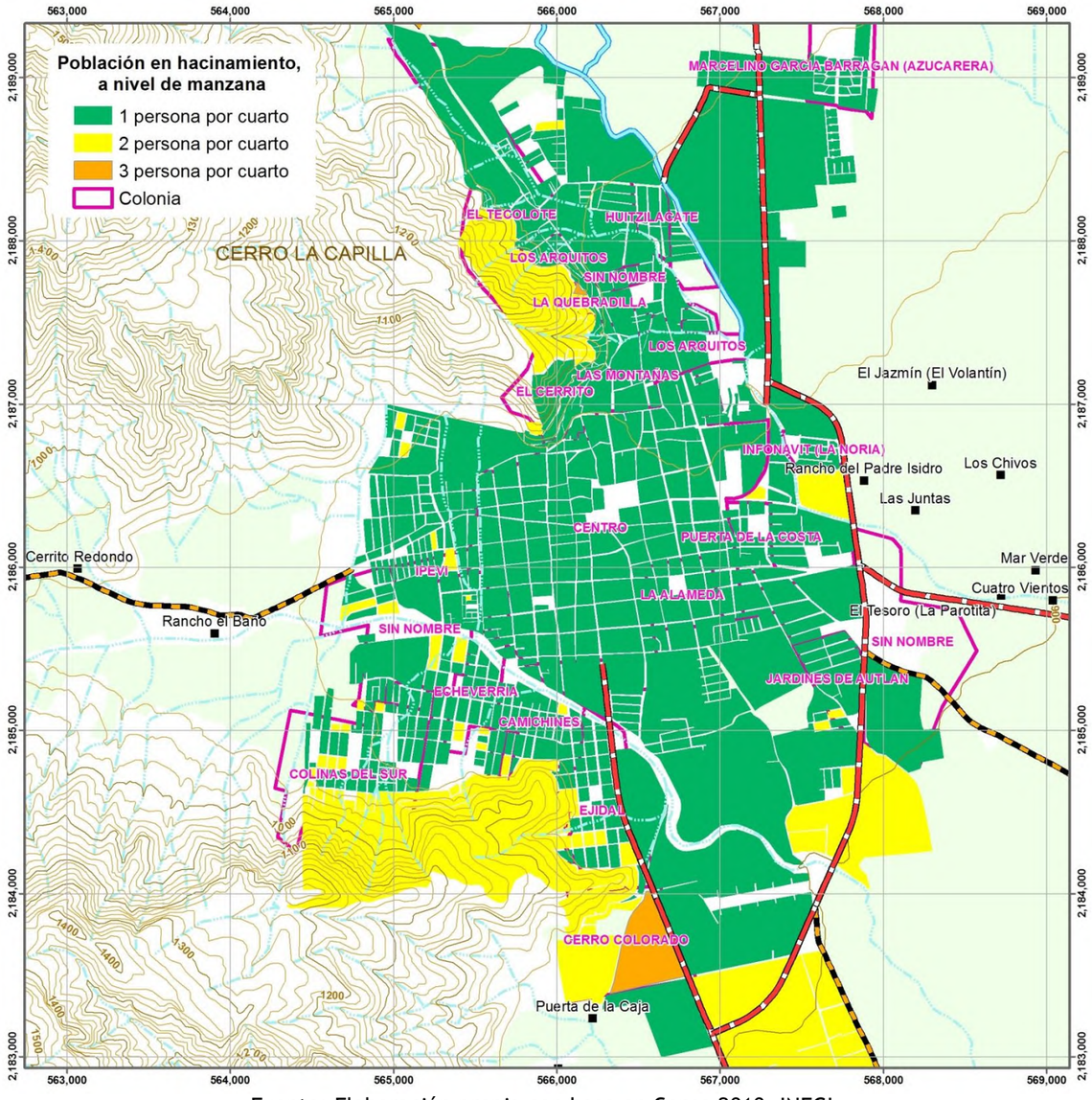
Para la cabecera municipal en el 69% de las manzanas se registra un habitante pos cuarto, 8% de 2 personas por cuarto, 0.2% de 3 personas por cuarto y el 22% restante, no esta determinado. Figura 4-11.

Figura 4-11. Hacinamiento de la población



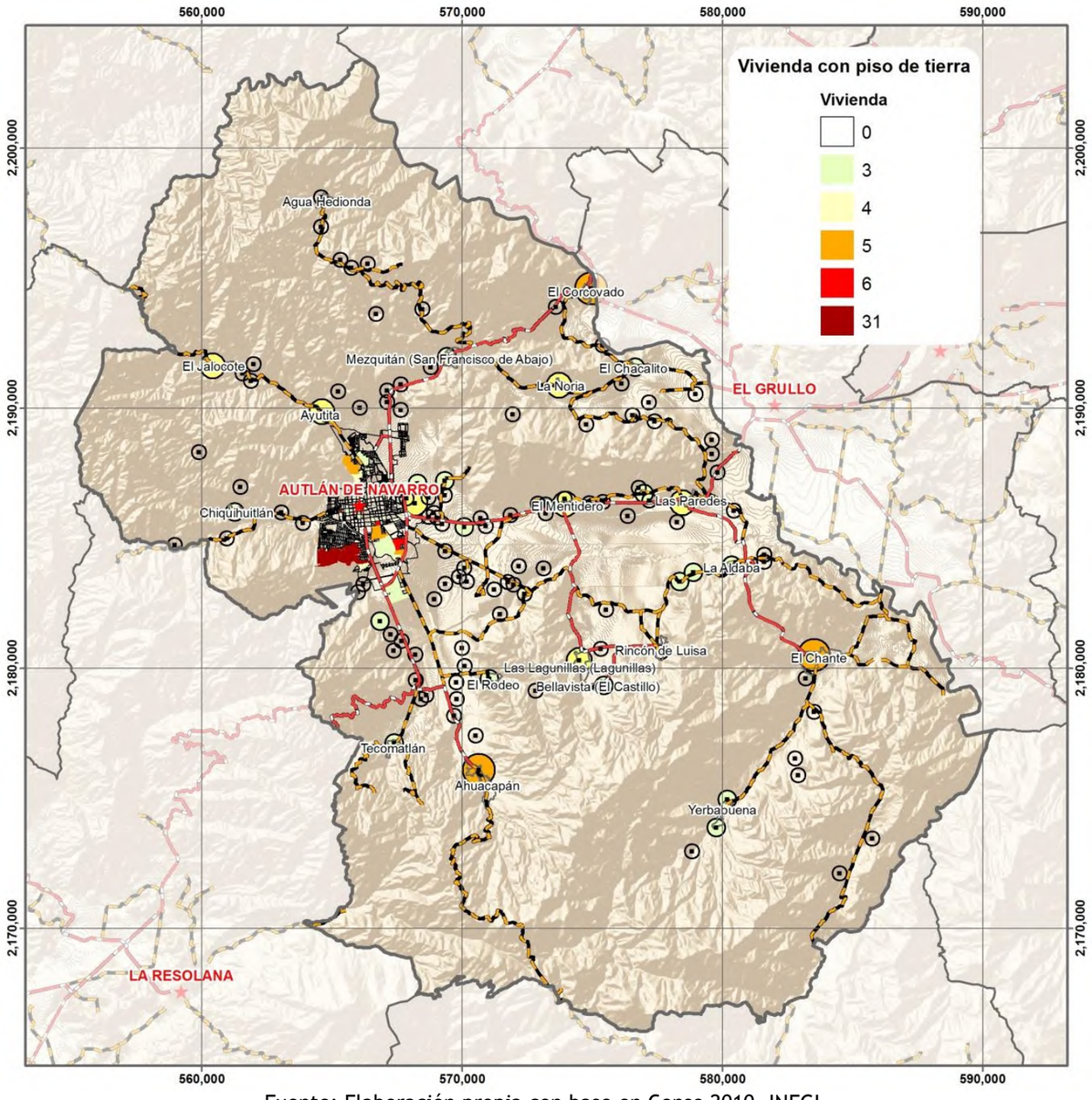
Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Figura 4-12. Hacinamiento de la población



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

Figura 4-13. Distribución de las viviendas con piso de tierra en el municipio de Autlán



Fuente: Elaboración propia con base en Censo 2010, INEGI.

4.2.8 Marginación

La marginación es un fenómeno multidimensional y estructural originado, en última instancia, por el modelo de producción económica expresado en la desigual distribución del progreso, en la estructura productiva y en la exclusión de diversos grupos sociales, tanto del proceso como de los beneficios del desarrollo (CONAPO, 2011). De esta manera, la marginación se asocia a la carencia de oportunidades sociales y a la ausencia de capacidades para adquirirlas o generarlas, pero también a privaciones e inaccesibilidad a bienes y servicios fundamentales para el bienestar. En consecuencia, las comunidades marginadas enfrentan escenarios de elevada vulnerabilidad social cuya mitigación escapa del control personal o familiar (CONAPO, 2011 y 2012), pues esas situaciones no son resultado de elecciones individuales, sino de un modelo productivo que no brinda a todos las mismas oportunidades. Las desventajas ocasionadas por la marginación son acumulables, configurando escenarios cada vez más desfavorables. (www. conapo.gob.mx).

Tabla 4-18. Índice de Marginación 2010-2015

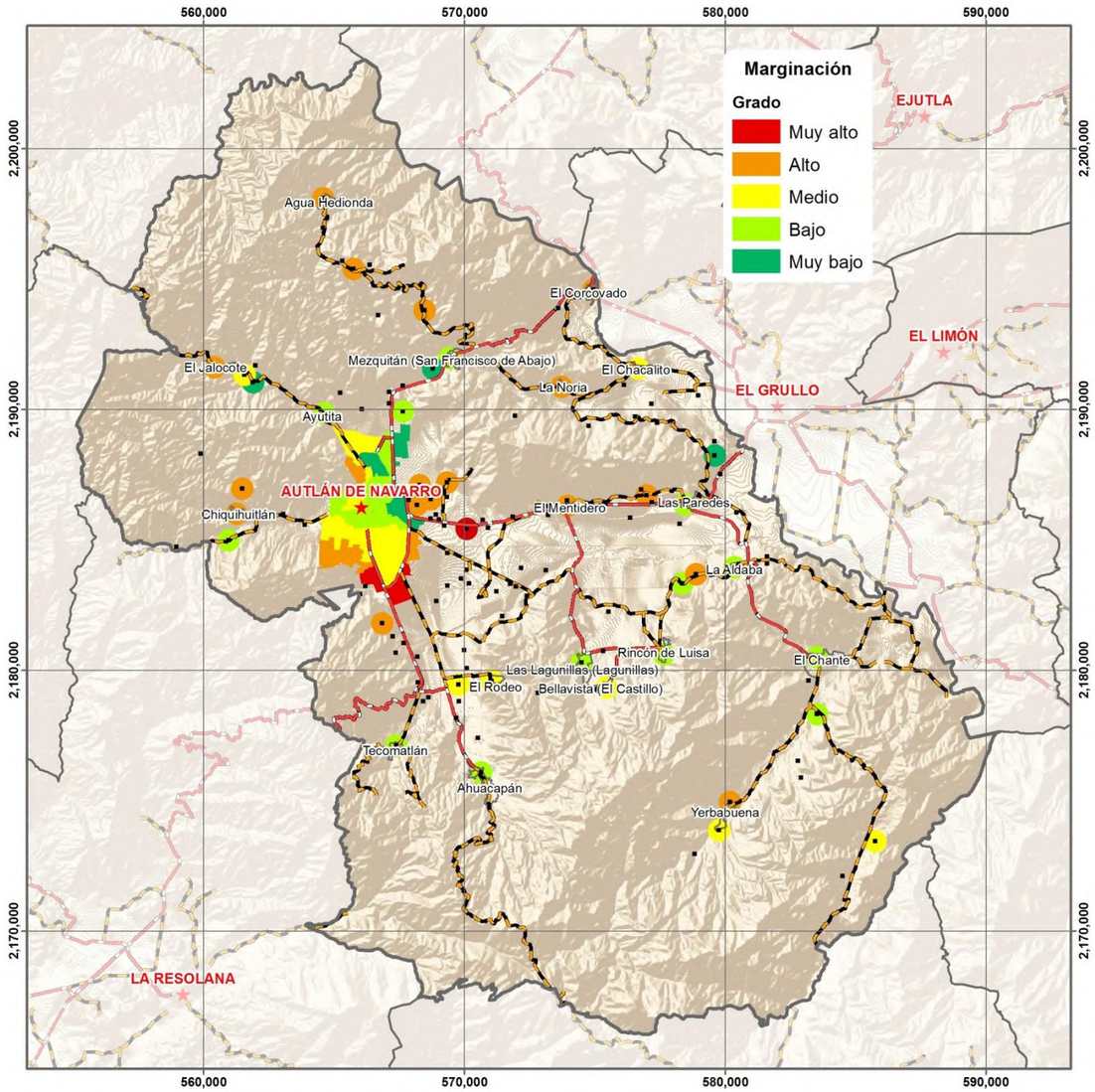
Indicador	2010	2015
Grado de marginación	Muy bajo	Muy bajo
Lugar que ocupa en el contexto nacional	2,292	2,252
Lugar que ocupa en el contexto estatal	116	111
Población total	57,559	60,572
Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta	4.8	3.98
Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa	21.16	17.21
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni excusado	0.63	0.69
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	0.82	0.56
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	2.15	1.88
Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento	29.46	23.72
Porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra	3.53	3.37
Porcentaje de población en localidades con menos de 5 000 habitantes	21.16	21.15
Porcentaje de población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos	30.12	30.77
Índice de marginación	-1.425	-1.288

Fuente: Elaborado por el IIEG con base en CONAPO; Índice de Marginación 2010 y 2015.

De un total de 42 localidades con algún índice de marginación, Figura 4-13, el 40% presenta un grado Alto, el 33% son de un grado bajo, el 16% Medio, 7% muy bajo y tan solo el 2% Muy alto.

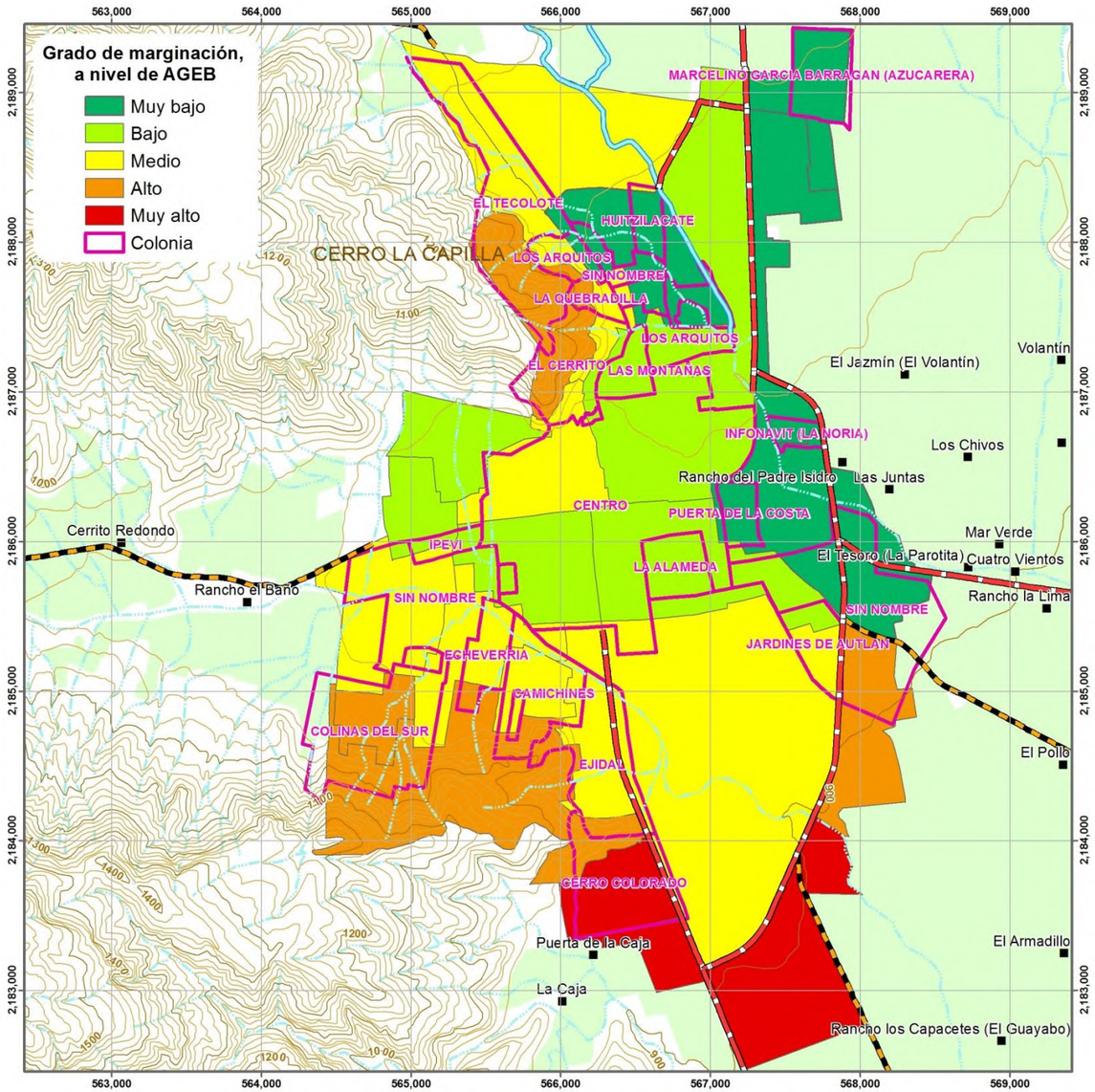
Para las manzanas en la cabecera municipal, el índice con mayor población es el Medio con el 38%, seguido por 34% de nivel bajo, 13% muy bajo, 12% alto y 1% Muy alto. Figura 4-14.

Figura 4-14. Marginación por localidad



Fuente: Elaboración propia con base en CONAPO 2010 y 2015.

Figura 4-15. Grado de marginación



Fuente: Elaboración propia con base en CONAPO 2010 y 2015.

4.3 Características de la vivienda

4.3.1 Tipos de vivienda

Para los tipos de vivienda en el municipio se analizan la disponibilidad de bienes y tecnologías de la información con la que esas cuentan, se excluyen los locales no construidos para habitación, viviendas móviles y refugios.

Tabla 4-19. Viviendas particulares habitadas y su distribución porcentual según disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y la comunicación por tipo de bien o tecnología

Tipo de bien o tecnología	Viviendas particulares habitadas[1]	Disponibilidad de bienes y tecnologías de la información y de la comunicación					
		Disponen		No disponen		No especificado	
		%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto
Teléfono fijo	16,370	45.76	7,491	53.90	8,823	0.34	56
Teléfono celular	16,370	84.11	13,768	15.55	2,546	0.34	56
Internet	16,370	35.34	5,785	64.25	10,518	0.41	67

Fuente: Elaborado por el IIEG con base en INEGI; Encuesta Intercensal 2015.

4.3.2 Servicios (agua, luz, drenaje)

Tabla 4-20. Viviendas particulares habitadas según disponibilidad de drenaje y tipo de desagüe

Viviendas particulares habitadas[1]	Tipo de desagüe					No tiene drenaje	No especificado
	Total	La red pública	Una fosa séptica o tanque séptico (biodigestor)	Una tubería que va a dar a una barranca o grieta	Una tubería que va a dar a un río, lago o mar		
16,370	16,015	15,106	903	0	6	272	83

Fuente: Elaborado por el IIEG con base en INEGI; Encuesta Intercensal 2015.

1 Excluye las siguientes clases de vivienda: locales no construidos para habitación, viviendas móviles y refugios.

Tabla 4-21. Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada, 2015

Viviendas particulares habitadas[1] que disponen de agua	Viviendas según procedencia del agua						
	Del servicio público de agua	De un pozo comunitario	De un pozo particular	De una pipa	De otra vivienda	De otro lugar	No especificado
16,031	15,366	325	66	18	74	93	89

Fuente: Elaborado por el IIEG con base en INEGI; Encuesta Intercensal 2015.

1 Excluye las siguientes clases de vivienda: locales no construidos para habitación, viviendas móviles y refugios.

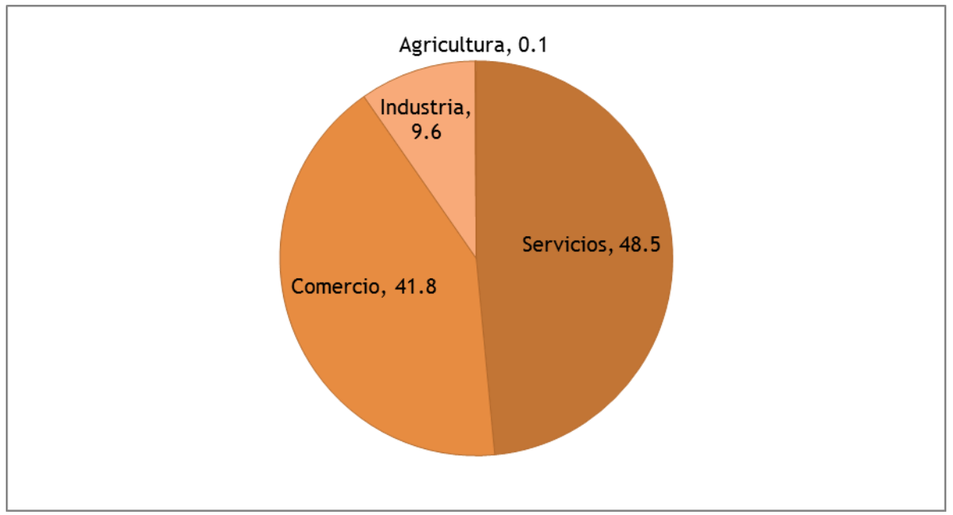
4.4 Caracterización de los elementos económicos

4.4.1 Sectores de actividad

Las Unidades económicas son las unidades estadísticas sobre las cuales se recopilan los datos de los censos económicos de INEGI. Se dedican principalmente a un tipo de actividad de manera permanente en construcciones e instalaciones fijas, combinando acciones y recursos bajo el control de una sola entidad propietaria o controladora, para llevar a cabo producción de bienes o servicios, sea con fines mercantiles o no. Se definen por sector de acuerdo con la disponibilidad de registros contables y la necesidad de obtener información con el mayor nivel de precisión analítica.

De acuerdo a la información publicada del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas se calcula que en municipio de Autlán de Navarro, Jalisco operan 3,310 unidades económicas a diciembre de 2014 y su distribución por sectores revela un predominio de unidades económicas dedicadas a los servicios, siendo estas el 48.5% del total de las empresas en el municipio.

Gráfico 4-1. Distribución de las unidades económicas. Autlán de Navarro 2015



Fuente: IIEG, 2015.Diagnostico del Municipio, Autlán de Navarro.

Tabla 4-22. Unidades económicas en Autlán, 2015.

Municipio	2015	Porcentaje de participación
Autlán de Navarro	3,310	0.91%
Total, Jalisco	362,330	100%

Fuente: IIEG en base a datos de DENUE de INEGI

Valor Agregado Censal Bruto

El valor agregado censal bruto se define como: "el valor de la producción que se añade durante el proceso de trabajo por la actividad creadora y de transformación del personal ocupado, el capital y la organización (factores de la producción), ejercida sobre los materiales que se consumen en la realización de la actividad económica." En resumen, esta variable se refiere al valor de la producción que añade la actividad económica en su proceso productivo.

Los censos económicos 2014, registraron que en el municipio de Autlán de Navarro, los tres subsectores más importantes en la generación de valor agregado censal bruto fueron la Industria Alimentaria; el Comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco y las Instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil, que generaron en conjunto el 45.5% del total del valor agregado censal bruto registrado en 2014 en el municipio.

El subsector de Comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco, que concentró el 15.2% del valor agregado censal bruto en 2014, registró el mayor crecimiento real pasando de 84 millones 791 mil pesos en 2009 a 172 millones 500 mil pesos en 2014, representado un incremento de 103.4% durante el periodo.

Tabla 4-23. Subsectores con mayor valor agregado censal bruto.

Autlán de Navarro, 2009 y 2014 (Miles de pesos).

Subsector	2009	2014	%Part 2014	Var% 2009-2014
311 Industria alimentaria	229,616	242,099	21.4%	5.4%
431 Comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco	84,791	172,500	15.2%	103.4%
522 Instituciones de intermediación crediticia y financiera no bursátil	14,376	100,720	8.9%	600.6%
462 Comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales	13,626	82,370	7.3%	504.5%
434 Comercio al por mayor de materias primas agropecuarias y forestales, para la industria, y materiales de desecho	5,334	61,704	5.4%	1056.8%
468 Comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes	55,802	55,258	4.9%	-1.0%
722 Servicios de preparación de alimentos y bebidas	38,685	51,223	4.5%	32.4%
461 Comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco	40,001	49,600	4.4%	24.0%
312 Industria de las bebidas y del tabaco	2,519	40,635	3.6%	1513.1%
811 Servicios de reparación y mantenimiento	33,306	30,232	2.7%	-9.2%
327 Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	5,269	29,041	2.6%	451.2%
Otros	195,258	217,000	19.2%	11.1%
Total	718,583	1,132,382	100.0%	57.6%

Fuente: IIEG, 2015.Diagnostico del Municipio, Autlán de Navarro.

Productividad Laboral

La productividad laboral es la medición aritmética del valor de la producción (valor agregado censal bruto) que cada trabajador (población ocupada) añade durante el proceso de trabajo de una actividad económica y de transformación de los factores de producción.

Considerando el monto total del producto bruto, que rebasa los 1,600 millones de pesos al año.

Sector primario

El sector primario está formado por las actividades económicas relacionadas con la transformación de los recursos naturales en productos primarios no elaborados. Las principales actividades del sector primario son la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la apicultura, la acuicultura, la caza, la pesca, explotación forestal y la minería. Usualmente, los productos primarios son utilizados como materia prima en las producciones industriales.

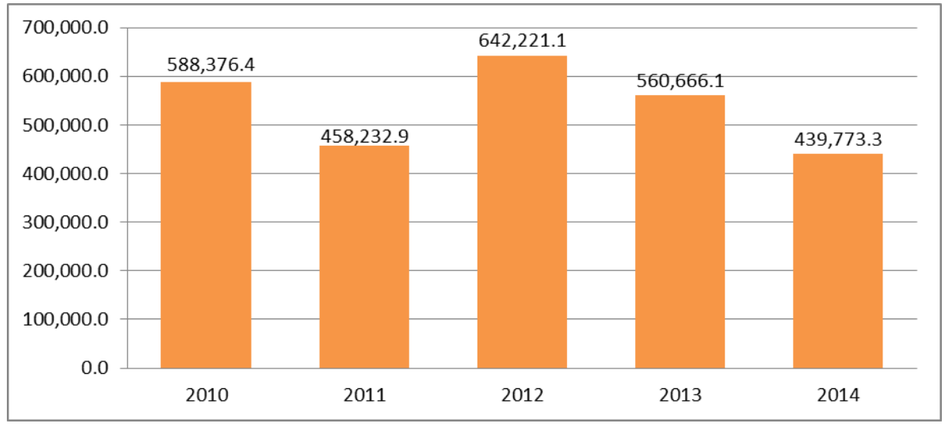
Dentro del Sistema Clasificador Industrial de América del Norte (SCIAN) podemos identificar al sector primario en el sector 11 “Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza”.

Análisis de producción agrícola

Perspectiva Municipal

El valor de la producción agrícola en Autlán de Navarro ha presentado diversas fluctuaciones durante el periodo 2010–2014, habiendo registrado sus niveles más altos de los últimos cinco años en 2012. El valor de la producción agrícola para 2014 fue de 439,773.3 miles de pesos, un decremento de 21.56% con respecto al año anterior. El municipio contribuye con el 1.12% del total de la producción de Jalisco.

Gráfico 4-2. Valor de la producción agrícola 2010-2014 (miles de pesos).



Fuente: IIEG, 2015.Diagnostico del Municipio, Autlán de Navarro.

Para el periodo del 2010 se produjeron 26 cultivos, los cuales el valor de la producción en ese periodo fue de $588,376.37. Los cinco cultivos a destacar fueron para el caso de: caña de azúcar, tomate rojo, calabacita, maíz grano y elote. De igual forma para el periodo del 2015 se registraron producción para 26 cultivos, el valor de la producción total fue de $460,779.58, periodo durante el cual declinó la tendencia de los cultivos preponderantes dentro del municipio

Tabla 4-24. Producción agrícola municipal en 2010 y 2015.

Cultivo	Producción 2010 (Toneladas)	% del total	Cultivo	Producción 2015 (Toneladas)	% del total
Caña de azúcar	530.00		Caña de azúcar	480.00	
Tomate rojo	5,153.78		Tomate rojo	7,049.69	
calabacita	4,782.60		calabacita	4,094.20	
Maíz grano	2,579.00		Maíz grano	3,140.58	
Elote	1,301.10		Elote	2,256.47	

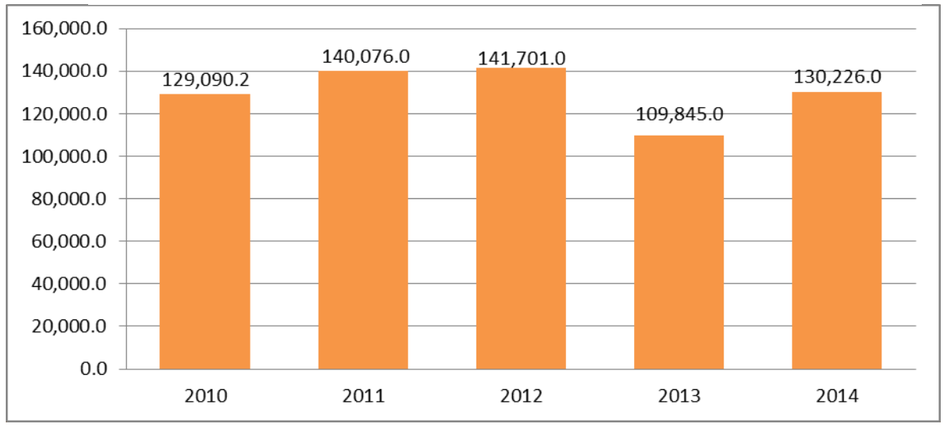
Fuente: IIEG en base a OEIDRUS.

Análisis de Producción Ganadera

Perspectiva Municipal

La producción ganadera en Autlán de Navarro presentó una ligera recuperación en 2014, tras el retroceso registrado en 2013, sin embargo continúa por debajo de las cifras reportadas en años anteriores. La producción ganadera de 2014 incrementó en 18.55% con respecto de 2013, con una participación estatal de 0.18%.

Gráfico 4-3. Valor de la producción ganadera, Autlán 2010 - 2014 (miles de pesos)



Fuente: IIEG, 2015.Diagnostico del Municipio, Autlán de Navarro.

Sector Secundario

El sector secundario (a veces llamado simplificadamente sector industrial) es el sector de la economía que transforma la materia prima, que es extraída o producida por el sector primario, en productos de consumo, o en bienes intermedios, es decir, productos que serán utilizados en otros ámbitos del sector secundario..

Dentro del Sistema Clasificador Industrial de América del Norte (SCIAN) podemos identificar al sector secundario dentro de los sectores 21 “Minería”, 22 “Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final”, 23 “Construcción” y 31-33 “Industrias Manufactureras”.

Sector Terciario

El sector terciario también se conoce como sector de servicios, ya que incluye aquellas actividades que no implican la producción de bienes materiales. Las empresas del sector terciario, de este modo, se dedican a la satisfacción de diferentes necesidades de las personas.

4.4.2 Empleo

Dentro de la región Sierra de Amula, Autlán de Navarro se presenta como municipio con mayor número de trabajadores concentrando el 54.15% del total de trabajadores asegurados en el IMSS dentro de la región Sierra de Amula en septiembre de 2015, quedando por encima de Tuxcacuesco que concentra al 16.47% y El Grullo con el 12.31%.

De diciembre de 2012 a septiembre de 2015 el municipio de Autlán de Navarro registró un incremento real en el número de trabajadores asegurados en la región Sierra de Amula, pasando de 8,506 asegurados en 2012, a 9,257 asegurados en septiembre de 2015, incrementando en 751 trabajadores durante el total del periodo.

Tabla 4-25. Trabajadores asegurados. Región Sierra de Amula de Jalisco. 2012-2015

Municipio	2012	2013	2014	2015	% Part. Abr 2015	Var. Abs. Dic 2012-Dic 2015	IDM-E	IDM
Autlán De Navarro	8,506	8,928	9,169	9,551	66.59%	12.3%	23	15
Tuxcacuesco	2,401	2,381	2,028	2,893	20.17%	20.5%	10	28
El Grullo	1,663	1,790	1,835	2,180	15.20%	31.1%	32	42
Tonaya	421	761	836	1,004	7.00%	138.5%	43	25
Tecolotlán	782	811	799	840	5.86%	7.4%	59	35
Unión de Tula	370	361	387	384	2.68%	3.8%	89	48
Ayutla	324	291	305	327	2.28%	0.9%	80	88
El Limón	139	155	159	143	1.00%	2.9%	92	59
Tenamaxtlán	103	100	89	94	0.66%	-8.7%	102	106
Juchitlán	74	75	84	93	0.65%	25.7%	103	86
Chiquilistlán	115	50	67	78	0.54%	-32.2%	118	118
Cuautla	35	20	19	18	0.13%	-48.6%	116	105
Atengo	5	5	9	13	0.09%	160.0%	110	74
Ejutla	1	1	1	3	0.02%	200.0%	114	65

Municipio	2012	2013	2014	2015	% Part. Abr 2015	Var. Abs. Dic 2012-Dic 2015	IDM-E	IDM
Total	12,168	12,987	13,372	14,344	100.00%	17.9%		

Fuente: IIEG, 2015.Diagnostico del Municipio, Autlán de Navarro.

Empleo Histórico

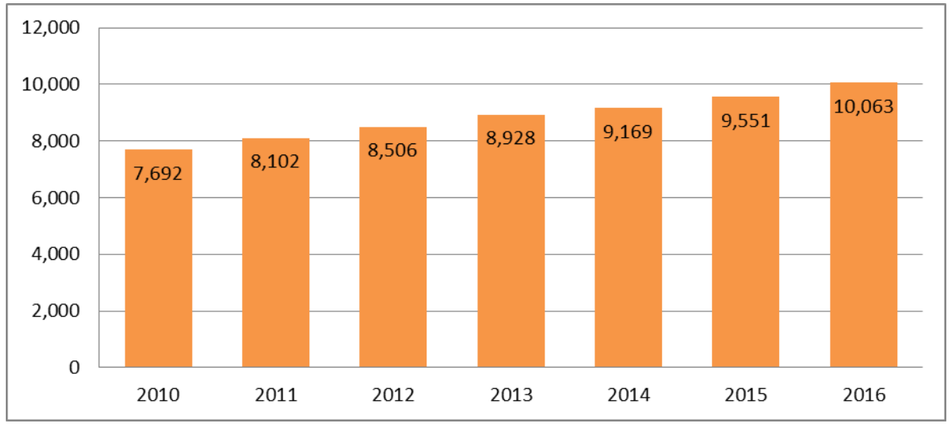
Como puede observarse, la cantidad de trabajadores asegurados registrados dentro del municipio muestra una tendencia ligeramente positiva a lo largo del tiempo, presentando su máximo histórico durante 2016 con una cifra de 10,063 trabajadores asegurados, seguido de 2010 donde se registraron 7,692 empleos. Las cifras observadas representan un incremento de 30.82% en los trabajadores asegurados del 2010 al 2016.

Tabla 4-26. Trabajadores asegurados 2010-2016

Años	Trabajadores asegurados
2010	7,692
2011	8,102
2012	8,506
2013	8,928
2014	9,169
2015	9,551
2016	10,063

Fuente: IIEG, con Base a datos proporcionados por el IMSS 2012-2015

Gráfico 4-4. Empleo histórico en Autlán de Navarro. (Trabajadores asegurados x 1,000)



Fuente: IIEG, con Base a datos proporcionados por el IMSS 2012-2015

Analizando la conformación del empleo dentro del municipio por sector, se observa que a lo largo del periodo en estudio el sector de servicios ha mantenido la mayor cantidad de empleos registrados dentro del municipio, siendo superado durante algunos periodos por Servicios, el cual al 2016 acumula una cifra de 2,201 empleos, mientras que Comercio presenta una cifra de 2,100 trabajadores registrados ante el IMSS. De la misma manera, el sector que obtuvo el tercer lugar de participación durante 2016 fue el de Industrias de la transformación, el cual para dicho año presento una cifra de 944 trabajadores asegurados, la tendencia de este ha presentado una considerable caída en el presente año.

En el caso de la industria de la construcción, se mostraba una tendencia indefinida que presenta diversos picos y caídas, sin embargo durante 2010 se presentó un dato atípico de 223, el cual posterior a este año regreso a los niveles comunes para este sector. Por otra parte el sector de Agrícola/Ganadero presento durante los primeros periodos niveles muy bajos, que para 2016 subió a niveles de 833 trabajadores y posterior a esta fecha se ha mantenido relativamente constante.

Por otra parte, el sector de Industria Eléctrica y Captación y Suministro de Agua Potable a decaído, en el año presente cuenta con 160 trabajadores, mientras que durante el 2010 contaba con 171 trabajadores asegurados durante el periodo.

4.4.3 Ingresos

Tabla 4-27. Población ocupada y su distribución porcentual según ingreso 2010 y 2015

Entidad / Municipio	Población ocupada		Ingreso por trabajo							
			Hasta 1 s.m.2		Más de 1 a 2 s.m.		Más de 2 s.m.		No especificado	
	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015
Jalisco	2,992,334	3,136,363	10.83	7.24	16.32	22.16	64.04	61.47	8.81	9.13
015 Autlán de Navarro	22,497	23,686	11.43	6.36	18.69	24.42	63.86	60.53	6.02	8.69

Fuente: IIEG; Instituto de Información Estadística y Geográfica, con base en datos del Censo de Población y Vivienda, 2010, INEGI.

Tabla 4-28. Población ocupada y su distribución porcentual según sector de actividad económica 2010 y 2015

Municipio	Población ocupada		Sector de actividad económica									
			Primario1		Secundario2		Comercio		Servicios		No especificado	
	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015
Jalisco	2,992,334	3,136,363	8.96	7.65	27.43	27.23	21.56	20.97	40.76	42.61	1.28	1.54
015 Autlán de Navarro	22,497	23,686	16.78	17.18	17.94	19.26	19.91	19.10	42.73	43.43	2.64	1.04

FUENTE: IIEG; Instituto de Información Estadística y Geográfica, con base en datos del Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

4.1.1 Tasa de desempleo abierto

Tabla 4-29 .Estimados de la población de 12 años y más y su distribución porcentual según condición de actividad económica y de ocupación por municipio y sexo .

Sexo	Estimador	Población de 12 años y más	Condición de actividad económica[1]				
			Población económicamente activa[2]			Población no económicamente activa	No especificado
			Total	Ocupada	Desocupada		
Total	Valor	46,788	52.11	97.16	2.84	47.72	0.17
Hombres	Valor	22,705	69.12	96.37	3.63	30.76	0.13
Mujeres	Valor	24,083	36.07	98.57	1.43	63.72	0.21

Fuente: IIEG con datos de la Encuesta Intercensal, INEGI, 2015

4.5 Equipamiento e infraestructura

La estructura urbana que existe actualmente en la ciudad de Autlán se ha venido conformando, en torno al asentamiento fundacional. El Centro Urbano presenta en su mayoría traza reticular, pero no una retícula perfecta, ya que el trazado de las calles se hizo según datos históricos bajo un plan maestro de construcción, para la defensa de la ciudad, de forma que, todas las cuadras que salen del Centro Histórico terminan a la mitad o desfasadas de la calle de la cuadra siguiente el primer cuadro presenta en su trazo vialidades con ligeras inclinaciones y en otras lineal. Existen asentamientos que se han ido sumando a este Centro Urbano pero no llegan a formar un tejido urbano compacto, la mayoría se ha desarrollado en torno las carreteras o a las vialidades principales, se puede apreciar que en algunos se encuentran agrupados mientras que otros están separados por zonas con uso agropecuario. Estos asentamientos se han venido desarrollando con mayor intensidad a partir de la década de los ochentas del siglo pasado. Entre las colonias que se han ido sumando a partir de este periodo tenemos las siguientes: Frac. Silva Romero, Frac. La Paloma, Azucarera General Marcelino Barragán, Frac. La Garita, Real de Santana, 5 de Mayo, Priv. La Montaña, Frac. La Calma, Jardines del Sol, Jardines Autlán, Paulino Navarro y La Herradura, Col Camichines y Col. Colinas del Sur, El Frac. La Rosa, Frac. Cardenista, Frac. Pintores, Hacienda Oriente, INFONAVIT, Jardines Universidad, Fraccionamiento.

4.5.1 Salud

Referente a la infraestructura del sector Salud la ciudad cuenta con servicios de salud con una Influencia regional. El municipio de Autlán de la Grana destaca en la región y la Zona por ser el único con la mayor parte de servicios en el estado. Ya que cuenta con las siguientes clínicas y hospitales zonales:

Hospital Regional de Autlán se localiza en la Col. Jardines del Sol calle Prolongación. Matamoros No. 210, el cual está equipado con 6 consultorios, 30 camas y 1 quirófano.

Hospital Civil de Las Montañas.

Hospital General de Zona no. 20 del IMSS dirección en Jaime Llamas No. 5 Fraccionamiento Puerto de la Costa tiene una cobertura Regional o de Zona, que cuenta con 14 consultorios 28 camas y un quirófano (sala) que se ubica en el Fraccionamiento Puerta de la Costa.

Clínica de Especialidades Robles Centro.

Sanatorio de Especialidades Médicas Autlán

Clínica de Especialidades Robles Oriente.

Centro de salud de Autlán, de la Región Sanitaria VII (controlado por la SSJ).

Hospital Médico Familiar del ISSSTE.

Unidad de Radiología Roentgen (Rayos X, Servicio de Ambulancias)

En la ciudad se cuenta con numerosos consultorios profesionales encargados de brindar consulta médica, los cuales se encuentran con tendencia a localizarse en la zona centro y muy pocas fuera de esta área. Se tienen numerosas farmacias que complementan este servicio médico. De acuerdo a datos de la Secretaría de Salud tiene una capacidad de atención de 20 mil a 50 mil habitantes. Este servicio se complementa con 8 Centros de Salud ubicado en las siguientes zonas: Ejidal, Arquitos, Ahuacapan, El Corcovado, el Chante, el Jalocote, y las Lagunillas, así como 16 casas de salud para lograr una mayor cobertura. Autlán cuenta con centro de asistencia de desarrollo infantil DIF.

4.5.2 Educación

La infraestructura educativa está integrada por los planteles y edificios públicos y privados que son dedicados al desarrollo de la educación regional. La Población de Autlán de La Grana cuenta con instalaciones educativas desde nivel preescolar hasta nivel universitario.

En el nivel de educación preescolar Autlán cuenta con 13 jardines de niño ubicados en las siguientes las colonias: Centro, Marcelino García Barragán, Jardines de Autlán, La Noria, Ejidal, Echeverría, La Grana y El Cerrito.

A nivel primaria hay 10 escuelas ubicadas en las colonias: Centro, Marcelino García Barragán, Jardines del Sol, Maderera, Ejidal, Echeverría y La Grana. A nivel secundaria cuenta con 4 instalaciones localizadas en las colonias: 2 ubicadas en la colonia Centro, 1 en la Col Camichines y 1 en el Fraccionamiento Puerta de la Costa. Además se cuenta con una telesecundaria en la colonia Marcelino García Barragán, que es la única que utiliza este sistema de enseñanza en la ciudad de Autlán de Navarro.

En cuanto al nivel medio superior y superior la ciudad cuenta con una Preparatoria y una Institución de educación a nivel superior el Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR), que pertenece a la Universidad de Guadalajara. Su oferta educativa en Licenciaturas en Administración, Contaduría Derecho, Turismo; Ingenierías en Obras y Servicios, Recursos Naturales, TSU Mecánico Automotriz, Teleinformática; Maestrías en Administración y Desarrollo Regional;; 7° Diplomado Internacional, Maestría en Manejo de Zona Costera Desarrollos Tecnológicos en Ingeniería, Este centro multidisciplinario alberga aproximadamente a 3,100 estudiantes de nivel licenciatura y posgrado, distribuidos en las dos sedes que funcionan actualmente, el CUCSur I y CUCSur II. En 2009 la Universidad adquirió otro terreno, donde se construirá CUCSur III, en él se pretende establecer las nuevas carreras, según un plan maestro que incluye aulas, un laboratorio biotecnológico, una biblioteca virtual y un museo, entre otros componentes. La Universidad Pedagógica Nacional campus Autlán presta, desarrolla y orienta los servicios educativos de tipo superior tiene licenciaturas en Educación Preescolar y Primaria para Medios Indígenas y Intervención Educativa

4.5.3 Recreación y esparcimiento

Recreación

En la ciudad existe un área de Protección al Patrimonio Histórico dentro de la cual se encuentran inmuebles que datan de la época de la Colonia, que como el número de habitantes era muy reducido y su defensa difícil, construyeron las casas fortificadas, y aún hoy día se pueden ver algunas en el Centro Histórico que conservan pretiles de azoteas almenadas, mencionando algunas que son, La Catedral, la Casa Universitaria, Cinerama, Jardín Principal, Palacio Municipal o Presidencia, Mercado, y casonas viejas.

La ciudad cuenta con el Museo Regional de Ciencia Y Tecnología y el Museo Regional de las Artes que representan espacios donde el conocimiento, la naturaleza, la ciencia y la tecnología; además se encuentra en construcción actualmente "MIRA" (Museo de Investigación Regional de Autlán) un espacio histórico, cultural y artístico

Esparcimiento

La ciudad cuenta con diversos lugares donde se puede tener actividades relacionadas con el esparcimiento y convivencia familiar como: parques acuáticos, áreas verdes y jardines para el entretenimiento, plazas cívicas entre otros.

La ciudad cuenta con los siguientes centros comerciales, donde se ofrecen una variedad de productos y servicios que satisfacen la necesidad de la población local:

Plaza del Valle - Av. Independencia Nacional 75, junto a la Central Camionera Primera Plus.

Plaza Catedral - Av. Hidalgo 85.

Plaza Vista del Sol - En calle Corona Araiza, frente al Jardín Constitución.

Galerías Metropolitanas Autlán – Prolongación Matamoros y Periférico Oriente, carretera El Grullo.

Plaza Galerías Autlán cuenta con un complejo de 5 salas de cine, una tienda de accesorios automotrices y refacciones, una zapatería y una tienda de autoservicio.

Los jardines barriales en las siguientes colonias: Autlán cuenta con los siguientes equipamientos destinados a la cultura:

- El Centro Cultural Autlán ubicado en el Centro.
- La Casa Universitaria del CUCSUR sobre la Av. Independencia

Una plaza de toros ubicada en la C. González Ortega en él se llevan a cabo algunas de las festividades del Carnaval anual de la ciudad. Se tienen 2 Clubes Sociales: El Mutualista y El Club La Grana.

Existen 5 unidades deportivas: Chapultepec ubicada en la zona centro, Revolución en la colonia Jardines Autlán, Luis Donaldo Colosio en la colonia Camichines, Cosío Vidaurri en el fraccionamiento Obrero y La Paloma ubicada en el fraccionamiento con el mismo nombre.

De acuerdo con la dosificación de equipamiento, se observa que hay excedencia en la superficie destinada a la práctica deportiva, el problema reside en que estos espacios no se encuentran habilitados.

4.5.4 Seguridad

Protección Civil

Es una organización gubernamental que tiene como principal objetivo el mantenimiento de la seguridad social y la atención y prevención de riesgos causados por fenómenos naturales o relacionados con el desarrollo de actividades antrópicas con dirección en Av. Carlos Santana #261, en el centro Autlán de Navarro, también se encarga de habilitar y establecer rutas de evacuación en caso de presentarse alguna contingencia que ponga en riesgo la integridad de la población.

Actualmente se cuenta con 45 lugares que serán habilitados como refugios temporales con el fin de albergar a la población de Autlán de Navarro, estos albergues están integrados por escuelas de todos los niveles y otros edificios gubernamentales como DIF, los cuales tiene características estructurales que soportaran algún evento sísmico u otro contingente, el sitio oficial de Protección Civil ofrece un listado con los nombres, ubicación y capacidad de albergue de cada refugio.

4.5.5 Bomberos

Su trabajo consiste en realizar rescates, búsquedas, liberan a personas prensadas en los vehículos colapsados, son operativos y preventivos, se les reconoce su capacidad para sofocar incendios, son los bomberos. Hombres y mujeres que trabajan por jornadas de 24 horas cuando así lo requiere la emergencia, están en alerta en vacaciones, año nuevo, navidad y semana santa. La ubicación es Av. Av. Carlos Santana # 664, en el centro Autlán de Navarro

Autlán cuenta con centro de asistencia de desarrollo infantil DIF. La casa ejidal que cumple con la función de centro comunitario, en ellas se reúnen los habitantes para tratar los asuntos de importancia para su comunidad. Según datos actuales no existe equipamiento que funja como delegación municipal, existen servicios de cementerios y módulos de seguridad pública, Existen un panteón ubicado en Constitución, González Ortega y Matamoros otro por el Antiguo Camino a Ahuacapan y Calle Río Verde, y un Parque Funeral Autlán.

Dos Casetas de Policía ubicada la primera de ellas en la intersección de las calles, Ramos Millán y Pino Suárez, y la otra en la intersección de las calles Laurel y Roble.

4.5.6 Infraestructura Urbana

La infraestructura y el equipamiento presentes en el municipio de Autlán de Navarro cambian conforme las necesidades de la población. Las instalaciones de infraestructura del distrito están conformadas por los pozos y tanques para el abastecimiento de agua potable, plantas de tratamiento de aguas residuales, los tramos de colector de Copala y Mesón de Copala, las líneas eléctricas de alta y media tensión, y la línea telefónica de fibra óptica que va paralela a la carretera. En el caso de plantas de tratamiento de aguas residuales en operación para el año 2011 se contaba con 2, localizadas en las localidades Ahuacapán y La Ciudad de Autlán con distintos procesos de saneamiento ambas; Según datos del Inventario Nacional de plantas Municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 4-30. Plantas Municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales. Abastecimiento de agua potable

Localidad	Nombre de la planta	Proceso	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Tratado (l/s)	Cuerpo Receptor
Ahuacapán	Ahuacapán	Lodos activados	5	3	Río Ayuquila
Ahuacapán	Ahuacapán	Filtros biológicos o rociadores o percoladores	100	120	Río Purificación.

Fuente: 2011.CNA Inventario Nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación.

Para el abastecimiento de agua de la población de la Ciudad de Autlán de Navarro Según la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado existen 11 pozos y 12 Tanques, la población donde se ubica, el tipo de extracción y el volumen del gasto.

Conforme a la calidad del servicio que se proporciona en la Ciudad se encuentran tres niveles en cuanto a su cobertura, deficiente, regular y bueno.

- Con buena cobertura: Colonia Centro, Oriente y Sur de la Ciudad
- Con cobertura regular: Hacia el Poniente.
- Con cobertura deficiente: Hacia el Norponiente y Surponiente de la ciudad.

El sistema de drenaje y alcantarillado el Ciudad, son administrados y dirigidos por Los servicios urbanos quien a través de la Dirección General de Servicios Públicos Municipales de la cual dependen la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado, la Dirección de Alumbrado Público y la Dirección de Pavimentos atienden las demandas y deficiencias en la infraestructura, servicios y equipamiento urbano y mediar la cuestión ambiental hasta donde su competencia municipal lo permite. En cuanto al alumbrado, solamente existen áreas de las que el servicio es regular y otras con servicio deficiente. El área que cuenta con cobertura total en cuanto al servicio de alumbrado público es de 70%.

En cuanto a alumbrado público, una pequeña área que está destinada para el patio de operación de líneas de media y baja tensión.

4.6 Áreas de Reserva Urbana

Las áreas de reserva urbana, RU: las que corresponden a los terrenos donde se disponga el crecimiento del centro de población. En estas áreas corresponderá a las autoridades municipales promover el desarrollo de las obras de urbanización básica, sin las cuales no se autorizará modalidad alguna de acción urbanística. Estas se subdividen en:

RU-CP Áreas de reserva urbana a corto plazo: las áreas pertenecientes a la reserva urbana que cuentan con las obras de urbanización básica, donde es factible realizarlas de inmediato;

RU-MP Áreas de reserva urbana a mediano plazo: las áreas pertenecientes a la reserva urbana que son potencialmente urbanizables pero no cuentan con las obras de urbanización básica, y no es factible realizarlas inmediatamente; sin embargo, los interesados podrán solicitar al Ayuntamiento la realización de estudios que permitan la promoción de las obras de urbanización básica que les permita pasar a formar parte de la reserva urbana a corto plazo y RU-LP Áreas de reserva urbana a largo plazo: las áreas pertenecientes a la reserva urbana, potencialmente urbanizables pero que no cuentan con las obras de urbanización básica,, y no es posible realizarlas inmediatamente; sin embargo, los interesados podrán solicitar al Ayuntamiento que estudie la factibilidad de que a futuro lleguen a contar con las obras de urbanización básica

Estas áreas de expansión de la ciudad de Autlán de Navarro conforman un total 223.5 hectáreas, no tienen desarrollo urbano todavía, pero están consignadas para futuro crecimiento de la ciudad y cuentan con las obras de infraestructura básica o con la posibilidad de realizarlas de manera inmediata. Cabe señalar que algunas son potencialmente urbanizables pero que no es posible desarrollarlas, en virtud de que no es factible que las autoridades correspondientes proporcionen los servicios de infraestructura básica de abasto y desecho, de manera inmediata. (Plan de Desarrollo Urbano Autlán de Navarro, Jalisco 2012-2015, Secretaría de Desarrollo Urbano, SEDUR)

Expansión de la ciudad

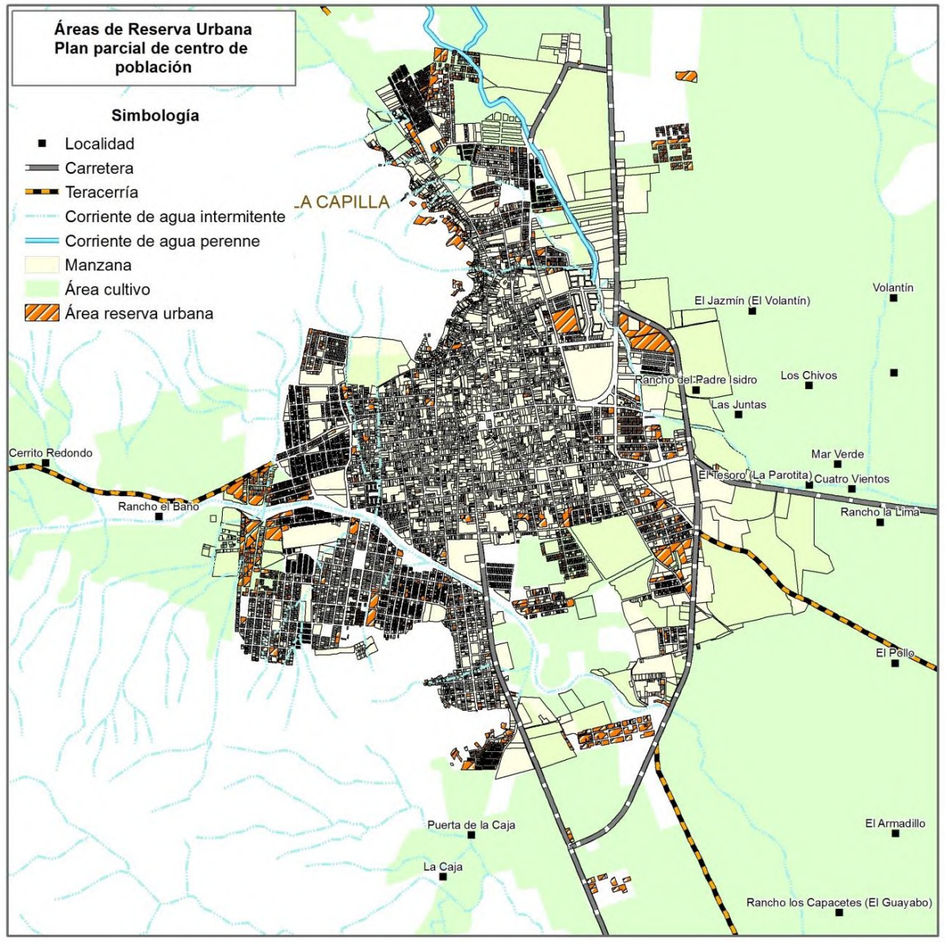
La ciudad de Autlán de Navarro ha crecido en los últimos años de forma poco ordenada, debido en gran medida a que su Plan de Centro de Población no contaba con una reciente actualización, la cual permitiera establecer mejores lineamientos de ordenamiento territorial y desarrollo urbano; Esto, entre otros factores, ha ocasionado la generación de asentamientos que en su gran mayoría han venido dándose de manera espontánea, y en otras pocas mediante un otorgamiento de permisos por parte de la dependencia municipal encargada del control del desarrollo urbano; Algunos de estos asentamientos irregulares se han ubicado en zonas poco adecuadas para la urbanización, tales como zonas muy accidentadas topográficamente, en cauces de arroyos, zonas con problemas de inundaciones o con suelos que por su composición resultan poco estables, además con problemas de régimen de propiedad. En la actualidad no existe un Plan de Centro de Población vigente que norme y controle el crecimiento urbano que se ha venido dando en el área. Si bien este crecimiento representa un incremento de oportunidades y potencial de trabajo, también cuando se da en forma desordenada y sin control, trae consigo, una anarquía en las funciones urbanas, que se reflejan en el deterioro ambiental, en ineficiencias en la prestación de los servicios básicos de infraestructura y en las disfuncionalidades en otro tipo de servicios. De aquí la importancia que el desarrollo del área deba darse como resultado de un estudio de una manera ordenada y armónica con el medio ambiente natural y acorde con las características sociales y económicas del lugar.

Tabla 4-31. Expansión de la ciudad

Tipo	Hectáreas	Conclusión
Área urbana 1998	814	En 12 años la expansión urbana ha crecido el 108.9%
Área urbana 2010	1,701	
Área de expansión urbana	887	

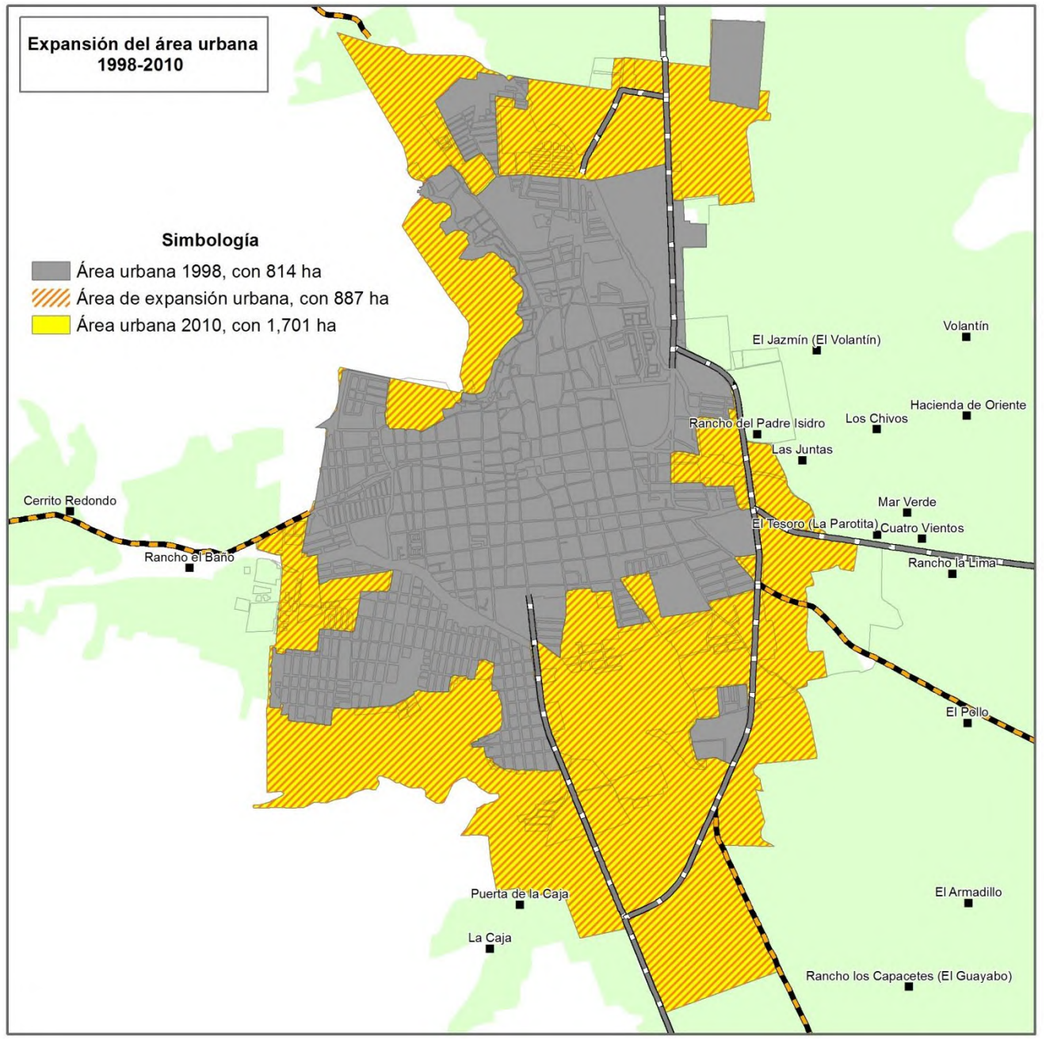
Fuente: Área urbana 2010, INEGI. Área urbana 1998, Catastro del Estado, IITEJ.

Figura 4-16.Áreas de reserva urbana



Fuente: Plan de Desarrollo Urbano Autlán de Navarro, Jalisco 2012-2015.

Figura 4-17. Expansión del Área Urbana



Fuente: Área urbana 2010, INEGI. Área urbana 1998, Catastro del Estado, IITEJ.

Capítulo 5.

Identificación de amenazas y peligros, ante fenómenos perturbadores de origen natural

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

Introducción

La realización del Atlas de Riesgos para el Municipio de Autlán, tiene como objetivo principal generar un instrumento que permita establecer estrategias de prevención, reducción y mitigación de riesgos, así como la generación de un esquema normativo para la toma de decisiones responsables en la planeación y desarrollo de los asentamientos humanos, al identificar y zonificar los peligros y riesgos (geológicos e hidrometeorológicos) por posibles afectación hacia el ser humano y su infraestructura. Todo mediante la compilación, integración y generación de conocimiento geológico-ambiental, meteorológico y topográfico del municipio, en una base de datos cartográfica digital previamente validada en campo, la cual estará disponible para su consulta y actualización en un Sistema de Información Geográfica (SIG), confiable y de fácil manejo, para servir a las autoridades en materia de Protección Civil.

El Municipio de Autlán, por su ubicación y características geográficas, es una región expuesta a diversos Riesgos Naturales que implican ocurrencia de desastres. Para poder prevenir y en su caso evitar este tipo de desastres, es de vital importancia contar con una herramienta que permita conocer la recurrencia de un fenómeno natural, que permita integrar, evaluar y difundir los resultados de los análisis del peligro y vulnerabilidad, a diferentes niveles y escalas, mediante la realización de escenarios, por lo cual es muy importante que pueda ser actualizado fácilmente y se mantenga vigente.

Con la finalidad de facilitar la realización del presente Atlas, el trabajo se divide en tres etapas generales: la primera consiste en trabajos de gabinete, como la adquisición y compilación de información digital, bibliográfica y cartográfica referente a la zona de estudio, así como la búsqueda de antecedentes históricos tanto en dependencias gubernamentales como centros de investigación; la segunda, la verificación en campo que consistió en la ubicación de sitios en peligro y la aplicación de encuestas, y la tercera nuevamente de gabinete donde se incluye el análisis de la información recabada en campo. Esta tercera etapa es importante ya que es donde se ajustan los mapas base y se llega al resultado de los mapas finales de susceptibilidad y amenaza.

Dentro de los tipos de peligros originados por fenómenos naturales que se analizaron en este trabajo a escala regional, se encuentran los geológicos e hidrometeorológicos. Esencialmente se analizan cada uno de los fenómenos de peligro para el Municipio de Autlán, identificando su periodicidad, área de ocurrencia y grado o nivel de impacto sobre el sistema afectable, zonificando áreas vulnerables expuestas al peligro geológico (zonas de riesgo), proponiendo obras y acciones que tiendan a disminuir el riesgo. La Tabla 5-1 muestra los fenómenos de análisis con probabilidades de ocurrencia en el Municipio.

Tabla 5-1. Fenómenos perturbadores naturales

Tipo	Fenómeno
Geológico	Vulcanismo (Erupciones Volcánicas)
	Sismos
	Tsunamis o Maremotos
	Inestabilidad de laderas (Deslizamientos)
	Flujos (Lodos, Tierra, y Suelo, Lahar)
	Derrumbes (Caídos)
	Hundimientos
	H Subsidencia
	Agrietamiento
Hidrometereológico	Ondas Cálidas y Gélidas (Temperaturas Máximas y Mínimas Extremas)
	Sequías
	Heladas
	Tormentas de Granizo
	Tormentas de Nieve
	Ciclones Tropicales. Ondas Tropicales
	Tornados
	Tormentas Eléctricas
	Inundaciones
	Tormentas de polvo

Fuente: Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgo y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2016, SEDATU.

Nivel de Análisis

Las metodologías de estudio que se presentan para los diversos fenómenos, han sido desarrolladas a partir de un nivel de análisis que va de acuerdo a la información recabada, desde información histórica hasta trabajo de campo desarrollado que contempla un aumento progresivo en el grado de detalle del estudio del fenómeno perturbador, con base a la profundidad de análisis e información disponible.

La Tabla 5-2 muestra los fenómenos geológicos que la SEDATU recomienda analizar para determinar si en el pasado han afectado a la zona de estudio (Municipio de Autlán) o es posible que ocurra. En la columna “nivel de análisis” indica aquellos fenómenos que serán estudiados y hasta qué nivel de análisis se abordará. Las amenazas que aplican para la zona de estudio se indican con un nivel de análisis.

Tabla 5-2. Fenómenos Geológicos que la SEDATU recomienda analizar en la zona de estudio.

Fenómenos Geológicos			
	Tipo	Nivel de Análisis	Escala de representación
1	Vulcanismo (Erupciones volcánicas)	2	Municipal
2	Sismos	2	Municipal
3	Tsunami	N/A	N/A
4	Inestabilidad de Laderas (Deslizamiemtos)	2	Cabecera – Municipal
5	Flujos	2	Municipal
6	Derrumbes o Caídos	2	Municipal
7	Hundimientos	1	Cabecera - Municipal
8	Subsidencia	1	Cabecera - Municipal
9	Agrietamientos	2	Cabecera - Municipal

Fuente: Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgo y Catálogo de Datos. Geográficos para Representar el Riesgo 2016, SEDATU.

Para establecer el nivel de análisis para la determinación y caracterización de los fenómenos hidrometeorológicos como fuentes de peligro, se consideró la información histórica disponible (hemerotecas, encuestas a la población, talleres, registros, etc.), los datos de las estaciones meteorológicas que operan en el municipio y las ubicadas más allá de sus límites territoriales pero cuyas datos deben tomarse en consideración desde el punto de vista de la regionalización. En este sentido, se recurre a bases de datos de agencias ambientales y universidades extranjeras, específicamente en el tema de ciclones tropicales y sequías. Así mismo, se tomaron en cuenta las herramientas computacionales disponibles para el equipo de trabajo, pero sobre todo se buscó abarcar la totalidad de las metodologías sugeridas en los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016.

La tabla 5-3 muestra los niveles de análisis para cada uno de los fenómenos hidrometeorológicos.

Tabla 5-3. Niveles de análisis para los fenómenos meteorológicos.

Fenómenos Geológicos			
	Tipo	Nivel de Análisis	Escala de representación
10	Ondas cálidas y gélidas	2	Municipal
11	Sequías	3	Municipal
12	Heladas		Municipal
13	Tormentas de granizo	2	Municipal
14	Tormentas de Nieve	N/A	N/A
15	Ciclones tropicales. Huracanes y Ondas tropicales	2	Municipal
16	Tornados	2	Municipal
17	Tormentas de Polvo*	N/A	N/A
18	Tormentas Eléctricas	2	Municipal
19	Lluvias Extremas**	N/A	N/A
20	Inundaciones (pluviales, fluviales, costeras y lacustres)	3	Cabecera y Localidad

Fuente: Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgo y Catálogo de Datos. Geográficos para Representar el Riesgo 2016, SEDATU.

Metodología

Los riesgos geológicos comprenden aquellos procesos y fenómenos relacionados con los materiales de la corteza terrestre, su dinámica y los sistemas con los que se relacionan en la superficie del planeta, tanto de origen natural como en el que interviene el ser humano.

Ubicándose el Occidente de México en un entorno geológico-tectónico dinámico, representado por una zona de subducción activa en su margen colindante con el Océano Pacífico, El Municipio de Autlán, ubicado dentro del Bloque de Jalisco, está continuamente expuesto a peligros relacionados con actividad sísmica, vulcanismo y fallamientos tectónicos asociados a la zona de subducción y a procesos continentales.

Las metodologías aplicadas a cada fenómeno hidrometeorológico se apegan en general a las sugeridas en los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016. En algunos casos en particular se introducen nuevas metodologías que hacen uso de sistemas de información geográfica y algebra de mapas para obtener datos que luego se aplican a teorías clásicas en hidrología. En otros situaciones, las metodologías no pueden seguirse al 100 % por la ausencia de datos en estaciones meteorológicas. Este problema es bien conocido y sería altamente deseable contar con estaciones bien implementadas y distribuidas más regularmente a lo largo del territorio nacional. El

método usado para fenómeno en particular se describe brevemente en lo que sigue y ampliamente en las memorias de cálculo anexas.

A continuación se dan las metodologías a seguir para cada uno de los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos.

Peligros por Fenómenos Geológicos

El Municipio de Autlán, por su ubicación geográfica, distribución morfológica y geología asociada a las unidades litoestratigráficas que afloran, presenta características propias que lo hacen vulnerable a los peligros por fenómenos geológicos. Estos están presentes de manera natural pero, en parte, son acelerados por factores hidrometeorológicos y antropogénicos.

Existe una gran variedad de factores o causas detonantes de peligro, en términos generales se dividen en internos y externos, los primeros están directamente relacionados con el origen y las propiedades físicas del material original, como son: fallas, fracturas y erosión; mientras que los segundos son aquellos que perturban su estabilidad, ya sean fenómenos naturales como lluvias intensas, sismos, actividad volcánica, o actividades antropogénicas.

La realización del Atlas de Peligros y Riesgos para el Municipio de Autlán, tiene como objetivo principal generar un instrumento que permita establecer estrategias de prevención, reducción y mitigación de riesgos, así como la generación de un esquema normativo para la toma de decisiones responsables en la planeación y desarrollo de los asentamientos humanos, al identificar y zonificar los peligros y riesgos geológicos por posibles afectación hacia el ser humano y su infraestructura. Todo mediante la compilación, integración y generación de conocimiento geológico en el Municipio, en una base de datos cartográfica digital previamente validada en campo, la cual estará disponible para su consulta y actualización en un Sistema de Información Geográfica (SIG), confiable y de fácil manejo, para servir a las autoridades en materia de Protección Civil.

El Municipio de Autlán, por su ubicación y características geográficas, es una región expuesta a diversos Riesgos Naturales que implican ocurrencia de desastres. Para poder prevenir y en su caso evitar este tipo de desastres, es de vital importancia contar con una herramienta que permita conocer la recurrencia de un fenómeno natural, que permita integrar, evaluar y difundir los resultados de los análisis del peligro y vulnerabilidad, a diferentes niveles y escalas, mediante la realización de escenarios, por lo cual es muy importante que pueda ser actualizado fácilmente y se mantenga vigente.

Con la finalidad de facilitar la realización del presente Atlas, el trabajo se divide en tres etapas generales: la primera consiste en trabajos de gabinete, como la adquisición y compilación de información digital, bibliográfica y cartográfica referente a la zona de estudio, así como la búsqueda de antecedentes históricos tanto en dependencias gubernamentales como centros de investigación; la segunda, la verificación en campo que consistió en la ubicación de sitios en peligro y la aplicación de encuestas, y la tercera nuevamente de gabinete donde se incluye el análisis de la información recabada en campo. Esta tercera etapa es importante ya que es donde se ajustan los mapas base y se llega al resultado de los mapas finales de susceptibilidad y amenaza.

Dentro de los tipos de peligros originados por fenómenos naturales que se analizaron en este trabajo a escala regional, se encuentran los geológicos e hidrometeorológicos. Esencialmente se analizan cada uno de los fenómenos de peligro para el Municipio de Autlán, identificando su periodicidad, área de ocurrencia y grado o nivel de impacto sobre el sistema afectable, zonificando áreas vulnerables expuestas al peligro geológico (zonas de riesgo), proponiendo obras y acciones que tiendan a disminuir el riesgo. La Tabla 5-4 se muestran los fenómenos de análisis con probabilidades de ocurrencia en el Municipio.

Tabla 5-4.Fenómenos perturbadores naturales y químicos

Tipo	Fenómeno
Geológico	Vulcanismo (Erupciones Volcánicas)
	Sismos
	Inestabilidad de laderas Deslizamientos
	Flujos (Lodos, Tierra, y Suelo, Lahar)
	Derrumbes (Caídos)
	Hundimientos
	Subsidencia
	Agrietamiento

Fuente: Bases *para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgo y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2016, SEDATU.*

Nivel de Análisis

Las metodologías de estudio que se presentan para los diversos fenómenos, han sido desarrolladas a partir de un nivel de análisis que va de acuerdo a la información recabada, desde información histórica hasta trabajo de campo desarrollado que contempla un aumento progresivo en el grado de detalle del estudio del fenómeno perturbador, con base a la profundidad de análisis e información disponible.

La Tabla 5-5 muestra los fenómenos geológicos que la SEDATU recomienda analizar para determinar si en el pasado han afectado a la zona de estudio (Municipio de Autlán) o es posible que ocurra. En la columna “nivel de análisis” indica aquellos fenómenos que serán estudiados y hasta qué nivel de análisis se abordará. Las amenazas que aplican para la zona de estudio se indican con un nivel de análisis.

Tabla 5-5.Fenómenos Geológicos que la SEDATU recomienda analizar en la zona de estudio.

Fenómenos Geológicos			
	Tipo	Nivel de Análisis	Escala de Representación
1	Vulcanismo	2	Municipal
2	Sismos	2	Municipal
3	Deslizamiemtos	2	Municipal
4	Flujos	2	Municipal

5	Derrumbes o Caídos	2	Municipal
6	Hundimientos	1	Cabecera - Municipal
7	Subsidencia	1	Cabecera Municipal
8	Agrietamientos	1	Cabecera - Municipal

Fuente: *Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgo y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2016, SEDATU.*

Para establecer el nivel de análisis para la determinación y caracterización de los fenómenos hidrometeorológicos como fuentes de peligro, se consideró la información histórica disponible (hemerotecas, encuestas a la población, talleres, registros, etc. Así mismo, se tomaron en cuenta las herramientas computacionales disponibles para el equipo de trabajo, pero sobre todo se buscó abarcar la totalidad de las metodologías sugeridas en los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016.

Metodología

Los riesgos geológicos comprenden aquellos procesos y fenómenos relacionados con los materiales de la corteza terrestre, su dinámica y los sistemas con los que se relacionan en la superficie del planeta, tanto de origen natural como en el que interviene el ser humano.

Ubicándose el Occidente de México en un entorno geológico-tectónico dinámico, representado por una zona de subducción activa en su margen colindante con el Océano Pacífico, El Municipio de Autlán, ubicado dentro del Bloque de Jalisco, está continuamente expuesto a peligros relacionados con actividad sísmica, vulcanismo y fallamientos tectónicos asociados a la zona de subducción y a procesos continentales.

En algunos casos en particular se introducen nuevas metodologías que hacen uso de sistemas de información geográfica y algebra de mapas para obtener datos que luego se aplican a teorías clásicas en hidrología. En otras situaciones, las metodologías no pueden seguirse al 100 % por la ausencia de datos en estaciones sísmicas o de algún otro tipo. Este problema es bien conocido y sería altamente deseable contar con estaciones bien implementadas y distribuidas más regularmente a lo largo del territorio nacional. El método usado para fenómeno en particular se describe brevemente en lo que sigue y ampliamente en las memorias de cálculo para cada fenómeno geológico.

Perceptibilidad de los Fenómenos Geológicos

Para conocer cómo se perciben los diversos fenómenos geológicos por parte de la población y las autoridades de una localidad, ha sido necesario levantar una serie de encuestas, en diversas localidades, la cual se muestra un análisis de recuperación de información en la tabla 5-6.

Tabla 5-6.Perceptibilidad de Fenómenos Geológicos en el Municipio de Autlán.

Localidad	Vulcanismo	Sismo	Deslizamiento	Flujos	Derrumbes	Hundimientos	Agrietamientos
Las Paredes	No	Si	No	No	No	No	Si
El Mentidero	No	Si	No	No	No	No	Si
La Sidrita	No	Si	No	No	No	No	Si
Yerbabuena	No	Si	Si	No	No	No	No
El Chante	No	Si	No	No	No	Si	Si
Tecopatlán	No	Si	Si	No	SI	Si	Si
La Aldaba	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Las Lagunillas	No	Si	No	No	No	N0	Si
Autlán	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Elaboración propia, en base al levantamiento de encuestas

De acuerdo a la Tabla 5-6., se observa que la perceptibilidad de los sismos es general y puede estar ligado a la presencia de agrietamiento, hundimientos y deslizamiento en el Municipio dado la actividad sísmica en la zona en donde ocurren sismos de 3.5 a 6 grados en en la escala de Richter, en torno al Municipio

5.1 Vulcanismo (Erupciones Volcánicas)

Los volcanes son estructuras situadas en la superficie terrestre, formado por la acumulación de materiales provenientes del interior de la tierra. Un volcán es el resultado de un complejo proceso que incluye la formación, ascenso, evolución, emisión de magma y depósitos de los materiales volcánicos. A nivel global se distinguen varios tipos de volcanes entre ellos: volcanes poligenéticos o estrato volcanes, volcanes monogenéticos, complejos volcánicos, etc.

Las erupciones volcánicas resultan del ascenso del magma que se encuentra en la parte interna de un volcán activo. Cuando el magma se acerca o alcanza la superficie, pierde todos o parte de los gases que lleva en solución, formando gran cantidad de burbujas en su interior. Las erupciones son entonces emisiones de mezclas de magma (roca fundida rica en materiales volátiles), gases volcánicos que se separan de este (vapor de agua, bióxido de carbono, bióxido de azufre y otros) y fragmentos de rocas de la corteza arrastrados por los anteriores. Estos materiales pueden ser arrojados con distintos grados de violencia, dependiendo de la presión de los gases provenientes del magma o de agua subterránea sobrecalentada por el mismo.

Los riesgos volcánicos son importantes debido a que el Municipio está ubicado en una región volcánica activa por lo que no debe dejarse de lado las manifestaciones volcánicas. Considerando que la zona de estudio se localiza y a 40 Km del volcán más activos de México es importante describir las características de las erupciones volcánicas.

Metodología y Análisis de estudio

El desarrollo de la metodología de trabajo para el Municipio de Autlán de Navarro, en la evaluación del riesgo volcánico en el depósito y espesores de cenizas ha constituido el tema principal. Tomando como precedente las metodologías tradicionales, para las que la generación de mapas de peligros ha constituido su objetivo prioritario-, nos hemos planteado el análisis del riesgo desde un punto de vista dinámico, donde el mapa deje por sí mismo de ser el fin y se transforme en un medio de experimentación y análisis para el mejor conocimiento de los fenómenos volcánico (depósito de cenizas). Para llevar a cabo el desarrollo estructurado de la metodología hemos aplicado un procedimiento que consta de tres etapas fundamentales: (1) la identificación de los problemas que surgen al aplicar los métodos de trabajo clásicos para la identificación del peligro; (2) el diseño de una metodología adecuada para la solución de estos problemas y (3) la implementación de la misma mediante su aplicación al estudio de un área de trabajo que en este caso es el Municipio de Autlán, que permita verificar la validez de su diseño. Como resultado, se ha aplicado un modelo de simulación ante una erupción máxima probable del volcán más activo de México, definido como base para el futuro desarrollo de herramientas específicas de análisis del riesgo que representa la caída de cenizas volcánicas, con aplicación en campos que van desde el estrictamente científico, proporcionando un apoyo fundamental en el análisis del fenómeno volcánico desde el punto de vista histórico.

Ubicar la localidad en estudio, en la cartografía geológica de la República Mexicana, a fin de determinar si ésta se encuentra en o cercana a un campo volcánico, o cerca de un volcán considerado activo o peligroso. En caso de ser así, adquirir información bibliográfica, cartográfica y digital relativa a la historia eruptiva del campo volcánico en cuestión, con el fin de determinar el tipo de erupciones que ha tenido, la cantidad de material que ha expulsado, especialmente la distribución y distancia alcanzada en los depósitos de cenizas, esto asume determinar las características y distribución de sus depósitos, la frecuencia y si se han desencadenado fenómenos asociados al vulcanismo. Todo ello con la finalidad de obtener una idea de la peligrosidad que representa, sobre todo si ha tenido antecedentes recientes de erupciones explosivas y el alcance de estas.

La base primordial en estudios de tipo volcánico es determinar las evidencias de posibles peligros, es que la zona de estudio se ubique cerca o dentro de un campo volcánico. Si se conoce un poco de aspectos geológicos, determinar la existencia de materiales volcánicos en la zona. La información acerca de la historia eruptiva de la zona de estudio puede ser obtenida de documentos históricos-narrativos que hayan registrado las erupciones, publicaciones científicas realizadas por investigadores especializados, mapas geológicos generados por diversas instituciones de investigación u organismos de gobiernos federales y estatales relacionados con temáticas geológicos.

El Métodos de estudios geológicos para determinar el nivel de afectación por erupciones volcánicas (depósito de cenizas) en el área de interés, implica tener en cuenta todos los parámetros de una erupción (dirección de viento, nivel de explosividad, columna eruptiva).

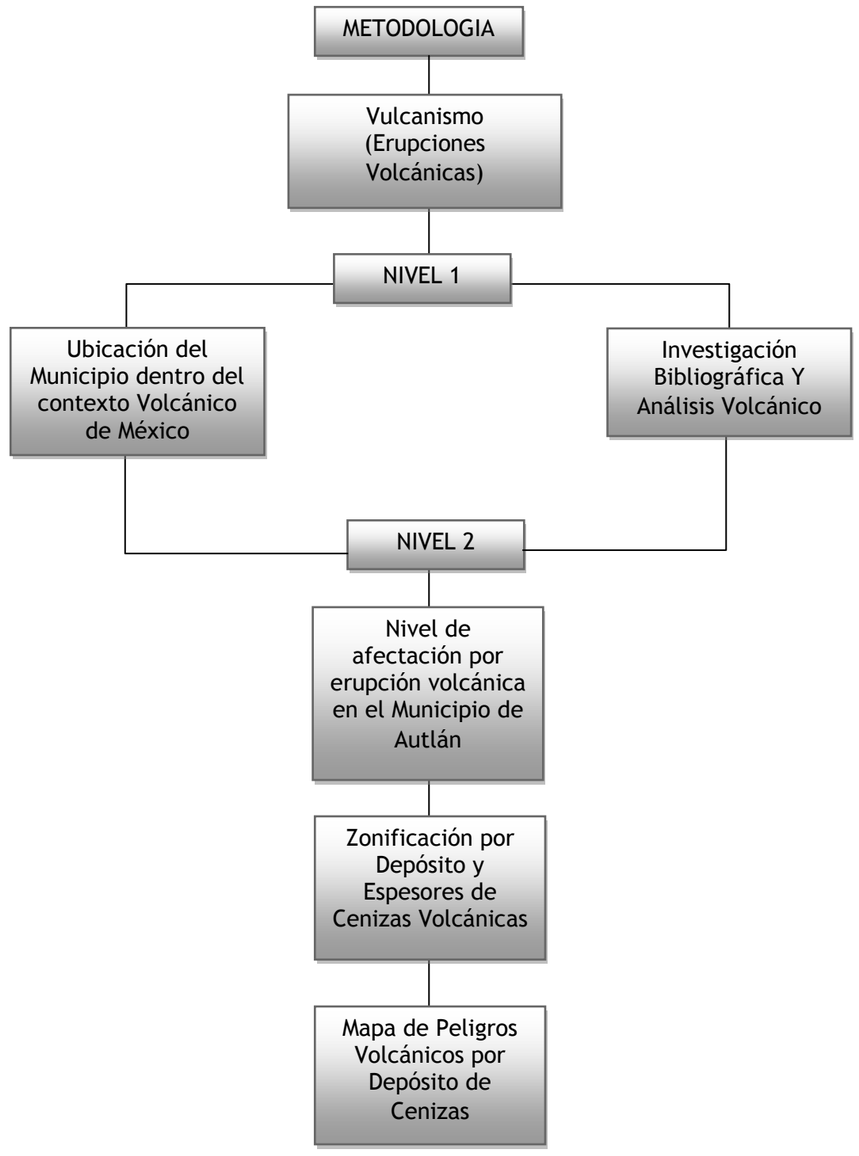
Es importante considerar la determinación de la peligrosidad del volcán, con base a la periodicidad de las erupciones, considerándose de peligro inminente aquellos en los que la evidencia geológica confiable señala que se puede esperar una erupción en un periodo menor de diez años; si es de 100 años o menos, de peligro a corto plazo y si es más de 100 años, como de largo plazo.

Considerar la categoría de peligro es importante. El Peligro alto indica un Índice de explosividad volcánica (VEI), igual o mayor a 3 con tiempo medio de recurrencia de erupciones de 500 años o menos, o que hayan producido al menos una erupción de VEI 3 o mayor en los últimos quinientos años.

El peligro medio el índice de explosividad volcánica (VEI) igual o mayor a 3, con tiempos de recurrencia mayor de 500 años y menor a 2000, o que hayan producido al menos una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 500 a 2000 años. El peligro moderado la erupciones con VEI igual o mayor a 3, con tiempo medio de recurrencia mayor de 2000 años pero menor de 10,000 años, o al menos con una erupción con VEI 3 o mayor en los últimos 2000-10,000 años.

La metodología para el análisis del vulcanismo (depósito de cenizas) para el Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, implica el Nivel 2 de acuerdo a los términos de Referencia 2016, que comprende las etapas mostradas en el diagrama de flujos de la Figura 5-1.

Figura 5-1 Metodología en el estudio del Vulcanismo para el Municipio de Autlán de Navarro



Fuente: Elaboración propia, con base a datos de los Términos de Referencia, 2016.

Nivel de Análisis 1

Análisis Volcánico

Los edificios volcánicos están formados por los depósitos de materiales emitidos en erupciones pasadas, y por lo general no son estructuras muy firmes. Una erupción o un terremoto pueden provocar la fractura y el derrumbamiento del material acumulado en las partes altas del volcán y producir una gran avalancha de escombros. Este tipo de avalancha por lo general llega a ser muy destructiva, dependiendo de la cantidad de material involucrado, de la altura a la que se origina y de la topografía del terreno.

A continuación se explica brevemente las partes fundamentales que implica un volcán (Figura 5-2).

- Cámara magmática

La cámara magmática es la zona donde se almacena el magma (roca fundida) proveniente del manto, el cual posteriormente es expulsado a la superficie en forma de erupción volcánica. La cámara magmática se comunica con el cráter del volcán a través de un conducto conocido como chimenea.

- Conducto o chimenea

La chimenea es el conducto por donde asciende el magma hasta llegar al cráter. Durante su ascenso el magma puede arrancar rocas de las paredes de la chimenea e incorporarlos, para luego ser expulsados a la superficie. En muchos volcanes el conducto consiste en un complejo sistema de pequeñas fisuras.

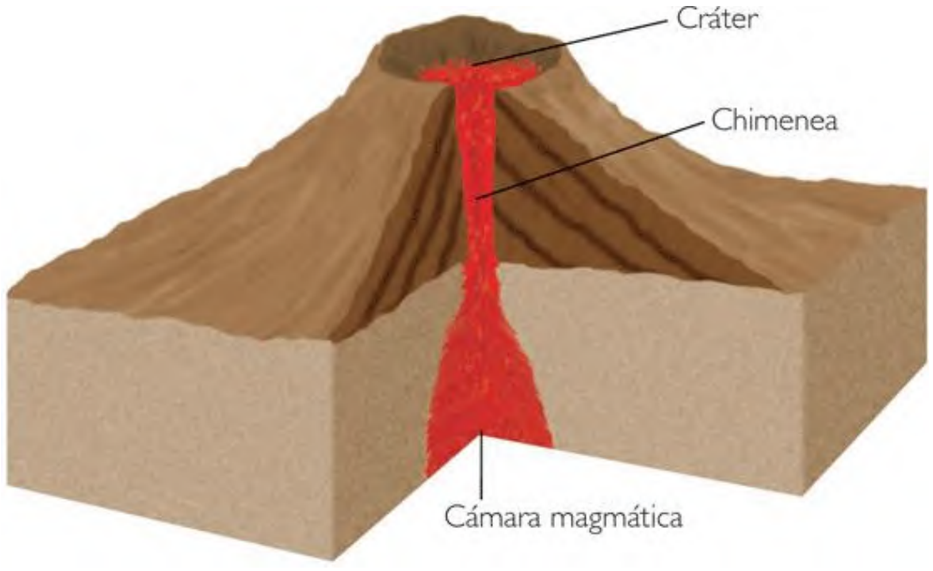
- Cráter

El cráter es la abertura por donde son expulsados los materiales volcánicos durante una erupción. Comúnmente los cráteres se ubican en la cima de los volcanes.

- Cono volcánico

El cono volcánico se forma por la acumulación de material volcánico expulsado durante las erupciones. Este material se emplaza alrededor del cráter del volcán. Dependiendo del tiempo de vida de un volcán y la intensidad de las erupciones, el cono volcánico puede crecer considerablemente.

Figura 5-2. Partes principales de un volcán.



Fuente: http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=922

Columnas eruptivas y lluvias de fragmentos y de ceniza: Las erupciones explosivas lanzan grandes cantidades de gases calientes y fragmentos de magma (mezclas de cristales y fragmentos de vidrio) de todos tamaños al aire. Los gases calientes pueden arrastrar las partículas hasta grandes alturas. Cuando la columna eruptiva de una erupción penetra en la estratosfera, es decir, alcanza alturas mayores a unos 11 a 13 km, se dice que la erupción es Pliniana.

Los tipos de peligros volcánicos para una población comprenden los lahares, caídas de cenizas, lapilli y bombas, flujos piroclásticos, flujos o coladas de lavas, derrumbes, avalanchas y gases tóxicos.

Tipos de Volcanes

Por su morfología, los volcanes se pueden clasificar en:

- Conos de escoria o ceniza.

Los conos de escoria son volcanes pequeños, que en su cima, tienen un cráter en forma de plato, y raramente ascienden más de 300 m de altura sobre su entorno. Están conformadas por acumulaciones de ceniza y escoria. Usualmente se originan a causa de erupciones a través de un solo conducto, a

diferencia de los estratovolcanes o volcanes escudo, los cuales pueden hacer erupción por diferentes aperturas.

Los conos de escoria por lo general expelen flujos de lava, a veces a través del cráter o por una fisura ubicada en su flanco.[Probablemente el cono de escoria más famoso es el Paricutín, que creció en una chacra de maíz en México durante 1943. Las erupciones continuaron durante nueve años, formándose un cono de 424 metros de altura, y produciendo flujos de lava que cubrieron un área aproximada de 25 km^2, desapareciendo del mapa varios pueblos, dejando solo como muestra de la ubicación de uno de ellos la torre de la Iglesia de San Juan.

- Volcanes en escudo.

Son aquellos cuyo diámetro es mucho mayor que su altura. Se forman por la acumulación sucesiva de flujos de lava muy fluidas. Por lo que son de considerable altura y pendiente ligera. Su topografía es suave y su cima forma una depresión poco definida. Como ejemplo de este tipo de volcanes están los volcanes hawaianos y los de las Islas Galápagos. Ocasionalmente se observan volcanes de escudo con un cono de ceniza o escoria en su cúspide, como es el caso de los volcanes de Hawai.

- Volcán poligenético o estratovolcán.

Los estrato volcanes, son edificios volcánicos construidos por la múltiple sobreposición de materiales expulsados por el volcán a lo largo de su evolución. Esto quiere decir que el volcán ha formado su cono poco a poco en cada erupción, poniendo una capa de material sobre otra, creando estratos distintos, estos estratos pueden ser lavas, escorias, cenizas, bombas volcánicas, flujos piroclásticos, etc.

Aunque a veces se les denomina volcanes poligenéticos, los vulcanólogos prefieren utilizar el término estratovolcán para establecer una distinción, debido a que todos los volcanes, sean del tamaño que sean, presentan una estructura (de capas) compuesta, se desarrollan sobre los materiales de sucesivas erupciones. Como ejemplo de estos están los volcanes más altos de nuestro país; El Misti con 5822 msnm

De acuerdo a la descripción de los tipos de volcanes en México se cuenta con volcanes con estructuras poligeneticas o estratovolcanes.

Tipos de erupciones Volcánicas

Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases y cristales. Este material puede ser arrojado con distintos grados de violencia, dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior, bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales. Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. En ese caso se produce una erupción efusiva. Si el magma acumula más presión, sin liberar los gases, entonces las burbujas crecen en su interior y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

La roca fundida emitida por un volcán se llama lava. La lava recién emitida puede tener temperaturas entre 700 y 1200 °C, esto va depender de su composición química. Los fragmentos emitidos por una erupción, se denominan piroclástos; se les denomina ceniza cuando tienen menos de 2 mm de diámetro, lapilli cuando sus dimensiones están entre 2 y 64 mm, finalmente si poseen mas de 64 mm se denominan bloques o bombas.

- Erupción tipo hawaiana

Este tipo de erupción se caracteriza por la emisión de lavas de composición basáltica o andesita básica, las cuales poseen bajo contenido de gases. Estas lavas son poco viscosas, poseen gran movilidad y pueden alcanzar fácilmente decenas de kilómetros de distancia. La actividad explosiva es muy rara, pero pueden formarse montículos de escoria alrededor de los centros de emisión. La lava se derrama por el cráter, pero también puede ser emitida a través de las fisuras ubicadas en los flancos del volcán. Los volcanes Mauna Loa y Kilauea en las islas hawai, son ejemplos típicos de este tipo de volcanes.

- Erupción tipo estromboliana

Este tipo de erupciones corresponden a pequeñas explosiones. En este tipo de erupción la columna eruptiva alcanza alturas que varían entre 1 a 15 km. Se caracterizan por tener explosiones rítmicas, separadas por periodos de menos de un segundo hasta varias horas. Los materiales emitidos poseen composición básica y están conformados por escoria, bombas y pocas cantidades de ceniza. Durante las erupciones se forman conos de escoria y ceniza de poca altura, en promedio entre 100 y 200 metros de alto. Un ejemplo característico es la actividad eruptiva del volcán Stromboli en Italia. En el Perú tenemos conos de escoria en la zona de Huambo, Andahua y Orcopampa.

- Erupción tipo vulcaniana

En este tipo de erupciones la columna eruptiva alcanza entre los 3 a 20 km de altura. Son erupciones explosivas que emiten ceniza, y proyectiles balísticos y eventualmente escoria o pómez. Estas erupciones son más violentas respecto a las erupciones estrombolianas, ya que el magma es de composición intermedia y posee mayor cantidad de gases. Las explosiones se dan en intervalos de minutos a horas en incluye días, algunas explosiones destruyen parte del edificio volcánico. Las erupciones de los volcanes Sabancaya y Ubinas entre los años 1988-1998 y 2006-2009 respectivamente, son ejemplos de este tipo de erupciones.

- Erupción tipo pliniana

Estas erupciones son las más violentas, debido a que e magma es de composición acida y posee alto contenido de gases. Las columnas eruptivas alcanzan alturas mayores a los 30 km y los materiales emitidos pueden afectar extensas áreas, incluso generar cambios en la temperatura del planeta.

Durante estas erupciones se generan voluminosas caídas de lapilli, pómez y ceniza, así como se emplasan flujos piroclasticos de pómez y ceniza (ignimbritas)¡. Como ejemplo podemos citarla explosión del volcán Vesubio en el año 79 D.C. que sepulto la ciudad de Pompeya; así como la erupción del volcán huaynaputina del año 1600, que sepulto 15 poblados mato a más de 1500 personas y afecto gran parte del sur peruano, norte de Chile y el lado occidental de Bolivia.

- Erupción tipo peleana

Estas erupciones son violentas he intermitentes, se caracteriza por presentar colapsos de domos que general flujos de piro clásticos, conformado por fragmentos de lava, cenizas y gases. Estos flujos pueden llegar a tener 500ºC y pueden alcanzar velocidades de hasta 100 a 200 KM/h. Un ejemplo de este tipo de eventos lo representa la erupción del volcán Merapi en Indonesia. En el sur de nuestro país todos los volcanes activos presentaron en el pasado este tipo de erupciones.

Peligros Volcánicos

Los materiales emitidos por un volcán y que generan peligro para las poblaciones en su entorno comprende los siguientes aspectos.

- Flujos de lava
- Flujos de Lodo (Lahares)
- Avalanchas
- Caída de piroclásticos (lluvia de ceniza, lapilli, bloques, bombas)
- Oleadas piroclásticas
- Gases volcánicos
- Peligros por flujo de lava

Los flujos de lava son corrientes de roca fundida emitidas a elevadas temperaturas.Estas lavas pueden ser expulsadas por el cráter o fracturas en los flancos del volcán. La lava puede fluir por el fondo de los valles y alcanzar varios kilómetros de distancia con respecto al volcán. Las lavas emitidas por nuestros volcanes normalmente se enfrían en la zona del cráter, a veces formando domos o recorren escasos kilómetros. Los flujos de lava destruyen todo a su paso. Sin embargo, no representan un grave peligro para las personas debido a su baja velocidad.

- **Peligros por flujos de lodo (lahares)**

Los flujos de lodo, son mezclas de fragmentos de rocas volcánicas, de diversos tamaños movilizados por el agua que fluyen rápidamente por las quebradas y valles que surcan un volcán, a velocidades que varían de 40 a 100 km/h. Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica. El agua puede provenir de fuertes lluvias, fusión de hielo o nieve. Estos flujos eventualmente pueden salir de los cauces. El área afectada depende del volumen de agua y de materiales disponibles, así como de la pendiente y topografía. Normalmente destruyen todo lo que encuentran a su paso y pueden alcanzar grandes distancias (>200 km).

- Peligros por avalanchas

Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte voluminosa de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes, explosiones volcánicas, etc. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia. Bajan a gran velocidad y destruyen todo lo que encuentran a su paso.

- Peligros por lluvias de ceniza y piedra pómez

Se generan cuando los fragmentos de roca son expulsados hacia la atmósfera violentamente, formando una columna eruptiva alta. Las cenizas posteriormente caen sobre la superficie terrestre. Los fragmentos mas grandes y densos caen cerca del volcán y se denominan bombas o bloques (>64 mm), mientras que las partículas de menor tamaño denominadas lapilli (2-64mm) y ceniza (<2 mm) son llevadas por el viento a distancias kilométricas, luego caen y forman una capa de varios mm o cm de espesor. Estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar fuentes de agua, colapsar los techos por el peso acumulado, afectar cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros.

- Peligros por flujos y oleadas piroclásticas

Los flujos piroclásticos son masas calientes (300ºC a 700ºC), conformadas por una mezcla de ceniza, fragmentos de roca y gases. Estos flujos descienden por los flancos del volcán a grandes velocidades, mayores a 100 km/h. Poseen normalmente una parte inferior densa que se encausa y desplaza por el fondo de las quebradas o valles y otra superior, menos densa, denominada oleada piroclástica, compuesta por una nube turbulenta de gases y ceniza, que con facilidad salen del valle. Los flujos piroclásticos voluminosos frecuentemente sobrepasan relieves importantes y afectan una mayor área. Los flujos y oleadas destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso.

- Peligros por gases volcánicos

Durante las erupciones volcánicas se produce una importante liberación de gases, principalmente vapor de agua; pero también dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, monóxido de carbono, ácido fluorhídrico, azufre, nitrógeno, cloro y flúor. Estos gases se diluyen y dispersan rápidamente, sin embargo pueden alcanzar concentraciones altas en las zonas bajas o depresiones muy cercanas al

volcán, donde pueden causar intoxicación y muerte de personas y animales. Los gases también pueden condensarse y adherirse a partículas de ceniza, así como reaccionar con las gotas de agua y provocar lluvias ácidas que generan corrosión, daños en los cultivos, contaminación de aguas y suelos, etc.

Ubicación del Municipio de Autlán en el Contexto Volcánico de México

El volcán de Fuego de Colima, (3860 m. sobre el nivel del mar) es un estratovolcán andesítico que forma parte, junto con el Nevado de Colima (4330 msnm.), de un complejo volcánico situado en el Cinturón Neovolcánico Mexicano y cuyas coordenadas geográficas (19º30'44"N y 103º37'02"W) lo sitúan entre los Estados de Colima (municipios de Comala y Cuauhtémoc) y Jalisco (municipios de Tuxpan, Zapotitlán y Tonila.

A lo largo de los últimos 500 años el Volcán de Fuego de Colima ha tenido una frecuencia de actividad de tipo explosivo con un número que supera las 30 erupciones entre las que destacan las de 1585, 1606, 1622, 1690, 1818, 1869, 1890, 1903 y 1913, por citar sólo algunas. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la actividad de menor grado, todo lo cual nos demuestra que a lo largo de los últimos siglos este volcán ha incrementado su proceso eruptivo, y la actividad que sigue manteniendo actualmente es el motivo por el cual se deben seguir realizando estudios sobre su peligrosidad y riesgo en el momento de una nueva erupción. (Universidad de Colima (http://portal.ucol.mx/cueiv/Volcan-colima.htm).

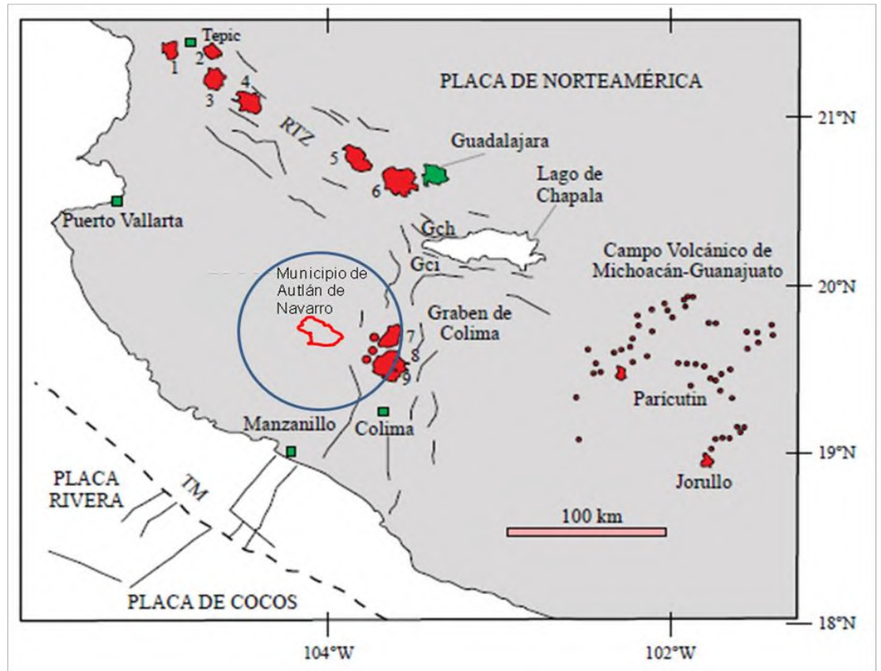
En un radio de 100 Km la estructura volcánica más cercana al Municipio de Autlán de Navarro es el volcán de Colima o Fuego de Colima ubicado a 40 Km de los límites municipales y a 70 Km de la cabecera Municipal (19°30'45"; 103°37') tiene una elevación sobre el nivel del mar de 3,860 m, por lo que representa la octava cima más alta del país (Figura 5-3). Su nombre Colima proviene de la lengua náhuatl que significa "El Dios del fuego que domina". El volcán está ubicado a unos 100 km al sur de la ciudad de Guadalajara y a 30 km al norte de la ciudad de Colima.

El volcán de Colima forma parte de una cadena volcánica con orientación N-S, que está constituida por los volcanes: Cántaro, Nevado de Colima y el volcán de Colima. El volcán de Colima o Fuego de Colima (19°30'45"; 103°37') tiene una elevación sobre el nivel del mar de 3 860 m, por lo que representa la octava cima más alta del país.

Desde un punto de vista tectónico, la porción NW de la FVTM está sujeta a la subducción de la placa de Rivera por debajo de la placa de Norteamérica, y a la presencia de un triple sistema de rift: el rift de Tepic-Zacoalco al noroeste, el rift de Chapala al este y el graben de Colima al sur (Luhr et al., 1985; Garduño y Tibaldi, 1990). Los primeros dos sistemas delimitan al norte y al este el llamado bloque Jalisco, y se consideran antiguas estructuras corticales reactivadas por efecto de las fuerzas aplicadas

Las estructuras volcánicas principales en la región son: 1) San Juan, 2) Sangangüey, 3) Tepetiltic, 4) Ceboruco, 5) Tequila, 6) Caldera de la Primavera. Complejo volcánico de Colima: 7) Cántaro, 8) Nevado de Colima y 9) volcán de Colima. Las abreviaciones son: RTZ- rift Tepic-Zacoalco, GCh- graben de Chapala, GCi graben de Citala, y TM- Trinchera Mesoamericana (línea discontinua). Las líneas delgadas representan fracturas. El circulo representa 100 Km entorno al Municipio de Autlán, en donde se observa que el único volcán a esta distancia se encuentra solamente el volcán de Fuego (volcán de Colima), estructura a la que analizaremos su historia volcánica (Figura 5.1.1.3).

Figura 5-3.Esquema de la porción Occidente de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM).



Fuente: Macías, 2005

Nivel de Análisis 2

Nivel de Afectación e Historia eruptiva del Volcán de Colima

A lo largo de los últimos 500 años el Volcán de Fuego de Colima ha tenido más de 30 eventos eruptivos de tipo explosivo y efusivo entre las que destacan las de 1585, 1606, 1622, 1690, 1818, 1869, 1872, 1890, 1903, 1913, 1975-76, 1998-99, 2001-2003 y 2005. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la actividad de menor grado, todo lo cual nos demuestra que durante de los últimos 5 siglos este volcán ha incrementado su proceso eruptivo, y la actividad que sigue manteniendo actualmente (Figura 5-4.) es el motivo por el cual se deben seguir realizando estudios sobre su peligrosidad y riesgo en el momento de una nueva erupción.

Figura 5-4. Momentos de actividad en el Volcán de Fuego

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Volc%C3%A1n_de_Colima#/media/File:%22Volc%C3%A1n_de_Colima%22.jpg

Las manifestaciones evidentes que ha demostrado el Volcán de Fuego de Colima durante sus períodos de actividad, son las erupciones de material magmático expulsado en diferentes formas, presentando además otras manifestaciones pre-eruptivas que nos dan la posibilidad de prever una gran erupción. Una de las recientes, la de 1913, produjo un cráter de aproximadamente 500 metros de profundidad que con el paso de los años se fue llenando lentamente con lava y sobrepasó el nivel de los labios del cráter, formando un domo que obstruía la chimenea principal del volcán, convirtiéndose en un tapón que impedía la salida del material desde el interior. En 1991, un episodio de crecimiento de domo de lava en bloques, generó un colapso parcial del cuerpo del mismo, produciendo derrumbes de material incandescente y lahares posteriores. La erupción de carácter efusivo (1998) (Figura 5-5) nos demostró que la actividad interna del volcán sigue el comportamiento de siglos anteriores en los cuales el ciclo eruptivo termina con un cambio en el estilo de actividad, culminando en una erupción de tipo Subpliniana a Pliniana con la generación de una columna eruptiva mayor a 10 Km. y produciendo lluvia de ceniza en un radio mayor a 30 Km. generando además, flujos piroclásticos por las pendientes hasta en un radio de 15 Km. tal y como ocurrió en 1818 y 1913.

Figura 5-5. Actividad de tipo efusivo del volcán de colima.

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/Volcan_de_Colima_2016-12-17.jpg

Entre las más recientes explosiones producidas en el volcán de Fuego de Colima tenemos las ocurridas en 1987, la del 21 de julio de 1994, que dejó un cráter en la superficie del domo formado en 1991 y alcanzó un diámetro de 130 metros por 50 metros de profundidad y produjo una ligera lluvia de ceniza hacia el Oeste. El 10 de febrero de 1999 se presentó un nuevo evento explosivo en la cima del volcán, mismo que fue repetido con menor intensidad los días 18 de febrero y 10 de mayo de 1999. El 17 de julio de 1999 tuvo lugar una nueva y violenta explosión que arrojó una gran cantidad de material incandescente por los costados del volcán y levantó una columna de ceniza superior a los 8 Km. Durante los meses de mayo (días 16, 24 y 30) y junio (días 2 y 5) de 2005, ocurrieron 5 de los eventos explosivos más importantes registrados por los sistemas de monitoreo volcánico de la Universidad de Colima (http://portal.ucol.mx/cueiv/Volcan-colima.htm).

El evento explosivo del día 5 de junio de 2005, a las 14:20 horas (tiempo local) produjo flujos piroclásticos prácticamente en todo el edificio volcánico y levantó una columna de ceniza superior a los 4 kilómetros desde la cima, la cual fue llevada por los vientos al sur-sureste del volcán a una velocidad aproximada de 25 Km/hora (Figura 5-6.).

Figura 5-6.Panorámica de la columna eruptiva del Volcán de Fuego

Fuente: http://www.proceso.com.mx/468406/volcan-colima-registra-exhalacion-1-5-kilometros

Tomando en consideración la amplitud del registro sísmico, este evento fue 1.2 veces más grande que el del 30 de mayo de 2005 y 3 veces mayor que el del 17 de julio de 1999, lo que lo convierte en el evento explosivo más grande registrado en los cerca de quince años de monitoreo continuo que tiene el volcán.

Figura 5-7.Momentos eruptivos con explosiones incandescentes del Volcán de Colima

Fuente: http://8columnas.com.mx/desalojan-comunidad-en-colima-por-actividad-del-volcan-de-fuego/

En la actualidad existen, tanto en los estados de Colima y Jalisco, un número de poblaciones vulnerables ante una posible erupción volcánica. El depósito de flujos piroclásticos, lluvia de pómez y cenizas, así como flujos de lodo o lahares, podrían afectar en primera instancia a las poblaciones cercanas al volcán como son: La Yerbabuena, La Becerrera, Barranca del Agua, Rancho El Jabalí, Suchitlán, San Antonio y Rancho la Joya, en el Estado de Colima, además de Juan Barragán, Agostadero, Los Machos, El Borobollón, Durazno, San Marcos, Tonila, Cofradía de Tonila, Causentla, El Fresnal, Atenguillo, Saucillo, El Embudo y El Chayán, en el Estado de Jalisco, y en segundo término a otras poblaciones de ambos estados un poco más alejadas como son Quesería, Ciudad Guzmán, Tuxpan, la ciudad de Colima, Villa de Álvarez, Comala y Cuauhtémoc, por citar algunas. Para el caso del Municipio de Autlán de Navarro, el único peligro volcánico representaría la caída de cenizas.

El monitoreo de la actividad del Volcán de Fuego lo lleva a cabo el personal del Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima apoyado por el Sistema Estatal de Protección Civil.

Los primeros estudios geológicos sobre el volcán de Colima fueron realizados por Waitz (1906, 1915, 1935) quien realizó observaciones generales y describió la formación de flujos piroclásticos durante la erupción de 1913. Desde esa fecha hasta fines de la década de los cincuentas, la actividad del volcán de Colima quedó restringida al interior del cráter. En 1962 el cráter del volcán estaba completamente lleno con lo que inició la emisión evidente de lavas en los flancos del volcán atrayendo la atención de varios investigadores que estudiaron la morfología y características generales del complejo volcánico (Mooser, 1961), sobre flujos piroclásticos tipo Merapi (Thorpe *et al.,* 1977), y la primera evolución geológica del volcán (Demant, 1979). La década de 1980 representa el punto de partida de los estudios modernos del volcán de Colima.

Después de la erupción de 1981, Medina-Martínez (1983), presentó el primer análisis sobre la recurrencia eruptiva del volcán durante los últimos 400 años. Asimismo, se realizaron una serie de estudios químicos y petrológicos de los productos del volcán y aparatos adventicios (Luhr y Carmichael, 1980, 1981, 1982, 1990a) y sobre los colapsos del edificio volcánico (Robin *et al*., 1987) los cuales crearon un gran interés sobre el volcán y continuaron durante los años sucesivos (Luhr y Prestegaard, 1988; Stoopes y Sheridan, 1992; Komorowski *et al.,* 1997; Capra y Macías, 2002; Cortés-Cortés, 2002). La década de los noventa quedó marcada por erupciones pequeñas provocadas por la intrusión de cuerpos de magma, que al abrirse paso hacia la superficie originaron flujos de lava y flujos piroclásticos de bloques y cenizas.

Estas erupciones fueron estudiadas desde diversos ángulos que incluyen estudios sísmicos (Núñez- Cornu et al., 1994; Jiménez *et al*., 1995; Domínguez *et al*., 2001; Zobin et al., 2002), petrológicos (Connor et al., 1993; Luhr, 2002; Macías *et al*., 1993; Mora et al., 2002; Valdez-Moreno *et al.,* 2006), geoquímicos de gases (Taran *et al.,* 2002) y estratigráficos (Martín-del Pozzo et al., 1987; Rodríguez-Elizarrarás *et al*., 1991; Rodríguez-Elizarrarás, 1995; Navarro-Ochoa et al., 2002; Saucedo *et al*., 2002; Saucedo et al., 2004a). Durante los últimos 25 años se han presentado varios mapas geológicos del volcán de Colima (Demant, 1979; Luhr y Carmichael, 1990b; Rodríguez-Elizarrarás, 1991; Cortés *et al.,* 2005). Dado el peligro que representa el volcán para las poblaciones circundantes, también se han presentado mapas de peligros volcánicos (Sheridan y Macías, 1995; Martín-del Pozzo et al., 1995; Navarro *et al*., 2003; Saucedo et al., 2004b).

De acuerdo a las investigaciones de la historia eruptiva del volcán de Colima es considerado el más peligroso de México, el cual tiene alrededor de dos mil años, ya que es a partir de la llegada de los españoles, cuando empezaron a reportar su actividad volcánica

Al abundar a este respecto, existe un registro desde 1576 a la fecha, en este registro se tienen cincuenta erupciones de las cuales se han dado la tarea de ver qué mecanismos son más frecuentes en el volcán de Colima, la historia eruptiva del volcán cuenta de tres aspectos importantes, uno de ellos, es que el volcán es sumamente peligroso para la población.

A partir de 1998, el volcán de Colima ha presentado un aumento importante en su actividad, a últimas fechas ha aumentado de forma importante. Lo riesgoso del volcán de Colima, es que en sus últimos 400 años ha presentado tres erupciones violentas, algunos investigadores señalan que estas erupciones se repiten cada cien años, estamos en el umbral de los cien años, este aumento de la actividad podría estar señalando que en el corto tiempo podría venir una erupción de gran magnitud.

Estas erupciones consisten en la generación de columnas eruptivas mayores a los veinte kilómetros de altura. En 1913, esta dispersión conforme a los vientos afectó desde Colima hasta Coahuila, cayó ceniza en ciudades importantes como Guadalajara, Aguascalientes y en San Luis Potosí".

Mencionó también: "En 1918 hubo un cambio de vientos que, inclusive, llegó hasta la ciudad de México la lluvia de ceniza. Los efectos locales más peligrosos que puede presentar son los flujos piroplásticos, es decir, magma fragmentado fluyendo a grandes velocidades por las praderas del volcán entre los 100 y 350 kilómetros por hora, a temperaturas del orden de los 500 grados centígrados, esto es lo que pone en riesgo a la población circundante del volcán".

En 1913 estos flujos piroplásticos llegaron a 15 kilómetros del volcán, dentro de este radio actualmente hay poblaciones de 3 a 7 mil personas, en caso de darse una erupción de este tipo podría afectar a alrededor de 15 mil personas, sumando la afectación que podría causar la caída de ceniza en todos estos estados; este es el panorama que se podría presentar, lo han presentado antes y de acuerdo al análisis de su historia se pueda repetir, este sería el escenario más dramático que podría causar el volcán de Colima".

En resumen de lo expuesto se tiene que lo largo de 500 años, el volcán ha tenido más de 40 explosiones desde 1576, de entre las cuales destacan las de 1585, 1606, 1622, 1690, 1818, 1890, 1903, 1913 (el 13 de enero de ese año se cerró el cuarto ciclo de actividad) y 1999. El 6 de junio del 2005, a las 11.00 (hora local), se produjo una columna eruptiva que alcanzó 4 km sobre el volcán, arrojó cenizas de roca y piroclástos, y desde principios de enero del 2013 se ha clasificado en actividad creciente (se produjo una explosión estruendosa el día 29). Su ciclo eruptivo es de aproximadamente 100 años; en 2015 comenzó a presentar un aumento en su actividad que está en constante vigilancia.

Figura 5-8. Panorámica del Volcán de Fuego de Colima.

Fuente: Breton, 2012.

La erupción de 1913 es el evento más importante que sufrió el volcán en el siglo XX y quizá una de las más violentas registradas en su historia eruptiva. La actividad ocurrida en enero de 1913 puso de manifiesto el peligro potencial del volcán más activo de México por el número de erupciones registradas en los últimos cinco siglos.

Las características y la historia eruptiva del volcán de fuego se presentan en la Tabla 5-9

Figura 5-9.Historia eruptiva del Volcán de Colima.

Volcán de fuego de Colima-Jalisco	
Tipo	**Localización**
Estrato volcán andesítico **Altura: 3,820 msnm**	**19.51° N, 103.62° O (JAL-COL.)**
Historia Eruptiva	
Fecha (D/M/A)	**Tipo de Erupción y efectos**
1560	Erupción menor poco documentada.
1576	Abundante caída de ceniza, estragos, posibles pérdidas humanas.
10/01/1585	Abundante caída de ceniza a distancias de hasta 100 km. Se reporta gran pérdida de ganado
14/01/1590	Erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza.
25/11/ y 13/121606	Erupciones grandes, con abundante caída de ceniza hasta Michoacán.
15/04/1611	Actividad explosiva con abundante lluvia de ceniza.
08/06/1622	Gran erupción con intensas lluvias de cenizas a distancias de 200 km.
1690 y 1771	Erupciones explosivas con importantes lluvias de ceniza.
1795	Erupción con emisiones de lava.
25/03/1806	Flujos de bloques y ceniza.
15/02/1818	Gran erupción con extensas lluvias de ceniza, que llegan hasta Guadalajara, Zacatecas, Guanajuato, San Luis Potosí y la Ciudad de México.
12/06/1869	Varias erupciones forman un nuevo cono adventicio en el flanco NE del volcán (Volcancito).
26/02/1872	Erupción explosiva del Volcancito, con abundante lluvia de ceniza.
06/01/1886, 26/10/1889	Erupciones explosivas con lluvias de ceniza y flujos de lava.
16/02/1890.	Erupción explosiva importante, con lluvia de ceniza sobre distancias mayores de 100 km
1891-1893	Repetidas erupciones con frecuentes emisiones moderadas de ceniza. Se instala un observatorio vulcanológico
15/02 al 31/03/1903	Erupción explosiva con lluvias de ceniza al N y NE del volcán y flujos piroclásticos.
18/12/1908, 04/02/1909	Erupciones explosivas, lluvias de ceniza. Fragmentos incandescentes lanzados, causan incendios en las faldas de los volcanes.
20/01/1913	Gran erupción explosiva con abundante lluvia de ceniza y flujos piroclásticos. Algunas víctimas.
1960	Se inicia un nuevo episodio de crecimiento de domo.

Volcán de fuego de Colima-Jalisco

Tipo	Localización
Estrato volcán andesítico **Altura: 3,820 msnm**	**19.51° N, 103.62° O (JAL-COL.)**

Historia Eruptiva

Fecha (D/M/A)	Tipo de Erupción y efectos
14/02/1991	La recientemente instalada Red Sísmica de Colima detecta una considerable actividad sísmica en el volcán de Colima. Se alerta a los sistemas de protección civil de Colima, Jalisco y Nacional.
01/03/ al 17/04/1991	Se inicia la extrusión de un domo de lava, que genera numerosas avalanchas de rocas incandescentes y algunos flujos de bloques y ceniza sobre los flancos Sur y Suroeste del volcán. Se toman medidas preventivas que incluyen simulacros de evacuación.
21/07/1994	La red de monitoreo volcánico RESCO detecta un incremento en la actividad sísmica desde el 15 de julio de 1995, que culmina con una explosión el 21 de julio del mismo año alrededor de la media noche que destruye parte del domo y forma un cráter de 135 m de diámetro.
1998	Desde marzo se detecta actividad sísmica creciente. El 17 de noviembre se evacuan las poblaciones más cercanas al volcán. El 20 de noviembre se observa un nuevo domo de lava creciendo en la cumbre. Posteriormente, ocurren derrames de bloques de lava, flujos piroclásticos menores y explosiones.
1999-	Se registran explosiones aisladas. Una mayor ocurre el 10 de febrero, que lanza fragmentos incandescentes y produce incendios en la vegetación de las faldas del volcán y algunos flujos de bloques y ceniza. Se efectúa una segunda evacuación de las poblaciones más cercanas. Otra explosión similar se registra el 10 de mayo de 1999, motivando una tercera evacuación. La actividad de flujos de lava y derrumbes de fragmentos continúa a lo largo de 2000 y 2001. Posteriormente se reduce y en 2003 continúa en un nivel relativamente bajo, aunque aún se detectan explosiones y flujos piroclásticos esporádicos, como el ocurrido el 17 de julio de 2003.
2004	Flujo de lava sobre el costado norte del volcán. El alcance de este flujo fue de dos kilómetros desde la cima.
2005	Ocurrieron 5 de los eventos explosivos más importantes El evento explosivo del día 5 de junio de 2005, a las 14:20 horas (tiempo local) produjo flujos piroclásticos prácticamente en todo el edificio volcánico y levantó una columna de ceniza superior a los 4 kilómetros desde la cima, la cual fue llevada por los vientos al sur-sureste del volcán a una velocidad aproximada de 25 km/h. Durante 2005 el volcán de Colima presentó una actividad explosiva que no superó el VEI 3. Se caracterizó por el desarrollo de domos y su destrucción casi inmediata, a través de explosiones que formaron columnas eruptivas que alcanzaron alturas entre los 4500 y 9000 msnm, así como el desarrollo de flujos piroclásticos que alcanzaron hasta 3.5 km de distancia del cráter. Tras los eventos explosivos, se generaron emisiones de ceniza que se distribuyeron en general hacia los cuatro puntos cardinales, y alcanzaron distancias de hasta 100 km.
2007	A partir de enero de 2007 comenzó a crecer en la cima del volcán un domo de lava de gran tamaño que alcanzó más de 100 m de altura y un volumen estimado en tres millones de m3 de material expulsado.

Volcán de fuego de Colima-Jalisco

Tipo	Localización
Estrato volcán andesítico **Altura: 3,820 msnm**	**19.51° N, 103.62° O (JAL-COL.)**

Historia Eruptiva	
Fecha (D/M/A)	**Tipo de Erupción y efectos**
2011	Explosión que estuvo precedida por 52 derrumbes en un lapso de 18 horas. Esta explosión originó flujos piroclásticos hacia el norte, oeste y suroeste, volando la parte oeste del domo de lava que se encontraba en la cima.
2012	El 21 de noviembre de 2012 se registró una gran explosión que generó una columna de ceniza volcánica que se elevó más de 3 km de altura. Asimismo, produjo una avalancha de flujo piroclástico que no causó daños a la población aledaña.
2013	El 7 de enero del 2013 se produjo una explosión que generó una columna de ceniza volcánica que se elevó a más de 3 km de altura.
2014	Explosión en el domo del volcán que levantó una columna eruptiva que tuvo una altura cercana a los **5 km**. El volumen estimado de este domo y todos los flujos de lava existentes hasta el momento, dan un volumen de lava emitida estimado en cuatro millones de m^3**.**
2015	Explosión que alcanzó **3 km**, y la ceniza arrojada se expandió a Mazamitla, Zapotiltic, Ciudad Guzmán, Tonila, Tamazula de Gordiano y Valle de Juárez, todas ellas localizadas en el estado de Jalisco. El 16 de enero del 2015 se produjo una columna eruptiva, que arrojó cenizas de roca y flujos piroclásticos. El 21 de enero del 2015 (fecha en que se conmemora el aniversario de un terremoto en el propio territorio colimense) se produjo una columna eruptiva que se alzó **4 km.** El viernes 10 de julio del 2015 se presentó una erupción mayor, que obligó a evacuar poblaciones en las zonas contiguas al volcán.

Fuente: Aumentado y complementado, a partir de datos de Cenapred, 2008.

Del análisis de la historia eruptiva del volcán de Colima, llegamos a la conclusión que el peligro que representa para el Municipio de Autlán es el depósito de cenizas que depende de la magnitud de Erupción evaluada a partir del índice de velocidad de explosividad (IVE) (Tabla 5-7) que para este volcán puede llegar a ser mayor a 3, ya que la distancia del volcán a la cabecera municipal es de aproximadamente 70 Km, y erupciones de este volcán han alcanzado columnas de 3-6 Km y distancia de depósito de cenizas hasta de un radio de 100 km.

Tabla 5-7. Índice de explosividad volcánica

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción	No explosiva	Pequeña	Moderada	Moderada a Grande	Grande	Muy grande	----------	----------	---------
Volumen emitido (m3)	Menos de 10,000	10,000 a 1,000,000	1 a 10 millones	10 a 100 millones	100 a 1,100 millones	1 a 10 km3	10 a 100 km3	100 a 1,000 km3	Más de 1000 km3
Altura de la columna	0.1	0.1 a 1.0	1 a 5	3 a 15	10 a 25	Más de 25	----------	----------	----------
Duración en horas	-1	-1	1 a 6	1 a 6	1 a 12	6 a 12	Más de 12	----------	----------
Inyección a la tropósfera	Mínima	Leve	Moderada	Sustancial	Grande	----------	----------	----------	----------
Inyección a la estratósfera	Nula	Nula	Nula	Posible	Definida	Significativa	Grande	----------	----------

Fuente: Términos de Referencia para elaborar Atlas de Riesgos 2016

Los posibles impactos a la salud de la población, no se tiene mucha información del impacto que pueda tener la lluvia de ceniza sobre la salud, sin embargo se puede decir que por lo menos las vías respiratorias serían las más afectadas, así como la contaminación de acuíferos, pastizales y principalmente a la agricultura.

Actividad reciente del volcán de Colima

En la actualidad existen, tanto en los estados de Colima y Jalisco, un número de poblaciones vulnerables ante una posible erupción del volcán de Colima (Figura 5.1.1.9). El depósito de flujos piroclásticos, lluvia de pómez y cenizas y de flujos de lodo o lahares, podrían afectar en primera instancia a las poblaciones de La Yerbabuena, La Becerrera, Barranca del Agua, Rancho El Jabalí, Suchitlán, San Antonio y Rancho la Joya, en el Estado de Colima, además de Juan Barragán, Agostadero, Los Machos, El Borobollón, Durazno, San Marcos, Tonila, Cofradía de Tonila, Causentla, El Fresnal, Atenguillo, Saucillo, El Embudo y El Chayán, en el Estado de Jalisco, y en segundo término a otras poblaciones de ambos estados un poco más alejadas como son Quesería, Ciudad Guzmán, Tuxpan, la ciudad de Colima, Villa de Alvarez, Comala y Cuauhtémoc, por citar algunas

El seguimiento de la actividad sísmica es la técnica de vigilancia de volcanes más antigua que se utiliza. Su origen se remonta al siglo XIX cuando se desarrollaron los primeros instrumentos para el estudio de los sismos del volcán italiano Vesubio. Hoy día, la instrumentación de cualquier volcán empieza siempre por la instalación de un sismómetro, y paulatinamente se incorporan nuevos equipos en función de las posibilidades económicas y científicas de los países y los Centros de investigación.

Figura 5-10. Panorámica del Volcán de Colima

Fuente:https://www.google.com.mx/?gfe_rd=cr&ei=a3sqWZX3Ou7X8geEgJyIDg#q=factores+desencadenantes+de+derrumbes&spf=1495956339956

Los sismos producidos por los volcanes no tienen relación con los que son generados por fallas tectónicas, y la metodología de observación para la sismicidad volcánica es muy diferente. Las fuentes que generan sismos en los volcanes son mucho más complejas y sus mecanismos todavía no han logrado ser comprendidos completamente.

Entre las fuentes que originan sismos volcánicos están: movimientos de magmas, degasificación, rompimiento de rocas por presión del magma o de los gases, explosiones de gases en el cráter, oscilaciones de columnas de gases, procesos de hundimiento en las calderas volcánicas, etc.

El estudio de una región volcánica desde el punto de vista sísmico es importante porque nos permite conocer diferentes aspectos del sistema volcánico. Entre otros la dinámica y los mecanismos de transporte de fluidos, los efectos o consecuencias derivados de esa dinámica y el posible estado de esfuerzos local y regional (Mecanismos de fuente sísmica).
Universidad de Colima (http://portal.ucol.mx/cueiv/Volcan-colima.htm).

Ante las exhalaciones que se produjeron en el volcán Colima el 17 de Julio del 2015 y posterior caída de ceniza en Autlán de Navarro así como en otros municipios de la región, el consejo municipal de Protección Civil acordó con la Jurisdicción Sanitaria VII y la dirección de Agua Potable de Autlán para el estudio y cuidado en fuentes de abastecimiento a cielo abierto como lo son los manantiales.

El director de Protección Civil y Bomberos de Autlán, agregó que si bien la caída de ceniza en el municipio no provocó aparentemente daño alguno en los suministros de agua, es importante y como medida de precaución revisar el grado de purificación de manantiales como Los Azules y El Profundo, éste último que abastece a la zona norte de Autlán.

“Efectivamente, de la reunión del consejo se turnó a la dirección de agua potable para revisión, análisis y las condiciones tanto del manantial El Profundo como de Los Azules (este último) que tiene abastecimiento para El Grullo, El Chante y El Limón, en ello se va a trabajar recomendándoles los análisis y las medidas preventivas”.

Además de la ceniza volcánica, otros contaminantes de consideración son la ceniza que se desprende de la quema de caña durante la época de la zafra, esto por su alto contenido de dióxido de carbono, así como ramas y hojas secas que lleguen a los manantiales, por ello, el departamento de Obras Públicas también debe intervenir en estas medidas de precaución por medio protecciones provisionales y monitoreo constante. El 13 de Julio del 2015 se reportó actividad del volcán y a causa de la actividad del volcán Colima, en el municipio de Autlán de Navarro se reportó la caída de ceniza, un fenómeno poco habitual debido a la distancia que hay con respecto al coloso de fuego.

El director de la Coordinación Municipal de Protección Civil y Bomberos de Autlán, comentó que si bien la ceniza que ha llegado hasta territorio Autlense no ha sido en cantidades considerables, sí es importante tomar las medidas de precaución necesarias en caso de que la actividad del volcán se intensifique, pues una exposición prolongada puede provocar entre otras cosas, malestares respiratorios e irritación en los ojos.

“Son peligrosas estas partículas (de cenizas) por más pequeñas o por menor cantidad que sea, por lo que hay que tener en cuentalas medidas preventivas, estar al tanto con esta caída pues en el caso particular del volcán, va a depender de la velocidad del viento, de la dirección del viento, de las condiciones atmosféricas, las emisiones que está haciendo durante varios días y que ya inició una erupción efusiva y eruptiva del volcán Colima”

El volcán Colima es considerado como el más activo de México. Desde inicios de este año, las exhalaciones de ceniza volcánica se volvieron cada vez más periódicas, misma razón por la que la Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Jalisco ha mantenido un constante monitoreo. Hasta el momento, cinco municipios de Colima se mantienen en estado de emergencia y poco más de 700 personas que viven en los alrededores del cráter han sido evacuadas.

El 07 de Marzo del 2017, se reportan nueva explos0n en el volcán de Colima. La explosión produjo una columna de menos de dos kilómetros de altura ▫ Reportan explosión y exhalación del Volcán El Colima ▫ Actividad del Volcán de Colima no amenaza a comunidades ▫ Cae ceniza del Volcán de Colima en Zapotiltic.

Figura. 5.1.1.10. Explosión del Volcán de Colima con depósito de cenizas en su entorno.

Fuente: TWITTER / @LUISFELIPE_P

Figura 5.1.1.11. El 03 de febrero del 2017 se reportan explosión y exhalación del Volcán Colima

Fuente: Reporte ESPECIAL / Protección Civil Jalisco

En esta fecha protección Civil informa que la nube de humo alcanzó cuatro mil metros de altura. La actividad del Volcán de Colima no amenazo a comunidades, pero si hubo caída de cenizas del volcán en Zapotitic. Y se reporta explosión.

El 27 de enero del 2017, el volcán inicia actividad que no representa amenaza a las comunidades en su entorno. En lo que va de este año, el coloso ha lanzado lava en 10 ocasiones.

Figura 5.1.1.12. Explosión y emisión de lava del Volcán Coima.

Fuente: EFE / U. Ruiz, 2017

Figura 5.1.1.13. El 25 de enero del 2017, la actividad del volcán arrojo cenizas sobre el poblado de Zapotiltic

Fuente: TWITTER / @PCJalisco.

Ante la eminente emisión de fumarolas del Volcán de Colima que puede emitir fumarolaas mayores a tres mil metros con contenido de ceniza, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Reportar explosión del Volcán El Colima
- Volcán El Colima tiene parámetros normales sin riesgo para población
- Emiten sugerencias por actividad del Volcán El Colima
- Autoridades, atentas por actividad del Volcán El Colima

Figura 5.1.1.14. El 25 de enero del 2017 se reporta una nueva explosión del volcán de Colima,

Fuente: TWITTER / @PCJalisco 2017.

5.1.1.8. Espesor y depósito de Cenizas

Los efectos de las caídas de ceniza varían dependiendo del volumen del material expulsado, la duración o intensidad de la erupción y la duración de los vientos dominantes al suceder ésta. La dirección de los vientos dominantes en el Volcán de Colima son de SW-NE durante la mayor parte del año, a excepción de los primeros meses en que varían de NW y E; si sumamos estas características de los antecedentes históricos de las erupciones de 1818 y 1913, en que se reportaron caída de ceniza en poblados entorno al volcán y a un radio de 100 Km (Flores, 1987) y la erupción de 1991 en que la ceniza fue distribuida por los vientos hacia el norte, sur y noreste, tal situación nos permiten establecer los escenarios de peligro para este tipo de producto en el Municipio de Autlán y complementar la información proporcionada por Pacheco, 2014.

5.1.1.9. Memoria de Cálculo

Para el cálculo de espesores de cenizas depositadas en el sitio de estudio se uso el programa ASH3D elaborado por la USGS

(United States Geological Survey), que se explica a continuación.

5.1.1.9.1. Uso de Programa ASH3D

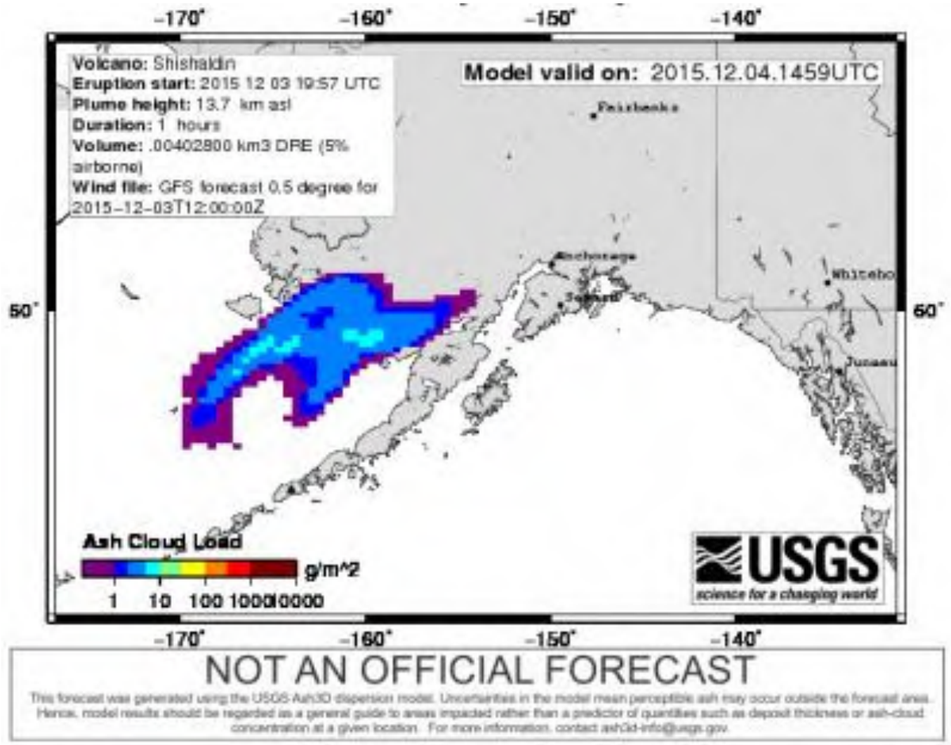
La USGS proporciona pronósticos de nubes de cenizas volcánicas e información sobre depósito de cenizas, calcula los espesores depositados y tiempos de llegada.

La ceniza volcánica es un peligro de gran alcance que puede afectar infraestructuras, a una población como puede ser: daños en la generación y transmisión de energía, contaminación de pozos de agua, el transporte terrestre y aéreo, la agricultura y la salud humana. El USGS Volcano Hazards Program ofrece varios recursos destinados para pronosticar, remediar y reportar depósitos cenizas volcánicas (Figura 5.1.1.15).

Figura 5.1.1.15.- Programa de riesgo volcánico de la USGS

Fuente: Volcanic Ashfall Impacts Working Group

Figura 5.1.1.16. Ejemplo de corrida del programa para el cálculo de depósito de Cenizas



Fuente: USGS Ash3D

El Grupo de Trabajo para el cálculo Cenizas Volcánicas es una asociación entre varias organizaciones internacionales, incluyendo el USGS, que ofrece *información práctica y acciones a tomar antes, durante y después de los eventos de* cenizas *volcánicas* .

5.1.1.9.2. Ash3D proporciona pronósticos de caída y depósitos de cenizas.

El USGS proporciona pronósticos de dispersión esperada de cenizas (nubes de cenizas) y deposición (caída de cenizas) de erupciones volcánicas usando un modelo numérico de transporte atmosférico llamado Ash3D que fue desarrollado por científicos USGS específicamente para tratar con plumas volcánicas. El modelo se puede ejecutar para erupciones reales o hipotéticas, y se puede acceder a través de la *aplicación web Ash3D* .

Los observatorios del volcán de USGS funcionan con Ash3D para cualquier volcán de los EEUU en el nivel de alerta elevado (exceptuando los volcanes efusivos de Hawai) asumiendo una erupción hipotética razonable. En caso de producirse una erupción, el observatorio responsable del volcán actualiza el pronóstico con observaciones reales (tiempo de inicio de la erupción y duración, altura de la pluma) a medida que estén disponibles. Los resultados de los modelos se publican en los sitios web del Observatorio, así como se proporcionan al Servicio Meteorológico Nacional para su uso en sus Avisos de Caída de cenizas.

5.1.1.9.3. Elaboración del mapa de peligros por depósito de Cenizas en el Municipio de Autlán de Navarro.

De acuerdo a la información recopilada y al análisis de las erupciones del volcán más próximos al Municipio, se ha llegado a la conclusión, que por la distancia, direcciones de viento y evidencias encontradas en campo, el único peligro que representa por este fenómeno es la caída y depósito de cenizas.

De esta forma todo el municipio de Autlán, podría ser afectado por lluvia de ceniza en grandes erupciones. Sin embargo el peligro resulta muy bajo a pesar de la cercanía del volcán toda vez que los mapas de peligros determinan las áreas de afectación por caída de ceniza ligera o poco probable para el Municipio y en él encontramos que el eje de dispersión W-E con velocidades que varían de los 33 Km/H en el mes de Marzo, a 14 y a 16 Km/H en los meses febrero y septiembre y menores a los 10 Km/H en los restantes meses, a excepción del mes de mayo en que toma una dirección SSE y una velocidad de 10 Km/H.

La dirección de los vientos predominantes en el Volcán de Colima son de SW-NE durante la mayor parte del año, a excepción de los primeros meses en que varían de NW y E; y las características de las dos grandes erupciones (1818 y 1913), en que se reportaron caída de ceniza en poblados entorno al volcán y a un radio de 100 Km y la erupción de 1991 en que la ceniza fue distribuida por los vientos hacia el norte, sur y noreste, tal situación nos permiten establecer los escenarios de peligro para este tipo de producto para Municipio de Autlán.

Para el caso del Volcán de Colima se pueden observar depósitos de cenizas en el Municipio, de acuerdo al modelo, pero influyen las direcciones de los vientos en el momento de la erupción, depósito con espesores muy pequeños. El volcán de colima se encuentra aproximadamente a 70 Km en línea recta de la cabecera municipal, la nube de erupción de este volcán corre de NE-SW razón para pensar que puede ser afectado en escala de Baja a Medio por caída de cenizas en una probable erupción con IVE mayor a 3.

5.1.1.9.4. Cálculo de espesores por depósito de cenizas

La ceniza volcánica se compone de finas partículas de roca volcánica fragmentada (de menos de 2 mm de diámetro). Esta ceniza suele estar caliente en las inmediaciones del volcán, pero se enfría cuando cae a mayor distancia. Se forma durante las explosiones volcánicas a partir de avalanchas de rocas calientes que bajan por las laderas de los volcanes, o a partir de salpicaduras de lava líquida incandescente. Las cenizas varían en *apariencia, dependiendo del tipo de volcán y de la forma de erupción. Así, su color puede ir desde un tono gris claro hasta el negro, y pueden variar en tamaño: desde ser como arenilla hasta ser tan finas como los polvos de talco (Tomás et., al. 2011).

Las cenizas volcánicas son fragmentos de lava que ha sido molida y convertida en polvo o arena por erupciones explosivas. Durante una explosión, los fragmentos más gruesos caen rápidamente en las cercanías del volcán, sólo la ceniza más fina es arrastrada por el viento a grandes distancias que van de cientos hasta miles de kilómetros, y puede afectar áreas muy extensas y a un gran número de personas.

La caída de cenizas puede provocar alguno de los siguientes efectos: el agravamiento de enfermedades pulmonares, trastornos gastrointestinales por la ingestión de agua y alimentos contaminados con flúor y posiblemente con metales pesados (arsénico, mercurio, etcétera); daños oculares como conjuntivitis y abrasiones en la córnea (Cenapred, 2008).

Las cenizas obstruyen las corrientes de agua, presas, alcantarillas, plantas de aguas residuales y todo tipo de maquinaria. Las cenizas se amontonan en carreteras, vías férreas y senderos ya demás puede ser resbalosa.

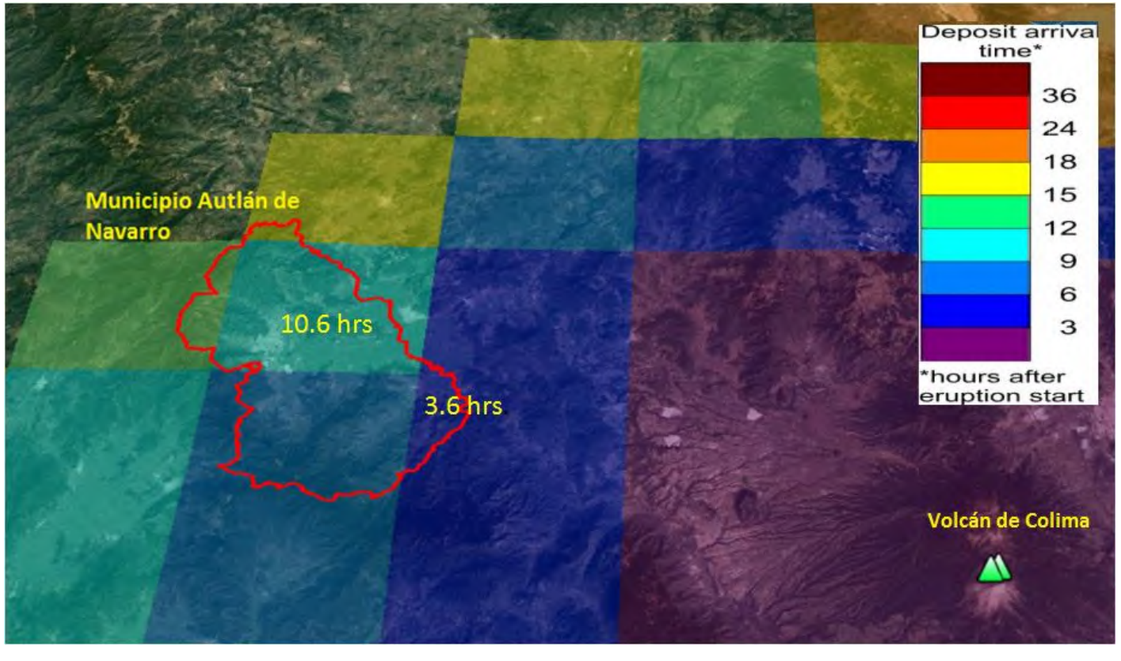
Capas de cenizas de 2 a 3 cm. de espesor pueden causar el colapso de techos con pendientes menores a 20°, así como en estructuras de mala calidad. Las cenizas secas tienen un peso de 400-700 kg/m3, la lluvia puede incrementarlo de un 50 a un 100%. Una capa de cenizas de 10 cm de espesor representará una carga extra de 40-70 kg/m2 si está seca, y de 100-125 kg/m2 si está húmeda (Cenapred, 2008).

Una densa caída de cenizas altera el suministro de energía. La repentina demanda multitudinaria de luz puede hacer que el servicio eléctrico se agote o falle. Los equipos electrónicos pueden sufrir importantes daños, cortocircuitos e interferencias de radio y televisión.

Los efectos sobre la agricultura dependen del tipo de cultivo, de su grado de desarrollo y evidentemente del espesor de la capa de cenizas caída. Sin embargo, en climas cálidos la vegetación se recupera en muy poco tiempo. Pueden ocasionar accidentes de automóviles (debido a que las carreteras se tornan resbaladizas y disminuye la visibilidad). Finalmente, las cenizas lanzadas en una erupción afectan el tráfico aéreo, ya que al atravesar las nubes de vapor y cenizas, los motores de los aviones pueden apagarse (Cenapred, 2008).

De las mediciones de la acumulación de cenizas producidas por erupciones recientes de tipo pliniano, se han obtenido en promedio los siguientes espesores: hasta una decena de metros en la zona cercana al cráter (menos de 12 km), de 20 a 50 cm a distancias de entre 12 y 35 km y de 5 a10 cm hasta distancias de 85 km. Para la determinación del impacto de las cenizas en una región determinada, se requiere información adicional de patrones de viento locales (Martínez et. al., 2004).

El viento y el tipo de erupción son los dos factores principales que controlan la dispersión de la ceniza del Volcán de Colima cuando entra en erupción. El tipo de erupción determinará el volumen, tamaño y espesor del depósito de cenizas, así como la variedad de altitudes a la cual la ceniza es propulsada. En la figura 5.1.1.17, se observa el tiempo que tarda en llegar la ceniza dispersada posterior a la erupción del volcán.



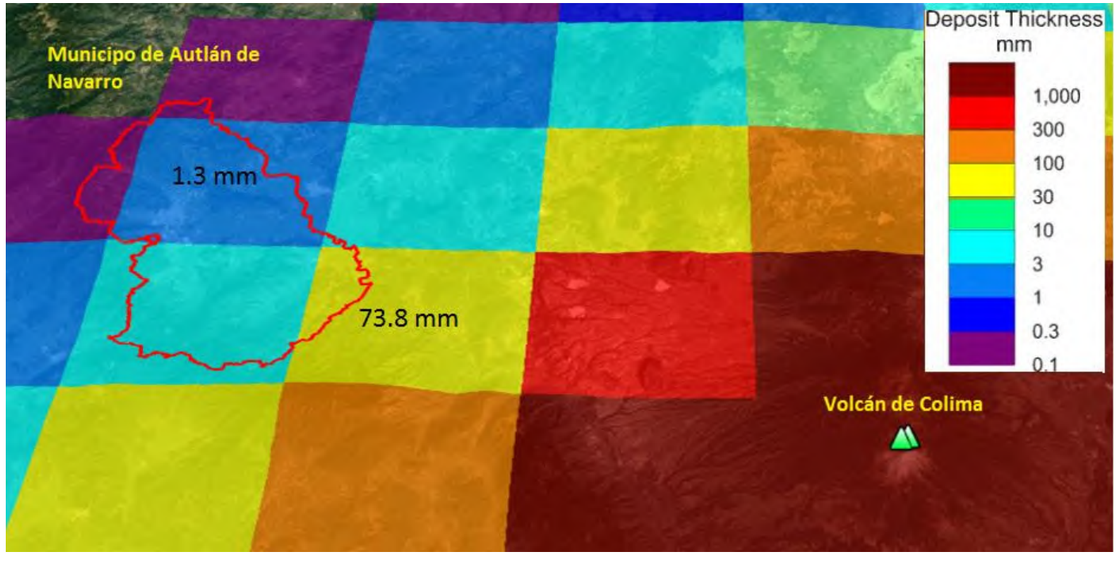
Fuente: Elaboración propia, usando el programa Ash3D de la USGS.

De la figura 5.1.1.17. se puede observar que el tiempo mínimo en llegar la cenizas del volcán de colima al los límites del Municipio es de 3.6 hrs. A la cabecera municipal tardaría en llegar la ceniza de 10.6 hrs., es importante mencionar que la ceniza volcánica queda suspendida y avanzar en función de la dirección y velocidad del viento.

La cantidad de ceniza depositada se muestra en la figura 5.1.1.18.

Figura 5.1.1.17. Tiempo de arribo de la ceniza dispersada por el volcán de colima al Municipio de Autlán de Navarro

Figura 5.1.1.18 Espesor máximo depositado en el Municipio de Autlán por erupción máxima del Volcán de Colima.

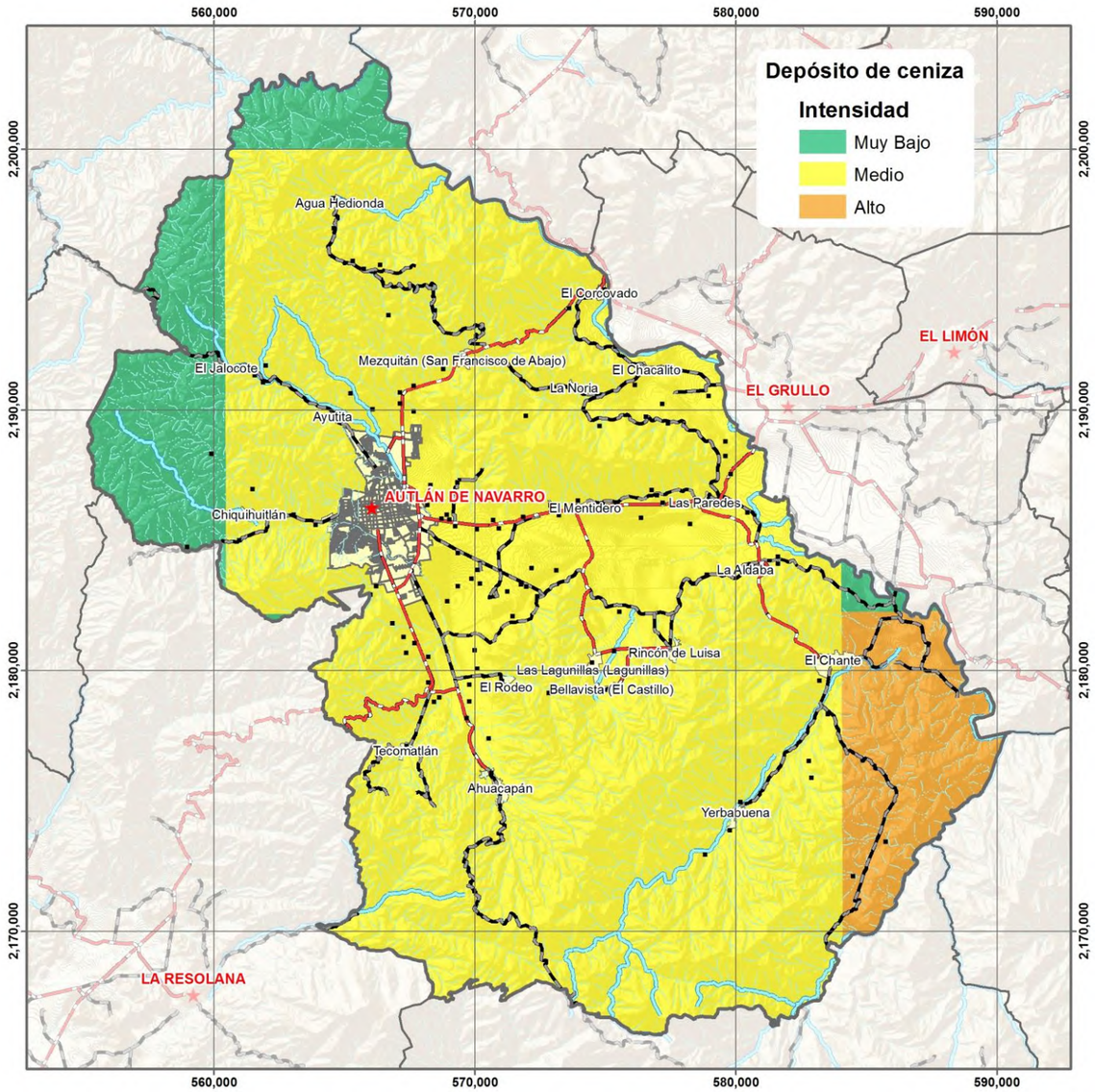


Fuente: Elaboración propia. Usando el programa ash3D de USGS.

De acuerdo a la figura 5.1.1.18, se observa que el valor máximo de depósito de cenizas es de 73.8 mm que representa mas de 7 cm hacia la parte SE del Municipio entorno a la localidad del Chante. En la cabecera del Municipio se tendrán depósitos de 1.3 mm. Lo que representaría daños a la agricultura, pastizales, pozos de agua descubiertos, daños a la salud, por lo que se recomienda usar mascaras (tapar boca y nariz) y usar lentes.

En la figura 5.1.1.19 se muestra el mapa de peligro por vulcanismo (depósito de cenizas volcánicas).

Figura 5.1.1.19. Mapa de peligro por depósito de cenizas para el Municipio de Autlán de Navarro



Fuente: HAB- Consultoría Ambienta

5.1.1.10. Análisis de Resultados en el peligro por Vulcanismo (Depósito de Cenizas)

Los resultados para el fenómeno de vulcanismo en depósito de cenizas para el Municipio de Autlán representa intensidad media en relación a la caída de cenizas dado que el modelo represento depósitos hasta de 7 cm en el sureste del Municipio, que puede representar peligro Alto si hay construcciones de lámina o cartón, habrá contaminación de ríos y pasturas que son utilizados para la alimentación del ganado. Aunque el depósito en la Cabecera Municipal es más bajo de 1.3 mm, con intensidad Media si afectaría a las alcantarillas y pozos de agua, si no se toman medidas para cubrir estos.

En el caso de caída de cenizas en el Municipio, las obras propuestas para el peligro por vulcanismo se basan en el saneamiento periódico de los cauces de los ríos que cruzan el municipio. Esto simplemente es una acción preventiva previa a la temporada de lluvias, pues los lahares pueden dispararse principalmente en esta época. A diferencia de otros volcanes, el volcán de Fuego de Colima no tiene un glaciar que pueda ser fundido por una erupción y cause un Lahar que arrase el valle. Sin embargo, durante la temporada de lluvias son varios eventos de este tipo que descienden por las barrancas y su dimensión estará potenciada debido a la cantidad de lluvia presente en el momento y al material existente diseminado en las barrancas y cauces producto de las erupciones registradas en los meses previos, principalmente lava y cenizas. Pero para el Municipio de Autlán este tipo de fenómenos no representa gran peligro.

Ante una erupción volcánica de grandes dimensiones, como las que han ocurrido en el pasado, el volcán de Fuego de Colima, pueden esperarse pérdida casi totales de bienes; por lo que la única forma de proteger la vida humana es por medio de evacuaciones preventivas entorno al volcán. Dentro de las acciones que se proponen están las de establecer campañas de información a la población sobre los peligros volcánicos y sus consecuencias, y realizar simulacros de evacuación, toda vez que una población bien informada y entrenada, tendrá una mejor capacidad de respuesta ante este tipo de fenómenos.

Los efectos de las caídas de ceniza varían dependiendo del volumen del material expulsado, la duración o intensidad de la erupción y la duración de los vientos dominantes al suceder ésta. La dirección de los vientos dominantes en el Volcán de Colima se han reportado de SW-NE durante la mayor parte del año, a excepción de los primeros meses en que varían de NW y E; si sumamos estas características de los antecedentes históricos de las erupciones de 1818 y 1913, en que se reportaron caída de ceniza en poblados entorno al volcán y a un radio de 100 Km , representaría depósito de cenizas en el Municipio y la erupción de 1991 en que la ceniza fue distribuida por los vientos hacia el norte, sur y noreste, tal situación nos permiten establecer los escenarios de peligro para este tipo de materiales para Municipio de Autlán de Navarro.

El mapa de peligro por depósito de cenizas por erupción del Volcán de Colima, fue elaborado considerando la extensión máxima de los depósitos originados por depósitos volcánicas en el pasado con un índice de explosividad (VEI) mayor a 3 y suponiendo que la erupción tenga lugar en las inmediaciones de la cima y considerando una columna eruptiva de 12 Km. Los límites de los diferentes colores en el Municipio fueron trazados con base en el alcance máximo observados en el modelo generado para depósito de cenizas.

El mapa de peligro volcánico por depósito de cenizas en el Municipio de Autlán de Navarro, representa una realidad natural frente a la amenaza en las diversas zonas en el territorio del Municipio. Es importante la utilización del mapa de peligros por depósito de cenizas por una gran erupción del volcán, que se tome en consideración en los planes de emergencia, la planeación del uso del terreno, etc., con la finalidad de mitigar el peligro.

5.2 Sismicidad

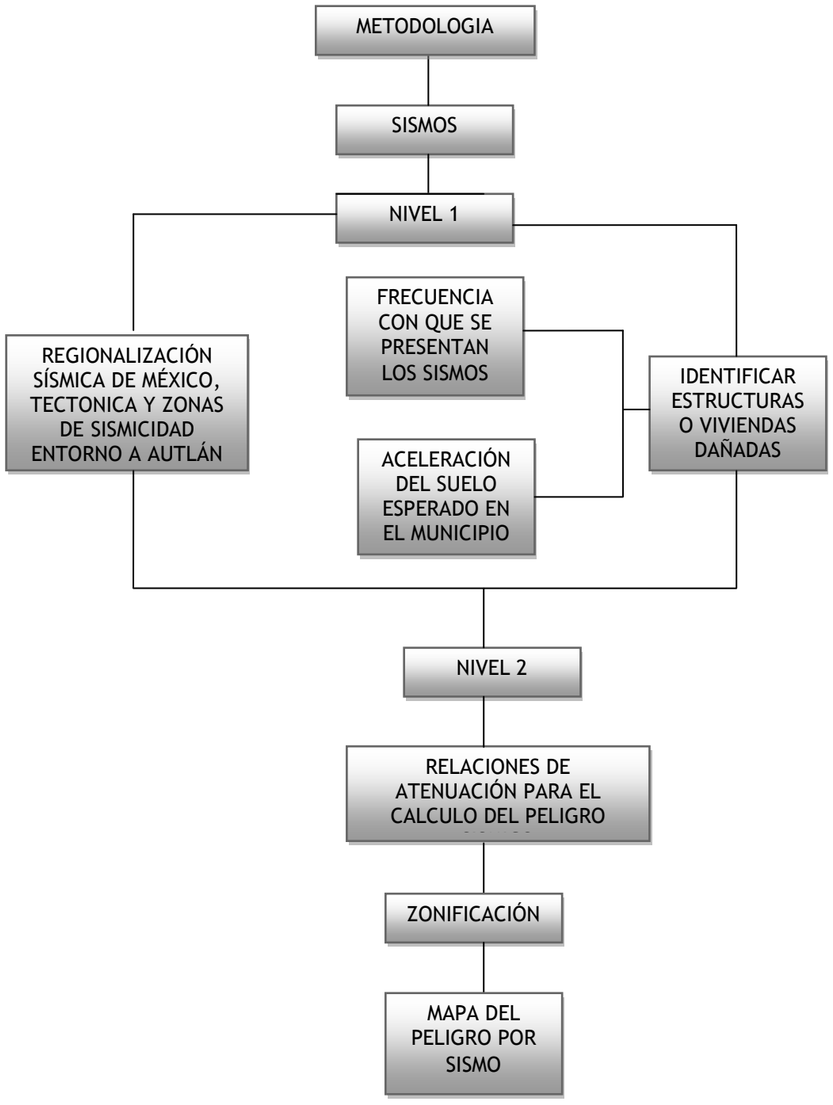
La sismicidad es uno de los peligros derivados de la dinámica interna de la Tierra que ha estado presente en la historia geológica de nuestro planeta, y que seguramente continuará manifestándose de manera similar a la actividad ocurrida en el pasado (CENAPRED, 2006).

La única manera de prevenir la ocurrencia desastres causados por peligros naturales es por medio de su caracterización y estudio que permitan tomar medidas preventivas, o en su caso de mitigación de posibles escenarios de desastre. El estado de Jalisco es una de las regiones con más alta sismicidad en México y por ende donde el peligro sísmico es muy alto, este peligro no solo está asociado al proceso de subducción de la Placa de Rivera bajo la Placa de Norteamérica, sino también a otras estructuras continentales no identificadas que han generado grandes terremotos históricos, algunos de ellos capaces de generar tsunamis. El primer paso evaluar el peligro sísmico es estudiar la sismicidad histórica y correlacionarla con la actual y los estudios recientes relacionados llevados a cabo en la región; desafortunadamente no se tiene aún una red sísmica local. El propósito de este trabajo es revisar y evaluar la sismicidad histórica, y los estudios de sismicidad recientes. (Nuñez-Cornú, 2011).

5.1.2.1. Metodología y Nivel de Análisis

El análisis de estudio comprende el nivel 2, de acuerdo a los Términos de Referencia 2016, que implica la determinación de la frecuencia con que se presentan los sismos y la máxima aceleración del suelo a esperar en el Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco, ante la presencia de un sismo de máxima intensidad registrado en la zona, utilizando leyes de atenuación. Cálculo de la aceleración máxima esperada del terreno y periodos de retorno a 10, 100 y 500 años publicados por el CENAPRED. Ubicación de la zona en cuestión en el Mapa de Periodos de Retorno para aceleraciones de 15% de g o mayores. Elaboración de mapas de peligros y riesgos por sismo dicha metodología se referencia en el diagrama de flujo de la Figura 5.1.2.1.

Figura 5.1.2.1. Metodología seguida para el estudio del peligro por sismo en Autlán de Navarro.



Fuente: Elaboración propia, en basa a datos de los Términos de Referencia, 2016.

Con los 2 niveles de análisis anteriores, se obtendrá información de carácter general que permitirá definir criterios básicos para el diseño de obras civiles, planeación de acciones preventivas, logrando de esta manera un diagnóstico global del nivel de peligro sísmico en el Municipio de Autlán de Navarro.

Nivel de Análisis 1

5.1.2.2. Ubicación del Municipio de Autlán de Navarro en la Regionalización Sísmica de México

El municipio de Autlán está ubicado en la zona Occidente de México. El mapa de Regionalización Sísmica de México (CFE, 1993), permite conocer, en términos generales, el nivel de peligro que tiene todo el país. Con fines de diseño antisísmico, la República Mexicana se dividió en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo XX. Dicho mapa tiene una clasificación en cuatro regiones, de A - D (Figura 5.1.2.2.). La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores. Las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Figura 5.1.2.2. Zonas Sísmicas en México.

Fuente: Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad. http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp

Este mapa muestra que el Municipio de Autlán de Navarro está completamente dentro de la zona D, la zona del peligro sísmico máximo. Dada esta condición, es importante llevar a cabo una revisión histórica de la sismicidad a nivel regional y local, así como determinar la sismicidad actual, y establecer la localización epicentral de eventos más cercanos al Municipio, así como magnitud en la escala de Richter, para determinar el peligro por sismo.

Debido a la ubicación geográfica del Municipio de Autlán, situada en una zona de alta sismicidad se ha tenido registro de la ocurrencia de sismos muy fuertes, los eventos que se presentan en la zona son desde baja magnitud hasta la posibilidad de presentarse terremotos de magnitud considerable, por ello hay que analizar la Tectónica y origen de la sismicidad presente en la zona.

5.1.2.3. Rasgos Tectónicos entorno al Municipio de Autlán

El origen de la alta sismicidad en la región de Jalisco se debe a su compleja Tectónica resultado de la interacción de tres placas. Para un conocimiento general de la situación tectónica del Occidente de la República Mexicana se realiza una descripción de norte a sur del marco tectónico del país con relación a los límites de las placas oceánicas y el continente Norteamericano. Las características relevantes se exponen a continuación.

La tectónica del occidente de México y el Bloque de Jalisco donde se ubica el Municipio de Autlán de Navarro, se caracteriza por la interacción de las placas de Rivera y Norteamérica (DeMets et al., 1990; Stock, 1993; Pardo y Suárez, 1993; DeMets et al., 1994; Pardo y Suárez, 1995). La placa de Rivera, situada al frente a las costas del occidente de México, se encuentra al sur de la zona de fracturas de Tamayo (Figura 5.1.2.4.), ésta se genera en uno de los segmentos de la dorsal del Pacifico Oriental y subduce, a partir de la trinchera Mesoamericana, bajo el Bloque de Jalisco.

Esta es una región donde se ha propuesto que al día de hoy, está ocurriendo un desgarre de subducción de la placa oceánica, así como la fragmentación de la placa continental superior (León-Soto et al., 2009), generando actividad sísmica de intensidad considerable. En esta parte del país destaca la existencia del denominado Bloque de Jalisco, delimitado por la Trinchera Mesoamericana hacia el occidente, la zona del Rift de Colima en la parte meridional y la zona del Rift de Tepic-Zacoalco en la parte oriental, mientras que el borde noroccidental no ha sido delimitado con precisión (Álvarez et al., 2002; Rutz- López y Núñez-Cornú, 2004). La mayor parte del Bloque de Jalisco esta constituido por el Batolito de Puerto Vallarta (Schaaf et al., 1995). La subducción de la placa de Rivera bajo la placa norteamericana, controla la deformación tectónica y la actividad sísmica reciente de ese rincón del Occidente de México.

El Bloque de Jalisco se caracteriza por una tectónica extensional provocada por la zona de rift. Así como una tectónica compresional causada por la subducción de la placa de Rivera bajo la placa de Norteamérica (Stock, 1993; Pardo y Suárez, 1995).

El bloque de Jalisco existe en forma independiente relativo a las placas circundantes, con un movimiento relativo lento (< 5 mm/a) con respecto a Norte América; 2). Las diferencias en el cierre del circuito de placas se deben principalmente a efectos de cambios recientes en el movimiento relativo entre las placas de Rivera y Pacífico. En este caso, el bloque de Jalisco sería parte de la placa de Norte América (Bandy y Pardo, 1994).

En lo que se refiere a la tasa de convergencia entre la placa de Rivera y la placa de Norteamérica existen dos modelos para explicarla. Uno de tasa baja, sugiere un valor de entre 2.0 y 3.3 cm/año, en una ubicación cercana al extremo sur de la zona de subducción de la placa de Rivera y Norteamérica mientras que dicha tasa es de entre 0.6 y 1.7 cm/año en el extremo norte (DeMets y Stein 1990). El segundo modelo propuesto por Bandy (1992) corresponde a una tasa de convergencia alta de 5.0 cm/año cercano al extremo sur de la zona de subducción de la placa de Rivera y de Norteamérica y de entre 2 y 3 cm/año en el extremo norte. Por su parte, Kostoglodov y Bandy (1995), basados en relaciones sismotectónicas, proponen que el promedio de la velocidad de convergencia entre las placas de Rivera y Norteamericana favorece el modelo de índice rápido. Por otro lado, la dirección de convergencia entre la placa de Rivera y la placa de Norteamérica se vuelve cada vez más oblicua (Bandy et al., 2005).

Kostoglodov y Bandy (1995) también propusieron que la velocidad de convergencia es variable y aumenta la oblicuidad al noroeste de la zona de subducción. Por su parte, la placa de Cocos subduce con una tasa de convergencia de 4.8 cm/año en una longitud de 04.5° (DeMets et al., 1990).

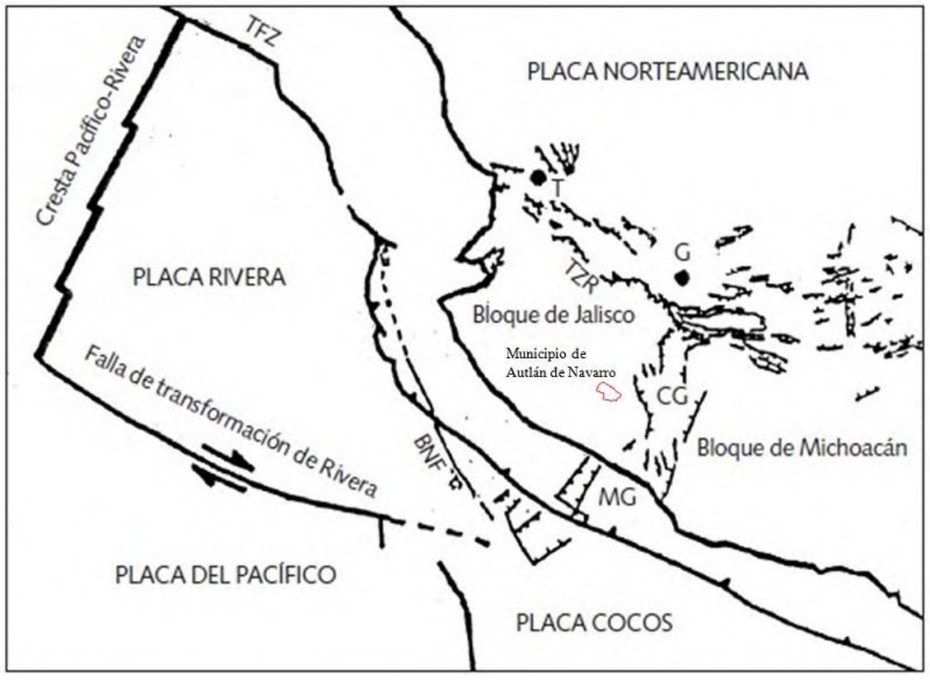
Por otra parte, Núñez Cornú et al. (2002) usaron datos de la red sísmica RESCO (Red Sísmica Telemétrica Analógica de Colima) de microsismos registrados en la región de Jalisco, entre 1996 y 1998, y encontraron que la subducción de la placa de Rivera debajo de la placa de Norteamérica tiene un ángulo de subducción menor a 15 grados hasta 160 km desde la trinchera.

Entre los estudios más recientes acerca de la sismicidad cortical en la región Núñez Cornú et al. (2002) identificaron varias zonas sismogénicas y demostraron que los datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) por sí solos no son suficientes para estudiar los patrones sísmicos en la región de Jalisco con la precisión deseada. De esta forma ellos han ampliado la cantidad de estaciones en Jalisco, y con base en la sismicidad registrada durante 2002 por RESJAL (Red Sísmica Digital Telemétrica de Jalisco) y RESCO han reportado varias características sobre sismicidad superficial al sur y este de Bahía Banderas (Núñez Cornú et al., 2003). De acuerdo a lo anterior se ha tenido que utilizar información de diversos catálogos (SSN, SISVOC, CFE, USGS).

5.1.2.4. Análisis del Bloque de Jalisco

El Bloque Jalisco representa lo que se reconoce como un bloque tectónico, o microplaca, más o menos rígido. Sabemos que se mueve de manera independiente con respecto a las placas circundantes (Rivera y Norte América) a través de dos zonas de deformación continental (el rift o graben de Tepic-Zacoalco y el rift o graben de Colima) ya lo largo de una zona de subducción en su límite costero con la placa oceánica de Rivera. Los rifts de Tepic-Zacoalco y de Colima se unen con el rift de Chápala, en el límite NE del bloque Jalisco, dando lugar a lo que es escencialmente un punto triple continental, cerca de Guadalajara, formado por la unión de: el bloque de Jalisco, el bloque de Michoacán y la placa de Norte América (Figura 5.1.2.3.)

Figura 5.1.2.3. Ubicación del Bloque Jalisco en relación con las Placas de Norteamérica, Rivera, Cocos y del pacífico.



Fuente: Rossotti, et. al. 2000.

El desarrollo del bloque Jalisco, como bloque independiente, parece estar relacionado geométricamente con la forma y dinámica de la placa de Rivera, así como también con la evolución del punto triple continental cerca de Guadalajara ya mencionado. El estudio del bloque Jalisco representa un buen laboratorio para el desarrollo de modelos tectónicos y sísmicos que nos permitan estudiar el inicio de movimientos de, microplacas, así como el fenómeno de una posible captura de un bloque continental por otra placa escencialmente oceánica (Luhr et al, 1985; Allan, 1990). Por ello resulta interesante saber con detalle de que manera fue su evolución y como es su movimiento actual, con respecto a las placas circundantes, para establecer el nivel de sismicidad por el movimiento de esta estructura, por ello es importante realizar un análisis de las rasgos tectónicos circundantes al bloque de Jalisco.

Los principales rasgos entorno al Bloque de Jalisco, se observan las principales características tectónicas y originadoras de actividad sísmica, la Zona de Fracturas de Tamayo (TZF), Zona de fracturas de Rivera (RFZ), Cresta de Pacifico-Cocos (EPR), Graben el Gordo (GEG), Graben de Colima (A), Graben de Chapala (B), Grabende Tepic-Zacoalco (C), Falla de Tamazula (FT), Bloque de Jalisco (BJ), Bloque de Michoacán (BM) y los triángulos azules corresponden a los volcanes de la región (modificada de Rutz-López y Núñez-Cornú 2004). Las líneas azules representan la profundidad en kilómetros del plano de Wadati-Benioff, de acuerdo a Pardo y Suárez (1995). Las curvas de nivel se encuentran a cada 200 m.

- Rift de Colima

Estructura que tiene una anchura variable entre 20 y 60 km (Allan 1986). El graben de Colima forma parte de esta estructura y se divide en dos sectores, el graben norte, con dirección norte-sur, y el central, con orientación norestesuroeste (Figura 2.2). Allan (1986) propone, con base en un mapa estructural de la zona del graben de Colima, que el graben está definido por fallas normales paralelas a su dirección. Finalmente, el graben de Colima intersecta otros dos rifts, uno de ellos es el rift de Zacoalco, al noroeste, mientras que al noreste lo hace con el rift de Citlala, para formar una unión triple, a unos 50 km al sur-suroeste de Guadalajara (Allan, 1986; Gómez-Tuena et al., 2007).

El rift de Colima ha sido considerado como la frontera oriental del bloque de Jalisco (Allan et al., 1991; Bandy et al., 1993; Bandy et al., 1995; Serrato-Díaz et al., 2004). La ruptura del sur de Colima probablemente se formó en respuesta a la divergencia entre la placa de Cocos y de Rivera con la placa de Norteamérica (Bandy et al., 1995). Los sectores meridional y septentrional del rift parecen estar separados por el complejo volcánico de Colima (Garduño-Monroy et al., 1998), el cual está construido sobre un basamento de andesitas y volcaniclásticos del Cretácico inferior (Cortés et al., 2005).

En lo que respecta a la sismicidad, uno de los reportes más recientes de la actividad tectónica en el graben sur de Colima es el de Pacheco et al. (2003), el cual corresponde a un sismo ocurrido en Marzo del 2000 (Mw 5.3). Ellos consideran que éste representa la primera evidencia de la actividad sísmica cortical al sur del rift de Colima. Otro ejemplo, es el terremoto de Tecomán de 2003 (Mw 7.4); el cual ha causado controversia, ya que para Núñez-Cornú et al. (2004) se trata de un sismo cortical, debido a que la mayoría de sus relocalizaciones de réplicas son corticales, lo que según ellos descarta la hipótesis

de un sismo de subducción. Por otra parte Schmitt et al. (2007) determinaron que el sismo del 22 de enero de 2003 (Mw=7.2) es un sismo de subducción con mecanismo de fallamiento inverso, esta conclusión la obtuvieron con base en un estudio de desplazamiento cosísmico, con mediciones de GPS, medidos en 27 sitios en el occidente de México.

- *Rift de Chápala*

Contiene el lago natural de Chapala a 1500 m de altitud, de 115 km de largo y de 10 a 25 km de ancho. Este graben se extiende 90 km hacia el oriente del punto triple, donde se ensancha y muestra una transición de fallamiento en bloque a fallamiento en escalón con orientación NEE de fallas transformantes (Luhr et al., 1985).

Urrutia-Fucugauchi y Rosas-Elguera (1994), a partir de un estudio paleomagnético, proponen que el rift de Chápala se desarrolló a principios de Mioceno en una falla transcurrente lateral izquierda dentro de la zona regional de falla Chapala-Tula E–W. Por otra parte Rosas-Elguera y Urrutia-Fucugauchi (1998), basados en un estudio estratigráfico y tectónico, proponen un modelo para el desarrollo del rift de Chápala que implica una combinación de la deformación extensional lateral izquierda junto con procesos erosivos y volcánicos, los cuales han contribuido a dar forma a la cuenca. Ellos sugieren que el lago de Chápala es un remanente de un gran paleo-lago en Jalisco.

- *Rift de Tepic-Zacoalco*

Estructura con una orientación NW con un corredor de aproximadamente 50 km por 250 km, es uno de los brazos del sistema triple de rift en el oeste de México (Frey et al., 2007). Junto con el rift de Colima y la Faja Volcánica Transmexicana, que limita el bloque de Jalisco una porción del oeste de México, que puede moverse independiente de Norte América (Frey et al., 2007). Urrutia-Fucugauchi y González-Morán (2006), por medio de un análisis de imágenes aeromagnéticas sobre el sector noroeste del rift de Tepic-Zacoalco documentan un patrón de alineamiento NESW perpendicular al límite inferido entre el bloque de Jalisco y la Sierra Madre Occidental (Urrutia-Fucugauchi y González-Morán, 2006).

Los estudios detallados estructurales documentan una tectónica esencialmente extensional para los sistemas de fallas del rift Tepic-Zacoalco durante el Plioceno-Cuaternario (Nieto-Obregón et al., 1992; Quintero-Legorreta et al., 1992; Ferrari et al., 1994; Rosas-Elguera et al., 1997), aunque en el Mioceno medio y tardío ocurrió una deformación transcurrente en esta región (Ferrari, 1995). Por otra parte, con base en un estudio detallado geológico y estructural Ferrari y Rosas Elguera (2000) concluyen que el rift Tepic-Zacoalco está constituido por una serie de grabens y semigrabens desarrollados en distintos episodios a partir del Mioceno tardío. Estudios realizados en esta zona muestran que el rift de Tepic-Zacoalco sufrió extensión dominante con dirección NE durante el Plioceno y Cuaternario (Ferrari, 1995; Rosas-Elguera et al., 1996; Rosas-Elguera y Urrutia Fucugauchi, 1998; Ferrari y Rosas-Elguera, 2000).

Por otro lado, se tienen estudios en el sureste del rift de sismicidad, como el de Pacheco et al. (1999), quienes realizaron un estudio de secuencia de pequeños sismos que ocurrieron durante los meses de abril a mayo de 1997. Ellos localizaron un total de 33 eventos con una magnitud de 1.5 hasta 3.5, utilizando sismógrafos portátiles de banda ancha, obteniendo soluciones focales de fallamiento normal. La distribución de sismicidad y las soluciones del plano de falla sugieren que el medio graben de Zacoalco desde bloques por el deslizamiento por ocurrido por fallas lístricas.

- *Estructuras del rift Zacoalco*

El rift de Tepic-Zacoalco, es una combinación de diferentes sistemas de fallas desarrolladas durante finales del Mioceno (12-9 Ma), Plioceno inferior (5,5 a 3,5 Ma) y, en menor medida, en el Plioceno Tardío de la época cuaternaria (Ferrari y Rosas- Elguera, 2000). Las estructuras en las que se divide de acuerdo a Ferrari y Rosas- Elguera (2000) son:

a) Un brazo noroeste llamado “sistema de fallas Pochotitlán”, que son fallas lístricas

pertenecientes a la provincia extensional del golfo. Estas fallas tienen una orientación NNE son de fallamiento normal de alto ángulo de inclinación.

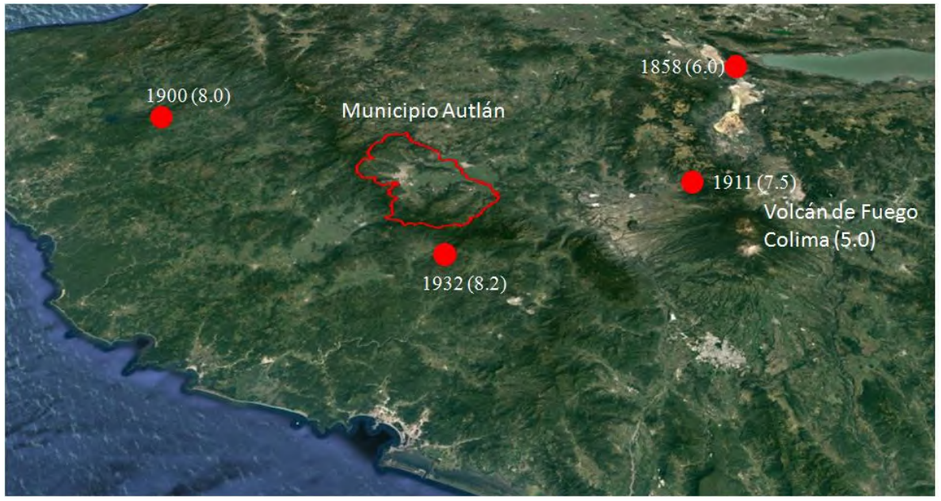
b) Un brazo central hecho de escalones del rift que reactivaron la frontera entre el Bloque de Jalisco y la Sierra Madre Occidental. Consta de dos grabens desarrollados a lo largo de una zona de deformación transcurrente, uno al oeste, el graben de Compostela-Ceboruco es una compleja depresión asimétrica. Hacia el este se encuentra el graben “Plan de Barrancas-Santa Rosa” con una orientación WSW y una depresión con un ancho de 30 km.

c) Un brazo sur constituido por desprendimiento de fallas ubicadas en el interior del Bloque de Jalisco, el cual está formado por el semigraben de Amatlán de Cañas.

5.1.2.5. Sismicidad Histórica

La historia macrosísmica de la región se remonta hasta 1544. En los últimos 160 años, han ocurrido 10 sismos importantes con Ms > 7.4: 11/feb./1875 Ms =7.5 (Singh et al, 1981) 20/ene/1900 Ms= 7.9, 16/may/1900 Ms=7.4 (op. cit.), 3 y 18/jun/1932 Ms =8.2 y 7.8, respectivamente (op. cit.) 10/ene/1973 Ms> 7.5 (Eissler y Mcnally, 1984), 19 y 20/sep/1985 con Ms=8.1 y 7.8, respectivamente; 9/10/95 con Ms=5.1 (ver Tabla y figura 3). Los tiempos de recurrencia estimados por Singh et al (1985) para terremotos como los de 1932 en la costa de Jalisco es de 77 años y considerando que el temblor de 1995 rompe apenas con la mitad sur del área que se rompió en 1932, la posibilidad de que ocurra un evento similar al de 1995 en un período relativamente corto de tiempo es muy alta (Figura 5.1.2.4.1). El 22 de enero del 2003 ocurre un terremoto somero de Mw = 7.4 en la costa de Armería no asociado al proceso de subducción (Núñez-Cornú et al, 2004). Por otra parte la complejidad de esta región tectónica se refleja en la existencia de estructuras desconocidas o no estudiadas capaces de generar terremotos de magnitud media (7.0 - 7.6) como el ocurrido cerca de las Islas Marías, donde causó gran destrucción, el 3 de diciembre de 1948 (M = 7.0), estos dos últimos terremotos pueden estar relacionados con una subducción oblicua.

Figura 5.1.2.4. Localización epicentral de sismos máximos ocurridos entorno al Municipio de Autlán de Navarro.



Fuente. Malagón, 2017. Usando datos del Servicio Sismológico Nacional

5.1.2.6. Sismicidad Instrumental

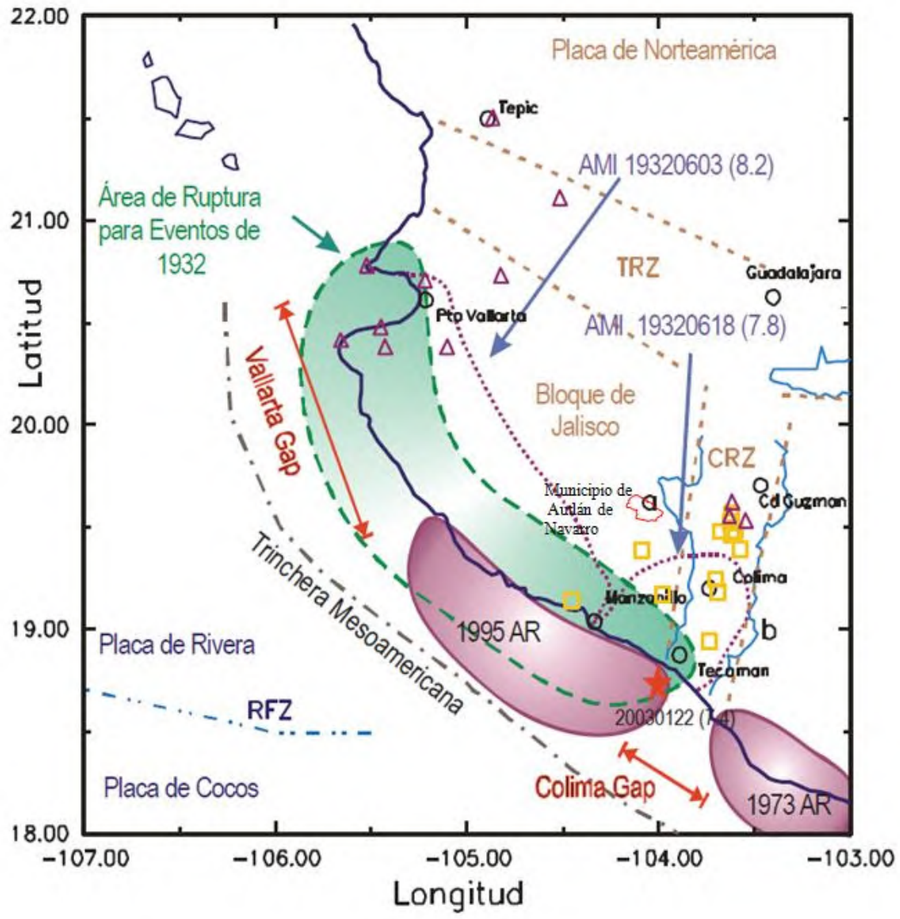
La región de Jalisco es una de las zonas sísmicas más activas en México, las principales unidades tectónicas en esta región son el Bloque de Jalisco y la Placa de Rivera, que subduce bajo el Bloque como ya se ha mencionado. El mayor terremoto (M=8.2) ocurrido en México en el siglo XX (1932) tuvo lugar en la costa de Jalisco, este fue seguido por otro de magnitud 7.8 quince días después. En 1995 un terremoto de magnitud 8.0 ocurrió en la costa de Jalisco, pero su área de ruptura fue solo la mitad sur del área propuesta para los terremotos de 1932, esto sugiere que la costa norte de Jalisco, incluyendo Bahía de Banderas, es una zona de alto potencial sísmico (también conocida como brecha sísmica) [figura 2]. Sin embargo, no solo terremotos asociados al proceso de subducción ocurren en la región también existen grandes terremotos intraplaca como los eventos de diciembre 27 de 1568 y de febrero 11 de 1872 (Nuñez-Cornú, 2011).

En la región también existen tres volcanes activos, el Sanganguey, el Ceboruco y el más activo en México el Volcán de Fuego (también conocido como Colima o Zapotlán), estructuras que también generan actividad sísmica.

Los sismos de junio de 1932, los rompieron toda la zona de contacto entre la Placa de Rivera y el Bloque de Jalisco, ambos generaron tsunamis importantes, aun no estudiados. Posteriormente, el día 22 de junio, se produce un tsunami que genera olas que alcanzan 20 metros de altura y causan gran destrucción y más de 30 muertos en la zona de Cuyutlán. Este tsunami ha sido asociado al deslizamiento de sedimentos del Río Armería, acumulados en la plataforma continental, hacia uno de los cañones de la Fosa Mesoamericana; los reportes históricos mezclan los daños de los tres tsunamis al ocurrir en un período de tiempo tan corto. El terremoto de 1995 genera un tsunami en la Jalisco afectando principalmente el área de La Manzanilla alcanzado una altura máxima de 5 m y una distancia horizontal de inundación de un 1 km.

Tan sólo en el siglo XX, los procesos tectónicos generaron tres grandes terremotos destructivos (Figura 5.1.2.5.), dos eventos de junio de 1932 (Singh, et al., 1985) y el sismo del 9 de octubre de 1995 Courboulex et al., 1997; Melbourne et al., 1997; Pacheco et al., 1997; Ortiz et al., 1998; Escobedo et al., 1998).

Figura 5.1.2.5. Mapa sismotectónico de la costa del Bloque de Jalisco, zonas de ruptura de las grandes terremotos y brechas (gaps) sísmicos existentes.



Fuente: Nuñez-Cornú, 2011

Pese a la importancia sismotectónica de la región, pocos estudios se han realizado para determinar la estructura detallada de la zona de subducción de Jalisco. Entre las investigaciones realizadas en la región, se han tratado temas sobre geodesia (p. ej. Hutton et al., 2001; Schmitt et al., 2007; Melbourne et al., 1997), petrología (p. ej. Wallace y Carmichael, 2004), geología (p. ej. Allan, 1986; Ferrari et al., 2000; Ferrari et al., 2001; Ferrari and Rosas-Elguera, 2000; Righter and Rosas-Elguera, 2001), paleomagnetismo (p. ej. Nieto-Obregón et al., 1992; Goguitchaichvili et al., 2007) y estudios sísmicos (p. ej. Núñez-Cornú y Sánchez-Mora, 1999; Pacheco et al., 1999, Pacheco et al., 2003; Zobin y Ventura-Ramírez, 1998; Mendoza y Hartzell, 1999; León-Soto et al., 2009; Yang et al., 2009). Sin embargo, aún no existe ningún estudio sísmico detallado de la región. Por ello, en 2006 se instaló dentro y alrededor del Bloque de Jalisco una de las redes sísmicas temporales más importantes y grandes que haya habido en nuestro país, en un proyecto denominado MARS (del inglés Mapping the Rivera Subduction Zone).

La red sísmica estuvo compuesta por 50 sismógrafos, la gran mayoría de ellos de banda ancha, desplegados durante un período de 18 meses a partir de enero de 2006 y hasta junio de 2007. En este proyecto participaron dos instituciones de Estados Unidos y dos de México, respectivamente: la Universidad de Texas, en Austin y la Universidad Estatal de Nuevo México, de los EUA; y el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.

Algunos de los objetivos generales fueron comprender las fuerzas que controlan la tectónica del Bloque de Jalisco en el oeste de México, así como el comportamiento de las placas de Rivera y de Cocos (Yang et al., 2009).

El análisis de sismicidad para el Municipio de Navarro, se basa en la Regionalización Sísmica del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993), así como en la recopilación e interpretación de registros históricos de sismos obtenidos de la base de datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) y Centro de sismología y Vulcanología de Occidente (SisVoc) en los periodos 1900-2015 y 2001-2003, respectivamente. Aunado a esto, se plasma la información del Programa de Peligro Sísmico en México (PSM), como son los periodos de retorno para aceleraciones a 10, 100, 500 años y periodos de retorno para aceleraciones del terreno mayores a 0.15 % g.

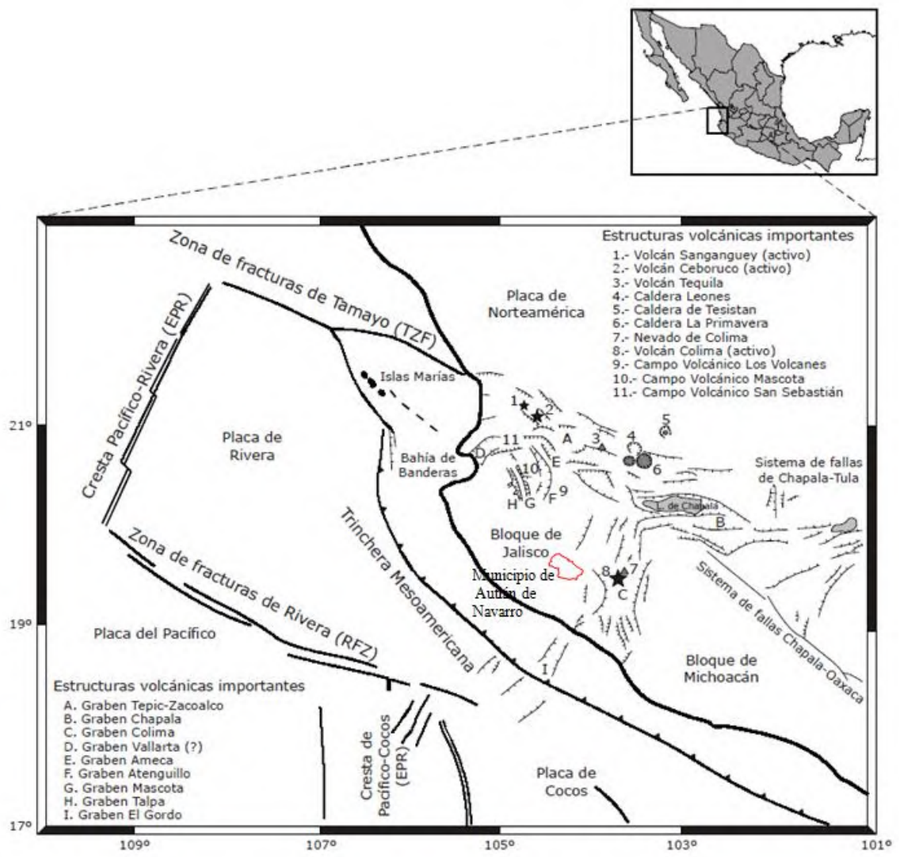
Con base al análisis e interpretación de lo anterior; el Municipio de Autlán se ubica dentro de la zona “D” de la Regionalización Sísmica de CFE, donde registros históricos indican que se han reportado sismos de gran intensidad y las aceleraciones del terreno se podrían esperar serían al menos del 0.15 % g del valor de la gravedad (g), aceleraciones del terreno que generen movimientos perceptibles y daños considerables.

Dado que el Municipio se ubica en una zona tectónicamente activa, en donde se han presentado algunos sismos de magnitud considerable en zonas geográficas próximas al Municipio, mismos que han registrado magnitudes hasta elevadas en escala de Richter. Hacia la costa se tienen reporte de sismos de 7.5 grados. El sismo máximo registrado en el estado de Jalisco fue un sismo de 1932 con magnitud de 8.2 grados en la escala de Richter.

5.1.2.7. Sismicidad Regional

El municipio de Autlán se localiza al suroeste del estado, entre las coordenadas extremas de 19º34'30" a los 19º53'45" de latitud norte, y 104º07'00" a 104º27'35" de longitud oeste; con una altitud de 925 metros sobre el nivel del mar (Figura 5.1.2.6.), y se encuentra dentro del bloque de Jalisco.

Figura 5.1.2.6. Ubicación del Municipio de Autlán dentro del bloque Jalisco.

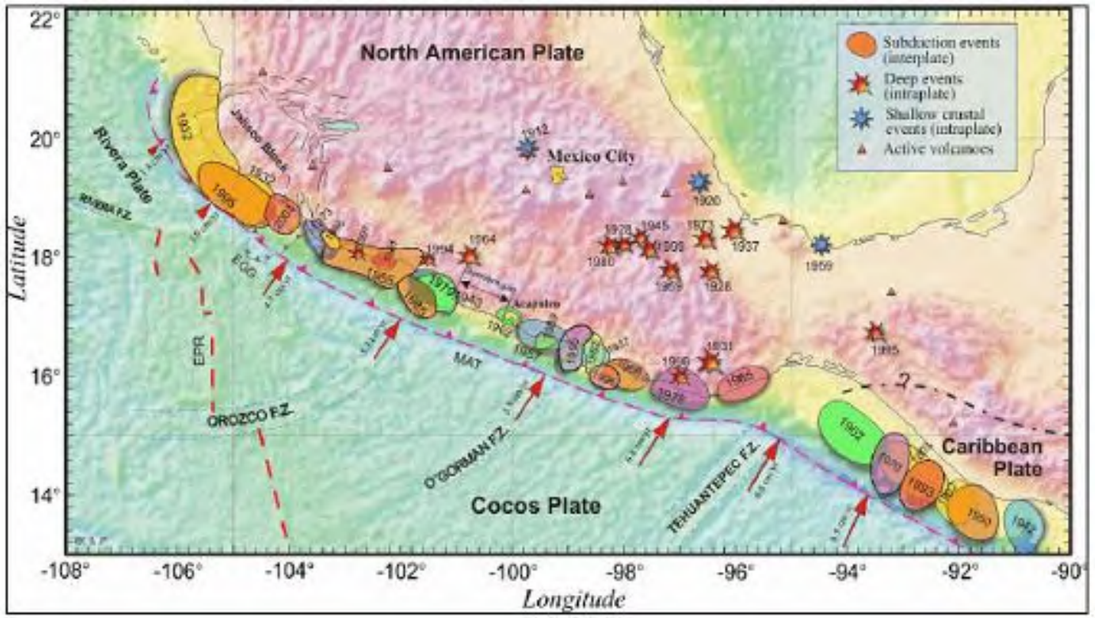


Fuente: Nuñez-Cornú, 2011

En lo que se refiere a la sismicidad en el Occidente de México esta se caracteriza por la ocurrencia en la zona subducción en las costas de Jalisco, con la interacción de la placa oceánica de Rivera bajo la placa de Norteamérica (Nixon, 1982; Stein y DeMets, 1990; Pardo, 1993; Pardo y Suárez, 1995; Bandy et al., 1995; Bandy et al., 1999; Bandy et al., 2000; Ferrari, 2004; Gorbatov y Fukao, 2005; García-Quintero, 2007; Pérez-Campos et al., 2008; León-Soto et al., 2009).

En la región han ocurrido algunos de los sismos más grandes de México (Singh et al., 1985), la Figura 5.1.2.7. se muestra las áreas de ruptura definidas por las zonas réplicas de los grandes sismos de tipo falla inversa a lo largo de la costa Pacifico ocurridos en México de 1932 a 1995 (Kostoglodov y Pacheco, 1999). Todos ellos son debidos al proceso de subducción de la placa oceánica de Rivera bajo la placa de Norteamérica (Eissler y McNally, 1984; Singh et al., 1985; DeMets y Wilson, 1997; Courboulex et al., 1997; Pacheco et al., 1997).

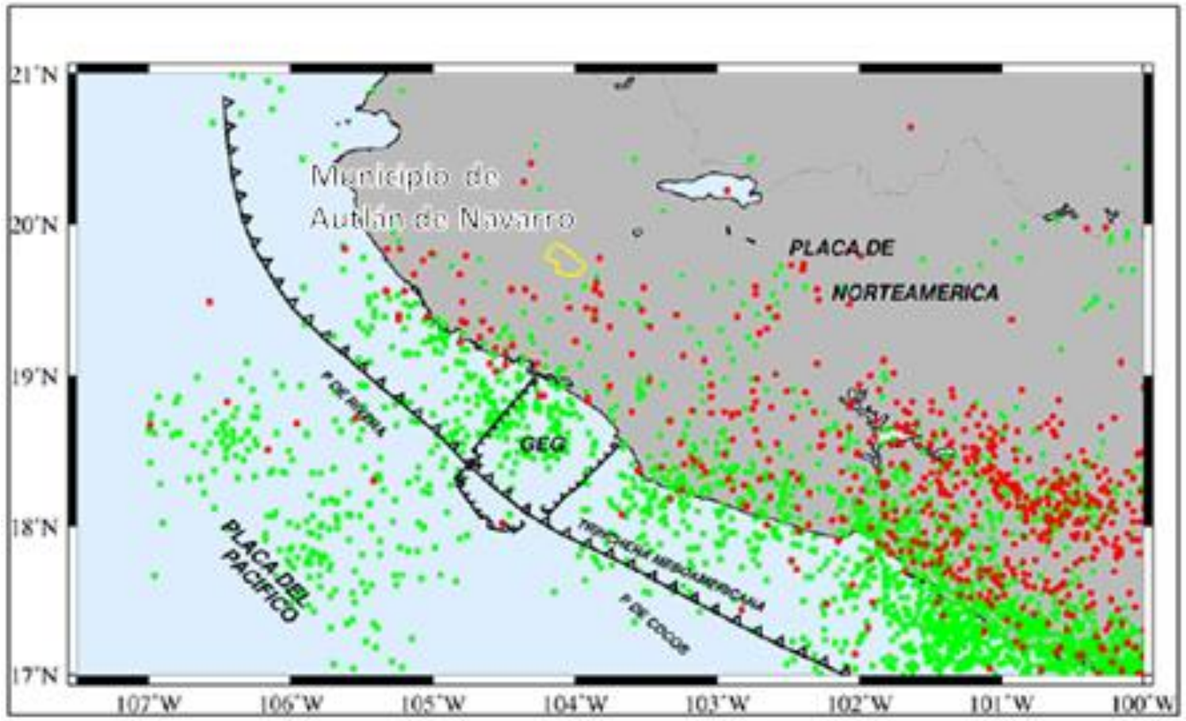
Figura 5.1.2.7. Areas de rupturas en placas tectónicas por grandes sismos del siglo XX. Las estrellas indican sismos ocurridos en el continente a profundidades someras y no superan una magnitud de 7.0.



Fuente: Kostoglodov y Pacheco, 1999.

En la Figura 5.1.2.8. se muestra la actividad sísmica registrada por Centro Nacional de Información de Terremotos (NEIC, por sus siglas en inglés) de 1973 a 2010 con un intervalo de magnitudes entre 3.1 a 8, en el suroeste de México. Esta aumenta en números de eventos de noroeste a suroeste, además donde se puede ver que en la parte noroeste es menor cantidad de eventos con profundidad mayor a 50 km con respecto a la parte suroeste de México, lo que sugiere que la sismicidad es predominantemente somera.

Figura 5.1.2.8. Distribución de la sismicidad registrada por NEIC (Centro Nacional de Información de Terremotos, por sus siglas en inglés) de 1973-2010, clasificados por profundidad, los círculos rojos son los epicentros con profundidad mayor a 50 Km y los círculos verdes de profundidad menor a 50 Km, magnitudes que oscilan entre 3.1 a 8.0.



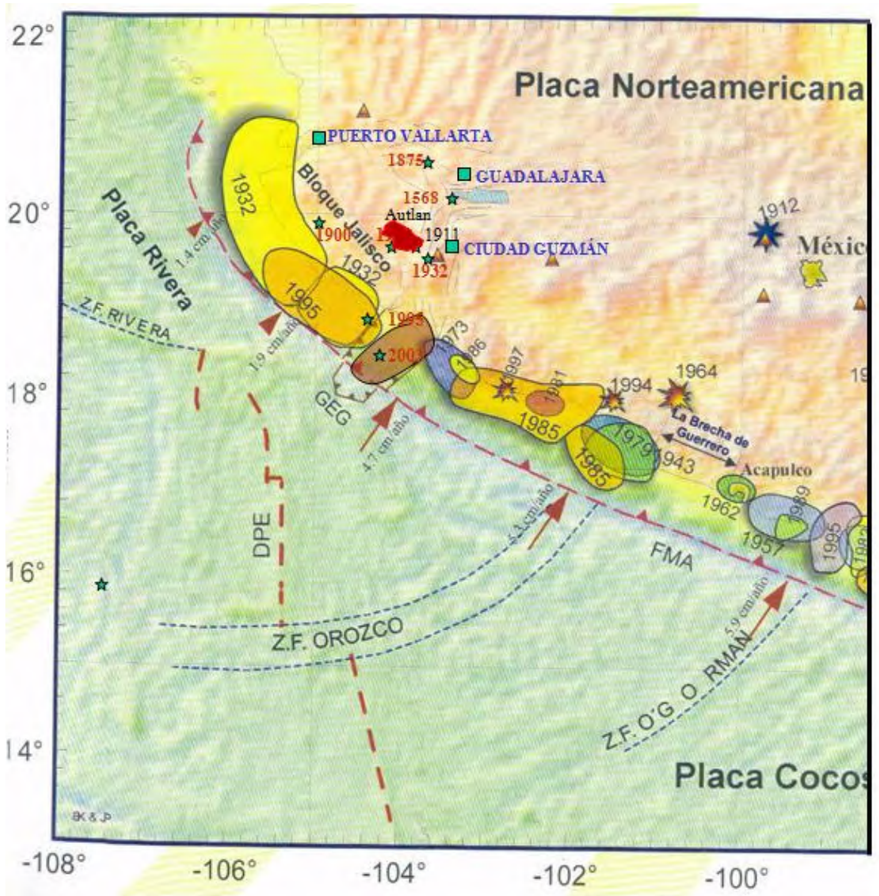
Fuente http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_rect.php.

La región de Jalisco es una de las zonas sísmicas más activas en México, las principales unidades tectónicas en la región del Municipio de Autlán son: el Bloque de Jalisco y la Placa de Rivera, que subduce bajo el Bloque. El mayor terremoto (M=8.2) ocurrido en México en el siglo XX (1932) tuvo lugar en la costa de Jalisco, este fue seguido por otro de magnitud 7.8 quince días después, el epicentro ha sido localizado y reubicado recientemente en las coordenadas (19,5 N, 104.25 W). Por la baja densidad de población en este año en el Municipio de Autlán no se tienen reportes de daños o efectos destructivos.

Cuando ocurre un sismo de magnitud considerable las rocas que se encuentran cerca de la zona de ruptura sufren un reacomodo, lo que genera una serie de temblores en la zona que reciben el nombre de réplicas. El número de las réplicas puede variar desde unos cuantos hasta cientos de eventos en los próximos días o semanas de ocurrido el temblor principal.

Técnicamente hablando, el sismo del 18 de junio de 1932 no se considera una réplica del temblor del 3 de junio porque rompió un área diferente a la del primer sismo (Figura 5.1.2.9). Si bien las áreas de ruptura de ambos sismo están contiguas, no se traslapan, lo cual significa que el segundo no es réplica del primero. Este tipo de sismo en parejas, o "dobletes" ha sido observado en otros eventos sísmicos importantes como los sismos del 1985, que ocurrieron el 19 y 21 de septiembre de 1985, o recientemente, los sismos del 18 de abril y 8 de mayo de 2014. Estas parejas de sismos estuvieron muy cercanos en tiempo y distancia pero, técnicamente, en ninguno de los tres casos podemos decir que el segundo sismo sea réplica del primero dado que sus áreas de ruptura son diferentes.

Figura 5.1.2.9. Áreas de rupturas de los sismos de 1932 y 1995.



Fuente. Sismos históricos, SSN.

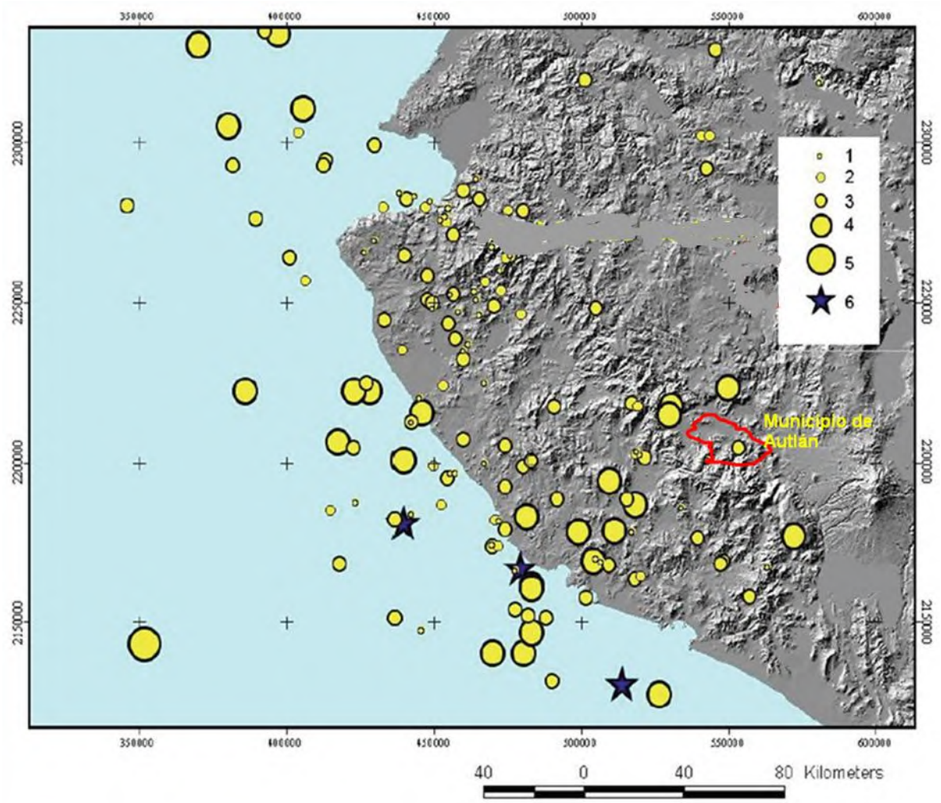
Entre 1993 y 1995 el Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada (CICESE) y el Departamento de Geografía de la Universidad de Guadalajara empezaron a realizar estudios de sismicidad en las costas de Jalisco utilizando redes temporales de estaciones portátiles. Después del terremoto de 1995 estos estudios recibieron más apoyo y se pudieron obtener los primeros resultados regionales (Nuñez-Cornú, 2011).

En 1995 un terremoto de magnitud 8.0 ocurrió en la costa de Jalisco, pero su área de ruptura fue solo la mitad sur del área propuesta para los terremotos de 1932, esto sugiere que la costa norte de Jalisco, incluyendo Bahía de Banderas, es una zona de alto potencial sísmico (también conocida como brecha sísmica) (Nuñez-Cornú, 2011). Sin embargo, no solo terremotos asociados al proceso de subducción ocurren en la región también existen grandes terremotos intraplaca como el evento de 1568, destructor en San Cristóbal de la Barranca (Figura 5.1.2.9).

En los años 1996, 1997 y 1998 se realizaron estudios de microsismicidad en el norte y oeste del Bloque de Jalisco motivado por la escasez de trabajos y datos de sismicidad disponibles para esta área, a pesar del conocimiento de la ocurrencia de grandes sismos en este territorio. Los datos registrados se logró observar la gran actividad sísmica que tiene la zona (Nuñez-Cornú, 2011).

La instalación de una serie de aparatos en la región y el registro de eventos sísmicos por el Centro de Sismología y vulcanología de Occidente (SISVOC), para los años del 2001 al 2002, se confirmó la alta actividad sísmica registrada con años anteriores en la parte sur del bloque de Jalisco (Figura 5.1.2.10.).

Figura 5.1.2.10. Sismicidad registrada por SISVOC entre los años 2001 y 2002.



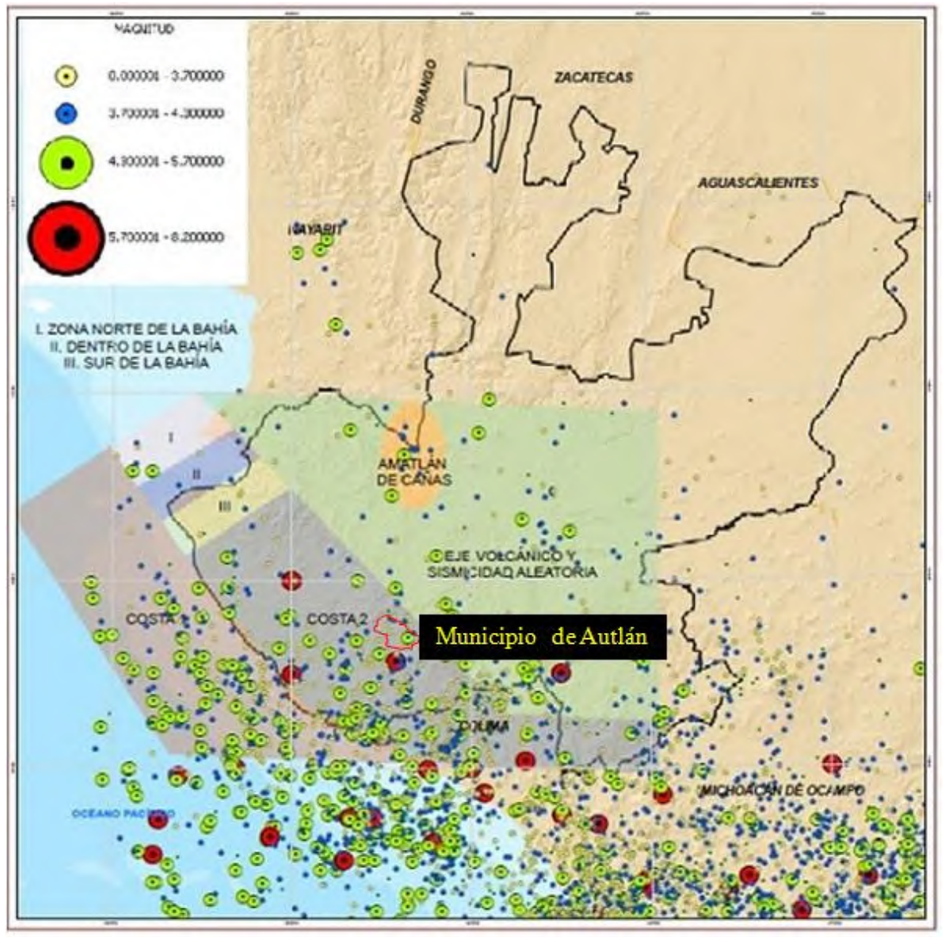
Fuente: Nuñez-Cornú, 2011.

En la imagen anterior se puede observar que la sismicidad se registra en la costa de Jalisco, con eventos de 3 a 5 grados en la escala de Richter. La zona centro del estado y al noreste del bloque de Jalisco donde se encuentra el Municipio deAutlán se muestra una ausencia de sismicidad debido a la falta de instrumentación y monitoreos para el registro de actividad sísmica en esta área.

En el 2003 se continuo con el monitoreo de la actividad sísmica en la costa, siguiendo con la misma tendencia en el registro de sismos de 3 a 6 grados en la escala de Richter. Al norte de la latitud 21ºN la sismicidad es muy escasa. Hay actividad sísmica de baja magnitud en la zona de Bahía de Banderas y de magnitud considerable en la costa sur de Jalisco y en la zona de Amatlán de Cañas-Ameca la sismicidad detectada es menor. En general los patrones sísmicos observados) son similares a los observados para el período 1996 – 1998. De enero a septiembre del 2003 se localizaron 435 temblores entre las coordenadas 22° (2,435,000) N -19.5° (2,156,000) N y 106° (396,000) W-104° (605,000) W, con magnitud local comprendida entre 0.0 y 5.0. Se redujo la zona de estudio a la zona de Bahía de Banderas hasta el Valle de Tomatlán y a la zona de Amatlán de Cañas-Ameca. Se observa nuevamente actividad en el área de Amatlán de Cañas (Nuñez-Cornú, 2011).

Siguiendo con el análisis de la sismicidad registrada por diversas instituciones, entre ellas el Servicio Sismológico Nacional muestra la actividad sísmica obtenida de 1900 al 2015 (Figura 5.1.2.11.).

Figura 5.1.2.11.Actividad y regionalización Sísmica en el Occidente de México 1900-2015.



Fuente: Sismicidad registrada de 1900-1915. Información proporcionada por el Servicio Sismológico Nacional, UNAM, 2015.

De acuerdo a la sismicidad observada se ha podido establecer la regionalización sísmica para el estado de Jalisco (5.1.2.11.) estableciendo la sismicidad en Costa 1, Costa 2 y Eje Volcánico (Sismicidad Aleatoria).

En la Figura 5.1.2.11, se observa que el Municipio de Autlán de Navarro en el extremo sur del Eje volcánico, en el límite de sismicidad de costa 2 y sismicidad aleatoria es decir afectado por la actividad sísmica generada por movimiento de fluidos volcánicos y por la sismicidad intraplaca (actividad sísmica originada dentro del continente por fallas de tipo normal). Pero esto no deja que pueda ser afectado por evento originado en otras áreas sísmicas, principalmente por eventos generados en la costas 1.

5.1.2.8. Trabajo de Campo: Identificación Zona de Afectación e Infraestructura y Viviendas Dañadas por sismos

El Municipio de Autlán Navarro se ha visto afectado constantemente por la ocurrencia de sismos, con la aparición de fracturamientos en banquetas, pisos, losas ,muros y otros tipos de infraestructuras, principalmente en las localidades como la cabecera Municipal y el Chante, localidades que han reportado la presencia de movimientos sísmicos en encuestas levantadas en todo el Municipio, esto no quiere decir que en el resto de localidades no se perciban movimientos de este tipo, esto por la cercanía y presencia de zonas tectónicamente activas, sin dejar en cuenta estructuras geológicas activas dentro del mismo Municipio dado que no cuenta con instrumentación para registrar actividad sísmica de tipo local. A continuación se muestran algunas fotografías como evidencias de los efectos ocasionados por este tipo de fenómenos. En algunos casos se observó que los efectos se dan por la mala o antugua construcción principalmente de las viviendas.

Se realizó recopilación de información con las autoridades y protección civil del municipio para determinar los sitios afectados por la ocurrencia de sismos obteniendo la configuración mostrada en el mapa 5.1.2.12.

Figura 5.1.2.12. Mapa de Zona de afectación por sismos en Autlán.

Fuente: Protección Civil del Municipio, 2016.

A partir de las zonas identificadas afectadas se realizo un recorrido en la Cabecera Municipal para identificar las causas reales en la afectación principalmente en la infraestructura casa-habitación, y en las calles y avenidas a partir del cual se obtuvo una memoria fotografía de la infraestructura afectada por sismos (Fotografía 5.1.2.13.)

En la localidad del Chante se localizaron afectaciones por sismos, en su mayoría las estructuras localizadas con daño, fueron infraestructuras mal diseñas para resistir las fuerzas por la ocurrencia de un sismo o viviendas muy antiguas como se muestran en la Figura 5.1.2.14.

Figura 5.1.2.13. Afectación en infraestructura dañada en la Cabecera Municipal.

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.1.2.14.- Afectación en infraestructura dañada por la ocurrencia de sismo en la Localidad el Chante.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información recabada en campo se realizó el mapa de zonificación de zonas propensas a ser afectadas ante la ocurrencia de un sismo (Figura 5.1.2.15).

Figura 5.1.2.15. Zona propensas a ser afectadas ante la ocurrencia de un sismo en la Cabecera Municipal.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez analizado la actividad sísmica en el estado de Jalisco y considerando los catálogos sísmicos, se procede a determinar el Peligro por sismo para el Municipio de Autlán.

A partir del análisis tectónico regional se estudiara la sismicidad histórica, instrumental y reciente, con lo que se iniciara el cálculo de las aceleraciones máximas probables a generarse en el Municipio a partir de leyes de Atenuación.

5.1.2.9. Memoria de Cálculo

Los cálculos fundamentales para determinar el Peligro por sismo se desarrollan a partir de la utilización de Leyes de Atenuación para obtener la aceleración máxima esperada en el sitio de estudio a partir de un simso máximo ocurrido en la zona de estudio.

Cálculo del peligro sísmico para el Municipio de Autlán de Navarro

El cálculo de peligro sísmico, requiere cálculos estadísticos y la caracterización de modelos sobre la ocurrencia de un sismo, las zonas de fuente sísmicas, las relaciones de magnitud recurrencia, y las leyes de atenuación. Los catálogos históricos y registros de movimiento del terreno son esenciales para establecer los modelos. La ocurrencia de sismos es comúnmente modelada como un proceso Poisoniano, aunque también se ha considerado como un proceso no Poisoniano. Más aún, se asume frecuentemente que la ocurrencia de un sismo es estadísticamente homogénea en magnitud y ubicación dentro de una zona de la fuente sísmica. Para evaluar el peligro sísmico, en el Municipio de Autlán se consideran las fuentes sísmicas c en la regionalización sísmica para el estado de Jalisco, y los eventos máximos en las diversas fuentes identificadas de mayor peligro. Se tomarán los eventos sísmicos de mayor magnitud y se calculará la aceleración máxima en el terreno con relaciones matemáticas (leyes de atenuación) por poblado en el Municipio para zonificar las zonas de peligro dentro del área de estudio y determinar el mapa de peligros por sismo.

5.1.2.9.1. Aceleraciones teóricas del terreno por sismo fuerte

La determinación del peligro sísmico, se basa en el método tradicional de Análisis de Peligro Sísmico probabilista (PSP) de acuerdo a los catálogos sísmicos y de movimientos del terreno, en las observaciones macrosísmicas y registros instrumentales.

Debido a que los datos sismológicos son limitados, lo más apropiado fue recurrir a escenario basado en un enfoque determinista. La principal ventaja del procedimiento es el tratamiento simultáneo de la contribución fuente sísmica y la propagación de la onda, que serán determinantes para la estimación del peligro sísmico del Municipio de Autlán. La peligrosidad sísmica está definida como el nivel probable de sacudida del suelo asociado con la recurrencia de terremotos (Giardini et al., 1998).

Basándose en los datos de los catálogos histórico e instrumental, el territorio de México se subdividió, de manera global, en unidades sismotectónicas con el propósito de definir, dentro de ellas, estimaciones de peligrosidad sísmica.

5.1.2.9.2. Sismicidad de las fuentes Sismogenéticas

La incertidumbre existente en el conocimiento sísmico obliga a considerar las variables en juego como aleatorias, por lo que deben sujetarse a teorías de probabilidad. Para determinar los parámetros de la distribución de probabilidades que describen la ocurrencia de temblores en una región dada, se tiene que calcular la distribución de magnitud, el instante de ocurrencia y la localización del foco. Aquellos eventos con magnitud Mw superior a 7, están asociados con la subducción a lo largo de la costa pacífica mexicana y tienen un proceso de ocurrencia más bien periódico.

Como la sismicidad para el estudio de peligrosidad sísmica en México sólo se ha tenido en cuenta hasta el año 1994, el proceso de renovación para Jalisco tiene en cuenta la media de los tiempos entre eventos (mt = 46 años) y el tiempo que ha transcurrido desde el último temblor en la zona, t0 = 61 años. Por ello no se ha tenido en cuenta el gran terremoto de Octubre de 1995 producido en un proceso de subducción en las costas de Jalisco-Colima con una magnitud Mw de 7.5.

Para conocer los niveles de peligro sísmico se requiere de un procedimiento complejo que implica contar, entre otros elementos, con información de catálogos sísmicos con magnitudes y localizaciones epicentrales confiables y un conocimiento amplio de la tectónica que caracteriza a las diferentes regiones analizadas. Asimismo, la información geológica es de gran relevancia en tanto que permitirá tener conocimientos acerca de fallas, zonas sismogénicas y, particularmente, aportará datos sobre aspectos superficiales en el caso de valles aluviales.

Como sucede en la generalidad de los casos, en el Municipio de Autlán, se tiene que recurrir a procedimientos determínistico dado que no se cuenta con un catálogo sísmico local que cubra periodos suficientemente largos de registros para determinar directamente los periodos de recurrencia característicos de las diferentes zonas sismogénicas. Se tiene, para la República Mexicana, un conocimiento bastante claro de la sismicidad a partir del siglo pasado.

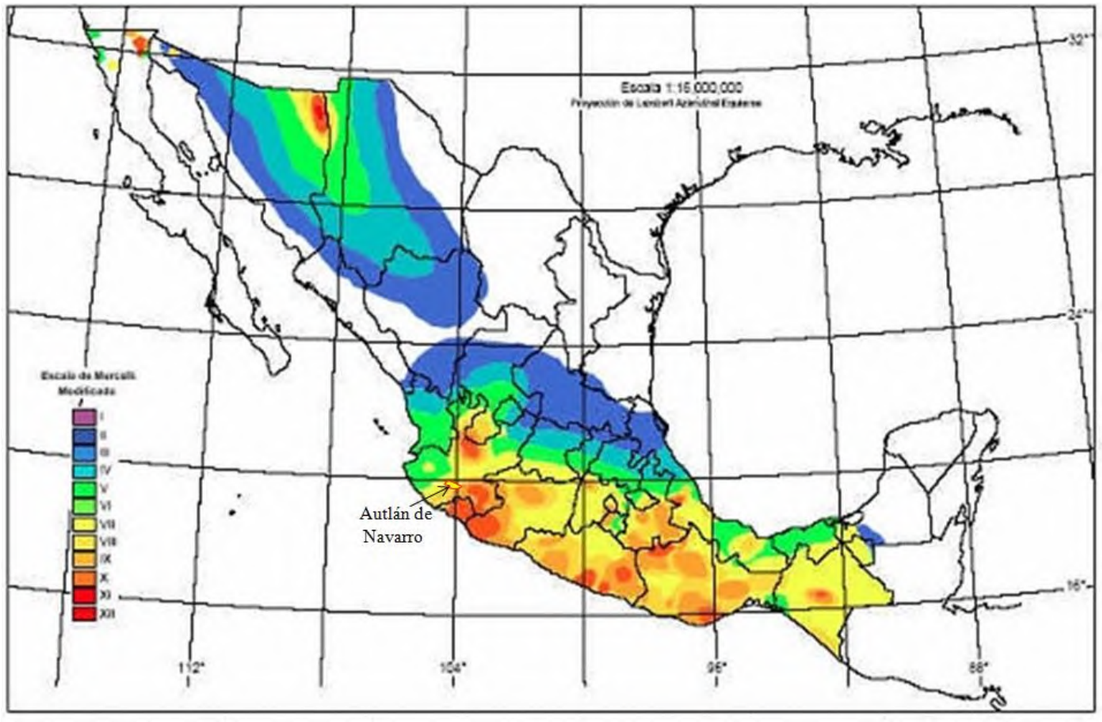
Sin embargo, con respecto al Siglo XIX sólo se conoce de manera general la ocurrencia de eventos con magnitudes de 7 en adelante. Debido a la falta, en esa época, de estaciones suficientes, es muy probable que en el catálogo para dicho periodo no se encuentren presentes varios eventos importantes, especialmente de magnitudes entre 6 y 7. Las localizaciones epicentrales y las profundidades correspondientes no alcanzan la precisión que se tiene actualmente.

Para siglos anteriores, la incertidumbre en cuanto a número de temblores, su punto de origen y profundidad es aún mayor. De ellos sólo se tienen referencias históricas, particularmente a partir del Siglo XVI.

El procedimiento para la estimación del peligro sísmico implica el análisis de la sismicidad local, lo que implica dividir el territorio nacional en varios volúmenes nombrados fuentes generadoras, para las cuales se supone una tasa constante de generación de temblores.

Posteriormente, se determinan los efectos que son producidos por cada una de ellas en un sitio dado, en términos de intensidad sísmica instrumental. Para ello se desarrollan leyes de atenuación, las cuales relacionan la magnitud, la posición de la fuente con relación a un sitio dado en nuestro caso de estudio se tomo en cuenta el Municipio de Autlán y la intensidad producida (Figura 5.1.2.15.). Dichas leyes asumen el principio de que, en la medida que aumenta la distancia a partir de la fuente, la intensidad disminuye.

Figura 5.1.2.15. Mapa Global de Intensidades.



Fuente http://www.seismo.ethz.ch/

De manera formal, el peligro sísmico se describe mediante indicadores cuantitativos de las probabilidades de ocurrencia de movimientos de distintas intensidades durante lapsos dados (UNAM, 2003) y por medio de parámetros cualitativos, como son las intensidades sísmicas, para el área del Municipio de Autlán, podemos observar que se han registrado intensidades de VIII y IX grados en la escala de Mercalli (Figura 5.1.2.15.).

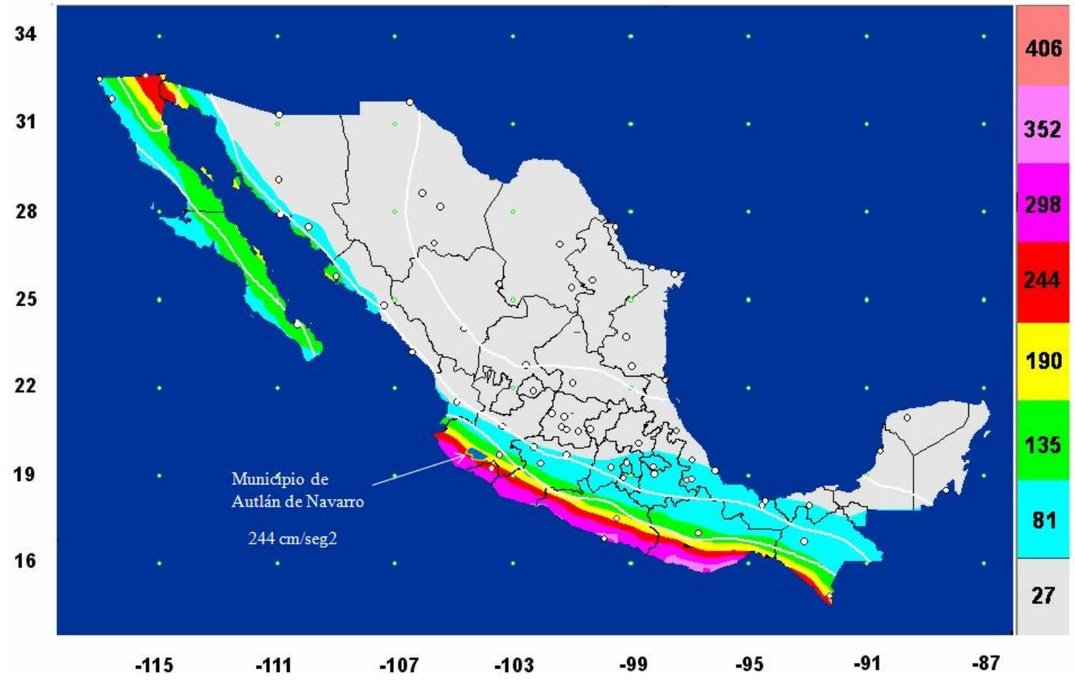
Sin embargo, dado que el fenómeno del efecto de sitio no ha sido reconocido como factor determinante en los cálculos de peligro sísmico, se deben incluir, además de la información acerca de las fuentes sísmicas y los patrones de atenuación asociados a ellas, los efectos de la geología local.

Por tanto, para una valoración completa se tienen que incluir parámetros derivados de una microzonificación sísmica propia del área.

5.1.2.9.5. Aceleraciones para Periodos de Retorno de 10,100 y 500 años en el Municipio de Autlán

Los mapas de peligro por sismo, son algunos de los resultados que se obtuvieron del programa Peligro Sísmico en México (PSM, 1996), que constituye un sistema de información cuantitativa sobre el peligro sísmico en la República Mexicana en cuya elaboración participaron, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) colaboró con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el desarrollo del Manual de Obras Civiles de la CFE. Por lo que respecta al capítulo de diseño por sismo, el II-UNAM desarrolló, entre otras cosas, mapas de peligro sísmico de la República Mexicana que quedaron parcialmente plasmados en el Manual de Obras Civiles y que, además, dieron origen al sistema de cómputo PSM, que incluye los resultados completos del estudio realizado por el II-UNAM en esta materia. el Instituto de Ingeniería de la UNAM, Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Comisión Federal de Electricidad, además del CENAPRED (Figura 5.1.2.16.).

Figura 5.1.2.16. Aceleraciones máximas del terreno en México.



Fuente: PSM, 2004

Es sumamente recomendable que el empleo de esta información se lleve a cabo con la asesoría o participación directa de un ingeniero civil capacitado para el diseño de obras sismorresistentes. De la figura anterior se observa que el Municipio de Autlán tiene una aceleraciones de 190 a 244 cm/seg2 (0.248 g).

El conocer solamente las magnitudes de los temblores, nos da una idea clara del impacto que éstos producirían en una determinada región, ya que pueden presentarse a diferentes profundidades y distancias de los asentamientos humanos.

Por su parte, los mapas de intensidades de Mercalli, describen de manera sencilla la distribución espacial de los efectos en el terreno y las construcciones, asociada a la ocurrencia de un evento en

particular que, si bien permiten plantear un escenario a futuro, no indican cuál es la probabilidad de que un sismo ocurra nuevamente.

En el caso de mapas de peligro como los que aquí se presentan, y en donde se ubicará al Municipio de Autlán, se da a conocer la distribución de las intensidades en términos de aceleración del terreno asociada a periodos de retorno. Esta información, aunque no directamente aplicable en la población con fines de protección civil, es un elemento fundamental para especialistas en el diseño de nuevas construcciones y modificación o refuerzo de obras civiles existentes.

Para facilitar la definición de niveles de peligro para un sitio dado se eligieron los mapas más representativos, en función de la vida útil de la gran mayoría de las construcciones, correspondientes a periodos de 10, 100 y 500 años. En ellos se muestran aceleraciones máximas para terreno firme para un periodo de retorno dado (tiempo medio, que tarda en repetirse un sismo con el que se exceda una aceleración dada).

Para que los estados y municipios cuenten con información actualizada que les permita tomar medidas apropiadas y orientar decisiones para la evaluación y mitigación del riesgo por sismo, CENAPRED, 2004 realizó, con base en los mapas ya mencionados, la clasificación municipal de peligro por sismo. Ahí se reportan los valores de aceleración máxima del terreno para cada municipio. Esto facilitará, ante la falta de un reglamento de construcción propio, definir las ordenadas de diseño para edificaciones de poca altura, típicas en nuestro país; es decir, construcciones de uno o dos niveles ubicadas en suelo firme.

Para el caso del Municipio de Autlán las aceleraciones máximas esperadas para periodos de retorno de 10, 100 y 500 años se muestra en la Tabla 5.1.2.2.

Tabla. 5.1.2.2. Aceleraciones máximas para diferente periodo de retorno en el Municipio de Autlán.

MUNICIPIO	Amax (cm/seg2), para Tr = 10 años	Amax (cm/seg2), para Tr = 100 años	Amax (cm/seg2), para Tr = 500 años
Autlán de Navarro	57-80	244	300

Fuente: Cenapred, 2006

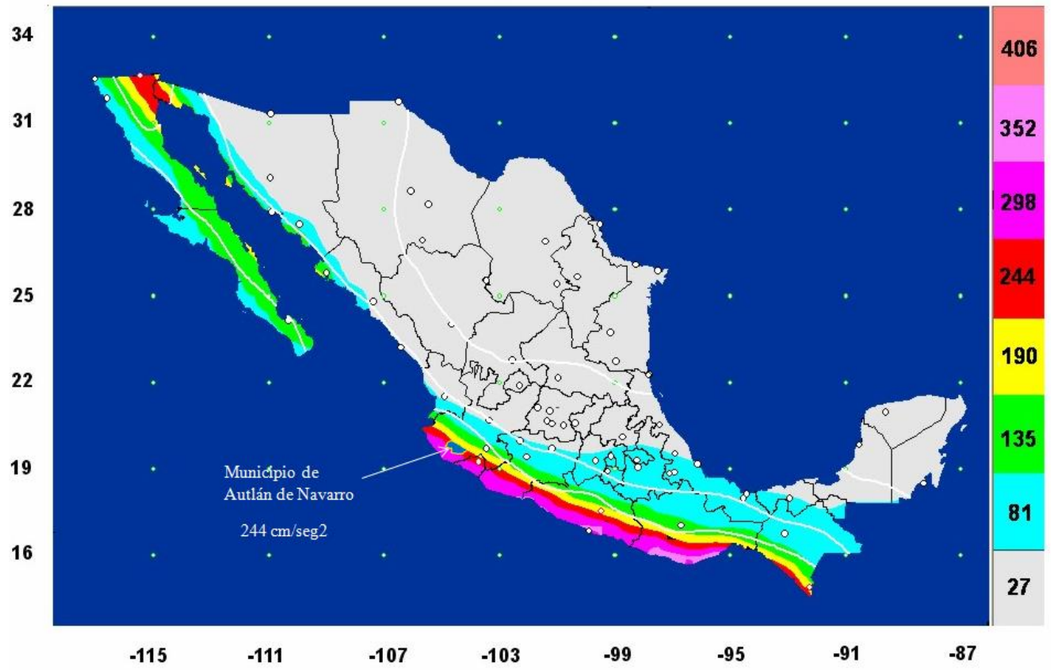
En caso de que un estado o municipio lleve a cabo estudios de riesgo para obras en particular, se deben solicitar mapas específicos a alguna de las instituciones participantes en la elaboración del PSM 2004, como se muestra en las Figuras 5.1.2.17, 5.1.2.18 y 5.1.2.19, (el sistema también es capaz de generar mapas para periodos estructurales fundamentales hasta de 3 s.).

Si para periodos de retorno de 100 años o menos se alcanzan o superan aceleraciones del terreno de 150 gal, habrá que dar alta prioridad a la aplicación, actualización o creación de un reglamento de construcción para el propio Municipio.

Figura 5.1.2.17. Aceleración máxima esperada en un periodo de retorno de 10 años.

Fuente: Cenapred, 2006

Figura 5.1.2.18. Aceleración máxima del terreno para un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Cenapred, 2006.

Figura 5.1.2.19. Aceleraciones máximas del terreno para periodo de retorno de 500 años.

Fuente: Cenapred, 2006

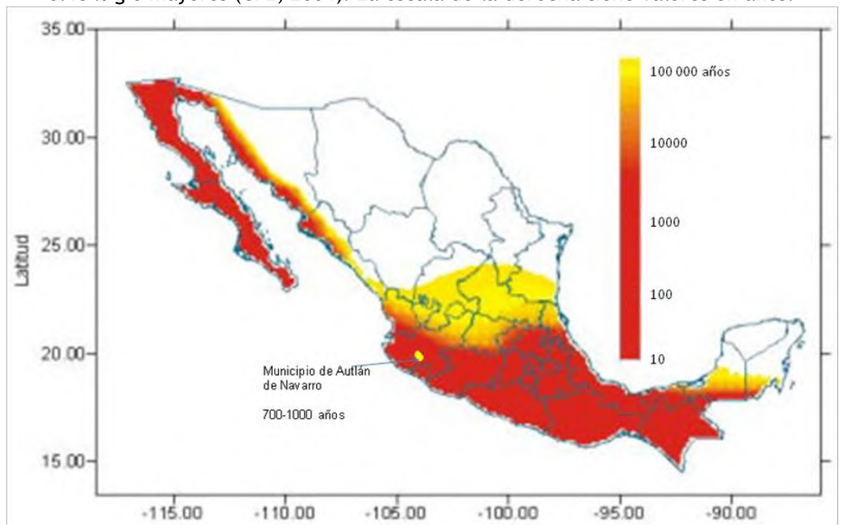
Es sumamente recomendable que el empleo de esta información se lleve a cabo con la asesoría o participación directa de un ingeniero civil capacitado para el diseño de obras sismorresistentes. De la Imagen 5-XX se observa que el Municipio de Autlán se tiene aceleraciones de 300 cm/seg2.

La aplicación de la información derivada de estos mapas, junto con las características estructurales y estado físico de las construcciones, permitirá que especialistas emitan recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad de las obras civiles.

5.1.2.10. Mapa de Periodos de retorno para Aceleraciones de 15 % de g o Mayores

Se sabe que, para los tipos constructivos que predominan en nuestro país, los daños son considerables a partir de un nivel de excitación del terreno igual o mayor al 15% de *g* (aceleración de la gravedad terrestre). Por tal razón, utilizando información reciente, la Comisión Federal de Electricidad generó el mapa actualizado de periodos de retorno para aceleraciones de 0.15 de *g* ó mayores, (Figura 5.1.2.20).

Figura 5.1.2.20. Mapa de periodos de retorno para aceleraciones del 0.15 % g o mayores (CFE, 2004). La escala de la derecha tiene valores en años.



Fuente: Cenapred, 2006.

De acuerdo al mapa anterior observamos que la máxima aceleración esperada para un periodo del 15% de g es entre 700 y 1000 años .Si adicionalmente se toma en cuenta el volumen de población, del cual un porcentaje significativo estaría expuesto a los efectos del sismo, pueden definirse prioridades para estudios específicos de seguridad estructural, actualización de reglamentos de construcción, etc.

El proceso para el cálculo se lleva fundamentalmente para determinar la aceleración máxima que se puede esperar en el Municipio, se han usado algunas leyes de atenuación, especialmente cuando se toman parámetros como distancia epicentral y magnitud máxima registrada y en algunas leyes se ha pensado en considerar las condiciones y características del medio.

5.1.2.11. Aceleraciones Máximas Esperada del Terreno en el Municipio de Autlán de Navarro.

El cálculo de aceleraciones teóricas se realizó tomando en cuenta las distancias más cercanas a las trazas de las fallas de la sección de estructuras principales, en el cual se consideró las potencialmente peligrosas analizando su comportamiento sísmico histórico e instrumental. Este último de los catálogos del S.S.N. (Servicio Sismológico Nacional) y SisVoc Centro de Sismología y Vulcanología de Occidente). Estos criterios fortalecen la idea que en caso de una activación de estas estructuras son las que representa mayor peligro sísmico.

Con el fin de determinar el peligro sísmico de las estructuras que pudieran representar mayor riesgo para el Municipio de Autlán es necesario realizar la estimación de la aceleración teórica máxima creíble debido al movimiento de una estructura geológica.

Para realizar la estimación de la aceleración teórica máxima ha sido necesario tomar en cuenta leyes de atenuación que mayormente se apeguen a la sismicidad del sitio en estudio, considerando la relación de Bufaliza (1984) quien propuso las leyes de atenuación basadas exclusivamente en temblores mexicanos. La ecuación utilizada se basa, en la dependencia de la magnitud y la distancia epicentral cuya ecuación se da en la siguiente relación matemática.

$$\text{Log } a = 0.349 + 0.307\,(M) - 0.211 \log (R) - 0.0027\,(R) \qquad (1)$$

Donde: a = Aceleración Teórica Máxima
M = Magnitud del sismo
R = Distancia epicentral del sismo al sitio de estudio

Otra relación tomada en cuenta es la propuesta por Malagón y López (2006), realizaron un análisis de regresión lineal múltiple con 255 datos de aceleraciones máximas esperadas en el terreno, correspondientes a 68 eventos sísmicos seleccionados de los catálogos, tanto Histórico como Instrumental, del Estado de Jalisco. Se obtuvo el modelo de regresión lineal múltiple que describe la relación entre el Logaritmo de la Aceleración y las tres variables independientes, asimismo, se presenta la ecuación de predicción para la aceleración máxima esperada, en función de la magnitud, distancia epicentral y suelo considerado en el sitio la ecuación se muestra a continuación.

$$\text{Log } a = -0.865048 \text{ Log}(R) + 0.479073\,(M) + 0.0279388\,(S) \qquad (2)$$

Donde: Log a = Logaritmo de aceleración máxima probable (cm/seg2)
R = Distancia Epicentral (Km).
M = Magnitud del evento máximo esperado en escala de Richter.
S = Sitio (1 = Roca, 2 = Superficial, 3 = Profundo).

Por otra parte la asignación de magnitudes máximas creíbles se sustenta en las dimensiones geométricas de las estructuras geológicas. Al sustituir en la función de Bufaliza (1984) y con las relaciones matemáticas propuestas por Malagón y López (2006), se obtuvieron los valores de aceleración esperados y expresados como una fracción de "g". Los valores de la magnitud y aceleración esperada se muestran en la Tabla 5-X, para sismos de magnitud máxima y estructuras geológicas capaces de generar eventos de grandes magnitudes y próximos al Municipio de Autlán, donde se observa que sismos asociados a la Trinchera Mesoamericana es la estructura geológica que genera el valor máximo de aceleración con aceleraciones superiores a 0.20 g, sin tomar en cuenta efecto de sitio según Bufaliza (1984) y 0.5 "g", según Malagón y López, (2006), al suponer un sismo de 8.2 grados en la escala de Richter en las costas de Jalisco y a una distancia de 30.81 Km tomando en cuenta efecto de material a nivel superficial, que puede considerarse valle aluvial (Tabla 5.1.2.3)

Tabla 5.1.2.3. Aceleración Máxima esperada ante sismos de diferentes magnitud y distancia epicentral.

ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS CON CENTRO EN LA CABECERA DEL MUNICIPIO DE AUTLÁN DE NAVARRO				
Estructura	Magnitud (Richter)	Distancia (km)	Bufaliza (g) 1984	Malagón y López (g) 2006
Sismo 1858	6.0	103.54	0.031	0.015
Sismo 1900	8.0	72.07	0.169	0.195
Sismo 1911	7.8	70.06	0.149	0.160
Sismo 1932	8.2	30.81	0.300	0.507
Volcán de Colima	5.0	82.15	0.018	0.006

Fuente: Malagón, 2017

Para referencia, los sismos de campo lejano como el evento de 1932 (M = 8.2°), ocurrido en las costas de Jalisco a 30.81 Km aproximadamente de la cabecera Municipal, generarían aceleraciones en el sitio de 0.3 g de acuerdo a Bufaliza (1984) y g de 0.5, de acuerdo a Malagón y López (2006) considerado a nivel superficial en donde estaríamos hablando de un valle aluvial, que de cierta manera pudieran ser aceleraciones de peligro para la localidad de Muy Alto, dado que se encuentran valores arriba de 0.2 g, que es un valor de alto riesgo que estaría influenciado por la amplificación de la onda sísmica debido a las condiciones del subsuelo.

De acuerdo a los valores obtenidos con la relación de Bufaliza (1984), para sismos iguales o mayores a 8.0 grados, son muy altos (mayores a 0.2 g) debido a que no considera los materiales del subsuelo y no toma en cuenta efecto de sitio. La relación de Malagón y López (2006), considera el tipo de suelo, ya sea valle aluvial o roca, lo que ajusta los valores a un modelo más apegado a la realidad y efectos que se pudieran presentar en el Municipio de Autlán.

5.1.2.12. Cálculo de la aceleración máxima esperada para el Municipio de Autlán

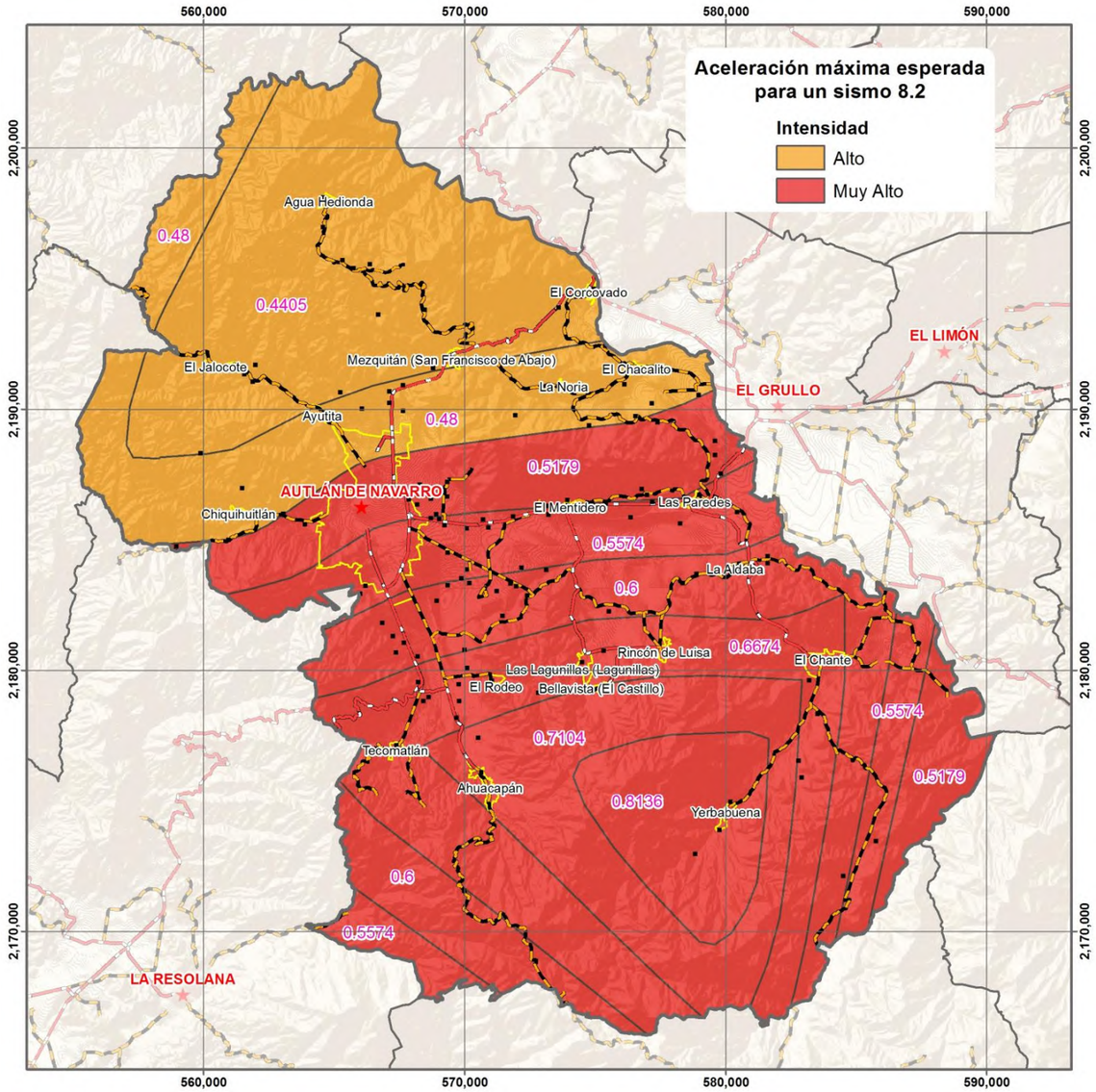
Se construyó una microzonificación a partir de aceleraciones máximas esperadas que representa el peligro para el Municipio Autlán tomando en cuenta un sismo de magnitud 8.2 grados en la escala de Richter ubicado al sur de Jalisco distancia epicentral a Autlán es de 80 km que es la cabecera Municipal de Autlán. Las aceleraciones obtenidas oscilan entre 0.15 g y 0.18 g tomando como referencia un Valle Aluvial, que puede alcanzar valores hasta de 0.2 g, que es considerada como la zona de mayor aceleración teórica máxima para el Municipio. En el mapa de la Figura 5.1.2.15.1. se muestra el mapa de peligro en función de las aceleraciones máximas calculadas para el Municipio (Tabla 5.1.2.4.), obteniendo valores Muy Altos para Autlán.

Tabla 5.1.2.4. Aceleraciones máximas esperadas generadas por un sismo de 8.2 grados.

Localidad	Distancia epicentral (Km)	Aceleración Máxima Esperada (g)	Nivel de Peligro
Agua Hedionda	43.68	0.3747	Alto
Corcovado	38.74	0.4157	Alto
Mezquitan	36.70	0.4356	Alto
Ayutita	35.87	0.4443	Alto
El Jalocote	39.50	0.4087	Alto
Chiquihuitlán	34.18	0.4632	Alto
Autlán de Navarro	30.81	0.5070	Muy Alto
La Noria	34.56	0.4588	Alto
El Mentidero	30.09	0.5172	Muy Alto
Las Paredes	29.83	0.5211	Muy Alto
Tecomatlán	23.40	0.6429	Muy Alto
El Rodeo	24,31	0.6220	Muy Alto
Las Lagunillas	23.88	0.6317	Muy Alto
Bellavista	22.94	0.6540	Muy Alto
Rincón de Luisa	24.04	0.6281	Muy Alto
El Chante	24.18	0.6249	Muy Alto
Yerbabuena	17.75	0.8151	Muy Alto

Fuente: Malagón, 2017.

Figura 5.1.2.21. Mapa del peligro por sismos en el Municipio de Autlán, en función de laAceleración máxima esperada del terreno.



Fuente: HAB: Consultoría Ambientales

Las aceleraciones máximas obtenidas con leyes de atenuación para el Municipio se pueden observar en la Figura 5.1.2.15.1. es Alta a Muy Alta. En cierta forma para las principales localidades la aceleración es considerada Muy Alta, y es donde se centra la mayor concentración de la población, esencialmente para la cabecera municipal.

5.1.2.13. Análisis de Resultado del peligro por sismo

A partir de la revisión y reevaluación de la sismicidad histórica e instrumental en la región de Jalisco y los estudios puntuales regionales recientes, se observa que prácticamente en toda la extensión y bordes del Bloque de Jalisco existen altos niveles de sismicidad lo que representa Peligro Sísmico que debe ser adecuadamente evaluado. Actualmente el Peligro Sísmico mayor estaría asociado al Gap Sísmico de la Costa Norte de Jalisco capaz de generar un terremoto de M=8.0.

Sin embargo terremotos recientes, como el de Armería (2003), muestra la existencia de terremotos intraplaca de magnitud media (6.9<M<7.4) que pueden ser muy destructivos y afectar al Municipio de Autlán de Navarro. Existen también grandes terremotos históricos al interior de la región que han causado grandes destrozos (el último de ellos en 1921), para los cuales deben identificarse su génesis. La correcta evaluación del Peligro Sísmico en la región solo se puede realizar mediante el estudio continuo de la sismicidad local.

La sismicidad que se puede dar en la zona de estudio, está asociada con el movimiento de placas en el pacífico, a los movimientos del bloque Jalisco. El promedio de que ocurran terremotos devastadores en esta zona es de 126 años y de 70 en el caso de temblores de menor intensidad, pero que también pueden provocar daños a la población. La amenaza recae sobre todas las poblaciones incluidas en la cuenca, pero se esperan mayoreo daños en las áreas que se encuentran en las partes bajas de la cuenca, las cuales corresponden a las zonas con mayor densidad poblacional.

Se ha venido observando que la actividad sísmica a todo lo largo de la trinchera Mesoamericana está clara, y el alto nivel sísmico de actividad a nivel continental. Es cierto que la magnitud de estos eventos es menor que los sismos de límite de placa en la zona de subducción y en ocasiones imperceptible para los habitantes de la zona, pero el análisis de la sismicidad de los monitoreos locales es escasa para el Municipio, lo que demuestra que hay estructuras tectónicas activas que hasta ahora son desconocidas, el cual no se sabe el nivel de actividad sísmica y que se requiere de un monitoreo. Es labor a futuro el llegar a su pleno conocimiento ya que hasta ahora no ha sido posible profundizar en este aspecto por falta de datos. Todo ello permitirá incluir información sísmica en esta región, de una forma específica, en futuras evaluaciones de peligrosidad sísmica para la región.

Del análisis de la sismicidad hacia el sur del estado de Jalisco, y a lo largo de la costa, se puede observar la franja de actividad sísmica.

Hasta el momento no se ha definido la microsismicidad del Municipio de Autlán, dado que se necesita de un estudio más detallado con monitoreo sísmico local, así mismo el monitoreo sísmico continuo regional como se ha venido realizando, se puede reconocer el gran potencial sísmico que tiene la zona, a nivel regional entorno al Municipio.

El sismo de mayor magnitud registrado instrumentalmente en la zona, ocurrió en la frontera entre la Placa la Tectónica de Rivera y el Bloque Jalisco en 1932, con magnitud de 8.2. La alta actividad sísmica en la costa puede activar estructuras geológicas (fracturas) a nivel continental, especialmente dentro del Municipio de Autlán de Navarro.

La aceleración máxima esperada y obtenida para el Municipio ante la presencia de un sismo de campo cercano es alta yo y oscila entre 0.3 g a 0.8 g, es Muy alta y arriba de una aceleración de 0.2 g, considerado a nivel estructural de altos efectos destructivos y la zonficación del Peligro sísmico muestra intensidades del peligro Alto a Muy Alto para el Cabecera y el Municipio.

5.3 Inestabilidad de Laderas (Deslizamientos, Flujos y Derrumbes o Caídos)

5.1.3. Inestabilidad de Laderas Deslizamientos

La inestabilidad de laderas es frecuente en zonas donde se tiene un relieve accidentado. Si bien es cierto que la ocurrencia de este fenómeno está en función de los factores internos de la ladera, como el tipo de roca y las condiciones estructurales del macizo rocoso; la presencia de factores externos o desencadenantes, tales como la incidencia de eventos naturales como lluvias extremas, diversos tipos de actividades antrópicas, como la generación de asentamientos humanos irregulares en zonas de montaña, contribuyen a acelerar los procesos de remoción en masas.

Los movimientos causados por fallamiento de cizalle a lo largo de una o varias superficies de ruptura generan deslizamientos Hay dos tipos principales, deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales. Un subtipo son deslizamientos en bloque, en que la masa deslizada (usualmente roca o

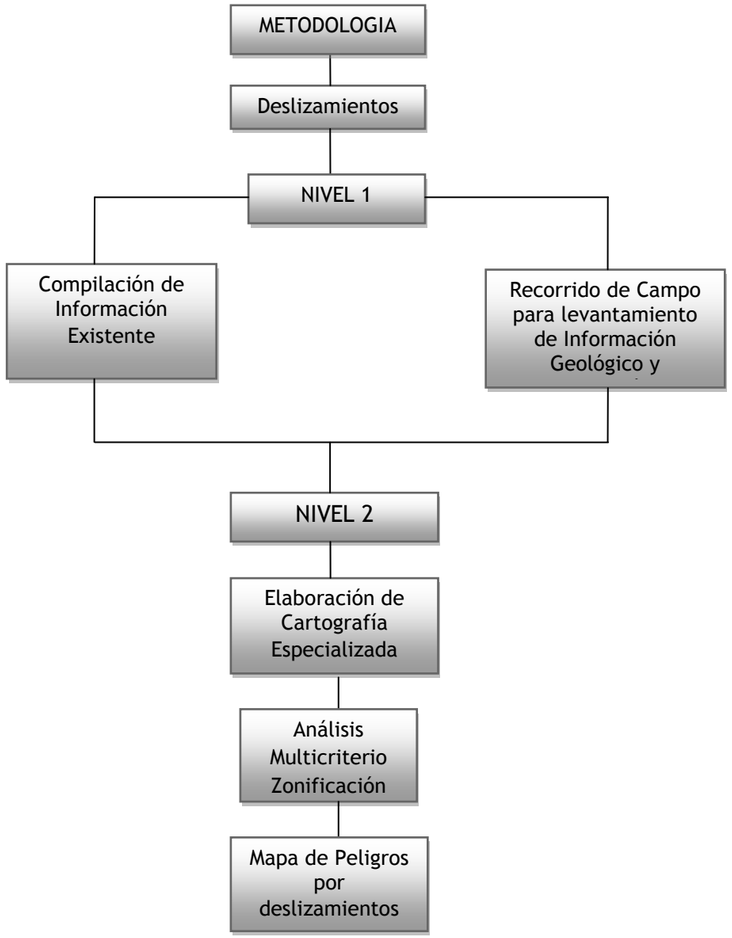
suelo cementado) consiste en una sola unidad que se desplaza, que generalmente se denomina derrumbe. Los movimientos traslacionales: la Masa desliza sobre una superficie aproximadamente plana, sin o con poca componente de rotación; son más superficiales que deslizamientos rotacionales y generalmente controlados por discontinuidades o zonas más débiles.

5.1.3.1. Metodología

Se establece una metodología para detectar y prevenir posibles problemas en áreas propensas a deslizamientos mediante, conceptos básicos como: 1. La identificación de los mecanismos de falla más comunes en los distintos tipos de materiales geológicos. 2. El establecimiento de criterios para la recolección de información. 3. La búsqueda e interpretación de efectos claves para identificar la posible inestabilidad de las laderas. En la modalidad de deslizamientos se sigue la presente metodología en dos niveles que se representa en las siguientes etapas (Tabla 5.1.3.1.). Para el estudio de la inestabilidad de laderas en el principio de deslizamientos se pretende llevar a cabo el siguiente procedimiento. Reporte de antecedentes de los estudios realizados. Obtener fichas de registro de la información levantada en campo (fichas de campo y fotografías) y realizar un inventario sobre casos documentados. Dicha información permitirá validar los análisis de los factores condicionantes para elaborar u obtener como producto final el mapa de susceptibilidad por inestabilidad de laderas.

El trabajo de campo permite, realizar un recorrido de campo para levantamiento de información geológico-geomorfológica (fallas, fracturas, grietas) y realizar la distribución espacial de los deslizamientos en relación a la población expuesta al peligro. El recorrido de campo se fortalece con el desarrollo de entrevistas con la población y con el análisis de factores externos tales como la deforestación y erosión, acción antrópica (cortes de laderas, terraza, rellenos). Y permite generar un mapa inventario de deslizamientos y ficha técnica de caracterización (tipo, longitud, profundidad, etc.). El resumen de entrevistas a informantes clave. Fotografías que muestren: Laderas inestables, fracturas, árboles inclinados, poblados en peligro, laderas desestabilizadas por obras realizadas. Obtención de mapas temáticos para aplicar la metodología de análisis multicriterio y generar el mapa con niveles de susceptibilidad y función de las variables condicionantes. Adicionalmente se presentan algunas de las medidas correctivas comúnmente utilizadas para lograr la estabilización de laderas.

Tabla 5.1.3.1. Metodología desarrollada para identificar el peligro por deslizamiento en el Municipio de Autlán de Navarro.



Fuente: Elaboración propia, en base a los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016

Nivel de Análisis 1

5.1.3.2. Aspectos generales de las laderas.

Los problemas de inestabilidad de laderas se cuentan entre los peligros naturales más destructivos de nuestro planeta, lo cual representa una de las mayores amenazas para la vida y bienes materiales de la población. Derrumbes, deslizamientos, flujos y movimientos complejos ocurren día con día alrededor del mundo, fenómenos que se trataran por separados. Cada año estos desastres ocasionan numerosas víctimas, heridos y damnificados, así como cuantiosas pérdidas económicas. El impacto que este tipo de peligros provoca es de mayor magnitud en países de escasos recursos debido a su alto grado de vulnerabilidad. Para prevenir futuros desastres asociados a inestabilidad de laderas, es de suma importancia que todos los miembros de la población conozcan este fenómeno y se mantengan atentos a las manifestaciones que lo preceden y los factores que lo generan (Cenapred, 2008).

La inestabilidad del terreno natural se presenta en zonas montañosas, donde la superficie del mismo presenta diversos grados de inclinación. El grado de inestabilidad está íntimamente relacionado con el origen geológico de las masas de tierra. En este contexto, el problema de inestabilidad se puede definir como la pérdida de la capacidad del terreno natural para auto sustentarse, lo que deriva en reacomodos y colapsos del mismo.

Un hecho importante relacionado con los movimientos y colapsos de la superficie del terreno natural es que las condiciones de inestabilidad de las formaciones geológicas involucradas han existido siempre en la naturaleza. Sin embargo, estas condiciones suelen empeorar por la deforestación, intemperismo, erosión y por la alteración de las condiciones de drenaje y de equilibrio originales, ante la presencia de asentamientos humanos irregulares. En la mayoría de los casos, los habitantes talan los bosque en las zonas montañosas; en ocasiones para contar con tierras cultivables efectúan cortes y construyen terrazas para habilitar sus viviendas carentes de obras apropiadas de drenaje.

El fenómeno de inestabilidad de laderas engloba diferentes tipos de procesos, tales como deslizamientos, flujos, caída de rocas, reptaciones, avalanchas y movimientos complejos, estos últimos resultan de la combinación de uno o más procesos (CENAPRED, 2006).

El Municipio de Autlán se ubica en una región donde se pueden generar procesos de remoción de masas, debido a la presencia de cadenas montañosa más importante del Modelo Digital de Elevación (MDE), con pendientes abruptas mayores a los 45°, lo anterior, aunado a la litología heterogénea con altos índices de falla y fractura que predomina en el área, incrementa la probabilidad de ocurrencia de un Proceso de inestabilidad.

La zona donde se ubica la mancha urbana representa el área de menor elevación, sin embargo existen lomeríos que pueden en menor escala presentar algún tipo de inestabilidad. El área presenta antecedentes de inestabilidad de laderas, que en gran medida han afectado diversos tramos de las principales vías de comunicación, lo que se traduce en zonas de peligro para los usuarios que por ahí transitan.

Durante la prospección de campo se cartografiaron diferentes tipos de procesos de remoción en masa, entre los que destacan deslizamientos por falla plana, flujos y caída de bloques en sus modalidades de volteo, rodamiento y desprendimiento.

La importancia del estudio de inestabilidad de ladera está determinada por el impacto que éstos pueden tener en la población, ya que el desarrollo de asentamientos humanos en sitios inadecuados o potencialmente inestables pone en riesgo la vida de los habitantes de dichas comunidades (Alcántara, 2002).

De acuerdo a la metodología empleada por el CENAPRED (2006), en su Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales, se tomó una serie de factores que contribuyen a la generación de los procesos de remoción en masa, mismos que se mencionan a detalle en el apartado V.1 correspondiente a la Metodología. La combinación de estos factores tanto topográficos, geotécnicos y morfológicos da como resultado cinco niveles de peligro, los cuales están en función de la suma del factor asignado a cada variable.

En caso de tener una zona de peligro alto significa que esta presentará las condiciones más críticas para que se suscite un fenómeno asociado a remoción de masas, por el contrario un peligro muy bajo se considera cuando se tienen situaciones que favorecen a la estabilidad, por lo que las probabilidades que se genere un PRM son casi nulas.

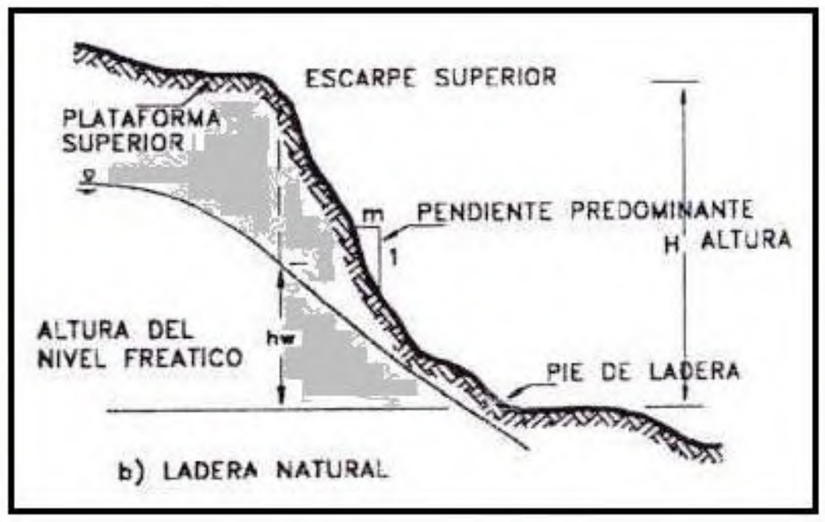
La distribución y ocurrencia de cada uno de los peligros por remoción de masas en el Municipio de Victoria se describen a continuación, destacando las condiciones para la generación de los mismos. Cabe mencionar que se citan ejemplos puntuales en diferentes zonas del Municipio, lo anterior a fin de ejemplificar los factores considerados, así como de mostrar gráficamente la ocurrencia de los fenómenos asociados.

A diferencia de los taludes creados por el hombre, las laderas son masas de tierra y roca que tienen una conformación actual debido a procesos naturales. De manera aparente la mayoría las laderas permanecen estables por muchos años, pero por los procesos de evolución del relieve las laderas pueden fallar en forma imprevista debido principalmente a cambios en la topografía, sismicidad, en los flujos de agua subterránea, en las precipitaciones, en la resistencia al corte, meteorización o en factores de tipo antrópico (Dikau et al., 1996). Según Suárez (1998) quien ha trabajado ampliamente en zonas de inestabilidad de laderas por lluvias, la ladera ésta conformada por una serie de elementos que a continuación se describe.

Una ladera puede definirse con los siguientes elementos (Figura 5.1.3.1.).

- **Altura**. Distancia entre el pie y la cabeza. Resulta difícil determinar la cabeza en laderas naturales ya que la vegetación y los accidentes topográficos pueden ocultarla.
- **Pie**. Sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe**. Sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura del nivel freático**. Distancia del pie del talud hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente**. Medida de la inclinación de la ladera. Se mide en grados o en porcentaje.

Figura 5.1.3.1 Perfil de una ladera natural

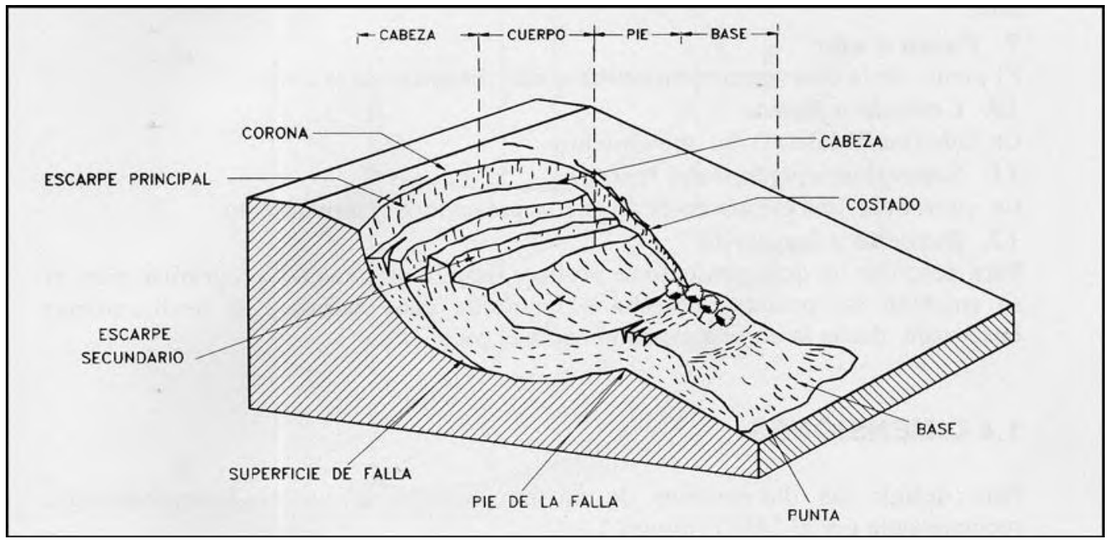


Fuente: Suárez, 1998

Una vez que una ladera sea afectada por un proceso gravitacional, esta puede modificar su conformación natural (figura 5.1.3.2.) quedando con rasgos específicos que delatan el tipo de proceso al que fue sometida. Una nomenclatura para describir las partes de una ladera modificada ha sido presentada por Suárez (1998) y a continuación se describe:

- **Escarpe principal**. Una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causada por el desplazamiento del material fuera del terreno original.
- **Escarpe secundario**. Superficie inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
- **Cabeza**. Partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Cima**. El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
- **Corona**. El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
- **Superficie de falla**. Área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado.
- **Pie de la superficie de falla**. Línea de intersección entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- **Base**. Área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
- **Punta o uña**. El punto de la base que se encuentra a mas distancia de la cima.
- **Costado o flanco**. Un lado del movimiento.
- **Superficie original del terreno**. Superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
- **Derecha e izquierda**. Deben utilizarse estas palabras refiriéndose al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.
-

Figura 5.1.3.2. Partes que componen una ladera afectada por un proceso de deslizamiento



Fuente: Suárez, 1998

La dinámica de la superficie de la Tierra puede observarse debido a que cualquier terreno que no sea horizontal está sujeto a una serie de fuerzas que tienden a nivelarlo y a otra serie de fuerzas que se oponen a ese cambio. La mayoría de las pendientes abruptas que existen en la naturaleza se han formado por diversos procesos geomorfológicos que actúan de manera individual o conjunta, siendo la erosión en general y los fenómenos de inestabilidad los que tienden a suavizar dichas pendientes.

Los movimientos de ladera, entendidos como fenómenos naturales de evolución del relieve terrestre, constituyen uno de los procesos geológicos más frecuentes que siempre han afectado la superficie de la Tierra y una de las amenazas naturales que en la actualidad han incrementado su presencia dentro del territorio nacional debido principalmente a la recurrente formación de fenómenos meteorológicos extraordinarios (SMN, 2007), a la generación de sismos, a procesos volcánicos y en muchos casos como respuesta a actividades antrópicas, como el caso de la inestabilidad de laderas debida a cortes carreteros. Los efectos socioeconómicos debido a estos movimientos de remoción son cada vez mayores debido al aumento en la vulnerabilidad social y a la múltiple variedad de procesos detonadores que los generan. En nuestro país existen zonas que con un solo evento han presentado de cientos a miles de procesos gravitacionales de diferentes magnitudes, tal es el caso de la Sierra Norte de Puebla (Lugo-Hubp 2001 y 2005).

Muchos son los términos que hacen referencia a este tipo de fenómenos naturales (Alcántara 2002), entre los que encontramos: deslizamientos, el término más común dado erróneamente por ser el tipo de proceso de remoción más explícito del conjunto, movimientos de masa dado por Hutchinson (1968), movimientos de ladera, procesos gravitacionales y procesos de remoción aplicados por Varnes (1958,1978), diferencia entre movimiento de masas y masas transportadas determinada por Brundsden (1984), y recientemente movimientos de terreno mencionado por Alcántara (2002). Todas las anteriores expresiones se refieren básicamente a los procesos que ocurren debido a la inestabilidad de las laderas y solo difieren, entre algunas cosas, en la inclusión o exclusión de algún tipo de proceso en particular, el medio de transporte, algún atributo o factor, la velocidad de movimiento, tamaño de las partículas movidas o simplemente en la objetividad del autor.

Por lo tanto, para el desarrollo de este Atlas de Riesgos para el Municipio de Autlán de Navarro, se considera a la Inestabilidad de Laderas como al conjunto de movimientos de materiales producto de los procesos que natural o antrópica, actúan en la superficie del relieve y que desencadenan condiciones de inestabilidad en la misma.

Debido a la gran variedad de clasificaciones que en la actualidad se presentan, se ha elegido seguir la agrupación que plantea Dikau et al. (1996), en la que se ven resumidos los diferentes trabajos que hasta esa fecha se habían realizado. El esquema puede ser visto a detalle en la Tabla 5.1.3.2.

Tabla 5.1.3.2. Clasificación de los proceso de remoción en masa

No.	Tipo de Movimiento	Subtipo
1	Caída o desprendimiento de suelo o roca	
2	Vuelco o desplome de suelo o roca	
3	Deslizamiento rotacional	Deslizamiento rotacional simple Deslizamiento rotacional múltiple Deslizamiento rotacional sucesivo
4	Deslizamiento traslacional	Deslizamiento traslacional o de bloques Deslizamiento de suelos Deslizamiento rocoso Deslizamiento de derrubios
5	Extensión lateral	Extensional lateral en roca Extensión lateral en suelos
6	Flujos	Flujos de rocas Flujos de derrubios Flujos de arena
7	Complejos	Alud o avalancha de roca Flujos deslizantes

Fuente: Dikau et al. (1996)

5.1.3.3. Descripción de la clasificación de los procesos de la Inestabilidad de Laderas

Los procesos que se llevan a cabo a partir de una ladera inestable se presentan los siguientes aspectos en donde ya existen casos de estudio en México.

- Caída o desprendimiento

Son movimientos de suelos y fragmentos aislados de rocas que pueden caer libremente, rodando o rebotando (Dikau et al., 1996). Es común observarlos en topografías abruptas y acantilados. La forma y volumen de los caídos depende de la naturaleza del material y del grado de alteración que presenten. Pueden clasificarse de acuerdo al tamaño de las partículas desprendidas y al origen y naturaleza del material del cual se generan (Whalley, 1984). Se presentan en materiales rocosos no consolidados o poco consolidados y en suelos.

- Vuelco o desplome

Consiste en una rotación hacia adelante de un macizo rocoso, derrubio o suelo teniendo un pivote o punto de rotación como referencia en el movimiento. Generalmente este modo de falla envuelve bloques columnares de material rocoso consolidado y poco consolidado o suelos que por su génesis desarrollan estructuras y formas susceptibles de fallar en la base, lo que genera el vuelco Dikau et al. (1996).

- Deslizamiento rotacional

Es un movimiento de material rocoso o de suelo pendiente abajo a lo largo de una superficie de falla de tipo cóncava. Varnes (1978) lo define como un movimiento rotatorio producido a lo largo de un eje paralelo al perfil de la ladera sobre una superficie cóncava que resulta ser la superficie de falla. A menudo la superficie puede observarse como circular pero no siempre lo es. Pueden dividirse de acuerdo al número de planos de falla similares o consecutivos que presente, o sea en rotacionales múltiples o consecutivos (Dikau et al., 1996). Un indicador de movimiento es la aparición de grietas de tensión en la corona o cabeza de la ladera principal o en laderas secundarias. Generalmente produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, formándose flujos por debajo del pie de la ladera. La superficie de falla está influenciada por las discontinuidades y es común encontrar este tipo de movimiento en suelos y rocas poco consolidadas o gravemente alteradas.

- Deslizamiento traslacional

El movimiento de la masa de suelo o roca se desplaza hacia abajo o hacia fuera a lo largo de una superficie más o menos plana con muy poco de rotación o volteo, (Suárez, 1998). En suelos pueden abarcar total o parcialmente el perfil del suelo pero en rocas pueden llegar a ser de un volumen considerable pues están definidos por las superficies de debilidad de las formaciones rocosas. Se clasifican de acuerdo al material que se desliza en deslizamientos de bloques, rocosos, en suelos y de derrubios (Dikau et al., 1996). Son los más inestables y comunes debido a que dependen de su control estructural y estado del material que los forme. En muchos de estos deslizamientos las masas pueden deformarse y romperse y llegar a convertirse en flujos.

- Extensión lateral

Movimientos laterales de masas en roca o suelo controlados por la extensión de fracturas de corte y tensión (deformación plástica de las rocas) (Dikau et al., 1996). El mecanismo de falla puede seguir movimientos de rotación, traslación y flujo. Son comunes en masas rocosas que se encuentran sobre suelos finos plásticos y en suelos finos sensitivos (arcillas y limos que pierden su resistencia al remoldearse), suelos marinos y de glaciares (Suárez, 1998).

- Flujos

Son movimientos de suelos, rocas o derrubios ladera abajo en donde las partículas o bloques tienen movimientos relativos con respecto a la masa global en movimiento que puede contener un porcentaje importante de matriz y pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos (Dikau et al., 1996). Están asociados a la saturación de los materiales subsuperficiales, es por ello que muchos deslizamientos pueden terminar como flujos de acuerdo al contenido de agua que la masa preexistente presente.

- Complejos

Es común que los procesos de remoción se combinen o que se conviertan en otro a medida que avanzan y como consecuencia generen un movimiento ladera abajo difícil de interpretar. Es por ello, que se ha creado el concepto de “complejo”, en el cual se logran identificar dos o más tipos principales de desplazamientos Suárez (1998). Dos ejemplos de este tipo de movimientos son los aludes o avalanchas y los flujos deslizantes (Dikau et al., 1996).

5.1.3.4. Los procesos de la Inestabilidad y movimiento de roca.

En la mayoría de los casos la estabilidad de las laderas en roca depende propiamente de la resistencia de la roca y de la resistencia al corte de los planos de discontinuidad que presentan, debido a esto, es aceptable que cada formación geológica posea una susceptibilidad específica a los procesos de remoción de acuerdo a las características físicas que muestren sus materiales. Entonces, para un macizo rocoso que generalmente está formado por varios tipos de rocas y que es considerado como un medio heterogéneo y discontinuo, el comportamiento mecánico debe ser diferente en cada material, por

consiguiente, pueden estudiarse las propiedades mecánicas de los tipos de roca y las características mecánicas de sus discontinuidades de manera individual y reagrupar esos valores en una aproximación en conjunto. Un acercamiento a este tipo de estimación de las condiciones de estabilidad la presenta Hoek et al. (1994) desarrollan una metodología para obtener un índice de calidad geomecánica para macizos rocosos con rango numérico de 0 a 100, basado en la identificación, descripción y clasificación de las características mecánicas de la estructura y superficies de discontinuidad.

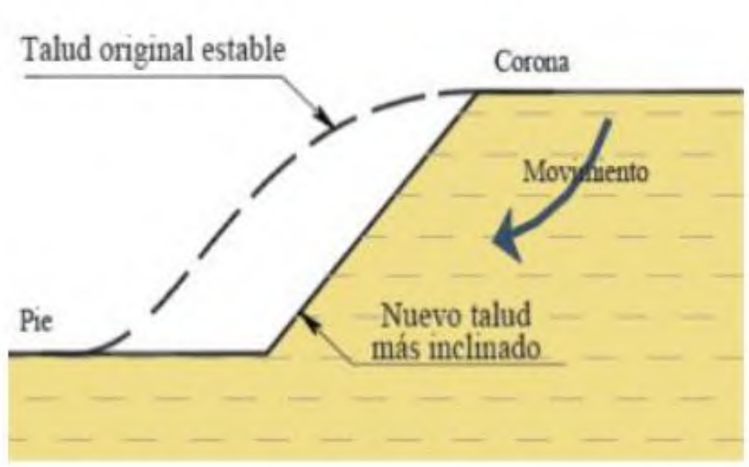
5.1.3.5. Factores detonantes en la inestabilidad de taludes

Cuando existe un incremento en los esfuerzos actuantes o una disminución de resistencia al esfuerzo cortante se produce la falla en un talud o ladera. La variación de estos factores, en general se debe a efectos naturales y actividad humana.

Según Muni Budhu (2007) los factores principales que afectan la estabilidad de un talud, natural o diseñado son:

- Erosión

El agua y el viento continuamente afectan a los taludes erosionándolos. La erosión modifica la geometría del talud y por tanto los esfuerzos a los que está sometido, resultando un talud diferente al inicialmente analizado o en una modificación de las condiciones que tenía como se puede apreciar en la Figura 5.1.3.3.



Fuente: Valladares, 2015

Figura 5.1.3.3. Efecto de la erosión en el talud

- Precipitación

Durante el periodo de lluvias, los taludes se ven afectados al saturarse los suelos que los forman, provocando un aumento de peso de la masa, una disminución en la resistencia al esfuerzo cortante y la erosión de la superficie expuesta. Al introducirse agua en las grietas que presente el talud se origina un incremento en las fuerzas actuantes o aparición de fuerzas de filtración, pudiendo provocar la falla del mismo como se aprecia en la Figura 5.1.3.4.

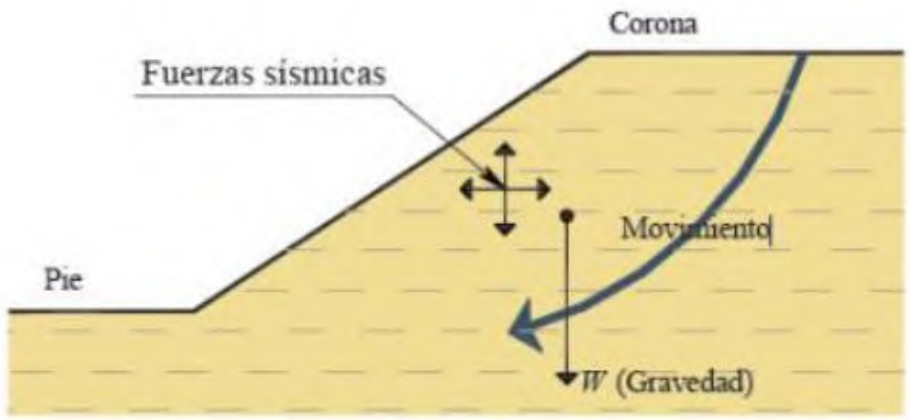
Figura 5.1.3.4. Talud sometido a lluvia

Fuente: Valladares, 2015

- Sismo

Los sismos suman fuerzas dinámicas a las fuerzas estáticas actuantes a las que está sometido un talud, provocando esfuerzos cortantes dinámicos que reducen la resistencia al esfuerzo cortante, debilitando al suelo. Un aumento en la presión de poro en taludes formados por materiales granulares pude provocar el fenómeno conocido como licuación (Figura 5.1.3.5).

Figura 5.1.3.5. Talud sometido a una fuerza sísmica

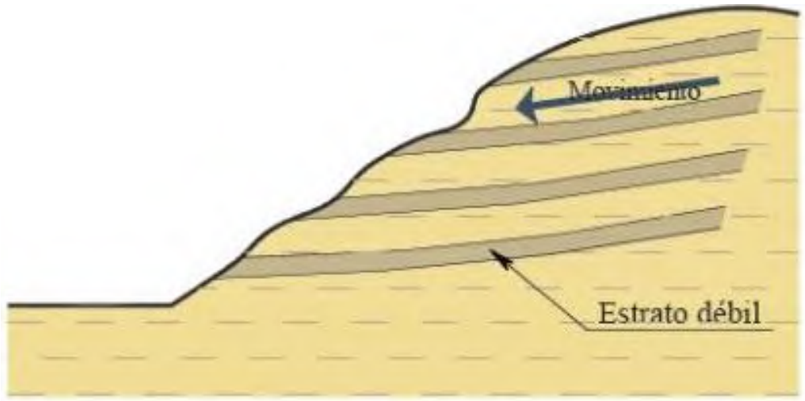


Fuente: Valladares, 2015

- Aspecto geológicos

Algunas fallas de taludes son provocadas por aspectos geológicos no detectados durante el levantamiento y exploración de campo, los cuales, al no ser considerados durante la evaluación de la estabilidad del talud, aumentan la incertidumbre del factor de seguridad calculado (Figura 5.1.3.6.).

Figura 5.1.3.6. Aspectos geológicos que pueden provocar una falla

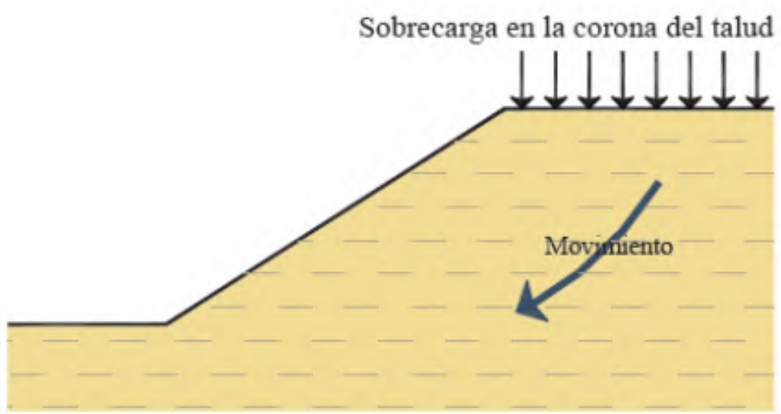


Fuente: Valladares, 2015

- Cargas externas

La aplicación de cargas sobre la corona del talud provocan un aumento en las fuerzas actuantes en la masa del suelo (generalmente ocasionada por el estableciendo de poblaciones en la cima de la ladera), lo cual puede llevar a la falla del talud si estas cargas no son controladas o tomadas en cuenta durante la evaluación de la estabilidad del talud (Figura 5.1.3.7.). En algunos casos esta situación se remedia mediante la excavación de una o más bermas en el cuerpo del talud, lo que reduce las fuerzas actuantes en éste.

Figura 5.1.3.7. Sobrecarga en la corona del talud



Fuente: Valladares, 2015

- Excavación y/o rellenos

La actividades de la construcción realizadas al pie de un talud o colocación de una sobrecarga en la corona, pueden causar la falla de éste al modificar la condición de esfuerzos a las que está sometido. Generalmente, estas actividades de construcción corresponden a trabajos donde se realizan excavaciones y/o rellenos.

Cuando se realiza una excavación al pie del talud, el esfuerzo total se disminuye, generando en el suelo un incremento negativo en la presión de poro. Durante el tiempo en que este incremento de presión de poro se disipada, puede presentarse la falla del talud al disminuir la resistencia al esfuerzo cortante del suelo (Figura 5.1.3.8).

Figura 5.1.3.8. Excavación en el pie de un talud

Fuente: Valladares, 2015

5.1.3.6. Antecedentes de los estudios en zonas propensas a deslizamiento en México

Aunque el estudio de la inestabilidad de laderas en México lleva ya varios años realizándose, sobre todo desde el punto de vista de la ingeniería en especial dentro de los campos de la geotécnia. Varias son las grandes obras que en las últimas décadas se han construido dentro del territorio nacional y que en cierto momento han recurrido a un estudio de estabilidad de los macizos rocosos en los que se edifica, ya sea por estar planeado dentro del mismo proyecto o por la activación de algún factor detonante dentro del sistema rocoso durante la fase de construcción.

Entre los estudios más importantes se tiene los realizados por Comisión Federal de Electricidad (CFE), Comisión Nacional del Agua (CNA) y Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) que son las instituciones nacionales que tienen a su cargo la construcción de presas, hidroeléctricas, túneles de conducción, obras subterráneas y carreteras. Unos ejemplos de estos tipos de trabajos pueden verse en los siguientes trabajos: Herrera y Reséndiz (1992) presentan el estudio de un deslizamiento de talud natural en materiales volcánicos de un millón de metros cúbicos que se produjo durante la construcción

de la hidroeléctrica Agua Prieta en el estado de Jalisco. García-Herrera (2002) muestra el análisis de un gran número de deslizamientos ocurridos durante la explotación de un tajo a cielo abierto de una mina de plata-plomo-zinc. Comisión Federal de Eelectricidad (1985) despliega el comportamiento de las presas construidas durante 1974-1984 haciendo referencia a los diversos problemas de inestabilidad de los taludes naturales en los que fueron construidas. Rendón-Huerta (1993) menciona algunos de los problemas geotécnicos que ocurrieron durante la construcción de los túneles del proyecto hidroeléctrico Zimapán.

Por otra parte, hace apenas unos años y como respuesta a la continua presencia de este tipo de fenómenos dentro del territorio nacional, se han venido desarrollando una serie de investigaciones referentes a dichos eventos. Muchas son las formas en las que se ha abordado el estudio de estas manifestaciones las cuales van desde el simple estudio de las condiciones geotécnicas de la zona para estabilizar caminos lo más pronto posible en comunidades afectadas, hasta publicaciones en las que no solo se analiza el tipo de movimiento ocurrido, sino que también se involucra el grado de peligro que estos eventos pueden generar, aún, considerando que este tipo de sucesos están sujetos a muchos grados de incertidumbre.

Uno de los primeros estudios corresponde al realizado en Meztitlán (Lugo-Hubp et al. 1993, 1996) el cual reconoce los factores que determinaron la ocurrencia de dichos procesos e identifican los mecanismos que contribuyeron a la inestabilidad. En 1996 el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) presenta un fascículo referente a los procesos de inestabilidad de laderas en donde se explica detalladamente el fenómeno, los tipos, el impacto dentro del territorio y las medidas preventivas.

Por otro lado, Cruz y Delgado (2000), estudiaron una serie de deslizamientos en la Carretera Tijuana-Ensenada, Baja California. Utilizando sondeos geotécnicos identificaron los horizontes litológicos que actúan como planos de deslizamiento en los movimientos que se tenían a lo largo de los cortes carreteros. Alcántara-Ayala (2000) ofrece una propuesta para el uso de los términos relacionados con los procesos de remoción de masas en México. Lugo-Hubp et al. (2001), publican por primera vez un análisis sobre los procesos gravitacionales en las montañas de Puebla a raíz del evento meteorológico de 1999. Vázquez-Conde et al. (2001) presentan un análisis de los efectos causados por la lluvia de 1999, mostrando periodos de retorno de más de 25 años para las regiones de la Sierra Norte de Puebla.

Flores-Lorenzo y Alcántara-Ayala (2002) marcan una cartografía morfogenética e identifican los movimientos de masas en Teziutlán. Arreygue-Rocha et al. (2002) desarrollan un análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe de la falla La Paloma, la cual debe principalmente su desequilibrio a eventos sísmicos. Capra et al. (2003) analiza las características de los movimientos de masas en el terreno volcánico de la ciudad de Teziutlán. En el mismo año, identifica los procesos de remoción para la zona de Zapotitlán de Méndez y describe la relación que guardan la litología y el tipo de movimiento. Capra et al. (2006) detalla la importancia del factor geológico dentro de los procesos de remoción de la Sierra Norte ejemplificando con el caso del deslizamiento ocurrido en Totomoxtla.

Como respuesta a la peculiaridad de dicho evento, se han desarrollado una serie de trabajos de tesis que abordan al igual que los trabajos mencionados anteriormente diferentes aspectos de estudio, Hernández-Mena (2002) desarrolla una descripción geológico-geotécnica de unos de los movimientos de mayor magnitud, identificando a los factores condicionantes y detonantes. Flores-Lorenzo (2002) realiza un trabajo sobre el riesgo debido a la inestabilidad de laderas en el área de Teziutlán. Borja-Baeza (2003) despliega un análisis de susceptibilidad y riesgos en la zona de Zacapoaxtla. Davila-Hernández (2003) presenta un mapa de susceptibilidad para la ciudad de Teziutlán. López-Mendoza (2003) genera un programa preventivo para la mitigación del desastre en el valle de Zapotitlán de Méndez. Marcos-López (2003) analiza espacialmente la distribución de los procesos en la parte de Tlatlauquitepec. Ochoa-Tejeda (2004) muestra una metodología de estudio para laderas inestables utilizando percepción remota. Cuanalo-Campos (2004) habla sobre los métodos correctivos para estabilizar movimientos en las laderas.

- Casos de Inestabilidad de Laderas ocasionada por factores externos

Los factores externos son determinantes en la presencia de inestabilidad de laderas, que a continuación se presentan algunos casos:

Alcántara-Ayala (2004) evalúa el riesgo que induce la caída de lluvia en los desprendimientos en México, mencionando el caso de la Sierra Norte. Lugo-Hubp et al. (2005) clasifican el relieve afectado por la lluvia de 1999 en el que identifica los principales tipos de procesos sus causas y efectos. Caballero et al. (2006) describen los efectos de un evento meteorológico extraordinario ocurrido en Septiembre de 1998 en Motozintla, Chiapas y caracterizan los procesos de remoción detallando la descripción de los principales depósitos de flujo que afectaron la zona.

Por otra parte, Keefer et al. (2006) presentan los procesos de inestabilidad que un sismo de magnitud 7 en el 2003 generó en las laderas de los alrededores de los volcanes Nevado y de Fuego hasta llegar casi a las laderas de las costas de Manzanillo, Colima. García-Palomo, et al. (2006) presentan un inventario de 206 sitios por peligro a deslizamiento en la Sierra de Guadalupe identificando los principales mecanismos de falla.

.

5.1.3.7. Información histórica de deslizamientos en Autlán de Navarro.

Los procesos que ocasionan la inestabilidad de laderas en su modalidad de deslizamientos en el Municipio de de Autlán de Navarro, están determinados por dos tipos de factores; externos e internos. Los factores externos ocasionan un incremento en los esfuerzos o acciones que se dan en una ladera, es decir, producen una mayor concentración de las fuerzas motoras o auctuantes, mientras que los factores internos reducen la resistencia de los materiales, en otras palabras, disminuyen la concentración de fuerzas resistentes.

Los mecanismos observados en el trabajo de campo de los deslizamientos e información histórica en el Municipio y Cabecera especialmente (Figuras 5.1.3.9 y 5.1.5.10.), comprenden distintos movimientos de laderas y deslizamientos que se reflejan a través de su morfología, es decir, mediante la disposición de las formas que se originan y permanecen en la superficie del terreno durante y después del movimiento. Los rasgos principales son la corona o zona superior en donde se observan deslizamientos, descubrimiento del suelo en raíces de árboles. La corona o superficie superior, donde el material ha sido desplazado; el escarpe que es la superficie abrupta localizada en la parte superior que resulta del movimiento, que es la zona que delimita la masa en movimiento; y la zona de acumulación o depósito del material desplazado.

5.1.3.8. Trabajo de Campo: La inestabilidad de ladera en deslizamientos para el Municipio de Autlán de Navarro.

El trabajo de campo desarrollado se ha identificado diversos elementos detonadores para que las laderas se conviertan en procesos de deslizamientos. Si se considera al peligro como un producto relacionado con la actividad humana, se puede pensar que eventos como deslizamientos, pueden intensificarse por las prácticas humanas, como por ejemplo la falta de controles en los sistemas de construcción, las prácticas agrícolas inadecuadas y la tala indiscriminada de los bosques que junto con los procesos de erosión son fundamentales en los deslizamientos de laderas o derrumbes o caídos de bloques.

Como resultado se obtiene que las intervenciones humanas puedan aumentar o disminuir el riesgo, es decir acelerar o retardar un proceso de desarrollo; esta aseveración es importante en tanto que la gestión de riesgo es un proceso social complejo cuya finalidad es la reducción permanente del riesgo de desastres en la sociedad, integrada a lograr mejores condiciones de desarrollo humano.

Se localizaron procesos de deslizamiento en diversas localidades del Municipio como son:

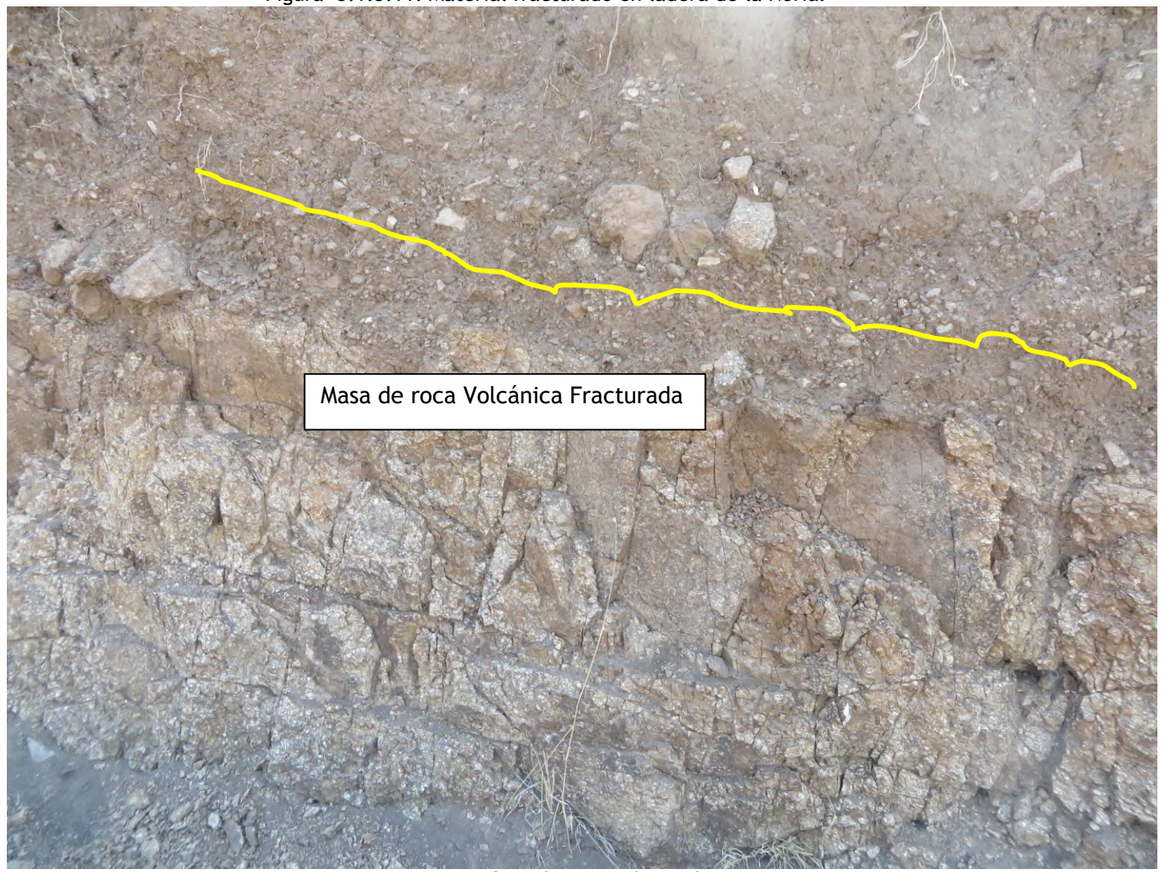
- Cabecera Municipal
- Agua hedionda
- El Corcovado
- La Noria
- La tronconera
- La cañada
- Rincon de Luisa

La dinámica de los procesos de deslizamientos de laderas se ve reflejada en su grado de estabilidad o inestabilidad de tal forma que las laderas presentarán distintas características dependiendo no sólo de las condiciones actuales, sino de los procesos que han actuado en ellas a través del tiempo.

La inestabilidad de las laderas no es permanente. Los movimientos del terreno pueden evolucionar hasta un punto en el que se restablecen las condiciones naturales de equilibrio. El intervalo de tiempo entre la inestabilidad y la estabilidad varía dependiendo de los materiales involucrados y de los factores condicionantes de la misma. En algunos casos es posible detectar los movimientos que han ocurrido en la superficie del terreno natural, si los rasgos morfológicos de la ladera no han sido erosionados. Sin embargo, en ocasiones es muy difícil detectar zonas que han sido inestables con anterioridad. Cuando ha existido un movimiento de ladera en un lugar determinado, siempre existirá la posibilidad de que este se reactive (Cenapred, 2001).

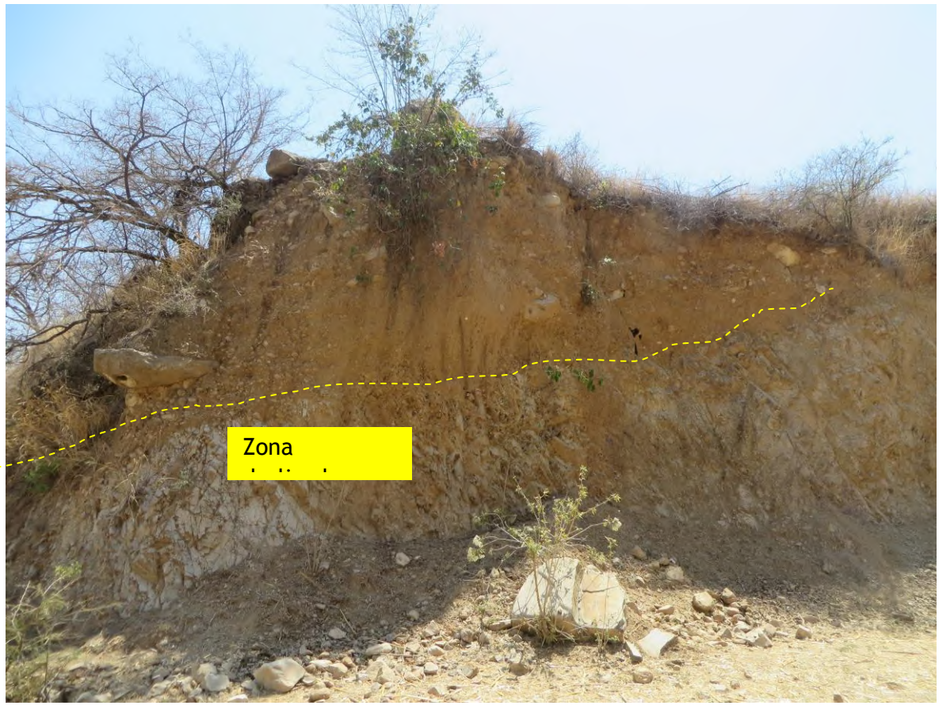
En el caso del Municipio de Autlán de Navarro el tipo de material se encuentra rocoso de tipo volcánico muy fracturado con alto grado de metamorfismo y erosión como se muestra en las figuras 5.1.3.11., 5.1.3.12. y 5.1.3.13.

Figura 5.1.3.11. Material fracturado en ladera de la Noria.



Fuente: HAB-Consultores Ambientales.

Figura 5.1.3.12. Zona deslizada en el Jolocote



Fuente: HAB-Consultores Ambientales 2017

Figura 5.1.3.13. Deslizamiento en la corona de la ladera en el Corcovado.

Fuente: HAB- Consultores Ambientales 2017

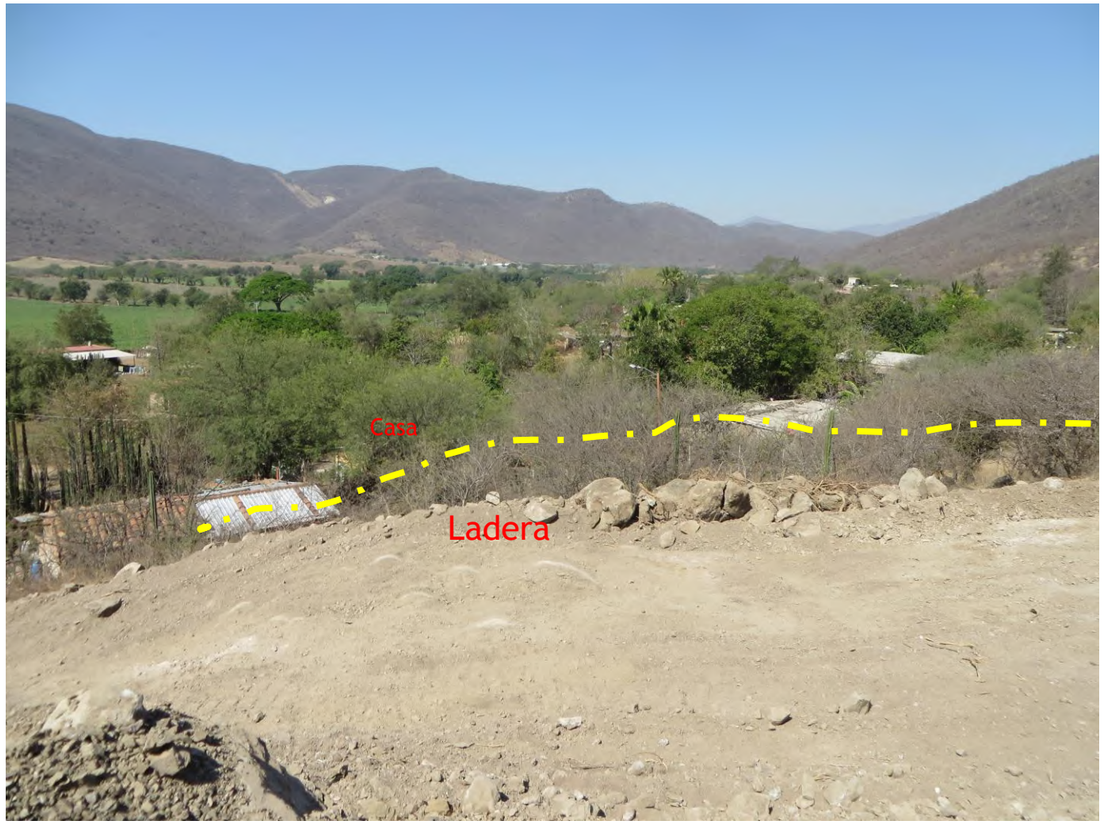
El esquema antes mencionado corresponde a un movimiento idealizado. La naturaleza es mucho más complicado y no siempre será posible la identificación de todos estos elementos. De hecho los movimientos de ladera tienden a ser complejos. Su mismo desarrollo, en ocasiones, inhibe la formación y por ende la identificación de sus rasgos morfológicos. (Cenapred, 2001).

Los deslizamientos de laderas naturales pueden causar daños que se manifiestan de varias maneras. Este hecho permite establecer algunas estrategias para percibir a simple vista cuándo se está iniciando o se encuentra en proceso franco de desarrollo algún movimiento del terreno. Por está razón, es importante estar alerta y advertir las modificaciones que ocurren alrededor de una ladera. De esta manera es posible protegerse desde el primer momento en que se presente este tipo de peligros naturales (Cenapred, 2001). Cuando las laderas se encuentran pobladas por el hombre como es el caso de la Cabecera Municipal de Autlán, se corre el riesgo del deslizamiento por el cambio de la morfología, realizando cortes incontrolados (Figura 5.1.3.14) o población cerca de ladera con material suelto y roca fracturada como en la Noria (Figura 5.1.3.15). En agua Hedionda se presenta el mismo caso con deslizamiento de ladera sobre una telesecundaria (Figura 5.1.3.16).

Figura 5.1.3.14. Población ubicada en ladera en Peligro a deslizarse en la Cabecera Municipal.

Fuente: HAB-Consultores Ambientales, 2017.

Figura 5.1.3.15. Casas en peligro por la cercanía de ladera con material débil y suelto en la Noria.



Fuente: HAB-Consultores Ambientales, 2017

Figura 5.1.3.16. Ladera propensa a desplazarse sobre una Telesecundaria en la Localidad de Agua Hedionda

Fuente: HAB - Consultores Ambientales, 2017.

Nivel de Análisis 2

5.1.3.9. Elaboración de Cartografía Especializada

El inventario de laderas inestables en el Municipio fue una herramienta fundamental para la generación de cartografía de inestabilidad de laderas (Hansen, 1984; Parise, 2000), y en particular para la evaluación de amenazas; este puede ser definido como la relación ordenada de la ocurrencia y características de los procesos de desplazamiento en masa en un territorio determinado (Alcántara y Murillo, 2008).

El análisis de susceptibilidad aquí presentado requirió la elaboración de un inventario, el cual fue realizado con base en dos procedimientos. El primero de ellos fue a través de observación directa en campo y la recolección de los respectivos datos con el uso de un sistema de posicionamiento global (GPS). El segundo, mediante el uso de imágenes de satélite, que junto con *Google Earth* y el sistema de información geográfica (SIG) ArcGis fueron fundamentales para la generación de los datos.

La observación de campo y uso de GPS incluyo recorridos en todos los sitios señalados como propensos a deslizamiento.

Para llevar a cabo la aplicación del análisis Multicriterio, los parámetros empleados se derivan de la elaboración de cartografía adecuada de ocho capas de información geográfica.

Mapas Temáticos

a) Geología

Mediante uso del software ArcGis. Se utilizaron como base dos cartas geológicas – mineras en formato digital del Servicio Geológico Mexicano (SGM); las hojas Casimiro Castillo E13-B22 (SGM, 2000), El Chante E13-B23, Autlán de Navarro E13-B12, El Grullo E13-B13 y Ayutla F13-D82. Dichas cartas fueron georreferenciadas y digitalizadas para posteriormente generar una capa de información en formato vectorial, la cual finalmente se transformo en formato raster (Figura 5.1.3.9.a).Utilizando datos correspondientes se obtuvieron las siguientes capas para realizar el análisis multicriterio.

1. Suelos
2. Uso de suelo
3. Pendiente
4. Densidad de disección
5. Profundidad de disección
6. Geometría de Ladera
7. Orientación de ladera

Las clases o unidades de cada parámetro o capa de información se agruparan en tres categorías con base en su influencia en la inestabilidad del terreno. La asignación de los rangos en el tipo de rocas se realizó de acuerdo con las características físicas de tipo de materiales en el área de estudio, tales como geología, suelos y geometría de laderas.

Posterior a la clasificación de las unidades de cada capa de información, se procedió a realizar la suma de todas las capas de información (Figura 5.1.3.17). Se añadió la influencia de la inestabilidad de laderas de cada clase tomando en cuenta el peso específico de cada capa, y finalmente se obtuvo el mapa de susceptibilidad de laderas o procesos de remoción en masa a nivel del municipio, categorizada en cinco rangos: muy baja, baja, media, alta y muy alta. A la clasificación de las unidades de cada capa de información, se procedió a realizar la suma de todas las capas de información. Se añadió la influencia de la inestabilidad de laderas de cada clase tomando en cuenta el peso de cada capa, y finalmente obtener el mapa de peligros y zonas susceptibles a generar procesos de remoción en masa o deslizamientos.

5.1.3.10. Memoria de Cálculo.

La memoria de cálculo para determinar las laderas susceptibles a deslizamientos se uso la metodología de análisis multicriterio (Galindo y Alcantara, 2014).

Análisis Multicriterio para estimar el peligro por deslizamiento de laderas

Es una herramienta de análisis en la toma de decisiones que ha sido desarrollado y empleado desde la década de los sesenta. Este considera la influencia de diversos parámetros simultáneamente sobre un proceso o fenómeno en forma numérica, tomando en cuenta la opinión de especialistas involucrados en el tema, con esto es posible identificar la importancia de cada uno de los parámetros. En los últimos años, la aplicación de esta herramienta se ha incrementado con el uso de los SIG, principalmente en aspectos de riesgos volcánicos, identificación de áreas para restauración ecológica (Geneletti, 2007), determinar zonas de susceptibilidad por deslizamiento de laderas (Komac, 2006; Castellanos y Borja y Alcántara, 2009; Flores y Alcántara, 2012), entre otras aplicaciones.

Para llevar a cabo la aplicación del análisis multicriterio, los parámetros empleados fueron derivados de la elaboración o adecuación de ocho capas de información geográfica: tipo de roca, suelos, uso de suelo, pendiente, densidad de disección, profundidad de disección, geometría y orientación de la ladera. Posteriormente, de acuerdo con Saaty (1984), se estableció una escala común de clasificación para cada parámetro o factor; la cual se basa en una técnica de comparación por pares para desarrollar un conjunto de pesos de cada parámetro mediante una entrevista realizada con especialistas en el tema. Una vez concluidas las entrevistas, se calculo el peso específico. El proceso de asignación de pesos considera que la problemática tiene un valor igual a 100, los valores de peso deben estar entre 0 y 100, la suma total de los valores debe ser 100 (Caloni, 2010). Posteriormente se obtuvo el peso específico de cada factor y se represento en porcentaje.

Posterior a la clasificación de las unidades de cada capa de información, se procedió a realizar la suma de todas las capas de información. Se añadió la influencia de la inestabilidad de laderas de cada clase tomando en cuenta el peso específico de cada capa, y finalmente se obtuvo el mapa de susceptibilidad de laderas o procesos de remoción en masa a nivel de la Municipal, categorizada en cinco rangos: muy baja, baja, media, alta y muy alta. A la clasificación de las unidades de cada capa de información, se procedió a realizar la suma de todas las capas de información. Se añadió la influencia de la inestabilidad de laderas de cada clase tomando en cuenta el peso de cada capa, y finalmente obtener el mapa de peligros y zonas susceptibles a generar procesos de remoción en masa, se muestran los mapas fuentes y normalizados de acuerdo a los pesos establecidos por el especialista, para cada una de las variables trabajadas, que se muestran en las foguras 5.1.3.18 a 5.1.3.26.

Definición de temas de acuerdo con la opinión de los especialistas encuestados con base en el análisis multicriterio.

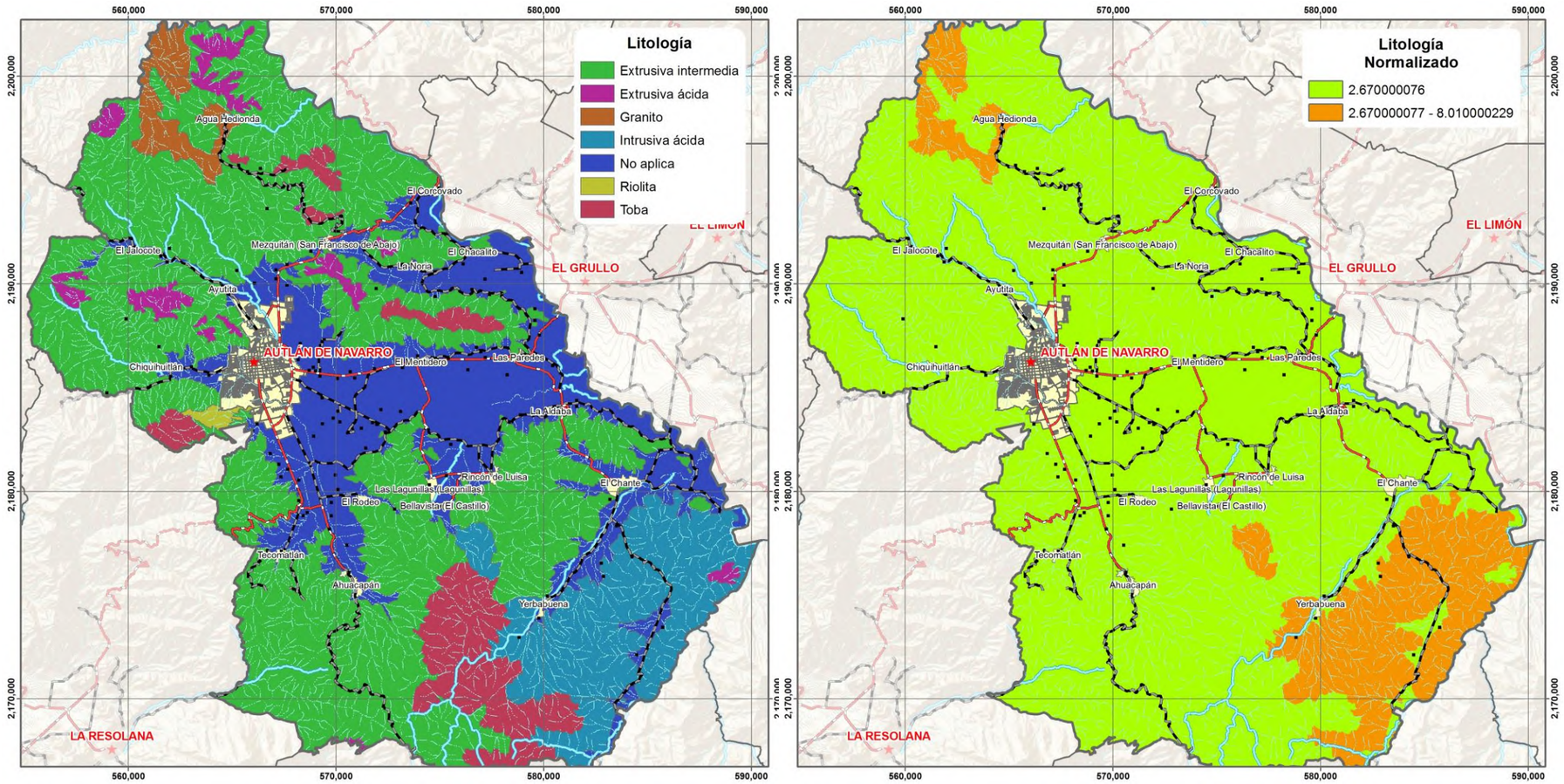
Tema	%
Geología	26.7
Pendiente	25.5
Densidad de disección	11.9
Profundidad de disección	11
Geometría del relieve	8.9
Cobertura de suelo	6.4
Orientación de pendiente	5.9
Edafología	4.4
Total	100

Fuente: HAB. Consultoría Ambiental

La cartografía obtenida llevando a cabo todo el proceso metodológico en función de lo que se explicó anteriormente se muestra en las siguientes figuras

Geología	%	Normalización
Extrusiva ácida	10	2.67
Extrusiva intermedia	10	2.67
Granito	30	8.01
Intrusiva ácida	30	8.01
Riolita	10	2.67
Toba	10	2.67

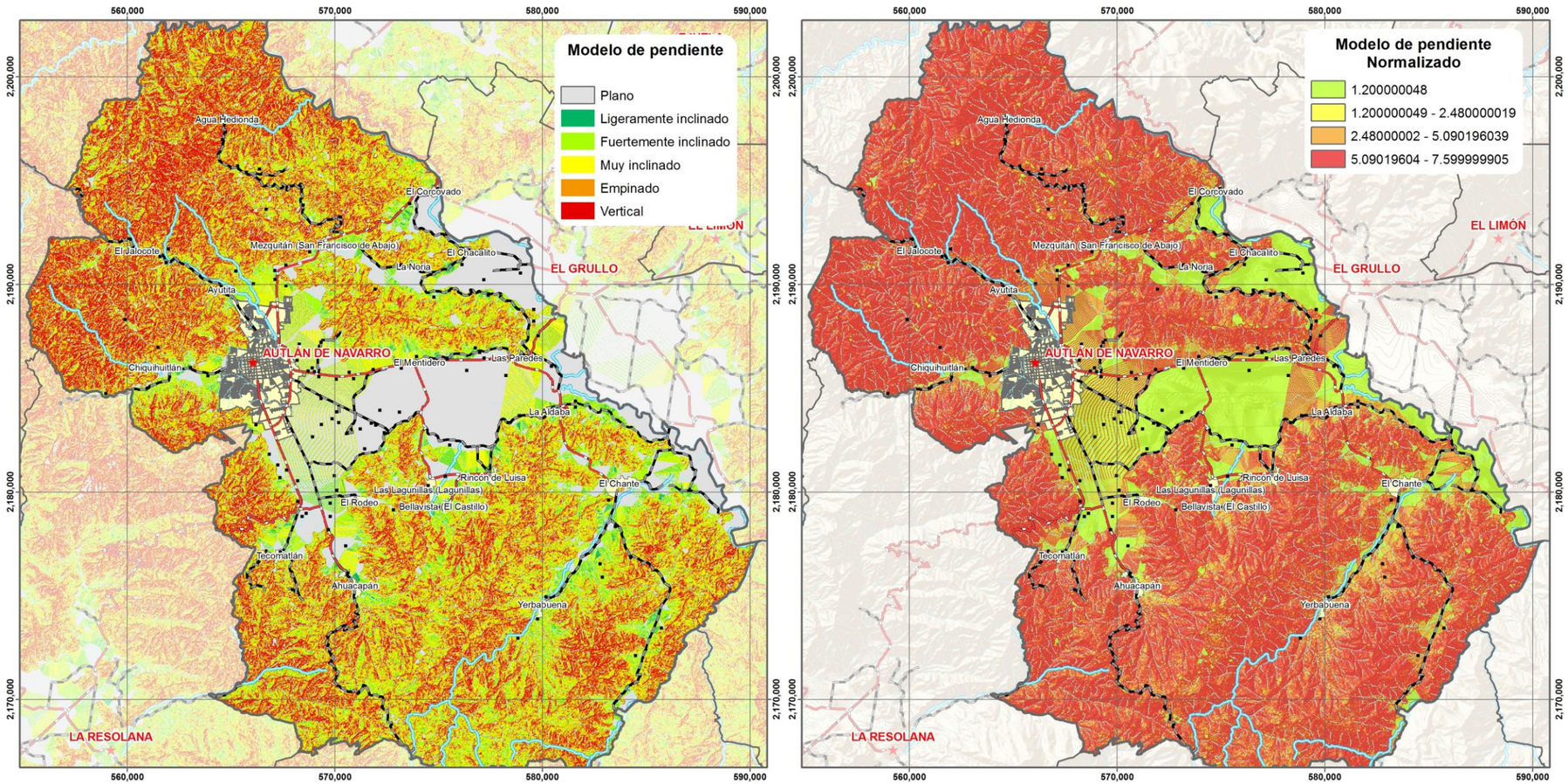
Figura 5.1.3.19 Mapas de Litología fuente y normalizado



Fuente: HAB- Consultoría Ambiental

Pendiente	%	Normalización
0-2°	5	1.2
2°-5°	5	1.2
5°-15°	10	2.5
15°-35°	20	5.1
35°-55°	30	7.6
55°-90°	30	7.6

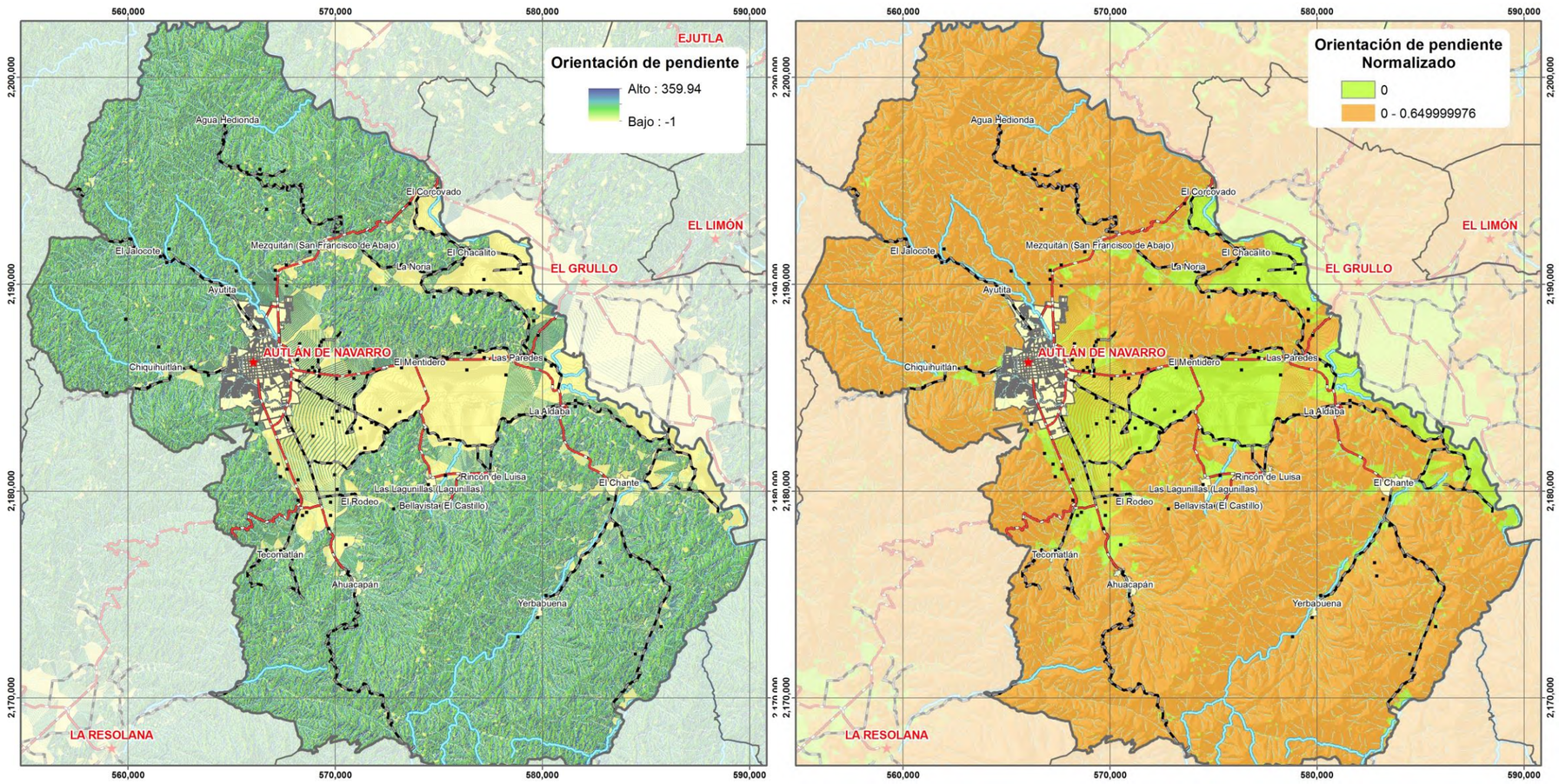
Figura 5.1.3.20. Mapas de Pendientes fuente y Normalizado



Fuente: HAB- Consultoría Ambiental

Figura 5.1.3.21. Mapas Orientación de Pendiente fuente y Normalizado.

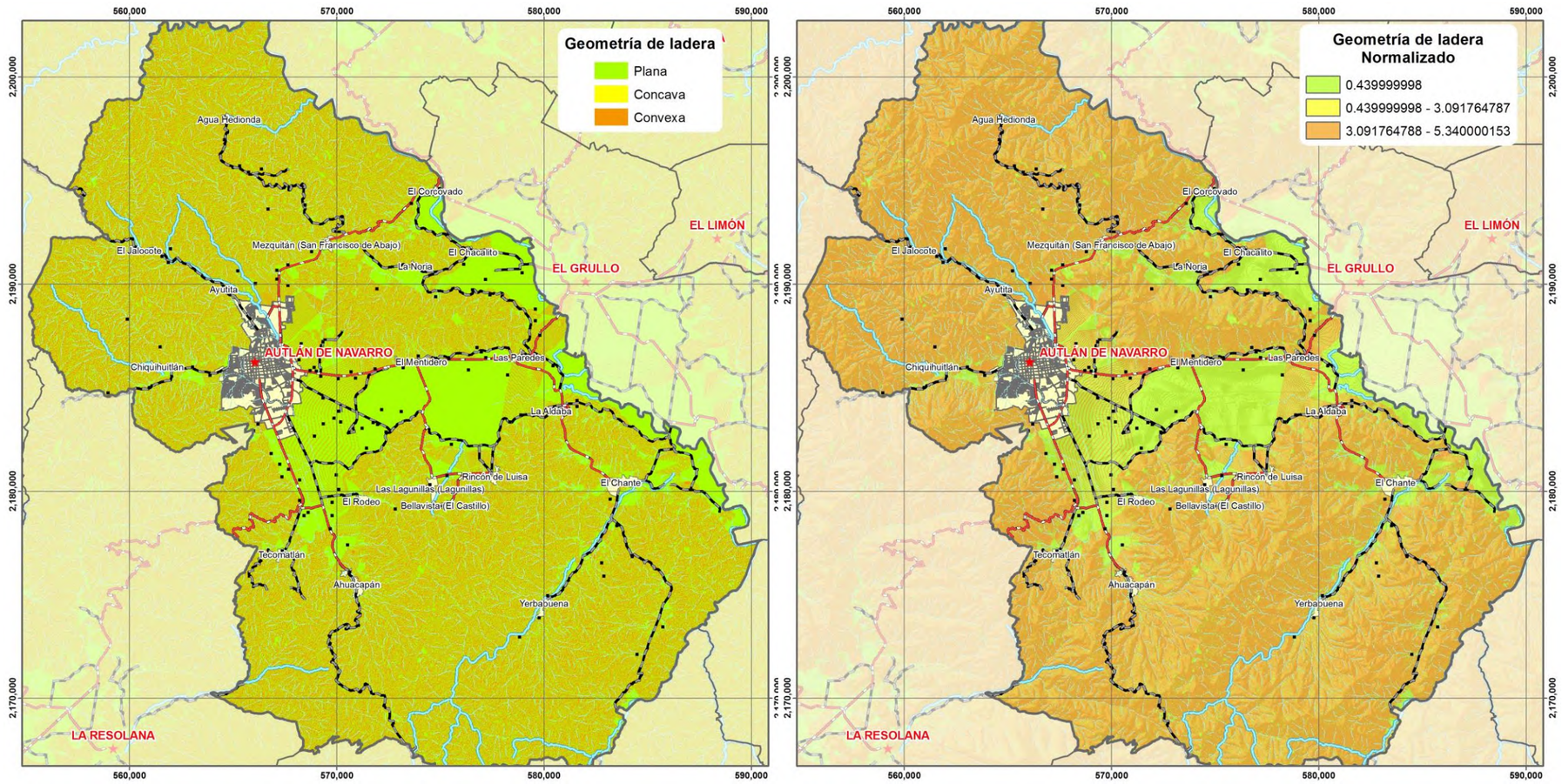
Orientación de pendiente	%	Normalización
NE	16	0.65
E	16	0.65
SE	16	0.65
SO	16	0.65
O	16	0.65
NO	16	0.65



Fuente: HAB- Consultoría Ambiental

Figura 5.1.3.22. Mapas Geometría de Ladera fuente y Normalizado

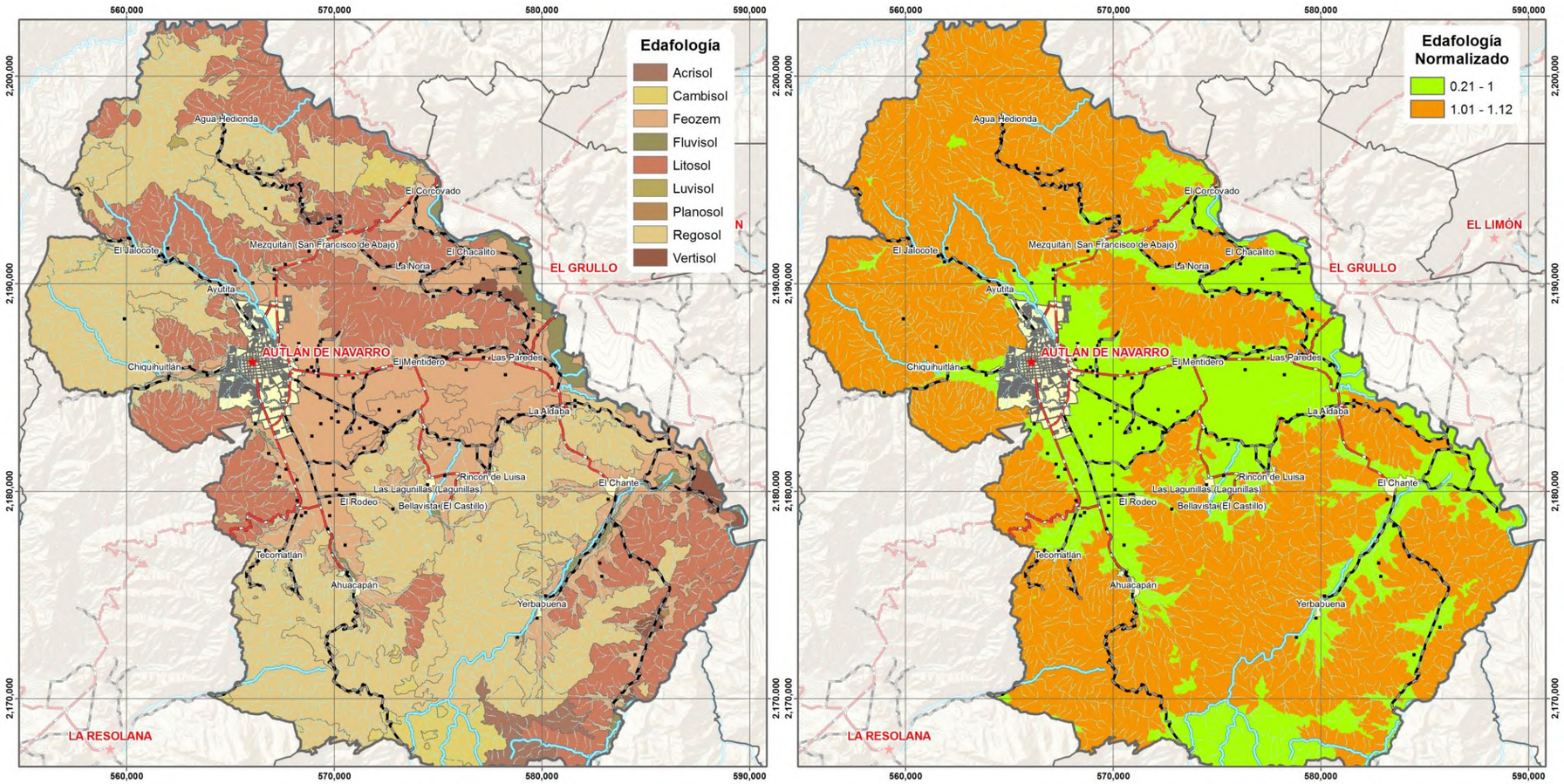
Geometría del relieve	%	Normalización
Concava	60	5.34
Convexa	35	3.11
Plana	5	0.4



Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Figura 5.1.3.23. Mapas de Edafología fuente y normalizado

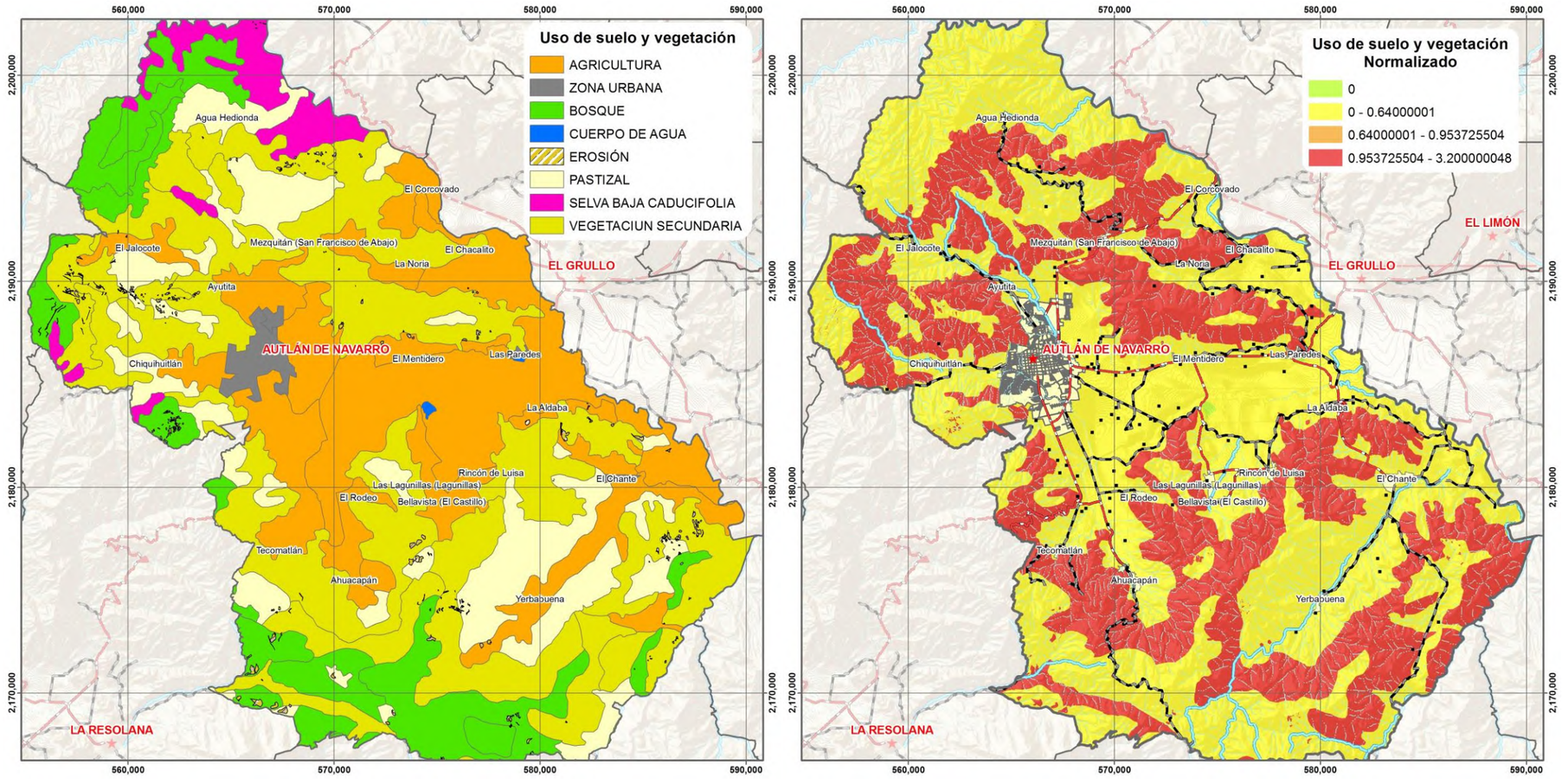
Edafología	%	Normalización
Acrisol	5	0.22
Cambisol	10	0.44
Feozem	10	0.44
Fluvisol	10	0.44
Litosol	25	1.1
Luvisol	5	0.22
Planosol	5	0.22
Regosol	25	1.1
Vertisol	5	0.22



Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Figura 5.1.3.24. Uso de Suelo y Vegetación fuente y normalizado

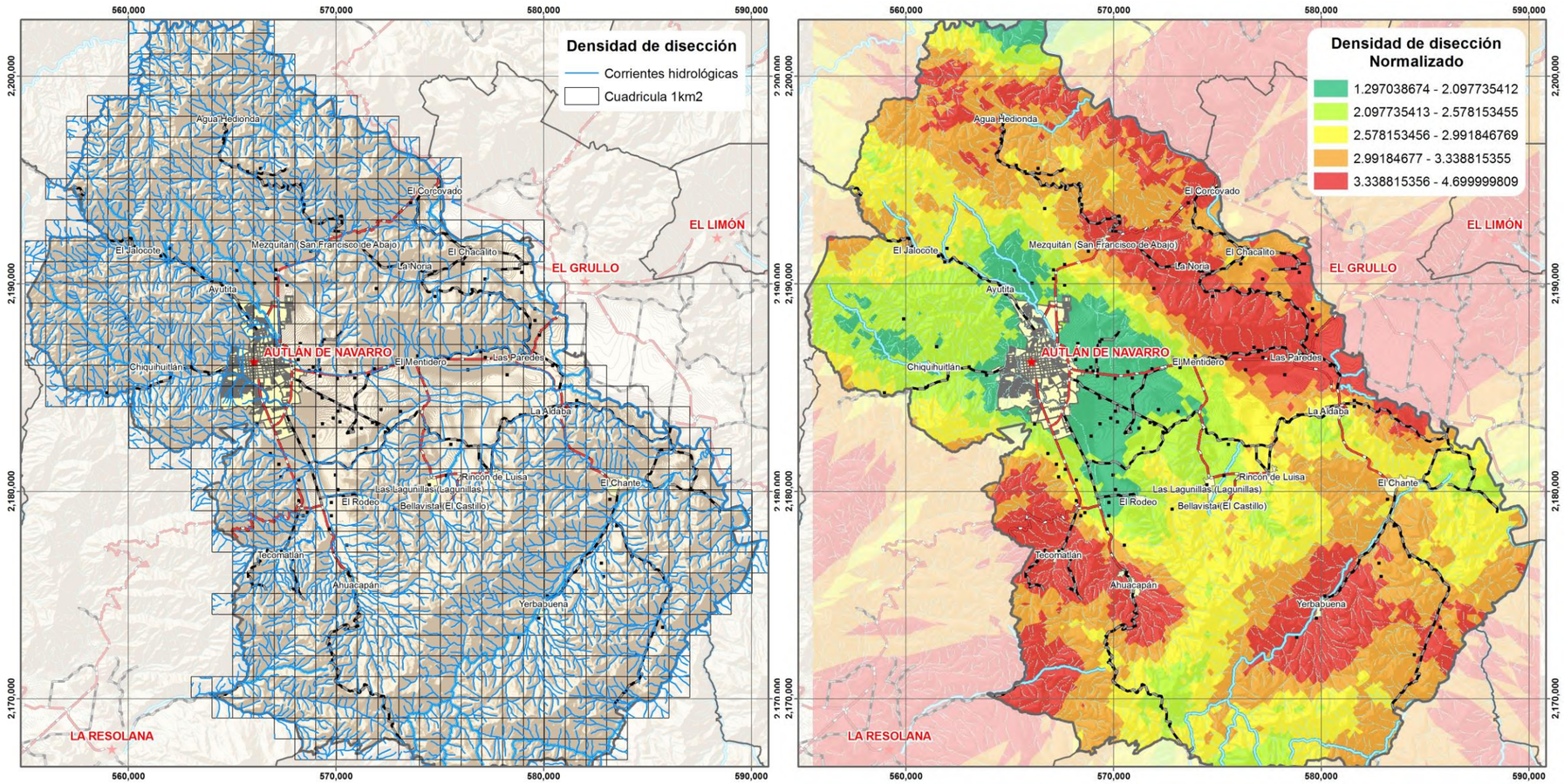
Cobertura de suelo	%	Normalización
Agricultura	10	0.64
Urbano	5	0.32
Bosque	5	0.32
Selva Caducifolia	5	0.32
Vegetación secundaría	15	0.96
Zonas de erosión	50	3.2
Pastizal	10	0.64



Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Figura 5.1.3.25. Mapas de la densidad de disección fuente y normalizado

Densidad de disección	%	Normalización
Bajo	10	1.1
Medio	20	2.3
Alto	30	3.5
Muy Alto	40	4.7



Fuente: HAB- Consultoría Ambiental

Profundidad de disección	%	Normalización
Muy bajo	5	0.55
Bajo	10	1.1
Medio	15	1.6
Alto	30	3.3
Muy Alto	40	4.4

Figuras 5.1.3.26. Disección Vertical Fuente y Normalizado

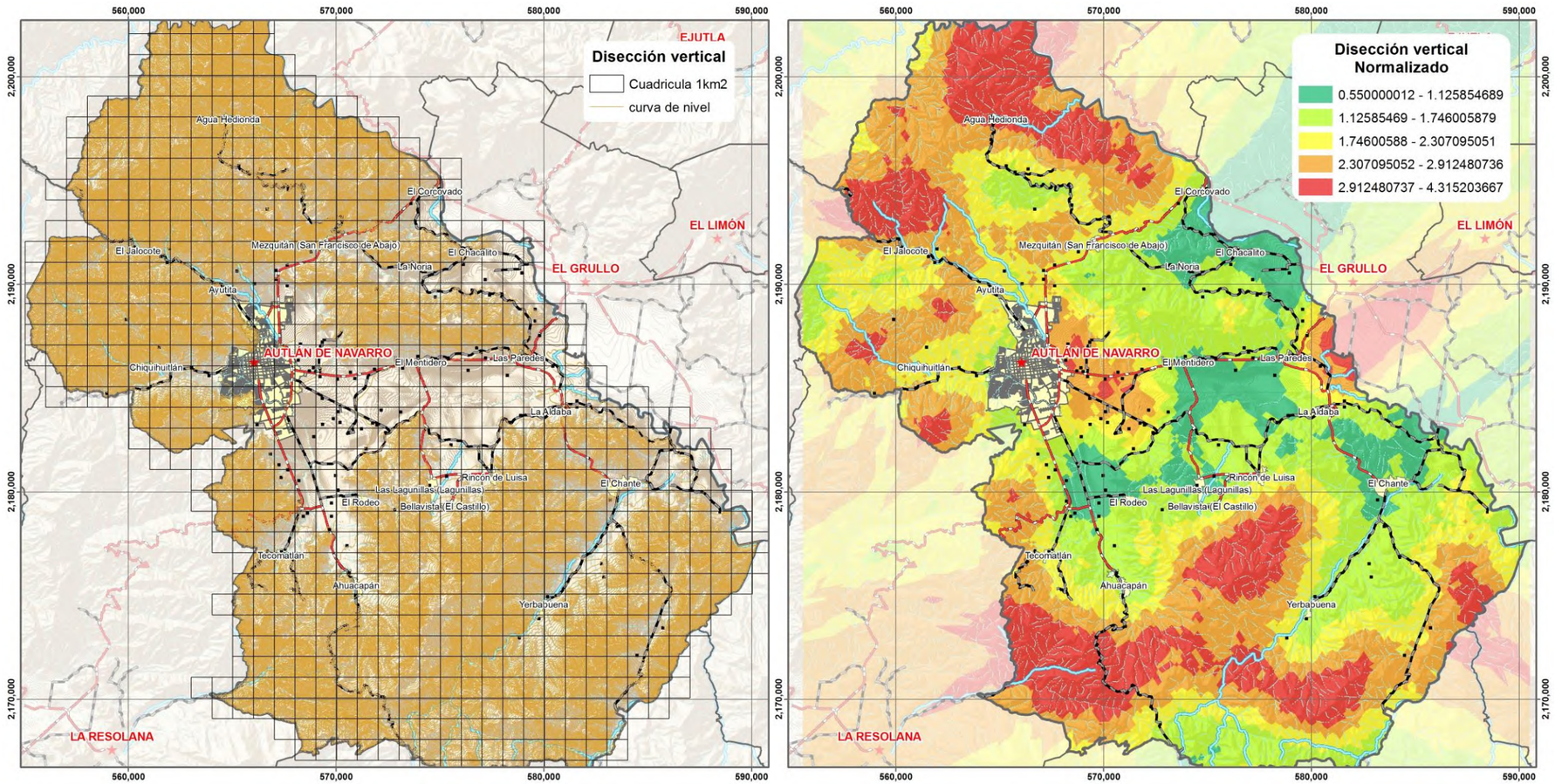


Figura 5.1.3.18.Trabajo de campo Normalizado

Fuente: HAB- Consultoría Ambiental

Fuente: HAB- Consultoría Ambiental

5.1.3.11. Mapa del Peligro por Inestabilidad de ladera (Deslizamiento) para el Municipio de Autlán

Como se mencionó anteriormente, las zonas montañosas son las más propensas a la generación de deslizamientos, es por eso que estos se registran en las partes más elevadas de la región, en zonas con pendientes escarpadas que favorecen a los movimientos gravitatorios.

Los deslizamientos en el Municipio de Autlán de Navarro, se ocasionan por ocurrencia de sismos, periodos de precipitación, erosión y cortes incontrolados para la urbanización de laderas, estos generan movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera como lo menciona cenapred en su publicación del 2006. Por la forma de la superficie de falla, se distinguen en:

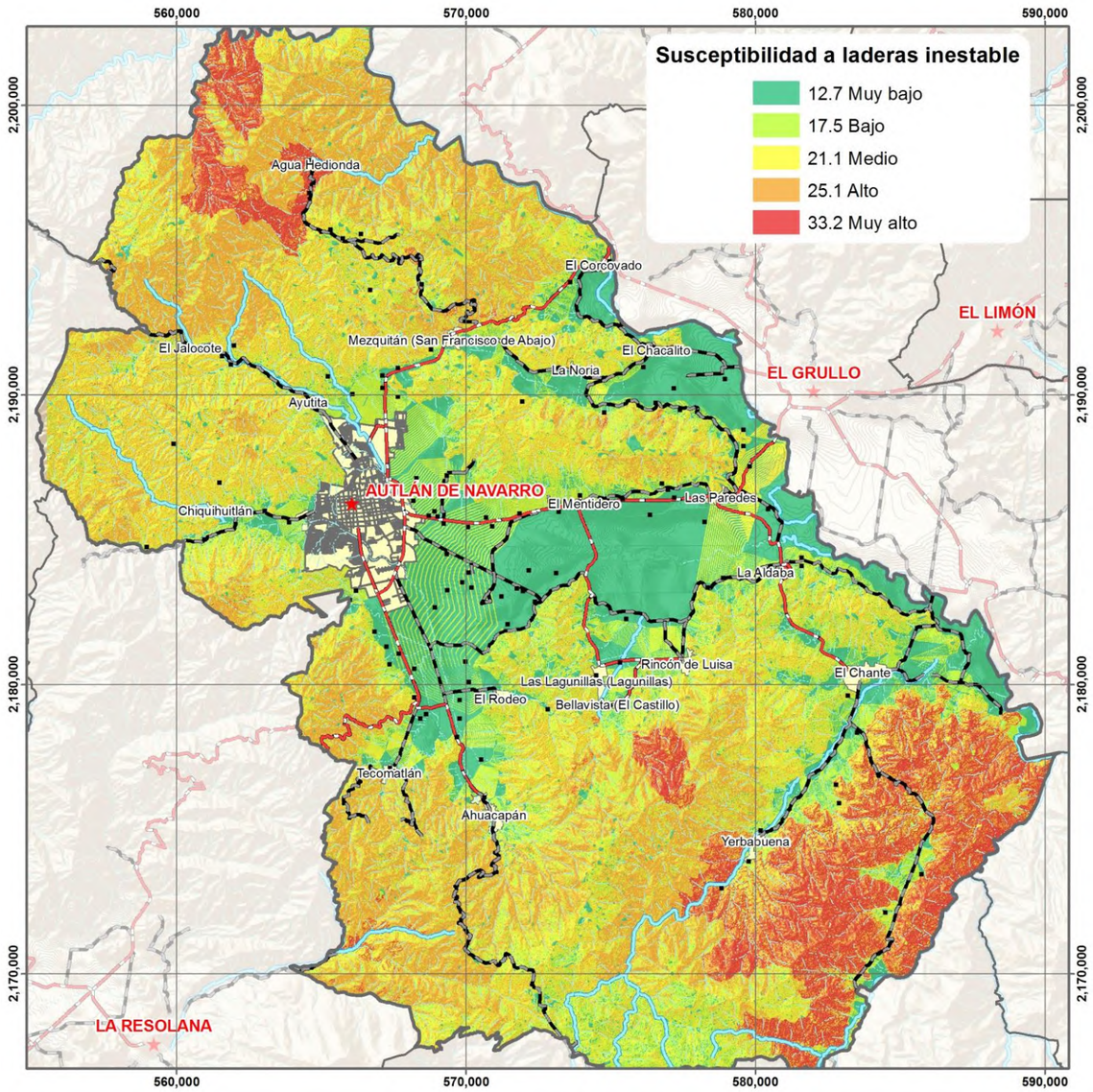
Rotacionales: Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava (forma de cuchara), definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima de su centro de gravedad.

Traslacionales: Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplazan hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie de falla más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo.

Para la zonificación de deslizamientos por falla plana ó deslizamientos traslacionales, en el Municipio de Autlán, se tomaron en cuenta los parámetros descritos a detalle en los antecedentes descritos en el origen del fenómeno, en este caso el factor determinante para que se generen este tipo de movimientos es la relación estructural, por lo que aún cuando todos los parámetros involucrados resulten desfavorables si no se cumplen las condiciones de que el buzamiento de la discontinuidad principal sea menor que el de la pendiente o talud, se incline a favor de ella y que los rumbos entre estos sean paralelos o subparalelos (+ 20°), el movimiento resultante no será de tipo de falla plana.

El análisis de deslizamiento por falla plana, arrojó como resultado zonas que podrían ser propensas a que este tipo de inestabilidad se presente, las cuales se restringen a la zona de montaña, donde la litología de forma general está constituida por material volcánico. La litología juega un papel importante al momento de considerar una zona con posible peligro por deslizamientos, Otro factor importante a considerar son las elevaciones del área, con pendientes que van de moderadas a abruptas mayores a los 45°. (Figura 5.1.3. 27)

Figura 5.1.3.27. Zonas susceptibles a deslizarse debido a laderas inestables en el Municipio de Autlán



Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

Análisis de Resultados por peligro de Inestabilidad de laderas Deslizamientos

El impacto de los procesos de inestabilidad de laderas en el Municipio de Autlán de Navarro es muy variado; en caso de la ocurrencia puede incluir la pérdida de vidas humanas, la generación de daños materiales cuantiosos, y la interrupción de caminos y líneas de transmisión, etc., es por eso que cobra importancia el estimar la vulnerabilidad, es decir, el grado de exposición en función de vidas o bienes materiales, pérdida de vidas o grado de daños de los elementos expuestos, para esto es necesario que se definan las interacciones entre el fenómeno y los elementos expuestos a fin de establecer funciones de daño.

Cabe mencionar que se está considerando un escenario con probabilidades de ocurrir, es decir, la cantidad será representativa si todas las viviendas sufriesen afectación en un mismo evento. Localidades como Agua Hedionda se presentan en alto grado los deslizamientos, asimismo en la yerbabuena y la Cabecera Municipal.

Localidades como el Corcovado , la Nora y San Francisco de Abajo, se identifican en el Mapa de Peligro por inestabilidad de laderas en deslizamientos una intensidad de Peligro Medio.

Dentro de la zona de estudio se reconocieron que durante las lluvias generadas por un Huracán o época de lluvia es más propensó la presencia la frecuencia de los deslizamientos en los sitios identificados. La localización y descripción de los fenómenos se realizó en dos grupos: el de los ocurridos propiamente en roca (materiales de mayor competencia) y el de los ocurridos en materiales menos competentes. En particular en esta categoría se incluye material incoherente, sea de origen volcánico y material muy fracturado e intemperizado, incluyendo suelos. De estos dos conjuntos se identificaron en suelos (depósitos volcánicos o rocas severamente erosionadas y fracturadas). Los movimientos encontrados en el área corresponden mayormente según la clasificación de Dikau et al (1996) con procesos de deslizamientos. Los procesos en roca presentan principalmente movimientos de caída, deslizamientos traslacional simple y de bloques. Por otra parte, los ocurridos en materiales tipo suelo corresponden con eventos que inician como deslizamientos traslacionales o rotacionales que terminan como flujos. Los volúmenes de material rocoso removido en cada proceso de remoción van del orden de metros a cientos de metros cúbicos.

El impacto de un evento en la población o en los bienes presentes en un área puede variar entre pérdidas no detectables a pérdidas totales. Lo más normal es que ocurran pérdidas parciales, donde únicamente un porcentaje de la población o de los bienes sufre daño.

Esta variación en el grado de impacto sobre los bienes y personas se conoce como vulnerabilidad física. El grado y características de esta reacción adversa están parcialmente condicionados por la resistencia del sistema, en la medida el sistema es capaz de absorber y recuperarse de la ocurrencia de un evento peligroso.

La vulnerabilidad a los movimientos de ladera requiere en primer lugar una breve conceptualización del peligro. La litología, la pendiente y el clima en conjunto predisponen áreas a la actividad de movimientos de ladera. Las litologías más débiles, tales como las arenas no consolidadas o la inter-estratificación de materiales con permeabilidades muy variadas pueden conducir a altos grados de fracturación, de discontinuidad o de disección erosiva.

El resultado fue la obtención de un mapa de susceptibilidad a los procesos de inestabilidad de ladera deslizamientos, resaltando que el 20% aproximadamente de la superficie del Municipio se encuentra en probabilidad de tener riesgo por deslizamientos Alto. Las zonas en color verde, tono obscuro se identificó como riesgo “muy bajo”, verde claro es riesgo “bajo” y en amarillo se consideró riesgo “medio”.

Del trabajo realizado para determinar el peligro por deslizamientos se puede deducir que la mayor parte del territorio del Municipio son zonas de riesgo bajo a medio, donde existen procesos de inestabilidad de laderas, que no afectan grandemente a la zona. Los principales procesos identificados son caídos de bloques y flujos, considerándolos como problemas aislados a los deslizamientos. Con base en el análisis de datos obtenidos en campo y al cruce de información básica y temática con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se determinó que de los elementos que, se encuentra en posibilidades de tener deslizamientos, son terracerías, zonas urbanas ubicadas en laderas inestables con susceptibilidad de deslizamiento. Esto debido a que los taludes y laderas que afectan los caminos son de baja altura, lo que provoca que los deslizamientos sean de categorías bajas, para estos casos. Pero las rocas fracturadas y materiales débiles hacen que las laderas sean de peligro para las poblaciones cercanas a las laderas.

5.4 Flujos (Lodo, Tierra y Suelo, Lahar)

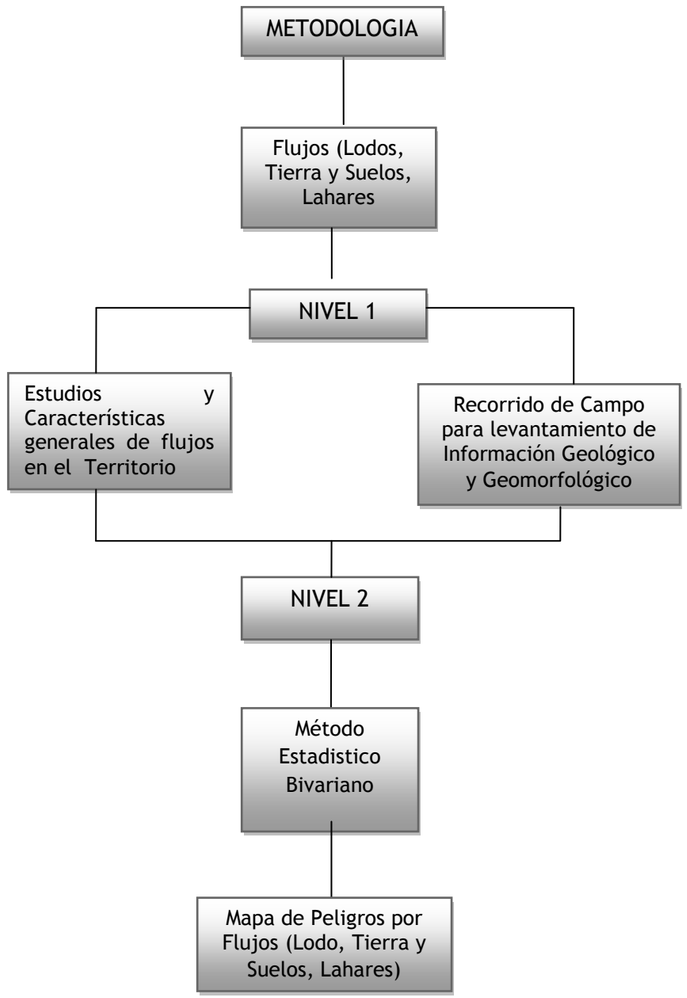
En un flujo existen movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los puede haber de roca, de residuos o de suelo o tierra. Los flujos muy lentos o extremadamente lentos pueden asimilarse en ocasiones a los fenómenos de reptación y la diferencia consiste en que en los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación la velocidad del movimiento disminuye al profundizarse el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura. La ocurrencia de flujos está generalmente, relacionada con la saturación de los materiales subsuperficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente y la saturación conduce a la formación de un flujo. Algunos flujos pueden resultar de la alteración de suelos muy sensitivos, tales como sedimentos no consolidados. Los flujos son deslizamientos que adquieren grandes velocidades y que se comportan como fluidos viscosos en movimiento.

Las masas se comportan como un fluido, pero su comportamiento es diferente al de los fluidos convencionales como el agua. Los flujos son movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos son Movimientos rápidos de material que se comporta como una masa viscosa. Estos fenómenos pueden ser flujos de detritos (´debris flows´), flujos de barro (´earth flows´ o ´mudflows´), y avalanchas de roca y detritos (movimientos extremadamente rápidos donde se forma un colchón de aire que ayuda al rápido desplazamiento). El agua en precipitación suele ser un factor determinante para contribuir a la formación de un flujo.

5.1.4.1. Metodología de Análisis

La metodología a seguir para identificar el peligro por flujos (Lodo, Tierra y Suelos, Lahar) comprende las siguientes etapas: Reporte de antecedentes de los estudios realizados.Fichas de registro de la información levantada en campo (Fichas de campo y fotografías).Realizar un inventario sobre casos documentados. Dicha información permitirá validar los análisis de los factores condicionantes para elaborar u obtener como producto final el mapa de susceptibilidad del peligro por flujos.
Generar un mapa inventario de flujos y ficha técnica de caracterización (tipo, longitud, profundidad, etc.). Las entrevistas a informantes clave, Fotografías que muestren: Laderas inestables, fracturas, árboles inclinados, poblados en peligro, carreteras deformadas, postes inclinados en dirección de la pendiente, cercas o bardas deformadas en dirección de la pendiente, laderas desestabilizadas por obras realizadas, formación de escarpes perpendiculares a la inclinación del terreno, acumulación o deposito del material de la ladera al pie de la misma, desarrollo de grietas en la superficie en la parte alta de una ladera, abultamientos o rugosidades del terreno en sitios que originalmente eran planos o semiplanos, rompimiento de la superficie del terreno a manera de bloques (Tabla 5.1.4.1).

Tabla 5.1.4.1. Metodología seguida en el estudios de flujos en el Municipio de Autlán



Fuente: Elaboración propia, en basa a datos de los Términos de Referencia, 2016.

Nivel de Análisis 1

5.1.4.2. Características Generales de los Flujos (Lodos, Tierra-Suelo, Lahares)

En un flujo ocurren movimientos relativos de las partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre un cauce o canal. La ocurrencia de flujos generalmente está relacionada con la saturación de los materiales superficiales. Algunos suelos absorben agua muy fácilmente y la saturación conduce a la formación de un flujo. Aunque generalmente, si los flujos son saturados, la saturación no es pre-requisito para su ocurrencia y en ocasiones, se presentan flujos de materiales secos.

El flujo en movimiento es capaz de pasar alrededor de obstáculos importantes o removerlos y destruirlos. Igualmente, el flujo puede ser canalizado o concentrado por los detalles del relieve. El comportamiento de los flujos es muy variado y con frecuencia, recorre grandes distancias para finalmente, sedimentarse cubriendo áreas grandes en un proceso final de sedimentación, el cual es parte del mecanismo del flujo.

El flujo de suelo se conoce en algunos países como “reptación”, pues ocurre cuando el suelo fluye muy lentamente ladera abajo arrastrando suelo y material débil a su paso. Este proceso puede provocar el desprendimiento y la pérdida total de la capa vegetal, dejando la roca expuesta a la erosión (Figura 5.1.4.1.).

Figura 5.1.4.1. Proceso en la ocurrencia de un flujo de tierra y suelo.

Fuente: https://www.google.com.mx/search?q=flujos+de+lodo+y+tierra

El flujo de suelo ocurre en montañas y colinas con laderas de poca inclinación, que tengan suelos arcillosos húmedos, relativamente potentes, que se despegan del substrato y fluyen ladera abajo. En las laderas donde los suelos han estado reptando por años, los troncos de los árboles se doblan, para corregir la inclinación del terreno. Este es un indicio del peligro.

Para evitar el flujo de suelo, hay que tomar medidas de ingeniería, que faciliten el drenaje de la ladera, de manera que el suelo no acumule demasiada humedad. Por ejemplo se pueden construir sistemas de terrazas y canales de drenaje (5.1.4.2.).

Figura 5.1.4.2. Medidas de ingeniería para evitar el flujo de suelo.

Fuente: https://www.google.com.mx/search?q=flujos+de+lodo+y+tierra

En las laderas donde los suelos han estado reptando por años, los troncos de los árboles se doblan, para corregir la inclinación del terreno. Este es un indicio del peligro.

5.1.4.3. Factores detonadores de un Flujo

Los factores detonadores para la evaluación de la susceptibilidad de un flujo, corresponden a las siguientes variables (Cenapred, 2001; Sepúlveda et al.,2016)

- **lluvias**. La saturación de los materiales sub superficiales puede convertir el suelo en un fluido viscoso. Algunos suelos como los materiales volcánicos, absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial y esta saturación puede conducir a la formación de un flujo. Para que ocurra un flujo se puede requerir un determinado volumen de agua presente. Se han realizado estudios para cuantificar el nivel de lluvias que se requieren para producir flujos y es frecuente la ocurrencia de flujos (simultáneamente en sitios diferentes) dentro de una misma formación en el momento de una lluvia de gran intensidad.

- **Sismos.** Los eventos sísmicos pueden generar un desprendimiento generalizado de bloques de roca que podrían terminar en un flujo. Igualmente, la licuación de los suelos puede terminar en flujos de suelo o lodo.

- **Alteración de suelos sensitivos.** Algunos flujos resultan de la alteración de suelos muy sensitivos, tales como los sedimentos no consolidados. Las arcillas de origen marino son generalmente muy sensitivas.

- **Deslizamientos en zonas de alta pendiente.** Al presentarse un deslizamiento de traslación o de rotación en una ladera de alta pendiente, existe la tendencia a la formación de un flujo al adquirir velocidad las masas de suelo desprendidas. Con frecuencia se unen varios deslizamientos para conformar un flujo de gran magnitud.

- **Velocidad de flujos**. Los flujos pueden ser lentos o rápidos, así como secos o húmedos y los hay de roca, de residuos, de suelo o tierra. Los flujos muy lentos (o extremadamente lentos) se asimilan en ocasiones, a los fenómenos de reptación. En los flujos existe una superficie fácilmente identificable de separación entre el material que se mueve y el subyacente, mientras en la reptación, la velocidad del movimiento disminuye al profundizar en el perfil, sin que exista una superficie definida de rotura.

- **Pendiente y la naturaleza de los materiales geológicos (litología).** Estas variables son los dos factores físicos que se consideran los componentes imprescindibles para evaluar la susceptibilidad de los movimientos de ladera (García y López, 2005). Han sido las más empleadas en la evaluación de susceptibilidad, habiendo sido incluidas de manera simultánea por Esper (2011, 2012, 2014), Moreiras (2004, 2009), Cardozo (2013), Gómez *et al*. (2013), Fídel y Zavala (2013), Mardones y Vidal (2001), entre muchos otros.

- ***Cobertura y uso del suelo.*** De acuerdo con Acosta (2006), esta variable incide significativamente en la aparición de flujos. Remondo (2001) y Haigh *et al*. (1988) comprobaron que esta variable es importante en el análisis de susceptibilidad.

- ***Curvatura.*** La curvatura es un factor determinante en la aparición de flujos de detritos porque refleja las áreas en las que los residuos tienden a acumularse (Blais-Stevens y Behnia, 2016). La curvatura controla las zonas de acumulación o propagación de agua, lo que influye directamente en el grado de humedad y/o saturación del suelo y por ende, en la generación de flujos de detritos (Náquira, 2014).

5.1.4.4. Tipos de Flujo

De acuerdo con las características de la mezcla, de la pendiente y forma del canal, se genera un fluido con diferentes características. Se pueden diferenciar los siguientes tipos de flujo:

- Flujo de Agua

Una inundación se define como una descarga de agua extraordinaria con concentración de sedimentos de menos del 5% en volumen. La cantidad de sedimentos en suspensión es insuficiente para afectar sustancialmente la forma como se comporta un flujo de agua. El agua aparentemente puede estar muy contaminada de sedimentos y al mismo tiempo, existe cierto transporte de materiales de gran tamaño, especialmente, en el fondo del cauce. Los depósitos de inundaciones son generalmente estratificados en láminas o capas muy bien definidas y en ocasiones, entrecruzadas. Es común que existan cambios bruscos en el tamaño medio de las partículas de las secciones verticales y los materiales se encuentran muy bien clasificados en cada una de estas secciones. Igualmente, la consistencia de los materiales tiende a ser suelta y friable (fácil de excavar). Por lo general, las superficies de las diversas capas poseen dunas, conformando barras longitudinales, acorazadas con clastos gruesos. El tamaño de los sedimentos depende principalmente de la pendiente del cauce. Los cauces de alta pendiente transportan y depositan bloques y gravas mientras en los cauces de baja pendiente, predominan las arenas y los limos.

- Flujo Hiperconcentrado granular

Es un flujo que contiene más del 5% de sedimentos en volumen. En este tipo de flujo el comportamiento es controlado por el agua y la diferencia conceptual con relación al comportamiento de un flujo de agua no es sustancial. Grandes volúmenes de arena son transportados en suspensión dinámica y éste transporte depende de la velocidad del flujo y su turbulencia. A mayor turbulencia hay mayor transporte de materiales gruesos. El porcentaje máximo de sedimentos de un flujo hiperconcentrado, depende de las cantidades de limo y arcilla en la mezcla. En los depósitos de los flujos hiperconcentrados hay muy poca clasificación de los materiales y los cambios texturales no son abruptos. Los materiales son más consolidados que los depósitos de inundaciones.

- Flujo de Lodo

En los flujos de lodo predominan los sedimentos de limos y arcillas. Generalmente, los flujos de lodo consisten en altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas), aunque también transportan grandes bloques o cantos de roca. De hecho el fluido se comporta como un “Slurry” homogéneo con una onda frontal y una serie de pulsaciones. De acuerdo con experimentos de Wan y Chien (1989), un fluido se convierte en un “slurry” homogéneo a una concentración de partículas finas de solamente 90 kg/m3. A medida que la concentración aumenta, la estructura de los sedimentos se flocula rápidamente y la viscosidad aumenta fuertemente, formando una especie de cohesión de la mezcla suelo-agua.

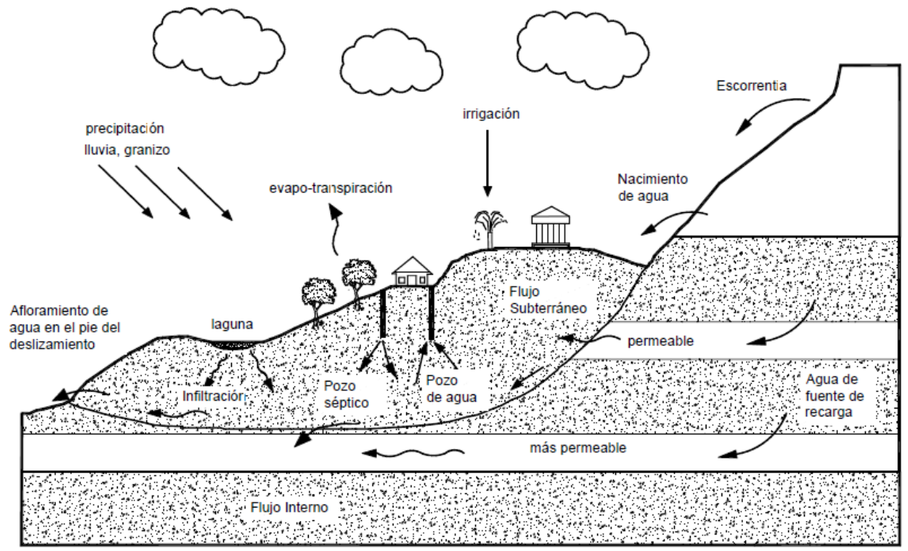
- Flujo de Residuos

Al aumentar la concentración de sedimentos, la mezcla agua-materiales se convierte en un “Slurry” (pasta aguada) similar a un concreto húmedo. Este “Slurry” es capaz de sostener en suspensión partículas del tamaño de gravas a bajas velocidades o aún, en condiciones estáticas . Si el cauce es de alta pendiente, el flujo puede alcanzar altas velocidades y transportar grandes bloques en suspensión. Estos flujos de residuos causan generalmente grandes impactos catastróficos. Las gravas pueden ser angulares a subangulares, los materiales no son estratificados y son muy pobremente clasificados. Pueden presentarse situaciones de gradaciones normales o inversas en las cuales los materiales más gruesos se encuentran encima de los materiales finos dentro del manto. La distribución de los cantos o clastos es al azar en las superficies o “clusters”.

5.1.4.5. Efectos de las Precipitaciones en el origen de los flujos

El agua es el factor que más comúnmente es asociada con las fallas de los taludes y originador de los flujos de lodo, tierra y suelo, debido a que la mayoría de los flujos ocurren después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos; de igual forma el control del agua subterránea es uno de los sistemas más efectivos para la estabilización de posibles deslizamientos.

Figura 5.1.4.3. Proceso y factores detonantes para el origen de los Flujos



Fuente: Sepulveda et. al., 2016

La interpretación más frecuente del efecto del agua es que las lluvias por infiltración, saturan el talud y la presión de poros, induce a una disminución de la resistencia al cortante, la cual a su vez, puede activar un deslizamiento (Figura 5.1.4.3.). Sin embargo, el proceso no es siempre tan simple y la activación de un deslizamiento por acción del agua, es un fenómeno complejo con una gran cantidad de variables.

5.1.4.6. Efectos del Agua sobre el suelo

La relación del efecto del agua sobre la presencia de deslizamientos ha sido estudiada por una gran cantidad de investigadores. Existen evidencias muy claras de la relación directa entre las lluvias y la ocurrencia de deslizamientos de tierra. Adicional a las infiltraciones de agua lluvia pueden existir otras fuentes de agua como son los cuerpos de agua (canales y cañadas) arriba del talud, en los cuales puede ocurrir infiltración localizada.

Los cambios en el sistema hidrológico del talud pueden afectar el comportamiento del mismo. Si el régimen de agua del suelo es alterado drásticamente por irrigación, remoción de la vegetación o inundación parcial, se puede producir la inestabilidad de los taludes. Entre los factores que afectan el comportamiento de los taludes (relacionados con la presencia del agua) se encuentran los siguientes

Lubricación.- El efecto de lubricación ocurre principalmente a lo largo de fracturas o planos de estratificación en rocas o suelos estratificados. La lubricación reduce la resistencia y especialmente la fricción a lo largo de las discontinuidades. En los suelos arcillosos la lubricación se debe a que la presencia del agua produce una repulsión o separación entre las partículas.

Ablandamiento.- El ablandamiento o debilitamiento se manifiesta principalmente en las propiedades físicas de los materiales de relleno en fracturas y planos de falla en rocas. El material de relleno puede tener un efecto de debilitamiento debido al aumento de contenido de agua.

Presiones de Poros.- La presión de poros es la presión interna del agua de saturación. El agua subterránea (o agua freática) ejerce presiones de poros sobre las partículas de suelo, disminuye la presión efectiva y la resistencia al cortante. La presión de poros dentro del suelo, depende de la localización de los niveles freáticos, de las presiones internas de los acuíferos y de las características geológicas del sitio.

5.1.4.7. Tamaño y Distribución Granulométrica de los Sedimentos

El diámetro de las partículas depende principalmente de las características geológicas de las áreas de aportes de materiales a los flujos y de las características morfológicas de las cuencas. Entre mayores sean las pendientes de las vertientes, las partículas tienden a ser de mayor tamaño y entre más meteorizada y menos competente sea la roca, los perfiles del suelo residual son de mayor espesor y las partículas en los flujos y avalanchas, son de menor tamaño.

En el caso de los flujos ocurridos en Venezuela, en diciembre de 1999 (PNUD, 2000). las partículas de gran tamaño fueron aportadas por formaciones de Neises duros fracturados, los cuales conformaban la parte alta de las cuencas en áreas de pendientes superiores al 50% y las partículas finas fueron

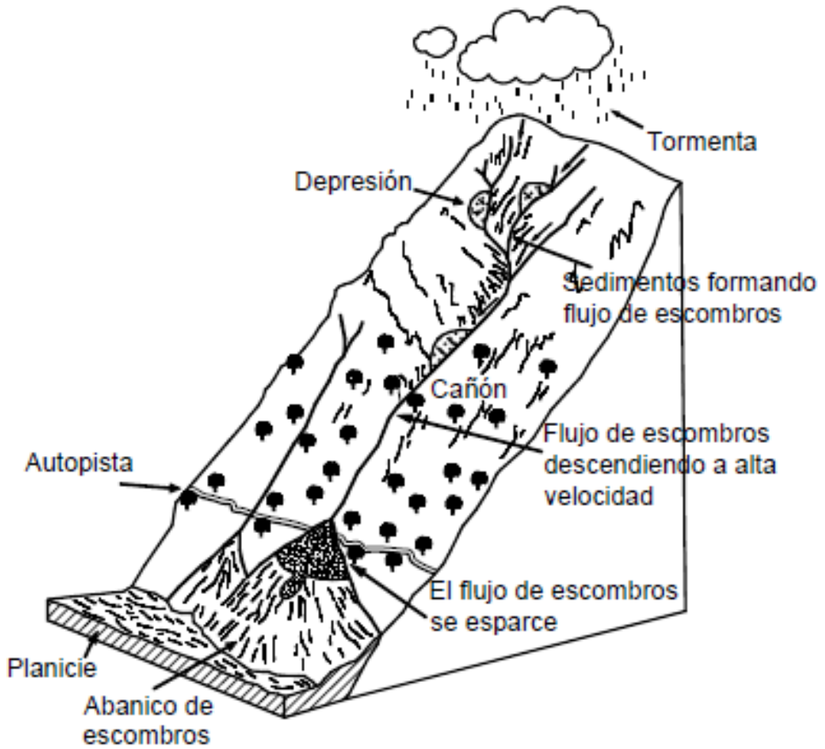
aportadas a los flujos por formaciones de esquistos muy meteorizados, que conformaban las partes bajas de las cuencas.

Los flujos en las cuencas con más del 80 % del área, estaban conformados por cantos de hasta 5 metros de diámetro y partículas generalmente gruesas y los flujos en cuencas donde predominaban los esquistos meteorizados, estaban conformados por partículas finas (arenas, limos y arcillas). Los flujos en cuencas con porcentajes importantes de ambas formaciones, estaban integrados por mezclas de partículas gruesas y finas con muy buena distribución granulométrica.

Peligro por flujos

Los flujos constituyen uno de los desastres naturales que más vidas han cobrado y la mayoría de los más grandes deslizamientos catastróficos ocurridos en el mundo, corresponden a avalanchas (Schuster, 1996). Entre los países más afectados por catástrofes debidas a flujos, se encuentran las áreas Andinas de Perú, Colombia, Ecuador y Venezuela. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones de flujos corresponden a estudios de flujos de residuos en áreas no tropicales. Los enfoques de análisis varían desde fórmulas empíricas como la de Cruz y Massad (1997), a modelos matemáticos con base experimental como los de Takahashi (1991).

Figura 5.1.4.4. Formación de un flujo de residuos en una ladera de alta pendiente.

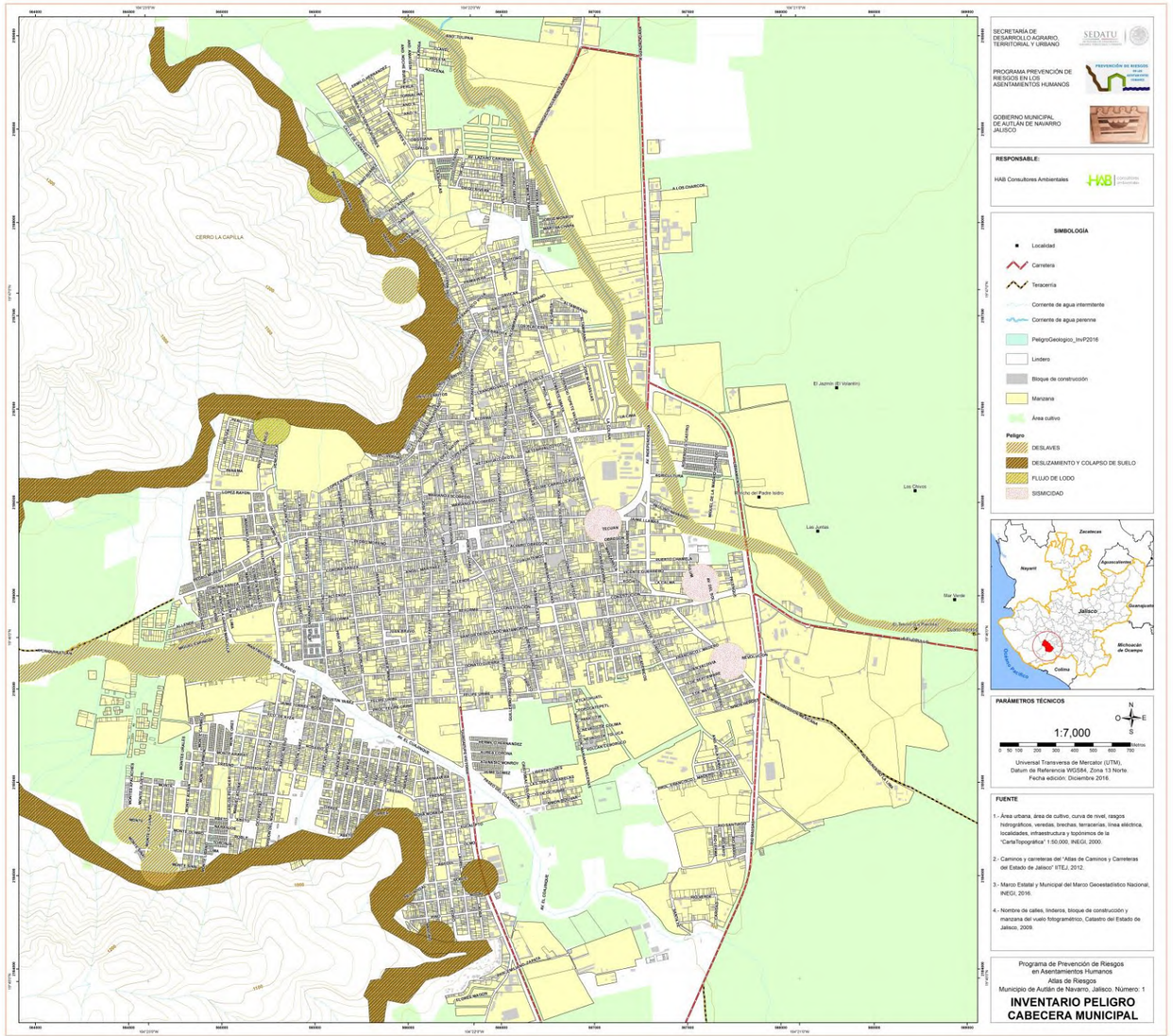


Fuente: Schuster, 1996

5.1.4.9. Trabajo de Campo: Identificación de sitios propensos a generar flujos (Lodo, Tierra-Suelo y Lahares).

Después de realizado el taller con autoridades de protección Civil, en donde se ubicaron sitios con presencia de flujos antiguos, se procedió a preparar el trabajo de campo para realizar el recorrido por todo el Municipio e identificar los sitios propensos a la ocurrencia de un flujo. En la figura 5.1 4.5. muestran los sitios en donde se ubican presencia de flujos en la cabecera Municipal.

Figura 5.1.4.5. Mapa con presencia de flujos antiguos en la cabecera Municipal



Fuente: HAB- Consultoría Ambiental. En base al inventario de peligros de PC estatal

Condiciones para la activación de los flujos en el Municipio de Autlán de Navarro

De acuerdo con el estudio de amenaza realizado en el trabajo de campo, en el que recopila los movimientos en masa más importantes del Municipio desde la antiguedad, incluyendo los efectos ocasionados, se concluye que el 30% de dichos eventos han involucrado flujos de detritos. El 30 % de los flujos de detritos estudiados ocasionaron daños, no se reportan grandes pérdidas de vida o daños materiales fuertes.

Según los estudios realizados, las causas de los eventos fueron ocasionados inundaciones, deslizamientos, flujos y derrumbes, son en un 96% meteorológicas. El 56% de estas causas se presentan por lluvias prolongadas o periodos lluviosos, el 37% por lluvias intensas de corta duración y en un menor porcentaje los huracanes.

Los antecedentes históricos de daños por flujos de detritos ocurridos en el Municipio, sumado al gran crecimiento de la población, propiedades y actividades económicas ubicadas en la planicie aluvial de las quebradas, hacen necesario determinar el peligro asociado a estos flujos e implementar medidas de mitigación que lo disminuyan.

5.1.4.11. Evidencias de Flujos (Lodos, Tierra y Suelos en Autlán de Navarro

De acuerdo al taller realizado con autoridades de protección civil y al trabajo de campo realizado se identificaron sitios en donde se han presentado flujos y son propensos a que sigan repitiéndose como se muestra en la Figura 5.1.4.6.

Figura 5.1.4.6. Mapa de Flujos identificados en la Cabecera Municipal

Fuente: HAB-Consultoria Ambiental

De acuerdo al recorrido de campo se identificaron como zonas propensas a que se originen flujos, sobretodo en épocas de precipitación pluvial. Tomando como referencia el mapa de susceptibilidades para inestabilidad de laderas encontramos zona de alto peligro y susceptibilidad a flujos y más si encontramos fuerte pendiente y con alta precipitación se convierte en zona de peligro por flujos.

De acuerdo al mapa de pendientes y de susceptibilidades de Inestabilidad de laderas obtenido para deslizamiento, podemos observar la zona identificada para la presencia de flujos, con fuertes pendientes y en zona de susceptibilidades para un deslizamiento por lo que cuenta con las condiciones ideales para el desarrollo de este fenómeno como son:

1. Fuerte pendientes
2. Zona propensa a deslizamiento
3. Material flojo (gravas y arena fina)

Fuente: HAB Consultoria Ambiental

Figura 5.1.4.8.- Otra pespectiva de sitio de flujos en la localidad de Agua Hedionda.

Figura 5.1.4.7 .- Evidencia de flujos en Agua Hedionda, con bajo contenido de suelo y roca de pequeña magnitud.

Fuente: HAB-Consultoria Ambiental

Figura 5.1.4.9. Cauce de arroyo con evidencia de flujo con suelo y material de arrastre.

Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Nivel de Análisis 2

5.1.4.10. Cartografía generada para el determinar la susceptibilidad por Flujos(Lodo, Terra y Suelo, Lahareas)

El caso de estudio considera representan prácticamente las subcuencas que implican el Municipio de Autlán de Navarro, como caso de aplicación para la metodología propuesta, ya que en las laderas históricamente se han originado flujos de detritos de diferente intensidad, y la cabecera municipal ha sido afectada en diferentes ocasiones por dichos procesos, que han producido grandes pérdidas económicas. La constitución de las rocas de origen volcánico en su mayoría con alto grado de metamorfismo, altamente deleznables y muy fracturadas, debido a que están localizadas en bloques,

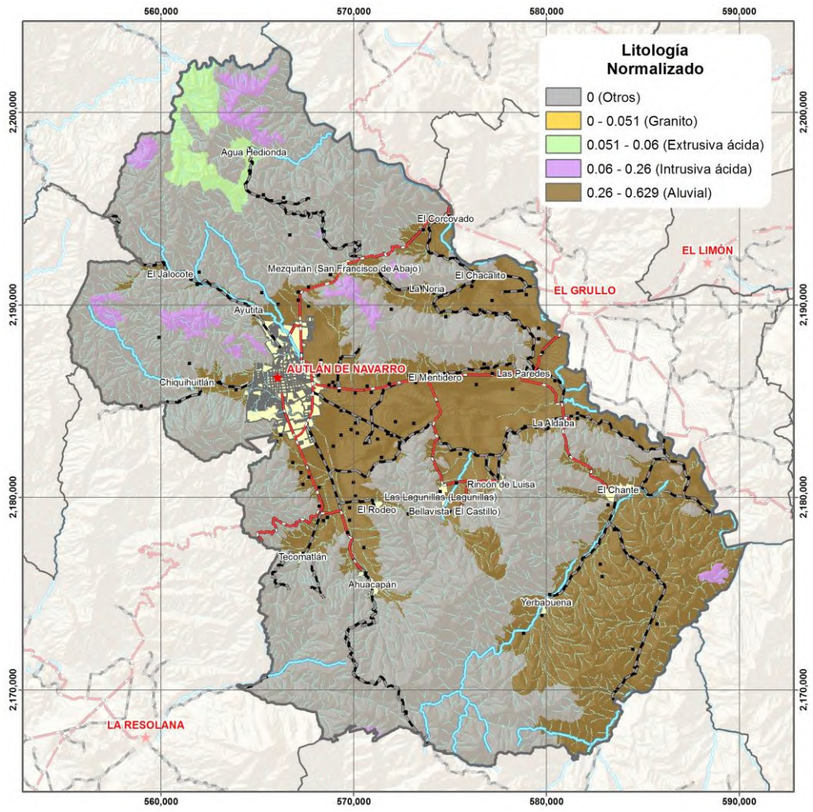
limitadas entre sí por grandes agrietamientos en las partes altas que cuando son afectadas por un factor externo, sin dejar a un lado los cantos rodados de diversa dimensión hasta el arrastre de bloques de 5 m de diámetro, principalmente las precipitaciones estas tienden a involucrarse dentro del flujo, tomando generalmente los causes de ríos y arroyos.

La cartografía generada para estudiar el tema de flujos son los siguientes:

- Litología
- Pendiente
- Geometría de Ladera
- Uso de suelo-Vegetación

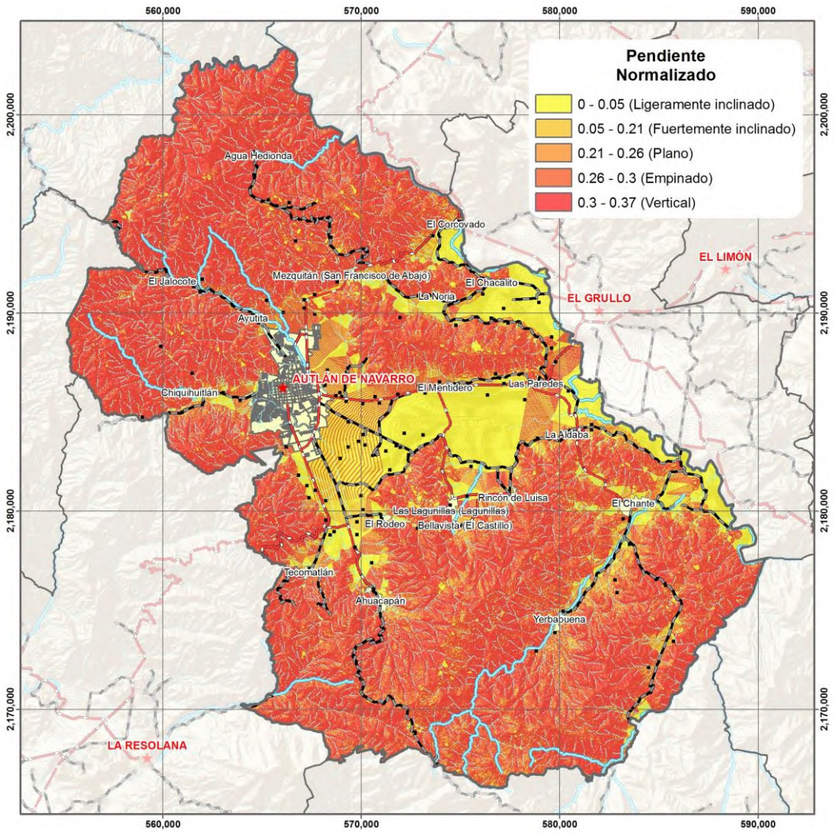
Los mapas se muestran a continuación:

Figura 5.1.4.10. Mapa de Litología



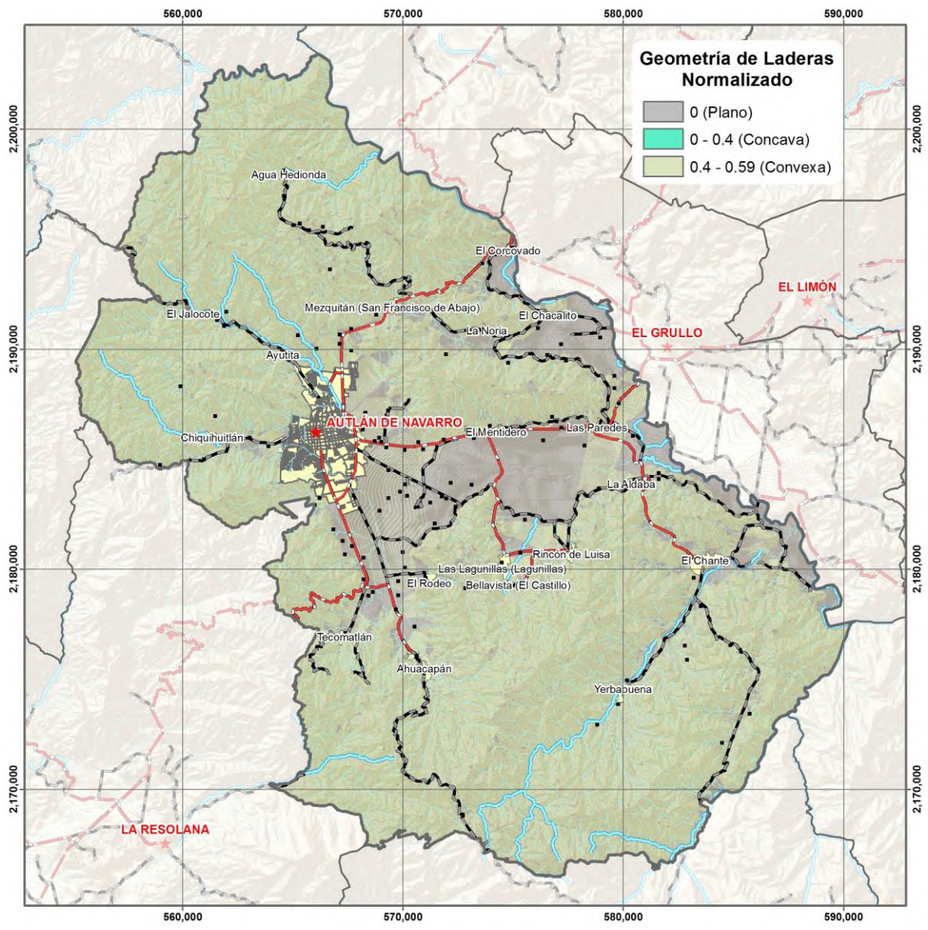
Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

Figura 5.1.4.11. Mapa de Pendientes



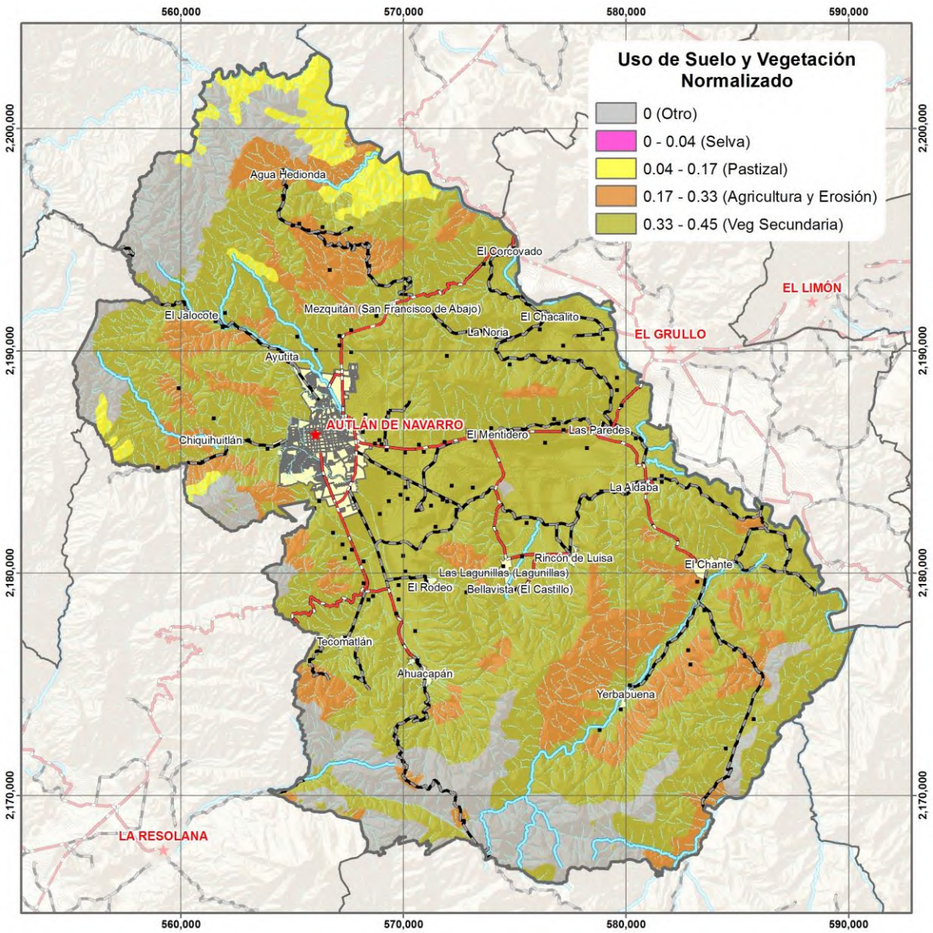
Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

Figura 5.1.4.12. Mapa de Geometría de Ladera



Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

Figura 5.1.4.13. Mapa de Uso de Suelo-Vegetación



Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

5.1.4.12. Memoria de Cálculo

El análisis de susceptibilidad a la ocurrencia de flujo se obtuvo con la aplicación del método estadístico bivariado de relación de frecuencias. Esto corresponde a la razón aritmética entre el número de pixeles de clase (para cada variable) que es afectada por flujos de detritos y el área total de la clase, de la variable considerada. Los valores de la relación de frecuencia indican el nivel de correlación entre la ocurrencia de los flujos de detritos y las variables consideradas. De esta manera, para valores de relación de frecuencias F_r mayores que 1, la correlación entre la ocurrencia de flujos de detritos y las variables consideradas, es alta, mientras que valores de F_r menores que 1 indican una baja correlación (Esper, 2011).

La relación de frecuencias F_r se calcula con la expresión (1) de Bonham-Carter (1994):

$$F_r = \frac{\frac{N_{pix}(FD)}{N_{pix}(FDt)}}{\frac{N_{pix}(A)}{N_{pix}(At)}} \qquad (1)$$

donde $N_{pix}(FD)$ es el número de pixeles que contienen flujos de detritos en la clase de la variable temática, $N_{pix}(FDt)$ es el número de pixeles totales que contienen flujos de detritos, $N_{pix}(A)$ es el número total de pixeles para la clase de la variable considerada, $N_{pix}(At)$ es el número total de pixeles dentro de la zona de estudio. El índice de susceptibilidad a la ocurrencia de flujos de detritos ISFD de cada celda, se obtiene mediante la expresión (2).

ISFD = litología + curvatura + pendiente + cobertura + espesor de estrato (2)

Donde:

litología$_r$ es el coeficiente F_r de la variable litología;
curvatura es el coeficiente F_r de la variable curvatura;
pendiente$_r$ es el coeficiente F_r de la variable pendiente y así sucesivamente.

Para el caso del Municipio de Autlán de Navarro, aplicando está metodología se obtuvieron la suma de pixeles de la geometría de ladera, Litología, pendientes y uso de suelo, se muestra en la tabla 5.1.4.2. a 5.1.4.5.

Tabla 5.1.4.2. Sumo de pixeles de la Geometría de ladera

Geometría	Npix(FD)	Npix(FDt)	Npix(A)	Npix(At)	Fr

Plano	2117439	4927689	7045128	7045128	0
Convexa	2921731				0.59292114
Concava	2005958				0.40707886

Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Tabla 5.1.4.3. Suma de Pixeles para la Litología

Litología	Npix(FD)	Npix(FDt)	Npix(A)	Npix(At)	Fr
Granito	151418	2936865	7038732	7046676	**0.051615887**
Intrusiva ácida	763278				**0.260188822**
Extrusiva ácida	176514				**0.060170698**
Aluvial	1845655				**0.629153206**
Otros	4109811				**0**

Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Tabla 5.1.4.4. Suma de Pixeles Pendientes

Pendiente	Npix(FD)	Npix(FDt)	Npix(A)	Npix(At)	Fr
Plano	1185287	5448393	5686772	6872059	0.26289127
Ligeramente inclinado	238379				0.05287138
Fuertemente inclinado	967535				0.21459486
Muy inclinado	1693030				0.37550635
Empinado	1359361				0.30150009
Vertical	1428467				0.31682748

Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Tabla 5.1.4.5. Suma de Pixeles de Uso del Suelo

Uso de Suelo y Veg	Npix(FD)	Npix(FDt)	Npix(A)	Npix(At)	Fr
Otros	1092725	5953908	6945916	7046633	0
Selva	257122				0.04381161
Pastizal	1030132				0.17552658
Erosion	31262				0.33
Agricultura	1974789				0.33648887
Veg Secundaria	2660603				0.45334631

Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Para obtener el mapa susceptibilidad por flujo (Lodo, Tierra-Suelo, Lahares) obtenido del Municipio de Autlán en estudio y mostrado en la Figura 5.1.4.9, los rangos fueron establecidos por el método de Cuantil, para las tres categorías de bajo, medio y alto, utilizando el Sistema de Información Geográfica Arcgis.

5.1.4.13. Zonas susceptibles a la presencia de Flujos: Obtención del mapa de peligros por flujos.

De acuerdo al recorrido de campo se identificaron como zonas propensas a que se originen flujos, sobretodo en épocas de precipitación pluvial. Tomando como referencia el mapa de susceptibilidades para inestabilidad de laderas Figura 5.1.4.14. encontramos zona de alto peligro y susceptibilidad a flujos y más si encontramos fuerte pendiente y con alta precipitación se convierte en zona de peligro por flujos.

Para la validación de la zonificación de flujos de detritos identificados, en los niveles de susceptibilidad definidos, indica el grado de predicción del método propuesto. De esta forma, cuando la mayor parte de los movimientos quedan clasificados en rangos de susceptibilidad bajos, indicará que el método no ha reproducido las condiciones de inestabilidad; de otra parte, si los flujos de detritos se localizan en rangos altos, esto denotará un mejor ajuste de la predicción. Dado que la mayoría de los movimientos empleados en la validación quedan clasificados en nivel alto de susceptibilidad, este es un indicador del buen ajuste de la predicción.

- La lluvia como evento detonante de flujo de detritos

El desarrollo metodológico pretende la determinación de umbrales de lluvias críticas como factor detonante de flujos de detritos, e integrarlas con el mapa de susceptibilidad para así generar un modelo de pronóstico en tiempo real de amenazas por flujos. Se determinan inicialmente los umbrales de lluvia crítica detonante de flujo de detritos mediante los desarrollos teóricos propuestos por Mayorga (2003) y los resultados se contrastan con la propuesta de Kanji *et al*. (1997, 2001).

Mayorga (2003) propuso el método de Lluvia Crítica para la determinación de los umbrales de lluvias detonantes de deslizamientos, la cual se basa en el análisis de la precipitación acumulada o antecedente de días previos a la ocurrencia del evento, y está formulada en términos probabilísticos.

Para evaluar la lluvia como evento detonante de deslizamientos empleando la metodología de Mayorga (2003) deben seguirse la secuencia que se relaciona a continuación:

- Análisis de la lluvia antecedente - larga duración

Se deben identificar las estaciones pluviométricas en la zona de influencia de la cuenca en estudio y obtener los registros de precipitación diaria antecedente a uno o varios eventos históricos de flujo de detritos (hasta los 3 a 6 meses anteriores).

Realizar la gráfica de la lluvia acumulada para cada evento, donde el eje de abscisas corresponda a la duración en días y el eje de ordenadas corresponda a la precipitación acumulada en mm. Se toma como inicio el día en que ocurrió el evento de flujo de detritos; la curva debe realizarse de forma regresiva hasta obtener periodo seco, donde la precipitación sea cero, punto que determina la precipitación acumulada.

Se emplea el modelo de regresión logística (3) para establecer la relación entre la lluvia acumulada y la lluvia evento y definir el umbral de lluvia detonante (Sepúlveda et al., 2016).

$$Pi = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_p X_p)}} \qquad (3)$$

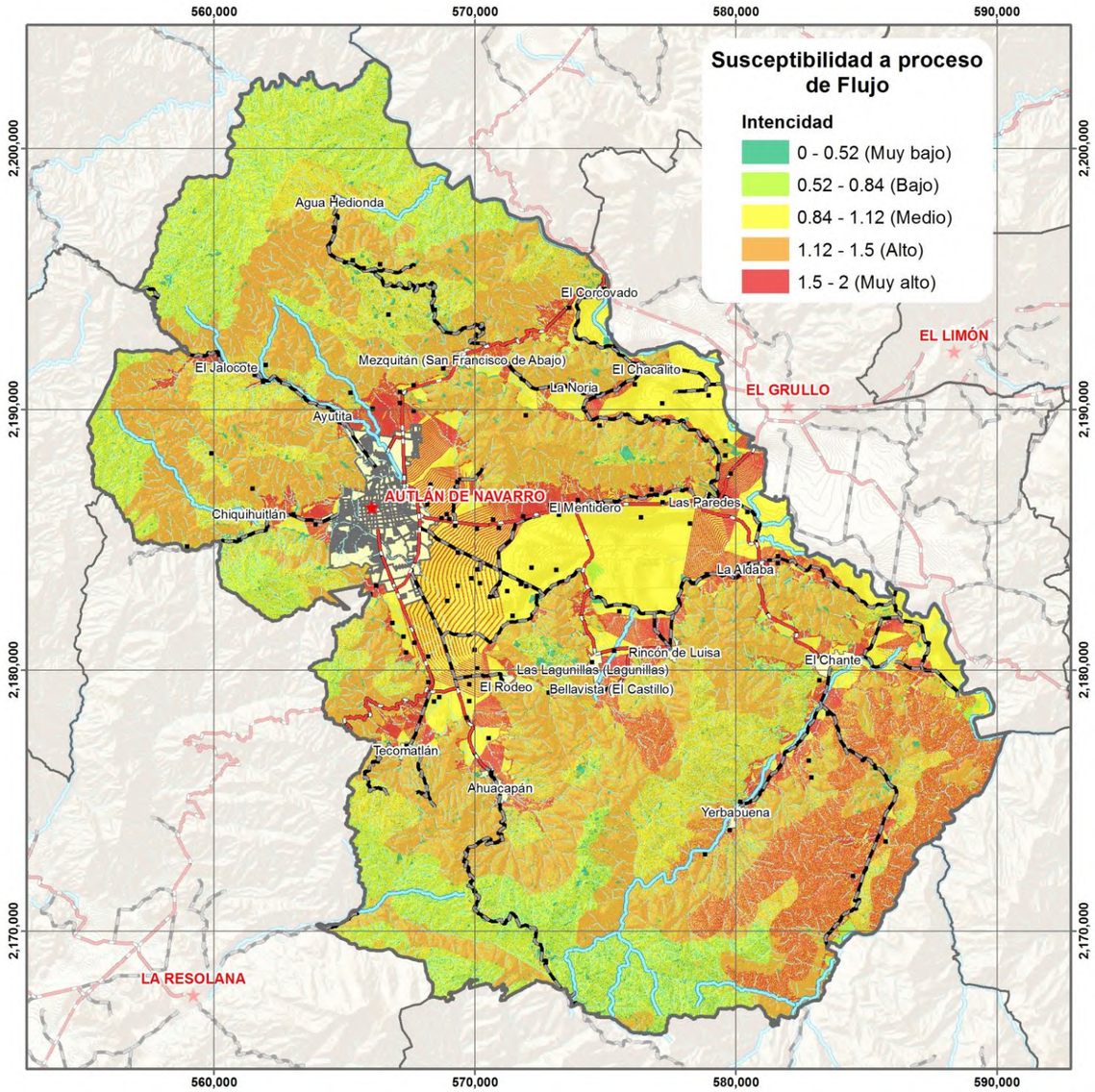
Posteriormente, los umbrales establecidos por Kanji *et al*. (1997, 2002) (Figura 5.1.5.10), se comparan con los periodos de retorno establecidos en las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, para la subcuenca del Municipio de Autlán, con el fin de determinar el periodo correspondiente al detonante de precipitación.

- Frecuencia de ocurrencia de lluvias

Kanji *et al*. (1997, 2001) encontraron que importantes deslizamientos ocurren con altos valores de precipitación en largos períodos de tiempo, que van de días a semanas y los flujos de detritos ocurren con gran intensidad de precipitación en pocos períodos de tiempo, después de un período precedente de lluvias que podría ser de baja intensidad. Los umbrales establecidos por Kanji *et al*. (2002). se compararon con los periodos de retorno establecidos en las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, para la subcuenca del Municipio de Autlán de Navarro, con el fin de determinar el periodo correspondiente al detonante de precipitación.

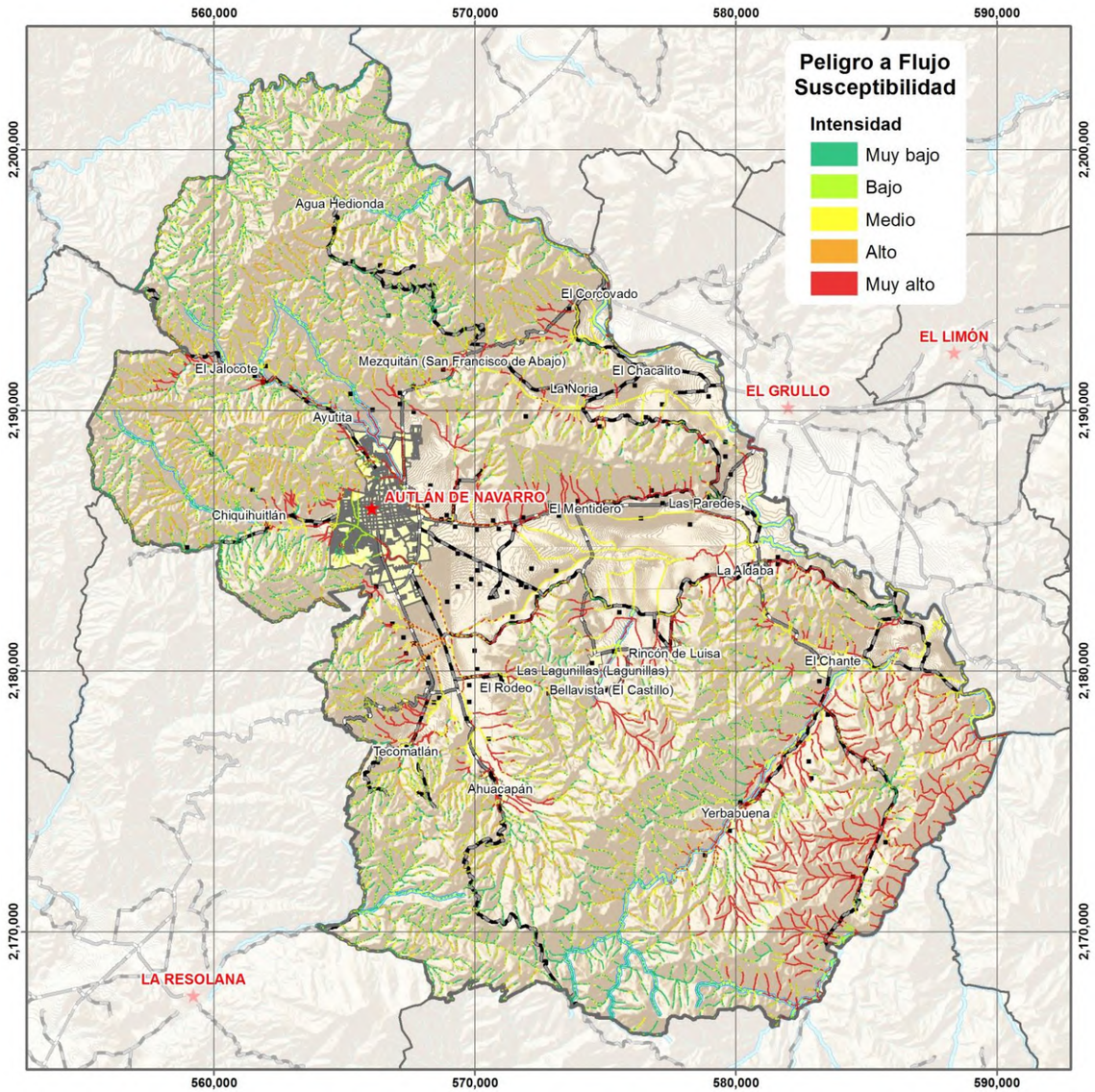
Con el mapa de susceptibilidad y los umbrales de precipitación se obtiene el mapa de amenaza de las zonas propensas y peligros por flujos mostrado en la Figura 5.1.4.14. y 5.1.4.15.

Figura 5.1.4.14. Mapa de la susceptibilidad de flujo (Lodo, Tierra-Suelo, Lahares) en el Municipio de Autlán de Navarro



Fuente: HAB- Consultoria Ambiental, usando la metodología propuesta por Sepúlveda et al., 2016

5.1.4.15. Mapa de Peligro a flujos en el Municipio de Autlán.



Fuente: HAB-Consultoría Ambienta

l

5.1.4.14. Análisis de Resultados del Peligro por Flujos (Lodos, Tierra y Suelo, Lahares)

Una de las principales condiciones para que ocurran flujos de residuos, es la existencia de pendientes fuertes y esto explica que los flujos ocurran principalmente en las regiones montañosas. Se identifican flujos con intensidad alta en las localidades Yerbabuena, entorno al Chante, en Ahuacapán, Tecomatlán, en el Rincón de Luisa, en el Mentidero, sin dejar de lado la Cabecera Municipal. Entre mayor sea el ángulo de los taludes, es mayor la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos. El número de flujos que ocurren en el momento de una lluvia, se incrementa con el aumento de los ángulos de pendiente de los taludes. Igualmente, las cuencas de menor tamaño son generalmente más susceptibles a los flujos como se mencionó anteriormente.

Los volúmenes de deslizamiento dependen de la altura y la longitud de los movimientos. A mayor altura, menor es el volumen de los deslizamientos pero mayor es su velocidad. En alturas menores, hay mayor volumen de deslizamiento pero su velocidad es menor y la posibilidad de ocurrencia de flujos es menor, debido a que las velocidades son menores.

Los flujos son uno de los procesos de remoción en masa más destructivos, dado que se generan en las zonas montañosas y se depositan en abanicos aluviales o llanuras aluviales ocupadas por asentamientos humanos, siendo estos los más vulnerables a los procesos de estos fenómenos.

Para el caso del Municipio de Autlán se observó que los flujos se presentan principalmente en los cauces de arroyos en zona de montaña, fundamentalmente en época de fuerte lluvia, con arrastre de materiales desde limo y arcilla, roca y gravas, así como conglomerado con granulometría de centímetros hasta bloques de grandes dimensiones (2 a 3 metros de diámetro).

La susceptibilidad a los flujo en los valles, son de riesgo inclusive en zonas con muy pocas lluvias, pero con suelos desnudos o con poca vegetación, aunque impactos asociados con flujos de detritos, la pérdida de vidas y viviendas es comparativamente mayor que en suelos protegidos por vegetación.

Pero la mejor opción para protegerse del peligro es alejarse de la zona de riesgo. Esta sería una acción no estructural, como lo son también un sistema de alerta temprana o un plan de evacuación y seguimiento por parte de la población en riesgos por flujos. La primera sería una medida preventiva, mientras que las otras dos serían medidas de mitigación.

También se pueden aplicar acciones estructurales, como colocar muros de retención de azolves, bordos, muros de contención, muros de encauzamiento, estanques de depósito, etc.

Controlar o disminuir la presión que ejerce el agua dentro del suelo o roca facilitando su circulación o evacuación rápida a través del talud evitando el exceso de presión y erosión interna.

Protección de la superficie del terreno con revestimiento. El revestimiento es utilizado para la prevención y protección de taludes protegiendo sus zonas críticas. Cumple las funciones de disminución de infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad.

5.5 Derrumbes o Caídos

Los caídos o derrumbes son desprendimientos violentos de suelos y de fragmentos asilados de rocas que se originan en pendientes fuertes y acantilados, por lo cual el movimiento es prácticamente de ciada libre, rodando y rebotando. Las caída de bloques puede ser de dos formas, por medio de desprendimientos o volteos; la primera es un movimiento de caída de suelo producto de la erosión o de bloques rocosos debido a discontinuidades estructuras (grietas, planos de estratificación o fracturamiento) proclives a la inestabilidad; la segunda por caída de bloques rocosos con dirección hacia adelante, propiciado por la presencia de discontinuidades estructurales (grietas de tensión, formaciones columnares, fracturas, fallas, diaclasas) (CENAPRED, 2006).

El fenómeno se presenta con una mayor frecuencia en zonas montañosas, con laderas abruptas, desde las cuales se desprenden bloques de distintos tamaños, los cuales por la pendiente continúan descendiendo por la influencia de la gravedad. Los derrumbes son más peligrosos, sobre todo en regiones de alta montaña, pueden desplazar grandes volúmenes de rocas que desciendan a gran velocidad hacia los valles y cañadas, arrastrando consigo vegetación y en algunos casos fragmentos de construcción.

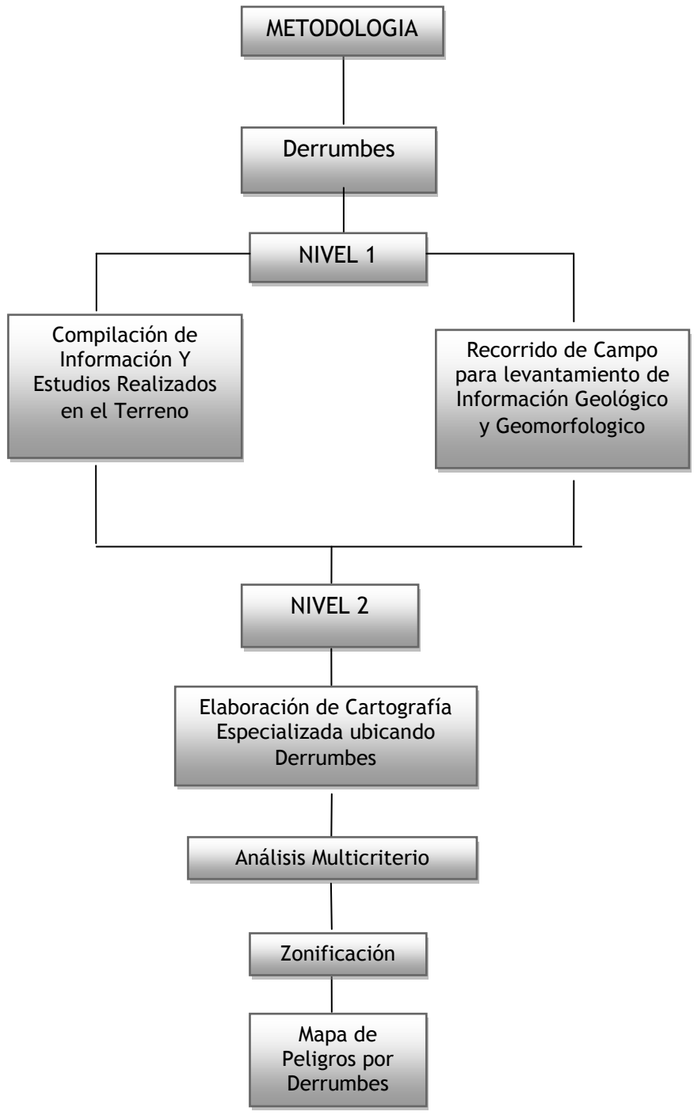
5.1.5.1. Metodología de Análisis

La metodología para el estudio de los derrumbes o caídos para el Municipio de Autlán comprenden las siguientes etapas. El reporte de antecedentes de los estudios realizados y fichas de registro de la información levantada en campo (Fichas de campo y fotografías). El Realizar un inventario sobre casos documentados por un periodo de tiempo no menor a diez años.

Dicha información permitirá validar los análisis de los factores condicionantes para elaborar u obtener como producto final el mapa de susceptibilidad de peligros por flujos. Generar un mapa inventario de

zonas con evidencias de caídos o derrumbes y ficha técnica de caracterización (tipo, longitud, profundidad, etc.). Las entrevistas a informantes clave y fotografías que muestren: Laderas inestables, fracturas, árboles inclinados, poblados en peligro, carreteras deformadas, postes inclinados en dirección de la pendiente, cercas o bardas deformadas en dirección de la pendiente, laderas desestabilizadas por obras realizadas, formación de escarpes perpendiculares a la inclinación del terreno, acumulación o deposito del material de la ladera al pie de la misma, desarrollo de grietas en la superficie en la parte alta de una ladera, abultamientos o rugosidades del terreno en sitios que originalmente eran planos o semiplanos, rompimiento de la superficie del terreno a manera de bloques. Generar el mapa de susceptibilidad al proceso, en función de las variables y criterios contemplados en el análisis multicriterio (Tabla 5.1.5.1.).

Tabla 5.1.5.1. Metodología seguida para el estudio de derrumbes o caídos.



Fuente: Elaboración propia, en basa a datos de los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016

Nivel Análisis 1

5.1.5.2. Compilación de Información y estudios realizados en el Terreno

En el Municipio de Autlán el fenómeno de caída de bloques se presenta en al algunos sitios que pueden ser de peligro como en la Yerbabuena, lo anterior por la presencia de montañas con escarpes que presentan desprendimientos de roca, la cual se caracteriza por presentar rocas, fracturada y falladas; rocas que por su edad, litología, procesos erosivos y metamorfismo resultan estar intemperizadas de forma química y física, acelerando los caídos de bloques.

A fin de zonificar el peligro por caída de bloques fueron tomados en cuenta varios factores: datos de campo, tipo de roca, vegetación, sistemas de discontinuidades, estructuras geológicas y pendientes, entre otras. Con base a estas variables se realizó una sobreposición de mapas temáticos, donde se obtiene de la sumatoria de cinco grados de intensidad del peligro; muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

Cabe mencionar que la descripción de las zonas de peligro, a través de levantamiento de sitios puntuales, se hace con la finalidad de mostrar los efectos del fenómeno, así como una serie de datos que se levantaron durante la verificación de campo. A fin de consultar con mayor detalle las zonas de peligro por caída de bloques, se sugiere operar el Sistema de Información, logrando así conocer a detalle la zonificación y su relación con los principales centros urbanos y vías de comunicación.

La mayor parte del Municipio presenta desde pendientes suaves hasta escarpes de pendientes fuertes (mayor a 50 grados), sobre todo en las zonas montañosas, es precisamente en esta zona donde se identificaron sitios predominantemente con movimiento de masas en forma de caída de bloques:

En la Figura 5.1.5.1 se observa el caído de capas superficiales de rocas debido a la excavación del material del pie del talud. Este caído ilustra la influencia que tiene el ser humano en la inestabilidad de laderas, lo cual crea un riesgo para las poblaciones aledañas (Cenapred, et. al, 2013.)

Figura 5.1.5.1.Peligros de derrumbes o caídos.

Fuente: Cenapred, et. al. 2013

Los bloques de roca que se sueltan de la fachada de un talud y caen por caída libre, a golpes o rodando son una amenaza muy importante, especialmente en vías de comunicación y población cerca de laderas con pendientes fuertes. Generalmente, los derrumbes se inician por un cambio en las fuerzas que actúan sobre un bloque o una masa de roca, estos cambios de fuerzas están asociados con fenómenos climáticos, actividades de construcción o movimientos del terreno por el hombre (Malagón, 2016).

5.1.5.3. Factores detonantes que ocasionan derrumbes

Hay varios factores que influyen en los derrumbes; unos se llaman condicionantes y otros detonantes. Los condicionantes son el relieve o topografía, es decir, qué tan inclinadas sean las laderas y el tipo de roca. Las rocas poco coherentes sobre el suelo, esta roca cuando llueve se hincha y se desliza, por eso es que hay tanto derrumbe. Los alrededores son como una especie de caldera volcánica que con este tipo

de roca se desliza al llover. Otro punto es el ordenamiento territorial porque la mancha urbana crece de manera desordenada y por cualquier entrada de la ciudad se pueden observar casas en grandes pendientes. Los factores detonantes son los que hacen que la ladera se deslice, por ejemplo, la lluvia que causa la saturación del suelo. Además, cuando se construyen casas, a veces se cortan los taludes de manera vertical y eso deja propensas a que esa pared se deslice. También, no se evalúa la topografía adonde se va a edificar.

5.1.5.4. Causas de los derrumbes

Los tipos de eventos que producen caídos son los siguientes:

1. Incremento de la presión de poros en las juntas debido a la lluvia
2. Cambios de temperatura
3. Descomposición química de la roca en los climas tropicales húmedos
4. Crecimiento de las raíces dentro de las juntas
5. Movimiento del viento
6. Vibraciones debidas a actividades de construcción o voladuras
7. Sismos

Las actividades de construcción aumentan en forma importante la posibilidad de caídos de roca de un macizo rocoso.

5.1.5.5. Factores que afectan la dinámica de un derrumbe

Los factores más importantes que controlan la trayectoria de caído de un bloque de roca son la geometría del talud y el tipo de superficie de este talud. Algunos taludes actúan como salto de esquí y generan velocidades horizontales muy significativas en el bloque de roca, aumentando en forma importante la amenaza sobre la vía.

Las superficies de fachada de talud muy limpias son peligrosas, debido a que tienen un alto coeficiente de restitución y por lo tanto, no retardan el movimiento del bloque que cae.

Por el contrario, los taludes de materiales sueltos o gravas tienen un bajo coeficiente de restitución y absorben una cantidad considerable de energía y en algunos casos pueden incluso parar este movimiento.

Como la geometría y el coeficiente de restitución de la superficie del talud son los factores principales que controlan el movimiento de los bloques, se han podido desarrollar modelos que representan en forma relativamente precisa el movimiento de los bloques.

Otros factores tales como tamaño y forma del bloque, características, fricción de la superficie de la roca y posibilidad de que el bloque se rompa o no; tienen también importancia en la magnitud de la amenaza. Los factores más significativos son la geometría y el coeficiente de restitución.

Los eventos de caídos de roca originados de un mismo sitio pueden comportarse en forma diferente, de acuerdo a la interrelación entre estos factores.

Geometría del talud. De los factores geométricos la pendiente del talud se considera crítica porque define la aceleración y desaceleración de los bloques de roca.

La longitud del talud determina la distancia sobre la cual la roca acelera y desacelera. Otro factor importante es la interacción entre las irregularidades de la superficie del terreno con el bloque de roca. Estas irregularidades afectan la variabilidad de los eventos.

El efecto de las irregularidades es el de alterar el ángulo con el cual la roca impacta la superficie del talud y es precisamente ese ángulo de impacto el que, a la larga, determina el carácter del salto.

5.1.5.6. Características que afectan en la caída de bloque.

Tamaño de los bloques. Como los bloques más grandes de roca tienen mayor momentum, es menos probable que se afecten por las irregularidades del terreno. Por la razón anterior, los bloques de mayor tamaño se desplazan en mayores longitudes que los bloques pequeños.

Forma de los bloques. Otro factor importante es la forma de los bloques de roca. La forma de la roca afecta la distribución de los bloques en forma similar que la rugosidad de la superficie del talud. Igualmente la forma de la roca también influye sobre la parte de energía que es de traslación y la que es de rotación.

Fracturamiento de la roca. Una propiedad crítica de la roca es su fragilidad, la cual determina si el bloque se va a romper en el impacto. El fracturamiento de la roca disipa una gran cantidad de energía y disminuye el tamaño individual de los bloques.

5.1.5.7. Sismicidad y derrumbes o caídos

Los derrumbes o caídos activados por sismos han causado grandes pérdidas humanas y económicas en varios países del mundo entre los que podemos mencionar Costa Rica (1888, 1911, 1912, 1924, 1952, 1955, 1973, 1983), China (1920), Perú (1970), Japón (1984), Tajikistán (1989), Filipinas (1990), Colombia (1994), El Salvador (2001), entre otro.

Cuando se presenta un sismo se generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales aumentan los esfuerzos cortantes actuantes en la superficie de deslizamiento, lo anterior puede provocar desprendimientos de bloques, dependiendo de las características intrínsecas de la ladera como son su topografía, el tipo y propiedades de las rocas, los suelos de cobertura superficial, el nivel freático y el tipo de vegetación, además de la magnitud del sismo y de la distancia al epicentro.

Los estudios sobre la actividad sísmica de Jalisco han puesto de manifiesto que la zona de mayor actividad sísmica se encuentra en la parte sur y centro del estado; la región central presenta una sismicidad moderada, y en la parte norte los movimientos son escasos, pero existe evidencias históricas de sismos de 5.0 a 7.5 grados. En la parte sur de la costa se han presentado sismos hasta de 8.2 grados. Eventos suficientemente fuertes para que en el Municipio se presenten derrumbes en zonas en las que se encuentran acantilados con roca propensasas a caer y ocasionar daño y efectos en las bases de la misma en donde se encuentra establecida poblaciones.

5.1.5.8. Lluvias y deslizamiento de laderas

La lluvia es uno de los principales factores que afecta la estabilidad de laderas para generar derrumbes o caídos, muchos ocurren durante o después de los períodos de lluvia, además las áreas donde se registra mayor precipitación anual presentan mayores problemas de estabilidad debido entre otras cosas, a la existencia de caudales de flujo subterráneo y materiales más meteorizados que tienen incidencia en las propiedades geomecánicas del terreno. El efecto de la lluvia depende fundamentalmente de la intensidad, duración y distribución de la tormenta, indican que el umbral de precipitación para que se presenten deslizamientos superficiales en laderas constituidas por suelos detríticos y coluviales, depende de la inclinación del talud, de la filtración y de la pérdida de cohesión aparente

Existen diferentes términos con los cuales se hace referencia a derrumbes o caídos. Dichas expresiones se utilizan en las distintas disciplinas involucradas en su estudio. De tal manera que conceptos tales como remoción de masas, movimientos de ladera, procesos gravitacionales, movimiento del terreno, procesos de la ladera, son empleados ampliamente para indicar que una ladera no es estable y puede ocasión deslizamiento y desprendimiento de rocas convirtiéndose en un derrumbe generando caídos a gran velocidad.

Los derrumbes o caídas de piedras y eventos parecidos tienen causas muy diversas, que es importante conocer.

- **La fuerza de atracción de la gravedad**

Las rocas y suelos descienden de arriba hacia abajo atraídos por la fuerza de la gravedad. Mientras más empinadas las montañas, y mayor su altura, más grande el peligro.

Figura 5.1.5.2. La erosión es un factor detonante en la ocurrencia de derrumbes o caídos

Fuente: Unicef

- **Un paisaje peligroso**

Las lomas y montañas con laderas abruptas, grietas, rocas sueltas y suelos desprovistos de vegetación, propician el
desprendimiento y avance loma abajo de distintos materiales rocosos.

- **Por la acción humana**

Al excavarse las minas, canteras, caminos y otras obras, en ocasiones se cortan paredes rocosas casi verticales, que pueden volverse inestables. También la deforestación facilita el desarrollo de los procesos mencionados.

Figura 5.1.5.3. Las carreteras y caminos son elementos de infraesctrura coumúnmente dañados por derrumbes o caídos

Fuente: Unicef

Figura 5.1.5.4.- La fuente principal de derrumbes son las grandes pendientes casi verticales en acantilados.

Fuente:

• Un evento iniciador

Los terremotos, las lluvias intensas y prolongadas, los vientos huracanados, las fuertes marejadas, o una combinación de ellos, pueden servir como **iniciador** y desencadenar la caída de rocas, los derrumbes o caídos, asimismo las grandes pendientes en acantilados (Figura, 5.1.5.4).

Las caídas de piedras es común en montañas de roca dura, con laderas abruptas, desde las cuales se desprenden bloques de distintos tamaños, que ruedan loma abajo, destruyendo todo lo que encuentran a su paso.

Si observas algunas piedras grandes al pie de las laderas, así como en lo alto de las elevaciones, es indicativo de la peligrosidad del lugar.

5.1.5.7. Identificación de zonas con Derrumbes Antiguos en el Municipio de Autlán

De acuerdo a la información obtenida en encuestas levantadas a la población de diversas localidades del Municipio, en realidad se tiene poca información de la ocurrencia de este tipo de fenómenos, pero las autoridades encuentran poca referencia o desconocen el concepto de un derrumbe o caídos, que los relacionana deslaves o deslizamientos.

5.1.5.8. Recorrido de Campo para levantamiento de Información Geológico y Geomorfologico

Para zonificar el peligro por caída de bloques fueron tomados en cuenta varios factores: datos de campo, tipo de roca, vegetación, sistemas de discontinuidades, estructuras geológicas y pendientes, entre otras. Con base a estas variables se realizó una sobreposición de mapas temáticos, donde se obtiene de la sumatoria de cinco grados de peligros; muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

En general las pendientes observadas sobrepasan los 30 grados, el tipo de roca generalmente se encuentra en un estado muy fracturado que representa mucha debilidad de la misma para poderse desprender, además tienen alto grado de intemperismo, lo que provoca facilidad para desplazarse.

Figura 5.1.5.5. Derrumbes en la localidad de la yerbabuena con peligro en dañar casas

Fuente: HAB- Consultoria Ambientales

Figura 5.1.5.6.- Material de roca caídos de diversos tamaños en la localidad de Yerbabuena

Fuente: HAB - Consultorias Ambientales

Fuente: HAB – Consultoria Ambiental

Figura 5.1.5.7. Zonas erosionadas propensas a debilitar roca para la presencia de derrumbes en la localidad la Yerbabuena

Figura 5.1.5.8. Peñasco propenso a derrumbarse en la montaña entorno a la Localidad la Yerbabuena

Fuente: HAB – Consultoria Ambiental

Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

5.1.5.9. Desprendimientos y caídos en San Francisco de Abajo

Nivel de Análisis 2

5.1.5.8. Memoria de Cálculo

Para el cálculo de los valores obtenidos en campo de las diferentes zonas y localidades que pudieran presentar características propias de caídos o derrumbes, se tomaron en cuenta características similares a los procesos de análisis para la inestabilidad de laderas, considerando la cartografía como: geología, suelos, pendientes, zonas de erosión etc.

Ha sido conveniente considerar un tratamiento similar al enfoque que se da a otros peligros naturales como el sísmico. Así, se ha considerado pertinente el enfoque de Hungr (1997), en el que los deslizamientos son caracterizados por su intensidad. La intensidad puede definirse como un conjunto de parámetros cuantitativos o cualitativos distribuidos espacialmente, con los que se puede determinar el potencial que tiene un derrumbe o caído para causar daños. La intensidad reúne a un conjunto de parámetros distribuidos espacialmente para descubrir la potencia destructiva de movimientos del terreno.

Uno de los parámetros más importantes para definir la intensidad de un derrumbe o caídos, es la velocidad máxima de movimiento. Este dato junto con la estimación de la magnitud o volumen del deslizamiento, la profundidad de la masa en movimiento y el desplazamiento total ofrecen elementos para juzgar la posible destructividad de los elementos caídos.

El análisis de la inestabilidad por caídos o derrumbes consiste en la zonificación con áreas susceptibles de deslizamiento de masas descrito por CENAPRED.

5.1.5.10. Cartografía usada para determinar mapa de Peligro por derrumbes

- Erosión
- Pendientes
- Sismos
- Precipitación
- Suelo y Vegetación

5.1.5.11. Valoración y Pesos de variables detonadores de derrumbes o caídos

5.1.5.11. Zonificación de las Zonas con derrumbes

Las zonas vulnerables a derrumbes o caídos a considerarse de peligro para una población son: laderas empinadas, sin vegetación, con predominancia de suelos sueltos, o rocas fracturadas. Para el caso del Municipio de Autlán, es de tomar en cuenta las localidades de la Yerbauena, en San francisco de Abajo existen peñascos con pendientes > 50 grados y con posibilidades a derrumbarse si existe la presencia de sismos fuertes, en las laderas de vías terrestres y terracerías como el Concorvado, terracería en el trayecto al Chante. Con derrumbes de bloques desde unos cuantos centímetros hasta bloques de 3 a 5 metros de diámetros.

Camino a Agua Hedionda.

La Yerbabuena

San Francisco de Arriba

San Francisco de Abajo

El mapa de peligros identificados se muestra en la Figura 5.1.5.10.

5.1.5.10. Análisis de Resultados del Peligro por derrumbes o caídos

Las zonas vulnerables a derrumbes o caídos a considerarse de peligro para una población son: laderas empinadas, sin vegetación, con predominancia de suelos sueltos, o rocas fracturadas. Para el caso del Municipio de Autlán, es de tomar en cuenta las localidades de La yerbabuena y San Francisco de Abajo.

Por otra parte, la evaluación del conocimiento y de la capacidad de una comunidad para actuar correctamente ante la ocurrencia del fenómeno, corresponde a un análisis de vulnerabilidad educativa para el caso de laderas perceptibles a la ocurrencia de derrumbes; igualmente, el análisis de la capacidad de reacción de personal de socorro, y de la capacidad hospitalaria ante una demanda masiva de servicios médicos, corresponde a un análisis de vulnerabilidad institucional y funcional para atender un desastre.

Los elementos bajo peligro en el contexto material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la ocurrencia de un evento, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza.

Cuando ocurre un derrumbe en zona urbana o localidades del Municipio, hay que saber cómo comportarse, pues de lo contrario estarás expuesto a graves peligros. Lo más importante es conocer bien dónde está el peligro, para evitarlo. Por ejemplo, las laderas y caminos de montaña son siempre lugares de alta peligrosidad, sobre todo si los taludes son muy abruptos.

Los derrumbes o caídos en el Municipio de Autlán ocurren con gran frecuencia en suelos residuales y durante periodos de lluvias intensas o la ocurrencia de sismos. Los suelos residuales son aquellos materiales producto de la descomposición química de las rocas, resultado del intemperismo generando desprendimiento de la roca, además provocado por el clima; se trata de geomateriales no transportados, disgregables o de consistencia blanda que se mantienen en el mismo sitio en que fueron modificados a partir de la roca original. Con frecuencia exhiben incluso la misma apariencia que la roca o original.

5.6 Hundimientos y Subsidencia

5.1.6. Hundimientos

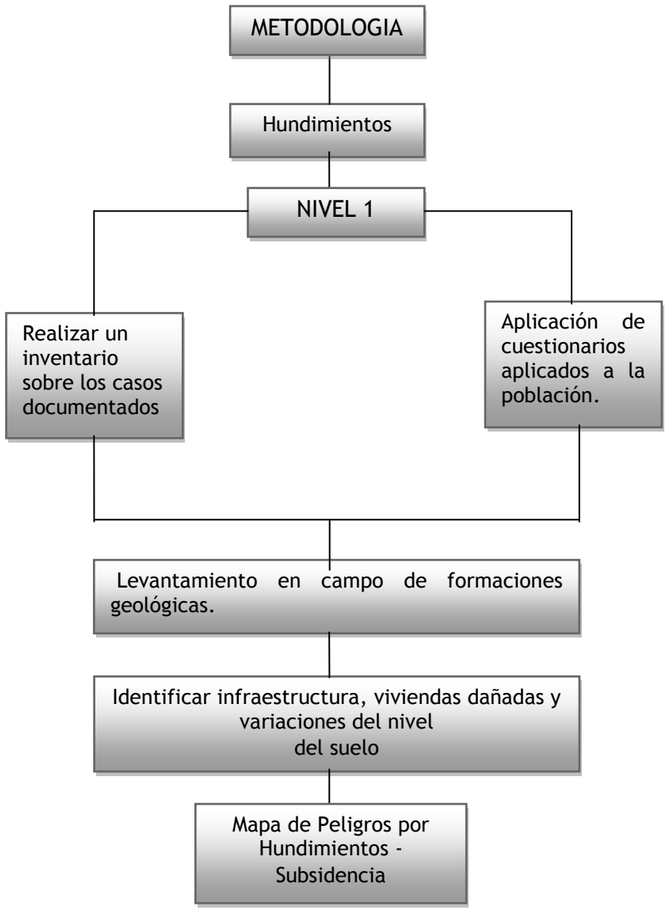
Un hundimiento de tierra es un movimiento de la superficie terrestre en el que predomina el sentido vertical descendente y que tiene lugar en áreas de distintas características y pendientes. Se diferencia del término subsidencia por sus escalas temporal y espacial mucho más reducidas. Este movimiento puede ser inducido por distintas causas y se puede desarrollar con velocidades muy rápidas o muy lentas según sea el mecanismo que da lugar a tal inestabilidad (Pacheco, 2007)

El hundimiento del terreno en áreas metropolitanas es un riesgo geológico mayor inducido por el hombre, que afecta edificios e infraestructura urbana y que resulta en consecuencias de vulnerabilidad a la población y en altos costos de mantenimiento y reposición de infraestructura urbana.

5.1.6.1. Metodología de Análisis

La metodología a seguir en el estudio de hundimientos se representa en 1 nivel que comprende las siguientes etapas: Realizar un inventario sobre los casos documentados de zonas que presenten este tipo de fenómenos. Se realizará un levantamiento en campo de formaciones geológicas que pueden dar origen a fenómenos de hundimientos. Se identifican la infraestructura, viviendas dañadas y variaciones del nivel del suelo por este proceso, se registran dichas evidencias en un mapa con escala a detalle. La metodología se fortalece con la aplicación de cuestionarios aplicados a la población y autoridades municipales para el registro de evidencias histórica. La Información de antecedentes de estudios realizados. Mapas con información de zonas de hundimientos, agrietamientos, deformación de la superficie. Formaciones propias del relieve son fundamentales para identificar el fenómeno, así mismo se identifican zonas de extracción de minerales o de agua, dichas de registro de la información levantada en campo incluyendo fotografías. La metodología se muestra en el diagrama de flujo de la Tabla 5.1.6.1.

Tabla 5.1.6.1. Metodología para el estudio de fenómeno geológico de los hundimientos.



Fuente: Elaboración propia, en basa a datos de los Términos de Referencia, 2016.

Nivel de Análisis 1

5.1.6.2. Antecedentes: Casos documentados del Peligro por Hundimientos.

Las causas principales de los hundimientos de tierras es la extracción de agua para uso agrícola y humano la disolución de la piedra caliza, que es el carbonato de calcio, por la acción del agua subterránea. Aunque el CaCO3 tiene una constante del producto de solubilidad relativamente pequeña, es muy soluble en presencia de un ácido. Este problema ha causado muchos problemas en muchos lugares en México.

Los hundimientos también se pueden presentar por la presencia de fallas, cuyo desplazamiento de los bloques de separación puede ocasionar hundimientos, que últimamente se ha presentado en zonas urbanas y el caso de Autlán (Cabecera), no es la excepción.

Existen una serie de casos documentados que indican la presencia y ocurrencia de Hundimientos. En los últimos 100 años se ha registrado a nivel mundial un crecimiento acelerado en las actividades agrícolas e industriales ocasionado por el constante aumento de la población. La intensa explotación de acuíferos que subyacen diversas áreas urbanas de México ha resultado en altas tasas de subsidencia, consecuentemente incrementando los riesgos de orígen geológico. En la Ciudad de México, la velocidad de subsidencia máxima registrada excede los -370 mm/año, resultando en un continuo daño estructural a casas habitación e infraestructura urbana. En otras ciudades del centro de México, el proceso de subsidencia se presenta en niveles relativamente menores, pero aún lo suficientemente altos (-40 a -90 mm/año) para causar falla superficial significativo. Estas altas velocidades de subsidencia son inducidas por el incremento de la demanda de agua debido al crecimiento de la población así como el mejoramiento de la calidad de vida, que conlleva la caída del nivel del agua subterránea y la consolidación de sedimentos. El crecimiento de la economía mexicana, especialmente en la zona industrializada del centro y norte de México, sugiere que la demanda de agua seguirá creciendo, lo que magnificará el proceso de subsidencia y el riesgo asociado en diversas areas urbanas del país. *www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/147/8/A8.pdf*.

Las áreas urbanas han crecido y se han extendido, ocupando zonas que fueron de uso agrícola. Debido a tal crecimiento demográfico mucha de la superficie inactiva hasta entonces tuvo que ser utilizada y abierta a usos agrícolas, ganaderos e industriales. Como consecuencia, se generó un aumento en la demanda del abastecimiento del agua para satisfacer las necesidades básicas tanto de la población, de la industria y del riego de los campos de cultivo. Al agotarse las fuentes de agua superficiales naturales (lagunas, lagos y manantiales) y al rebasar la capacidad de aprovisionamiento de los cuerpos de agua artificiales (represas, presas y bordos), se recurrió a la explotación del agua del subsuelo mediante la perforación de pozos.

Los asentamientos humanos están normados fundamentalmente por la disponibilidad de agua y de que las condiciones naturales permitan el desarrollo poblacional. En México existen numerosos casos donde el problema de la subsidencia o hundimientos del terreno ha provocado daños materiales de considerable valor. Tal es el caso de la Ciudad de México Salamanca, Aguascalientes, el Valle de Querétaro, estas son ciudades que se encuentran asentadas en cuencas lacustres (Pacheco, 2007). En Jalisco hay dos casos que llaman la atención. Uno es Chapala donde incluso la Presidencia Municipal está sumamente deteriorada, el otro caso es el poblado de Ameca. También hay que tomar en cuenta Ciudad Guzmán (Malagón, 2015).

Las zonas con mayor potencial para la explotación del agua del subsuelo, y por tal razón las que presentan un mayor desarrollo y crecimiento, son los valles formados en cuencas que en un proceso de millones de años han sido cubiertas por materiales granulares, usualmente de origen aluvial y lacustre, los cuales son un excelente medio para la formación de depósitos de agua susceptibles de ser aprovechados.

Cuando la cantidad de agua que se extrae del subsuelo es más grande que la cantidad de agua que entra al acuífero por infiltración, se dice que el acuífero está siendo sobreexplotado. La sobreexplotación del acuífero de una cuenca que contiene rellenos granulares, aluviales y lacustres con potencial de ser consolidado, tiene como consecuencia la generación de hundimientos, asentamientos y acomodamientos graduales de los rellenos, y la generación de grietas en la superficie del terreno.

El hundimiento en el terreno durante el desarrollo, puede provocar daños graves en distintos tipos de estructuras e incluso poner en peligro la vida de las personas cuando estas se generan de forma espontánea (Figura 5.1.6.1.) Por otra parte los hundimientos se pueden generar, producto conductos a cavidades subterráneas y condiciones de terreno como rellenos o materiales de baja calidad, limos o arcillas con alto contenido de humedad (Paniagua, 1991).

Figura 5.1.6.1. Hundimiento por Fallamiento en Querétaro.

Fuente: Pacheco, 2007

La zonificación de los hundimientos, se realizó en Querétaro fue con base a la interpretación cartografía básica e interpolación de datos y mapas, dando un radio de afectación de 300 m en el cual se dividen en diferentes grados de peligro a partir del borde de falla. Se recomienda consultar el subcapítulo de Metodología dentro del capítulo de Riesgo Geológicos, para tener mayor detalle de la metodología aplicada. Dado que sólo se sitúa una parte de los límites del Municipio, en la Figura 5.1.6.2. se muestra la zonificación de peligro, donde se puede observar que no se ubican localidades aledañas a la estructura (Pacheco, 2007).

Figura 5.1.6.2. Hundimiento por fallamiento localizado en Querétaro, con un desplazamiento vertical de cerca de un metro.

Fuente: Pacheco, 2007

Los hundimientos son colapsos de los subsuelos, movimientos verticales ocasionados por acción y efecto de la gravedad, que afectan y desplazan el suelo, el terreno o algún otro elemento de la superficie terrestre. Estos movimientos verticales pueden tener origen por el colapso de cavernas en rocas calcáreas, llamado hundimientos cársticos; por compactación de materiales granulares o hundimiento diferencial, por la presencia de fallas geológicas (Domínguez, 2002). De igual forma puede generarse por actividades antrópicos como la sobreexplotación de acuíferos, entre otras.

Los hundimientos cársticos se conocen como dolinas, aunque también pueden generarse por subsidencia de los suelos blandos que recubren morfologías cársticas. La morfología de estas estructuras es variada, tal es el caso de las que se originan por disolución y hundimiento o colapso, las primeras son el resultado de la perdida lenta y paulatina de material disuelto por aguas pluviales que se encharcan y luego se

infiltran, originando dolinas con paredes suaves o tendidas; y la segunda se relaciona a movimientos repentinos y se caracterizan por dolinas escarpadas (Dominguez,2002).

5.1.6.3. Aplicación de cuestionarios a la población para el registro de evidencias histórica.

El levantamiento de encuestas ha sido de apoyo para obtener información que ayude a identificar los peligros por hundimientos y poder identificar los peligros o procesos que se efectúen por hundimientos.

Los hundimientos son procesos que aunque son procesos paulatinos y poco a poco afectan a la infraestructura de una zona urbana, no ocasiona victimas en su momento, pero la ocurrencia de un fenómeno sísmico fuerte puede encontrar una zona debilitada y puede ocasionar un desastre.

El trabajo de campo desarrollado se identificaron las zonas que presentan evidencias de hundimiento y fracturamiento, localizados principalmente en la cabecera municipal. (Figura 5.1.6.3.)

Figura 5.1.6.3. El fenómeno de hundimientos ha ido creciendo en los centros urbanos.
Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

5.1.6.4. Trabajo de campo de formaciones geológicas o zonas de antiguas que pueden dar origen a fenómenos de hundimientos y subsidencia.

El trabajo de campo se desarrolló en base a recorrido en las zonas previamente identificadas con hundimientos históricos, tomando datos correspondientes con mediciones en desniveles, toma de fotografías de la infraestructura dañada y pláticas con pobladores de los sitios

5.1.6.5. Evidencias de Hundimientos en el Municipio de Autlán

Los procesos de hundimientos se observaron principalmente en la cabecera municipal y se sustenta su origen fundamental a los procesos de fallamaiento el área. A continuación se muestran algunas evidencias de fracturamiento y hundimiento en la zona, en conjunto con las características del material en el subsuelo (Figuras 5.1.6.4 , 5.1.6.5 ,5.1.6.6 , 5.1.6.7 y 5.1.6.8).

Figura 5.1.6.4. Proceso de hundimiento en la cabecera Municipal con desnivel vertical de 4 cm.

Fuente: HAB-Consultores Ambientales 2017

Figura 5.1.6.5. Hundimiento de 5 cm en Cabecera Municipal

Fuente: HAB-Consultores Ambientales, 2017

Figura 5.1.6.6. Fractura de muro producto de hundimiento

Fuente: HAB-Consultores Ambientales, 2017

Figura 5.1.6.7. Material de relleno encontrado en la excavación de una fosa mayor a 50 cm

Fuente: HAB-Consultores Ambientales, 2017

Figura 5.1.6.8. Hundimiento por falla

Fuente: HAB-Consultores Ambientales, 2017

5.1.6.6. Memoria de Cálculo

Para el estudio de los hundimientos no existe un proceso preciso para realizar cálculos para determinar este tipo de fenómenos. El estudio de estos fenómenos lo hemos iniciando primeramente localizando los diversos hundimientos históricos identificados, realizando mediciones de desnivel presentes, observando los diversos tipos de fracturamientos. El único proceso para dar seguimiento a este tipo de fenómenos es la colocación de testigos para observar el avance del movimiento de los hundimientos e identificar el proceso real del origen del fenómeno o efectos detonadores. En la Figura 5.1.6.9.se observa las zonas identificadas con hundimientos y fracturamientos históricos por la presencia de fracturas a nivel superficial y el tipo de terreno identificado en el suelo, que es un factor determinante en los hundimientos, dados que estos deben soportar las fuerzas dinámicas originados por los sismos.

5.1.6.9. Zonificación de fracturamiento y Hundimientos identificados históricamente en el Municipio de Autlán

Fuente: HAB – Consultoría Ambiental, 2017, con datos de inventario de peligros de PC. Estatal.

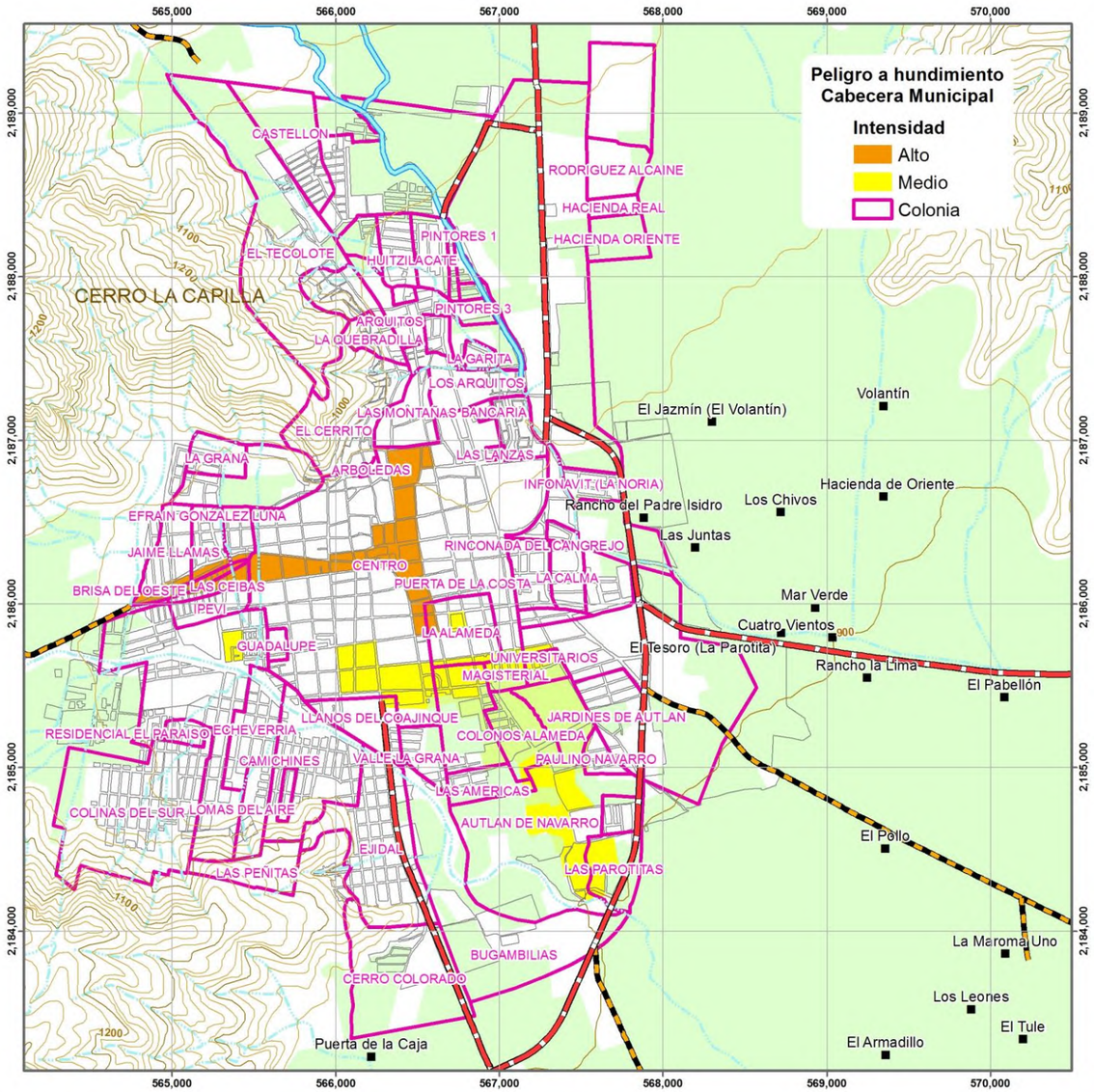
De acuerdo al trabajo de campo y a la revisión de infraestructura dañada por agrietamiento se obtuvo la zonificación para el hundimiento en zona urbana de la Cabecera Municipal (Figura 5.1.6.10).

5.1.6.10. Mapa de Peligros por Hundimientos propensos en el Municipio de Autlán

Fuente: HAB – Consultoría Ambiental, 2017

A partir de la información obtenida del trabajo de campo se obtuvo el mapa para el peligro por hundimientos a nivel de la Cabecera Municipal (Figura 5.1.6.11).

Figura 5.1.6.12. Mapa de Peligro por Hundimientos a nivel de la Cabecera Municipal



Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

5.1.6.7. Análisis de Resultados

El peligro por hundimiento en zonas urbana de Autlán involucra el riesgo a la infraestructura, con una intensidad de peligro de Medio a Alto. La vulnerabilidad física del fenómeno se da en función de la tipología de la vivienda. Si bien en la zona de zonificada, se encuentra material de rellenos de baja calidad para soportar fuerzas dinámicas y de peso, pero también pueden influir, en el resto del área donde las características físicas, hidrogeológicas y antrópicas favorezcan los factores condicionantes para propiciar los procesos de hundimientos y/o el desarrollo de agrietamientos..

Así mismo, no se descarta la posibilidad de presentar otros movimientos de suelos, como los asentamientos diferenciales o uniformes, que son frecuentes de manifestarse en zonas urbanas. Estos asentamientos pueden tener distintos orígenes, como la ausencia de compactación total del suelo, textura, incremento o disminución de la humedad en las capas de suelos, profundidad de construcción de cimientos, variaciones del nivel freático.

Las zonas de hundimientos por lo general no se consideran sitios de desastres por la lentitud del fenómeno, pero pueden existir factores detonantes, Los elementos vulnerables, en términos generales, puede clasificarse como de carácter técnico y de carácter social, siendo la primera más factible de cuantificar en términos físicos y funcionales, como por ejemplo, en pérdidas potenciales referidas a los daños o la interrupción de los servicios, a diferencia de la segunda que prácticamente sólo puede valorarse cualitativamente y en forma relativa, debido a que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, ideológicos, etc.

Los elementos vulnerables ante la presencia de este tipo de fenómenos son en el contexto material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la ocurrencia de un evento, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza, factores que se utilizarán en el análisis de los elementos vulnerables ante la presencia de hundimientos. La zona urbana de Autlán requiere de mayor estudio a detalle, desde el punto de vista del subsuelo, con estudios Geofísicos, la propuestas a detalle se presentan en el apartado de acciones a seguir.

Finalmente se puede concluir que el peligro por hundimiento presentes en la Cabecera Municipal se deben principalmente a la mala calidad del suelo con la alta presencia de arcilla, limos y gravas de diferente tamaños lo que hace al terreno sea débil ante una posible fuerza dinámica como las que generan los sismos. Los desplazamientos son variables hasta 5 cm aproximadamente. Este fenómeno normalmente está asociado a la formación de agrietamientos a nivel superficial en donde de manera general se manejan dos teorías: una por desplazamiento vertical de fallamiento y la segunda por la extracción de agua de los mantos acuíferos, que pueden acelerar el proceso del fenómeno.

5.7 Subsidencia

La subsidencia y el fallamiento superficial asociado son procesos que afectan áreas urbanas y están relacionados con la extracción intensiva del agua subterránea, lo cual genera pérdida de la presión de poro en medios granulares y conlleva a la deformación del terreno (*e.g.* Galloway y Leake, 2007). Estos procesos están controlados por las condiciones locales de hidroestratigrafía, geomecánica y geología estructural y es posible medirlos con técnicas InSAR, que proveen una herramienta efectiva en costo, con cobertura espacial adecuada y resolución temporal suficiente para observar deformación a largo plazo de la zona de estudio deseada (Galloway y Leake, 2007; Tomás *et al.*, 2009).

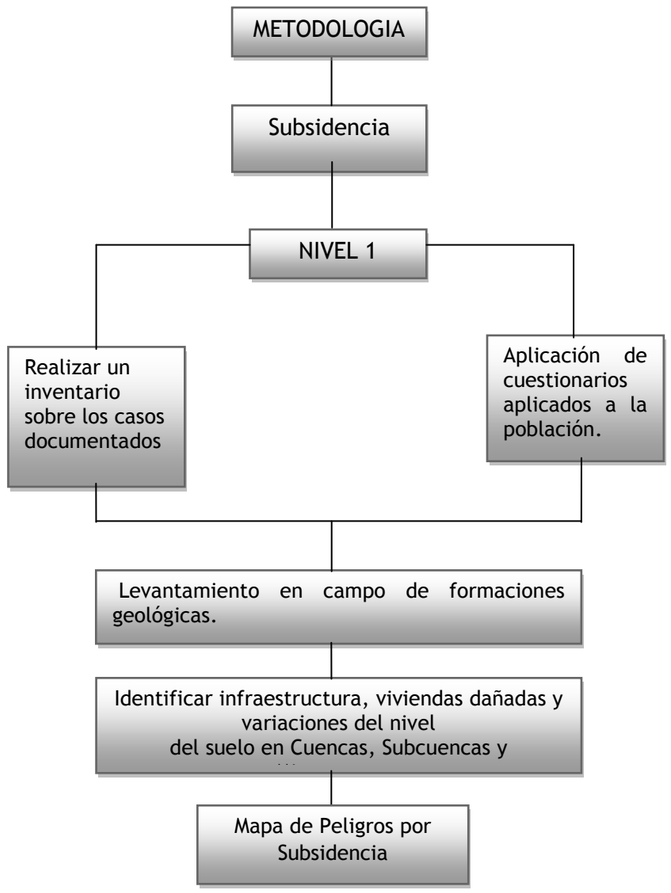
Se pueden encontrar diversas definiciones sobre el término subsidencia, sin embargo, como definición general, indicamos que una subsidencia es un movimiento lento o paulatino o deformación de la superficie del terreno debido a cambios tensiónales tales como la compactación de las unidades geológicas que lo conforma, inducidos por el descenso del nivel freático caracterizando un área determinada (Pacheco,2007).

5.1.7.1. Metodología de Análisis para el estudio de la subsidencia.

La subsidencia en su modalidad de hundimiento regional se sigue la siguiente metodología en un nivel que se representa en las siguientes etapas. En una zona donde no se han realizado estudios para este fenómeno es importante poder definir primeramente los casos documentados en donde se ha presentado este tipo de fenómeno para comprender los factores detonante. El trabajo de campo será fundamental para determinar las formaciones geológicas o zonas de antiguas minas que pueden dar origen a fenómenos de subsidencia. Identificar infraestructura, viviendas dañadas y variaciones del nivel del suelo por este proceso, registrar dichas evidencias en un mapa con escala a detalle.

La metodología se fortalece con la aplicación de cuestionarios aplicados a la población y autoridades locales para el registro de evidencias histórica. Información de antecedentes de estudios realizados. Mapas con información de zonas de subsidencia, agrietamientos, deformación de la superficie. Formaciones, así mismo se deberá identificar zonas de extracción de minerales o de agua. Fichas de registro de la información levantada en campo incluyendo fotografías. La metodología se muestra en la Tabla 5.1.7.1. definida en forma de diagrama de flujo para su mejor comprensión.

Tabla 5.1.7.1. Metodología seguida para el estudio de la Subsidencia del terreno



Fuente: Elaboración propia, en basa a datos de los Términos de Referencia, 2016.

Nivel de Análisis 1

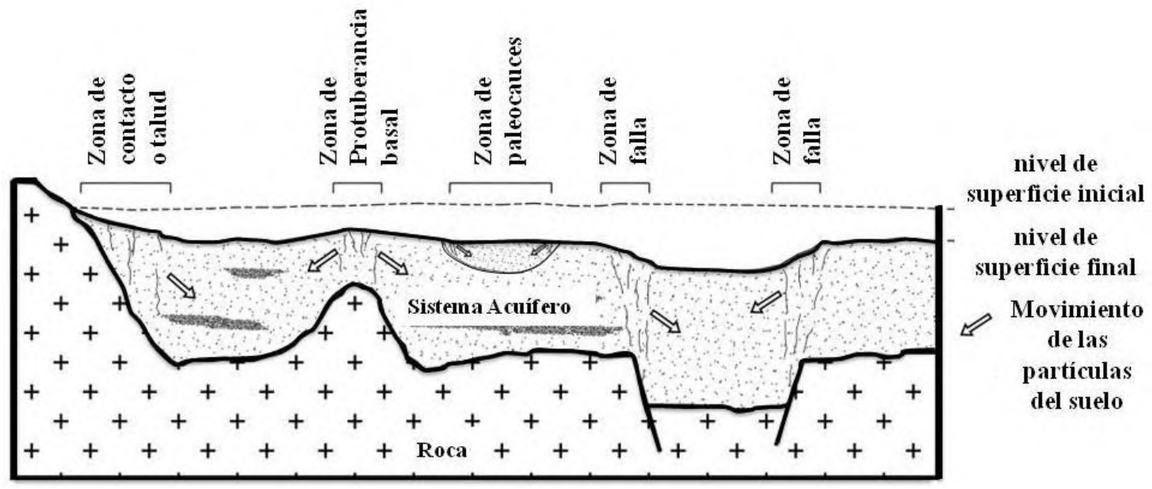
5.1.7.3. Subsidencia del Terreno

La subsidencia del terreno es un movimiento descendente y diferencial del suelo relativo a un dátum, debido a su compactación gradual y la reducción de la presión del agua en los poros, con tasas variables de entre algunos milímetros a metros por año, causando daños en edificios, vías de comunicación, puentes e infraestructura en general, pérdida de vidas y daños ambientales tales como la disminución del agua subterránea y el deterioro de su calidad (Arzate et al., 2006; Marfai & King, 2007 y Rodríguez & Rodríguez, 2006).

La subsidencia del terreno es un fenómeno asociado a diversas causas, de tipo natural como el colapso de cavernas, influenciadas por el hombre como el derrumbe de túneles mineros o la explotación intensiva de acuíferos (Marfai & King, 2007; Mousavi et al., 2001), como se puede apreciar en la Tabla 5.1.7.2., que recopila la clasificación de los tipos de subsidencia del terreno propuesta por el National Research Council (1991).

El hundimiento paulatino de la superficie de la tierra debido a un movimiento subsuperficial originado por la extracción de agua subterránea que puede aparecer en zonas donde esta se produce de forma extensiva, originando una disminución en la cantidad de agua contenida en las rocas y suelo de la zona, que se traduce en una compactación de depósitos de sedimentos (limos y arcillas), generando agrietamientos en la masa del relleno granular (Pacheco, 2007) (Figura 5.1.7.1).

Figura 5.1.7.1. Compactación de sedimentos que determinan la formación de agrietamientos



Fuente: Pacheco, 2007

Si el movimiento vertical es lento o muy lento (metros o centímetros/año) y afecta a una superficie amplia (km2) con frecuencia se habla de subsidencia. Si el movimiento es muy rápido (m/s) se suele hablar de colapso.

La subsidencia describe el progresivo hundimiento de una superficie, generalmente de la litosfera, bien sea por el movimiento relativo de las placas tectónicas que incluyen tanto la convergencia de las mismas como su divergencia o, en una escala menor, por el asentamiento del terreno en las cuencas sedimentarias (a menudo acelerado por la acción humana, como es el caso de las cuencas petroleras) o por el cese de la actividad volcánica en áreas reducidas en torno a los volcanes propiamente dichos, como sucede en el caso de los atolones. En el caso de la subsidencia, el nivel del mar, como es lógico, sube. El opuesto de la subsidencia es el levantamiento, el cual resulta en un incremento de la altitud de la superficie sólida de nuestro planeta y, en consecuencia, en un descenso del nivel del mar.

La subsidencia del terreno es un fenómeno que se presenta en diversos lugares del mundo, y se manifiesta mediante hundimientos diferenciales de la superficie del suelo y agrietamientos en la infraestructura, asociado a diferentes factores que lo originan, básicamente la explotación de fluidos del subsuelo, presencia de rocas solubles y colapso de cavidades subterráneas. El estudio de la subsidencia implica determinar las zonas y grados de susceptibilidad a fenómenos de subsidencia del terreno identificando los elementos que favorecen la ocurrencia de este fenómeno, mediante el uso de una metodología denominada InSar.

Las causas de la subsidencia pueden ser, entre otras:

La respuesta de los materiales geológicos ante los esfuerzos tectónicos distensivos, por ejemplo ante la formación de fosas tectónicas o que con el tiempo pueden dar lugar a fisuras. La respuesta de los materiales geológicos ante los esfuerzos tectónicos localmente distensivos en un marco de tectónica epidérmica con juegos de fallas superficiales con trazados flexionados, por ejemplo en cuencas de tipo pull-apart. Reajustes litosféricos por isostasia, por ejemplo al final de una colisión continental tras el cese del levantamiento cortical o fin de la formación de un orógeno. Las variaciones en el nivel freático o en el estado de humedad del suelo, por ejemplo como consecuencia de la explotación de acuíferos.

La actividad minera subterránea, por ejemplo tras el abandono de galerías subterráneas. Por su parte, las causas de los colapsos implican el fallo de la estructura geológica que sostiene una porción del terreno bajo el cual existe una cavidad, lo que puede venir motivado por la disolución de las rocas (por efecto de karstificación, hasta el límite de la resistencia de los materiales o el vaciado de acuíferos o en general el debilitamiento por meteorización física o química de una estructura que alberga una cavidad. El aprovechamiento de los recursos naturales (actividad minera, explotación de acuíferos) también puede inducir a colapsos (Figura 5.1.7.2).

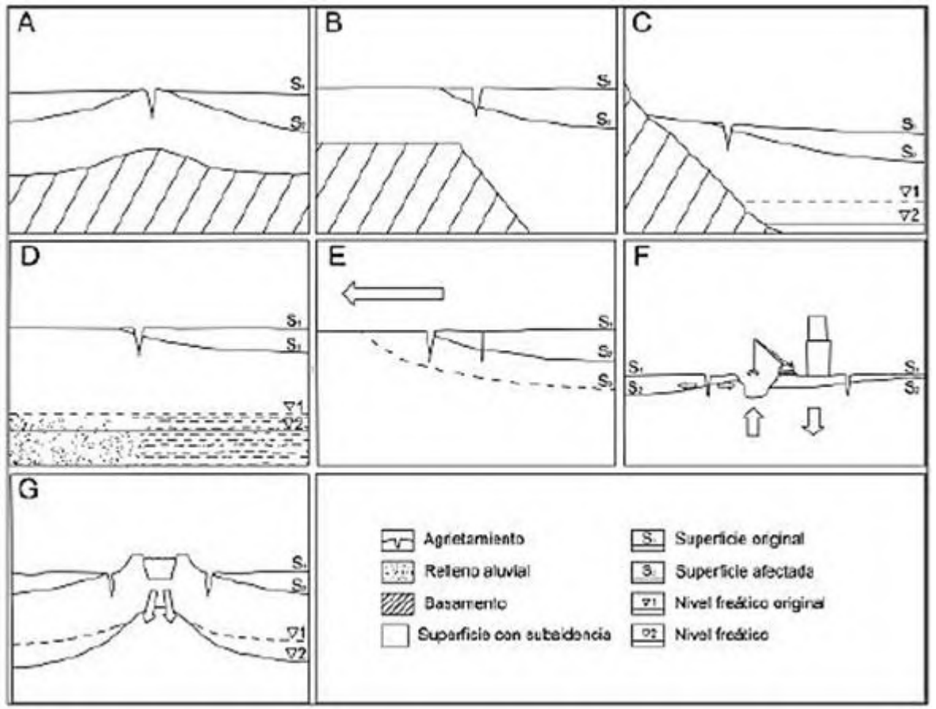
Tabla 5.1.7.2. Tipos de subsidencia del terreno

Colapso de cavidades subterráneas	
Minería	Desplome de túneles, por lo general antiguos o abandonados
Hundimientos	Derrumbe de cavidades generadas por la disolución de rocas
Compactación	
Extracción de fluidos subterráneos	La explotación de fluidos confinados en el subsuelo genera un Descenso de la presión y el consecuente colapso de los poros, Dando como resultado la compactación del suelo.
Compactación natural	Se produce por la compactación de sedimentos antiguos cubiertos por sedimentos más recientes, generando una subsidencia del terreno regional, con tasas muy bajas. Puede incrementar la posibilidad de flujos
Hidrocompactación	Se presenta en suelos colapsables compuestos por dos tipos de sedimentos: flujos de lodos y loess; debido a su baja densidad hay un colapso de la estructura del suelo que genera una compactación, dando lugar a una subsidencia del terreno muy localizada
Licuefacción	La saturación del suelo, provoca que los granos que lo componen dejen de estar en contacto y el material se comporta como un líquido.
Drenaje de suelos orgánicos	Los suelos orgánicos están expuestos a diferentes procesos que pueden inducir la compactación y reducción de su volumen
Derretimiento del permafrost	El suelo permanentemente congelado se denomina permafrost y es característico de algunas zonas de Canadá, Alaska y Siberia. Por lo general el volumen de hielo presente rompe la unión entre las partículas del suelo. El deshielo provoca entonces que el material se transforme en barro poco resistente.
Deformación de la corteza	
Vulcanismo	Estos fenómenos causan la densificación y compactación del terreno como consecuencia del reajuste de partículas debido a la vibración.
Sismicidad	
Deformación posglacial	Durante la época glacial, el peso de las masas de hielo provocó subsidencia del terreno de hasta cientos de metros, así durante la deglaciación, la superficie se elevó nuevamente.

Fuente: National Research Council (1991)
González et al. (2004)
Tomás et al. (2009)
Protti et al. (2010)

Adicionalmente, Larson (1986) describió siete ambientes geológicos que favorecen el desarrollo de áreas de subsidencia del terreno con base en las formas del basamento y los cambios en los materiales del subsuelo, los cuales se esquematizan y describen en la Figura 5.1.7.1.

Figura 5.1.7.1. Ambientes geológicos que favorecen los agrietamientos



Fuente: Larson (1986)

A. Presencia de colinas enterradas pueden generar un perfil convexo con fisuras directamente sobre la cima o a cierta distancia de esta.
B. Presencia de escarpes enterrados de origen tectónico o erosional desarrollan agrietamientos en los puntos donde se presentan cambios en la pendiente
C. Líneas de quiebre en la pendiente del basamento, se presentan en las áreas donde la profundidad original del nivel freático es muy cercano al basamento y las grietas se forman paralelas a la línea de quiebre.
D. Cambio en los sedimentos debido a que los de grano fino tienden a compactarse más que los de grano grueso, por lo que se generará una subsidencia del terreno diferencial formando grietas en la zona de cambio.
E. Cambios en el frente de avance de la subsidencia del terreno, el cual irá cambiando en el tiempo generando nuevas zonas de agrietamientos.
F. Cambios en la carga vertical del suelo que compactan el terreno como consecuencia de fuerzas artificiales.
G. Áreas cercanas a zonas de recarga debido al movimiento de aguas subterráneas que favorecen la subsidencia del terreno.

La subsidencia del terreno en áreas metropolitanas es un riesgo geológico mayor inducido por el hombre, que afecta edificios e infraestructura urbana y que resulta en consecuencias de vulnerabilidad a la población y en altos costos de mantenimiento y reposición de infraestructura urbana. (Figuras 5.1.7.2 y 5.1.7.3.).

Figura 5.1.7.2. Hundimiento y fracturamiento por Subsidencia en la ciudad de México

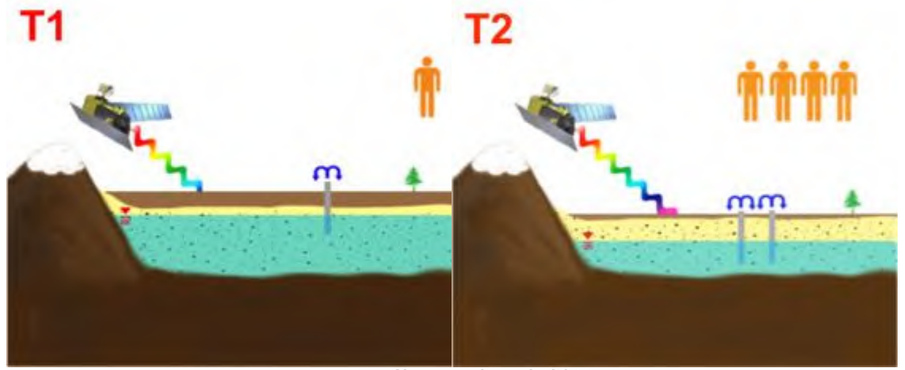
Fuente: Instituto de Geofísica, UNAM-Universidad de Miami, 2014

Figura 5.1.7.3. Daños a la infraestructura urbana por el fenómeno de susbsidencia en la Ciudad de México

Fuente: Fotografías de campo cortesía del grupo de Hidrogeología de la Facultad de Ingeniería, UNAM

La intensa explotación de acuíferos que subyacen diversas áreas urbanas de México ha resultado en altas tasas de subsidencia, consecuentemente incrementando los riesgos de orígen geológico. En la Ciudad de México, la velocidad de subsidencia maxima registrada excede los -370 mm/año, resultando en un continuo daño estructural a casas habitación e infraestructura urbana. En otras ciudades del centro de México, el proceso de subsidencia se presenta en niveles relativamente menores, pero aún lo suficientemente altos (-40 a -90 mm/año) para causar fallamiento superficial significativo. Estas altas velocidades de subsidencia son inducidas por el incremento de la demanda de agua debido al crecimiento de la población así como el mejoramiento de la calidad de vida, que conlleva la caída del nivel del agua subterránea y la consolidación de sedimentos Figura 5.1.7.4). El crecimiento de la economía mexicana, especialmente en la zona mas industrializada del centro y norte de México, sugiere que la demanda de agua seguirá creciendo, lo que magnificará el proceso de subsidencia y el riesgo asociado en diversas áreas urbanas del país.

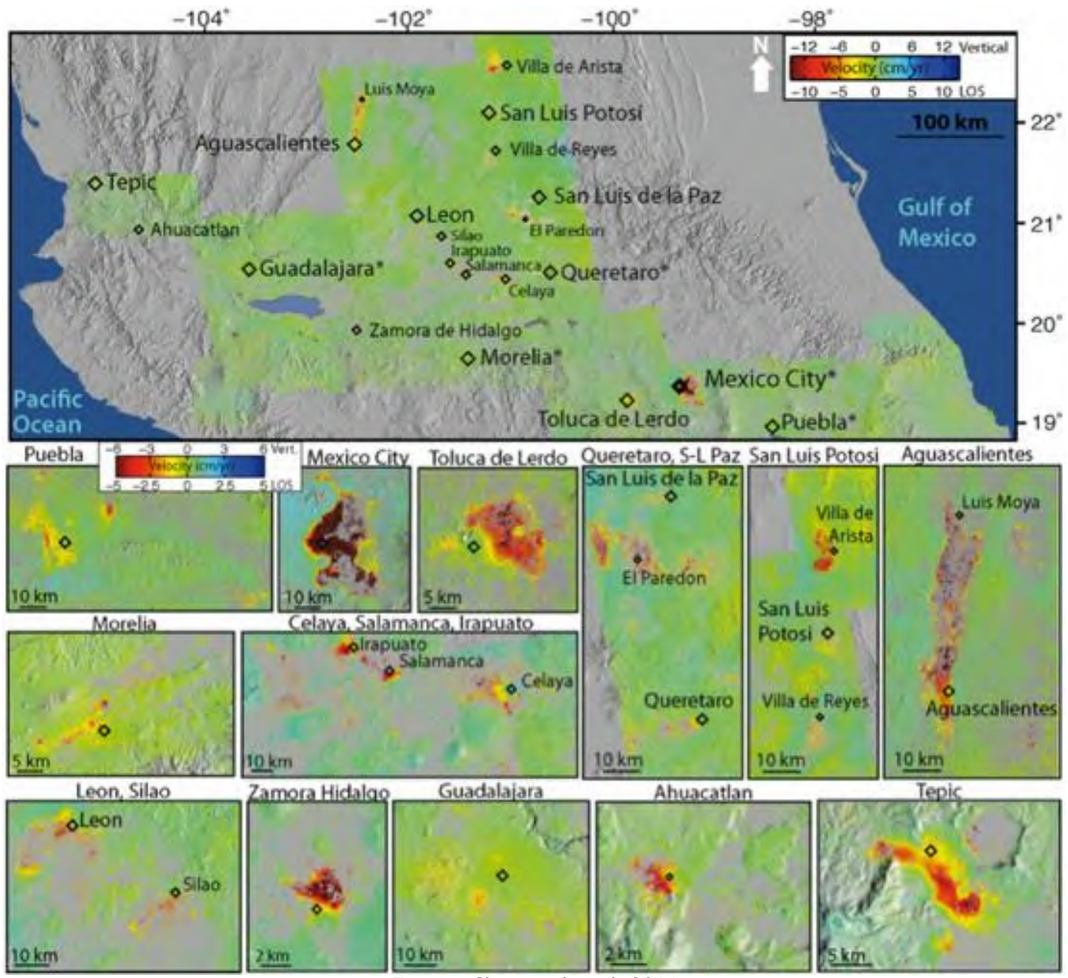
Figura 5.1.7.4. El desarrollo sostenible de zonas urbanas requiere el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles, tanto de fuentes superficiales como de fuentes subterráneas.



Fuente: Chaussard et al, 2014

Sin embargo, la falta de planificación o el crecimiento no planificado de las zonas urbanas genera un desbalance entre la extracción y consumo de agua y la recarga natural. Al modificarse las condiciones de equilibrio naturales, este sistema se descompensa y sufre un reacomodo mecánico que se evidencia en superficie como un hundimiento o subsidencia y que bajo ciertas condiciones genera una falla superficial asociado. Las investigaciones realizadas sobre subsidencia se ha venido realizando en conjunto con otras Universidades como la colaboración con el Geodesy and Seismology group de la Universidad de Miami, los estudios se concentran en la evaluación de riesgo de diversas ciudades de México, incluyendo entre otras las Ciudades de México, Morelia, Celaya, Irapuato y Aguascalientes; para este fin se han empleado técnicas de InSAR, las cuales pueden detectar subsidencia con precisión milimétrica. Los resultados de estas investigación se han puestos a disposición de organismos administradores de agua de manera que se favorezca la utilización de la información derivada de InSAR y sus productos cartográficos derivados para definir una mejor estrategia de extracción de agua subterránea en áreas que experimentan altas velocidades de subsidencia, proponer mejores estrategias de mitigación y en última instancia mejorar el manejo de los recursos hídricos. En la figura 5.1.7.5. se muestra la zonificación espacial de la subsidencia observada en 17 ciudades en México. El municipio de Autlán no se encuentra considerado pero está en los límites de esta distribución y que se debería considerar para realizar estudios a detalles con respecto al fenómeno de subsidencia.

Figura 5.1.7.4. Distribución espacial de subsidencia observada en 17 ciudades del centro de México



Fuente: Chaussard et al, 2014

Algunas de las ciudades del centro del país establecidas en cuencas lacustres y que han sido afectadas por un problema generalizado de fracturamiento y/o subsidencia son: la Ciudad de México(La subsidencia de la Ciudad de México. Los datos fueron adquiridos por Envisat ASAR entre enero de 2004 y julio de 2006. Se registra una velocidad máxima (300 mm/año LOS) en el este de la ciudad de México y se observa como aumenta gradiente de subsidencia aumenta en dirección al lago Texcoco), y otras ciudades como, Querétaro, Morelia, San Luís Potosí (En el estado de San Luis Potosí, este fenómeno ha sido estudiado en la ciudad capital, aunque se tienen reportes de manifestaciones del fenómeno en diferentes localidades; sin embargo no se ha realizado un estudio a nivel estatal) Otras ciudades como Aguascalientes, Celaya, Guadalajara, Salamanca, Abasolo, León e Irapuato también presentan el fenómeno de subsidencia. La mayor parte de estas ciudades se localiza sobre planicies horizontales que son la expresión en superficie de cuencas rellenas con materiales sedimentarios fluvio-lacustres altamente heterogéneos en composición y estructura; y en la mayoría de los casos también de materiales volcánicos (principalmente lavas y materiales piroclásticos). Cabe remarcar que estas cuencas se encuentran delimitadas por el efecto combinado de edificios volcánicos y estructuras regionales.

Las áreas urbanas han crecido y se han extendido, ocupando zonas que fueron de uso agrícola. Debido a tal crecimiento demográfico mucha de la superficie inactiva hasta entonces tuvo que ser utilizada y abierta a usos agrícolas, ganaderos e industriales. Como consecuencia, se generó un aumento en la demanda del abastecimiento del agua para satisfacer las necesidades básicas tanto de la población, de la industria y del riego de los campos de cultivo. Al agotarse las fuentes de agua superficiales naturales (lagunas, lagos y manantiales) y al rebasar la capacidad de aprovisionamiento de los cuerpos de agua artificiales (represas, presas y bordos), se recurrió a la explotación del agua del subsuelo mediante la perforación de pozos.

Los asentamientos humanos están normados fundamentalmente por la disponibilidad de agua y de que las condiciones naturales permitan el desarrollo poblacional. En México existen numerosos casos donde el problema de la subsidencia o hundimientos del terreno ha provocado daños materiales de considerable valor. Tal es el caso de la Ciudad de México Salamanca, Aguascalientes, el Valle de Querétaro, estas son ciudades que se encuentran asentadas en cuencas lacustres. En Jalisco hay dos casos que llaman la atención. Uno es Chapala donde incluso la Presidencia Municipal está sumamente deteriorada, el otro caso es el poblado de Ameca. También hay que tomar en cuenta Ciudad Guzmán.

Las zonas con mayor potencial para la explotación del agua del subsuelo, y por tal razón las que presentan un mayor desarrollo y crecimiento, son los valles formados en cuencas que en un proceso de millones de años han sido cubiertas por materiales granulares, usualmente de origen aluvial y lacustre, los cuales son un excelente medio para la formación de depósitos de agua susceptibles de ser aprovechados.

Cuando la cantidad de agua que se extrae del subsuelo es más grande que la cantidad de agua que entra al acuífero por infiltración, se dice que el acuífero está siendo sobreexplotado. La sobreexplotación del acuífero de una cuenca que contiene rellenos granulares, aluviales y lacustres con potencial de ser consolidado, tiene como consecuencia la generación de hundimientos, asentamientos y acomodamientos graduales de los rellenos, y la generación de grietas en la superficie del terreno.

El comportamiento mecánico y el fracturamiento por ejemplo del sistema lacustre de la Cuenca de México ha sido estudiado con relativo detalle por diferentes grupos desde la mitad del siglo anterior, y la subsidencia en la Ciudad de México fue reportada incluso antes de iniciarse la extracción intensiva del agua subterránea . Posteriormente se mencionan a Nabor Carrillo (1947) como el primer científico que explicó “el mecanismo que regula la formación de grietas en el Valle de México”, fenómeno que en aquella época ya se hacía notable. Las fracturas entonces observadas se presentaban en terrenos lacustres, aparecían en una época del año y en otra se extinguían. De igual manera, desde hace varias décadas ciertos aspectos de la relación entre la subsidencia regional, el fracturamiento y la extracción de agua subterránea fueron establecidos.

A partir de la década de los años setenta, el problema del fracturamiento de suelos recibió atención especial por parte de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS). En una sesión del simposio “El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México” (1978), se plantea que el origen de las fracturas en Naucalpán se relaciona con fallas por esfuerzo cortante asociadas a la consolidación diferencial del subsuelo y se reportan por primera vez las fracturas en las inmediaciones del cerro Xico, en Chalco. Durante el mismo simposio, se propone una teoría sobre el mecanismo de falla, en la que el estado de tensión del suelo genera una cuña triangular que se hunde entre los bloques delimitados por ambas fracturas. En esta discusión sobre el problema de fracturamiento de los sedimentos lacustres en la Ciudad de México, se retoman las hipótesis propuestas sobre la importancia del abatimiento de presión en los acuíferos en el origen del fenómeno.

5.1.7.3. Subsidencia del terreno en México

La República Mexicana no es la excepción en la presencia del fenómeno de subsidencia, en el Atlas Nacional de Riesgos (Centro Nacional de Prevención de Desastres - CENAPRED, 2001) la mayor susceptibilidad a subsidencia cubre parte de los estados de Aguascalientes, Zacatecas, Tlaxcala, Querétaro, Michoacán, Estado de México, Jalisco (Ameca , Guadalajara, Chápala, Ciudad Guzmán, por mencionar algunos), Hidalgo, Guanajuato, Durango, y Ciudad de México, la cual se considera la zona con la mayor tasa de subsidencia del terreno con valores de entre 5 y 40 cm al año (Sletto, 1995).

Investigadores han realizado trabajos sobre la explotación de acuíferos en la cuenca alta del río Lerma que es una de las cuencas que abastecen a la Ciudad de México y establecieron que las consecuencias del aprovechamiento de agua son el descenso del nivel piezométrico, el desarrollo de fracturas y zonas de subsidencia del terreno y la disminución del volumen del Río Lerma.

Arroyo et al. (2004) reportan que para un periodo de 18 años la zona urbana de Aguascalientes presenta un hundimiento máximo de 1.31 m, y con manifestaciones en todo el valle de Aguascalientes. En el estado de Guanajuato, se han identificado 15 sistemas de fallas por subsidencia del terreno con una extensión total aproximada de 25 km que afectan la ciudad de Irapuato y en Salamanca la tasa es de 6 cm/año (Rodríguez & Rodríguez, 2006).

Tapia (2006) realizó una visita técnica a la Colonia Las Golondrinas de la Ciudad de México, en el que se reportaron varias calles y casas afectadas por severos hundimientos, poniendo de manifiesto la afectación social y económica del fenómeno sobre la población.

Subsidencia como fenómeno inducido

Como la subsidencia no está considerada como un desastre natural ni inducido, ni en la Ley de Aguas Nacionales ni en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), no se incluye en los programas urgentes de ayuda social. Una razón de tal exclusión es que los efectos por lo general se observan a largo plazo. De esta forma, los afectados por fenómenos de subsidencia no cuentan con elementos legales para ampararse o reclamar.

La subsidencia no sólo se afecta la infraestructura visible sino también a tuberías, drenajes y poliductos. La ruptura de tuberías de agua potable incorpora rápidamente a aguas a través del agrietamiento del terreno a formaciones acuíferas someras. Desde los drenajes rotos migran fácilmente microorganismos y materia orgánica.

5.1.7.5. Aplicación de cuestionarios a la población para el registro de evidencias histórica

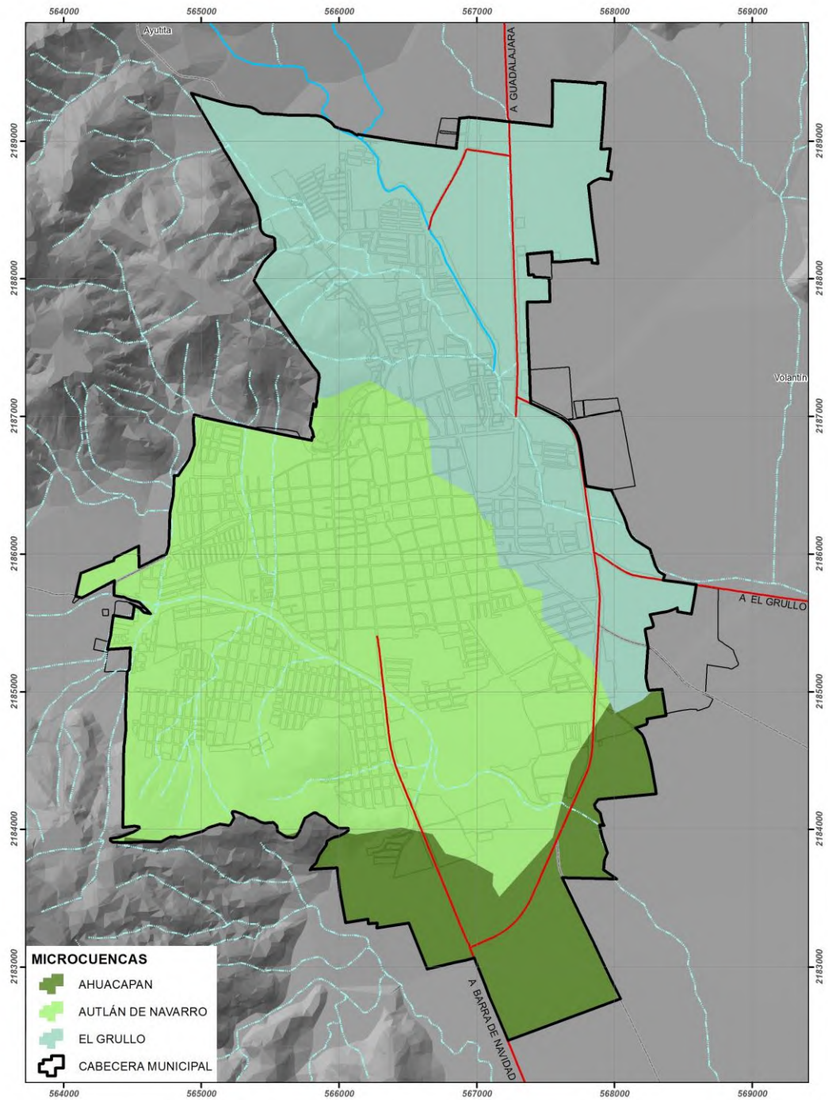
El levantamiento de encuestas ha sido de apoyo para obtener información que ayude a identificar los peligros de hundimientos o fracturamientos superficiales, en la misma la población es muy reiterativa en la presencia de fractutas en sus domicilios, esto ayuda a poder identificar sitios con peligro a presentar procesos que se efectúen por hundimientos y posteriormente se convierta en una subsidencia.

Los hundimientos son procesos que aunque son procesos paulatinos y poco a poco afectan a la infraestructura de una zona urbana, no ocasiona victimas en su momento, pero la ocurrencia de un fenómeno sísmico fuerte puede encontrar una zona debilitada y puede ocasionar un desastre.

5.1.7.6. Caracterización del Cabecera Municipal zona de estudio

Las cuencas lacustres del Municipio de Autlán de Navarro presenta las condiciones necesarias para la presencia del fenómeno de Subsidencia, principalmente en la cabecera municipal donde se han observado fracturamiento y desplazamientos verticales hasta de 1.5 m. La figura 5.1.7.5. y 5.1.7.6., se muestra la microcuenca respectivamente que engloba el Municipio, en donde abarca la zona urbana.

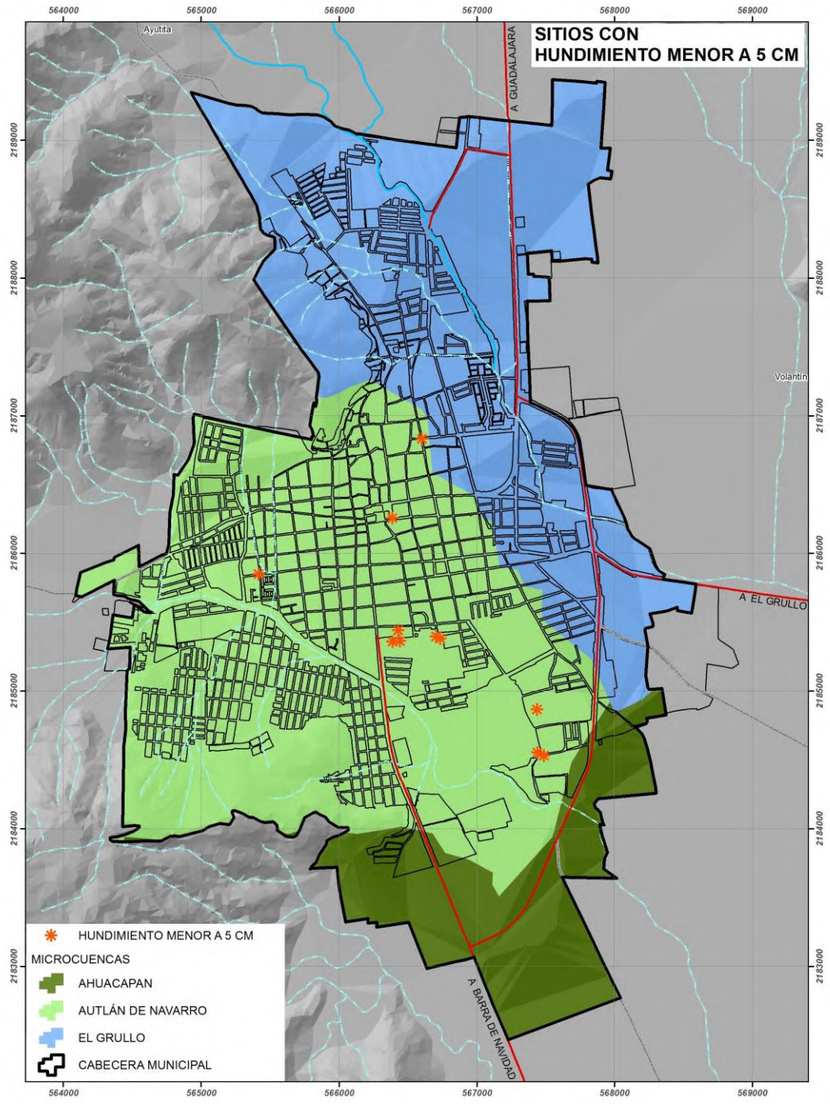
Figura 5.1.7.5. Microcuencas que conforman la Cabecera Municipal



Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

Los desplazamientos principales se localizaron en la Cabecera Municipal (Figura 5.1.7.6), cuya localización urbana se encuentra en sobre la microcuenca de Autlán de Navarro.

Figura 5.1.7.6. Subcuenca en Cabecera Municipal de Autlán de Navarro.



Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

5.1.7.7. Datos fundamentales para la detonación de la Subsidencia

El Acuífero Autlán se localiza en la porción noroeste del Estado de Jalisco, cubriendo una superficie, incluyendo la zona de recarga, de 4452 km2.(CNA, 2000).

La zona de estudio de subsidencia ubicado para la presencia comprende parte de los municipios de Autlán, El Grullo, Ejutla y El Limón; siendo estos municipios los principales centros poblacionales

5.1.7.8. Estudios técnicos realizados con anterioridad

En 1973, por parte de la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la Secretaria de Recursos Hidráulicos se realizó el "Estudio Geohidrológico en las Áreas de los Distritos de Riego y Ampliación del Grullo y Autlán, Jalisco", el cual fue encomendado a la empresa Ingeniería y Geotécnica, S.A., con el fin de conocer las condiciones geohidrológicas y cuantificar el volumen disponible de aguas subterráneas. En este estudio se determinaron tres unidades geohidrológicas una representada por el aluvión, otra por las rocas volcánicas y una tercera representada por las rocas sedimentarias. En base a las configuraciones de la piezometría se menciona la existencia de un flujo subterráneo con la misma dirección de los ríos principales. Con los resultados obtenidos del balance de aguas subterráneas se concluye que se puede incrementar la extracción por bombeo.

En 1978, la SARH a través de la compañía Georama, S.A., efectuó el "Estudio Geohidrológico de Evaluación y Censo del Valle de Autlán-El Grullo, Jal.", concluyendo que la zona de estudio es un valle rodeado por un macizo rocoso, cuyo cuerpo principal del valle, tiene orientación Este-Oeste, que recibe el nombre de Autlán-El Grullo, el cual tiene ramificaciones hacia el cuerpo rocoso formando pequeños valles, los cuales se encuentran rellenados por aluviones de granulometría variada. Geohidrológicamente se concluyó que el acuífero de la llanura principal y sus ramificaciones funcionan en forma independiente y son de tipo libre (CNA, 2000).

El Acuífero de Autlán se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico (Raisz, 1969), o Faja Volcánica Transmexicana (Demant, 1981), la cual se caracteriza por encontrarse en ella numerosos estratovolcanes y otras estructuras más complejas.

El Valle de Autlán esta constituido por llanura de forma irregular, limitada por los lomeríos y sierras de distintas elevaciones, además se caracteriza por presentar pequeñas planicies alargadas que se extienden como brazos del valle principal, cuya orientación es E-O y NE-SW, y que además penetran hacia el interior de las estribaciones de las sierras y lomeríos que lo limitan, donde se encuentran conos aluviales, que corresponden a otras unidades geomorfológicas de carácter menos importante, por su mínimo tamaño y simplicidad de sus estructuras.

El cuerpo principal del valle se extiende desde Autlán al Cerro El Moro, con una distancia aproximada de 23 km, al cual se la ha denominado Valle de Autlán-El Grullo, las ramificaciones de esta llanura se les ha considerado como pequeños valles, los cuales tienen una ligera pendiente hacia el Río Ayuquila o al centro de la llanura principal, estando cortados por cauces fluviales profundos (CEA, 2000).

Las principales geoformas en el área de estudio están formadas por una serie de horst y grabens originados por la actividad tectónica de esta. Las máximas elevaciones en el se encuentran representadas por las cotas 1400 y 1500 msnm, y corresponden a los Cerros La Vainilla y El Ángel, localizados en parte central del valle; Los Parajes, La Cruz y Colomo, situados en la parte noreste del valle, y los Cerros Mezcalera y Lagunitas, que se localizan hacia la parte sureste del valle. Además de los cerros antes mencionados la Sierra Manantlán resalta por su gran tamaño, la cual se encuentra ubicada en la parte sur del valle y está constituida por coladas de pórfidos y macizos de roca intrusiva, que se encuentran enmascarado las geoformas originales.

Las características de forma y grado de erosión de la llanura, indican que el valle se encuentra en su etapa de madurez, según las edades geomórficas.

En el área de estudio existe una gran variedad de rocas tanto ígneas, que van desde intrusivas y extrusivas, hasta rocas hipabisales; como sedimentarias. De los principales tipos de rocas ígneas existentes en el área se encuentran los granitos, riolitas, dacitas, andesitas, pórfidos andesíticos, pórfidos dacíticos y traquiandesíticos, en lo que respecta a las rocas sedimentarias se encuentran las areniscas y lutitas calcáreas. Los materiales que constituyen la cuenca del valle son variados, entre ellos los suelos aluviales con granulometría variada, con predominio de grano grueso.

Las rocas ígneas ocupan la mayor parte de los cerros que limitan el valle, las calizas y lutitas ocupan solo una pequeña porción del límite oriental, así como la base de algunas estribaciones de los cerros.

Los eventos geológicos formadores de los materiales del área de estudio comenzaron teóricamente al final de la Revolución Laramide, la cual dejó expuestas a la erosión a las calizas y lutitas del Cretácico y posiblemente también a los granitos. Posteriormente en el periodo Terciario, se formaron las rocas porfídicas de composición andesítica, traquiandesítica y riolítica, junto con las lavas andesíticas, riolíticas y riodacíticas, las cuales sirvieron como base a las tobas, de composición ácida a básica, que ocupan la posición estratigráfica superior de la zona.

Rocas Cretácicas

Las calizas que se encuentran aflorando en el área del Acuífero Autlán, representan la unidad más antigua de la columna estratigráfica, presentan una estructura masiva, de color que va de gris a gris oscuro, con una textura microcristalina, fractura concoidea y con un alto contenido faunístico, cuya matriz está constituida de lodo calcáreo (micrita), y que han sido clasificadas como biomicritas.

Rocas Terciarias

Están representadas rocas graníticas que se localizan en la porción sur y noreste del valle, en donde forman un contrafuerte de la Sierra Manantlán y que consecuentemente constituyen un batolito. Estas rocas graníticas se encuentran infrayaciendo a las riodacitas, riolitas y a las tobas andesíticas.

Además de las rocas granítica, el Terciario también se representa por las lutitas y areniscas, las cuales se presentan en capas delgadas en forma alternada, presentan estratificación horizontal y en algunos afloramientos se presentan plegadas. Las areniscas se encuentran formando pequeños montículos que sobresalen en el Valle El Limón, en algunos afloramientos se encuentran interestratificadas con conglomerados arenosos.

Los conglomerados arenosos se han dividido en dos unidades: la primera está constituida por fragmentos redondeados, y la segunda se caracteriza por contener fragmentos de rocas extrusivas e hipabisales de color verdoso, incluidos entre los fragmentos de caliza.

Los pórfidos andesíticos se encuentran constituyendo la mayoría de los macizos rocosos que rodean el valle; los afloramientos incluyen andesitas porfídicas, las cuales se distinguen de los pórfidos solamente en su textura, comprendiendo también a los pórfidos traquiandesíticos, los que se diferencian por un mínimo cambio de su composición mineralógica. Los pórfidos riolíticos se encuentran en una capa de 60 m de espesor, suprayaciendo a los pórfidos andesíticos e infrayaciendo a las riodacitas y riolitas.

Las andesitas afloran al sureste del valle, formando el parteaguas que limita la cuenca, también se les encuentra en pequeños afloramientos localizados hacia el noroeste, donde forman el talud del cañón que aloja el Arroyo Jolocote. Las riodacitas se encuentran en las partes altas de la Sierra de Cacoma, al oeste del valle y en las Sierra Manantlán, así como en los Cerros El Ángel y La Vainilla, en el interior de la cuenca.

Las tobas riodacíticas se encuentran aflorando en cuerpos aislados localizados en toda la periferia del valle, los cuales se encuentran suprayaciendo a los pórfidos andesíticos, se presentan en forma pseudoestratificada y ocupan la mayor parte de las estribaciones de los cerros, y en una pequeña parte de la Sierra Manantlán.

La unidad ignimbrítica se encuentran aflorando hacia el este de El Grullo, en una capa de unos 10 m de espesor, coronando las partes altas de las lomas.

El Cuaternario esta representado por los aluviones que constituyen la llanura del valle y se encuentran rellenando la depresión, éstos materiales se les encuentra también en el fondo de los cauces que cortan las sierras y lomeríos, siendo este el lugar en donde tienen el mínimo espesor y anchura.

Las estructuras geológicas principales sobresalientes corresponden a los macizos que forman las sierras y cerros que circundan el valle, el cual esta formado por una serie de fosas que se prolongan hacia las ramificaciones de la llanura aluvial.

Las fracturas se presentan principalmente dentro de la zona montañosa, en dos direcciones preferenciales, E-W y NE-SW; el fracturamiento junto con la pseudoestratificación que presentan las rocas ígneas y la estratificación de las rocas sedimentarias, convierte a las capas en un agregado de bloques columnares, los cuales se encuentran en su mayoría en posición vertical, aunque la inclinación de algunos de ellos es dirigida hacia donde buzan las capas. Estos bloques son de diferente tamaño y se encuentran sobrepuestos, coincidiendo las superficies de contacto con los planos de estratificación.

Las fallas encontradas en el área de estudio son del tipo normal, distinguiéndose por la existencia de zonas de brechas hasta de 8 m de ancho. Estas fallas se encuentran en dos direcciones predominantes, E-W y NW-SE, las cuales coinciden con las irecciones de las fracturas, y además conservan un paralelismo, lo cual permite inferir que los cerros alargados con crestas orientadas en las mismas direcciones ya mencionadas, corresponden a horst estructurales y que los elementos de la llanura que tienen estas ismas orientaciones corresponden a grabens, concluyendo por lo mismo, que el valle esta constituido estructuralmente, por una serie de grabens alternadas con horst. Las depresiones topográficas, prosiguen hacia los macizos rocosos en la mismas direcciones, pero como cauces profundos que se acercaron al parteaguas de la cuenca.

La geología del subsuelo del Valle de Autlán-El Grullo, se encuentra conformada por un basamento de rocas sedimentarias marinas Cretácicas, las cuales se encuentran afectadas por rocas volcánicas intrusivas y extrusivas del Terciario, a esta misma edad corresponden los depósitos de rocas sedimentarias continentales (conglomerados arenosos). Estos materiales basales, afloran en los bordes del valle, conformando las sierras circundantes en la zona, mientras que en el valle, la secuencia se encuentra cubierta por depósitos Cuaternarios, que consisten de materiales granulares con buenos índices de permeabilidad, representados por arenas de grano medio a fino, arcillas y cuerpos de conglomerados, los cuales fueron depositados en los cauces de los arroyos provenientes de las zonas montañosas, así como en las zonas de talud al pie de las prominencias topográficas y cuyos espesores son variables, encontrándose los mayores espesores hacia el centro del valle.

Desde el punto de vista geohidrológico, el acuífero se encuentra conformado por aluviones de granulometría variada, predominantemente por arenas, y que constituye la llanura aluvial que ocupa la mayor parte del área, con una ramificación formada por una pequeña planicie en la que se localiza el poblado El Chante y el valle que forma el Arroyo de Yierbabuena, situado al SE de la zona de estudio. De acuerdo con las observaciones de campo, de la profundidad y comportamiento de los niveles estáticos (Georama, 1978) se concluye que los valles funcionan en forma independiente y que se encuentran formando dos acuíferos de tipo libres.

En resumen, se puede considerar que las formaciones permeables de este valle se encuentran principalmente en los materiales aluviales, mientras las demás rocas que limitan el valle funcionan como

alimentadoras, al propiciar mediante su fracturamiento y planos de estratificación, la infiltración de agua hacia el acuífero aluvial.

Pozos

Las características hidráulicas del acuífero se determinaron mediante la interpretación de 3 pruebas de bombeo, dos en pozos y una en una noria, localizados en el Valle de Mezquitán. Cabe aclarar que en los pozos, solo se midió el abatimiento, mientras que en la noria, se logro medir abatimiento y recuperación, obteniéndose en los pozos una variación en los valores de la transmisividad de 7.47x10-3 a 4.83x10-2 m2/s, mientras en la noria el valor obtenido durante la etapa de abatimiento 2.10x10-4 m2/s y en la etapa de recuperación es de 0.019x10-2 m2/s. (CEA, 2000)

Profundidad del nivel estático

De acuerdo con la configuración piezométrica correspondiente al año de 1978 (Georama, 1978), los niveles del agua subterránea se encuentran a profundidades que van de 0.65 a 66 m, dependiendo de la época en que se hagan estás observaciones, así tenemos que en la época de estiaje los niveles estáticos corresponden con las mayores profundidades, del centro hacia la periferia y en temporada de lluvias, empiezan a recuperarse, incrementándose principalmente de la periferia hacia el centro del valle.

Elevación del nivel estático

De acuerdo la información disponible para el año de 1978, las curvas de igual elevación del nivel estático, presentan los valores más altos al pie de las sierras que limitan el valle, representados por la cota 960 msnm hacia la parte este de Autlán; los que gradualmente van disminuyendo conforme se avanza hacia la parte baja del valle, hasta alcanzar la cota de 860 msnm en las cercanías del Río Ayuquila. En la zona máxima de bombeo, situada en el este y noreste de Autlán, se encuentra una depresión alargada con cota 870 msnm, localizada entre Autlán y el canal principal margen derecho, del Distrito de Riego por gravedad.

Evolución del nivel estático

De acuerdo con la evolución para el periodo de 1977-1978, dentro del área de riego por gravedad, los aprovechamientos mostraron variaciones mínimas, aunque en forma general se manifestaron pequeños abatimientos, debido a que los niveles freáticos se encuentran gobernados por la variación de la carga hidráulica, proveniente de los canales de riego circunvecinos. En la zona de riego por bombeo, predominan los pozos cuyos niveles piezométricos manifiestan recuperaciones para el mismo lapso, con valores que oscilan de 5 a 22 m., localizándose los más altos valores en las vecindades de los canales del distrito de riego por gravedad, y los valores más bajos rumbo a Autlán y al centro del Valle de Mezquitán.

Hacia el noreste de este último valle, los niveles presentan abatimientos menores a 3 m. El pequeño valle situado entre Autlán y Chiquihuatán, solo presenta abatimientos variables entre -1 y -8 m, con valores que aumentan de Chiquihuatán al centro, disminuyendo hacia en dirección del poblado Autlán. Hacia el sur, por el rumbo de Tecomatlán y Ahuacapan, los niveles muestran abatimientos con valores variables entre -0.5 y -3 m, que no muestran ningún orden con respecto a la pendiente natural del terreno, identificada de sur a norte.

Al oeste y norte de El Grullo, los niveles muestran abatimientos de -2 a -6 m, valores que disminuyen conforme baja el nivel del terreno, sin embargo, los valores obtenidos en el área de riego por gravedad, hacia el suroeste, muestra valores positivos y negativos. En los dos brazos del valle de El Chante y en su continuidad hasta el Río Ayuquila, las lecturas muestran recuperaciones aguas arriba del poblado, con valores de 3 a 9.5 m, en cambio del poblado hacia el río, existen abatimientos menores de 0.5 m.

De acuerdo con el censo realizado en 1977 (Georama, 1978), se reporta un total de 1748 aprovechamientos, de los cuales 75 corresponden con pozos profundos, con los cuales se extrae el 86% del volumen total anual extraído en el valle, siendo usados la mayoría para fines agrícolas; del total de aprovechamientos 1644 corresponden con norias, y solo producen el 1.4% del total del volumen extraído, siendo su uso principalmente doméstico y de abrevadero; los restantes 29 aprovechamientos corresponden a los manantiales, que constituyen el 1.5% y que producen el 11% del volumen total anual, quedando incluidos los 4 manantiales de Manantlán, que abastecen a los poblados El Chante, El Grullo, Nuevas Paredes y La Aldaba, así como los manantiales de la Sierra de Jolocote, que abastecen al poblado de Autlán. El volumen anual extraído en la zona, fue de 86.36 Mm3.

El volumen anual extraído más significativo, lo producen los pozos de uso por riego, localizados en el Valle de Mezquitán, situado en las cercanías del poblado de Autlán. Los cálculos de este volumen se efectuaron mediante los gastos de los pozos, multiplicados por el tiempo anual de bombeo comparados con la lámina usada en el área que domina cada pozo. De acuerdo, con los datos de región, la lámina de riego de comparación, aparentemente es mayor que la considerada, sin embargo, esta es la más viable.

De acuerdo con los datos reportados por la CNA (2000), la zona de estudio cuenta con un total de 140 aprovechamientos de aguas subterráneas, de los cuales 123 son para uso agrícola, 2 para uso público urbano y 1 es para uso industrial; con los cuales se extrae un volumen total anual de 19.01 Mm3; de este volumen de extracción 16 Mm3/año son destinado para uso agrícola, 2 para uso público urbano y 1.01 para las actividades industriales.

- Carga y Recarga del Acuifero

La recarga total esta constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea. De acuerdo con lo anterior y considerando los datos proporcionados por la CNA, la recarga total media anual es de 76 Mm3.

Tomando en cuenta la configuración de la profundidad de los niveles estáticos, se considera que existen salidas por evapotranspiración. Sin embargo debido a la falta del área del acuífero no fue calculado.

En el área de estudio la única salida superficial es el Río Ayuquila, pero no se cuenta con un volumen cuantificado.

El volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos resultó de 19.01 Mm3/año. Las salidas por bombeo son consideradas las de mayor importancia para este acuífero.

- **Flujo subterráneo horizontal**

En este acuífero de acuerdo a la piezometría, particularmente al plano de curvas de igual elevación del nivel estático, se concluye que existen salidas del sistema por flujo horizontal de por lo menos 56.99 Mm3/año.

Tomando en consideración los valores de las entradas y las salidas del sistema acuífero el valor de este parámetro es de cero.

- Recarga total media anual

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural, más la recarga inducida, que para este caso es de 76 Mm3/año.

- Descarga natural comprometida

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el caso de la zona en estudio la descarga natural comprometida se considera prácticamente nula.

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002, es de 21,229,770 m3/año. (CNA,2000).

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA, que de acuerdo con la expresión (4) resultó ser de 54,770,230 m3/año.

54,770,230 = 76,000,000 - 0.0 - 21,229,770

La cifra indica que existe un volumen disponible de 54,770,230 m3 anuales para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada Acuífero Autlán, Jalisco (CNA, 2002).

5.1.7.9. Trabajo de campo de formaciones geológicas o zonas de antiguas que pueden dar origen a fenómenos de subsidencia.

Identificar infraestructura, viviendas dañadas y variaciones del nivel del suelo por este proceso, registrar dichas evidencias en un mapa con escala a detalle, es importante definir el tipo de suelo.

5.1.7.10. Tipo y Condiciones del subsuelo en la microcuencas que abarcan la zona urbana de la Cabecera Municipal.

Identificar y proporcionar uno de los elementos detonadores para la presencia son las condiciones del subsuelo y la viabilidad de construir sobre este terreno, estos resultados obtenidos ayudaran a establecer el perfil del suelo y proporcionar información geotécnica cualitativa y cuantitativa, asimismo permite determinar información sobre la capacidad de carga del suelo e identificación de materiales encontrados en el subsuelo y permitir establecer las condiciones para soportar esfuerzos dinámicos como los que generan los sismos.

En enero del 2016 (Sandoval, 2016), se dio a la tarea de realizar sondeos geotécnicos en algunos puntos de la Cabecera Municipal, cuyos resultados fueron los siguientes:

- Calle Clemente Amaya

Sondeo 1

El perfil estratigráfico consiste en un depósito uniforme de material natural. El depósito en cuestión es uniforme considerándose solo un estrato en toda la masa del suelo hasta la profundidad explorada de 5.10 m. Este estrato consiste en arenas mal graduadas color café oscuro con poco contenido de finos (< 0.074mm).

Sondeo 2

El primer estrato tiene un espesor aproximado de 1.20 m consistente de arenas finas a medias, color café oscuro, con trazas de gravas medias y un poco de finos (< 0.074 mm). El segundo estrato tiene un espesor mayor de 2.00 m. Este estrato consiste en arenas y gravas medias bien graduadas con muy poco

de material fino. El estrato incluye también fracciones de rocas que van de los 7.5 cm a los 18 cm de diámetro.

- AV. Paseo de la Universidad

Sondeo 1

El perfil estratigráfico es regular y consiste en tres estratos de materiales precedidos de una capa de unos 30 cm de material de banco. El primer estrato tiene un espesor aproximado de 2.40 m consistente de arenas finas a medias, color café claro con pocos contenidos de finos. El segundo estrato tiene un espesor aproximado de 1.5 m, consistente en arenas medias a finas con algo de gravas finas y pocos finos. El tercer estrato consiste en un depósito de arenas finas a medias, con algo de gravas medias.

Sondeo 2

El perfil estratigráfico consiste en dos estratos de materiales naturales procedidos de una capa de 30 cm de material de banco a manera de base. El primer estrato tiene un espesor aproximadamente de 3.00 m consiste de arenas de medias a finas saturadas con algo de finos. El segundo estrato tiene un espesor aproximado de 2.10 m. Este estrato consiste en arenas medias a finas, color café claro con algo de gravas medias y poco finos.

- Calle Fresno

Sondeo 1

Perfil estratigráfico consiste de cuatro estratos. El Cuarto estratos de materiales naturales. El primer estrato tiene una espesor aproximado de 0.20 m consistente en arenas medias a gruesas, color café claro con poco contenido de finos. El segundo estrato tiene espesor aproximado de 0.8 m, consistente en arenas medias finas, color café claro, trazas de gravillas y poco o nada de finos. El tercer estrato consiste en un depósito de arenas medias a finas, con algo de gravas medias. El cuarto estrato consiste en un depósito de arenas gravosas bien graduadas de medias a gruesas con poco material de finos.

Sondeo 2

El perfil estratigráfico consiste en cinco estratos de material natural precedidos de una capa de 30 cm de suelo natural orgánico, el cual fue retirado. El primer estrato tiene un espesor aproximado de 0.70 m consistente en arenas de medias a gruesas, color café oscuro con algo de gravas medias y poco finos. El segundo estrato tiene un espesor aproximado de 0.50 m, consiste en arenas finas a medias y muy poco finos. El tercer estrato consiste en un depósito de arenas medias a finas y algo de arenas gruesas. El cuarto estrato tiene un espesor aproximado de 0.40 m consiste en un depósito de arenas medias a finas con pocos finos y pocas gravas. El quinto estrato no se pudo extraer muestra pero se presume es un estrato con material de arena con grava.

- Fraccionamiento Castellón

Sondeo 1

El perfil estratigráfico consiste en dos estratos de materiales naturales precedidos de una capa de unos 30 cm de material de banco localmente conocido como “balastre”. El primer estrato tiene un espesor aproximado de 1.80 m consistente en arenas medias a finas. El segundo estrato tiene un espesor no definido que inicia a los 1.80 m. este estrato consiste en arenas gravosas con pocos finos.

Sondeo 2

El perfil estratigráfico consiste en dos estratos de materiales naturales. El primer estrato tiene un espesor aproximado de 1.80 m consiste en arenas medias a finas, color café claro con poco contenido de finos. El segundo estrato tiene un espesor no definido que inicia a los 1.80 m y continua a una profundidad indeterminada, este estrato consiste en arenas gravosas de medias a finas, color café claro y poco de finos.

- Mercado Nicolás Bravo

Sondeo 1

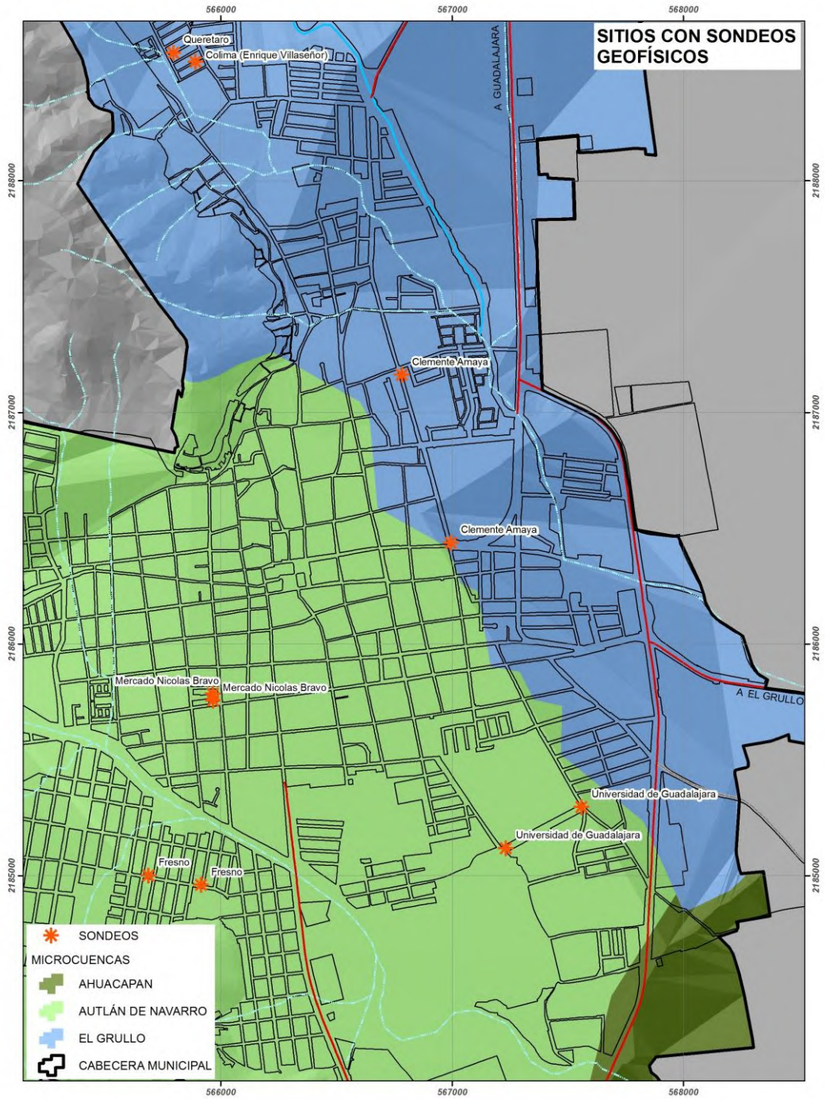
El perfil estratigráfico consiste en un estrato de materiales naturales. El sondeo se inicio a unos 40 cm de la superficie. El sondeo se llevo a cabo hasta una profundidad de 5.10 m encontrando básicamente el mismo material en toda la masa de suelo. Se dividió en dos estratos. El primer estrato tiene un espesor aproximado de 2.10 m consistentemente en arenas de finas a medias, color café húmedas con poco contenido de finas. El segundo estrato tiene un espesor aproximado de 3.00 m, consistente en arenas finas a medias, color café húmedas con pocas gravas y finos.

Sondeo 2

El perfil estratigráfico consiste en dos estratos de materiales naturales. El primer estrato tiene un espesor aproximado de 2.40 m consistente en arenas de finas a medias, saturado con finos y poco de gravas. El segundo estrato tiene un espesor aproximado de 2.70 m. Este estrato consiste de arenas finas a medias.

La ubicación de los sondeos geotécnicos se muestra en la Figura 5.1.7.9.

Figura 5.1.7.9. Ubicación de sondeos geotécnicos realizados en zona urbana de Autlán

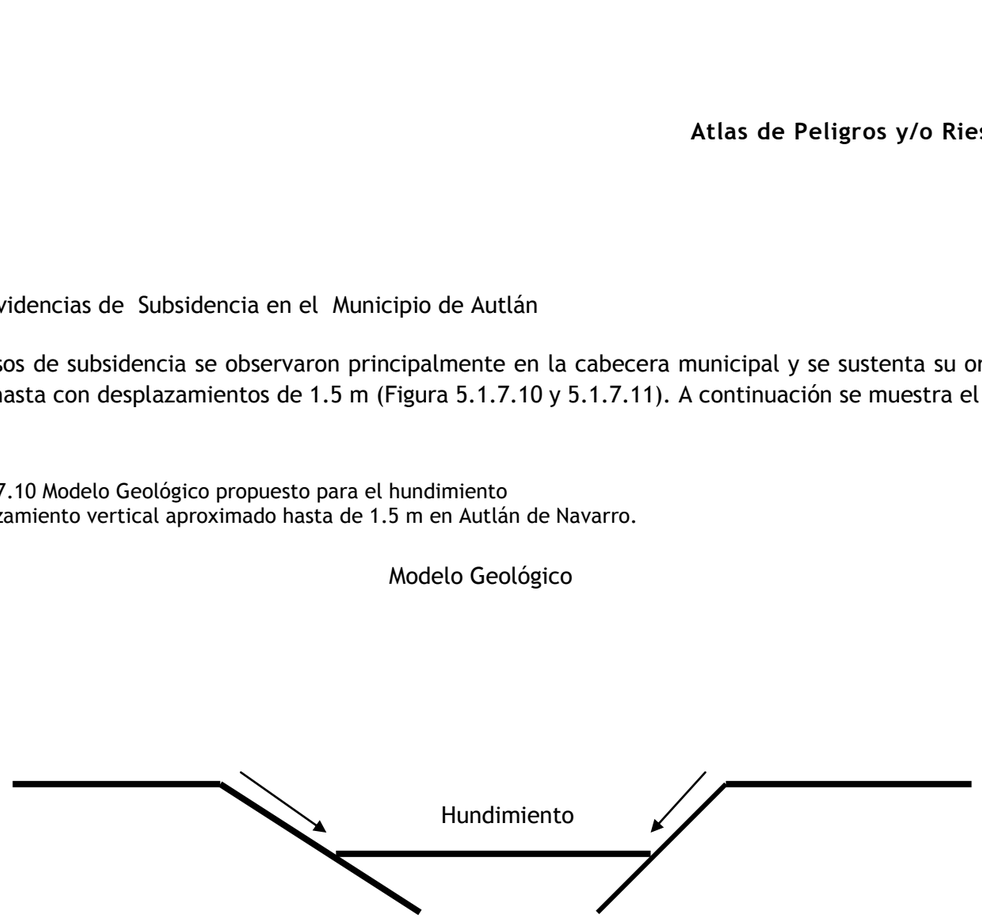


Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

5.1.7.9. Evidencias de Subsidencia en el Municipio de Autlán

Los procesos de subsidencia se observaron principalmente en la cabecera municipal y se sustenta su origen fundamental a los procesos de fallamaiento el área y las características del subsuelo, cuya subsidencia se presenta hasta con desplazamientos de 1.5 m (Figura 5.1.7.10 y 5.1.7.11). A continuación se muestra el modelo del posible proceso de hundimiento y subsidencia con algunas evidencias de fracturamiento.

Figura 5.1.7.10 Modelo Geológico propuesto para el hundimiento
con desplazamiento vertical aproximado hasta de 1.5 m en Autlán de Navarro.



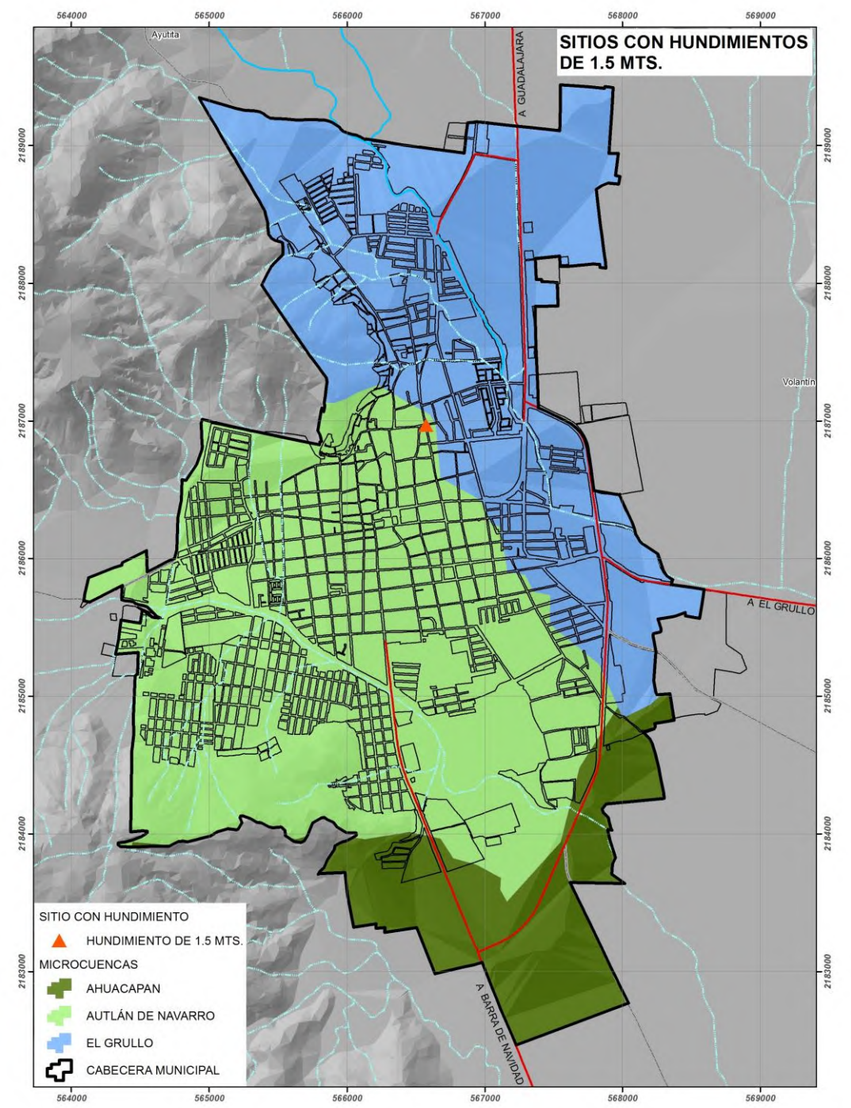
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5.1.7.11. Hundimiento en forma de graben con un desplazamiento de 1.5 m

Fuente: HAB-Consultores Ambientales, 2017

El punto ubicado de máximo hundimiento observado se muestra en la Figura 5.1.7.12.

Figura 5.1.7.12. Ubicación del sitio con máxima subsidencia en zona urbana de Autlán



Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Las fracturas de los depósitos arcillosos que rellenan las cuencas lacustres sobre las que se han desarrollado zonas urbanas se ha convertido en un problema que afecta en fracturas y subsidencia. Los estudios realizados revelan la coexistencia de varios factores que determinan las características de diversos tipos de grietas a diferentes escalas. La variación en la compresibilidad de los sedimentos que ocasiona deformaciones diferenciales y la extracción del agua subterránea que subyace a las secuencias lacustres y provoca la disminución de la presión de poro. La compresibilidad depende de la consolidación, que en mecánica de suelos se refiere a la expulsión de agua intersticial, y tiene como consecuencia la disminución de volumen y la subsidencia del terreno. Aun cuando la mayor reducción volumétrica se da en el sentido vertical, la consolidación de los materiales limo-arcillosos genera esfuerzos de tensión tanto verticales como horizontales. Considerando este fenómeno como determinante para la generación de fracturas, se llevó a cabo un análisis de las condiciones de deformación de una secuencia limo arcillosa integrando sus características estratigráficas y mecánicas. Se hace particular énfasis en la heterogeneidad mineralógica del material arcilloso para mostrar que ésta se puede traducir en variaciones de compresibilidad y generar fracturas por deformación diferencial. Como caso de estudio se ha realizado un análisis de propiedades geológicas y mecánicas de la secuencia lacustre de Chalco, para relacionar las diferencias de compresibilidad de los materiales con sus condiciones de formación.

5.1.7.10 Análisis de la susceptibilidad a la subsidencia en Autlán de Navarro

El análisis espacial consiste determinar el área de susceptibilidad de la subsidencia en la Cabecera Municipal, uno de los elementos que componen los factores detonantes del fenómeno tenidos en cuenta. Sin embargo, debido a que la información recolectada se presentaba en forma de puntos, con evidencias del subsuelo, en estudios de sondeos geotécnicos, fotografías en socavón para construcción de unidades habitacionales y bancos de material expuestos a cielo abierto para generar un polígono fue necesario buscar la forma de obtener una unidad espacial de referencia homogénea que permitiera la comparación de estas geometría.

- Hidrogeología

Se tomaron en cuenta los aprovechamientos de agua subterránea y las zonas de veda. Los acuíferos no fueron incluidos debido a que sus características de origen, relleno y tipo son muy homogéneas y por lo tanto, tienen niveles de susceptibilidad muy similares, que no aportaban diferencias significativas en el análisis.

- Pozos

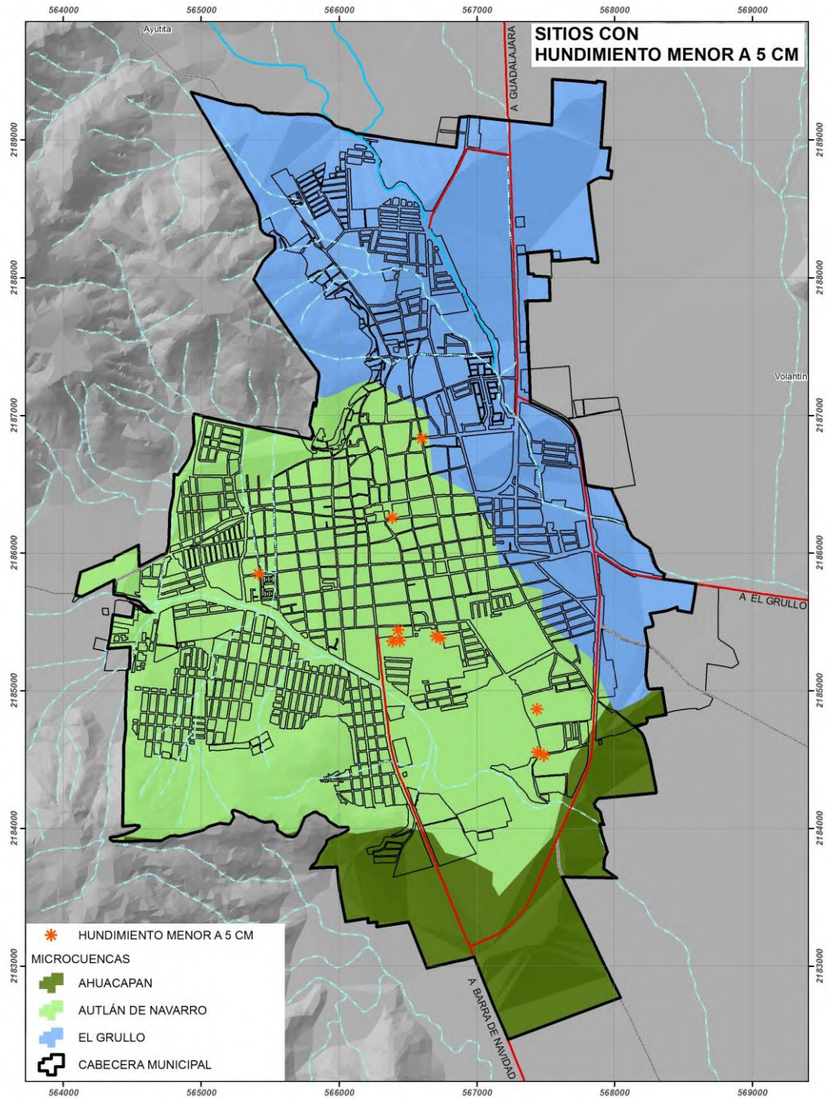
La información generada por CONAGUA en lo relativo a los aprovechamientos de aguas subterráneas contenía datos como su localización, región hidrológica y cuenca, municipio, acuífero, uso del agua, volumen concesionado y gasto para cada uno de los 12,445 aprovechamientos registrados en el Estado. Para efectos del análisis se consideró pertinente evaluar los datos de densidad (número de pozos por unidad de área), gasto y volumen concesionado.

El fracturamiento en depósitos fluvio-lacustres no es un fenómeno aleatorio, sino que depende de las propiedades geológicas de los materiales. Consideramos que el análisis de los parámetros que determinan la generación de fracturas debe llevar a la evaluación precisa de su propagación y del peligro que implica para la infraestructura urbana.

La técnica de DInSAR ha demostrado ser una excelente herramienta para el análisis de la magnitud y la variabilidad espacial del proceso de hundimiento en México. Las principales ventajas de este método radican en que a) brinda una visión sinóptica del proceso de hundimiento y b) permite generar productos que poseen una alta resolución espacial que difícilmente puede ser obtenida por métodos de nivelación convencional.

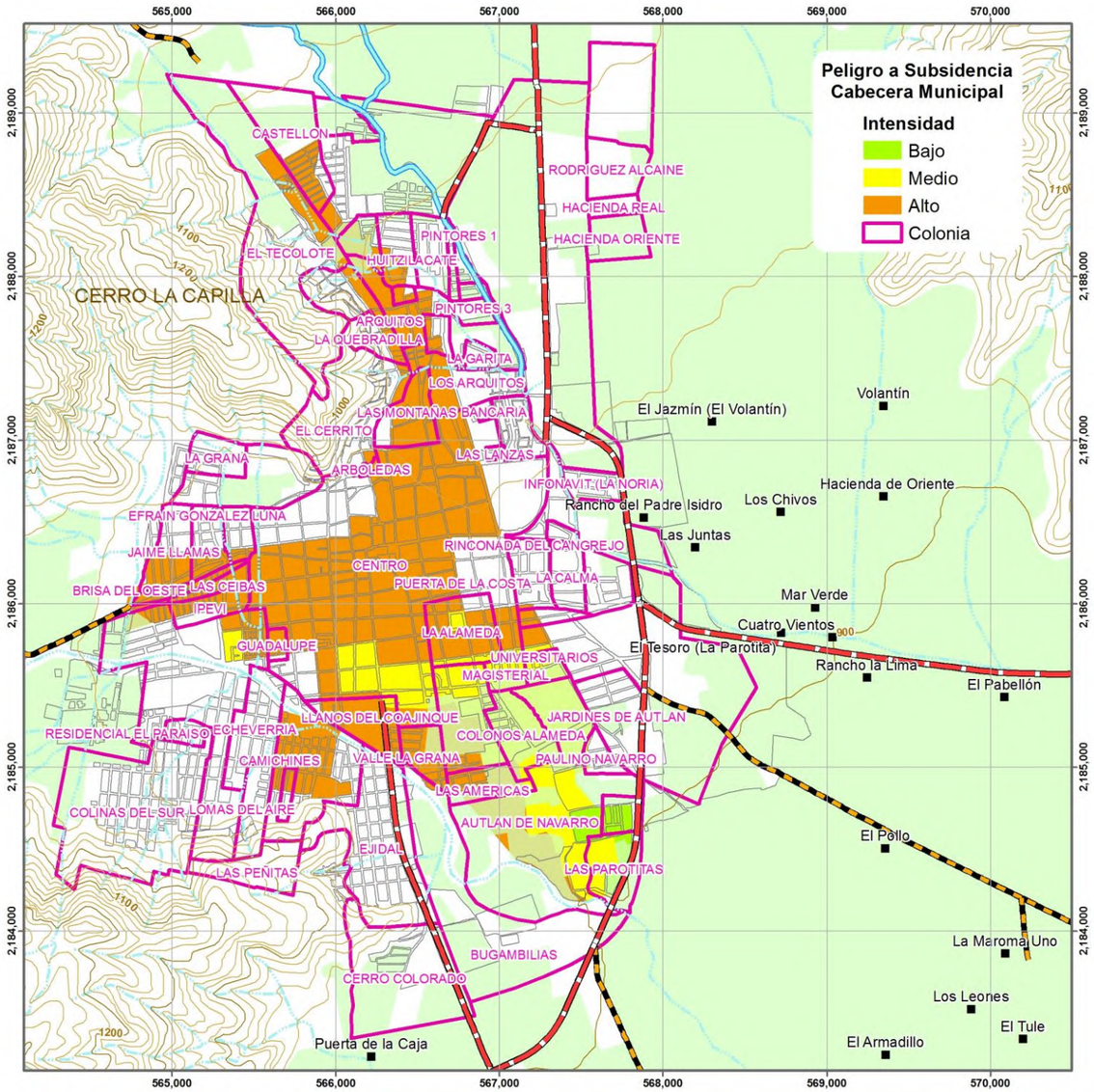
Las tasas de extracción de agua subterránea en la micro-cuenca se pueden obtener abatimiento de su nivel estático, el material geológico de la zona lacustre y fracturas superficiales, son elementos para la generación de subsidencia urbana. Esto ocasiona la reducción de la presión de fluido en los poros, la compactación de arcillas y finalmente subsidencia del suelo. Estos factores son elementos presentes en la Autlán de Navarro (Cabecera Municipal). En la figura 5.1.7.13. se observa los sitios con hundimientos menor a 5 cm. En la Figura 5.1.7.14 se determinó la zonificación para las zonas susceptibles a la a la presencia de la subsidencia.

Figura 5.1.7.13. Ubicación de puntos identificados con agrietamientos y hundimientos en Cabecera Municipal de Autlán de Navarro.



Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

Figura 5.1.7.14. Zonificación de zonas susceptibles a la presencia de subsidencia a Nivel de la Cabecera



Fuente: HAB – Consultoría Autlán

5.1.7.11. Análisis de Resultados del Peligro por Subsidencia

El inicio de una subsidencia en Autlán de Navarro es inminente, dado los factores encontrados y detonantes para la presencia de una posible aparición en este fenómeno. Por lo que se requieren estudios puntuales a detalle a nivel del subsuelo utilizando técnicas o Métodos Geofísicos. La aplicación de la herramienta DinSar es una opción para el inicio de estudios de la subsidencia en el área. Se debe proveer elementos necesarios para indicar el comportamiento real de la subsidencia y medir los desplazamientos por año para tomar decisiones de vital importancia para la cuantificación del potencial de daño a la infraestructura urbana y servicios, debido al proceso de hundimiento que experimenta un área significativa de la cabecera. Los resultados que aquí se muestran constituyen una herramienta de gran utilidad, al permitir incorporar el proceso de subsidencia y su fallamiento asociado como un elemento de consideración más en los planes de protección civil, de mantenimiento de infraestructura urbana y en los escenarios de desarrollo y uso de suelo.

Para analizar el peligro por subsidencia en el Municipio de Autlán en donde se ha observado fracturas por hundimiento que están asociado a subsidencia generadoa partir del gradiente horizontal del fenómeno como se ha presentado en el sitio de máximo desplazamiento y posiblemente se ha incrementado en los últimos años debido a la rápida urbanización de la microcuenca y el aumento de los recursos hídricos de la población. Del mapa de zonificación obtenido para este fenómenos encontramos intensidades de Medio a Alto. Clasificado de acuerdo al comportamiento del fenómeno por zona y de las características del subsuelo en las zonas establecidas en la zonificación.

Los estudios de subsidencia en la zona urbana de Autlán (Cabecera Municipal) utilizando Interferometría de Radar de Apertura Sintética Diferencial (DInSAR) y GPS, actualmente usado en zonas urbanas por autores como: Cabral-Cano *et al.*, 2007, 2008, indican que la medición y desarrollo de la subsidencia desde de la existencia de datos SAR, en 1996, han presentado datos de medición que rebasan los -370 mm/año en otros sitios, como el centro histórico de la Ciudad de México se han obtenido con esta herramienta hundimientos que varían de -92 a -115 mm/año. Para poner en contexto este hecho es suficiente mencionar que dichas tasas de subsidencia son muy cercanas a los -400 mm/año detectados en la década de 1950, cuando se tomaron las primeras acciones de mitigación que incluyeron una veda de extracción de agua en pozos del centro de la ciudad y el eventual desarrollo de la red de pozos de extracción en la periferia. Es decir que el monitoreo les permitió tomar medidas y determinar el origen del hundimiento excesivo, cosa que debe tomarse como ejemplo en el Municipio, principalmente en la cabecera.

La cartografía derivada de este tipo de análisis puede proveer elementos de decisión que resultan de vital importancia para la cuantificación del potencial daño a la infraestructura urbana de servicios, estructuras civiles y de comunicación debido al hundimiento y su fallamiento asociado y con estudios de geofísica de exploración somera se podrá mostrar el vínculo subsidencia-fallamiento en zonas que presentan altas tasas anuales de subsidencia. Debido a la falta de un análisis espacial detallado previo de este fenómeno, los resultados cartográficos derivados de este estudio proporcionan a las administraciones de gobierno una valiosa herramienta para desarrollar de manera integral nuevos planes de protección civil, de desarrollo y uso de suelo y de mantenimiento de infraestructura urbana.

Los trabajos mostraran los resultados de un ejemplo de la utilización de InSAR para generar mapas de peligro que permitan una mejor planeación, tanto de actividades de mitigación como de mejoramiento del uso de suelo en áreas de alta vulnerabilidad por subsidencia.

5.8 Agrietamientos

5.1.8. Agrietamientos (Fallas y Fracturas)

Los dos tipos de agrietamientos a estudiar en este tipo de fenómeno geológico son Fallas y Fracturas, que representan cierto peligro a nivel Municipal y Cabecera Municipal, la identificación de este fenómeno es de gran importancia por la aparición o presencia en la zona urbana y el daño que este pueda afectar en la infraestructura de la población. A continuación se presenta la metodología a seguir para el estudio y análisis de este tipo de fenómenos.

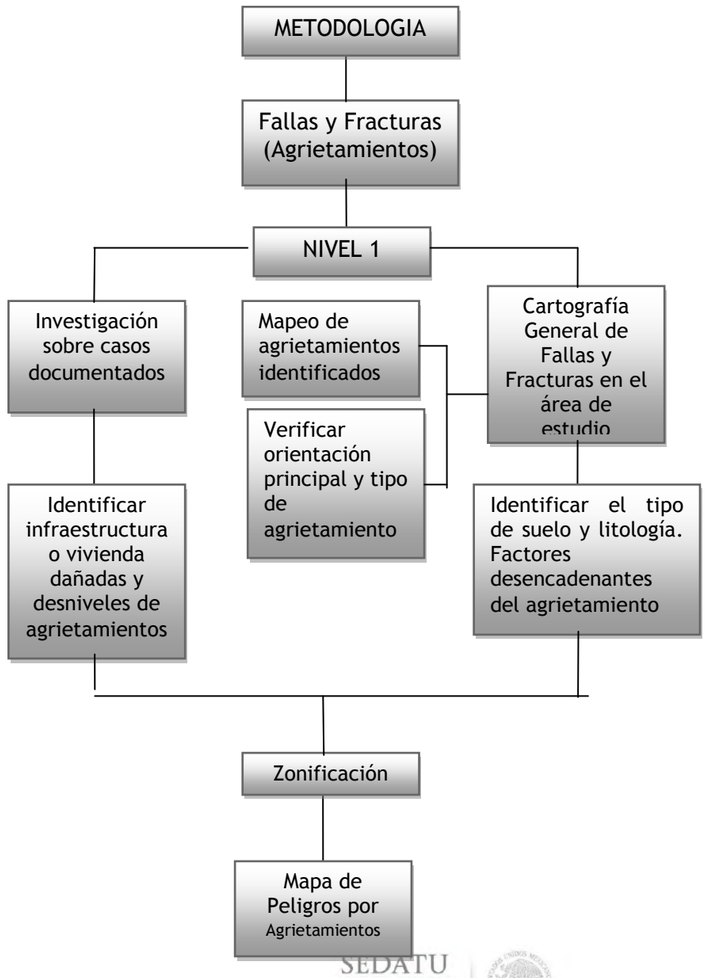
5.1.8.1. Metodología de Análisis

En la Figura 5.1.8.1 se muestra un diagrama que simplifica la metodología que se utilizó para la elaboración del mapa de intensidad por agrietamiento, el cual es el resultado de la integración de los rasgos estructurales obtenidos a partir de la información de las cartas Geológico-Mineras de los municipios del estado de Jalisco (SGM, 2006), de la interpretación de lineamientos estructurales y los datos del levantamiento en campo. Una vez recopilada la información, se generó un mapa con la ubicación de las principales agrietamientos (fallas y fracturas), asignando un radio de afectación de 20

m en el caso de las fracturas y 50 m en el caso de las fallas, estás distancias para ambos lados a partir de la línea de su traza.

De esta manera, en las zonas en las que coincidan dos o más rasgos estructurales habrá mayor intensidad de peligro por fracturas y fallas, lo que se traduciría a tener una mayor probabilidad de que se genere inestabilidad de los macizos rocosos o bien que estás lleguen a afectar infraestructura como vías de comunicación, ductos, zonas urbanas, etc.

Figura 5.1.8.1. Metodología para el estudio de Fallas y Fracturas (Agrietamientos)



Fuente: Elaboración propia, en basa a datos de los Términos de Referencia, 2016.

Nivel de Análisis 1

5.1.8.2. Análisis y origen de los agrietamientos (fallas y fracturas)

En la literatura referente a los riesgos por lo regular no se considera a las fracturas como una amenaza, debido a que por si mismas no son detonadoras de desastres. Aunque se le considera como un rasgo geológico que potencialmente acelera los procesos que ocasionan afectaciones a la infraestructura. Una fractura es un plano de discontinuidad de una masa rocosa o material poco consolidado que se observa en la superficie como una línea con una abertura con un ancho de milímetros o decímetros. El conjunto de fracturas implica una debilidad de la roca o material no consolidado que favorece los deslizamientos, los derrumbes o caídas de bloques y en ocasiones los flujos, que pueden afectar una zona urbana (Lundgren, 1973); por otra parte los diaclasamientos (fisuras de dimensiones reducidas) y fracturamientos permiten un mayor intemperismo físico y químico sobre la roca.

Las fracturas son las estructuras geológicas más comunes en la corteza terrestre, se presentan en diferentes tipos de rocas y se producen en diferentes escenarios tectónicos; pueden encontrarse en un amplio rango de escalas, desde una sección delgada (milímetros o micras) hasta una carta geológica (metros o kilómetros).

Una fractura natural en una roca corresponde con una discontinuidad macroscópica planar que ha sido resultado de esfuerzos que han excedido la resistencia a la ruptura (Stearns, 1990). Esta definición es concreta, pues no toma en cuenta el aspecto microscópico y morfológico de los sistemas de fracturamiento. La siguiente definición tiene un enfoque más técnico, ya que considera que todo cuerpo sólido responde a las cargas externas experimentando grandes deformaciones o fracturamiento.

El fracturamiento corresponde a una pérdida de la continuidad entre dos partes del cuerpo rocoso. Además implica la generación de una grieta y su propagación hasta que se presente la falla general o que se alcance un nuevo estado de equilibrio (Guzmán, 2013).

Las fracturas pueden ser generadas por la concentración de esfuerzos en zonas de contraste composicional (contactos de capas, cambio de facies), por pérdida de volumen (compactación), por enfriamiento, durante deformación contraccional o extensional. Estas definiciones y conceptos en cuanto al fracturamiento permten enfocarnos en una idea de poder generar un mapa de peligros por fracturas propensas a convertirse en falla y que representaría un peligro por falla.

El peligro por fracturamiento se representaría si ocurre un sismo fuerte en la región, cualquiera de las fracturas se pueden convertir en fallas y eso representaría un peligro Alto para el Municipio.

5.1.8.3. Mecanismos de las Fracturas

El término “fractura” ha sido definido de varias maneras: se definen a las fracturas como superficies de ruptura o discontinuidad mecánica a través de la cual el material pierde cohesión, existen tres características físicas básicas de las fracturas en las rocas: (1) tienen dos superficies que convergen en el frente de propagación de rupturas; (2) estas superficies son generalmente planares; y (3) el desplazamiento relativo entre los planos que definen la fracturas pequeño comparado con la longitud de la fractura. Algunos autores proponen tres modos de propagación del fracturamiento, Modo I, fracturas con desplazamiento entre sus planos (desplazamiento de apertura), Modo II, fracturas con un desplazamiento en la dirección del frente de propagación de la ruptura, fracturas con un desplazamiento perpendicular al frente de propagación de la ruptura (cizalla).

5.1.8.4. Fracturas Tectónicas

Las fracturas tectónicas se producen por la aplicación de fuerzas superficiales, su origen puede ser asociado a un evento tectónico con base en la orientación, distribución y morfología de las fracturas (Nelson, 1985). 5.3.1.1 Sistemas de Fracturas asociadas al fallamiento Las fracturas asociadas con fallas están relacionadas al propio estado de esfuerzo que causó el fallamiento, las relaciones entre estas las fallas y fracturas han sido mostradas y documentadas por Martínez M.C.____ http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/GEO/tect/fallas/tipos_fallas.pdf.

Las fracturas en el entorno de una falla presentan tres direcciones preferenciales, las cuales corresponden a las direcciones posibles de fracturas experimentales.

La palabra Fractura proviene del latín fractus, que significa “quebrar” y se ha empleado para referirse a las superficies discretas que segmentan o dividen en bloques a rocas y minerales en la naturaleza; estas definen superficies de baja cohesión. Son el resultado del comportamiento quebradizo de los materiales. La fractura se entiende como la ruptura sobre una unidad litológica por influencia de esfuerzos estructurales, sin implicar un desplazamiento entre sus bloques. Las fracturas aparecen generalmente en grupos denominados sistemas. Las fracturas pueden ser generadas por la concentración de esfuerzos en zonas de contraste composicional (contactos de capas, cambio de facies), por pérdida de volumen (compactación), por enfriamiento, durante deformación contraccional o extensional (Stearns, 1990).

Pueden ser más abundantes en lugares donde existan heterogeneidades en la roca como: presencia de fósiles, nódulos minerales, en clastos, huecos cársticos, burbujas por gas, ondulaciones en la base de la capa (marcas de ondulaciones y estructuras de carga) entre otros puntos heterogéneos. Las fracturas se distinguen por los movimientos relativos que ocurren a lo largo de la superficie durante su formación (Angelier, 1990).

Para cumplir los objetivos del presente trabajo nos enfocaremos al contexto de los sistemas de fracturas en los yacimientos naturalmente fracturados y de zonas urbanas con fracturamiento de suelos que implican un riesgo geológico.

Una fractura natural en una roca corresponde con una discontinuidad macroscópica planar que ha sido resultado de esfuerzos que han excedido la resistencia a la ruptura (Stearns,1990). Esta definición es concreta, pues no toma en cuenta el aspecto microscópico y morfológico de los sistemas de fracturas. La siguiente definición tiene un enfoque más técnico, ya que considera que todo cuerpo sólido responde a las cargas externas experimentando grandes deformaciones.

El fracturamiento corresponde a una pérdida de la continuidad entre dos partes del cuerpo rocoso. Además implica la generación de una grieta y su propagación hasta que se presente la falla general o que se alcance un nuevo estado de equilibrio (Twiss y Moores, 1992).

Una fractura de yacimiento es la ocurrencia natural de una discontinuidad en forma macroscópica o microscópica, con tendencia a seguir un plano en la roca, generado durante el proceso de deformación o diagénesis. Por razones prácticas, se asume que inicialmente están abiertas y subsecuentemente pueden o no ser alteradas y mineralizadas; es por esto que pueden tener un efecto positivo o negativo en la capacidad de permitir el flujo de fluido a través de la roca. En general una falla o fractura son producto de la deformación frágil en cualquier tipo de roca, se forman por esfuerzos cortantes y en zonas de tensión o de compresión (Twiss and Moores,1992).

Los mecanismos que explican la génesis de las principales familias de fracturas son:

- Esfuerzos de cualquier tipo.
- Perdida de carga.

- Perdida de volumen.
- Enfriamiento.
- Por efecto de la diagénesis.
- Actividad biológica.

Bajo el campo de la deformación frágil las rocas se rompen conforme a superficies más o menos planas. Las superficies de rompimiento se denominan fracturas cuando no se aprecia desplazamiento entre los dos lados o paredes definidos por la superficie de discontinuidad, en sentido paralelo a la propia superficie.

Las fracturas son discontinuidades aproximadamente planas que separan bloques de roca con desplazamiento perpendicular al plano de ruptura. Lo que consecuentemente nos hace suponer, que la dirección del flujo de los fluidos dentro de la roca, puede presentar una alta anisotropía creada por las diversas características de las fracturas, sin tomar en cuenta las diferencias mecánicas en su generación y propagación.

Estos comportamientos mecánicos al relacionarlos y compararlos, nos aportan interesantes resultados sobre la generación y propagación del fracturamiento. Como ejemplos de estas relaciones entre sus características mecánicas particulares podemos tener: la comparación entre las formas de fracturamiento como serían las siguientes: extensión vs. cizalla, modo 1 vs. modo 2, fractura vs. micro fractura (Aztiz-Delgado,1980). Este enfoque nos permite hacer notar los efectos de las variadas morfologías de las fracturas sobre el flujo de los fluidos.

Como consecuencia de esta variación morfológica podemos deducir que el incremento de la permeabilidad, generado por las fracturas abiertas en el comportamiento de un yacimiento, contrastan con la fuerte anisotropía de la permeabilidad en la roca generada por la baja permeabilidad consecuencia de las fracturas, deformadas, que frecuentemente están rellenas con minerales postgeneticos.

Hay que tomar en cuenta que debido a las características de los particulares sistemas de fracturamiento natural, siempre hay una variedad de efectos en su comportamiento dentro de un yacimiento fracturado que pueden afectar los procesos de recuperación (primaria, secundaria, y terciaria).

5.1.8.5. Características de las rocas fracturadas.

Las fracturas se identifican cuando existen rompimientos o separaciones en la masa de un volumen de roca, a lo largo de los cuales la cohesión del material se ha perdido y se registran como una separación perpendicular entre planos o superficies de discontinuidad.

Cuando se aprecia un desplazamiento paralelo a lo largo del plano de fractura, precisamente cuando la roca ha tenido un movimiento relativo a lo largo del plano de fractura, se considera que ha sucedido una falla. Esta distinción es un tanto ambigua y depende de la escala de observación; en la práctica la mayoría de las fracturas no muestran o es insignificante el desplazamiento y son clasificados como juntas o diaclasas.

Algunas ciudades en México presentan el problema de agrietamientos dañando infraestructura, como son Querétaro, Aguascalientes, San Luis Potosí , en Jalisco también existen ciudades con este problema como son Guadalajara, Ameca, Chapala, Tecolotlán, Ciudad Guzmán y no es la excepción Autlán de Navarro.

5.1.8.6. Fallas como agrietamiento con desplazamientos

Una falla es una discontinuidad que involucra un desplazamiento debido a fuerzas estructurales que superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano. El movimiento causante de la dislocación puede tener diversas direcciones: vertical, horizontal o una combinación de ambas.

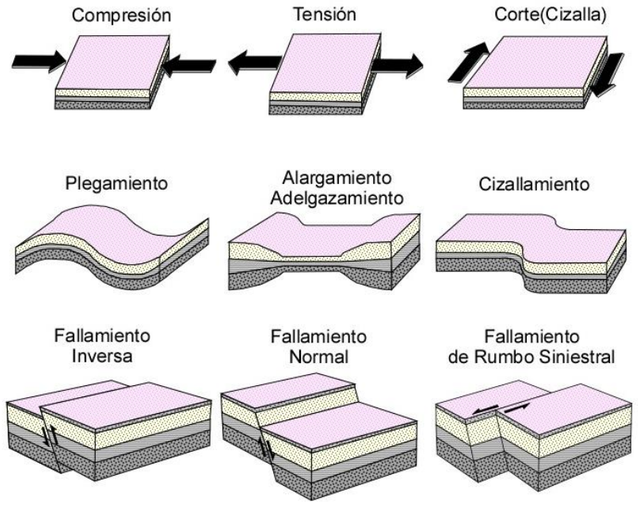
Las fallas se clasifican en tres tipos en función de los esfuerzos que las originan y de los movimientos relativos de los bloques:

Falla inversa. Este tipo de fallas se genera por compresión (Figura 5.1.8.1). El bloque del techo se encuentra sobre el bloque del piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento inferior a 45°, estás toman el nombre de cabalgamiento.

Falla normal. Se generan por tracción (Figura 5.1.8.1). El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se desliza hacia abajo se le denomina bloque de techo, mientras que el que se levanta se llama bloque de piso.

Falla de desgarre o Transversal. Son verticales y el movimiento de los bloques es horizontal (Figura 5.1.8.1). Son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: derechas e izquierdas, también se les conoce como fallas transversales o de rumbo.

Figura 5.1.8.1. Tipos de fallas geológicas.



Fuente: http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/GEO/tect/fallas/tipos_fallas.pdf

Peligro por Agrietamientos (Fallas y Fracturas)

Una fractura es un plano de discontinuidad de una masa rocosa o de material poco consolidado que se observa en la superficie como una línea con una abertura con un ancho de milímetros o varios decímetros. El conjunto de fracturas o fracturamiento implica una debilidad de la roca o material no consolidado que favorece los deslizamientos, los derrumbes o caída de bloques y en ocasiones los flujos, que pueden afectar una zona urbana (Lazcano,2013).

Las evidencias suelen presentarse en calles, banquetas, bardas, casas habitación, líneas de conducción y otras obras civiles.; en paredes de cortes de terreno en barrancas, caminos, zanjas, etcétera, donde pueden apreciarse diferentes capas geológicas, con la traza de estas estructuras.

5.1.8.7. Cartografía general de Fallas y Fracturas en el Municipio: Mapeo de agrietamientos identificados.

Se presenta la serie de actividades relacionadas con el levantamiento y la actualización cartográfica de las fallas y fracturas geológicas tanto en el área Urbana como dentro del Municipio de Autlán de Navarro. Con base en seguimientos a detalle de las características estructurales del agrietamiento manifiesto en superficie, se determina la existencia de varias unidades estructurales independientes, demarcado comportamiento como fallas y fracturas.

Su disposición geométrica y localización precisa se plasma en planos regionales, modelos de elevación, se conservan datos de encuestas de daños con croquis de selección de puntos, y se procesan estadísticamente los principales rasgos de afectación por agrietamientos, tomando en cuenta desplazamientos y tipos de suelos en los agrietamientos.

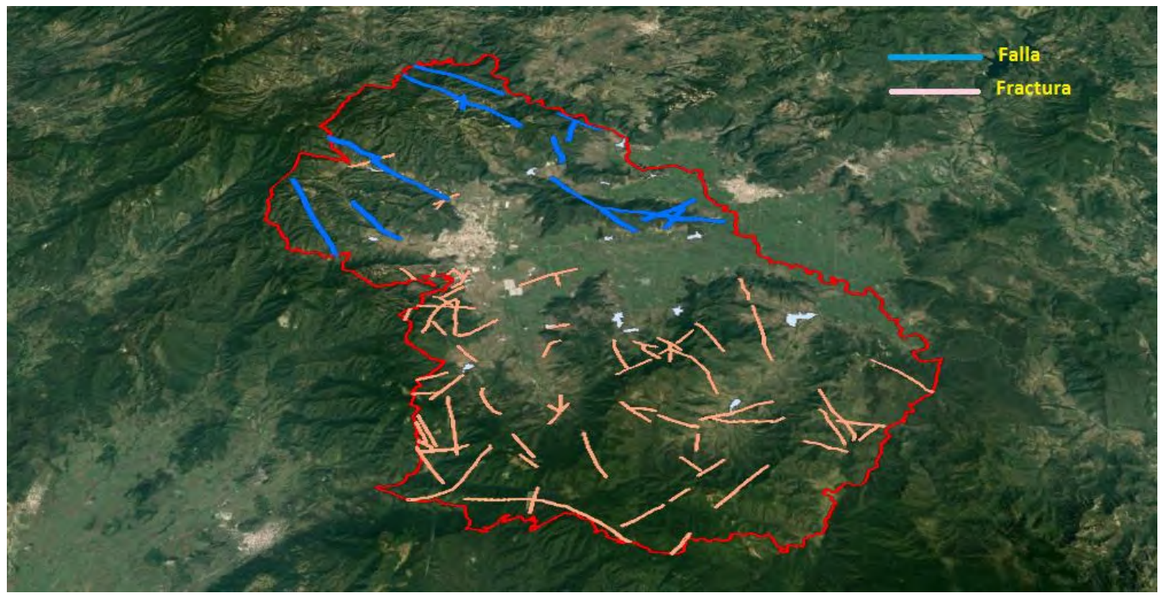
En el subsuelo se ha visto reflejado en agrietamientos a nivel de de la superficie, de las encuestas levantadas a la población en la zona hace referencia la aparición de grietas a partir de la actividad sísmica registrada en la zona. Los registros de informes geomorfológicas, características geológicos y estructurales (fallas y fracturas) conforman la región del valle de Autlán de Navarro, sitio reportado con agrietamientos y daños estructurales.

La más reciente edición del plano de discontinuidades en el Municipio de Autlán de Navarro, se realizó recientemente, para el análisis y estudios del Atlas de Riesgos para el mismo Municipio, a partir de la información proporcionada por las Cartas Geológicas-Mineras, en el que se hace la distinción de lo que son propiamente fallas geológicas, grietas a nivel regional y urbana en la cabecera municipal por efectos en la construcción o cimentación y paleocauces, resultando algunas diferencias entre ambos planos.

Al obtenerse el registro de Fallas Geológicas y Grietas, para el plano de todo el Municipio de Autlán, requirió de algunas modificaciones de Fallas Geológicas del Municipio, se realizó después de elaborar la revisión de las diversas cartas que involucran la Geología Minera y el censo de las viviendas afectadas.

Respecto a la identificación del peligro por fracturas, dado que en este caso no se tiene el registro de fallas que afecten el Municipio, las posibles afectaciones generalmente se presentan sobre vías de comunicación, desde tramos de carretera de tipo estatal y federal, hasta calles que conforman los poblados y zona urbana, está última con algunas posibles afectaciones en las viviendas que se ubican sobre la traza de las fracturas. Cabe mencionar que el análisis no arrojó afectación a localidades y poblados.

Como se mencionó anteriormente es difícil el estimar el grado de peligro ante una falla o fractura, dado que no se puede determinar cuándo van a llegar a tener un movimiento que afecte la infraestructura, por lo que en este apartado sólo se menciona las posibles vías de comunicación y trazas urbanas que resultarían afectadas en caso de la ocurrencia de una eventualidad de este tipo (Figura 5.1.8.2.)



Fuente: HAB Consultoría Ambiental. Usando información del Servicio Geológico Mexicano. (Cartas Geológicas).

Figura 5.1.8.2. Mapa de Fallas y Fracturas identificados en el Municipio de Autlán de Navarro.

5.1.8.8. Orientación preferencial de fallas y fracturas y tipo de estructura geológica:

Se identificaron 12 fallas de tipo normal con una orientación preferencial de NE-SW, con longitudes de 1.5 a 10 m, con una intensidad de medio a muy alto, como se muestra en la Tabla 5.1.8.1.

Tabla 5.1.8.1. Fallas ubicadas en la parte norte de Municipio de Autlán.

No	Nombre	Tipo de Falla	Orientación	Longitud en el Municipio (Km)	Observaciones	Peligro
1	**Agua Salada 2**	**Normal**	**NE-SW**	**6.50**		**Alto**
2	**Agua salada**	**Normal**	**NE-SW**	**3.89**	**En dirección de la Cabecera Municipal**	**Muy Alto**
3	**Plan de los Platanos**	**Normal**	**NE-SW**	**8.73**	**2 secciones con un desplazamiento 430 m. En dirección de la Cabecera Municipal**	**Muy Alto**
4	**Agua Hedionda**	**Normal**	**NE-SW**	**9.67**	**2 secciones con un desplazamiento de 60 m. Pasa sobre la localidad de Agua Hedionda**	**Muy Alto**
5	**La Yerbabuena**	**Normal**	**NE-SW**	**6.65**		**Medio**
6	**Palos Verdes**	**Normal**	**NE-SW**	**3.14**		**Medio**
7	**Las Piletas**	**Normal**	**NW-SE**	**2.40**		**Medio**
8	**Las Antenas**	**Normal**	**NE-SW**	**1.90**		**Medio**
9	**La Vainilla**	**Normal**	**NE-SW**	**6.63**		**Alto**
10	**La Tulera**	**Normal**	**E-W**	**6.79**	**tres secciones con dos desplazamientos. De 94.50 m y 149.86 m**	**Medio**
11	**Tronconera**	**Normal**	**NW-SE**	**3.35**		**Medio**
12	**Corazón**	**Normal**	**NW-SE**	**1.85**		**medio**

Fuente: Malagón, 2017. Con información de las cartas geológicas mineras del Servicio Geológico Mexicano

El mapa de ubicación de las fallas se muestra en la figura 5.1.8.3.

Fuente: Elaboración propia, utilizando información de las cartas geológicas mineras del Servicio Geológico Mexicano

Figura 5.1.8.3. Mapa con ubicación de fallas localizadas al norte del Municipio de Autlán

Las fracturas localizadas en el Municipio de Autlán se identificaron al sur del Municipio, en su mayoría de acuerdo al Servicio Geológico Mexicano (SGM), con dos dirección preferencial NE-SW y NW-SE con longitud máxima de 6.9 Km (Tabla 5.1.8.2).

Tabla 5.1.8.2. Características de fracturas identificadas en el Municipio de Autlán de Navarro.

No	Orientación	Longitud en el Municipio (Km)	Intensidad de Peligro
1	NE-SW	2.69	Medio
2	NE-SW	1.58	Medio
3	NE-SW	0.83	Medio
4	NW-SE	1.09	Muy Bajo
5	NE-SW	0.33	Muy Bajo
6	NE-SW	0.32	Muy Bajo
7	NW-SE	0.98	Muy Bajo
8	NE-SW	1.38	Medio
9	NE-SW	1.28	Bajo
10	NE-SW	3.18	Medio
11	NW-SE	0.89	Bajo
12	NE_SW	2.74	Medio
13	NE.SW	3	Medio
14	NE-SW	1.7	Bajo
15	NW-SE	1,06	Bajo
16	NE-SW	2.34	Medio
17	NE-SW	0.87	Alto
18	NW-SE	1.37	Medio
19	NE-SW	1.49	Bajo
20	NE-SW	ene-49	Medio
21	NE-SW	1	Alto
22	NW-SE	2.37	Medio
23	NE-SW	1.76	Bajo
24	NE-SW	ene-19	Bajo
25	NW-SE	1.3	Bajo
26	NW-SE	1.09	Medio
27	NW-SE	0.58	Muy Bajo
28	NW-SE	2.06	Bajo
29	NW-SE	0.58	Muy Bajo
30	NW-SE	may-89	Alto
31	NW-SE	1.64	Bajo
32	NW-SE	1.17	Bajo
33	NW-SE	1,77	Bajo
34	NW-SE	3.26	Medio
35	NW-SE	2.5	Medio
36	NW-SE	0.6	Bajo
37	NE-SW	0.97	Bajo
38	NE-SW	1.45	Bajo
39	NW-SE	1.59	Bajo
40	NW-SE	1.62	Bajo
41	NE-SW	3.48	Muy Alto
42	NW-SE	3.23	Alto
43	NW-SE	1.96	Bajo
44	NW-SE	1.97	Bajo
45	NW-SE	3.15	Medio
46	E-W	1.78	Bajo
47	NE.SW	0.61	Muy Bajo
48	NW-SE	1.25	Bajo
49	NE-SW	4.4	Bajo
50	NW-SE	1.34	Bajo
51	NW-SE	1.75	Bajo
52	NW-SE	2.6	Bajo
53	NE-SW	0.99	Bajo
54	NW-SE	1.2	Bajo
55	NE-SW	1.62	Bajo
56	NE-SW	3.52	Medio
57	NE-SW	3.35	Medio
58	NW-SE	jun-90	Medio
59	Ne-SW	1.44	Baj0

Fuente: HAB- Malagón, 2017, en base a datos al Servicio Geológico Mexicano (SGM)

Figura 5.1.8.3. Mapa de peligros Fracturas identificadas en el Municipio de Autlán.

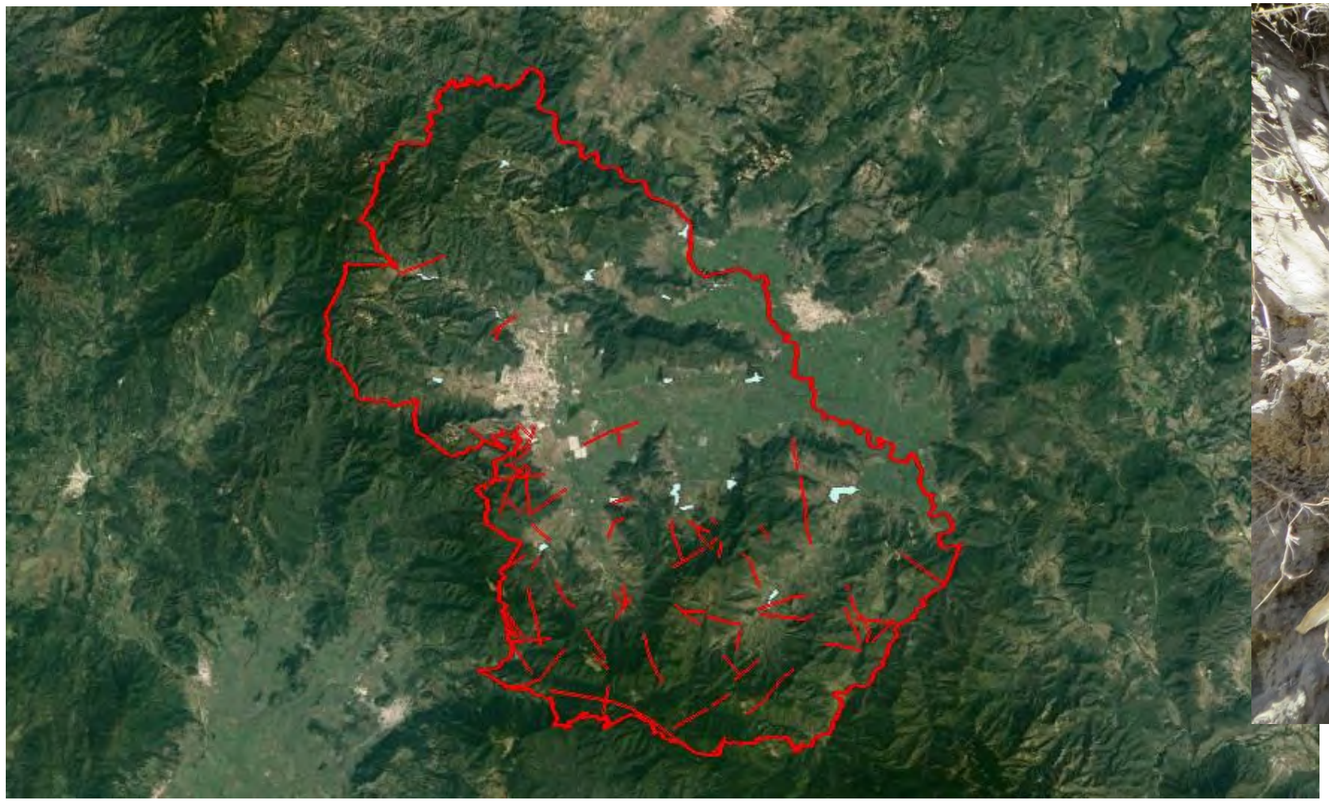


Figura 5.1.8.4. Fracturamiento de roca altamente metamorfisada en Agua Hedionda.

Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

5.1.8.9. Identificación de tipo de suelo y factores desencadenantes de la velocidad de crecimiento de la fracturas.

A nivel regional los sitios en donde se presenta los fracturamientos es en roca volcánica tanto intrusiva como extrusiva con alto grado de metamorfismo, con mucha debilidad de la misma por tanto movimientos deslizamiento o esfuerzos generados por sismos, ocasiona fracturamiento o fallamiento como se muestra en las figuras 5.1.8.4. y 5.1.8.5.

Fuente 5.1.8.5. Bloque de roca volcánica fracturada en la localidad de Bellavista

Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

Se han realizado estudios geotécnicos (Sandoval, 2015). en el valle de la cabecera municipal en los siguientes puntos.

- Calle Clemente Amaya.
- Av. Paseos Universidad
- Calle Fresno
- Fraccionamiento Castellón
- Mercado Nicolás Bravo

En donde se encontraron materiales de limos y arcillas con contenidos de gravas, esto indica debilidad en el suelo y subsuelo para soportar fuerzas dinámicas que genera la sismicidad ocasionando desplazamientos y agrietamientos tanto en suelos como en casas-habitación y que ocasionan daños a estructuras.

5.1.8.10. Infraestructura o vivienda dañadas por agrietamientos.

A nivel de la zona urbana podemos hablar también de daños por agrietamiento, que se vienen dando en el suelo y que han acelerado su proceso de abertura y longitud por la ocurrencia de constante movimientos sísmicos. A continuación se presentan figuras que muestran los daños ocasionados por agrietamientos en zona urbana.

Figura 5.1.8.6.Agrietamiento en infraestructura urbana en el Chante

Fuente: HAB – Consultoría Ambiental

5.1.8.11. Memoria de Cálculo

Para la elaboración de este trabajo, se utilizaron los siguientes parámetros:

Se Identificarón solamente estructuras en la zona urbana de Autlán, en las que se observa hundimiento de terreno, siendo visibles tanto el bloque hundido como el estable, denominándose como **fallas geológicas** de acuerdo a la definición del término mismo, sin utilizar en consecuencia el de **discontinuidad** que tiene un significado muy general ya que incluye fallas, grietas, fracturas, juntas, diaclasas, etc. y es también un término de uso corriente en trabajos geofísicos para designar anomalías.

Una vez definido el criterio a utilizarse en la cartografía, se eliminaron posibles fallas originadas por defectos de construcción, mala cimentación, construcción en terrenos arcillosos con inadecuada cimentación, casas construidas sobre redes de drenaje o cuya continuidad a rumbo no se justificó después de realizar visitas a las supuestas casas afectadas.

Esa decisión se tomó considerando el injusto deterioro de la plusvalía en áreas que no son afectadas por fallas geológicas y apoyadas por estudios multidisciplinarios en los que intervino un equipo conformado por especialistas en geología, geofísica, así como sondeos geotécnicos efectuados para caracterizar el subsuelo.

5.1.8.11. Zonificación: Análisis de Fallas y Fracturas (agrietamientos) en el Municipio de Autlán de Navarro

El reconocimiento de una discontinuidad en el relieve con movimiento relativo, es una tarea difícil, cuando el territorio estudiado se encuentra completamente urbanizado o con una carpeta de concreto que cubre la superficie. Por tal motivo, es necesario buscar otros indicadores que definan la ocurrencia de una falla.

En este caso la lineación de volcanes, cambios en el drenaje natural, así como desniveles topográficos sutiles en la zona lacustre. En la parte norte del municipio se localizan varias fallas con una orientación principal de suroeste-noreste.

Por otra parte, no todas las discontinuidades se deben a movimientos tectónicos, algunas ocurren por la desestabilización del sustrato, ya sea por extracción de agua (relacionado con hundimientos), o por la inestabilidad de una ladera en donde se presenten lentos procesos de remoción en masa.

Las grietas son discontinuas y casi siempre paralelas entre sí, afectan tanto casas como equipamiento urbano (banquetas y pavimento). El movimiento de las mismas es de tipo normal con una pequeña componente lateral, tanto derecha como izquierda. El debilitamiento de las estructuras urbanas es evidente, principalmente en construcciones antiguas.

También se observa el desarrollo de grietas en estructuras emplazadas en la zona de transición, Las grietas se orientan de forma paralela a las incipientes elevaciones. De acuerdo con la antigüedad de las construcciones es el desplazamiento de la grieta, siendo las más amplias en las construcciones de los siglos antepasado y pasado. Más cerca de las partes elevadas de la zona de transición las grietas definen un movimiento diferencial.

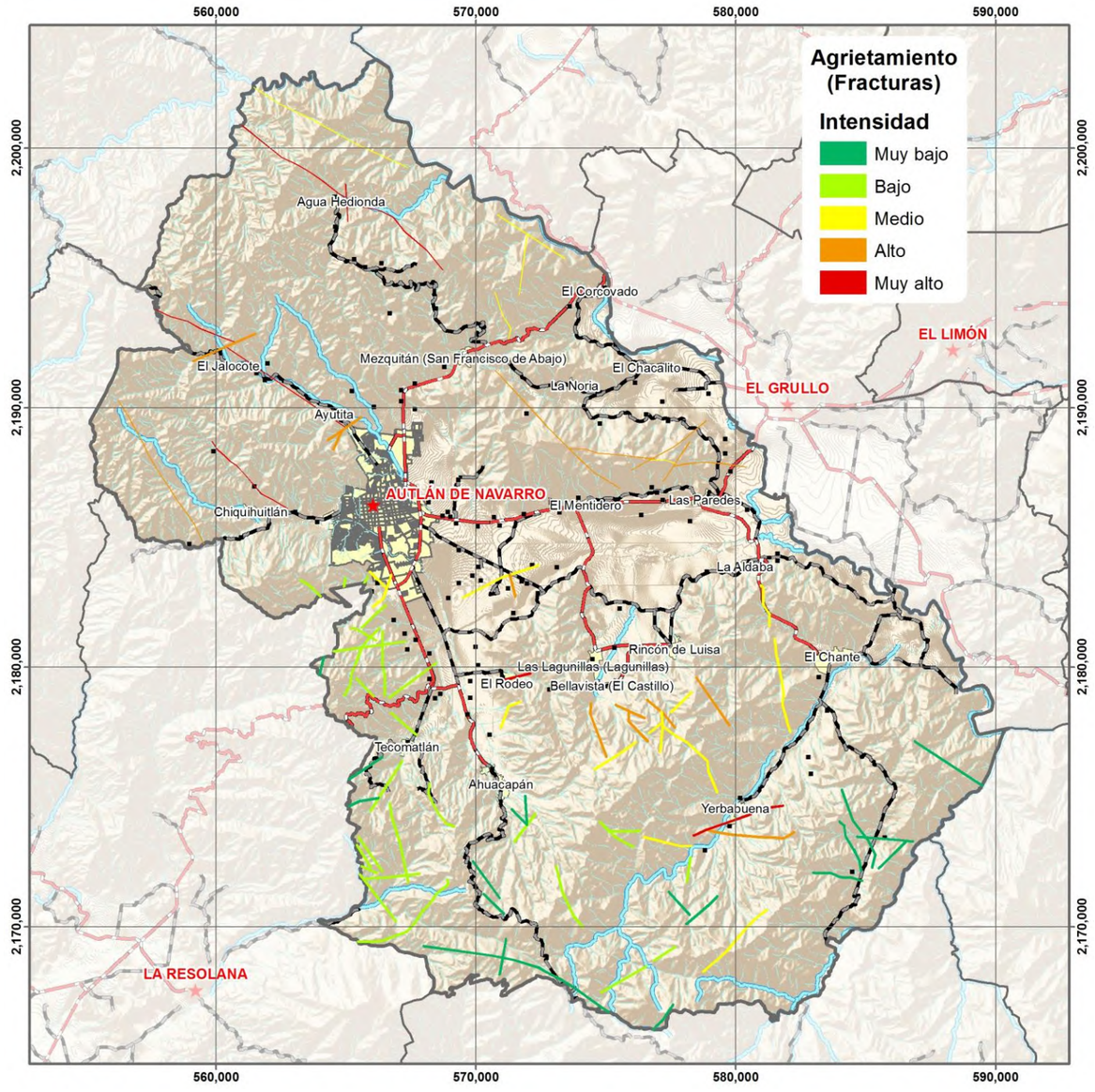
En el análisis de peligro que puede causar una falla o una fractura, para su zonificación se aplicó un radio igual a buffer de 50 m para fallas, ya que aunque son estructuras inestables, obedecen a procesos y escalas de tiempo geológico en miles de años, por lo que es imposible determinar una reactivación, sino se realiza un monitoreo sísmico para determinar el grado de movimiento e intensidad de peligro por lo que no deja de ser una superficie susceptible a movimiento. Para fracturas se consideró un buffer de 20 m, la diferencia de distancias respecto a las fallas se debe, a que una falla ya ha tenido un desplazamiento entre sus bloques y es más susceptible a continuar con este movimiento, en cambio la fractura, es únicamente una ruptura dentro de la unidad litológica.

Para la zonificación y el lineamiento de estas estructuras, en el caso de fallas se consideró un nivel de afectación de “Peligro Alto” cuando se encuentran cerca de una Localidad o pasan sobre ella, mientras que para las fracturas será un nivel de “Peligro Medio a Alto”, cabe señalar que no fue desarrollado el análisis de la vulnerabilidad, ni riesgo, debido a que no es posible estimar el tiempo en el que se podría darse algún tipo de desplazamiento entre estructuras, por lo cual únicamente se hace mención de la ubicación de estos sitios y la zonificación de las zonas de peligro, es decir, áreas susceptibles a ser afectadas.

En el Municipio de Autlán únicamente se tienen cartografiados conjuntos de fracturas orientadas casi en su totalidad noroeste-sureste (Figura 5.1.8.7). Para su estudio se consultaron las bases de datos

estructurales reportadas en los informes de las Carta Geológico Mineras del Estado de Jalisco a escalas 1:500,000 (SGM, 2006) e interpretación de lineamientos estructurales.

Figura: 5.1.8.7. Mapa de peligros por Fallas y Fracturas.



Fuente: HAB-Consultoría Ambiental

5.1.8.12. Análisis de Resultados del Peligro por Agrietamientos (Fallas y Fracturas).

Debido a que las fallas y fracturas son planos de ruptura dentro de una unidad litológica, a pesar de estar consideradas como inactivas, crean bloques independientes susceptibles a tener movimiento por cambios en su entorno, como pueden ser la sismicidad, la sobreposición o extracción de materiales pétreos, asentamientos urbanos, construcción de vías de comunicación y/o infraestructura, entre otros. En el caso de que se llegará a dar un movimiento o reactivación, es capaz de provocar daños severos dependiendo de su intensidad y dirección, y de la superficie o infraestructura que afecte, en ocasiones cuando estos eventos se presentan dentro de una zona urbana, pueden poner en riesgo vidas humanas, viéndose acentuado este peligro cuando se involucran estaciones de gas, gasolineras e infraestructuras petroleras, como es el caso de los ductos.

De acuerdo al mapa de agrietamientos, dentro del municipio existen localidades que pueden tener intensidades de peligro Muy Alta por la cercanía de agrietamientos (Fallas o Fracturas). Es el caso de Agua hedionda, el Jolocote, Yerbabuena, el Rodeo y Chiquihuitlán. Pero existen localidades en donde por su cercanía de una fractura puede presentar intensidades Altas, debido a que el movimiento de su entorno y la presencia de un sismo pueden ampliar su longitud y abertura, como son las localidades de: Las paredes o el Mentidero. En términos generales la intensidad del peligro por agrietamiento oscila entre Medio a Muy Alto. Los agrietamientos que no representan peligro para una localidad se han considerado con intensidades Bajas.

Las viviendas que se ha visto que sufren mayor daño ante la acción de agrietamientos en la zona urbana de Autlán son las que no cuentan con elementos estructurales adecuados para resistir las fuerzas laterales, como las que produce un sismo. Dos ejemplos de este tipo de construcciones lo conforman las viviendas de adobe y las de mampostería simple, las cuales se suelen construir sin elementos que confinen a los muros (como castillos y dalas).

Sin embargo, construcciones con mampostería confinada o reforzada también pueden ser vulnerables si no se cuenta con la cantidad necesaria de muros distribuidos uniformemente en dos direcciones perpendiculares (es decir, a lo largo y ancho de la casa). Mientras más niveles tengan la construcción más vulnerable será. Por supuesto el peligro de daños por sismos es mayor si la construcción se ubica en una zona de mayor intensidad sísmica, como es el caso del Municipio de Autlán de Navarro.

Perceptibilidad de los Fenómenos Geológicos

Para conocer cómo se perciben los diversos fenómenos geológicos por parte de la población y las autoridades de una localidad, ha sido necesario levantar una serie de encuestas, en diversas localidades, la cual se muestra un análisis de recuperación de información en la tabla 5-7

Tabla 5-8.Perceptibilidad de Fenómenos Geológicos en el Municipio de Autlán (Preeliminar).

Localidad	Vulcanismo	Sismo	Deslizamiento	Flujos	Derrumbes	Hundimientos	Agrietamientos
Las Paredes	No	Si	No	No	No	No	Si
El Mentidero	No	Si	Si	No	No	Si	Si
La Sidrita	No	Si	No	No	No	No	Si
Yerbabuena	No	Si	Si	No	No	No	No
El Chante	No	Si	No	No	No	Si	Si
Tecopatlán	No	Si	Si	No	SI	Si	Si
La Aldaba	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Las Lagunillas	No	Si	No	No	No	N0	Si

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 5.3.1.6.1., se observar que la perceptibilidad de los sismos es general y puede estar ligado a la presencia de agrietamiento, hundimientos y deslizamiento en el Municipio dado la actividad sísmica en la zona en donde ocurren sismos de 3.5 a 6 grados en la escala de Richter, en torno al Municipio.

Fenómenos Hidrometeorológicos

Los fenómenos hidrometeorológicos son cambios en la naturaleza, procesos permanentes de movimiento y transformaciones que tienen una relación directa o indirecta con el agua. Los más comunes son la lluvia y el viento; otros que se engloban dentro de este concepto son: ciclones tropicales, tormentas, heladas, nevadas, granizadas, inundaciones, tornados, sequía, temperaturas extremas. La importancia de abordar este tipo de fenómenos es debido a la ubicación geográfica del Municipio y su orografía con respecto a la constante incidencia de estos y los efectos adversos que pueden causar hacia la población, la infraestructura, bienes y el medio, Los fenómenos naturales relacionados a peligros hidrometeorológicos a abordarse dentro de este nivel de información son: inundación (por encharcamiento, y por acumulación en zonas bajas y zonas costeras), ciclones tropicales (en sus diversas categorías) y otros fenómenos que van relacionados con los anteriores o son consecuencia del impacto de éstos, además de las sequías e incendios forestales.

5.9 Ondas Cálidas y Gélidas (Temperaturas Máximas y Mínimas Extremas)

Ondas Cálidas y Gélidas (Temperaturas máximas y mínimas extremas)

Temperaturas máximas extremas

Una onda de calor se define, según la OMS como temperaturas mayores o iguales a 32.2 °C del aire con duración de más de tres días. Sin embargo los umbrales de temperatura máxima habituales para la población varían geográficamente. En esta circunstancia, se toma el percentil 90 como umbral a partir del cual se puede estar en presencia de una onda de calor, la siguiente condición es que este nivel de temperaturas se mantenga por tres días continuos o más.

Impactos de las ondas de calor.

La homeostasis se define como el conjunto de fenómenos de autorregulación, conducentes al mantenimiento de una relativa constancia en la composición y las propiedades del medio interno de un organismo. Este mecanismo es el que permite equilibrar los niveles de temperatura entre las extremidades del cuerpo humano y otras partes. En este mecanismo de igualación de temperatura corporales, están involucrados cuatro procesos:

1) La obtención de calor por el metabolismo,
2) La pérdida por evaporación,
3) La ganancia y pérdida por conducción y convección,
4) Ganancia o pérdida por radiación. Si el cuerpo humano está en contacto físico con otros cuerpos pierde o gana calor por conducción, según si la temperatura del cuerpo es mayor o menor que la de las sustancias en contacto con él.

Por otra parte, fluidos como el aire o el agua hacen ganar o perder calor al cuerpo humano por convección. Cuatro variables meteorológicas impactan directamente los mecanismos de homeostasis térmica, estos son:

1) La temperatura del aire (medida con un termómetro de bulbo húmedo),
2) La humedad del aire,
3) La velocidad del viento y
4) la radiación solar.

La humedad elevada del aire dificulta el enfriamiento por evaporación de las transpiraciones y por lo tanto incrementa el estrés por calor.

Para expresar la influencia que ejercen las variables meteorológicas descritas en el estrés térmico, se han desarrollado índices que reflejen el efecto combinado de esas variables, tal como el índice de Temperatura Efectiva, el cual se estableció a partir de observaciones empíricas de los efectos de la circulación, temperatura y humedad del aire sobre un conjunto de individuos, y otros como el Índice de Temperatura de Globo de Bulbo Húmedo, el Índice de Stress Calórico de Belding-Hatch. etc. La mayoría de estos índices involucran supuestos implícitos sobre la producción de calor metabólico, vestido y humedad.

Las temperaturas máximas podrían generar un escenario crítico y dar lugar a una mayor incidencia de casos como el golpe de calor, el agotamiento por calor, el síncope y los calambres por calor. Las olas de calor también incrementan la morbilidad y mortalidad asociadas a otras enfermedades que ocurren aún en ausencia del estrés del calor, por ejemplo, el infarto al miocardio, malestares cardiovasculares y de padecimientos gastrointestinales por la ingesta de agua contaminada, sin embargo, el golpe de calor es el único con una letalidad importante (Kilbourne, 2000).

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	48	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31°	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
26°	26	26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Nivel	Consecuencias
Peligro extremo	Insolación o golpe de calor son muy probables
Peligro	Insolación, calambres o agotamiento por calor son muy probables
Extrema precaución	Insolación, calambres o agotamiento por calor son posibles
Precaución	Posible fatiga

Escala de temperaturas

Las personas más vulnerables a las ondas de calor son los niños menores de 5 años, los adultos mayores de 65 años (porque tienen mayor probabilidad de enfermedades crónicas), los trabajadores agrícolas, de la construcción y los migrantes. También los enfermos y las personas con sobrepeso son muy vulnerables al calor extremo.

Los efectos en la salud se intensifican desfavorablemente en las áreas de bajo nivel socioeconómico, por carecer de recursos para la instalación de aire acondicionado y de árboles y arbustos que proporcionen sombra, mientras que el acceso al cuidado sanitario es mínimo (Kilbourne, 2000). Muy probablemente la recurrencia e intensidad de las ondas de calor se incrementará debido al proceso de cambio climático en el planeta.

Temperaturas Mínimas Extremas

La temperatura, la velocidad del aire, la humedad y la energía radiante son los cuatro factores ambientales al abordar el análisis del peligro por calor o frío. El movimiento del aire facilita la pérdida de calor corporal más eficientemente en condiciones frías que en cálidas. La humedad no es un mecanismo importante de pérdida de calor puesto que la transpiración no ocurre tan fácilmente en temperaturas bajas. Por otra parte, la radiación solar en ciertas latitudes es menor en época invernal que durante el resto del año por lo que no es un factor de peso en ambientes fríos, pero no es el caso para la ubicación geográfica del municipio, en donde es evidente que la salida del sol y el avance del día van modificando la temperatura de modo extremo, tanto que se pueden tener temperaturas de invierno por la mañana y de verano a las 15:00 horas.

Estos cambios bruscos de temperatura son una causa importante de la incidencia de enfermedades respiratorias y pulmonares que afectan a la población en general, pero principalmente a niños, ancianos y enfermos.

En resumen, los factores de temperatura y velocidad del aire, y la radiación solar son los que más influyen en la determinación del peligro por temperaturas mínimas extremas.

Tomando en consideración solo los factores de temperatura y velocidad del viento, se ha desarrollado un índice de "Sensación Térmica" para predecir el estrés por temperaturas bajas. Sin embargo, para el caso en estudio, se ha señalado que el factor de radiación solar es importante a ciertas horas del día, por lo que es necesario establecer un índice que tome en consideración este hecho.

Mecanismos adaptativos del cuerpo al frío

Las principales respuestas adaptativas al frío son el estremecimiento (temblar y tiritar) y la vasoconstricción. La actividad muscular relacionada con el estremecimiento incrementa la generación de calor metabólico. La vasoconstricción periférica obliga a redistribuir el flujo sanguíneo de la piel y otras partes del cuerpo hacia tejidos más profundos donde es más eficiente la conservación del calor corporal. El sistema de venas y arterias funciona como un intercambiador de calor en el que la sangre a mayor temperatura de las arterias cede calor a la sangre más fría de las venas. El resultado final es una caída de la temperatura en la superficie corporal en favor de la central.

La hipotermia no intencional (accidental) resulta de la sobreexposición a temperaturas ambientales frías y es un problema de importancia considerable en salud pública.

La hipotermia es la única enfermedad conocida relacionada con el frío con una importante letalidad. Es razonable suponer que los casos de hipotermia ocasionan la gran mayoría de muertes para las cuales se certifica la exposición al frío como causa subyacente (código E901, Clasificación Internacional de Enfermedades, novena revisión).
La hipotermia es clínicamente significativa cuando la temperatura corporal cae a 35 ºC o menos. Conforme cae la temperatura, la conciencia se nubla y el paciente aparece confundido o desorientado. La palidez resulta de la intensa vasoconstricción. Al principio, se presenta estremecimiento pero decrece marcadamente en intensidad a medida que la temperatura sigue cayendo y la hipotermia misma compromete la termorregulación. Con la hipotermia severa, temperatura corporal menor de 30 ºC, se pierde la conciencia, la respiración se torna imperceptible y el pulso no es palpable. A temperaturas tan bajas, el miocardio se torna irritable y es común la fibrilación ventricular. El paciente puede parecer muerto aunque puede recuperarse con el tratamiento apropiado.

Las personas encontradas aparentemente muertas en circunstancias que sugieren hipotermia, se deben manejar para esa entidad hasta que se confirme su muerte. No se debe subestimar el potencial de recuperación de estas personas después de prolongadas maniobras de resucitación cardiopulmonar. Una víctima aparente de ahogamiento en aguas heladas se recuperó completamente después de carecer de latidos cardiacos durante 2.5 horas.

Método

Obtener los registros de datos climatológicos de tres décadas de temperaturas máximas y mínimas extremas mensuales, de cada una de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio.

Crear una base de datos climatológicos con los valores de temperaturas máximas estacionales, (otra para las mínimas), trazar isolíneas con los valores obtenidos a través de una interpolación, utilizando sistemas de información geográfica.

Analizar los valores de frontera para la ecuación de la interpolación propuesta. Establecer los rangos para las isotermas de acuerdo a ésta guía, lo anterior con objetivo de estandarización.

Análisis de las ondas de calor.

Se obtuvo la serie de datos de temperaturas máximas de las estaciones estación 014019 (Autlán) y 014046 (El Chante) del Servicio Meteorológico Nacional por medio del CLICOM a través de la plataforma del CICESE. De la seri e de datos se extrajo el percentil 90, obteniendo 35°C para ambas, como el umbral a partir del cual se pueden generar ondas cálidas, mientras que la temperatura promedio es 31.06°C para Autlan y 31.07°C. para El Chante

La recurrencia de temperaturas mayores o iguales a 35 °C para las estaciones Autlán y El Chante en la serie de datos estudiada que representan ondas cálidas según la metodología descrita, es decir, con duración mayor a 3 días, se muestra en las tablas a continuación , el año y el mes en cuestión las ondas de calor y su duración.

De los datos analizados para la estación Autlán en un periodo de 1970 a 2000 se encontró , que los años 1979 y 1980 son los que presentan mayor cantidad de días con olas de calor con 137 días el 10 eventos y 112 días en 4 eventos, respectivamente.

Las olas de calor se presentan en 10 meses del año (febrero-noviembre), siendo los meses de marzo, abril y mayo los de mayor cantidad de días con olas de calor, del total del periodo analizado marzo presento 71 días, en 9 eventos, abril 123 en 16 eventos y mayo 122 días en 16 eventos, cabe destacar la ocurrencia ondas de calor durante más de un mes, tal es el caso del año 1980 con un evento de 51 días entre marzo y abril, 1976 con un evento de 24 días entre abril y mayo; 1978 con 29 días entre abril y mayo, 1981 con una onda de calor de 71 días entre los meses de abril mayo y junio y 1979 con una onda de calor de 28 días entre mayo y junio

El análisis de la estación el Chante, que tenía datos disponibles en un periodo de 1981-2010, se contabilizaron los días con ondas de calor, siendo 1987 con 114 días en 10 eventos y 1988 con 102 días en 7 eventos los años con mayor cantidad de días en los que se presentó el fenómeno.

Los meses de marzo, abril y mayo son los que presentan más días con ondas de calor donde para marzo se muestran 45 días en 4 eventos; abril con 70 días en 5 eventos; mayo 120 días en 17 eventos. Al igual que la estación Autlán se detectaron olas de calor que se extendieron entre meses, tal es el caso del año 1988 con una ola de calor de 55 días en los meses de marzo y abril y 1989, 62 días en los meses de abril, mayo y junio

Año	Duración en días																		
	Ene	Feb	Mar	Mar-Abril	Abr	Abr-May	Abr-May-Jun	May	May-Jun	Jun	Jun-Jul	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, días	Total, eventos
1970	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1971								3										**3**	**1**
1972								4										**4**	**1**
1973	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1974					6,17			4							3			**30**	**4**
1975					11			6		3					4			**24**	**4**
1976			3,3		5,4	24		27										**66**	**6**
1977					3			8		9			9	4,4	5,4	3		**49**	**9**
1978					5	29		6		8		3				4,8		**63**	**7**
1979			7		9,10			6,24	34		28	3	5,6	4	31			**137**	**10**
1980				51					50			5			6			**112**	**4**
1981			20				71											**91**	**2**
1985	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1987					3			5		4								**12**	**3**
1988								3										**3**	**1**
1989	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1990	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1991					3					3,4								**10**	**3**
1992	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1993	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1994								7										**7**	**1**
1995								3										**3**	**1**
1996												9			9,3			**21**	**3**
1997			14,8		7,12			3										**44**	**5**
1998										14,9		5						**28**	**3**
1999		5,3	4		5,9			6,12							8			**50**	**8**
2000			5,7		14			22,3										**51**	**5**
Total, días		**8**	**71**	**51**	**123**	**53**	**71**	**122**	**84**	**54**	**28**	**25**	**20**	**12**	**71**	**15**		**808**	
Total, eventos		**2**	**9**	**1**	**16**	**2**	**1**	**16**	**2**	**8**	**1**	**5**	**3**	**3**	**9**	**3**			**81**

SO=Sin ondas de calor, ND=Sin datos

Tabla 9. Duración en días de ondas de calor registradas en la estación meteorológica 014019 ubicada en Autlán. Fuente: Elaboración propia.

Año	Duración en días															
	Ene	Feb	Mar	Abr	Abr-May	Abr-May-Jun	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, días	Total, eventos
1980	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1981	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1982	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1983	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**

Año	Duración en días															
	Ene	Feb	Mar	Abr	Abr-May	Abr-May-Jun	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, días	Total, eventos
1984			6	13,15			5,9								**48**	**5**
1985				9			28								**37**	**2**
1986			7	14			21								**38**	**4**
1987			4	19			12,7	9,4	4			8	30		**114**	**10**
1988	5,3,4	3, 4	28		55			5	6						**102**	**7**
1989						62		4,5	4						**75**	**4**
1990							5	7	3, 8, 3	3, 6	5				**40**	**8**
1991	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1992	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1993	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1994							3, 6	10	4	5					**28**	**5**
1995								3,4							**7**	**2**
1996							3	3,3							**9**	**3**
1997	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
1998								3							**3**	**1**
1999	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
2000							3, 3, 8								**14**	**3**
2001	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
2002	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
2003	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
2004	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
2005							5								**5**	**1**
2006	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
2007							3	3							**6**	**2**
2008	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
2009	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	SO	**0**	**0**
2010											3				**3**	**1**
Total, días	**12**	**7**	**45**	**70**	**55**	**62**	**120**	**55**	**26**	**14**	**8**	**8**	**30**	**17**	**529**	
Total, eventos	**3**	**2**	**4**	**5**	**1**	**1**	**17**	**11**	**6**	**3**	**2**	**1**	**1**	**1**		**58**

SO=Sin ondas de calor, ND=Sin datos

Tabla 10. Duración en días de ondas de calor registradas en la estación meteorológica 014046 ubicada en El Chante. Fuente: Elaboración propia.

Mes	Autlán		El Chante	
	No. de Eventos	Días totales	No. de Eventos	Días totales
Enero			3	12
Febrero	2	8	2	7
Marzo	9	71	4	45
Marzo-Abril	1	51		
Abril	16	123	5	70
Abril-Mayo	2	53	1	55
Abril-Mayo-Junio	1	71	1	62
Mayo	16	122	17	120
Mayo-Junio	2	84		
Junio	8	54	11	55
Junio-Julio	1	28		
Julio	5	25	6	26
Agosto	3	20	3	14
Septiembre	3	12	2	8
Octubre	9	71	1	8
Noviembre	3	15	1	30
Diciembre			1	17

Tabla 11. Meses con más eventos de ondas de calor. Fuente Elaboración propia

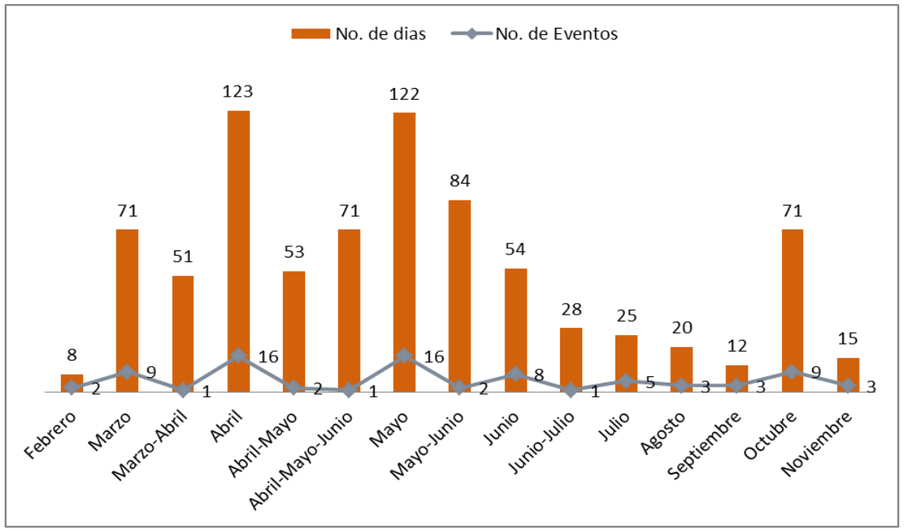
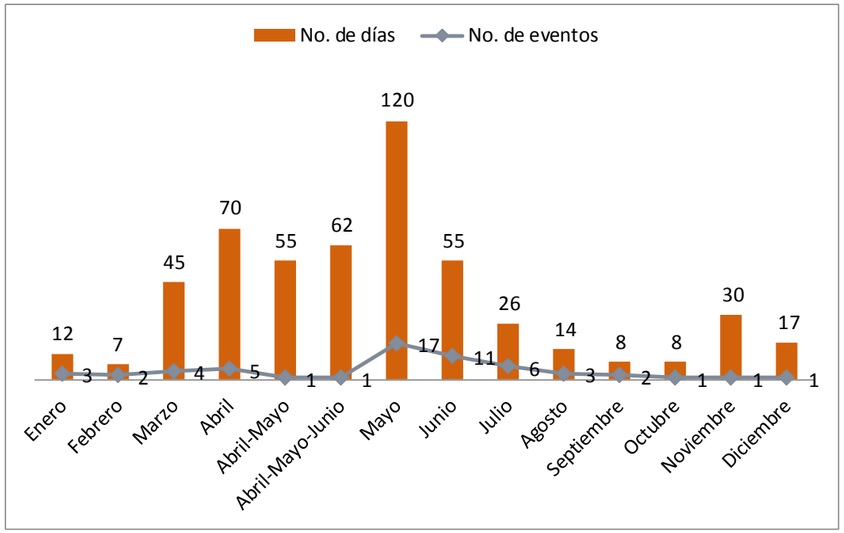


Gráfico 5. Número de ondas de calor por mes periodo 1970-2000. Fuente: Elaboración propia



Otra estadística interesante es el número de días al año con 35 °C o más y que además estén dentro de una onda de calor.

	Autlán	El Chante
Año con datos	Días con temperatura mayor o igual a 35 °C	Días con temperatura mayor o igual a 35 °C
1970	0	N/A
1971	3	N/A
1972	4	N/A
1973	0	N/A
1974	30	N/A
1975	24	N/A
1976	66	N/A
1977	49	N/A
1978	63	N/A
1979	137	N/A
1980	112	N/A
1981	91	SD
1983	SD	0
1984	SD	48
1985	SD	37
1986	SD	38
1987	12	114
1988	3	102
1989	0	75
1990	0	40
1991	10	0
1992	0	0
1993	0	
1994	7	28
1995	3	7
1996	21	9
1997	44	0
1998	28	3
1999	50	0
2000	51	14
2001	N/A	0
2002	N/A	0
2003	N/A	0
2004	N/A	0
2005	N/A	5
2006	N/A	0
2007	N/A	6
2008	N/A	0
2009	N/A	0
2010	N/A	3
Total	808	529

Tabla 12. Días por año con temperaturas superiores o iguales a 35 °C. Fuente: Elaboración propia

Graficando el número de año contra los días con temperaturas iguales o mayores a 35°C en la cabecera municipal de Autlán se puede obtener una idea de la tendencia de su incremento.

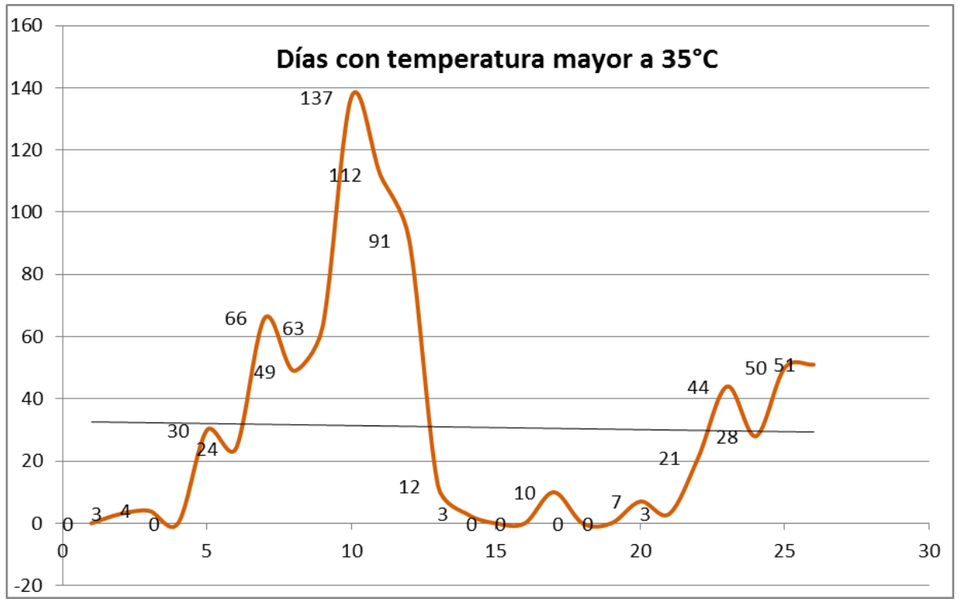
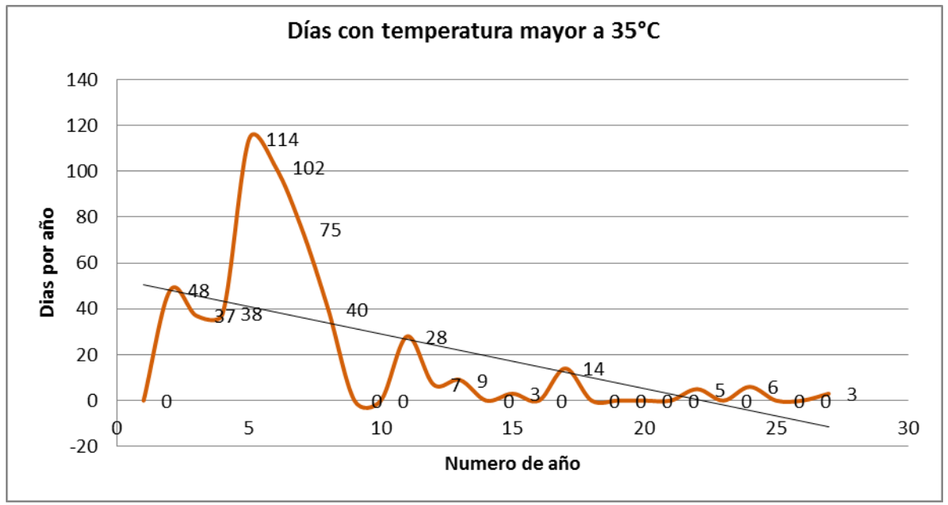


Gráfico 6. Incremento de la duración de ondas de calor a través del tiempo. Fuente: Elaboración propia



5.10 Sequias

Sequía

Nivel 1.

Determinar los porcentajes de sequía intraestival (disminución de las lluvias durante el verano) de acuerdo a método de Pedro Mosiño y Enriqueta García, el cual consiste en la utilización de cuatro ecuaciones que representan los grados de sequía.

Se usan datos de precipitación media mensual, con preferencia de mayo a octubre. Elaborar gráficas para identificar el comportamiento de la sequía intraestival. El resultado se expresa por gráficas de comportamiento de la sequía intraestival y mapa de grados de intensidad de la sequía intraestival.

Metodología

Una sequía se caracteriza por un prolongado período de tiempo anormalmente seco. Se presume que en la actualidad hay mayores sequías que antaño, muestra de los efectos del cambio climático. Este problema, traducido en desastre natural, implica un desequilibrio hidrológico y los suministros de agua presentan niveles inferiores a los normales. Su impacto puede ser aún más fuerte que el de las tormentas, puesto que son más difíciles de definir y de prever. Además, la tarea de evaluar su gravedad en términos objetivos suele ser complicada ya que se desarrollan gradualmente y de formas distintas en cada región. (FAO.2017)

La sequía es uno de los peligros naturales más devastadores que paraliza la producción de alimentos, agota los pastizales, perturba los mercados y, en los casos más extremos, causa la muerte generalizada de personas y animales. Las sequías pueden también dar lugar a un aumento de la migración de las zonas rurales a las urbanas, lo que supone una presión adicional por la producción decreciente de alimentos. Muchas veces los ganaderos se ven obligados a buscar fuentes alternativas de agua y alimentos para sus animales, lo cual puede crear conflictos entre las comunidades de ganaderos y agricultores. En el pasado, las sequías no eran siempre tan catastróficas y solían formar parte del sistema climático ordinario. Sin embargo, la mayor frecuencia de sequías y el carácter más errático de las precipitaciones en muchos países, junto con la vulnerabilidad económica, social y ambiental subyacente, han hecho que las sequías tengan un impacto cada vez más destructivo en las poblaciones en riesgo. (FAO, 2017)

Cuando en una región, la precipitación acumulada en un cierto lapso es significativamente menor a la promedio, se presenta una sequía. Si este tiempo es de varios meses, se afectan las actividades principales de los habitantes de ese lugar. Desafortunadamente, este fenómeno que cada vez se presenta con mayor frecuencia en el mundo, causa grandes pérdidas económicas por la escasa actividad agrícola o la muerte de ganado. Aunque se considera la sequía como evento hidrometeorológico, dista mucho de tener las características de otros fenómenos de este tipo, como el caso de un ciclón; ya que su ocurrencia, no se percibe fácilmente, sino hasta que empiezan a ser fuertes los daños. Una sequía puede afectar a grandes extensiones de terreno y durar meses o incluso años. Existen razones para afirmar que las sequías se auto perpetúan en cierto grado, ya

que una vez que la superficie del suelo está libre de vegetación, devuelve una mayor cantidad de calor a la atmósfera favoreciendo el predominio de cierto tipo de nubes (*cumulus*) continentales sobre las marítimas; lo que propicia lluvias menores. México tiene gran parte de su territorio en la franja de alta presión de latitud norte, por lo que tiene zonas áridas y semiáridas; ellas coinciden en latitud con las regiones de los grandes desiertos africanos, asiáticos y australianos. (CENAPRED.2017)

Evaluación de la Sequía Intraestival

La metodología para evaluar la sequía intraestival permite delimitar aquellas áreas del municipio afectadas por la sequía intraestival, cuantificar su intensidad y conocer la duración del fenómeno. La delimitación de las áreas afectadas se realizó el análisis de 6 estaciones climatológicas localizadas en el área de influencia municipal extraídos de la base de datos CLICOM, del banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Es necesaria la aplicación de fórmulas matemáticas lo cual permite estimar la intensidad del fenómeno. Determinar la precipitación media mensual en cada estación permite conocer el comportamiento de la precipitación en los meses de mayo a octubre del periodo analizado así mismo identificar los meses donde se presenta mayor precipitación.

Estimación de precipitación total mayo-octubre

Para conocer los valores de precipitación media mensual fue necesario considerar los datos registrados de cada estación meteorológica (EM), es a través de la precipitación histórica acumulada de cada EM que se determino la precipitación media mensual (PMM) , cabe mencionar que es variable el número de años de registro en las estaciones climatológicas por lo cual se mencione un promedio de años de cada una; la estación “Autlán” tiene 48 años con datos registrados, la estación “El Chante” se cuenta con 37 años aproximadamente, para “Casimiro Castillo” corresponde a 43 años con datos, “Ejutla” tiene 60 años con datos, siendo la EM más completa, en “Villa Purificación” se tiene un registro de 45 años y para la EM de “Unión de Tula” se analizaran 58 años con datos; dicha información son extraídos del sistema ERIC III y exportados a una planilla de Excel para un análisis integral.

Calculo del déficit del periodo mayo-octubre

El método empleado propuesto por Enriqueta García y Pedro Mosiño cuantifica la intensidad de la sequía intraestival por medio de un índice que toma en consideración el área del polígono funicular formada por las alturas de precipitación promedio mensual. El período que consideran los autores es el del régimen normal de lluvias en México: mayo-octubre. La fracción expresada en porcentaje que resulta de dividir el área representativa del "déficit" entre la precipitación total mayo-octubre ha sido elegida como cifra indicativa de la intensidad de la sequía intraestival. A esta cifra le llaman "sequia relativa"

Ecuaciones empleadas:
Sequía relativa meses junio-agosto

$$A_{1,2,3} = \frac{1}{2}Y_1 - Y_2 + \frac{1}{2}Y_3$$

$$A_{1,2,3,4} = Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4$$

$$A_{1,2,3,4,5} = \frac{3}{2}Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 + \frac{3}{2}Y_5$$

$$A_{1,2,3,4,5,6} = 2Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 - Y_5 + 2Y_6$$

Donde:
Y_n = altura media mensuales de lluvia, incluyendo las ordenadas extremas correspondientes a los máximos anuales.

$$Sequía\ relativa = \frac{Área\ del\ poligono}{Lluvia\ total\ mayo - octubre}$$

Memoria de cálculo

Tabla. Coordenadas de estaciones empleadas y precipitación mensual acumulada.

N°	Estación	Coordenadas		Pmm						
		x	y	mayo	junio	julio	Agos	Sep	Oct	Total
1	El Chante	583519	2180582	19.5	153.8	198.7	198.2	173.6	57.6	801.4
2	U. de Tula	575339	2206553	24.8	137.8	188.3	177.4	144.7	66.9	739.9
3	Casimiro	556832	2169300	10.2	209.9	384.8	377.7	395.5	179.1	1557.2
4	Autlán	566102	2186264	15.8	105.3	155.4	113.4	120.5	66	576.4
5	Villa	540659	2180433	24.8	137.3	188.3	177.4	144.7	66.9	739.4
6	Ejutla	587713	2201297	17.6	157.6	198	183.5	177.4	74.8	808.9
7	El Rosario	606622	2172959	17	96.2	138.2	137.9	119	63.4	571.7
8	Cuautitlán	567279	2151852	13.9	236.5	363.5	356.3	410.3	200.9	1581.4
9	Tacotán	573315	2215176	26	146.8	182.5	149.7	138.8	63.4	707.2

Fuente: Elaboración propia con datos de ERIC versión III

Tabla. Área de polígono funicular para la determinación de sequía intraestival o relativa.

	Estación	Coordenadas		Área del Polígono Funicular				
		x	y	$A_{1,2,3}$	$A_{1,2,3,4}$	$A_{1,2,3,4,5}$	$A_{1,2,3,4,5,6}$	Sequia Relativa Jul-Agos-Sep
1	El Chante	583519	2180582	0	0	0	0	0
2	U de Tula	575339	2206553	0	0	0	0	0
3	Casimiro	556832	2169300	12.45	0	0	0	0.80
4	Autlán	566102	2186264	24.55	0	0	0	4.26
5	Villa P.	540659	2180433	0	0	0	0	0
6	Ejutla	587713	2201297	4.2	0	0	0	0.52
7	El Rosario	606622	2172959	0	0	0	0	0
8	Cuautitlán	567279	2151852	30.6	0	0	0	1.935
9	Tacotán	573315	2215176	10.95	0	0	0	1.548

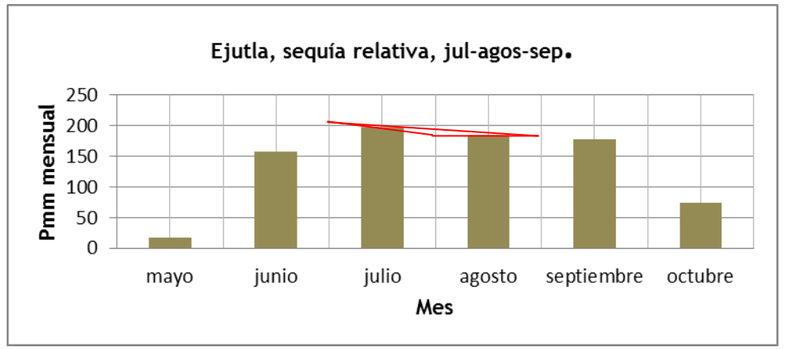
Fuente: Juan Bautista Andalón

Resultados

El resultado de aplicar el método propuesto en realidad arroja en algunos casos valores negativos para el área del polígono funicular, dando que no puede existir un área negativa, esos valores fueron sustituidos por cero en la tabla, lo cual significa que en esos casos no se presenta la sequía relativa.
Como puede apreciarse la sequía relativa se presenta en los meses de Julio-Agosto-Septiembre, con la intensidad más alta en la estación Autlán.

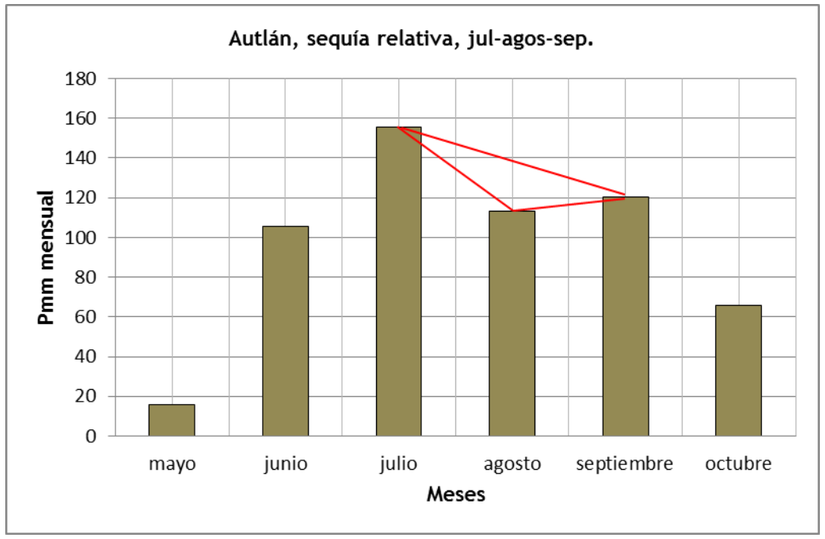
Las gráficas correspondientes para las estaciones Autlán, Cuautitlán, Casimiro Castillo, Ejutla y Tacotán.

Gráfica de estaciones por mes de Autlán, Cuautitlán, Casimiro Castillo, Ejutla y Tacotán.



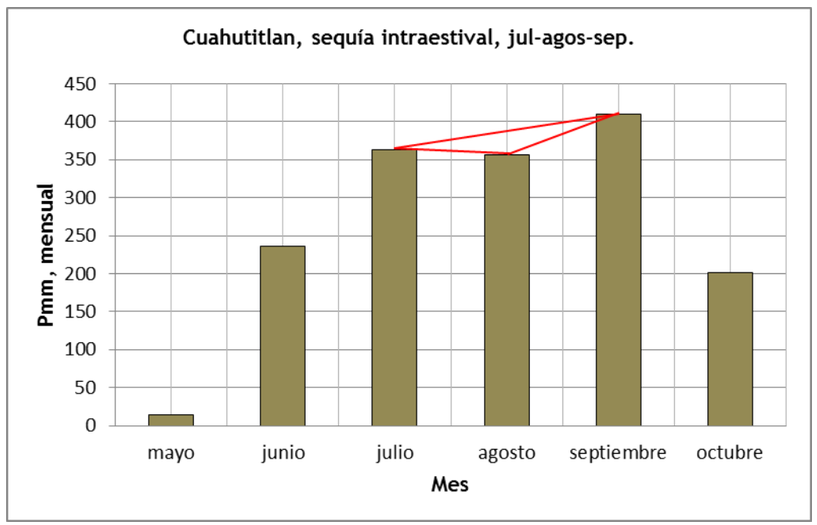
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica estación de Autlán por mes, sequía relativa.



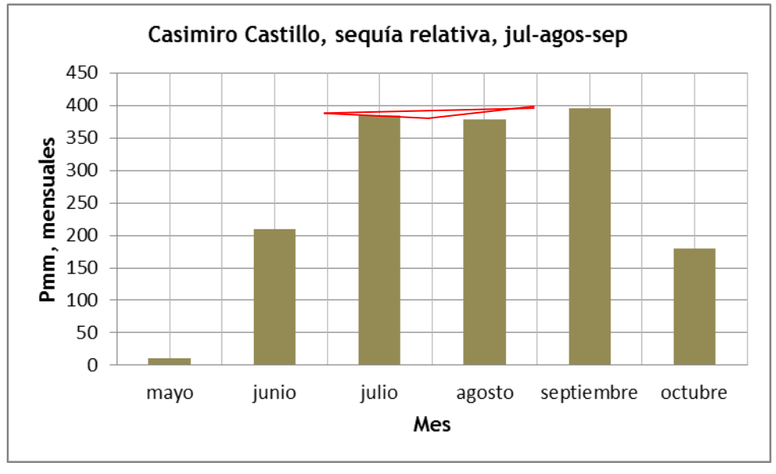
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica estación de Cuautitlán, sequía intraestival.

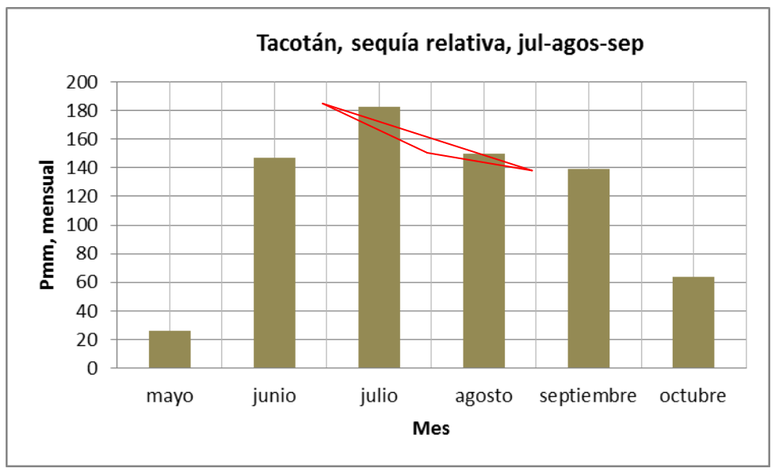


Fuente: Elaboración propia

Gráfica estación de Casimiro Castillo, sequía relativa.

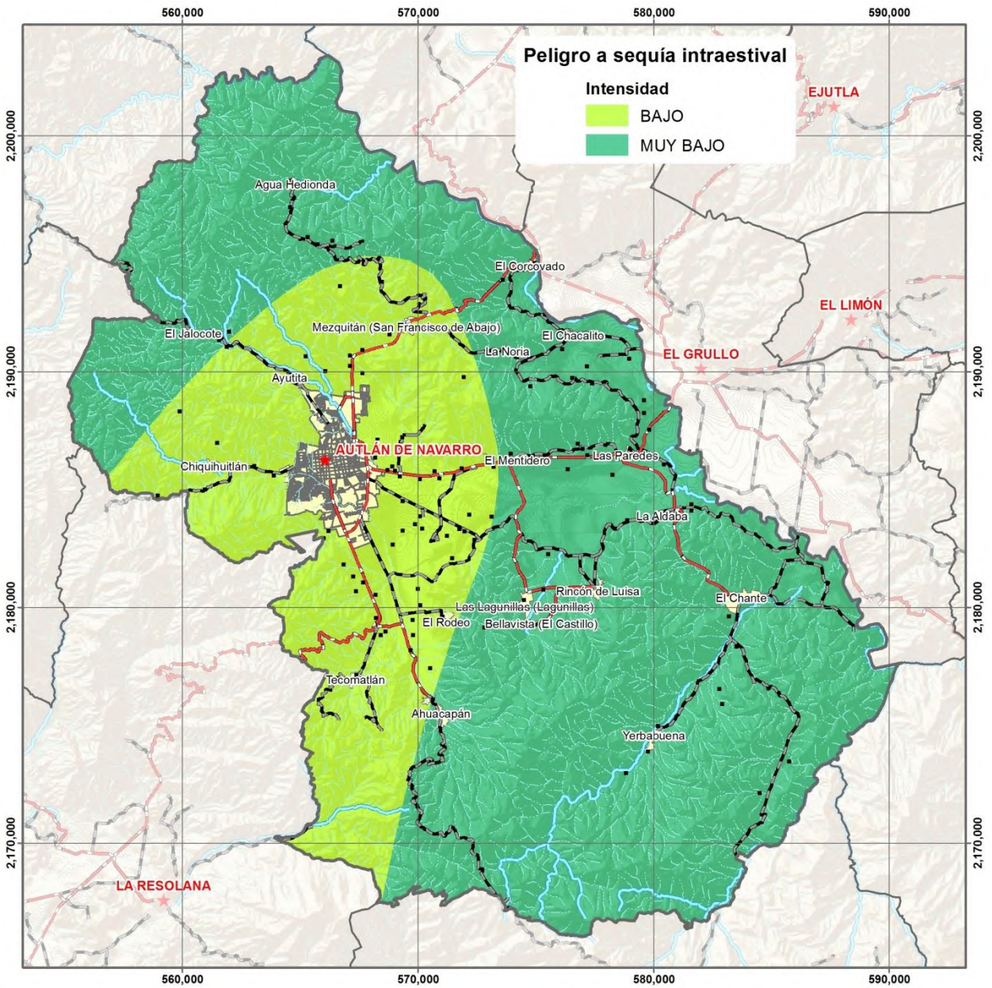


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Imagen 1. Sequia Intraestival Autlán



Fuente: ing. Juan Bautista Andalón.

Método (NIVEL 2)

Índice de Precipitación estandarizado SPI.Gráficas con índice SPI con escalas de 3, 6 y 12 meses.

Registro histórico para Autlán de Navarro

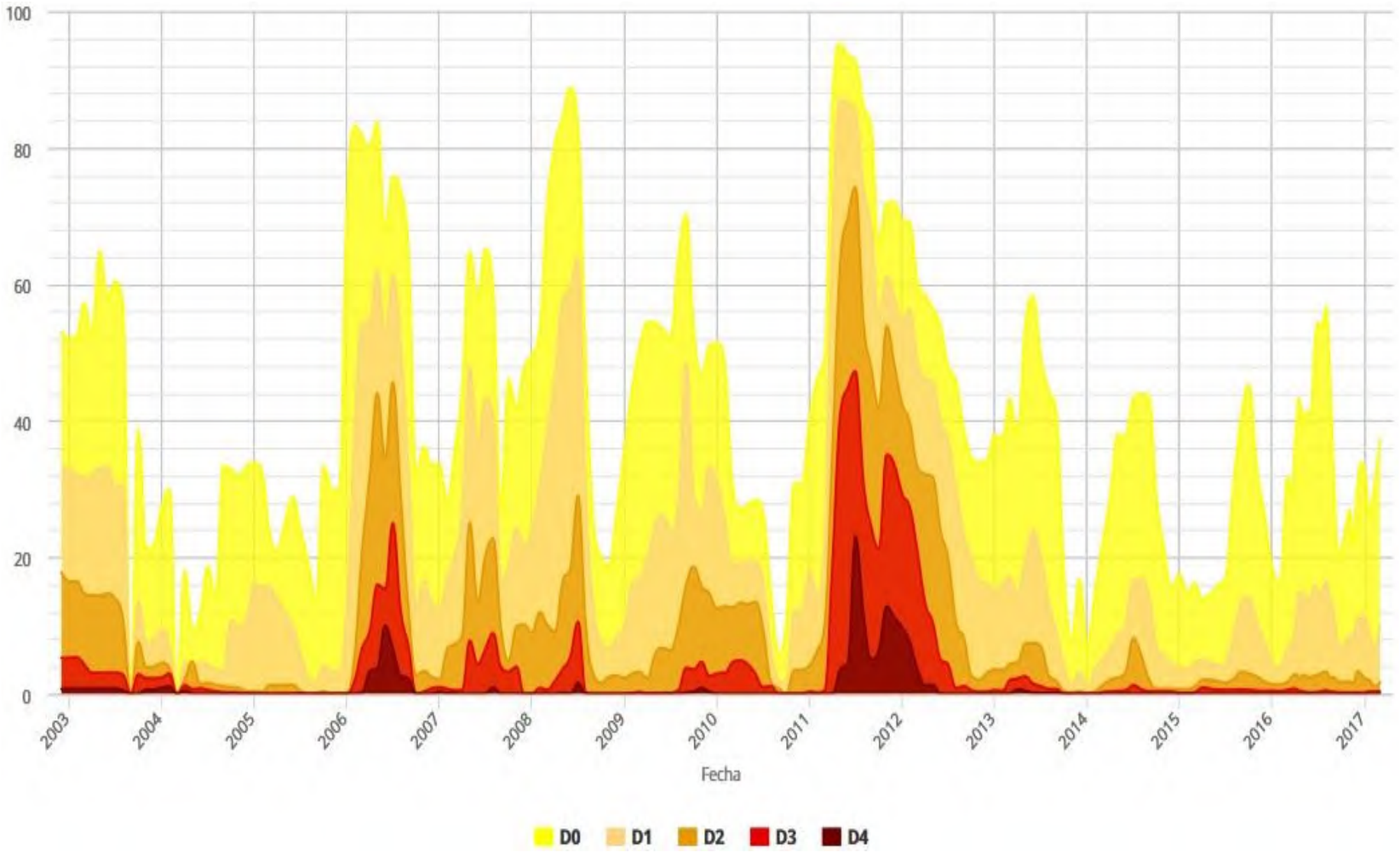
Se localizaron registros completos de las fechas Diciembre del 2014 a Febrero del 2017 en el sitio http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico, donde la clasificación de la sequía está representada de la siguiente manera:

Tabla. Clasificación de sequía

Clasificación de la sequía de acuerdo al monitor de sequía	
Anormalmente Seco	D0
Sequía Moderada	D1
Sequía Severa	D2
Sequía Extrema	D3
Sequía Excepcional	D4

Fuente: Sistema Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua. 2017

Gráfica. *Evolución y el porcentaje de área del país afectada con una o varias categorías de sequía a nivel nacional.*



Fuente: *CONAGUA-SMN.201*

Por lo que para el municipio de Autlán de Navarro la clasificación de sequía se representa de la siguiente manera:

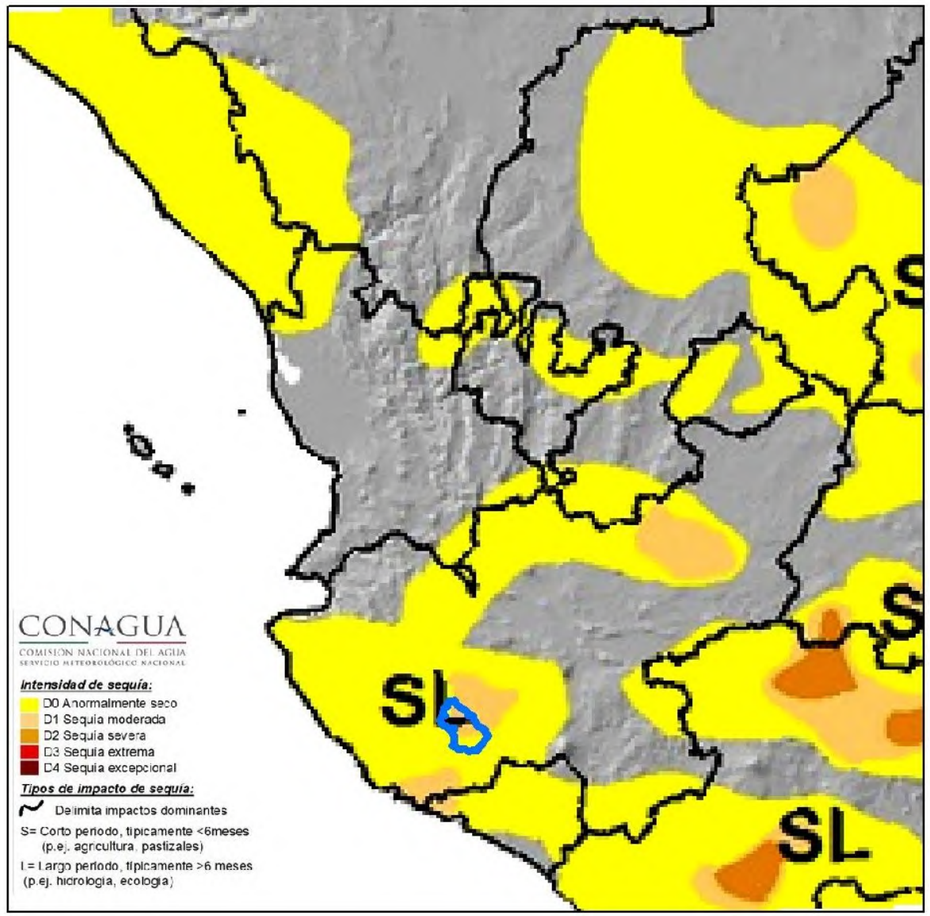
Tabla. Registro histórico de sequias en Autlán de Navarro.

Período	Clasificación
31-dic-14	SIN DATO
15-ene-15	SIN DATO
31-ene-15	SIN DATO
15-feb-15	SIN DATO
28-feb-15	SIN DATO
15-mar-15	SIN DATO
31-mar-15	SIN DATO
15-abr-15	SIN DATO
30-abr-15	SIN DATO
15-may-15	SIN DATO
31-may-15	SIN DATO
15-jun-15	SIN DATO
30-jun-15	SIN DATO
15-jul-15	SIN DATO
31-jul-15	D0
15-ago-15	D0
31-ago-15	D0
15-sep-15	D0
30-sep-15	D0
15-oct-15	D0
31-oct-15	SIN DATO
15-nov-15	SIN DATO
30-nov-15	SIN DATO
15-dic-15	SIN DATO
31-dic-15	SIN DATO
15-ene-16	SIN DATO
31-ene-16	SIN DATO
15-feb-16	SIN DATO
29-feb-16	SIN DATO
15-mar-16	SIN DATO
31-mar-16	SIN DATO
15-abr-16	SIN DATO
30-abr-16	D0
15-may-16	D0
31-may-16	D0
15-jun-16	D0
30-jun-16	D0
15-jul-16	D0
31-jul-16	D0
15-ago-16	D1
31-ago-16	D1
15-sep-16	D1
30-sep-16	D1
15-oct-16	D1
31-oct-16	D1
15-nov-16	D0
30-nov-16	D0
15-dic-16	D0

31-dic-16	D0
15-ene-17	SIN DATO
31-ene-17	D0
15-feb-17	D1
28-feb-17	D1

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN. 2017.

Figura. Intensidad de sequía en Autlán de Navarro al 28 de Febrero del 2017



Fuente: SMN-CONAGUA. 2017

Mapa de la distribución espacial del NDDI.

Empleo de imágenes LANDSAT de la región IV para el cálculo del índice normalizado diferencial de la sequía o por sus siglas en ingles NDDI.

Índice Normalizado diferencial (NDDI)

El uso de datos de teledetección permite analizar el fenómeno de la sequía, es a partir de la relación matemática entre (Índice de Agua Diferencial Normalizada NDWI) y el (Índice de Vegetación Diferencial Normalizada NDVI) que se conoce la magnitud, distribución e intensidad del fenómeno que afecta una región(Vicente-Serrano, 2007).

El análisis espacial utiliza las en imágenes Landsat 8, del sensor OLI_TIRS extraídas del sitio http://glovis.usgs.gov/. El NDVI puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert et al, 1997). Por lo tanto el índice de vegetación permite decir si un determinado mes o año es mejor o peor respecto al valor histórico. El NDWI se fundamenta en la absorción de la radiación a distintas longitudes de Onda que ocurre en el Mesófilo esponjoso en copas de vegetación [Gao, 1996]. El cual determina la desecación y el marchitamiento en la vegetación.

Materiales y métodos

Las imágenes Lansat corresponden a la escena 30-46 de la región IV tienen una resolución de 30 m, para desarrollar el estudio se utilizaron imágenes de dos fechas, una de la temporada de estiaje y una de la temporada húmeda. Para la temporada seca se utilizó la imagen tomada el día 21 de marzo de 2016, mientras que para la temporada húmeda se utilizó la imagen tomada el día 16 de noviembre de 2016 (son fechas que indican el grado de humedad en el ecosistema de la región IV). Es determinado a partir de la distribución de la precipitación; ambas imágenes fueron pre-procesadas mediante la corrección atmosférica de tipo DOS-1 eliminar ruidos causados agentes atmosféricos presentes en la imagen (Chuvieco ,2006).

A través de un SIG, son analizadas las firmas espectrales de cada periodo; mediante la reflectancia de la vegetación se puede realizar la valoración cualitativa.

Se utilizaron las ecuaciones (1) y (2):

$$(1) \qquad NDVI = \frac{\rho NIR - \rho RED}{\rho NIR + \rho RED}$$

$$(2) \qquad NDWI = \frac{\rho NIR - \rho SWIR}{\rho NIR + \rho SWIR}$$

Donde:

ρ_{NIR} es la reflectancia de la región infrarroja cercana (banda 5 LANDSAT 8), ρ_{RED} es la reflectancia de la región roja visible (banda 4 LANDSAT 8)

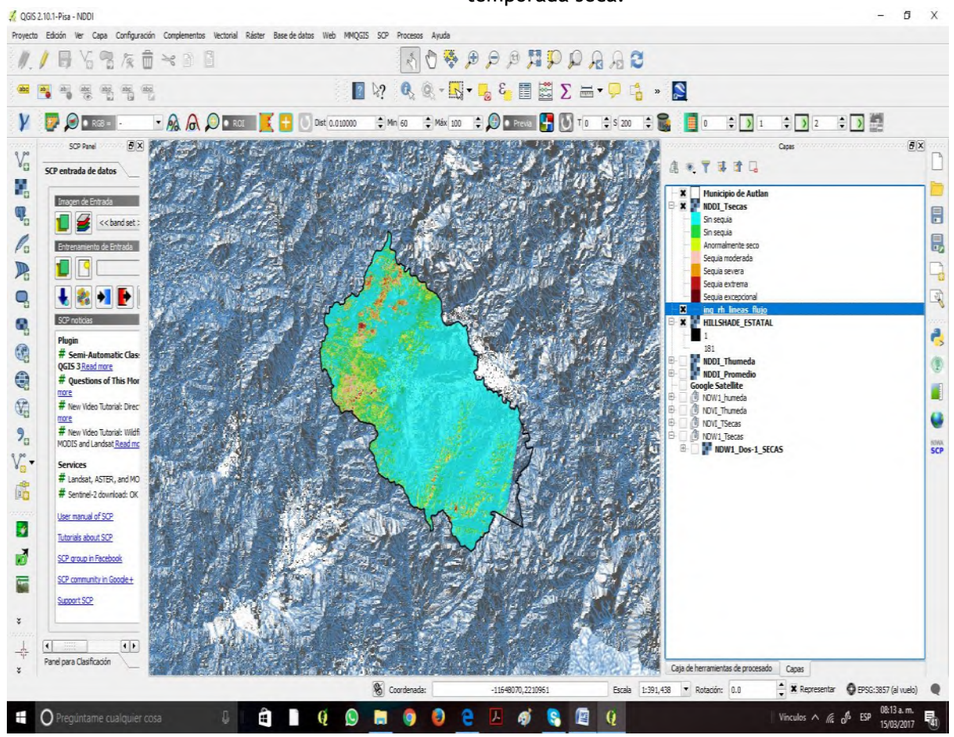
El rango de valores de las reflexiones espectrales se encuentra entre el 0 y el 1; por tanto la reflectividad del infrarrojo cercano como la del rojo, son cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral. Por consecuencia, de estos rangos de valores, el NDVI y NDW1 varía su valor entre -1 y 1.

Cuantificación del NDDI

El cálculo NDDI se realizó después de que las imágenes multitemporales NDVI y NDWI fueron definidas. El resultado fue generar el perfil dinámico de los valores NDDI a lo largo de los periodos de secas y húmedo. La fórmula de NDDI fue:

$$(3) \qquad NDDIT_seca = \frac{(NDVI - NDW1)}{(NDVI + NDW1)}$$

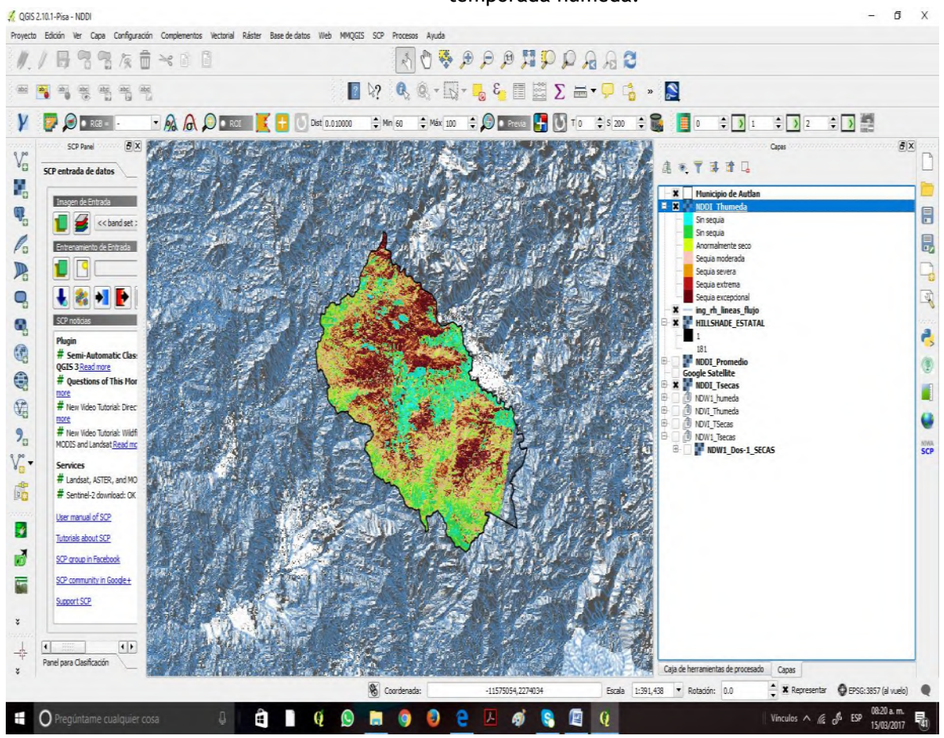
Figura. Índice se Sequía Diferencial Normalizado (NDDI) $_{2016}$ del municipio de Autlán de Navarro, Jalisco para temporada seca.



Fuente: Elaboración propia.

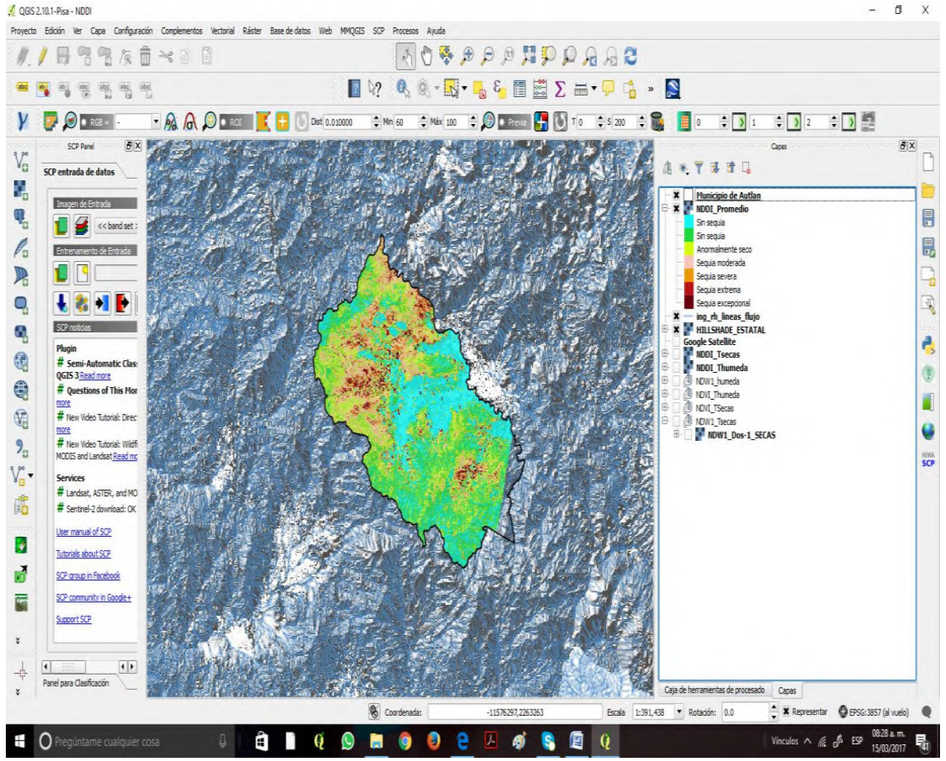
$$(4) \quad NDDI_humeda = \frac{(NDVI - NDW1)}{(NDVI + NDW1)}$$

Figura. Índice se Sequía Diferencial Normalizado (NDDI) $_{2016}$ del municipio de Autlán de Navarro, Jalisco para temporada húmeda.



Fuente: Elaboración propia.

Figura Índice se Sequía Diferencial Normalizado (NDDI) $_{2016}$ del municipio de Autlán de Navarro, Jalisco para ambos periodos.



Fuente: Elaboración propia.

Para obtener un NDDI que se considerara representativo para el año 2016, se realizó un proceso mediante el cual se reclasificaron los valores del NDDI de ambas imágenes con base en los valores de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, y posteriormente se promediaron utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{NDDI_{T_seca} + NDDI_{T_humeda}}{2}$$

5.11 Heladas

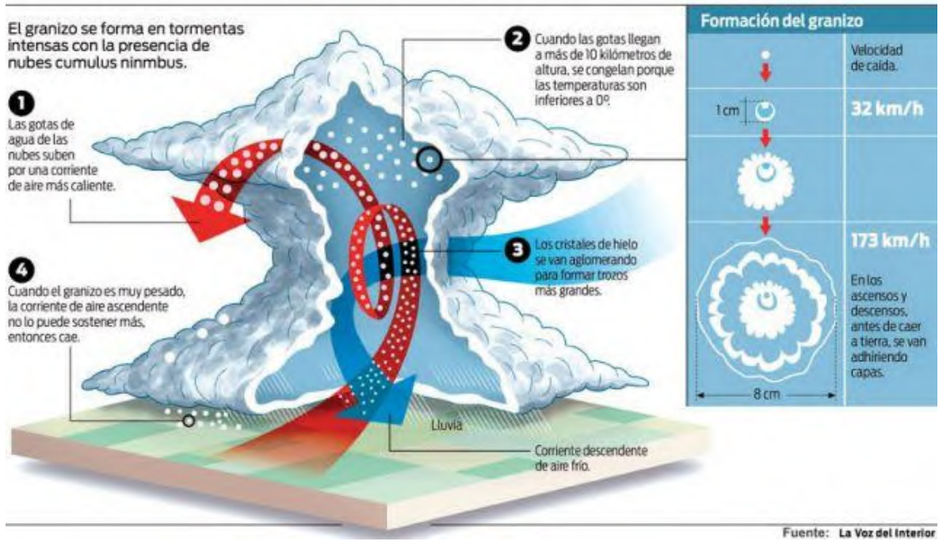
No aplica

5.12 Tormentas de Granizo

Nivel 1

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 *cumulonimbos* son arrastrados por corrientes ascendentes de aire.

Figura Formación de las tormentas de granizo



Fuente

http://www.diarionorte.com/article/148784/el-granizo

Las piedras de granizo se forman dentro de una nube cumulonimbos a alturas superiores al nivel de congelación y crecen por las colisiones sucesivas de las partículas de hielo con gotas de agua subenfriada, esto es, el agua que está a una temperatura menor que la de su punto de solidificación, pero que permanece en estado líquido y queda suspendida en la nube por la que viaja. Cuando las partículas de granizo se hacen demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire, caen hacia el suelo. El tamaño de las piedras de granizo está entre los 5 milímetros de diámetro hasta pedruscos del tamaño de una pelota de golf y las mayores pueden ser muy destructivas, como para romper ventanas y abollar 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.

El depósito del granizo sobre la superficie terrestre exhibe un patrón angosto y largo a manera de un corredor. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20 y 50, tanto en el hemisferio norte como en el sur (Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], 2010).

La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. En las zonas rurales, los granizos destruyen las siembras y plantíos; a veces causan la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones y áreas verdes. En ocasiones, el granizo se acumula en cantidad suficiente dentro del drenaje para obstruir el paso del agua y generar inundaciones durante algunas horas. (CENAPRED, 2001).

Nivel 1

Metodología

Cartografía general de granizadas históricas. Se realiza una encuesta entre la población para conocer viviendas afectadas por granizadas históricas e incluir polígonos de granizada; levantamiento general de infraestructura dañada; se registrará en un mapa con escala a detalle, esto se realizó mediante.

1) Taller para la identificación de zonas afectadas por tormentas de granizo históricas con la Unidad Municipal de Protección Civil, responsables de Obras Públicas, Agua Potable y Alcantarillado y quienes realizan el presente estudio.

2) Visitas de campo para la realización de encuestas en las que se recabó la siguiente información: ocurrencia de tormentas de granizo, en localidades y colonias del municipio

3) Búsqueda hemerográfica a través de internet de eventos de inundación ocurridos en el Municipio de Autlán de Navarro.

4) Consulta del inventario de peligros registrados en el Atlas de Riesgos del Estado de Jalisco, disponible en: http://sitel.jalisco.gob.mx/riesgos/

5) Consulta de la base de datos México-Inventario Histórico de Desastres disponible en la dirección web: https://online.desinventar.org/desinventar/#MEX-1250695136-mexico_inventario_historico_de_desastres

Resultados

1) A través de la realización del "*Taller de la primera etapa para elaboración del Atlas de Riesgos por fenómenos Naturales, Químicos, Sanitarios y Socio-organizativos del Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco*", en el que participó personal de la Unidad de Protección Civil y otras

instancias municipales como obras públicas y contraloría, se identificó a la localidad **la Yerbabuena**, como una zona de registro histórico de tormentas de granizo.

2) Con el fin de complementar los datos proporcionados en el taller, Se aplicó un cuestionario referente a la percepción local del riesgo, es decir, el imaginario colectivo que tiene la población acerca de las amenazas que existen en su comunidad y de su grado de exposición frente a las mismas, establecido en los Términos de referencia para elaborar Atlas de Peligros y/o Riesgos (CENAPRED 2006) (Figura 2). Del que se extrajo la información referente a los fenómenos hidrometeorológicos, particularmente de la percepción de granizadas.

Figura. Hoja 1. Cuestionario para evaluar la percepción local

Suma: 16.25 YB-PS-02
Grado: Baja
Valor: 0.75

SEDATU — SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO

Autlán

Encuesta sobre: Vulnerabilidad Social para la elaboración del Atlas de Riesgos por Fenómenos Naturales, Químicos, Sanitarios y Socio-organizativos del Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco.

Percepción Local

Fecha: 11/01/2017 Región: Sierra de Amula No. de encuesta
Entrevistador Guillermo Localidad Yerbabuena

Encuesta de percepción local por fenómenos: Hidrometeorológicos, Geológicos y Químicos, para los **habitantes** de localidades del municipio de Autlán de Navarro, Jalisco.

No.	Indicador/Pregunta	Rango a)	b)	c)	
1	¿Dentro de los peligros que existen (ver cuadro) cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?				
Geológicos:	Sismos; Maremotos; Volcanes; Flujos de lodo; Deslizamiento de suelo (deslaves); Hundimientos; Agrietamientos				1
Hidrometeorológicos:	Ciclones; Inundaciones pluviales; Inundaciones fluviales; Granizada; Nevadas; Heladas; Lluvias torrenciales; Trombas; Tormentas eléctricas; Vientos; Temperaturas extremas; Erosión; Sequías				
Químicos	Incendios forestales; Incendios urbanos; Explosiones; Fugas; Derrames de sustancias peligrosas; Fuentes móviles				
2	¿Respecto a los peligros mencionados en la pregunta no. 1, recuerda o sabe si ha habido emergencias asociadas a éstas amenazas en los últimos años?	Si	No	No sé	1
3	¿Considera que un fenómeno natural se puede convertir en desastre?	Si	No	No sé	0
4	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?	Si	No	No sé	1
5	¿Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de un desastre natural?	Si	No	No sé	1
6	En caso que recuerde algún desastre, ¿se presentaron daños en comunidad?	Ninguna fatalidad, daños leves a viviendas e infraestructura (bajo)	Personas fallecidas, algunas viviendas con daño total y daños a la infraestructura (medio)	Personas fallecidas, daño total en muchas viviendas y daños graves en infraestructura (alto)	0.2
7	¿Alguna vez ha quedado aislada su comunidad a causa de la interrupción de vías de comunicación por algunas horas, debido a algún tipo de fenómeno?	Si	No	No sé	1
8	¿Cree que en su comunidad se identifican los peligros?	Si	No	No sé	0

Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

De 23 colonias encuestadas, en la cabecera municipal, en 20 se señaló haber percibido la presencia de granizo durante el periodo de tiempo que el encuestado ha residido en el lugar: Buganvilias, Camichines, Castellón, Cerro Colorado, Colinas del Sur, Colonos Alameda, El Cerrito, El Tecolote, INFONAVIT La Noria, Obrera, La Quebradilla, Lomas del Aire, Los Arquitos, Marcelino García Barragán, Paulino Navarro, Centro, Las Peñitas, Sin Nombre 1, Sin Nombre 2 y Sin Nombre 3. Cabe mencionar que aunque se mencionó la presencia del fenómeno, no se hizo referencia que este hubiera ocasionado algún daño en dichas colonias.

En cuanto a las localidades encuestadas 22 de 25, Agua Hedionda, Ahuacapán, Ayutita, Bellavista (El Castillo), El Chacalito, El Chante, El Corcovado, El Jalocote, El Mentidero, El Rodeo, El Volantín, La Aldaba, La Lima de los Gómez ,La Noria, La Sidrita, Las Paredes, Mezquitán, Rincón de Luisa, San Francisco de Arriba, Tecomatlán, Tecopatlán y la Yerbabuena, al igual que en las colonias de la cabecera municipal, los entrevistados señalaron la ocurrencia del fenómeno, pero ninguno de los encuestados señalo tener conocimiento de que alguna tormenta de granizo hubiese ocasionado daños en su localidad.

3) Entre los datos de hemeroteca encontrados, se tiene el registro en el diario "Letra Fría", en publicación del 24 de marzo de 2015 que para el municipio de perdieron 100 hectáreas de maíz por granizadas y lluvias en el Grullo y Autlán: "*…Por las granizadas que se presentaron en los últimos días, también fueron golpeadas 20 hectáreas de maíz elote. A 80 hectáreas más les afectó el exceso de agua producida por las lluvias.*
Los daños en las siembras de maíz, representan el 4.3 por ciento del total de superficie sembrada, ya que son 2 mil 300 hectáreas de maíz en Autlán y El Grullo.
Los productores de sandía también fueron golpeados por el granizo, pues a ellos les afectaron 58 hectáreas. Otros cultivos que sufrieron daños fueron pimiento morrón y limón…". (http://letrafria.com/granizada-afecto-siembras-de-maiz-y-sandia-en-autlan-y-el-grullo/, consultado en abril, 2017).

Se encontró un registro más en el sitio electrónico de Radio Costa con fecha del 13 de marzo del 2017, donde se refiere lo siguiente:
"*…La tarde de este domingo en el municipio Autlán de Navarro se reportó una lluvia moderada acompañada de ráfagas de viento y donde en la población de Chiquihuitlán, además de la precipitación pluvial también se registró la caída de granizo durante varios minutos. Al respecto, el director de la Coordinación Municipal de Protección Civil y Bomberos de este municipio, Juan Ignacio Arroyo Verástegui, señaló que a pesar de la caída de granizo, ésta no provocó afectaciones en la comunidad de Chiquihuitán…*"
(http://www.radiocosta.com.mx/sin-afectaciones-en-chiquihuitlan-tras-caida-de-granizo/, consultado en abril, 2017).

4) Se consultó del inventario de peligros registrados en el Atlas de Riesgos del Estado de Jalisco, disponible en: http://sitel.jalisco.gob.mx/riesgos/, encontrando que para el municipio se cuenta con el histórico, en la localidad **Mezquitán**, donde se han registrado granizadas que afectaron la

agricultura de la zona y los techos de las casas y **Agua Hedionda**, ocasionando posibles daños, en cultivos y viviendas (Figura).

Figura Caída de granizo en la localidad de Chiquihuitlán, Autlán de Navarro, Jalisco.

Fuente: http://www.radiocosta.com.mx/sin-afectaciones-en-chiquihuitlan-tras-caida-de-granizo

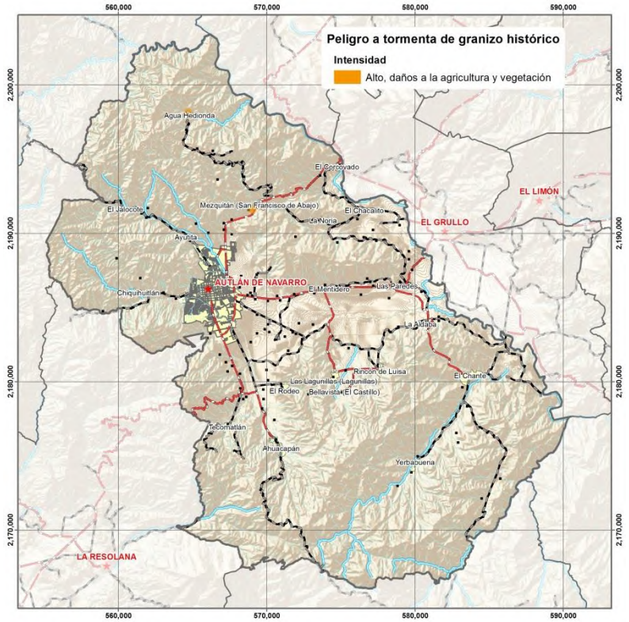


Figura. Peligro histórico a tormenta de granizo

Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas de Riesgos del Estado de Jalisco.

4) Se consultó también la base de datos México-Inventario Histórico de Desastres, no encontrando registros históricos sobre tormentas de granizo en la zona.

5.13 Tormentas de Nieve

No aplica

5.14 Ciclones tropicales. Ondas Tropicales

Los ciclones tropicales o huracanes están entre los fenómenos climáticos más destructivos. Su impacto se extiende sobre una amplia zona causando pérdida de vidas, lesiones y destrucción de infraestructura. Los huracanes son sistemas de baja presión sobre aguas abiertas en mares tropicales. La temporada 2016 en el Pacífico Nororiental se presentaron 18 ciclones del 1 de julio al 30 de octubre.

En el Océano Pacífico la estación de huracanas inicia a partir del 15 de mayo y termina el 30 de noviembre, aunque esto no significa que no ocurran eventos fuera de este período. Para el caso del municipio de Autlán de Navarro, alejado de la línea costera, los efectos provocados por un huracán

son de tipo indirecto tales como deslizamientos e inundaciones. Por ejemplo, el 6 de agosto del 2016 se reportaba que la tormenta tropical Earl causó 32 muertes en los municipios de Huauchinango y Tlaola, en la Sierra Norte de Puebla, gran parte de estas muertes ocurrieron debido a deslizamientos de laderas, en 4 hora de lluvia intensa ya había desbordado los cuatro ríos del pueblo, los cuales formaron una corriente que arrastró árboles, piedras, postes, autos, ganado, viviendas y carreteras. Lo mismo ocurrió en el 2013 en Guerrero y Veracruz.

Debido a lo anterior, uno de los objetivos del presente estudio es vincular el análisis geológico de los deslizamientos y el hidrológico de inundaciones con una las principales causas de estos eventos como son las precipitaciones extremas provocadas por huracanes.

5.15 Tornados

Pendiente

5.16 Tormentas Eléctricas

Tormentas Eléctricas

Introducción.

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 (cumulonimbos) y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos; pero en ocasiones puede ser nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo (OMM, 1974). Son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados.

El rayo es la descarga eléctrica que ocurre entre dos centros de carga de signo opuesto en el interior de la nube de una tormenta (en el caso de los rayos intranube) o entre las cargas opuestas de la nube y del suelo (los rayos nube a tierra).

En promedio, los destellos intranube representan casi el 75% de todos los rayos que ocurren a nivel mundial, aunque llegan a constituir el 99% de las descargas eléctricas que producen algunas tormentas. La mayor parte del 25% restante son destellos de rayos a tierra. Los rayos son responsables de muchos de los accidentes debidos a fenómenos atmosféricos, incendios forestales, retrasos e interrupciones de vuelos lo que implica graves pérdidas para las compañías aeronáuticas, muerte de ganado, interrupción de servicios de comunicación y energía eléctrica, así como de un gran porcentaje de accidentes catastróficos en almacenes de combustible.

Imagen. Tormenta eléctrica en Autlán de Navarro.

Fuente: Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos

Características

La electrificación de una nube puede ocurrir ya sea por convección o por precipitación.
Cuando se forma una nube de tormenta, la fricción producida en su interior por los cristales de hielo, el granizo blando y las gotitas líquidas producen intercambio de cargas negativas y positivas. Cuanto más vigorosas sean las corrientes ascendentes y descendentes (proceso convectivo) tanto mayor será la concentración de partículas en su seno, el número de colisiones que ocurren entre ellas y las cargas negativas y positivas que se acumulan.

Los cristales de hielo más ligero y de carga positiva son transportados por la corriente ascendente mientras que el granizo blando de carga negativa permanece suspendido o precipita. El resultado es que en la parte superior de la nube se concentran las cargas positivas y en la central e inferior las negativas. Pueden concentrase también cargas positivas en la porción inferior de la nube donde la temperatura es superior a los -10 °C.
Normalmente la carga eléctrica de la tierra es negativa. Cuando se forma una nube de tormenta, la región de carga negativa en la nube produce dos efectos simultáneos: atraer las cargas positivas a la superficie del suelo y repeler las negativas, de tal manera que la superficie del suelo bajo la nube de tormenta adquiere carga positiva.

Figura .Estructura eléctrica de una nube de tormenta

El aire no es buen conductor de electricidad, pero si la diferencia de potencial entre las cargas negativas de la nube y las positivas del suelo sigue aumentando, las cargas negativas de la nube empiezan a avanzar (trazador descendente) a una velocidad promedio de 150 km/seg hacia el suelo hasta que logran abrir un canal conductor buscando establecer contacto con un objeto o región de carga positiva. Las cargas eléctricas acumuladas entre la punta del trazador descendente y el suelo ionizan el aire encima de los objetos más altos, aumentando su capacidad conductora, entonces la carga negativa fluye del aire circundante a los objetos más altos los cuales, a su vez, posibilitan la formación de un trazador ascendente. Una vez que ambos trazadores hacen contacto, aproximadamente a 50 metros sobre la superficie de la tierra, se cierra el canal trazador y las cargas negativas empiezan a descender desde la nube a tierra hasta que son drenadas y las cargas positivas ascienden hacia la nube, formando lo que se llama descarga de retorno.

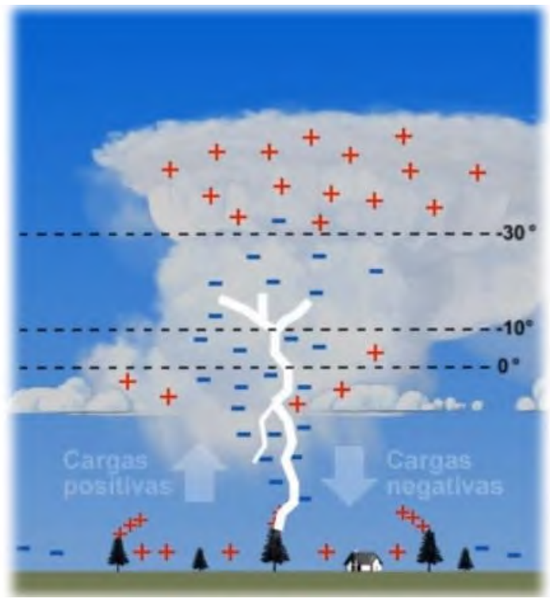


Figura. Descarga de retorno de una tormenta

Nivel 1

Metodología.

Cartografía general de Tormentas eléctricas históricas. Se realiza una encuesta entre la población para conocer viviendas afectadas por Tormentas eléctricas históricas se registrará en un mapa con escala a detalle, esto se realizó mediante:

1) Visitas de campo para la realización de encuestas en las que se recabó información si hubo presencia o ausencia del fenómeno de tormentas eléctricas.

2) Taller para la identificación de zonas afectadas por tormentas eléctricas históricas con la Unidad Municipal de Protección Civil.

3) Búsqueda hemerográfica a través de internet de eventos de tormentas eléctricas ocurridos en el Municipio de Autlán de Navarro.

4) Consulta del inventario de peligros registrados en el Atlas de Riesgos del Estado de Jalisco, disponible en: http://sitel.jalisco.gob.mx/riesgos/

Resultados

Cabecera Municipal y Localidades

1).-Se realizaron encuestas en 23 colonias y 25 localidades seleccionadas de Autlán de Navarro de las 23 colonias mencionadas, indicaron que si hay presencia de tormentas eléctricas en: C. Buganvilias, C. Camichines, C. Castellon, C. Cerro Colorado, C. Colinas del Sur, C. Colonos Alameda, C. Efraín González Luna, C. El Cerrito, C. El Tecolote, C. La Infonavit (La Noria), C. La Obrera, C. La Quebradilla, C. Las Parotitas, C. Lomas del Aire, C. Los Arquitos, C. Marcelino García Barragán, C. Paulino Navarro, C.Centro, C.Las Peñitas, Sin Nombre 1, Sin Nombre 2, Sin Nombre 3., mientras que solo la Colonia Guadalupe no identifico presencia de tormentas eléctricas.

Por otro lado de las 25 localidades encuestadas, las siguientes 23 localidades, indicaron que si hay presencia de tormentas eléctricas; Agua Hedionda, Ahuacapán, Ayutita, Bellavista (El Castillo), El Chacalito, El Chante, El Corcovado, El Jalocote, El Mentidero, El Rodeo, El Volantín, La Aldaba, La Lima de los Gómez , La Noria , La Sidrita, La Tuna, Las Lagunillas, Las Paredes, Mezquitán, Rincón de Luisa, Tecomatlán, Tecopatlán, Yerbabuena. Siendo solo dos localidades las que no identificaron presencia de tormentas eléctricas; el Limoncito y San Francisco de Arriba.

En la localidad del Rincón de Luisa, se mencionó que *"un rayo cayó cerca de la casa, en ocasiones pasadas se ha inundado y tapa los caminos"*

2).- Revisando la consulta del Taller de la primera etapa para elaboración del Atlas de Riesgos para la identificación de zonas afectadas por tormentas eléctricas históricas, no se indicó algún evento histórico, por parte de Protección Civil.

Registros de Prensa

3).- Los registros de prensa encontrados para la cabecera se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5-13. Eventos Registrados en la prensa

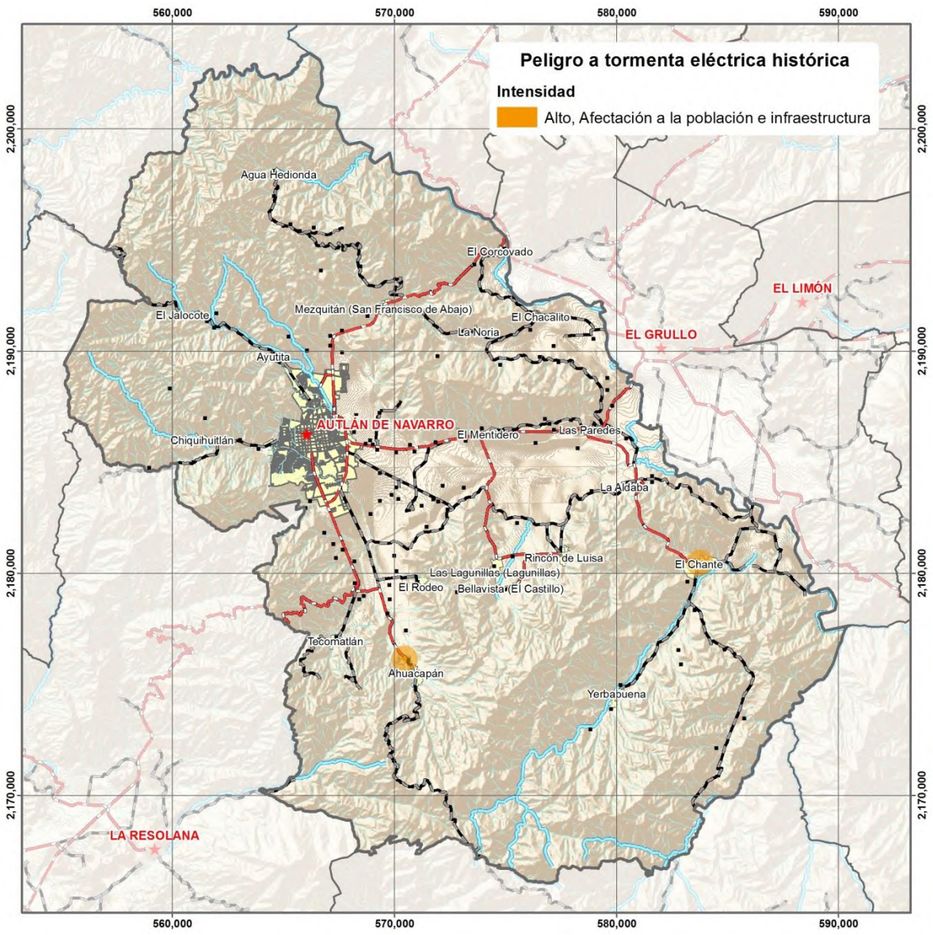
Colonia o lugar	Evento	Fecha	Daños a Infraestructura	Daños a bienes (muebles e inmuebles)
Colonia Camichines, calle Abeto	Tormenta Eléctrica	11-08-2015	Daños en una de las bardas de la finca. Árboles caídos sobre la Preparatoria Regional. En la carretera Autlán-El Grullo ante la caída de un poste de luz.	Daños a vivienda, láminas de asbesto.
La colonia Centro en la calle Allende	Tormenta Eléctrica	14-10-2016	Ocasionó la caída de varios árboles, el cierre momentáneo de calles así como una persona que resultó electrocutada	Los vientos fuertes fue el que más estragos ocasionó por fallas en el servicio eléctrico.

Fuente: Radio Costa

4).- Consulta del inventario de peligros registrados en el Atlas de Riesgos del Estado de Jalisco.

- Dato histórico: en la localidad Ahuacapán, en el municipio de Autlán de Navarro, en la temporada de lluvias se registran tormentas eléctricas en las cuales hay rayos que afectan a la comunidad.
- Dato histórico: en el municipio de Autlán de Navarro, en la localidad El Chante, durante el temporal de lluvias se registran fuertes tormentas eléctricas con el peligro latente de la caída de un rayo, como ya ha ocurrido y afectado a los pobladores.

Imagen 2. Zonas afectadas por eventos de tormentas eléctricas históricas en la Ciudad de Autlán de Navarro.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, IIEG y Catastro del Estado de Jalisco.

Bibliografía

Rosengaus Moshinsky, Michel, Jiménez Espinosa, Martín, Vázquez Conde, María Teresa. (2002) Atlas Climatológico de Ciclones Tropicales en México. México: CENAPRED.

http://www.radiocosta.com.mx/danos-en-autlan-tras-tormenta-y-fuertes-vientos/, consultado el 07 de abril 2017

OMM/UNESCO, 1974 Glosario Hidrologico Inernacional WMO/OM/BG no. 385 Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, Suiza

5.17 Tormentas de Polvo

Pendiente establecer la justificación técnica de la no ocurrencia del fenómeno.

5.18 Inundaciones

Introducción

La humanidad a través de su desarrollo histórico ha venido explotando y aprovechando los recursos que ofrece la naturaleza, sin embargo, este aprovechamiento ha sido en muchos casos irracional, a tal punto que los procesos de contaminación y desequilibrio ambiental ponen en riesgo no sólo los niveles de vida que se disfrutan o padecen en nuestras sociedades actuales, sino la viabilidad misma de la especie humana y las sociedades tal como las conocemos hoy en día.

Las inundaciones son el flujo o invasión de agua por exceso de escurrimiento superficial o por acumulación de agua en terrenos bajos provocados por insuficiencia de drenaje natural o artificial.

Una emergencia del tipo inundación puede ser provocada por lluvias de cierta magnitud las cuales, a su vez, pueden deberse a diferentes fenómenos hidrometeorológicos tales como ciclones tropicales, frentes fríos, tormentas invernales, lluvias monzónicas, etc. También las inundaciones pueden originarse en otro tipo de fenómenos tales como sismos que causen el rompimiento de una presa. Pero sea el origen que fuere, una emergencia hidrometeorológica rompe el equilibrio de seguridad de bienes materiales y vidas humanas existente en la sociedad antes del evento.

La magnitud de una inundación provocada por fenómenos hidrometeorológicos, depende de la intensidad de la lluvia, su distribución en el espacio y tiempo, tamaño y forma de las cuencas hidrológicas, así como de las características del suelo, vegetación, drenaje natural o artificial entre otros factores.

Imagen 3. Inundación en Autlán de Navarro.

Fuente: Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos, tomado de: http://www.radiocosta.com.mx/tormenta-provoco-danos-e-inundaciones-en-autlan/

La inundaciones afectan a la población en su salud y seguridad, en sus bienes muebles e inmuebles, en ocasiones alteran los cauces, dañan la infraestructura urbana, hidráulica, hidroagrícola, vías de comunicación, entre otros; ocasionando costos económicos, sociales y políticos al país.

Existen dos enfoques para establecer planes de desarrollo de infraestructura de protección contra inundaciones:

a) Política resistente

b) Política resilente

Los planes desarrollados bajo el enfoque de la política resistente consisten básicamente en el desarrollo de infraestructura para proteger los terrenos ganados a zonas inundables mediante bordos perimetrales o espigones, con la consecuente disminución de disponibilidad de áreas para que las inundaciones distribuyan toda la cantidad de agua que traen consigo. Otra desventaja de este enfoque es que el tiempo de drenado de las crecientes e inundaciones no es un parámetro relevante de diseño. Estos sistemas han demostrado ser efectivos en el control de crecientes tempranas de la temporada más fuerte de lluvias, pero en crecientes sucesivas y con sistemas llenos, muchas veces las alturas máximas de diseño son superados.

Por otra parte, los planes basados en una política resilente, toma en consideración el concepto de resilencia de los materiales, el cual significa la capacidad de los materiales para regresar a sus condiciones originales una vez que los efectos de la perturbación a la que fueron sometidos han cesado. En el manejo de crecientes e inundaciones, aplica a adaptar las obras a la red hídrica y a las planicies de inundación con el objetivo de preservar el funcionamiento natural de estos en lugar de modificarlos y lograr un drenado rápido de las crecientes permitiendo el manejo eficiente de crecientes sucesivas, en lugar de encajonar arroyos y planicies de inundación mediante bordos y muros cada vez más altos. La desventaja de este enfoque es que se debe contar con áreas grandes para el manejo de las crecientes por lo que se debe tomar en consideración el plan de ordenamiento del territorio.

Nivel de análisis 1

Metodología

Cartografía general de inundaciones históricas. Se realiza una encuesta entre la población para conocer viviendas afectadas por inundaciones históricas e incluir polígonos de inundación; levantamiento general de infraestructura dañada; se registrará en un mapa con escala a detalle, esto se realizó mediante:

5) Visitas de campo para la realización de encuestas en las que se recabó la siguiente información: ocurrencia, recurrencia, intensidad, daños a infraestructura, afectaciones a la salud, pérdidas de vidas humanas, duración, daños a bienes muebles e inmuebles, coordenadas, colonia, localidad, fecha del evento y número de personas afectadas.

6) Taller para la identificación de zonas afectadas por inundaciones históricas con la Unidad Municipal de Protección Civil, responsables de Obras Públicas, Agua Potable y Alcantarillado y quienes realizan el presente estudio.
7) Búsqueda hemerográfica a través de internet de eventos de inundación ocurridos en el Municipio de Autlán de Navarro.

8) Consulta del inventario de peligros registrados en el Atlas de Riesgos del Estado de Jalisco, disponible en: http://sitel.jalisco.gob.mx/riesgos/

9) Consulta de la base de datos *México-Inventario Histórico de Desastres* disponible en la dirección web: https://online.desinventar.org/desinventar/#MEX-1250695136-mexico_inventario_historico_de_desastres

Resultado del análisis

Cabecera Municipal

1) Se realizaron encuestas en las colonias: Bugambilias, Camichines, Cerro Colorado, Centro, Obrera, Los Arquitos y Marcelino García Barragán y 6 encuestas más en colonias de las cuales no se dio su nombre, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 5-14. Resultados de encuesta de percepción de peligro a la población.

Colonia	Evento	Fecha	Altura cm	Duración horas	Daños a Infraestructura	Daños a bienes (muebles e inmuebles
Bugambilias	No	-	-	-	-	-
Camichines	No	-	-	-	-	-
Cerro Colorado	No	-	-	-	-	-
Centro	No	-	-	-	-	-
Obrera	No	-	-	-	-	-
Los Arquitos	No	-	-	-	-	-
M.G.B	No	-	-	-	-	-
Sin nombre	No	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia con datos recabados en campo

2) Taller para la identificación de zonas afectadas por inundaciones históricas.

En el taller de percepción del peligro en el que participa la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos, se señalaron las zonas de peligro por inundaciones que aparecen en la imagen 2, en esta se observa que las zonas de inundación tienen dos fuentes, la primera son los arroyos El Cangrejo y Cuajinque, de trayectorias noroeste-sureste ambos. Dividiendo la zona urbana en cuadrantes, el primero impacta todo el primer cuadrante, (destaca entre estas zonas la colonia Cardenista, localizada al sur de la Avenida Lázaro Cárdenas y hasta la calle Clemente Orozco, la cual queda entre ramificaciones del arroyo el Cangrejo) mientras que el segundo impacta el tercer cuadrante de la zona urbana. En este tercer cuadrante, sobre la margen izquierda del Cuajinque se han registrado inundaciones en la calle Francisco Zarco, Benito Juárez, Santa Fe y Manuel Espinoza Monroy.

La segunda fuente son los escurrimientos generados por la lluvia que cae directamente en la zona urbana y la que escurre del Cerro La Capilla y el Cerro Gordo. Estos escurrimientos corren de norte a sur por calles y avenidas principales como Mariano Abasolo-Mariano Barcenas, Benito Juárez, Morelos y Corregidora. Existe también un registro histórico de inundaciones en la Calle Sor Juan Inés de La Cruz con origen en la misma fuente.

Otra fuente de inundaciones son los escurrimientos provenientes del Cerro Colorado, los que afectan a las colonias ubicadas en las faldas de esta formación geológica, tales como Cerro Colorado y Colinas del Sur. En las calles Monte Olivo, División del Sur, Salvador Novo, Peral, Amado Nervo y Naranjo de estas colonias se han registrado inundaciones.

En la zona de este tercer cuadrante los escurrimientos sobre calles y avenidas tienen dirección oeste-este para desembocar en el arroyo El Cuajinque.

Una zona que se diferencia de las anteriores debido a su trayectoria irregular es la que se inicia en la calle Felipe Uribe y Benito Juárez y se extiende en dirección oeste-este y luego noreste-sureste hasta la calle Santa Fe con drenaje en el Cuajinque.

Registros de Prensa

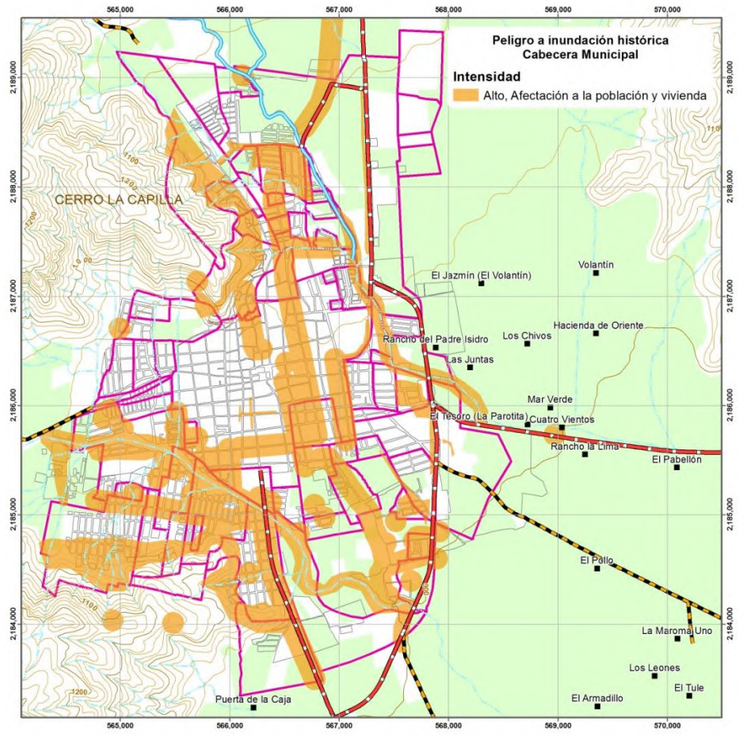
Los registros de prensa encontrados para la cabecera se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5-15. Eventos Registrados en la presa

Colonia o lugar	Evento	Fecha	Altura cm	Duración horas	Daños a Infraestructura	Daños a bienes (muebles e inmuebles
El Tecolote	Lluvia	18-06-2016	-	< 12	No	Se inundaron dos casas
Colinas del sur	Lluvia	18-06-2016	-	< 12	Taponamiento colector	Inundación de una vivienda
Camichines	Lluvia	18-06-2016	-	< 12	No	Daños a vehículo
Libramiento Luis Donaldo Colosio	Lluvia	14-10-2016	-	<12	Cierre de vialidad	Daños a dos vehículos
Centro	Lluvia	14-10-2016	-	<12	No	Inundación de negocio.
Cerro Colorado	Lluvia	14-10-2016	-	<12	No	Inundación de viviendas, menaje dañado y reubicación de personas

Fuente: Radio Costa y Milenio Diario

Imagen 4. Zonas afectadas por eventos de inundaciones históricas en la Ciudad de Autlán de la Grana.



Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario de Peligros de Protección Civil Estatal e IIEG, 2015.

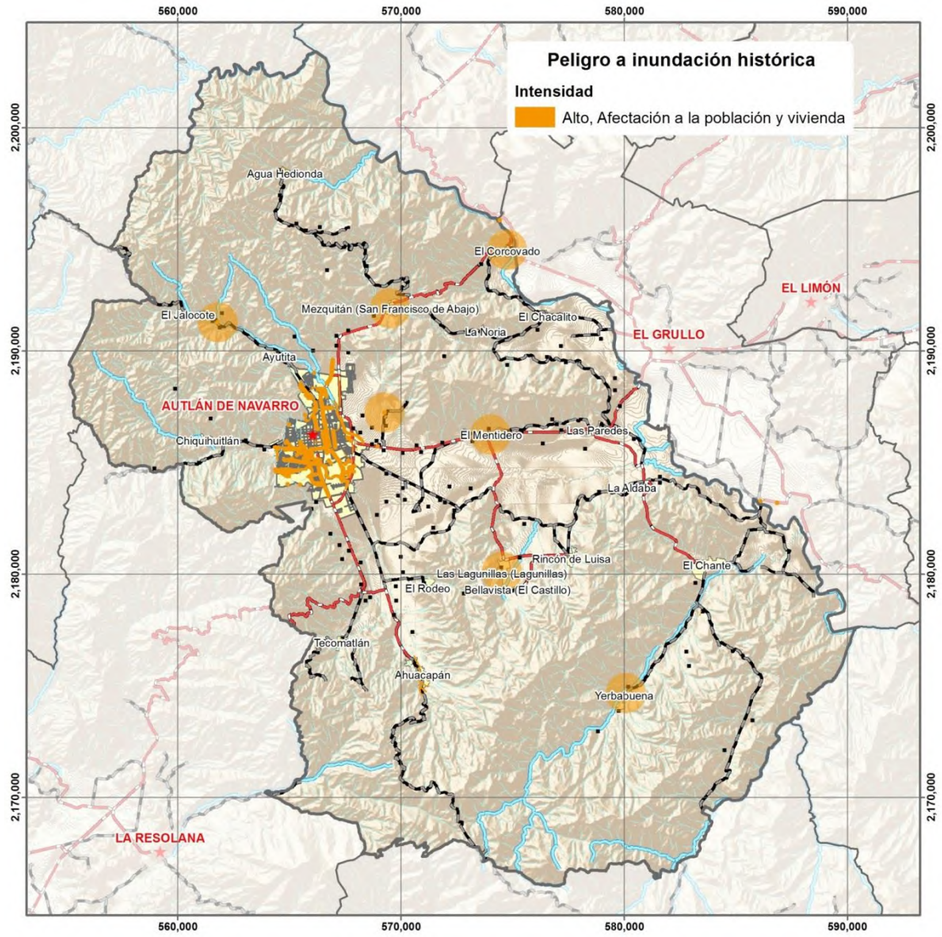


Imagen 5. . Creciente en el Cuajinque provocada por Huracán Jova.

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=rD35zBpPPrI

Localidades

Los resultados de las encuestas efectuadas en las localidades se muestra en la siguiente tabla:

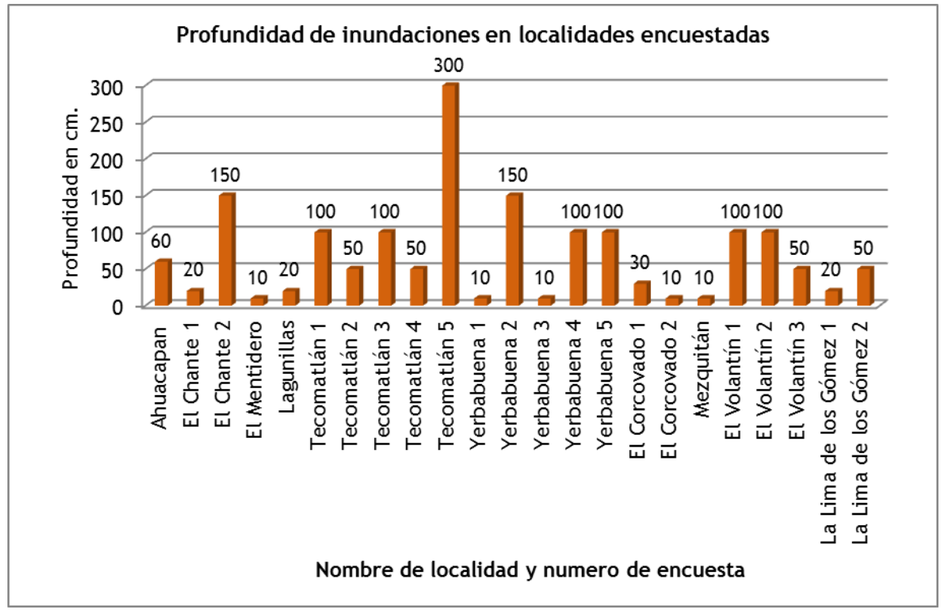
Tabla 5-16. Localidades encuestadas en las que se han presentado inundaciones

Localidad	No. encuesta	Evento	Fecha	Altura cm	Duración horas	Daños a Infraestructura	Daños a bienes (muebles e inmuebles
Agua Hedionda	1	No	-	-	-	-	-
Ahuacapán	1	Si	2011, 2015	-	48	No	No
	2	Si	-	60	10	No	Si
Bellavista	1	No	-	-	-	-	-
El Chante	1	Si	2002	20		-	Si
	2	Si	-	150	72	No	Si
El Limoncito	1	No	-	-	-	-	-
El Mentidero	1	Si	1999	10	3	No	Si
El Rodeo	1	No	-	-	-	-	-
La Aldaba	1	No					
La Sidrita	1	No	-	-	-	-	-
La Tuna	1	No	-	-	-	-	-
Lagunillas	1	Si	2011	-	-	-	-
	2	Si	2016	20	48	No	Si
Las Paredes	1	No	-	-	-	-	-
Rincón de Luisa	1	No					
Tecomatlán	1	Si	2015	100	192	Si	Si
	2	Si	2015	50	15	Si	Si
	3	Si	2015, 2011, 2002	100	5	Si	Si
	4	Si	2011, 2015	50	10	-	-
	5	Si	2002	300	48	Si	Si
Tecopatlán	1	No					
Yerbabuena	1	Si	2015	10	24	-	-
	2	Si	-	150	1	Si	Si
	3	Si	-	10	24	Si	Si
	4	Si	2011	100	6	Si	Si
	5	Si	1967	100	168	No	No
San Francisco de Arriba	1	No					
La Noria	1	No					
El Corcovado	1	Si	2012	30	8	No	Si
	2	Si	Anual	10	1	No	No
Mezquitán	1	Si	2016	10	1	No	No
	1	Si	-	-	-	Si	Si
El Chacalito	1	No					
El Volantín	1	Si	-	100	48	No	Si
	2	Si	2015	100	24	No	Si
	3	Si	-	50	96	No	Si
La Lima de los Gómez	1	Si	Anual	20	3	Si	Si
	2	Si	Anual	50	5	Si	Si

Fuente: Elaboración y datos propios a partir de encuestas realizadas

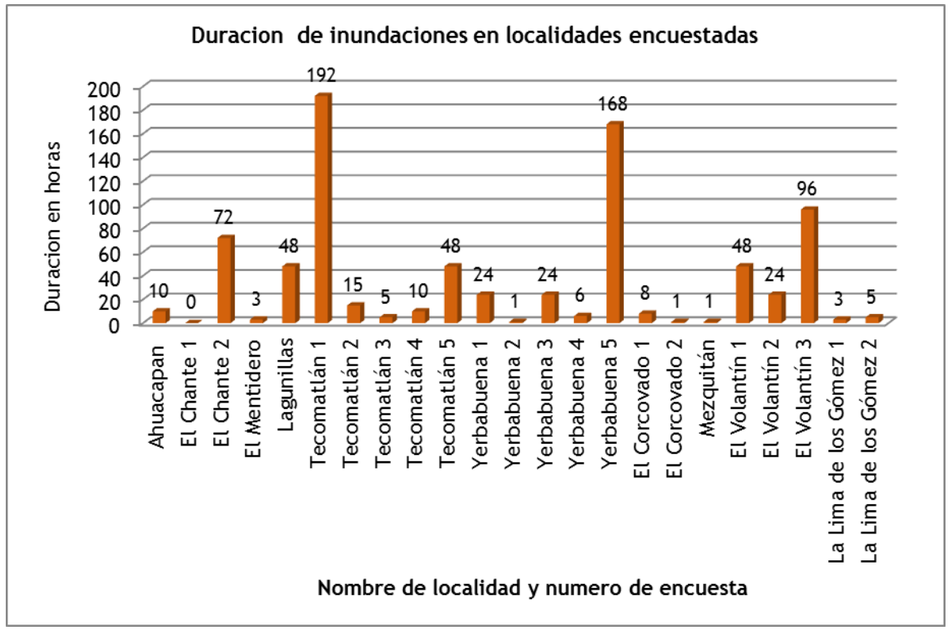
En la gráfica siguiente se muestran las profundidades de inundación alcanzadas y la duración en horas.

Gráfico 7. Profundidad de inundación en cm. para diferentes eventos



Fuente: Elaboración y datos propios a partir de encuestas realizadas

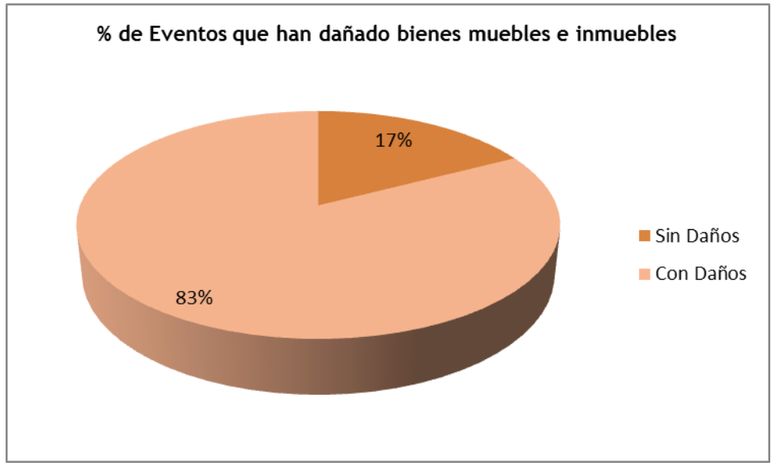
Gráfico 8. Duración de inundaciones en horas



Fuente: Elaboración y datos propios a partir de encuestas.

En cuanto a los daños causados a bienes muebles e inmuebles la estadística muestra que el 83 % de los eventos de inundación ocurridos los han provocado.

Gráfico 9. Porcentaje de eventos que han causado daños a bienes muebles e inmuebles



Fuente: Elaboración y datos propios generados en encuestas

Así mismo, se destaca que algunos de los eventos de mayor duración o recurrentes han provocado enfermedades respiratorias, de la piel y la generación de vectores transmisores de algunas otras como dengue.

Nivel de análisis 2

Metodología

Para el desarrollo del nivel de análisis 2, la metodología sugerida considera:

a) Modelos matemáticos en flujo permanente unidimensional

b) Empleo del método hidrológico del Servicio de Conservación de Suelos, SCS, por sus siglas en inglés, para la determinación de caudal e hidrograma de análisis.

c) Generación de mapas con datos de profundidad y velocidad de flujo para periodos de retorno de 2, 5, 20, 50 y 100 años.

Memoria de cálculo.

Como base para los cálculos se solicitó a CENAPRED las isoyetas a escala nacional para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años.

Tabla 5-17. Intensidad de precipitaciones para diferentes períodos de retorno

Tr	I mm/hr	Pmax 24h
2	30	70
5	40	95
10	50	110
20	60	125
50	70	140
100	75	155
200	80	170

Fuente: CENAPRED

Determinación de curvas de Intensidad-duración-periodo de retorno, (I-D-Tr)

Para determinar las curvas I-D-Tr se empleó la fórmula de Chen:

$$I_D^{Tr} = \frac{aP_1^{10}log(10^{2-F}Tr^{F-1})}{(D+b)^c}$$

Donde ***D*** es la duración en minutos *(5<D≤1440)*

Para aplicar la ecuación de Chen es necesario contar con las isoyetas para 10, 25, 50 y 100 años con duración de una hora, mismas que fueron proporcionadas por CENAPRED.

Los parámetros *a, b y c* en la fórmula de Chen se calculan por medio ecuaciones de regresión polinomial:

$a = -2.297536 + 100.0389R - 432.5438R^2 + 1256.228R^3 - 1028.902R^4$

$b = -9.845761 + 96.94864R - 341.4349R^2 + 757.9172R^3 - 598.7461R^4$

$c = -0.0649834 + 5.069294R - 16.08111R^2 + 29.09596R^3 - 20.06288R^4$

Las predicciones de lluvias máximas para los diferentes periodos de retorno con duración de 1 hora se relacionan con las lluvias máximas diarias multiplicándolas previamente por un factor constante de 1.13:

$$R = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}}$$

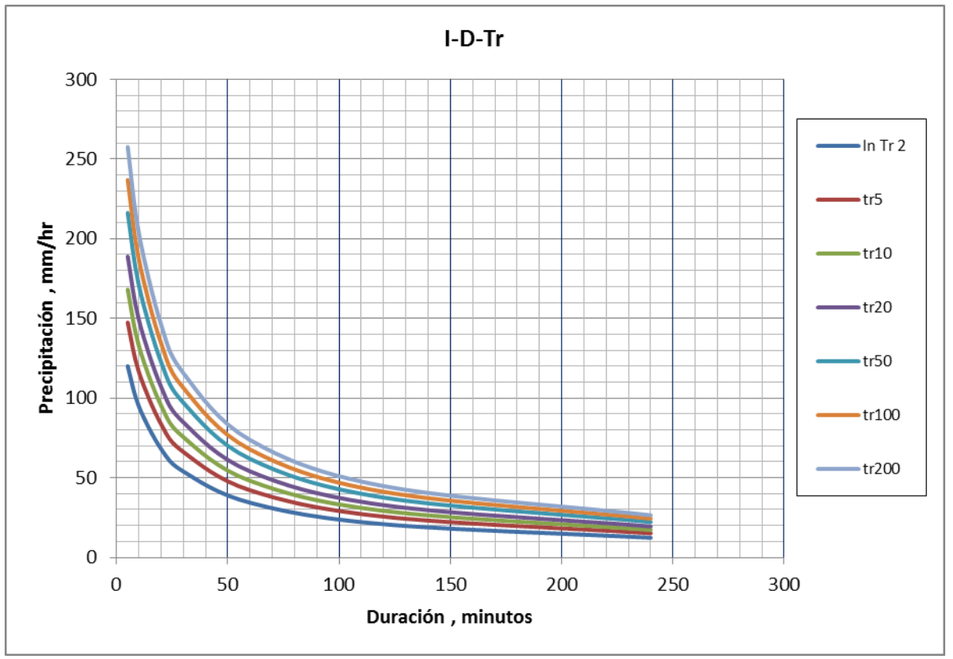
Los valores de *R* obtenidos se promedian para obtener el valor que se sustituirá en las ecuaciones para *a, b y c*.

A su vez el factor *F* es la relación entre las precipitaciones máximas diarias de 10 y 100 años de periodo de retorno:

$$F = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}}$$

Los resultados obtenidos con la ecuación propuesta para las curvas I-D-Tr para el municipio de Autlán de Navarro.

Gráfico 10. Curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno para Autlán de Navarro



Fuente: Elaboración propia con datos de CENAPRED

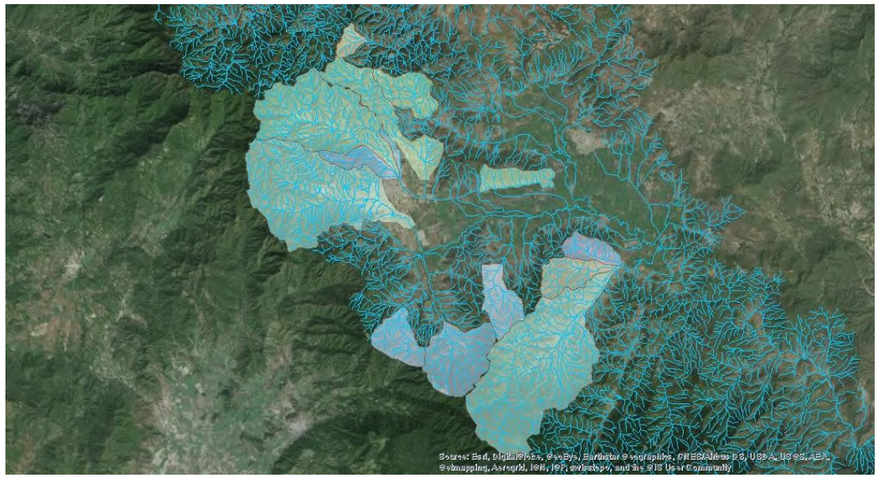
La lluvia total para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración de la cuenca y para el periodo de retorno de diseño se puede leer de la gráfica o bien obtener de las ecuación de Chen.

Determinación del área de cuenca para los diferentes causes.

Se empleo la Red Hidrográfica 1:50 000, versión 2.0 de INEGI, para delimitar las cuencas de los ríos y/o arroyos que han o pueden causar inundaciones en el municipio. El 96.15 % del territorio municipal pertenece a la subcuenca del Rio Ayuquila, con clave RH16Bc, esta subcuenca pertenece a la cuenca Rio Armería, el 2.99 % corresponde a la subcuenca Rio Purificación, con clave RH15Ac,. El resto, menos del 1 % del territorio municipal, se encuentra en la subcuenca Rio Chacala, con clave RH15Ab. Estas dos subcuencas pertenecen a la cuenca Rio Chacala-Purificación. Es de destacarse que el municipio marca los límites entre regiones hidrológicas: la región Costa de Jalisco y la Armería-Coahuayana.

Todos los escurrimientos y causes estudiados caen dentro de la subcuenca Rio Ayuquila, como se puede ver en la **Imagen 4**.

Imagen 6. Subcuencas consideradas en el Atlas de Riesgos.



Fuente: Elaboración propia

Parámetros fisiográficos de Subcuenca

La pendiente del cauce principal se calculó con la ecuación:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \cdots + \frac{l_3}{\sqrt{S_3}}}\right]^2$$

S = pendiente del cauce principal

L = longitud del cauce principal, metros

l_i = longitud del tramo i

S_i = pendiente del tramo i

El tiempo de concentración se calculó con la ecuación:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

El área drenada se determinó con software ArcGis, mientras que la altitud máxima, media y mínima se tomaron de las curvas de nivel de INEGI.

Tormenta de Diseño

Una vez obtenida la lluvia total para la cuenca y el área de ésta, es importante saber cómo se distribuye en el tiempo de duración de la tormenta. Para lo anterior se pueden emplear registros históricos de distribución de la precipitación durante una tormenta o bien construir una tormenta sintética mediante: 1) selección de la duración total e intervalos, 2) selección del periodo de retorno y obtención de las lluvias de diseño, 3) Ajuste por magnitud de cuenca y 4) Arreglo de los incrementos de lluvia.

El ajuste por magnitud de cuenca se efectúa con la expresión:

$$FRA = 1.0 - 0.3549 * D^{-0.42723}(1 - e^{-0.005794*A})$$

Donde:

D = duración de la tormenta, en horas.

A = área de la cuenca, en km^2.

Aplicando la ecuación anterior para la cuenca del Cuajinque se obtiene para una tormenta con Tr 2 años.

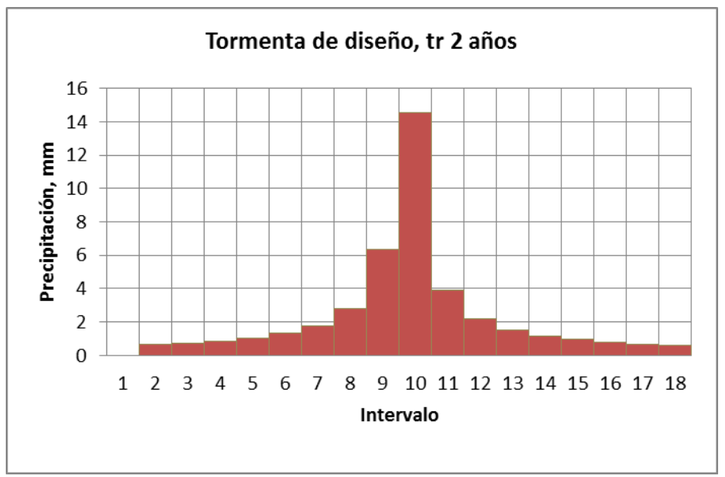
Tabla 5-18. Tormenta de diseño para tr 2 años, cuenca Cuajinque

Duración minutos	Precipitación mm/hr	Lluvia total	Incremento	Lluvia corregida	Lluvia distribuida
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.00	94.77	15.79	15.79	14.54	0.65
20.00	68.09	22.70	6.90	6.35	0.74
30.00	53.92	26.96	4.26	3.93	0.86
40.00	45.02	30.01	3.05	2.81	1.04
50.00	38.86	32.38	2.37	2.18	1.31
60.00	34.32	34.32	1.94	1.78	1.78
70.00	30.82	35.96	1.64	1.51	2.81
80.00	28.03	37.38	1.42	1.31	6.35
90.00	25.75	38.63	1.26	1.16	14.54
100.00	23.86	39.76	1.13	1.04	3.93
110.00	22.24	40.78	1.02	0.94	2.18
120.00	20.86	41.72	0.94	0.86	1.51
130.00	19.65	42.58	0.87	0.80	1.16
140.00	18.59	43.39	0.80	0.74	0.94
150.00	17.66	44.14	0.75	0.69	0.80
160.00	16.82	44.85	0.71	0.65	0.69
170.00	16.06	45.51	0.67	0.61	0.61

Fuente: Elaboración propia

Una gráfica de la distribución de la precipitación para la tormenta de diseño es la siguiente

Gráfico 11. Hietograma para tormenta de diseño, cuenca El Cuajinque



Fuente: Elaboración propia

Relación lluvia-escurrimiento.

Para la determinación de la precipitación efectiva se empleo la metodología del Servicio de Conservación de Suelos , SCS de EUA.

En este método la altura de la lluvia total ***P*** se relaciona con la altura de lluvia efectiva P_e mediante la expresión algebraica:

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08\right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Donde:

N = número de escurrimiento.

P = altura de precipitación, en cm.

Propiedad	Cuenca											
	Ahuacapán	Cuajinque	San Francisco	La Fundición	Yerbabuena	Jalocote	Cangrejo	Agua Hedionda	Lagunillas	Mentidero	La Lima de los Gómez	Tecomatlán
	Valor											
Elevación máxima, m	1971	1760	1760	2040	2180	2020	1560	2040	1940	1060	2040	1640
Elevación media, m	1449 m	1330	1350	1475	1140	1470	1240	1750	1420	970	1580	1280
Elevación mínima, m	928 m	900	940	910	1040	920	920	1460	900	880	1120	920
Longitud, m	6690 m	17913	4930	14369	15305	14614	8386	2920	1231	9595	7638	5684
Pendiente, %	15.50%	2.02	15.3	4.42	6.5	4.25	4.5	19.21	16.23	0.3	12.93	12.66
Tiempo de Concentración, minutos	32.32	167	28.2	104	94.12	107	68	17.25	34	217	42.17	34
Área drenada, km2	24.36 km2	67.56	12.12	22.84	58.48	47.43	7.51	3.59	12.37	8.7	31.52	11.76

El valor de ***N*** depende del tipo de suelo, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y la precipitación antecedente, entre otros factores.

Para tomar en cuenta las condiciones iniciales de humedad del suelo, se corrigen los valores de ***N*** en función de la precipitación acumulada cinco días antes de la fecha de la simulación. Si la precipitación acumulada es mayor a 2.5 cm pero menor a 5 cm, no se hace ninguna corrección. Esta situación es la que se supone en el presente estudio, es decir, que el suelo contiene un cierto nivel de humedad debido a tormentas ocurridas cinco días antes, por lo que no se hace ninguna corrección por humedad al valor de ***N***.

Los factores de cobertura vegetal, pendiente y tipo de suelo se determinaron partiendo de la capa de Uso de Suelo y Vegetación serie V de INEGI, las pendientes del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (DEM 3.0), la edafología se extrajo del Conjunto de Datos Vectorial Edafológico escala 1:250,000, serie II (Continuo Nacional).

La clasificación de suelos en tipos A, B, C y D según su textura por el contenido de arcilla, limo, arenas y horizontes de roca sana, se reclasificaron a tipos 1, 2, 3 y 4.

El mapa de pendientes obtenido del DEM 3.0 se reclasificó en terrenos con pendiente menor a 1 y terrenos con pendiente mayor a 1.

Se unieron las capas edafológica a la que se añadió un nuevo campo de tipos de suelo 1, 2, 3 y 4, con el de pendientes menores a 1 y mayores a 1, previamente convertido el formato raster a polígonos y la capa de usos de suelo y vegetación en un solo shape. Posteriormente, empleando la selección por atributos de ArcGIS 10, se asignó el número de escurrimiento correspondiente. Estos polígonos se convierten a raster empleando como valor de pixel el número de escurrimiento. El resultado se muestra en la **Imagen 6.**

Finalmente, cada cuenca en estudio se extrae de este raster general y se convierte a polígono para calcular el área que ocupan los suelos según su número de escurrimiento y obtener N promedio con la ecuación:

$$\bar{N} = \frac{N_1 \cdot A_1 + N_2 \cdot A_2 + N_3 \cdot A_3 + .. + N_n \cdot A_n}{A_c}$$

Donde:

N_n = número de escurrimiento del suelo n

A_n = área del suelo n con numero de escurrimiento N

A_c = área de la cuenca.

El resultado para la cuenca del Arroyo El Cuajinque se muestra en la **Imagen 7.** Una vez determinado el número de escurrimiento promedio (ver **Tabla 6**) se utiliza en el modelo hidrológico del SCS. Para la cuenca del Arroyo Cuajinque se obtuvo **N** = 54.80

Tabla 5-19. Muestra de cálculo del número de escurrimiento para la cuenca del Cuajinque, extracto.

FID	ID	GRIDCODE	Área	Área %	Ni
0	1	68	1.00	0.0001	0.0101
1	2	26	4.42	0.0007	0.0170
2	3	68	1.00	0.0001	0.0101
3	4	26	6.00	0.0009	0.0231
4	5	26	1.00	0.0001	0.0039
5	6	68	36.40	0.0054	0.3666
6	7	68	1.00	0.0001	0.0101
7	8	68	14.31	0.0021	0.1441
8	9	79	8.06	0.0012	0.0943
9	10	68	1.00	0.0001	0.0101
10	11	46	2.19	0.0003	0.0149
11	12	46	39.22	0.0058	0.2672
12	13	46	16.50	0.0024	0.1124
13	14	46	0.68	0.0001	0.0046

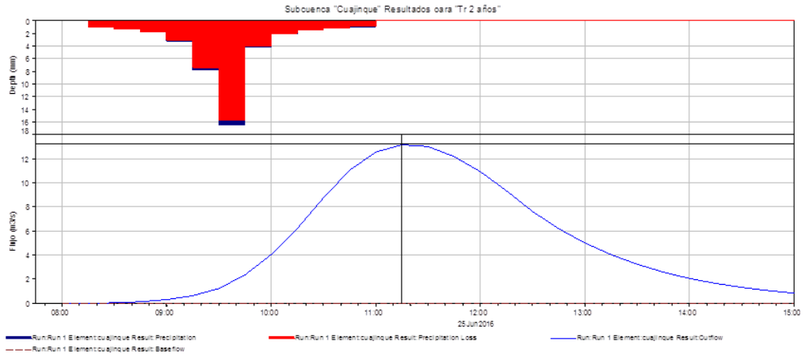
Fuente: Elaboración propia.

Determinación de caudales máximos para periodos de retorno, 2, 5, 20, 50 y 100 años.

Una vez definidas el área de las cuencas, las precipitaciones y las tormentas de diseño para cada periodo de retorno, así como el número de escurrimiento, es posible determinar los caudales máximos y los hidrogramas para cada cuenca y periodo de retorno.

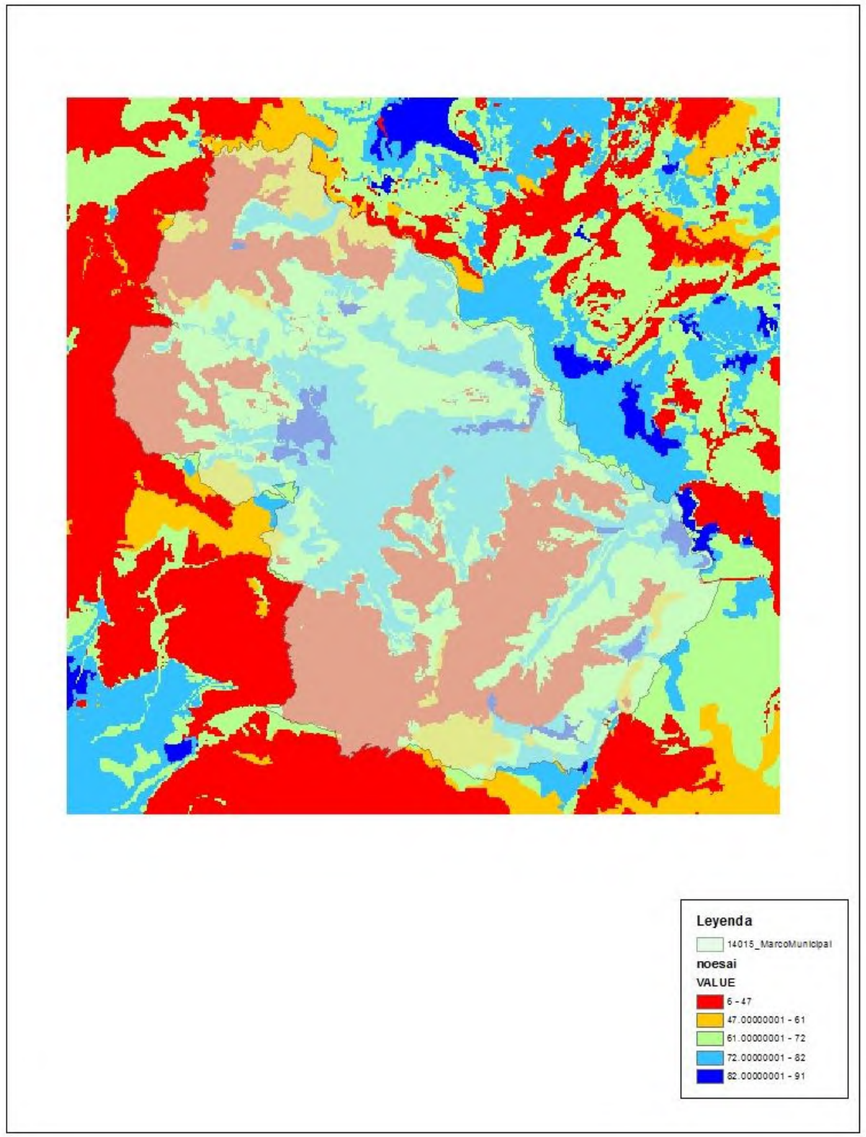
Para lo anterior se empleó el software HEC-HMS versión 4.2. Un hidrograma resultante para el Arroyo el Cuajinque se muestra en la **Imagen 5**

Imagen 7. Hidrograma para Tr 2 años Arroyo Cuajinque.



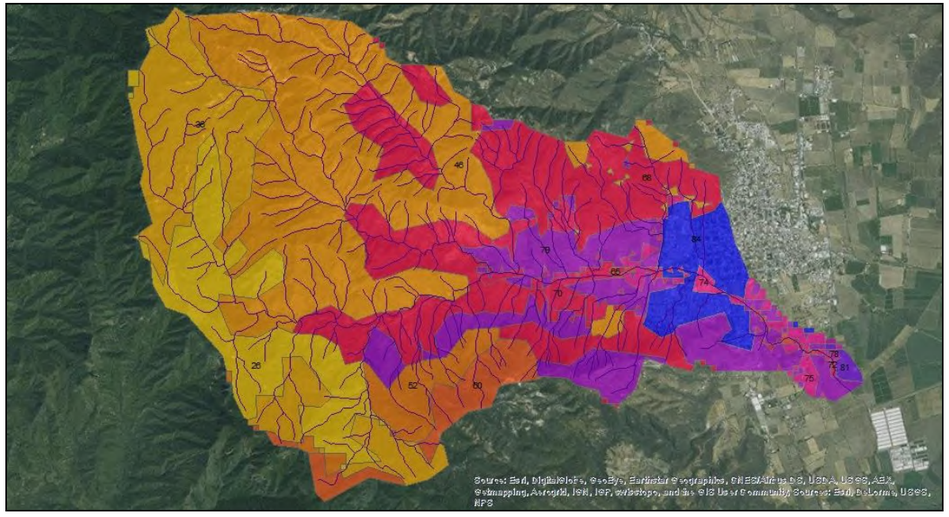
Fuente: Elaboración propia

Imagen 8. Números de escurrimiento en el área de influencia del municipio de Autlán de Navarro



Fuente: Elaboración propia

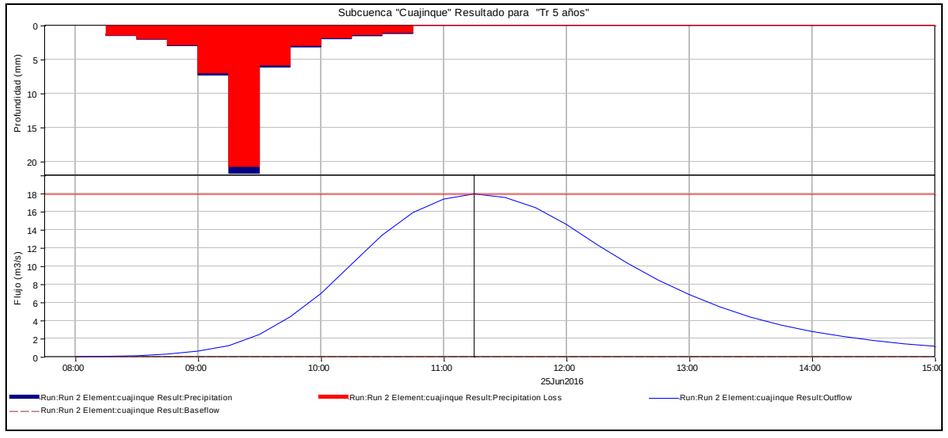
Imagen 9. Números de escurrimiento para la cuenca del Cuajinque



Fuente: Elaboración propia.

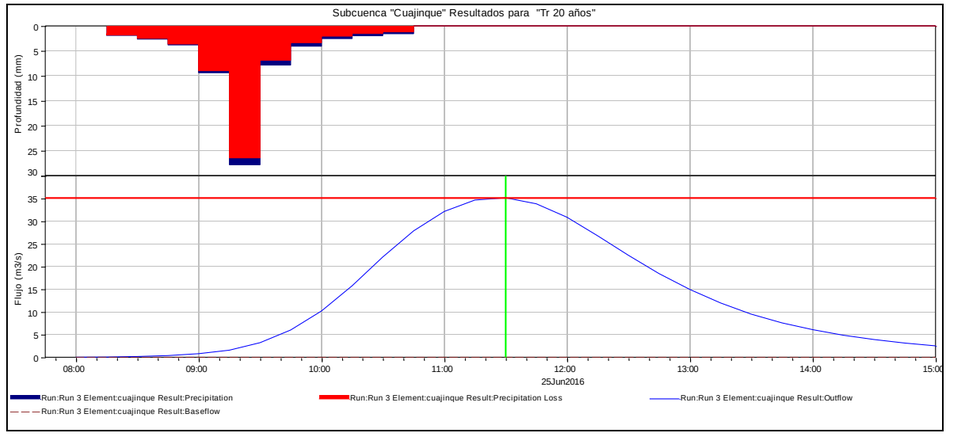
Para el periodo de retorno de 5, 20, 50 y 100 años se obtuvieron para la cuenca del arroyo El Cuajinque los hidrogramas siguientes:

Imagen 10. Hidrograma Tr 5 años



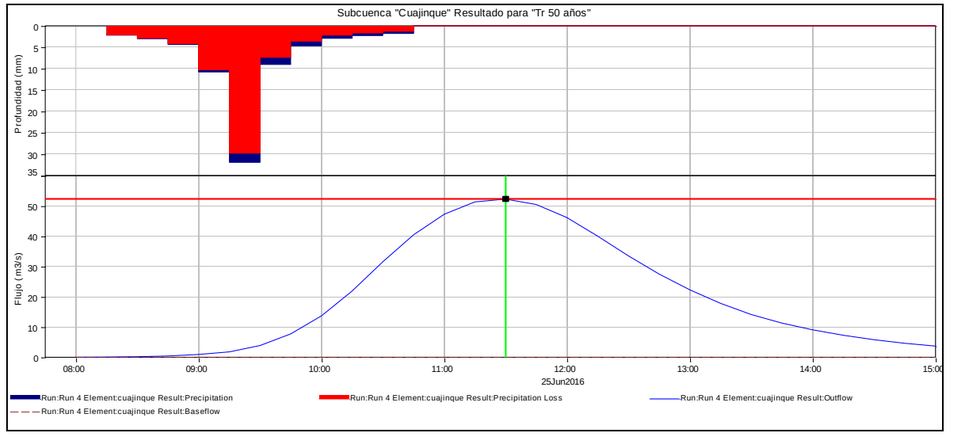
Fuente: Elaboración propia con software HEC-HMS

Imagen 11. Hidrograma para Tr 20 años



Fuente: Elaboración propia con software HEC-HMS

Imagen 12. Hidrograma para Tr 50 años



Fuente: Elaboración propia con software HEC-HMS

Modelo matemático para flujo permanente unidimensional

El modelo matemático para flujo permanente o de estado estacionario empleado por el software HEC-RAS 5.0.3 es capaz de calcular perfiles de superficie de agua para flujos supercríticos, subcríticos y en régimen mezclado. Se considera unidimensional si las características del flujo (velocidad, presión o tirante) varían como función de una coordenada curvilínea, en el espacio. Lo anterior permite expresar las características del flujo en una sección transversal en términos de valores promedio.

El método para resolver los perfiles superficiales de agua de una sección transversal a la siguiente es empleando la ecuación de Energía por medio de un procedimiento iterativo llamado método de paso estándar. La ecuación de Energía se escribe como sigue:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

Z1, Z2 = Elevación del canal principal invertido.

Y1, Y2 = Profundidad del agua en la sección transversal

a1, a2 = Coeficientes ponderados de velocidad.

g = Aceleración gravitacional

hs =Pérdida de energía.

Las pérdidas de energía entre secciones se deben a la fricción y a la compresión y expansión del flujo y se calcula con la ecuación:

$$h_e = L\bar{S}_f + C\left[\frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g}\right]$$

$\bar{S}_f$ = Pendiente de fricción representativa entre secciones

C = coeficiente de pérdidas de compresión o expansión.

L = Longitud de alcance ponderada a distancia.

El procedimiento computacional es el siguiente:

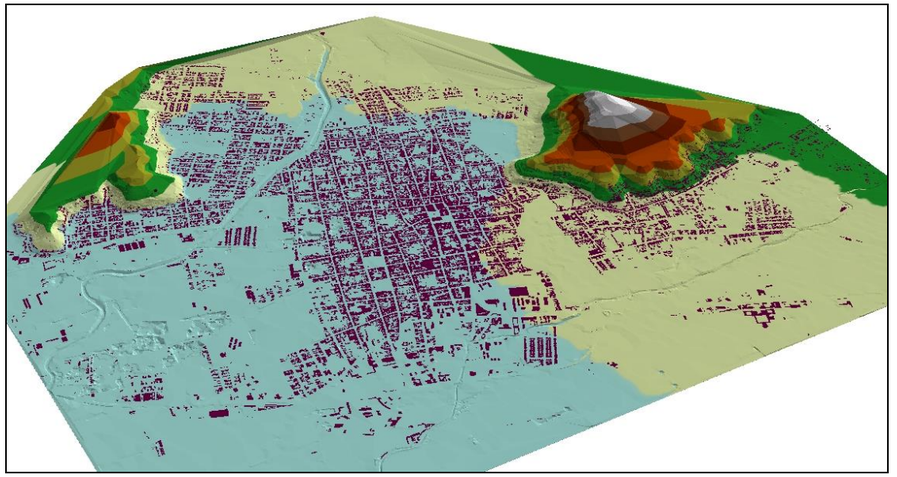
1) Se asume una elevación de la superficie de agua en una sección aguas arriba (o aguas abajo si se elige realizar el cálculo en régimen supercrítico)
2) Basados en la elevación de la superficie de agua asumida, se calcula el transporte total y la velocidad.
3) Con los resultados del paso 2 se calcula $\bar{S}_f$ y se resuelve la ecuación para he.
4) Con los valores de los pasos 2 y 3 se resuelve la primera ecuación para WS2
5) Se compara el valor obtenido en el paso 4 con el supuesto en 1, y se repite el procedimiento desde 1 hasta 5, hasta obtener valores con 0.003 metros de diferencia o la tolerancia que defina el usuario.

Este modelo matemático solo se empleo para los arroyos Cuajinque y Cangrejo-Jalocote, púes para estos arroyos se contó con levantamiento topográfico a detalle de las secciones.

Como resultado de la modelación en estado no estacionario, se determinó que el número de Froude para este arroyo es menor a 1, por lo que el régimen es subcrítico.

Para la elaboración de la geometría del modelo se genero una red de triángulos irregulares, (TIN por su siglas en ingles) a partir de las curvas del nivel a un metro de la cabecera municipal. Como se muestra en la Imagen 11.

Imagen 13. Superficie de Triángulos irregulares

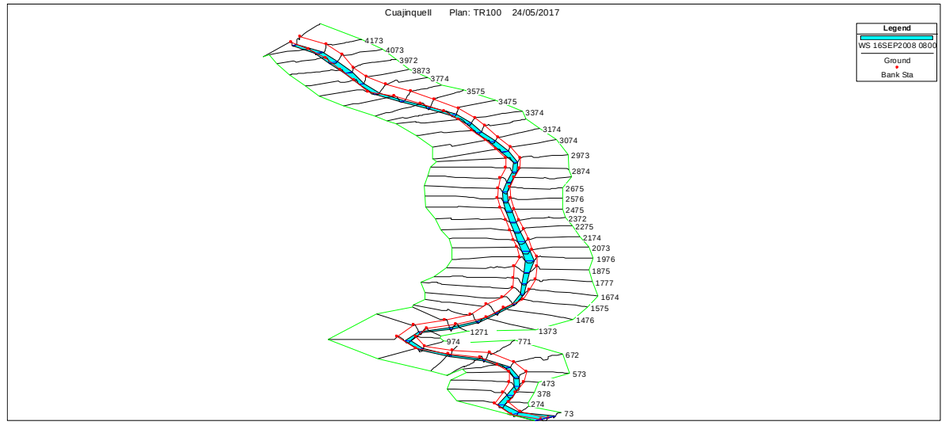


Fuente: Elaboración propia

Sobre la base de la superficie generada y con ayuda del software HEC-GeoRas, se genera la geometría de las secciones que se utilizan para aplicar el modelo de estado estacionario. La geometría generada considero para el caso del Arroyo El Cuajinque una separación de 100 metros entre secciones y longitud total del cauce de 4373 metros. En el caso del Arroyo El Cangrejo-Jalocote, la separación entre secciones fue de 150 metros y longitud total del cauce de 3505. 6 metros.

Una vez generada la geometría de las secciones con sus atributos se exporta a HEC-RAS para aplicar el modelo matemático, en este caso de estado estacionario. La geometría generada para el caso del Cuajinque se muestra en la Imagen 12

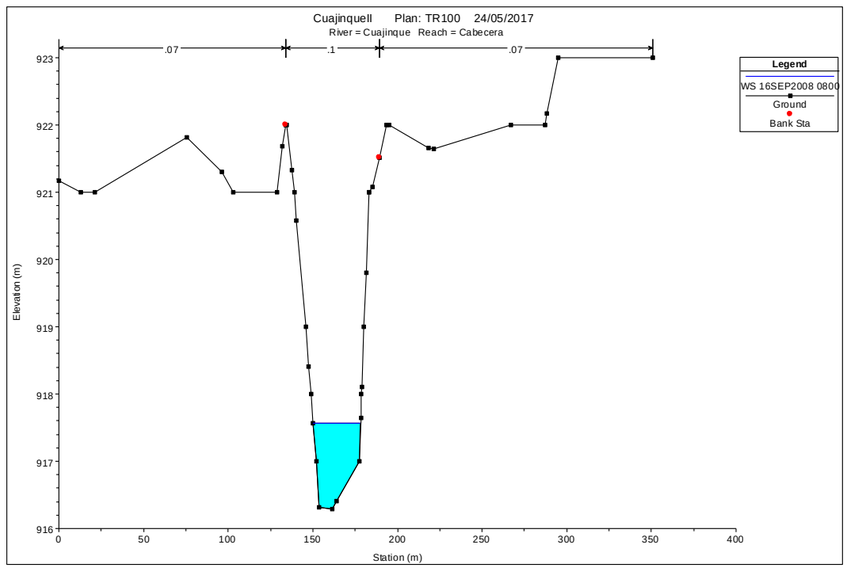
Imagen 14. Modelo geométrico para el estudio de crecientes en Arroyo El Cuajinque



Fuente: Elaboración propia

La sección 4073 se muestra a detalle en la **Imagen 13**.

Imagen 15. Detalle de una sección del Arroyo Cuajinque a la altura de Autlán de la Grana



Fuente: Elaboración propia

Resultados

Caudales Pico en cauces que inciden sobre localidades rurales

Los resultados obtenidos de caudales máximos para los diferentes periodos de retorno y cuencas rurales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5-20

Cuencas Rurales											
Tr años	Ahuacapan	San Francisco 1	San Francisco2	La Fundición	Yerbabuena	Tecomatlán	Agua Hedionda	Lagunillas	Mentidero	La Lima de los Gómez, Los Parajes	La Lima de los Gómez Los Chiles
Caudales máximos, m^3/s											
2	0	0.6	3.6	1.3	0	0	0.1	0	3.6	0	1.1
5	0	4.8	6	5.5	0.4	0	2.1	0	6.6	0	3.7
20	0	17.4	12.3	16.8	11.3	0	6.5	0.1	12.2	0	9.6
50	0	29.2	18.1	22.83	25.4	0	11.2	1.7	16.5	0	14.8
100	1.3	39.3	22.9	35.7	40.3	0	15.4	3	20.1	1.4	19.5

Los parámetros de simulación y los modelos de HEC-RAS, se incluyen en los anexos.
Para aclarar las columnas Mezquitán 1 y 2, por un lado y La Lima de los Gómez-Los Parajes y La Lima de los Gómez-Los Chiles por otro, se muestran los esquemas de ambos proyectos en las **imágenes 11 y 12**.

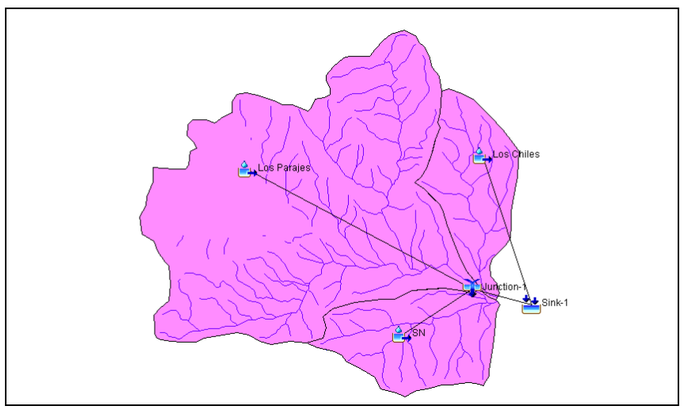
Imagen 16. Cuencas en la localidad San Francisco de Abajo.

Fuente: Elaboración propia

En la **imagen 11** se puede apreciar que la simulación se dividió en dos cuencas: Mezquitán 1 y Mezquitán 2, ésta inicia en los cerros ubicados al noroeste de la localidad y los escurrimientos bordean la carretera federal 80, para incidir por las calles y patios de algunos hogares de San Francisco de Abajo, como se muestra en las fotografías.

En el caso de la localidad la Lima de los Gómez, como se puede apreciar en la **imagen 12** son dos arroyos principales: Los Parajes y Los Chiles, sin embargo es el Arroyo Los Chiles el que presenta el mayor peligro por los caudales pico que puede desarrollar.

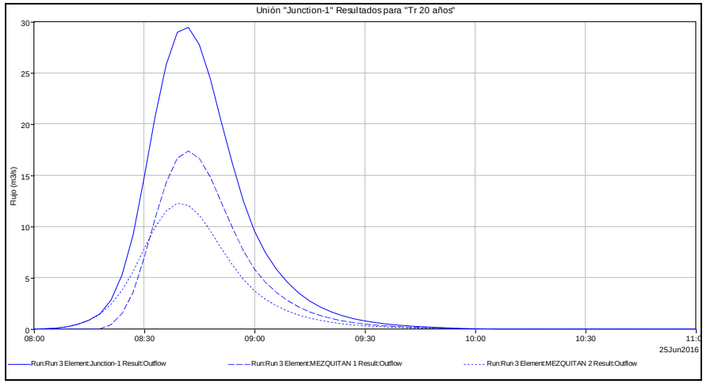
Imagen 17. Cuenca de la Lima de Los Gómez



Fuente: Elaboración propia.

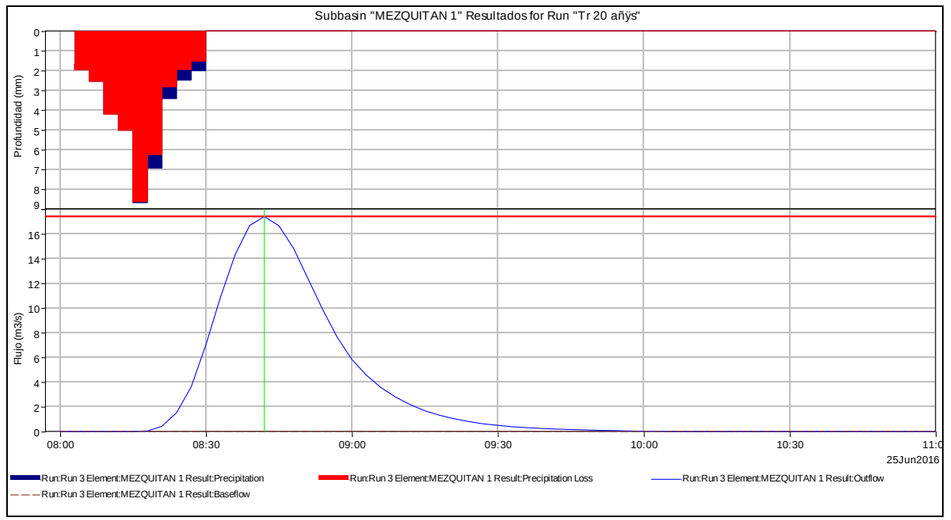
Para la localidad de San Francisco de Abajo se presentan los hidrogramas para tr 20 años, a modo de ejemplo.

Imagen 18. Hidrograma para la unión de cuencas Mezquitán 1 y Mezquitán 2



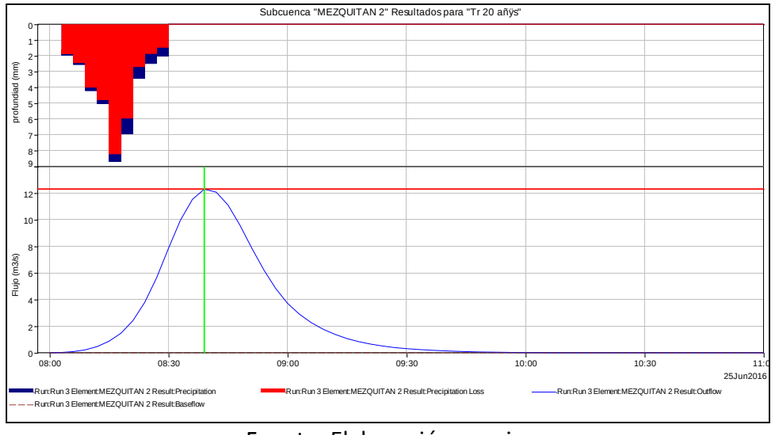
Fuente: Elaboración propia

Imagen 19. Hidrograma para tr 20 años cuenca Mezquitán 1



Fuente: Elaboración propia

Imagen 20. Hidrograma para cuenca Mezquitán 2, tr 20 años



Fuente: Elaboración propia.

Se debe hacer mención de algunos aspectos importantes detectados durante los recorridos de campo. Habitantes de la localidad de Agua Hedionda atestiguan que el cuerpo de agua conocido como "Presa La Joya" ubicado aguas arriba de la localidad reventó con la precipitación del Huracán Patricia. Este cuerpo de

agua, que se utiliza básicamente para ganadería, es un bordo que carece de obra de control, y puede llegar a almacenar de 5000 a 7000 m^3. Un derrame de este baso incrementa los escurrimientos en los arroyos que inciden sobre la localidad Agua Hedionda e intensifica el peligro y el riesgo de un evento de precipitación intensa.

La **imagen 19** muestra la localización de este cuerpo de agua.

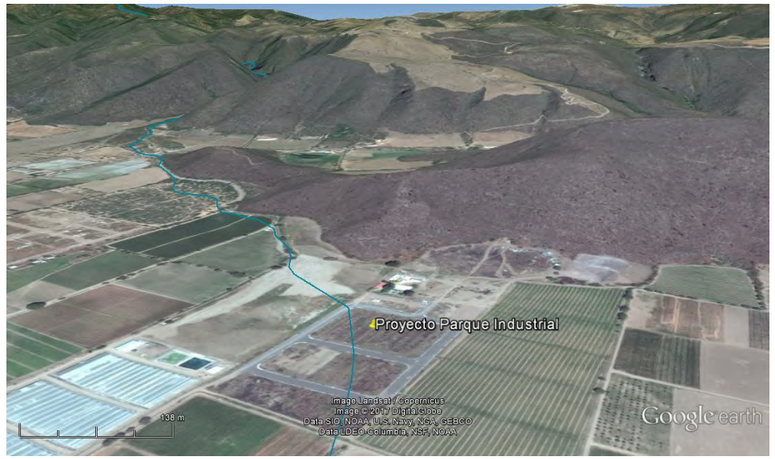
Imagen 21. Localización del cuerpo de agua La Joya con respecto a la localidad Agua Hedionda

Fuente: Elaboración propia con imagen de Google earth

Arroyo La Fundición.

Este arroyo tiene una longitud de 14369 metros y drena 22.84 km^2, cruza la carretera federal 80 y desemboca en el arroyo El Cangrejo. Aguas arriba de su desembocadura el cauce del arroyo ha sido bloqueado y desviado de su curso natural. Aparentemente el motivo de esta intervención fue evitar inundaciones en un proyecto de parque industrial inconcluso, para lo cual se construyo una barda a lo largo de la parcela que colinda con dicho desarrollo, convirtiéndola en una planicie de inundación. Sin embargo, no sólo se ve afectada esta parcela, sino que también han sido afectadas otras parcelas del Ejido San Francisco en las cuales, los campesinos titulares de las mismas se ven obligados a realizar periódicamente obras de desazolve para evitar inundaciones. En las imágenes se muestran la trayectoria natural del Arroyo La Fundición, la ubicación del proyecto de parque industrial, las parcelas afectadas y las obras de desazolve realizadas por campesinos afectados, quienes según su propio testimonio han realizado gestiones ante las autoridades municipales y de CONAGUA sin que a la fecha hayan tenido una respuesta a sus solicitudes.

Imagen 22. Trayectoria del Arroyo La Fundición sobre proyecto de parque industrial



Fuente: Elaboración propia con imagen de Google earth

Imagen 23. Obras de desazolve de Arroyo La Fundición.

Fuente:

En la Localidad San Francisco de Abajo se detectaron diferentes problemas relacionadas con el tema de escurrimientos pluviales:
Como se ha mencionado, parte importante de los escurrimientos se desplazan a partir de la carretera federal 80 por el canal ubicado a lo largo de Calle Progreso (**imagen 20)**, para continuar después a través de calles y patios traseros de casas habitación, de la localidad de San Francisco de Abajo, **imagen 21,** lo cual es muy riesgoso por los daños estructurales que puede provocar a las viviendas y principalmente a la integridad física de los habitantes de la comunidad.

Imagen 24. Canal a lo largo de la calle Progreso

Fuente:

Otra problemática detectada es el bloqueo del Arroyo San Francisco para la construcción de vados de tránsito vehicular. Se trata de dos vados, provocando en tormentas intensas que el arroyo desborde e inunde viviendas de la calle Francisco Madero.

El siguiente vado que bloquea el arroyo es más riesgoso puesto que incluso se construyo un espacio recreativo para niños sobre el lecho del arroyo. Una tormenta intensa en las partes altas de la cuenca puede provocar inundaciones repentinas y sorprender bien vehículos en tránsito sobre los vados, bien personas o niños jugando en ese espacio.

Imagen 25. Salida de arroyo de un patio trasero en vivienda de San Francisco de Abajo

Fuente:

.

Imagen 26. Bloqueo de cause del Arroyo San Francisco

Fuente:

Imagen 27. Espacio recreativo construido sobre lecho del arroyo

Fuente:

Imagen 28. Crecida del Arroyo San Francisco durante el Huracán Jova

Fuente: Google earth

Caudales pico en cauces que inciden sobre la Cabecera Municipal y El Chante

Los caudales máximos obtenidos para los cauces que inciden sobre la zona urbana de Autlán de la Grana y El Chante son:

Tabla 5-21. Caudales máximos para periodos de retorno.

CUENCAS URBANAS									
Tr años	Cuajinquie	El Cangrejo	Arroyo Jalocote	Av. Independencia	Red Cangrejo Jalocote	El Chante Chantillo	El Chante La Yerbabuena	El Chante S/N	Chante Unión 2
CAUDAL EN M^3/S									
2	13.2	7.5	4	5.5	15.7	0.0	0.0	0.4	0.4
5	17.9	10.9	12	7.7	23.8	0.0	0.8	2.1	2.3
20	35.1	14.2	21.8	9.6	34.8	2.1	14.8	6.8	18.7
50	52.3	24.3	51.8	14.3	74.3	5.1	32.2	11.4	39.6
100	67.8	29.4	68.6	16.5	95.9	8.2	49.1	15.5	59.9

Fuente: Elaboración propia.

El esquema del modelo del Chante se muestra en la imagen

Imagen 29.Modelo de HEC-HMS para la localidad El Chante.

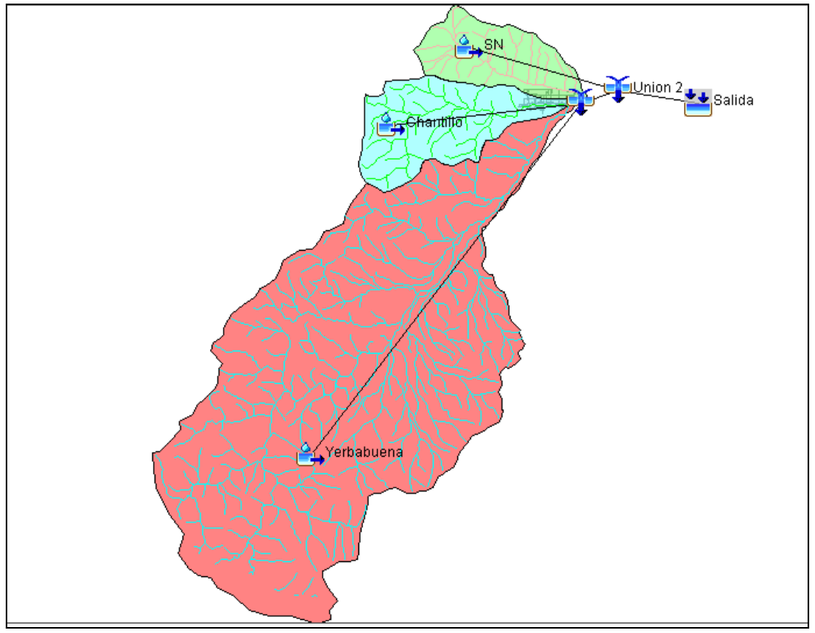
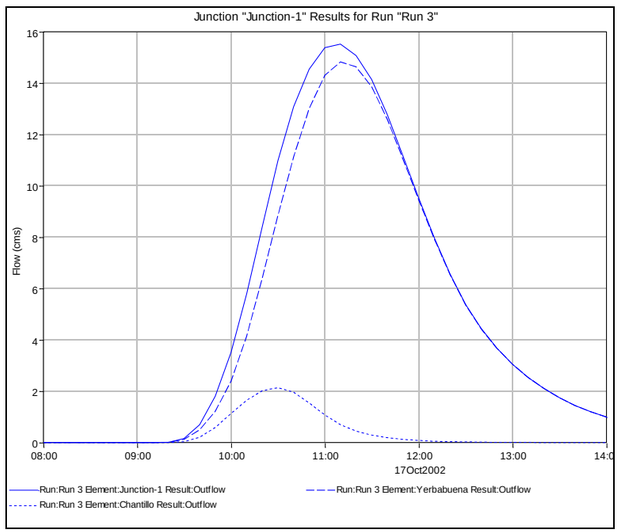
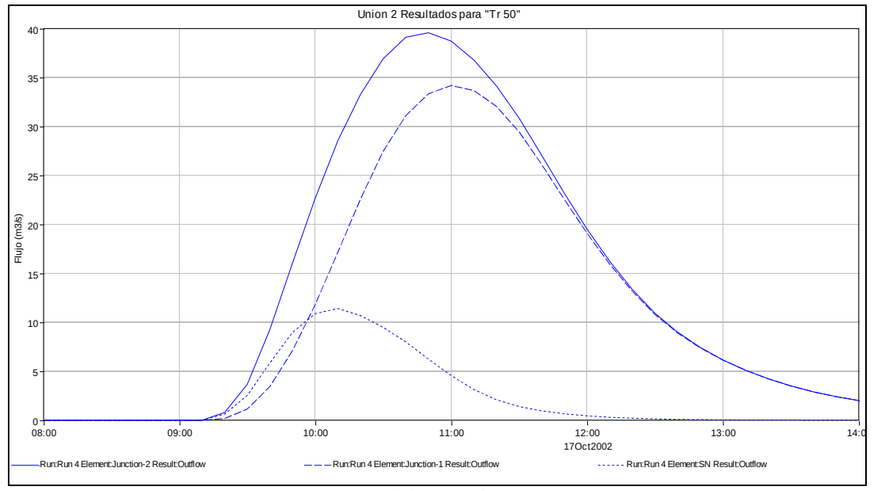


Imagen 30. Hidrograma la unión de los Arroyos El Chantillo y Yerbabuena, Tr 20 años



Fuente: Elaboración propia

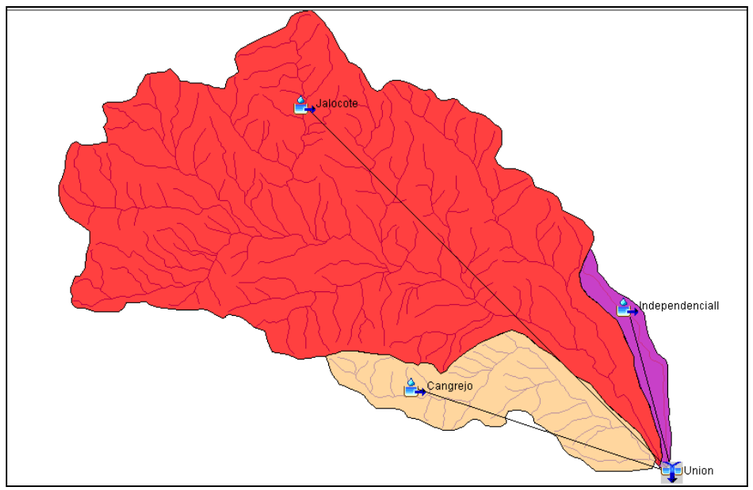
Imagen 31. Hidrograma en la Unión 2, (ver imagen 27) para la localidad El Chante, Tr 50 años



Fuente: Elaboración propia.

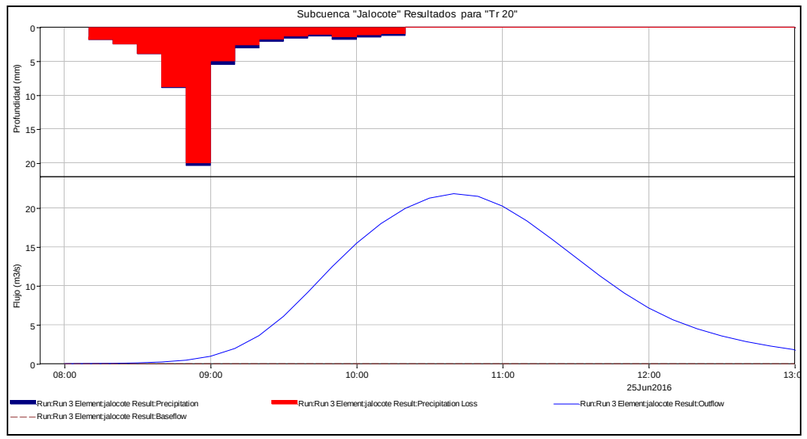
Por otra parte, para los Arroyos El Cangrejo, El Jalocote, y el arroyo sin nombre que corre por la Av. Independencia el modelo de HEC-HMS es el de la **Imagen 22.**

Imagen 32. Modelo para Arroyos El Cangrejo, Jalocote y Arroyo S/N



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 33. Hidrograma para Arroyo El Jalocote, tr 20 años

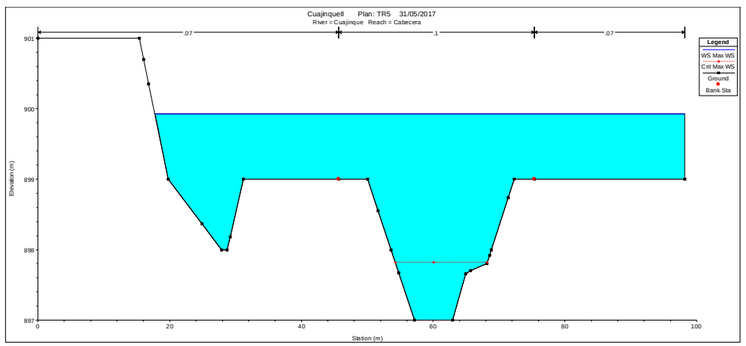


Fuente: Elaboración propia

Resultados de simulación en estado estacionario.

Las caudales pico determinados para los diferentes períodos de retorno se emplean para simular condiciones extremas en estado estacionario para los diferentes periodos de retorno, los resultados obtenidos mediante la metodología y el software mencionados son para los Arroyo Cuajinque y Cangrejo-Jalocote. Para régimen subcrítico se eligió como condición de frontera la altura de superficie de agua. La profundidad alcanzada para tr 5 años se muestra en la imagen

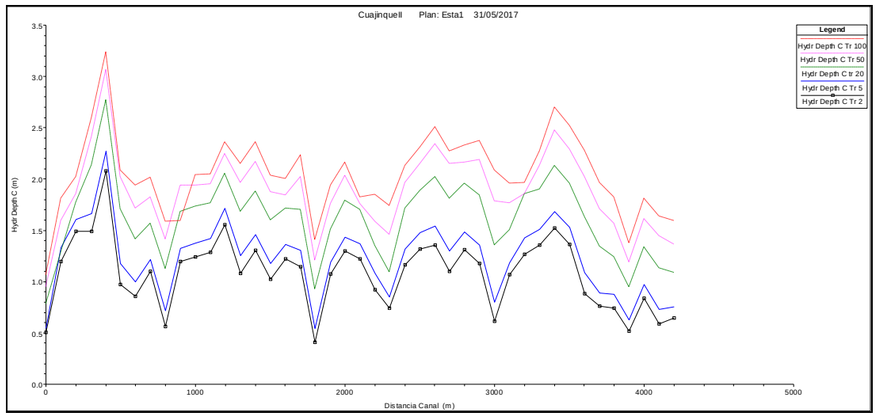
Imagen 34.



Fuente: Elaboración propia.

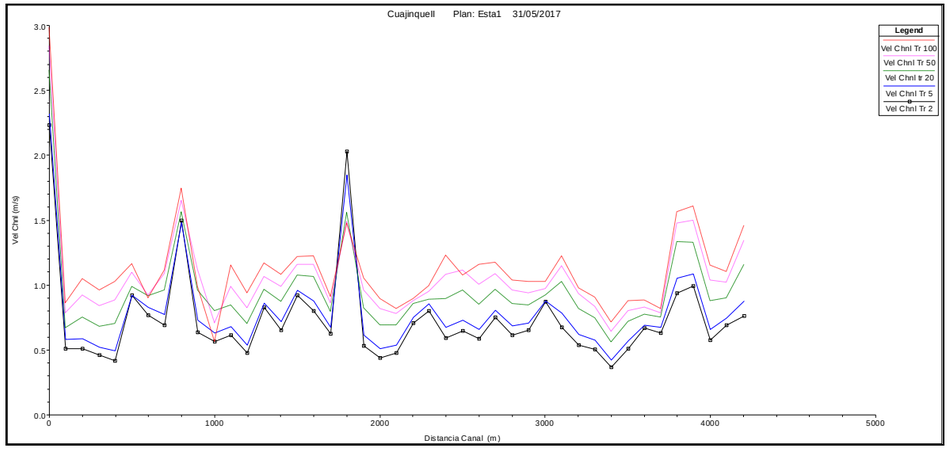
Los resultados completos por estación se pueden consultar en el archivo anexo. En las siguientes imágenes se muestran graficas de la profundidad hidráulica y velocidad para los diferentes periodos de retorno.

Imagen 35. Profundidad Hidráulica en Arroyo Cuajinque para los diferentes Tr



Fuente: Elaboración propia

Imagen 36. Velocidades m/s en Arroyo Cuajinque



Fuente: Elaboración propia

Los datos graficados en las **Imágenes 25 y 26**, se muestran por estación en la siguiente tabla.

Tabla 5-22. Velocidades y profundidad hidráulica en Arroyo Cuajinque

Distancia m	Profundidad Hidráulica, metros					Velocidad en m/s				
	Tr 2	Tr 5	Tr 20	Tr 50	Tr 100	Tr 2	Tr 5	Tr 20	Tr 50	Tr 100
0.00	0.51	0.54	0.78	0.95	1.06	2.23	2.32	2.65	2.84	2.98
99.88	1.20	1.33	1.28	1.59	1.81	0.51	0.58	0.67	0.78	0.86
200.41	1.49	1.61	1.77	1.86	2.02	0.51	0.59	0.75	0.92	1.05
304.67	1.49	1.66	2.13	2.41	2.60	0.46	0.52	0.68	0.84	0.96
399.72	2.08	2.27	2.77	3.07	3.24	0.42	0.50	0.70	0.89	1.03
499.42	0.97	1.18	1.71	2.02	2.09	0.92	0.92	0.99	1.09	1.16
598.90	0.86	1.00	1.42	1.72	1.94	0.77	0.83	0.92	0.92	0.90
697.52	1.10	1.22	1.57	1.82	2.02	0.69	0.77	0.96	1.09	1.11
799.10	0.56	0.72	1.12	1.41	1.58	1.50	1.48	1.56	1.65	1.74
900.18	1.19	1.33	1.68	1.94	1.59	0.64	0.73	0.96	1.12	0.99
998.90	1.24	1.37	1.74	1.94	2.04	0.56	0.63	0.80	0.71	0.56
1100.36	1.29	1.42	1.77	1.95	2.05	0.61	0.68	0.85	0.99	1.15
1197.64	1.55	1.72	2.06	2.25	2.36	0.48	0.54	0.70	0.82	0.94
1299.76	1.08	1.25	1.68	1.96	2.15	0.83	0.86	0.97	1.06	1.17
1402.61	1.30	1.46	1.88	2.17	2.36	0.66	0.72	0.87	0.99	1.08
1501.80	1.02	1.18	1.60	1.87	2.04	0.92	0.96	1.07	1.16	1.22
1600.97	1.22	1.36	1.72	1.84	2.00	0.80	0.88	1.06	1.16	1.22
1703.66	1.14	1.31	1.70	2.02	2.23	0.63	0.68	0.79	0.86	0.91
1801.18	0.41	0.54	0.93	1.21	1.41	2.03	1.85	1.56	1.48	1.48
1902.82	1.07	1.19	1.51	1.76	1.94	0.53	0.62	0.82	0.96	1.05
2000.06	1.30	1.43	1.79	2.03	2.17	0.44	0.51	0.69	0.81	0.89
2100.32	1.22	1.37	1.70	1.76	1.83	0.48	0.54	0.69	0.78	0.82
2201.19	0.92	1.08	1.35	1.59	1.85	0.71	0.75	0.86	0.88	0.90
2298.64	0.74	0.85	1.10	1.46	1.74	0.80	0.86	0.89	0.95	0.99
2401.18	1.16	1.32	1.72	1.97	2.13	0.59	0.68	0.89	1.08	1.23
2502.48	1.32	1.48	1.89	2.15	2.31	0.64	0.73	0.96	1.11	1.08
2601.25	1.36	1.54	2.02	2.34	2.51	0.59	0.66	0.85	1.00	1.16
2700.83	1.10	1.30	1.81	2.15	2.27	0.75	0.81	0.96	1.09	1.18
2800.12	1.31	1.49	1.96	2.16	2.33	0.61	0.68	0.85	0.96	1.03
2899.84	1.18	1.36	1.84	2.19	2.38	0.65	0.71	0.85	0.94	1.02
3000.67	0.61	0.80	1.36	1.79	2.09	0.87	0.88	0.92	0.97	1.03
3100.14	1.07	1.18	1.50	1.76	1.96	0.68	0.78	1.02	1.15	1.22
3202.03	1.26	1.42	1.86	1.86	1.97	0.54	0.62	0.82	0.93	0.98
3300.81	1.36	1.51	1.90	2.13	2.27	0.50	0.57	0.75	0.83	0.90
3401.30	1.52	1.68	2.13	2.48	2.70	0.37	0.42	0.56	0.64	0.71
3501.86	1.36	1.53	1.96	2.29	2.52	0.51	0.57	0.72	0.80	0.88
3600.70	0.88	1.09	1.63	2.02	2.28	0.67	0.69	0.77	0.83	0.88
3700.88	0.76	0.89	1.34	1.71	1.97	0.63	0.68	0.75	0.79	0.82
3799.78	0.74	0.88	1.24	1.57	1.82	0.94	1.05	1.34	1.48	1.56
3898.54	0.52	0.62	0.94	1.19	1.38	0.99	1.09	1.32	1.50	1.61
3999.75	0.84	0.97	1.34	1.61	1.81	0.57	0.66	0.88	1.04	1.15
4099.60	0.59	0.73	1.13	1.45	1.64	0.69	0.75	0.90	1.02	1.10
4202.35	0.65	0.76	1.09	1.36	1.59	0.76	0.88	1.16	1.34	1.46

Fuente: Elaboración propia

Arroyo El Cangrejo-Jalocote

Los resultados para velocidad y profundidad obtenidos en este arroyo en estado estacionario unidimensional fueron los siguientes:

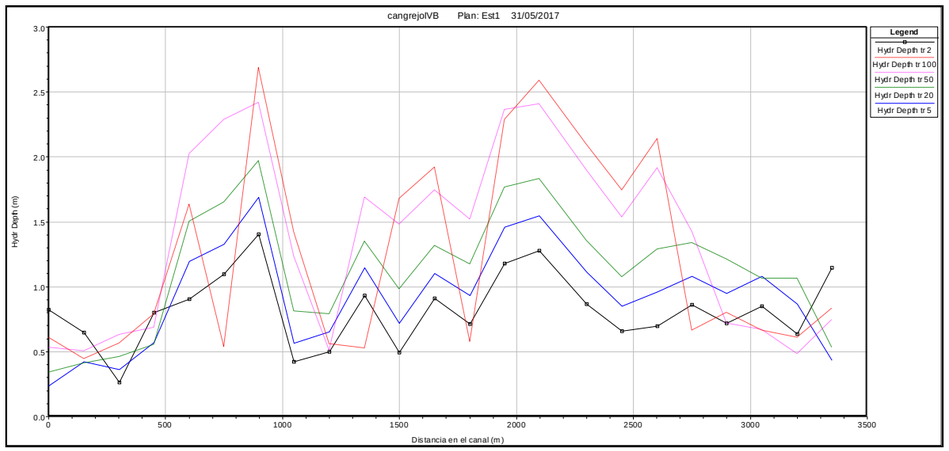
Tabla 5-23. Profundidad hidráulica y velocidad en m/s para el sistema Cangrejo-Jalocote

Distancia m	Profundidad Hidráulica, metros					Velocidad en m/s				
	Tr 2	Tr 5	Tr 20	Tr 50	Tr 100	Tr 2	Tr 5	Tr 20	Tr 50	Tr 100
3347.66	1.14	0.43	0.53	0.75	0.83	1.23	1.25	1.4	1.69	1.85
3199.58	0.64	0.86	1.06	0.48	0.61	1.64	1.85	2.01	1.9	2
3050.44	0.85	1.08	1.06	0.67	0.67	1.39	1.71	2.02	2.24	2.34
2899.51	0.72	0.95	1.21	0.72	0.8	1.48	1.68	1.89	1.91	2.02
2751.57	0.86	1.08	1.34	1.42	0.67	1.47	1.79	2.11	2.46	2.52
2601.35	0.7	0.96	1.29	1.91	2.14	1.58	1.83	2.14	2.73	2.97
2449.83	0.66	0.85	1.07	1.54	1.74	1.52	1.92	2.34	3.08	3.31
2300.61	0.87	1.12	1.35	1.9	2.09	1.75	1.8	1.85	2.01	2.09
2098.93	1.28	1.55	1.83	2.41	2.59	0.85	1	1.16	1.45	1.62
1949.67	1.18	1.46	1.77	2.36	2.28	0.93	1.1	1.28	1.64	1.97
1800.91	0.71	0.93	1.17	1.52	0.58	2.67	3.04	3.42	3.81	2.65
1649.86	0.91	1.1	1.32	1.75	1.92	0.86	1.09	1.34	1.78	1.94
1499.37	0.49	0.72	0.98	1.48	1.68	1.77	1.72	1.78	1.98	2.04
1349.64	0.93	1.14	1.35	1.69	0.52	0.81	1.03	1.25	1.71	1.69
1199.13	0.5	0.65	0.79	0.51	0.56	0.85	1.02	1.31	1.61	1.76
1049.82	0.42	0.57	0.81	1.23	1.42	2.05	2.37	2.19	1.88	1.84
898.94	1.41	1.69	1.97	2.42	2.69	1.08	1.34	1.64	2.19	2.19
749.85	1.09	1.33	1.65	2.29	0.54	0.75	0.91	1.09	1.45	1.47
601.98	0.9	1.19	1.5	2.03	1.64	0.9	1.09	1.32	1.87	2.16
449.69	0.8	0.57	0.55	0.69	0.79	0.98	1.3	1.66	2.15	2.13
301.61	0.26	0.36	0.46	0.63	0.56	0.93	0.84	0.86	1.07	1.01

149.84	0.65	0.42	0.41	0.5	0.44	1.07	1.26	1.32	1.66	1.78
0	0.82	0.23	0.34	0.53	0.61	1.28	1.39	1.46	1.6	1.51

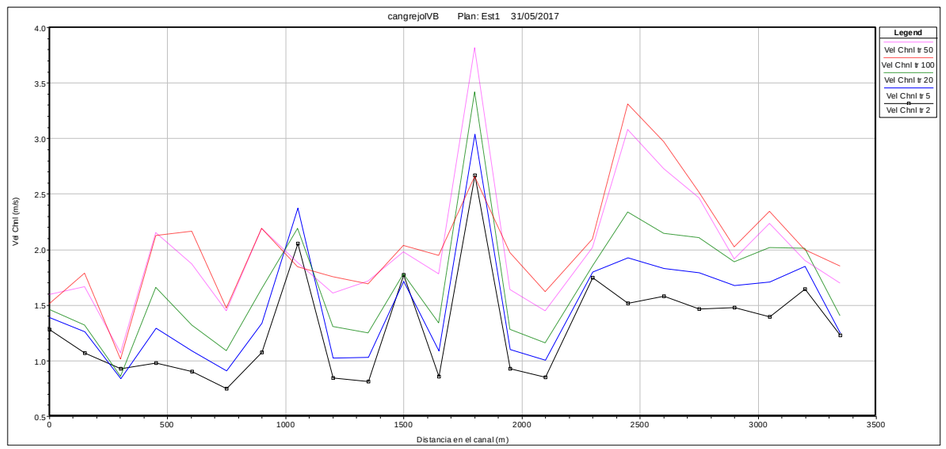
Fuente: Elaboración propia

Imagen 37. Profundidad Hidráulica en Arroyo Jalocote-Cangrejo



Fuente: Elaboración propia

Imagen 38. Velocidad en m/s en Arroyo El Cangrejo-Jalocote



Fuente: Elaboración propia

Imagen 39. Arroyo Cangrejo-Jalocote, desbordado por precipitaciones de Huracán Jova.

Fuente: Imagen tomada de Google earth, acreditada a Miguel Angel Lugo.

Problemática detectada en los recorridos de campo en la Cabecera Municipal.

El recorrido de campo en la cabecera municipal se dividió en dos etapas: una primera que consistió en el levantamiento de encuestas a la población cuya metodología y resultados quedaron descritos en la primera parte de este capítulo. La segunda etapa se realizó una vez analizados los resultados de las encuestas e incluyó a personal especializado en el tema. La principal dificultad para realizar este recorrido de campo fue que no se contó con información digital o impresa de la infraestructura hidráulica del municipio que incluyera colectores, bocas de tormenta, alcantarillas, registros de inspección, etcétera. Así, el recorrido se planeó por una parte tratando de detectar la problemática resultado de los flujos en los arroyos Cuajinque, Cangrejo-Jalocote, los escurrimientos provenientes del Cerro Colorado y los del Cerro La Capilla, que desembocan en el Cuajinque y en la red Cangrejo-Jalocote, respectivamente. Por otra parte se visitaron las áreas señaladas en la primera etapa para detectar las deficiencias en infraestructura y plantear las medidas de mitigación correspondientes.

El recorrido a lo largo del Cuajinque se inició en la coordenada 564,682, 2,185,575. En este punto desembocan los escurrimientos provenientes del Cerro Colorado. Los caudales pico de este afluente del

Cuajinque son importantes como se puede apreciar en la tabla 12. La obra hidráulica que se construyó en este punto se muestra en la siguiente **Imagen 37**. Este puente tiene área hidráulica de aproximadamente 12 m^2, con altura de 1.60 m del piso natural al tablero por lo que las profundidades ***H*** en metros que puede alcanzar durante los diferentes periodos de retorno son las de la columna 4.

Tabla 5-24. Caudales máximos, velocidad y profundidad de afluente del Arroyo Cuajinque

Tr	Q_{max}, m^3/s	V_{apr}, m/s	*H*, m
2	2.6	0.8	0.43
5	4.33	0.88	0.65
20	5.20	1.16	0.60
50	6.06	1.34	0.60
100	6.50	1.46	0.60

Fuente: Elaboración propia

Los modelos muestran que no existe peligro de inundación este punto por las crecientes de este afluente del Cuajinque.

A partir de la coordenada 654900, 2185641 y hasta la calle Hacienda las Flores, se detectó indicios de inundaciones al borde de la carretera e insuficiencia de obras de conducción para los escurrimientos provenientes de las margen derecha del Cuajinque. La imagen 38 se observa la barrera en que se convierte la carretera para los escurrimientos provocando su encharcamiento en una zona amplia.

Imagen 40. Puente sobre Paseos del Cuajinque

Fuente:

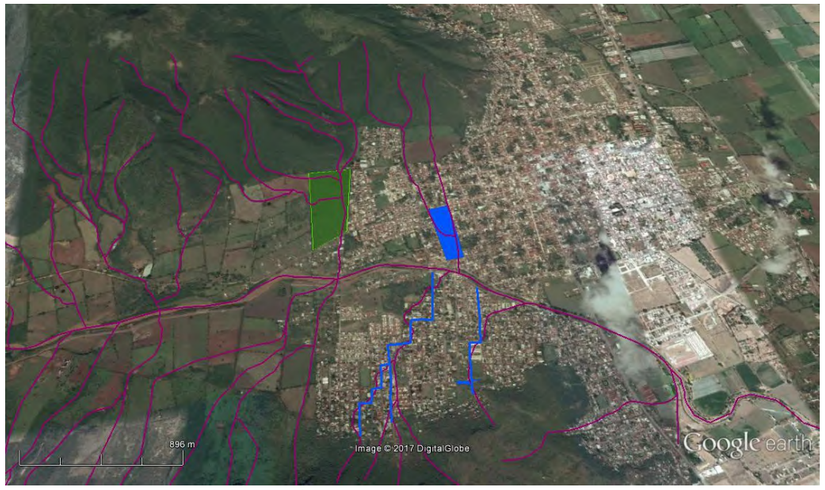
Imagen 41. Escurrimientos pluviales sin salida al Cuajinque en carretera Autlán -Villa Purificación

Fuente:

Sobre la calle de Salvador Novo y Paseo del Cuajinque se localizó un pozo de visita en el ocurren inundaciones recurrentes con afloramiento de aguas negras. Para los vecinos de esta colonia estos escurrimientos provenientes del Cerro Colorado tienen trayectoria en dirección norte sobre la Calle Ramón López Velarde rumbo al Cuajinque.

De la misma manera, se localizó una pequeña laguna de inundación provocado por el mismo escurrimiento en las calles Abeto y Agustín Yáñez, como se muestra en la imagen 39

Imagen 42. Esquema general de áreas con eventos de inundación y posibles áreas de amortiguamiento.



Fuente: Elaboración propia sobre imagen de Google earth

El recorrido de campo ayudo a concluir que otros de los escurrimientos provenientes del cerro colorado lo hacen a través de la Calle Monte Casino la cual se convierte en cauce natural, para continuar por la calle Fresno y hacia Octavio Paz, para desembocar en el Cuajinque.

Más allá de la margen izquierda del Cuajinque, se localizan dos polígonos, el azul corresponde a un evento de inundación histórico provocado por el Huracán Jova. El puente vehicular ubicado 120 metros aguas arriba se tapó con ramas y arbustos, lo cual hizo que el Cuajinque desbordara invadiendo las manzanas sombreadas en azul, alcanzando la inundación 50 cm.

El polígono en verde comprende un bosque, el cual es importante conservar porque sirve de contención a los escurrimientos orientados hacia el sur del Cerro La Capilla y otros servicios ambientales que presta. Los flujos de estos arroyos para los diferentes periodos de retorno son:

Tabla 5-25. Caudales máximos de afluente del Cuajinque.

Tr	Q_{max}, m^3/s
2	2.0
5	2.0
20	3.8
50	5.9
100	7.9

Fuente: Elaboración propia

El tránsito entre ambos márgenes del Arroyo Cuajinque no está totalmente resuelto, ya que hay varios puntos en que el cruce es por vados lo cual representa un peligro. Este vado se utiliza para transitar directamente de la calle Javier Mina a la Calle Camichines.

Así mismo se encontró que en algunos casos las pocas bocas de tormenta ubicadas a lo largo del Arroyo El Cuajinque se encuentran bloqueadas o bien requieren limpieza.

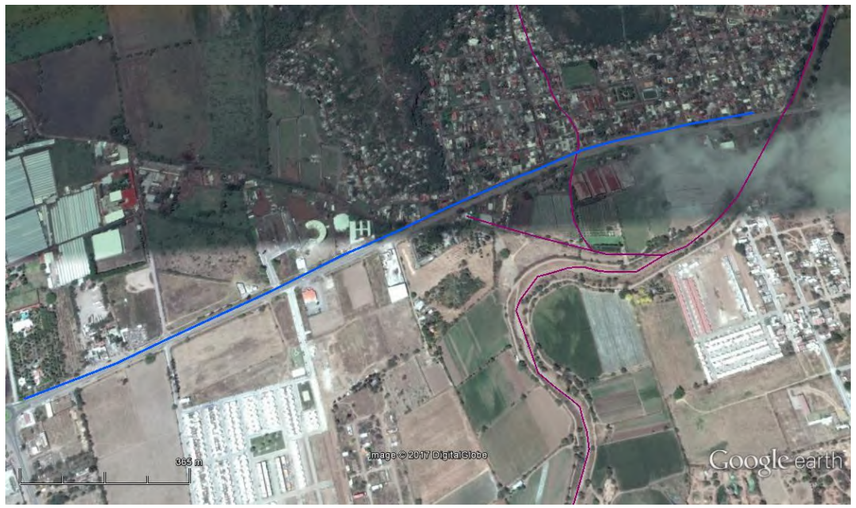
Imagen 43. Boca de tormenta bloqueada a un costado del Cuajinque

Fuente:

Por otra parte, en los cruces de las Calles Donato Guerra y Guadalupe Victoria, se han registrado inundaciones de 0.30 metros y duración de menos de 1 hora, debido a que existe una diferencia de elevaciones de 1 metro, mientras que en Donato Guerra y Nicolás Bravo las inundaciones alcanzan 0.80 metros en tormentas intensas, en este cruce se carece de bocas de tormenta, por lo que Nicolás Bravo se convierte también en canal para el desagüe de precipitaciones. Además de la evidencia de campo, en los talleres y encuestas de la primera etapa, el polígono que comprende de Donato Guerra a Reforma y de Guadalupe Victoria a Nicolás Bravo presenta problemas de inundación que posiblemente estén relacionados con problemas de hundimientos en el terreno, lo que puede implicar rompimiento de redes de drenaje y por lo tanto sinergia de fenómenos de inundación y asentamiento del terreno.

Los escurrimientos del Cerro Colorado orientados hacia el este desembocan todos en la Avenida Tabachines. En su trayectoria estos escurrimientos superficiales provocan formación de cárcavas en calles no pavimentadas y su curso natural hacia el Cuajinque se encuentra bloqueado, como se puede ver en las imágenes 43 y 44.

Imagen 44. Escurrimientos provenientes del Cerro Colorado hacia la Av. Tabachines y canal pluvial (línea en azul)



Fuente: Elaboración propia sobre imagen de Google earth

Imagen 45. Cárcavas formadas por escurrimientos del Cerro Colorado

Fuente:

Imagen 46. Bloqueo en Av. Tabachines de trayectoria natural de escurrimientos del cerro colorado.

Fuente:

Estos escurrimientos se conducen por gravedad de la calle Fresno y Tabachines hacia Emiliano Zapata y Tabachines, una distancia aproximada de 800 metros. La definición del canal es muy irregular y se encuentra en diferentes condiciones a lo largo su trayectoria. En algunos tramos es solo calle y en otros se encuentra más definido, sin embargo hay zonas en las que desaparece por completo, lo cual provoca encharcamientos e inundaciones.

Imagen 47. Canal Pluvial sobre Av. Camichines

Fuente:

La problemática de escurrimientos en la Avenida Camichines se extiende hasta su cruce con el Periférico Luis Donaldo Colosio. Entre este punto y la Calle Guadalupe Victoria el canal no está bien definido.

Imagen 46. Canal lateral en la Av. Camichines, a su cruce con Periférico Luis Donaldo Colosio

Fuente:

Recorrido de campo en área de Arroyos Cangrejo-Jalocote

El recorrido de campo por estos arroyos intermitentes cuyas características han quedado definidas muestra que existe una desviación del arroyo el Cangrejo hacia el Jalocote antes de su entronque natural. Este cauce de alivio sin duda se realizó para permitir el crecimiento de la ciudad hacia el norte y evitar inundaciones. Tratándose de un arroyo intermitente no afecta las características hidrológicas y medio ambientales del entorno. Sin embargo la obra debe registrarse, estudiarse y como resultado realizar las adecuaciones necesarias pues existen en la zona otros escurrimientos del Arroyo El Cangrejo que es necesario controlar, se señala que los cauces de estos escurrimientos ya se encuentran bloqueados.

En la imagen siguiente, el trazo en rojo muestra la desviación del arroyo el Cangrejo hacia el Jalocote. Las fotografías en la imagen es el punto de unión descrito. La siguiente es el punto de bloqueo del cauce afluente del Arroyo el Cangrejo.

Imagen 47. Red del Cangrejo-Jalocote, en azul la red tomada de INEGI. en rojo el desvió del Cangrejo hacia el Jalocote.

Fuente: Elaboración propia sobre imagen de Google earth

La principal problemática se presenta por los escurrimientos con orientación al sur del Cerro la Capilla. Si los escurrimientos principales del Arroyo el Cangrejo se controlan 200 metros aguas arriba del entronque de las Av. Mutualismo y De Capaya, los restantes se pueden canalizar a través de Av. Mutualismo hacia Los Placeres y de aquí dirigirlos hacia el Cangrejo-Jalocote, por medio de un colector adecuado. Actualmente una parte importante del flujo pluvial discurre por las Calles Mutualismo-Verano-Abasolo-Los Placeres. En esta última se presentaron inundaciones durante Jova de 50 cm, pasando de la calle a algunas casas habitación.

Por otra parte existe un punto en el que es necesario construir un puente vehicular con paso seguro de peatones sobre el Cangrejo-Jalocote, que una la prolongación Leandro Valle con la Carretera Federal 80.

Imagen 48. Punto en el que se unen el Jalocote con la desviación del Arroyo El Cangrejo

Fuente:

Imagen 49. Vista de uno de los afluentes del Arroyo Cangrejo bloqueado en su trayectoria por la Av. De Capaya, coordenadas 565,580 2,188,599, WGS 1984 UTM Z 13N.

Fuente:

Imagen 50. Sedimentos de inundación en Calle los Placeres en su punto de llegada al Cangrejo-Jalocote

Fuente:

Inventario de Infraestructura Hidráulica.

Como se ha mencionado, para el presente Atlas de Peligros no se contó con levantamiento topográfico de la red de colectores para el manejo de las precipitaciones pluviales en la Ciudad de Autlán de la Grana. La información proporcionada si incluyo tanques de agua, canales hidráulicos, escurrimientos y corrientes de agua perenes.

Por otra parte existe infraestructura más evidente como puede ser la ubicación y estado de la planta de tratamiento de aguas residuales, las compuertas de control de caudal sobre el Rio Ayuquila, el canal de riego que se inicia en la localidad del Corcovado para recorrer el valle de Autlán.

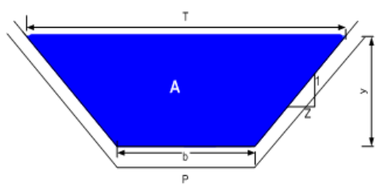
La información proporcionada por el Municipio sobre infraestructura hidráulica se muestra en la siguiente **Imagen 51**

Imagen 51

Fuente: Elaboración propia con datos del Municipio de Autlán de Navarro

Se trata de un canal de riego de tipo trapezoidal, como se muestra en la figura

Imagen 52



Parámetro	Expresión
Área, m^2	(b+zy)y
Perímetro mojado, m	b+2y√(1+z^2)
Radio hidráulico, m	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$
Ancho de la superficie libre, m	b+2zy
Longitud, m.	
Material	Concreto
Fondo	Concreto
Tiempo de viaje, t_v	Kirpich
Pendiente	Promedio
Q, m^3/s	según Manning
Velocidad, m/s	Manning

Imagen 53. Canal de riego trapezoidal a su paso por El Corcovado

Fuente:

Presa Derivadora "El Corcovado"

La presa derivadora es un obstáculo que se opone al paso de la corriente en un cauce, para elevar el nivel del agua a una cota suficientemente alta que permita salvar una de las márgenes y poder extraerse del sitio, así como dominar topográficamente otros sitios. Se usa cuando las necesidades de agua son menores que el gasto mínimo de la corriente, es decir, no se requiere almacenamiento.

La *cortina* de la presa derivadora "El Corcovado" está constituida por una sección de enrrocamiento tipo "indio". La Estructura tiene una longitud de 160 metros y altura máxima de 3.50 metros sobre el lecho del río. Aguas arriba está formada por una zona impermeable de 12 metros de ancho, construida con

tierra vaciada a volteo y compactada por el paso de vehículos. Está protegida por una capa de roca de 1 metro de espesor. Aguas abajo y a un metro inferior de la cresta se construyó un delantal de enrrocamiento.

La *obra de toma* situadas en los extremos de la presa y construidas de concreto reforzado. Consisten en tres conductos: 2 para la margen derecha y 1 para la izquierda, de sección cuadrada, extraen entre los tres un gasto de 15 m^3/s mediante compuertas deslizantes operadas con motor.

El *desarenador* en ambas márgenes consiste de estructuras de concreto que forman tres vanos para la margen derecha y 2 para la izquierda, donde se alojan compuertas radiales para el control de las descargas.

Imagen 54. Cortina de presa Derivadora El Corcovado

Imagen 55. Obra de toma presa Derivadora "El Corcovado" margen derecha

Imagen 56. Obra de toma, margen izquierda

La presa derivadora regula el flujo de agua hacia el Distrito de Riego 094 Jalisco Sur, el cual comprende una superficie regable de 19,964 hectáreas, de las cuales se riegan 14,107, con un volumen promedio anual de 206.4 hectómetros cúbicos, la producción es de 1,126,373 toneladas, el valor de la producción es de 274.39 millones de pesos; la productividad es de 5.46 kg/m^3 y de 1.32 $\$/m^3$. Los flujos de agua hacia el distrito de riego 094 procede de dos fuentes: La Presa Trigomil, construida en 1994, y la Presa

Tacotán de las que se extrajeron en la semana del 22 al 29 de mayo del presente año 8 y 10 m^3/s, respectivamente.

En una situación en la que las presas están en su nivel de aguas máximo ordinario NAMO, y se están ingresando caudales grandes, por ejemplo durante un evento de huracán, se provocaría el desbordamiento de las presas Tacotán o Trigomil. Puede ocurrir que la presa derivadora El Corcovado no pueda almacenar la onda de rotura que le llega de la presa de aguas arriba, vertiendo sobre su corona, por lo que se debe considerar que se produce la rotura simultánea con el desagüe de la onda de llegada al embalse. Ello da lugar al planteamiento de otro escenario en el cual los caudales pico de agua aproximados generados por la cuenca de 1149 km^2 aguas arriba de Trigomil, serían:

Tabla 5-26

Tr	Q_{max}, m^3/s
2	1915
5	2554
20	3831
50	4470
100	4789

Fuente: Elaboración propia, utilizado SIATL

Cabe señalar que la presa Trigomil fue inaugurada el 23 de enero de 1993, en el municipio de Unión de Tula, Jalisco. Se erigió con la finalidad de consolidar y ampliar el Distrito de Riego 094, Jalisco Sur, así como controlar y aprovechar los escurrimientos de los ríos Ayuquila, San Antonio y Ayutla. Los caudales mencionados no sería factible que la presa derivadora los controlase por lo que es probable que se presentarían desbordes en canales de riego y en el propio Rio Ayuquila.

Imagen 57. Cortina de presa Trigomil

Fuente: https://www.gob.mx/conagua/articulos/trigomil-joya-de-infraestructura-hidraulica?idiom=e

Planta de tratamiento de aguas residuales.

Según la Comisión Estatal del Agua Jalisco, existen en el municipio dos plantas de tratamiento de agua, una en operación y una fuera de operación. La primera tiene capacidad para tratar 5 lt/s y la segunda 100 lt/s.

Sin embargo, al parecer la CEA-Jalisco no toma en la de Valle Vergeles y la de Ahuacapán La planta que esta fuera de servicio es del tipo de filtros rociadores y la que está en operación es del tipo de lodos activados.

Este tipo de planta utiliza procesos biológicos aerobios. En general un filtro percolador es un tanque con un empaque en el cual se desarrollan bacterias que serán las responsables del tratamiento del agua. Se clasifican por la carga orgánica e hidráulica aplicada en m^3/m^2 desde filtros de baja tasa (1 a 3.5 m^3/m^2) hasta filtros de desbaste (tasas de 47 a 190 m^3/m^2). Los primeros tienen una eficacia de remoción de DBO del 80 al 90 % y su desventaja es la producción de malos olores y moscas. Los últimos no generan malos olores pero su eficacia de remoción de DBO es menor.

Las plantas con filtro percolador de media tasa reciben el influente a un sedimentador primario donde se separan las partículas sólidas, una parte del flujo de salida del sedimentador se recircula hacia el digestor y la otra va al filtro percolador donde se retira la materia orgánica,

luego pasa a un clarificador secundario y parte del efluente se dirige al digestor de lodos al que se suministra aire por medio de difusores de burbuja fina alimentados por sopladores de tipo centrifugo.

Aún cuando existen proyectos de ampliar la capacidad de la planta de 100 a 250 lt/s, a la fecha estos no han sido concretados.

Imagen 58. Planta de tratamiento por filtros percoladores

Fuente: .

Nivel tres de análisis

Se formularán los modelos matemáticos para simular las inundaciones por flujo no permanente bidimensional, con paquetería especializada como Iber, Telemac-Mascaret,
MIKE, etc.

Caracterización de la inundación (Severidad).- Con el fin de determinar una adecuada gestión de riesgos en las llanuras de inundación y definir los niveles de peligro por inundación a partir de las velocidades de inundación y el tirante, se empleará el Diagrama de Resistencia al Vuelco (*Figura 2*) que muestra datos valiosos de la relación velocidad del flujo/profundidad hidráulica de inundación.

Metodología.

La ecuación utilizada para el cálculo no estacionario en dos dimensiones, es decir que la velocidad no es uniforme en la sección transversal, es la ecuación de difusión de onda.
Los términos no estacionarios, de advección, turbulencia y la aceleración de Coriolis pueden ser desagregados de la ecuación de momentum para llegar a una versión simplificada:

$$\frac{n^2|V|V}{\left(R(H)\right)^{4/3}} = -\nabla H$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación anterior por la raíz cuadrada de su norma, la ecuación puede ser arreglada en su forma más clásica:

$$V = -\frac{\left(R(H)\right)^{2/3}}{n}\frac{\nabla H}{|\nabla H|^{1/2}}$$

Donde
R = Radio hidráulico
V = vector velocidad
∇H = gradiente de elevación de la superficie
n = coeficiente de Manning.

Se emplea el método de diferencias finitas para resolver numéricamente la ecuación anterior, lo que implica:

1. Se obtienen y pre-procesan datos de geometría, incluidos aspectos ortogonales y de batimetría.
2. La solución empieza con un valor de H como condición inicial en el intervalo de tiempo (time steps) n =0
3. Las condiciones frontera para el intervalo de tiempo n+1.
4. Estimación inicial es $H^{n+1} = H^n$
5. Se computa la elevación promedio de agua las cualidades cuantitativas de la sub-red batimetrica.
6. Se calculan los coeficientes a_j de la ecuación de diferencias finitas.
7. La ecuación de diferencias finitas es resuelta iterativamente con un algoritmo tipo Newton para obtener un valor de H^{n+1} candidato
8. Si el residual es mayor que la tolerancia establecida es mayor se regresa al paso 5, de otra forma continua con el paso 9
9. Se acepta el valor de H^{n+1} y con este valor se calcula el valor de velocidad.

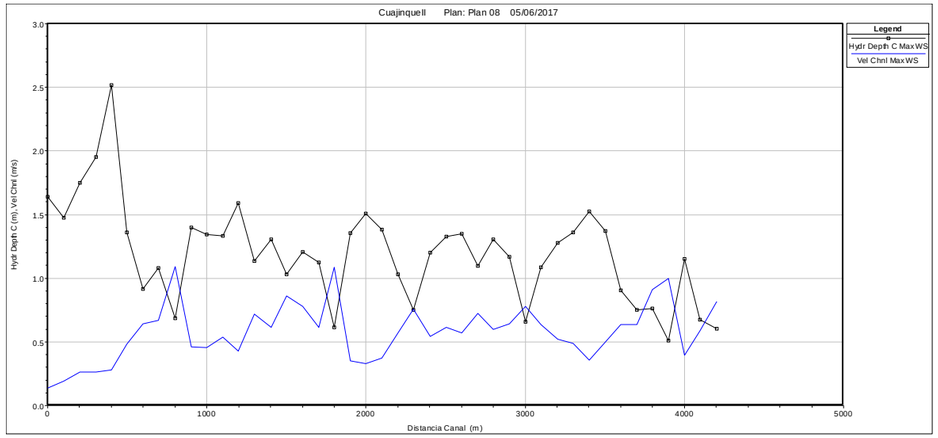
Empleando los modelos geométricos desarrollados en HEC-GeoRas y el software ARCGIS versión 10.2 se corrieron los modelos en HEC-RAS es estado no estacionario.
La condición frontera elegida para los diferentes periodos de retorno en la estación inicial fueron los hidrogramas de flujo, y para la última estación es la profundidad normal, para lo cual es necesario conocer la pendiente de fricción. Cuando no se cuenta con este dato se puede ingresar la pendiente del cauce en las cercanías de la estación donde se establecerá la condición frontera.

Resultados

Arroyo El Cuajinque

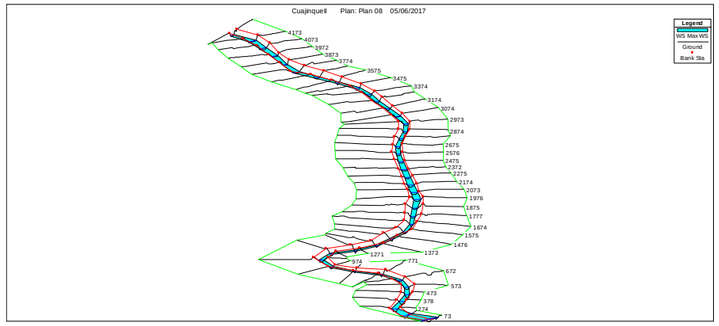
Los datos de velocidad y profundidad se muestran en las graficas siguientes.

Imagen 59. Velocidad y profundidad para tr 2 años



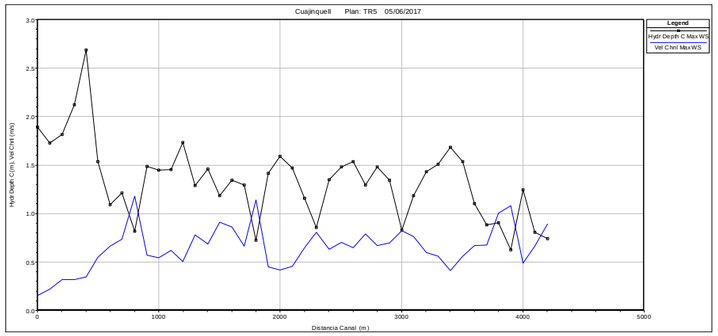
Fuente: Elaboración propia

Imagen 60. Vista de planicie de inundación para tr 2 años



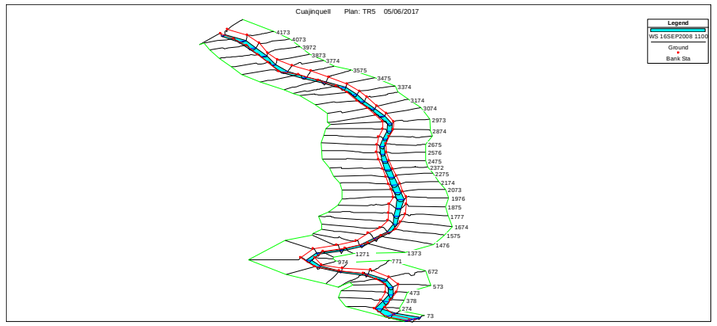
Fuente: Elaboración propia

Imagen 61. Velocidad y profundidad para tr 5 años



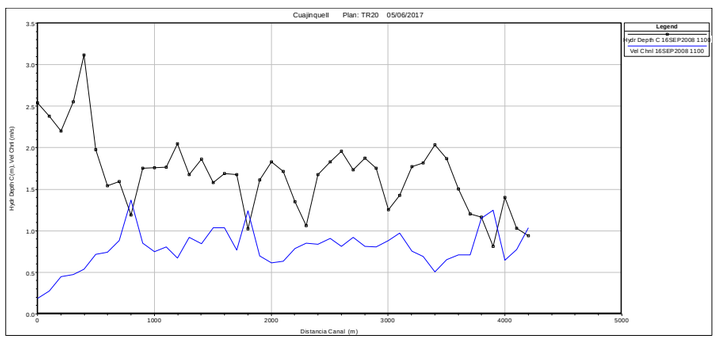
Fuente: Elaboración propia

Imagen 62. Vista de planicie de inundación para tr 5 años



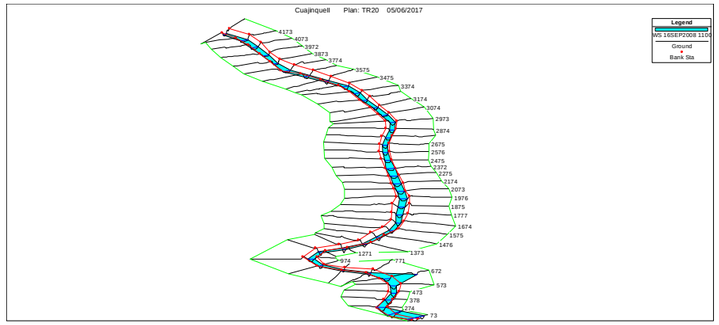
Elaboración propia

Imagen 63. Velocidad y profundidad para tr 20 años



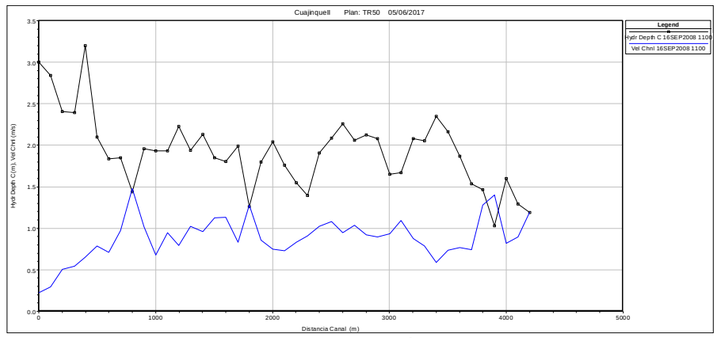
Fuente: Elaboración propia

Imagen 64. Vista de planicie de inundación para tr 20 años



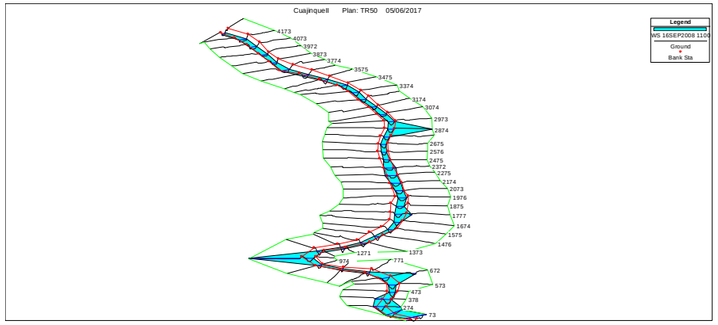
Fuente: Elaboración propia

Imagen 65. Velocidad y profundidad para tr 50 años



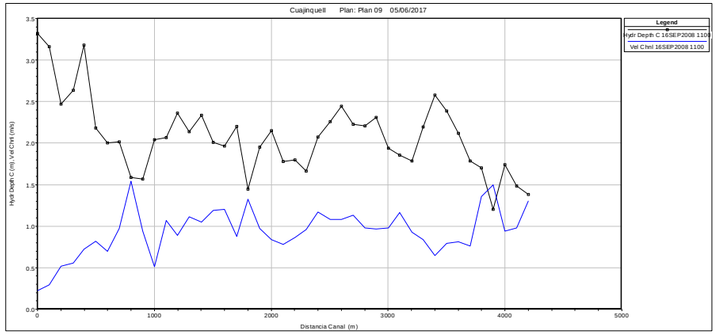
Fuente: Elaboración propia

Imagen 66. Vista de planicie de inundación para tr 50 años



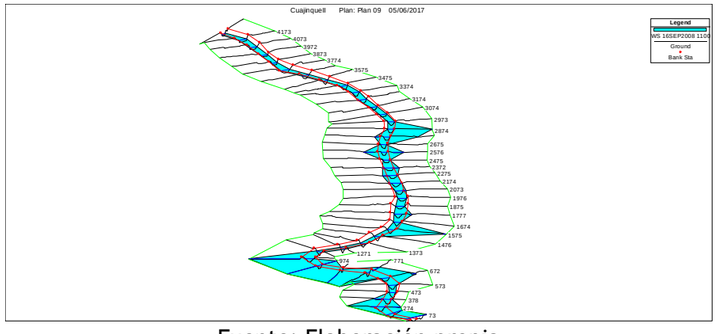
Fuente: Elaboración propia

Imagen 66. Velocidad y profundidad para tr 100 años



Fuente: Elaboración propia

Imagen 67. Vista de planicie de inundación para tr 100 años



Fuente: Elaboración propia

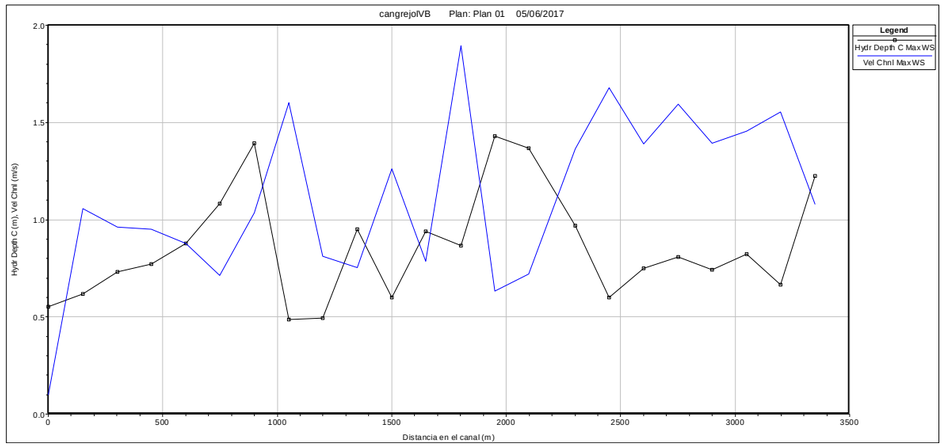
Imagen 68. Vista de planicie de inundación para tr 100 años

Fuente: Elaboración propia sobre imagen tomada de Google earth

Comentarios sobre los resultados de la simulación en el Arroyo Cuajinque.
Al momento de correr los modelos para los diferentes periodos de retorno, el informe que emite el programa señaló lo siguiente: Cero errores para los casos de Tr 2, 5,20, 50 y 100 años. Para el caso de Tr 50 el programa señaló una advertencia de extrapolación para algunas secciones con un error máximo en la elevación de superficie de agua de 0.027 metros en la sección 1027. Para el caso de Tr 100 años, igual que para Tr 50 años, pero el error máximo fue 0.023 metros. Lo anterior se puede comprobar corriendo los proyectos, los cuales se anexan.

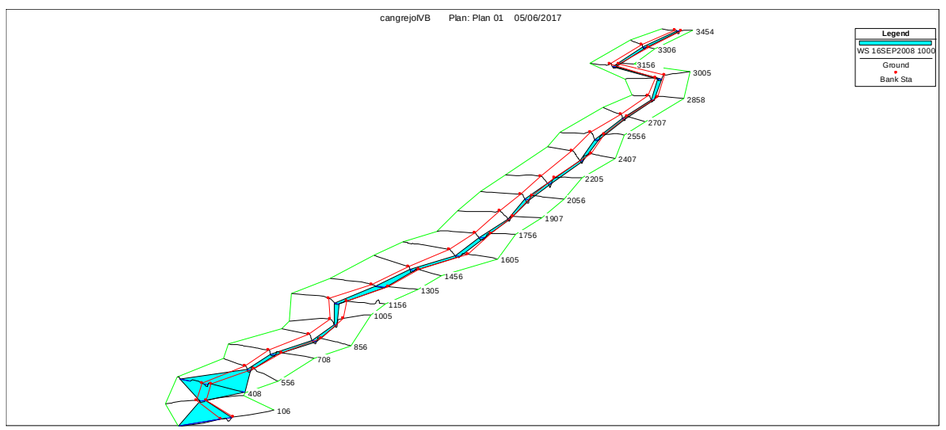
Arroyos Cangrejo-Jalocote.
Datos de Velocidad, profundidad y extensión de planicie de inundación se muestran en las siguientes imágenes.

Imagen 70. Velocidad y profundidad contra longitud en cause Cangrejo-Jalocote. Tr



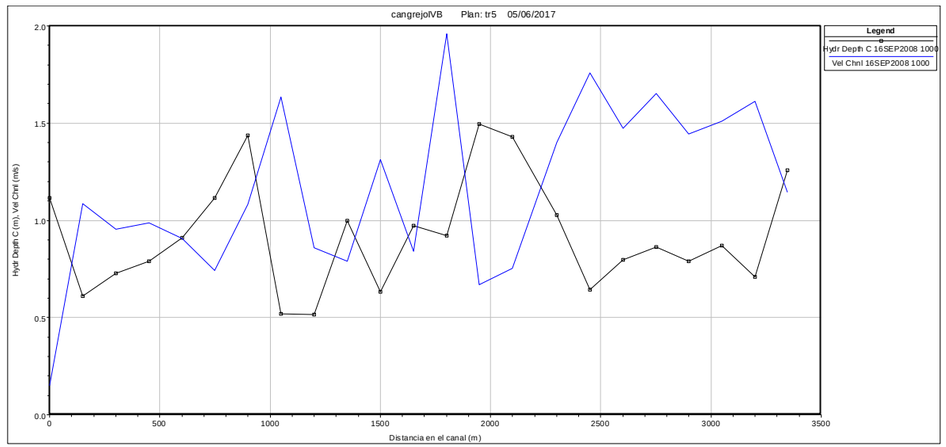
Fuente: Elaboración propia

Imagen 71. Planicie de inundación de Arroyos Cangrejo-Jalocote, Tr 2 años



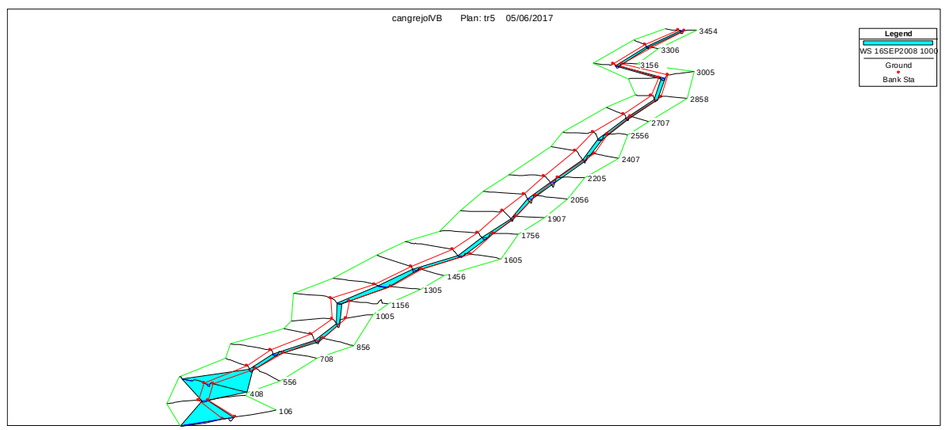
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 72. Velocidad y profundidad contra longitud en cause Cangrejo-Jalocote, tr 5 años.



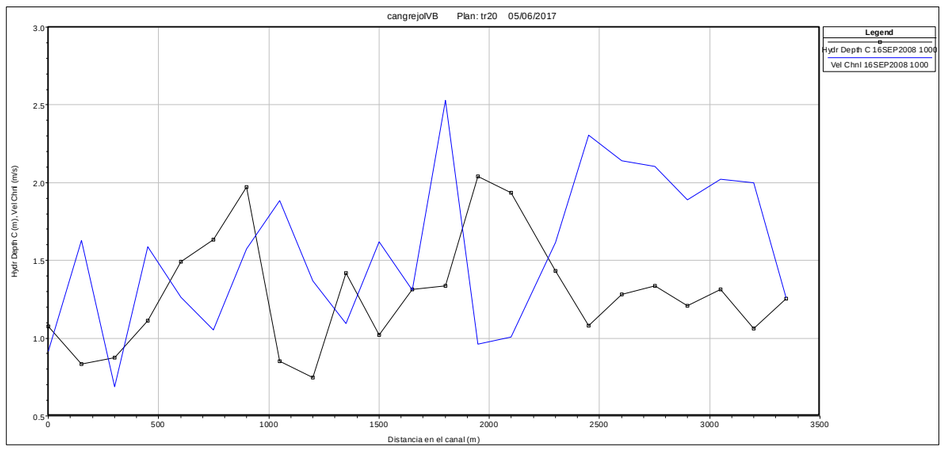
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 73. Imagen 71. Planicie de inundación de Arroyos Cangrejo-Jalocote, Tr 5 años



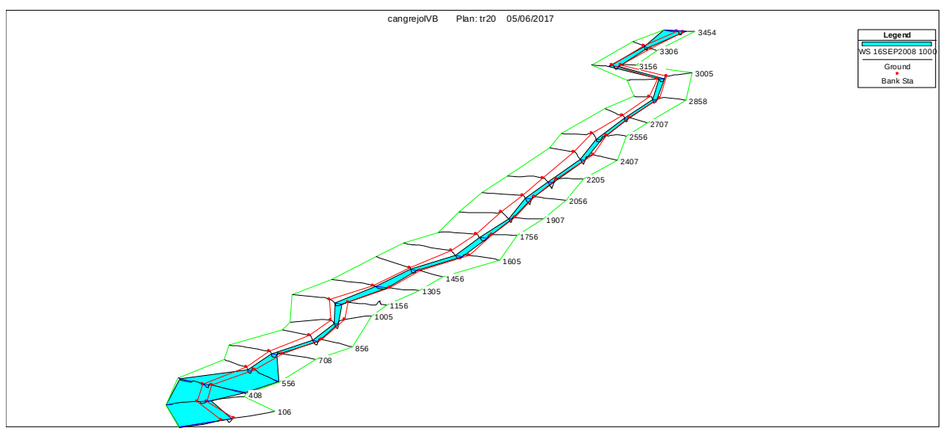
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 74. Velocidad y profundidad contra longitud en cause Cangrejo-Jalocote. Tr 20



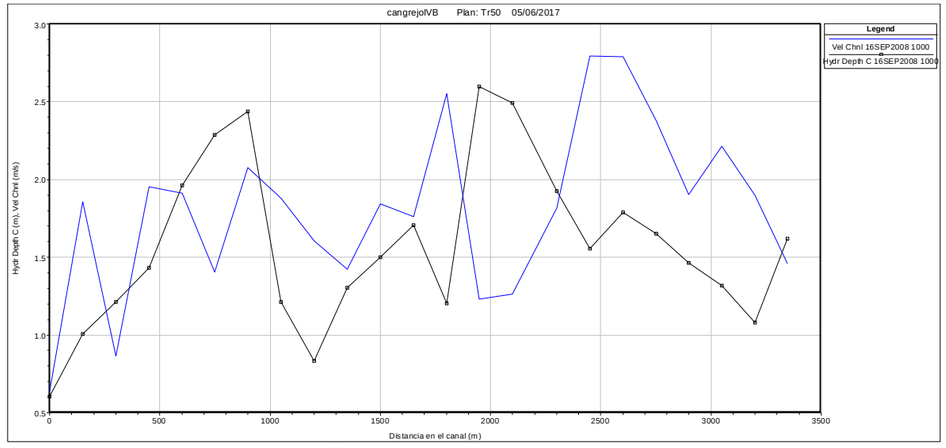
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 75. Imagen 71. Planicie de inundación de Arroyos Cangrejo-Jalocote, Tr 20 años



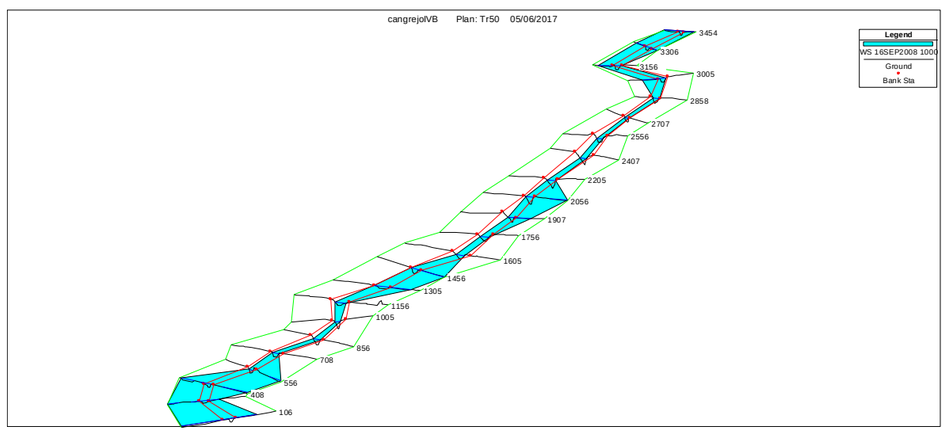
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 76. Velocidad y profundidad contra longitud en cause Cangrejo-Jalocote. Tr 50



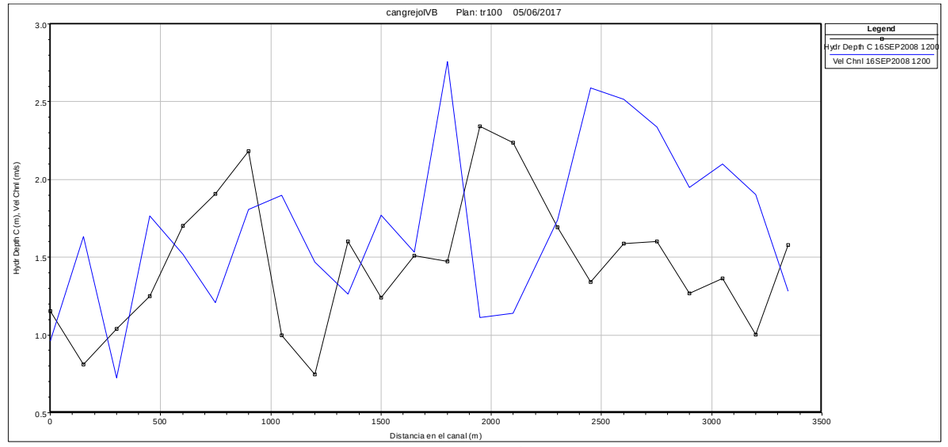
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 77. Imagen 71. Planicie de inundación de Arroyos Cangrejo-Jalocote, Tr 50 años



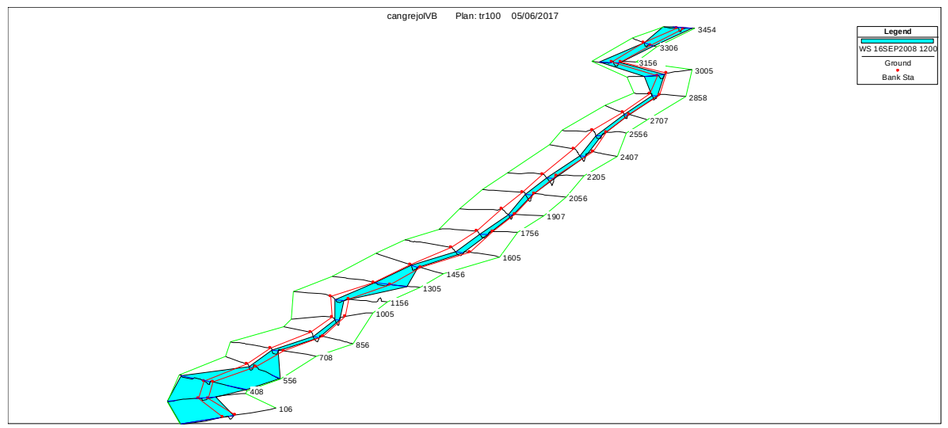
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 78. Velocidad y profundidad contra longitud en cause Cangrejo-Jalocote. Tr 100



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 79. Imagen 71. Planicie de inundación de Arroyos Cangrejo-Jalocote, Tr 100 años



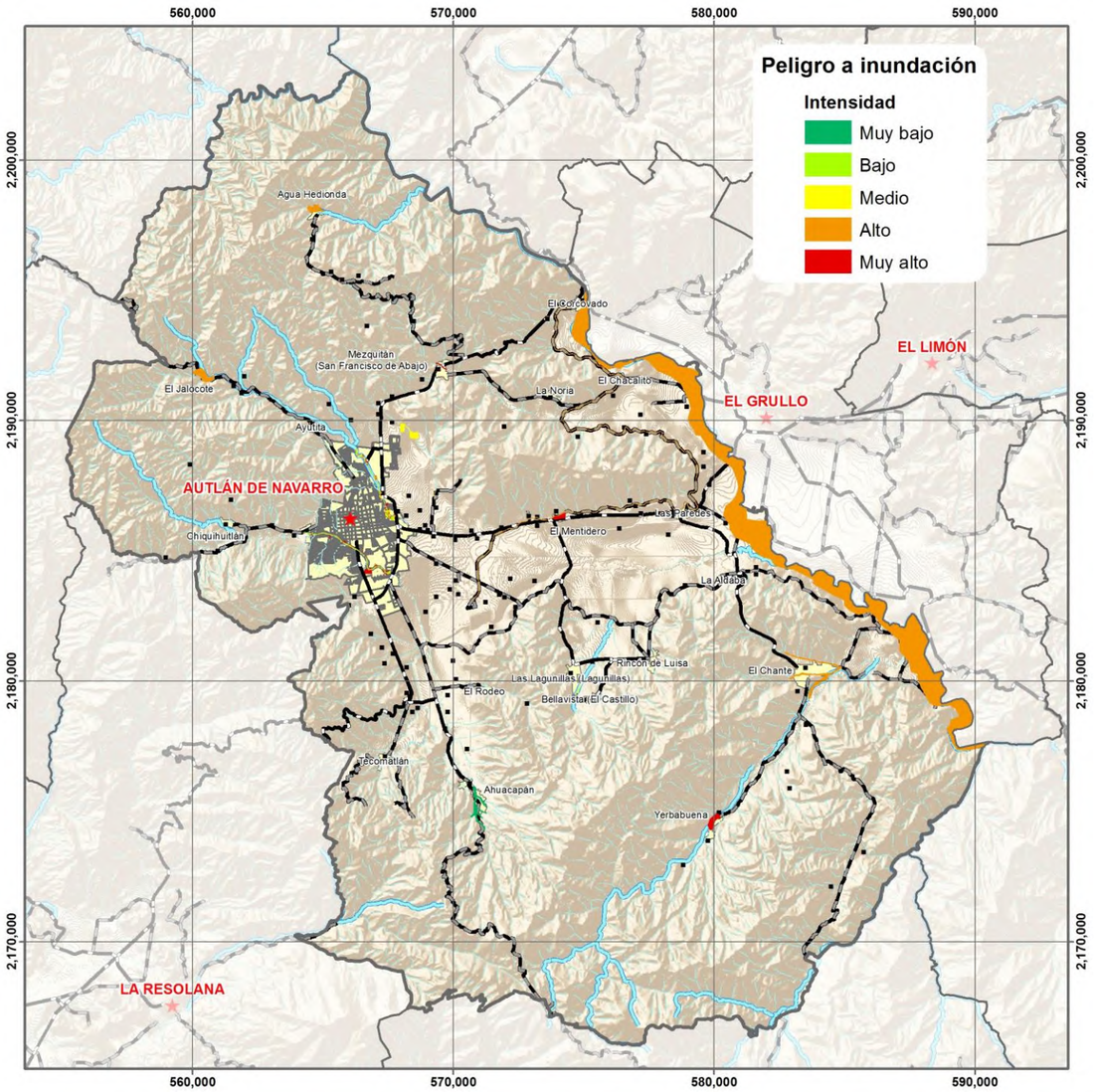
Fuente: Elaboración propia.

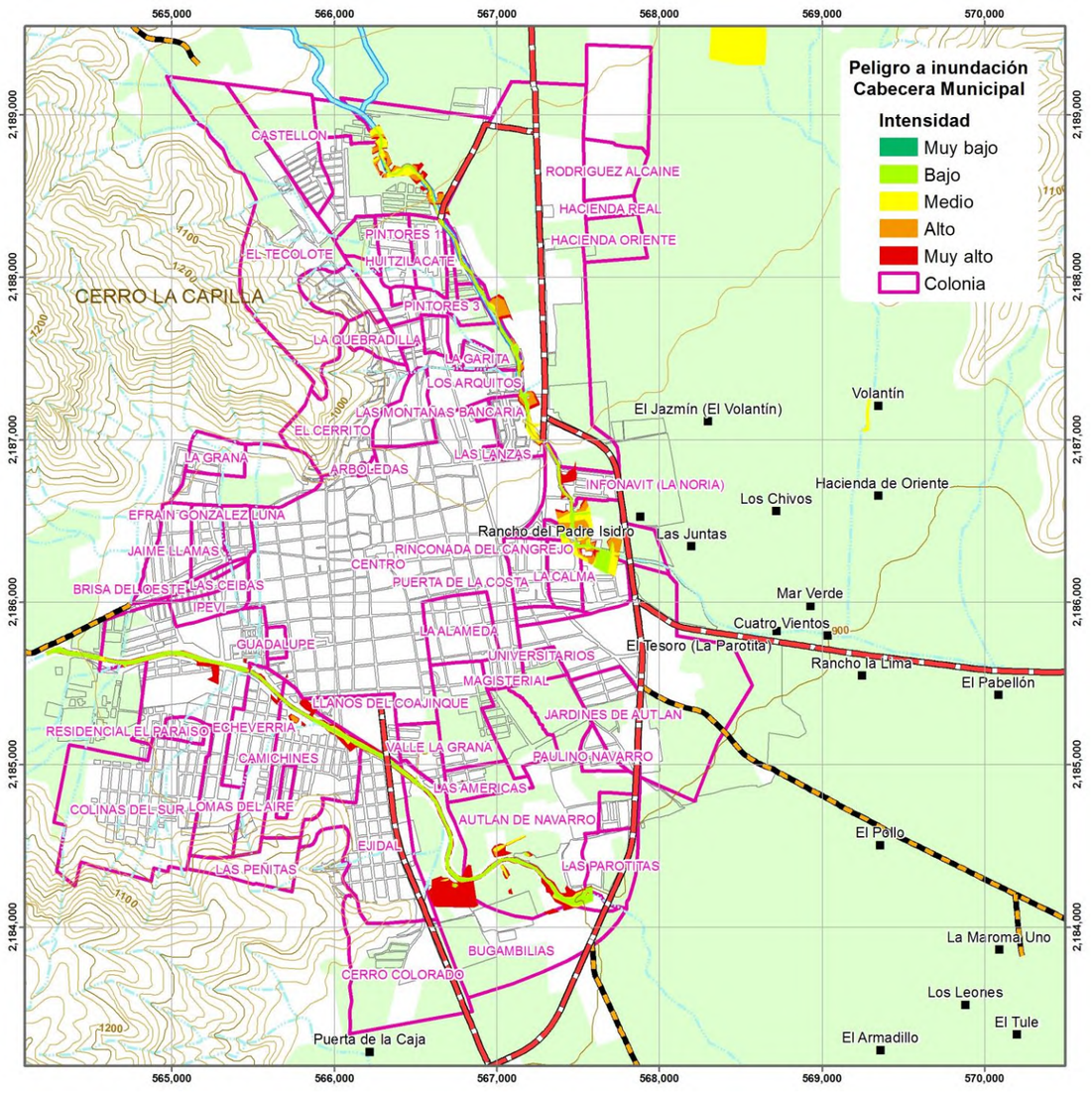
Imagen 80. Planicie de inundación de arroyos Cangrejo-Jalocote, tr 100 años.

Fuente: Elaboración propia, sobre imagen de Google earth.

Imagen 81. Planicie de inundación de Arroyos Cuajinque y Cangrejo-Jalocote, tr 100 años.

Fuente: Elaboración propia, sobre imagen de Google earth.


Peligro a inundación
Intensidad
Muy bajo
Bajo
Medio
Alto
Muy alto
560,000
570,000
580,000
590,000
2,200,000
2,190,000
2,180,000
2,170,000
Agua Hedionda
El Jalocote
Mezquitán (San Francisco de Abajo)
Ayutita
AUTLÁN DE NAVARRO
Chiquihuitlán
El Encovado
La Noria
El Chacalito
EL GRULLO
EL LIMÓN
El Mentidero
Las Paredes
La Alzada
El Chante
Rincón de Luisa
Las Lagunillas (Lagunillas)
El Rodeo
Bellavista (El Castillo)
Tecomatlán
Ahuacapán
Yerbabuena
LA RESOLANA


Peligro a inundación
Cabecera Municipal
Intensidad
Muy bajo
Bajo
Medio
Alto
Muy alto
Colonia
565,000
566,000
567,000
568,000
569,000
570,000
2,189,000
2,188,000
2,187,000
2,186,000
2,185,000
2,184,000
CASTELLON
RODRIGUEZ ALCAINE
HACIENDA REAL
HACIENDA ORIENTE
PINTORES 1
EL TECOLOTE
HUITZILACATE
CERRO LA CAPILLA
PINTORES 2
LA QUEBRADILLA
LA GARITA
LOS ARQUITOS
LAS MONTAÑAS
BANCARIA
EL CERRITO
LAS LANZAS
LA GRANA
ARBOLEDAS
INFONAVIT (LA NORIA)
EFRAIN GONZALEZ LUNA
JAIME LLAMAS
CENTRO
RINCONADA DEL CANGREJO
PUERTA DE LA COSTA
LA CALMA
BRISA DEL OESTE
LAS CEIBAS
IPEVI
LA ALAMEDA
GUADALUPE
UNIVERSITARIOS
MAGISTERIAL
LLANOS DEL COAJINQUE
JARDINES DE AUTLAN
RESIDENCIAL EL PARAISO
ECHEVERRIA
VALLE LA GRANA
CAMICHINES
PAULINO NAVARRO
LAS AMERICAS
COLINAS DEL SUR
LOMAS DEL AIRE
AUTLAN DE NAVARRO
EJIDAL
LAS PEÑITAS
LAS PAROTITAS
BUGAMBILIAS
CERRO COLORADO
Puerta de la Caja
El Jazmín (El Volantín)
Volantín
Hacienda de Oriente
Los Chivos
Las Juntas
Rancho del Padre Isidro
Mar Verde
Cuatro Vientos
El Tesoro (La Parotita)
Rancho la Lima
El Pabellón
El Pollo
La Maroma Uno
Los Leones
El Tule
El Armadillo
1100
1200
1300
1000
900

Capítulo 6. Vulnerabilidad

Capítulo 6. Vulnerabilidad

6.1 Vulnerabilidad Social

El municipio de Autlán de Navarro por su ubicación geográfica y condiciones naturales ha sido impactado por diferentes peligros geológicos e hidrometeorológicos a lo largo de su historia, siendo los peligros más recurrentes flujos de lodo, tierra y suelo ocasionado por corrientes hidrológicas, inundaciones en cuencas urbanas y deslizamiento de ladera inestables, afectando los sistemas expuesto, principalmente la población, la infraestructura social y productiva, en este sentido determinar la vulnerabilidad social que a menudo es la más difícil de definir.

Basados en la metodología que propone la Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos CENAPRED 2006a[1], enfocados para determinar la Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social, teniendo como principal objetivo identificar las características de la población susceptible de sufrir daño, en su persona o bienes que posea, a consecuencia de algún fenómeno natural geológico e hidrometeorológicos.

Cabe señalar que es necesario para la estimación de la vulnerabilidad, medir la capacidad de prevención y respuesta que tenga el municipio, a través de su unidad municipal de protección civil y bomberos, esto está definido por los planes de contingencia, organización y recursos para atender emergencias presentadas en el territorio del municipio de Autlán de Navarro.

Es conveniente apuntar que a través del tiempo el concepto de vulnerabilidad social se ha relacionado estrechamente con estudios de pobreza y marginación. Sin embargo, diversos autores han llegado a la conclusión de que la vulnerabilidad social es aquella propensión que tiene la población de caer, en un momento determinado, en una condición de pobreza y marginación. Obviamente muchos de estos estudios, no toman en cuenta elementos externos que puedan llegar a incrementar las probabilidades de que una población se encuentre en estos parámetros de pobreza y marginación, como son los desastres naturales.

La vulnerabilidad social es consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación. Asimismo, la vulnerabilidad social ante los desastres naturales se define *como una serie de factores económicos, sociales y culturales que determinan el grado en el que un grupo social está capacitado para la atención de la emergencia, su rehabilitación y recuperación frente a un desastre*[2]

Para poder estimar la vulnerabilidad social asociada a desastres según la definición anterior, la presente metodología se divide en tres partes: la primera permitirá una aproximación al grado de vulnerabilidad de la población con base en sus condiciones sociales y económicas, que estará determinado por el índice de rezago social del Consejo Nacional de Evaluación (CONEVAL), donde incorpora indicadores de educación, acceso a servicios de salud, de servicios básicos, de calidad y espacios en la vivienda, y activos en el hogar.

Se propone utilizar el indicador de rezago social debido a que se basa en técnica estadística avanzadas, la cual permitió combinar información de indicadores de carencias en un índice que sintetiza numéricamente diferentes dimensiones de la pobreza, utilizando el indicador de rezago para generar mapas de pobreza que permita diagnosticar la naturaleza multidimensional de la pobreza y a la vez se conviertan en una herramienta importante para la planeación y evaluación de la política en materia de desarrollo social.

La segunda parte está en función de la capacidad de respuesta que tiene la autoridad municipal para atender eventos, emergencias y desastres naturales, se recaba información cualitativa y está dirigida a los responsables de la unidad municipal de protección civil y bomberos.

La tercera parte es una muestra no probabilística debido a que se requiere tener una cobertura general del municipio que garantice la generación de modelos espaciales derivados del cuestionario aplicados a la población mayor de 18 años, donde se determina la percepción local de riesgo que es parte fundamental en materia de protección civil. Debido a la premisa que, si una población que identifican los peligros naturales del entorno, se mantiene informada, acata las recomendaciones de protección civil y sabe cómo reaccionar en caso de una emergencia, tiene mayor posibilidad de asumir una postura preventiva y de reacción de manera adecuada antes, durante y después de una emergencia.

El cálculo del índice de vulnerabilidad social (IM) a partir de las estimaciones del rezago social, capacidad de respuesta y percepción local del riesgo, está definido por la siguiente ecuación.

$$GVS = (R1 * 0.50) + (R2 * 0.25) + (R3 * 0.25)$$

$GVS = El\ grado\ de\ Vulnerabilidad\ Social\ asociada\ a\ desatre$
$R1 = Resultado\ del\ índice\ de\ Rezago\ Social$

[1] Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social)

[2] *Kuroiwa, Julio, "Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza", Lima, Enero 2002.*

$R2 = Resultado\ del\ cuestionario\ capacidad\ de\ respuesta$
$R3 = Resultado\ del\ cuestionario\ percepción\ local\ de\ riesgo$

6.2 Rezago social

El Índice de Rezago Social es una medida ponderada que resume cuatro indicadores de carencias sociales (educación, salud, servicios básicos y espacios en la vivienda) en un solo índice que tiene como finalidad ordenar a las unidades de observación según sus carencias sociales.

La estimación de este Índice tiene como fuente de información la base de datos "Censo de Población y Vivienda 2010", que incorpora a la construcción del índice los siguientes indicadores:

1. Porcentaje de la población de 15 años y más analfabeta.
2. Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela.
3. Porcentaje de la población de 15 años o más con educación básica incompleta.
4. Porcentaje de j la población sin derechohabiencia a servicios de salud.
5. Porcentaje de las viviendas particulares habitadas con piso de tierra.
6. Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario.
7. Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada de la red pública.
8. Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje.
9. Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica.
10. Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de lavadora.
11. Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador.

A partir de los valores del índice de rezago social se generan dos modelos de estudio y de representación a diferente escala, modelo municipal de Autlán de Navarro que está en función de las localidades y a nivel de la cabecera municipal, con unidad de medida basados en el área geoestadística básica (Ageb)

Para el modelo municipal se consideraron 46 localidades a las cuales se estimó el índice de rezago social. Véase tabla 6-1.

Tabla 6-1. Índice de rezago social

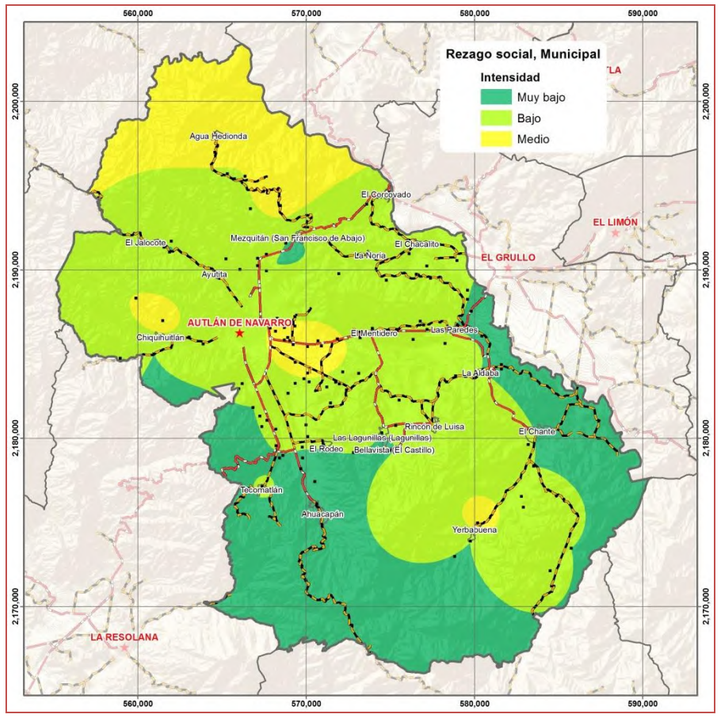
CLAVE	NOMBRE LOCALIDAD	POBLACIÓN	GRADO
140150001	Autlán de Navarro	45382	Muy bajo
140150003	Agua Hedionda	237	Medio
140150005	Ahuacapán	985	Muy bajo
140150007	La Aldaba	272	Muy bajo
140150009	Ayutita	334	Muy bajo
140150011	Bellavista (El Castillo)	295	Muy bajo
140150017	Casa de Piedra	30	Muy bajo
140150019	La Sidrita	97	Muy bajo
140150020	Colonia Melchor Ocampo [Ingenio]	44	Muy bajo
140150022	El Corcovado	1295	Bajo
140150023	Yerbabuena	203	Muy bajo
140150024	Cruz de Piedra	23	Bajo
140150025	El Chacalito	286	Muy bajo
140150027	El Chante	1880	Muy bajo
140150028	Chiquihuitlán	237	Bajo
140150038	El Higueral	17	Muy bajo
140150039	Las Higueras	5	Muy bajo
140150042	El Jalocote	192	Bajo
140150046	Las Lagunillas (Lagunillas)	836	Muy bajo
140150047	La Lima de los Gómez	91	Muy bajo
140150048	El Limoncito	21	Muy bajo
140150053	El Mentidero	1406	Bajo
140150055	Mezquitán (San Francisco de Abajo)	885	Muy bajo
140150060	La Noria	175	Muy bajo
140150063	El Pabellón	13	Medio
140150064	Las Paredes	755	Muy bajo
140150068	Los Pozos	42	Bajo
140150075	Rincón de Luisa	346	Muy bajo
140150077	El Rodeo	170	Muy bajo
140150081	Tecomatlán	129	Muy bajo
140150082	Tecopatlán	58	Muy bajo
140150085	La Tuna	30	Bajo

CLAVE	NOMBRE LOCALIDAD	POBLACIÓN	GRADO
140150086	Volantín	63	Bajo
140150116	Colonia Mezquitán	48	Muy bajo
140150120	Las Peñitas	17	Medio
140150134	San Francisco de Arriba	73	Medio
140150152	Las Juntas	30	Medio
140150175	Clavellinas (El Pedregal)	13	Medio
140150180	La Angostura	38	Muy bajo
140150242	La Soledad	26	Bajo
140150288	Los Chivos	10	Medio
140150301	El Jazmín (El Volantín)	9	Bajo

Fuente: Índice rezago social 2010, CONEVAL

A partir de las localidades se generó un modelo de regiones homogéneas, determinado por el grado de cada una de las localidades (muy bajo, bajo y medio). Para determinar las regiones homogéneas a nivel cartográfico, se empleó el método de vecindad con una interpolación lineal. Véase Figura 6-1.

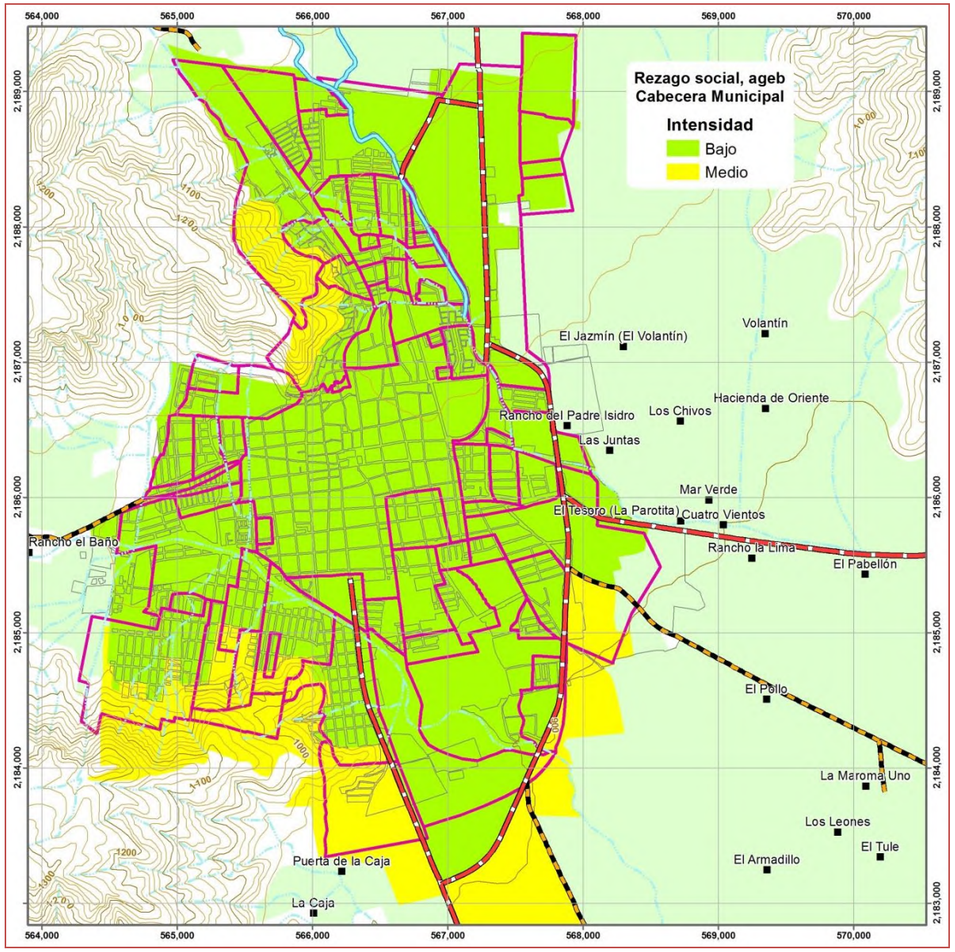
Figura 6-1. Modelo de rezago social a nivel municipal, Autlán



Fuente: Elaboración propia con base en el Índice rezago social 2010, CONEVAL.

De la misma manera se procesa la información del índice de rezago social a nivel de Ageb de la cabecera municipal de Autlán, normalizando los valores conforme a lo estipulado en los rangos de vulnerabilidad social por CENAPRED 2006ª. Véase Figura 6-2.

Figura 6-2. Modelo de rezago social a nivel Ageb, cabecera municipal Autlán



Fuente: Elaboración propia con base en el Índice rezago social 2010, CONEVAL.

Una vez estructurado los modelos de rezago social y de acuerdo a lo planteado por CENAPRED 2006a es necesario normalizar los valores del índice para cada unidad geográfica por el producto constante de 0.50.

6.2.1 Capacidad de respuesta

La segunda parte de la metodología para determinar la vulnerabilidad social, tiene que ver con la autoridad municipal encargada de atender eventos, emergencias y desastres ocasionados por algún fenómeno natural o antrópico, se realiza mediante un cuestionario que permite medir la capacidad de respuesta de la institución encargada de la protección civil. El cuestionario[3] se diseña con preguntas básicas sobre el equipamiento y recursos con los que se cuenta, así como en el conocimiento de los recursos, programas, planes, información, capacitación, entrenamiento, etc., con los que dispone el organismo en caso de una emergencia, por lo que está dirigido al responsable de ésta.

Para la aplicación del cuestionario se entrevistó al director de la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos del municipio de Autlán, (APC). Mtro. Juan Ignacio Arroyo Verástegui, manifestando que en caso de alguna emergencia el municipio se encuentra muy bien evaluado y capacitado para realizar las tareas en atención a la población en cuestión de protección civil.

Su alta capacidad de respuesta, derivada de los datos obtenidos del cuestionario, refiere a una condición de vulnerabilidad “Muy Bajo” permitiendo hacer frente a una contingencia, ya que si ésta es oportuna, la vuelta a la normalidad se realizará en un periodo de tiempo más corto y la dinámica de la población no se verá afectada gravemente.

La evaluación del cuestionario se basa en dos tipos de respuestas, las afirmativas donde se asignan el valor de 0 y las negativas con el valor de 1, concluyendo que entre menor sea la capacidad de respuesta de la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos del municipio de Autlán, mayor será la vulnerabilidad de la población y viceversa. Véase Figura 6-3.

Figura 6-3. Cuestionario para evaluar capacidad de respuesta

3 cuestionario se diseñó con base en las características mínimas con que en teoría debería contar la institución para poder funcionar óptimamente (según la experiencia y las visitas a distintas unidades realizadas por el Área de Estudios Económico y Sociales del CENAPRED)

Suma: 2
Grado: Muy Alta
Valor: 0

SEDATU | Autlán

Encuesta sobre: Vulnerabilidad Social para la elaboración del Atlas de Riesgos por Fenómenos Naturales, Químicos, Sanitarios y Socio-organizativos del Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco.

Capacidad de Respuesta de Riesgo

Fecha: 09/12/16 Región: Sierra de Amula No. de encuesta
Entrevistador Gabriela Localidad Autlán de Navarro

Capacidad de respuesta de la **Unidad Municipal de Protección Civil** por fenómenos: Fenómenos Naturales y Químicos del Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco.

No.	Indicador/Pregunta	Rango a) Si	b) No	
1	¿El municipio cuenta con una Unidad de Protección Civil o con algún comité u organización comunitaria de gestión del riesgo que maneje la prevención, mitigación, preparación y la respuesta?	SI	No	0
2	¿Cuenta con algún plan de emergencia?	SI	No	0
3	¿Cuenta con un consejo municipal el cual podría estar integrado por autoridades municipales y representantes de la sociedad civil para en caso de emergencia organice y dirija las acciones?	SI	No	0
4	¿Existe una normatividad que regule las funciones de Protección Civil (por ejemplo; manual de organización)?	SI	No	0
5	¿Conoce algún programa de apoyo para la prevención, mitigación y/o atención de desastres?	SI	No	0
6	¿Cuenta con algún mecanismo de alerta temprana?	Si	No	1
7	¿Cuenta con canales de comunicación (organización a través de los cuales se pueden coordinar en otras instituciones, áreas o personas en caso de una emergencia?	SI	No	0
8	¿Las instituciones de salud municipales cuentan con programas de atención a la población (trabajo social, psicológico, vigilancia epidemiológica) en caso de desastre?	SI	No	0
9	¿Tiene establecidas las posibles rutas de evacuación y acceso (caminos y carreteras) en caso de una emergencia y/o desastre?	SI	No	0
10	¿Tiene establecidos los sitios que pueden fungir como helipuertos?	SI	No	0
11	¿Tiene ubicados los sitios que pueden funcionar como refugios temporales en caso de un desastre?	SI	No	0

1

SEDATU | Autlán

12	¿Tiene establecido un stock de alimentos, cobertores, colchones y pacas de lámina de cartón para casos de emergencia?	SI	No	0
13	¿Tiene establecido un vínculo con centros de asistencia social (DIF, DICONSA, LICONSA, etc.) para la operación de albergues y distribución de alimentos, cobertores, etc.?	SI	No	0
14	¿Se llevan a cabo simulacros en las distintas instituciones (escuelas, centros de salud, etc.) sobre qué hacer en caso de una emergencia y promueve un Plan Familiar de Protección Civil?	SI	No	0
15	¿Cuenta con un número de personal activo?	SI	No	0
16	¿El personal está capacitado para informar sobre qué hacer en caso de una emergencia?	SI	No	0
17	¿Cuenta con mapas o croquis de su localidad que tengan identificados puntos críticos o zonas de peligro?	SI	No	0
18	¿Cuenta con el equipo necesario en su Unidad para la comunicación tanto para recibir como para enviar información (computadora, Internet, fax, teléfono, etc.)?	SI	No	0
19	¿Cuenta con acervos de información históricos de desastres anteriores a las acciones que se llevaron a cabo para atenderlos?	SI	No	0
20	¿Cuenta con equipo para comunicación estatal y/o municipal (radios fijos, móviles y/o portátiles)?	SI	No	0
21	¿Cuenta con algún Sistema de Información Geográfica (SIG) para procesar y analizar información cartográfica y estadística con el fin de ubicar con coordenadas geográficas los puntos críticos en su localidad?	SI	No	0
22	¿Cuenta con algún Sistema de Geoposicionamiento Global (GPS) para georreferenciar puntos críticos en su localidad?	SI	No	1
23	¿Cuál es el grado promedio de escolaridad que tiene el personal activo?	LICENCIATURA		
24	¿Qué actividades realizan Normalmente ATENCION DE ACCIDENTES, INCENDIOS, INSPECCIONES TRASLADO			

Datos de la persona encuestada: Edad 51 Sexo MASCULINO
Escolaridad MAESTRIA
Puesto en Unidad Municipal de Protección Civil DIRECTOR OFIA COORDINACIÓN

2

Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

En el caso de la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos del municipio de Autlán, el puntaje final obtenido en el cuestionario fue de 2, que de acuerdo a lo establecido por CENAPRED 2006a la calificación final de la capacidad de respuesta es **muy alto**. Véase Tabla 6-2.

Tabla 6-2.Resultado del cuestionario capacidad de respuesta

Rangos con respecto a la suma de las respuesta	Capacidad de prevención y respuesta	Valor asignado según condición de vulnerabilidad
De 0 a 4	**Muy Alto**	**0**
De 4.1 a 8	Alto	0.25
De 8.1 a 12	Medio	0.5
De 12.1 a 16	Bajo	0.75
16.1 ó más	Muy Bajo	1

Fuente: CENAPRED 2006a.

6.2.2 Percepción local

La tercera parte también consta de un cuestionario y se refiere a la percepción local de riesgo, es decir, el imaginario colectivo que tiene la población acerca de las amenazas que existen en su comunidad y de su grado de exposición frente a las mismas.

De lo anterior es importante subrayar que el riesgo es directamente proporcional a la percepción que de él se tenga, debido al grado de conocimiento que se tenga y a la aceptación. Como explica Martín y Murgida (2004), más que sobre la base de las características físico-naturales y sociales propias del área, el riesgo se construye socialmente con base a la percepción de dicha situación y a su interpretación desde la óptica del grupo social (lo que implica controlarlo, reconstruirlo, resignificarlo y ejecutar acciones para enfrentarlo). La percepción del riesgo es entonces un producto social y en sí misma una construcción cultural, en donde dependiendo del contexto se aceptan o no determinados riesgos.

La percepción debe ser vista como un proceso multidimensional, es decir, “las informaciones son recibidas desde el mundo real y son percibidas en función de un proceso sociocultural en el que intervienen tanto los valores del individuo, su personalidad, sus experiencias pasadas, su grado de exposición al riesgo, así como su nivel social, económico y cultural (Chardon, 1997. Citando a Lecompte, 1995; Weinberg, 1995; p.5).

Es por esta razón que cuando se habla de la percepción del riesgo, se hace referencia a la misma como un producto socio-cultural complejo, que antes de ser un hecho aislado, es en su totalidad una variedad de la personalidad y de la conformación histórica de esta última en relación con un determinado contexto (Karam y Bustamante, s.f).

Como premisa de lo anterior se hace evidente que el riesgo va a ser percibido de manera distinta según la persona, ya que dicha percepción se va ver influenciada por el marco de referencia personal, familiar y comunitaria en que dicho individuo esté inmerso.

En el caso del municipio de Autlán se aplicó un cuestionario que permitió estimar la percepción local del riesgo que se tiene en el municipio. El cuestionario contempla 25 preguntas que busca de manera muy general dar un panorama de la percepción de la población acerca del riesgo. En este caso, la importancia de las preguntas se enfoca tanto a la percepción de los peligros en su entorno, así como la manera en que consideran las acciones preventivas en su comunidad y la información o preparación que poseen acerca de cómo enfrentar una emergencia.

El cuestionario se aplicó estratégicamente en dos ámbitos, rural y urbano, con la finalidad de tener continuidad territorial en todo el municipio y que permitiera modelar espacialmente la percepción local del riesgo. Véase la Figura 6-4.

Figura 6-4. Cuestionario para evaluar la percepción local.

Suma: 10.25 AY-PS-04
Grado: Media
Valor: 0.50

SEDATU — SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO | Autlán

Encuesta sobre: Vulnerabilidad Social para la elaboración del Atlas de Riesgos por Fenómenos Naturales, Químicos, Sanitarios y Socio-organizativos del Municipio de Autlán de Navarro, Jalisco.

Percepción Local

Fecha: 27/01/2017 Región: Sierra de Amula No. de encuesta
Entrevistador Gaby Localidad Agrilla

Encuesta de percepción local por fenómenos: Hidrometeorológicos, Geológicos y Químicos, para los **habitantes** de localidades del municipio de Autlán de Navarro, Jalisco.

No.	Indicador/Pregunta		Rango a)	b)	c)	
1	¿Dentro de los peligros que existen (ver cuadro) cuántos tipos de fuentes de peligro identifica en su localidad?					0.5
Geológicos:	Sismos; Deslizamiento de suelo (deslaves); Maremotos; Hundimientos; Volcanes; Agrietamientos; Flujos de lodo					
Hidrometeorológicos:	Ciclones; Nevadas; Tormentas eléctricas; Sequías; Inundaciones pluviales; Heladas; Vientos; Inundaciones fluviales; Lluvias torrenciales; Temperaturas extremas; Granizada; Trombas; Erosión					
Químicos	Incendios forestales; Derrames de sustancias peligrosas; Incendios urbanos; Fuentes móviles; Explosiones; Fugas					
2	¿Respecto a los peligros mencionados en la pregunta no. 1, recuerda o sabe si ha habido emergencias asociadas a éstas amenazas en los últimos años?		Sí	No	No sé	0
3	¿Considera que un fenómeno natural se puede convertir en desastre?		Sí	No	No sé	0
4	¿Considera que su vivienda está localizada en un área susceptible de amenazas (que se encuentre en una ladera, en una zona sísmica, en una zona inundable, etc.)?		Sí	No	No sé	1
5	¿Ha sufrido la pérdida de algún bien a causa de un desastre natural?		Sí	No	No sé	1
6	En caso que recuerde algún desastre, ¿se presentaron daños en comunidad?		Ninguna (daños leves a viviendas e infraestructura (bien))	Personas fallecidas, algunas viviendas con daño total y daños a la infraestructura (media)	Personas fallecidas, daño total en muchas viviendas y daños graves en infraestructura (alta)	0.25
7	¿Alguna vez ha quedado aislada su comunidad a causa de la interrupción de vías de comunicación por algunas horas, debido a algún tipo de fenómeno?		Sí	No	No sé	0
8	¿Cree que en su comunidad se identifican los peligros?		Sí	No	No sé	1

1

SEDATU — SECRETARÍA DE DESARROLLO AGRARIO, TERRITORIAL Y URBANO | Autlán

9	¿Conoce algún programa, obra o institución que ayuda a disminuir efectos de fenómenos naturales (construcción de bordos, presas, terrazas, sistema de drenaje, sistema de alertamientos, etc.)?	Sí	No	No sé	1
10	¿En los centros educativos de su localidad o municipio se enseñan temas acerca de las consecuencias que trae consigo un fenómeno natural?	Sí	No	No sé	0
11	¿Alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes?	Sí	No	No sé	0
12	En caso de haberse llevado campañas de información, ¿cómo se enteró?	No se enteró/ No ha habido campañas	A través de medios impresos	A través de radio y televisión	0
13	¿Ha participado en algún simulacro en alguna ocasión?	Sí	No	No sé	1
14	¿Sabe a quién o a dónde acudir en caso de una emergencia?	Sí	No	No sé	1
15	¿Sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para dar aviso a la población sobre alguna emergencia?	Sí	No	No sé	1
16	En caso de haber sido afectado a causa de un fenómeno natural, ¿se le brindó algún tipo de apoyo?	Sí	No	No sé	0
17	¿Ha sido evacuado a causa de un fenómeno natural (inundación, sismo, erupción)?	Sí	No	No sé	1
18	De acuerdo con experiencias anteriores, ¿considera que su comunidad está lista para afrontar una situación de desastre, tomando en cuenta las labores de prevención?	Sí	No	No sé	0
19	¿Existe en su comunidad localidad/municipio alguna organización que trabaje en la atención de desastres?	Sí	No	No sé	1
20	¿Conoce la existencia de la Unidad de Protección Civil?	Sí	No	No sé	0
21	¿Sabe dónde está ubicada y qué función desempeña la Unidad de Protección Civil?	Sé dónde se encuentra y sus funciones	No sé dónde se encuentra y no sé qué hace	Sé qué hace pero no sé dónde se encuentra	0
22	¿Estaría preparado para enfrentar otro desastre como el que enfrentó?	Sí	No	No sé	0
23	¿Considera que su comunidad puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?	Sí	No	No sé	0
24	¿Qué tanto puede ayudar la Unidad de Protección Civil, puede afrontar una situación de desastre y tiene la información necesaria?	Sí	No	No sé	0.5
25	¿Si usted tuviera la certeza de que su vivienda se encuentra en peligro estaría dispuesto a reubicarse?	Sí	No	No sé	0

Datos de la persona encuestada:
Edad 58 Sexo Femenino Escolaridad Primaria
Lugar de procedencia: Agrilla Colonia:
Calle: Justino Ortiz Años de vivir en el domicilio 39

2

Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

La muestra para la zona rural se basó en 25 localidades. Véase Tabla 6-3.

Tabla 6-3.Rangos (percepción local del riesgo zona rural)

PERCEPCIÓN SOCIAL
LOCALIDADES AUTLÁN DE NAVARRO

Localidad	Población Total	N° Encuestas	Σ Valores	Índice	Grado
Agua Hedionda	237	5	14.9	Media	0.5
Ahuacapán	985	6	11	Media	0.5
Ayutita	334	5	14.05	Media	0.5
Bellavista (El Castillo)	295	5	13.95	Media	0.5
El Chacalito	286	5	8.05	Alta	0.25
El Chante	1880	10	17.25	Baja	0.75
El Corcovado	1295	10	11.35	Media	0.5
El Jalocote	192	5	11.15	Media	0.5
El Limoncito	21	1	16.25	Baja	0.75
El Mentidero	1406	10	13.25	Media	0.5
El Rodeo	170	4	15.75	Baja	0.75
La Aldaba	272	5	16.45	Baja	0.75
La Lima de los Gómez	91	4	11.63	Media	0.5
La Noria	175	4	15.75	Baja	0.75
La Sidrita	97	4	15.44	Baja	0.75
La Tuna	30	1	20.25	Muy Baja	1
Las Lagunillas	836	6	12.63	Media	0.5
Las Paredes	755	6	11.58	Media	0.5
Mezquitán	885	6	12.58	Media	0.5
Rincón de Luisa	346	5	14.55	Media	0.5
San Francisco de Arriba	73	3	6.75	Alta	0.25
Tecomatlán	129	4	15	Baja	0.75
Tecopatlán	58	4	14.88	Media	0.5
Volantín	63	4	6.5	Alta	0.25
Yerbabuena	203	5	12.95	Media	0.5

Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

Para la asignación de los valores del índice de percepción y el grado, está en función de la sumatoria y el promedio de cada encuesta aplicada en las localidades y se normalizan los valores mediante lo estipulado en la metodología de CENAPRED 2006ª. Véase Tabla 6-3.

Tabla 6-4. Rangos (percepción local)

Rangos	Percepción Local	Valor asignado según vulnerabilidad
De 0 a 5.0	Muy Alta	0
De 5.1 a 10	Alta	0.25
De 10.1 a 15.0	**Media**	**0.50**
De 15.1 a 20.0	Baja	0.75
Más de 20.0	Muy Baja	1

Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

La percepción local del riesgo da como resultado el promedio de los valores calculados de 13.36 que en la tabla de rangos corresponde al valor de 0.50 de calificación y por consiguiente un grado de nivel **Medio**, se tiene cierta percepción de los peligros ya que en el municipio se han registrados eventos relacionados con inundaciones, hundimientos, deslizamiento, sismos.

Con respecto a la distribución espacial de la vulnerabilidad por percepción local del riesgo se encuentra que el municipio de Autlán, los niveles más bajos de percepción se ubican en zonas centro-este que agrupan a las localidades:

El Chante, El Limoncito, El Rodeo, La Aldaba, La Noria, La Sidrita, La Tuna, Tecomatlán. Véase Figura 6-5.

La muestra para levantar la percepción local del riesgo en la zona urbana se determinó mediante un taller realizado con el personal operativo de la Unidad Municipal de Protección Civil y Bomberos, teniendo como resultado puntos focales donde históricamente la población convive con peligros geológicos e hidrometeorológicos, ubicados en 23 colonias en la cabecera municipal de Autlán.

Tabla 6-5. Rangos (percepción local del riesgo zona urbana)

PERCEPCIÓN SOCIAL
COLONIAS EN LA CABECERA: AUTLÁN DE NAVARRO

Nombre de Colonias en la Cabecera de Autlán de Navarro	Población Total	N° Encuestas	Σ Valores	Índice	Grado
Bugambilias	171	3	13.75	Media	0.5
Camichines	1946	6	11.25	Media	0.5
Castellón	239	3	12.08	Media	0.5
Cerro Colorado	758	5	10.55	Media	0.5
Colinas Del Sur	3054	4	11.5	Media	0.5
Colonos Alameda	117	3	13.08	Media	0.5

Nombre de Colonias en la Cabecera de Autlán de Navarro	Población Total	N° Encuestas	Σ Valores	Índice	Grado
Efraín González Luna	390	4	11.13	Media	0.5
El Cerrito	2063	6	15.58	Baja	0.75
El Tecolote	1055	5	12.65	Media	0.5
Guadalupe	316	4	8.63	Alta	0.25
Infonavit (La Noria)	583	4	10.25	Media	0.5
La Obrera	2644	6	11.25	Media	0.5
La Quebradilla	705	5	12.75	Media	0.5
Las Parotitas	210	3	9.75	Alta	0.25
Lomas Del Aire	344	6	14.17	Media	0.5
Los Arquitos	631	5	12.25	Media	0.5
Marcelino García Barragán (Azucarera)	887	5	11.95	Media	0.5
Paulino Navarro	93	3	14.08	Media	0.5
Centro	10265	7	11.54	Media	0.5
Las Peñitas	0	4	9.63	Alta	0.25
Sin Nombre 1	771	5	10.95	Media	0.5
Sin Nombre 2	307	4	12.88	Media	0.5
Sin Nombre 3	438	4	11.88	Media	0.5

Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

Para completar el modelo de percepción local, se determinó aplicar encuestas a los sectores de salud y educación, con la finalidad de conocer si los responsables de los planteles tienen o no conocimiento sobre la existencia de riesgo, y en caso de haber vivido una experiencia de desastre cual fue su protocolo de acción para mitigar los efectos. Véase las Tablas 6-5 y 6-6.

Tabla 6-6.Tabla de rangos, percepción local del riesgo en el sector educativo

Nivel	Localidad y Colonias	Σ Valores	Índice	Grado
Secundaria	El Mentidero	1	Muy Alta	0
Primaria	El Mentidero	5	Media	0.5
Primaria	Bellavista	3	Alta	0.25
Secundaria	Ahuacapan	4.5	Alta	0.25
Secundaria	Las Lagunillas	2	Muy Alta	0
Primaria	Las Lagunillas	2	Muy Alta	0
Primaria	El Corcovado	4	Alta	0.25
Secundaria	El Corcovado	3	Alta	0.25
Preescolar	El Corcovado	2	Muy Alta	0
Preescolar	Mezquitán	2.8	Alta	0.25
Primaria	Mezquitán	4.5	Alta	0.25
Primaria	Los Pozos	4	Alta	0.25
Secundaria	Rincón de Luisa	5.25	Media	0.5
Primaria	La Sidrita	1	Muy Alta	0
Secundaria	El Chante	2	Muy Alta	0
Primaria	El Chante	2.5	Alta	0.25
Primaria	El Rodeo	5	Media	0.5
Primaria	El Chacalito	2	Muy Alta	0
Secundaria	Agua Hedionda	1.5	Muy Alta	0
Primaria	Agua Hedionda	1	Muy Alta	0
Primaria	Las Paredes	4.5	Alta	0.25
Bachillerato	La Yerbabuena	3	Alta	0.25
Primaria	La Aldaba	5	Media	0.5
Secundaria	La Aldaba	3.5	Alta	0.25
Primaria	San Francisco de Arriba	3	Alta	0.25
Primaria	C. Sin Nombre 1	2.5	Alta	0.25
Secundaria	C. Sin Nombre 2	3	Alta	0.25
Primaria	C. Colinas del Sur	2.5	Alta	0.25
Primaria	C. El Tecolote	5	Media	0.5
Primaria	C. Marcelino García Barragán (Azucarera)	3.5	Alta	0.25
Secundaria	C. Marcelino García	1.5	Muy Alta	0

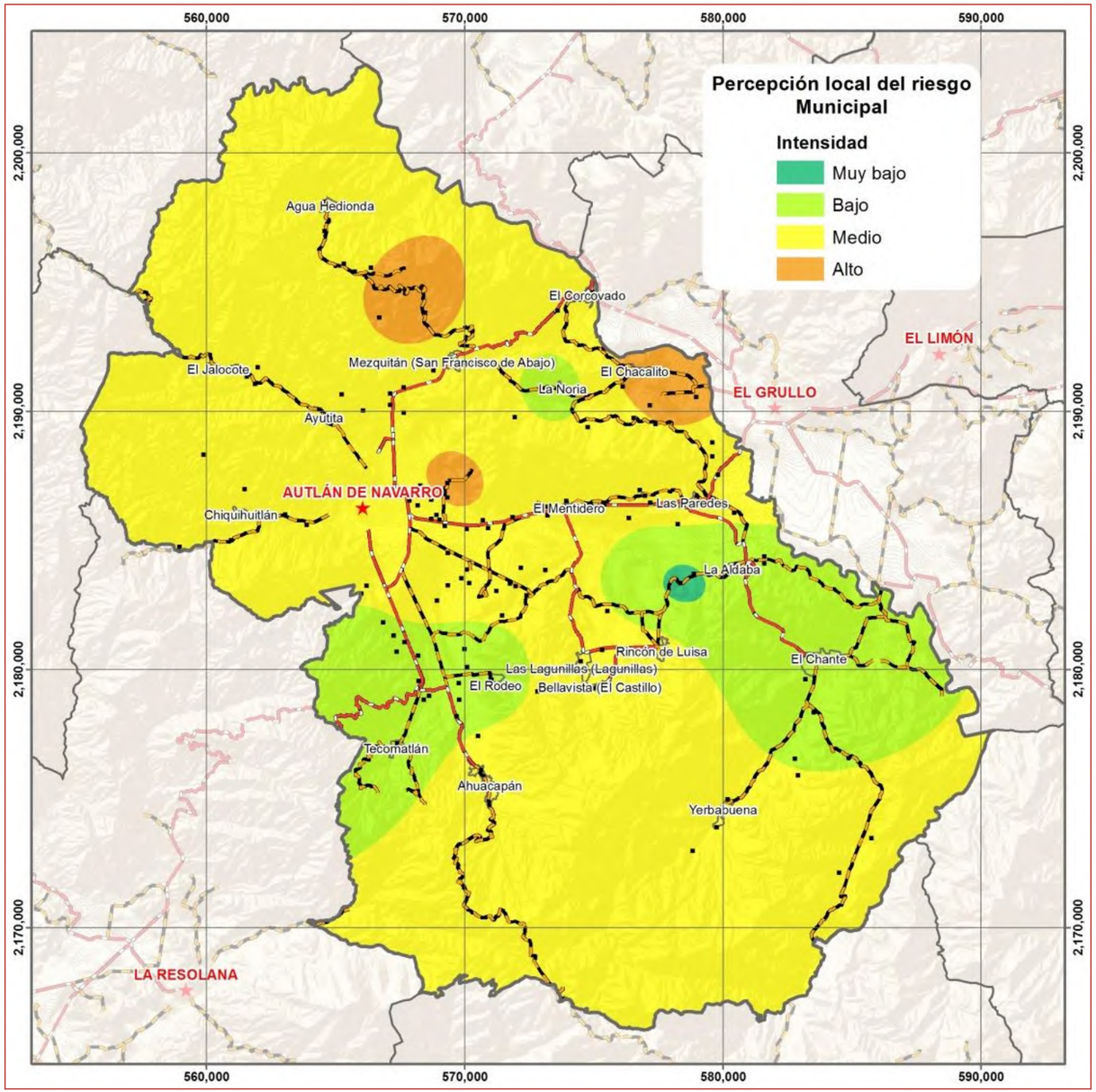
Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

Tabla 6-7. Tabla de rangos, percepción local del riesgo en el sector salud

Tipo	Localidad	∑ Valores	Índice	Grado
Centro de Salud	Las Lagunillas	6.5	Media	0.5
Casa de Salud	El Chacalito	4	Alta	0.25
C.S. Corcovado	El Corcovado	4	Alta	0.25
C.S. Ahuacapán	Ahuacapán	2	Muy Alta	0
Autlán 7	Bellavista	5	Alta	0.25
Casa de Salud	San Francisco de Arriba	3.5	Alta	0.25

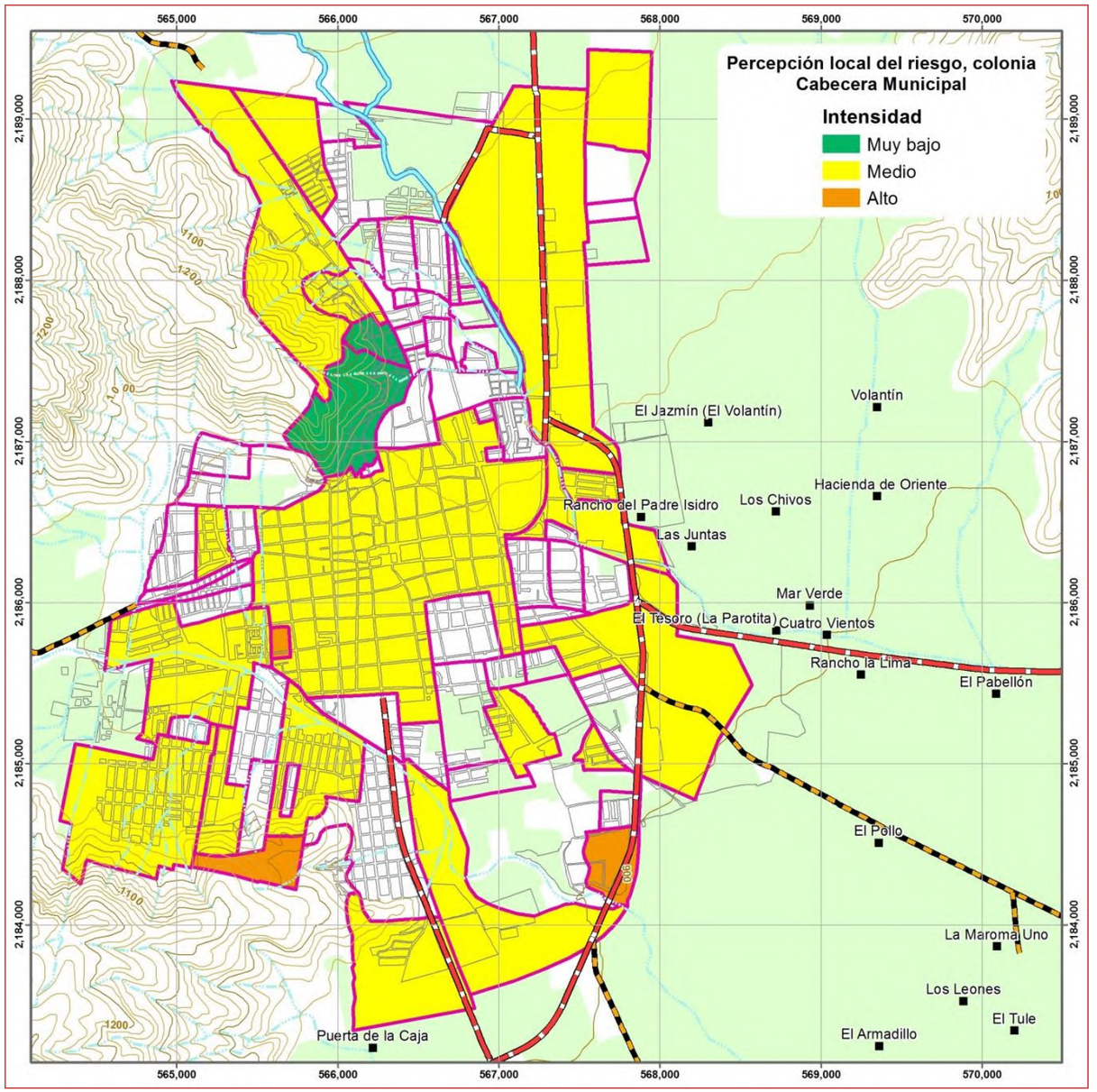
Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

Figura 6-5.Modelo espacial de percepción local del riesgo, municipal.



Fuente: Elaboración propia con base en el resultado de las encuestas de percepción local del riesgo.

Figura 6-6. Modelo espacial de percepción local del riesgo, cabecera.



Fuente: Elaboración propia con base en el resultado de las encuestas de percepción local del riesgo.

Resultados

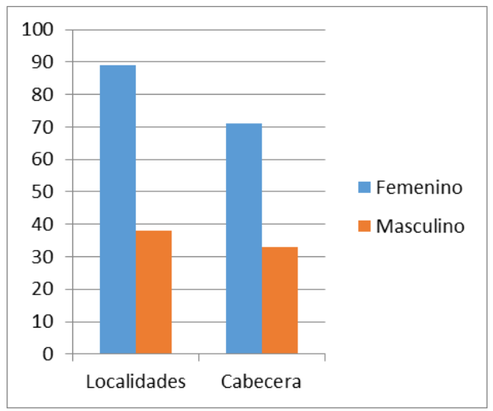
Se obtuvieron los siguientes resultados

Estas gráficas proporcionan indicadores de las respuestas por género, edad, y escolaridad para efectuar un análisis más profundo de comparación y direccional y así identificar las diferentes variables de percepción.

Género

En el municipio de Autlán de Navarro, se realizaron encuestas en la cabecera municipal, y localidades de los cuales la población del género femenino fue el predominante tanto en cabecera municipal con un 71% como en localidades con un 87%.Mientras que el género masculino en localidades con un 38% y un 33% en cabecera.

Gráfico 6-1. Genero de personas entrevistadas

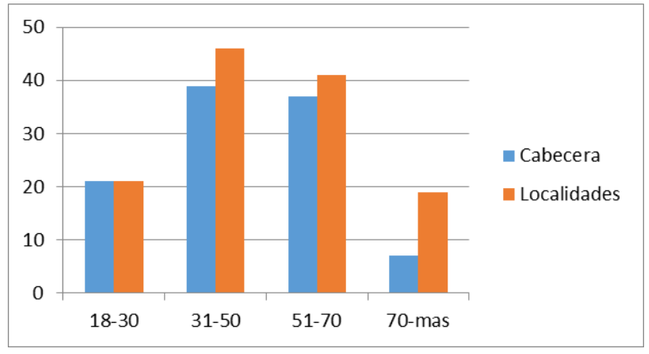


Fuente: Elaboración propia. Tabla de género de las personas entrevistadas

Edades

En las encuestas aplicadas se estandarizaron las edades en 4 categorías para los rangos de edad: 18 a 30 años, de 31 a 50 años, 51 a 70 años y 70 años y más. En la gráfica se puede observar que en las localidades como en la cabecera municipal que las edades predominantes de los encuestados la media fue de 31 a 50 años, consecutiva del rango de 50 a 70.

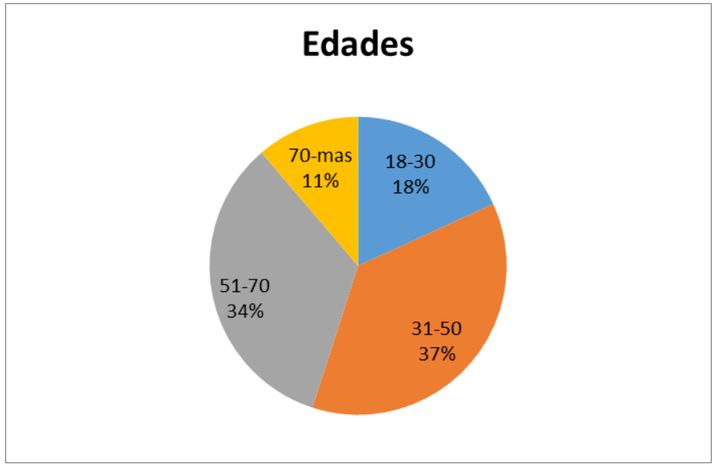
Gráfico 6-2. Edades de las personas encuestadas



Fuente: Elaboración propia. Tabla de edades de las personas entrevistadas

Se observa en la gráfica 6-3, la distribución del porcentaje de las categorías de edades, con un 37% para la categoría de 31-50 años, mientras que la de 51-70 años con una menor diferencia de con un 34%, con menor porcentaje de personas entrevistadas esta la categoría de 18-30años con un 18% y por último con un 11% el rango de 70 y más años.

Gráfico 6-3. Porcentaje de edades de personas entrevistadas

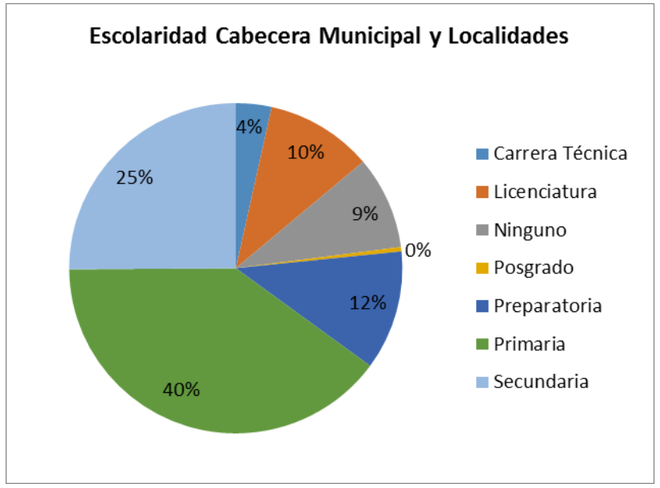


Fuente: Elaboración propia. Grafica de edades de las personas encuestadas.

Escolaridad

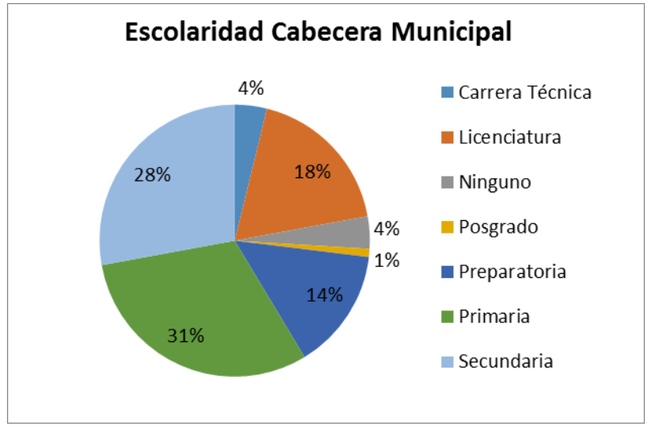
Los niveles de escolaridad mencionados en las personas encuestadas fueron: Posgrado, Licenciatura, Carrera Técnica, Preparatoria, Secundaria y Primaria.

La taza de escolaridad de la cabecera municipal como de localidades, más sobresaliente fue la primaria con un 40%, y con el 25% secundaria, continuo de la preparatoria con un 12%, un 10% con licenciatura, 9% Ninguno, 4% carrera técnica.

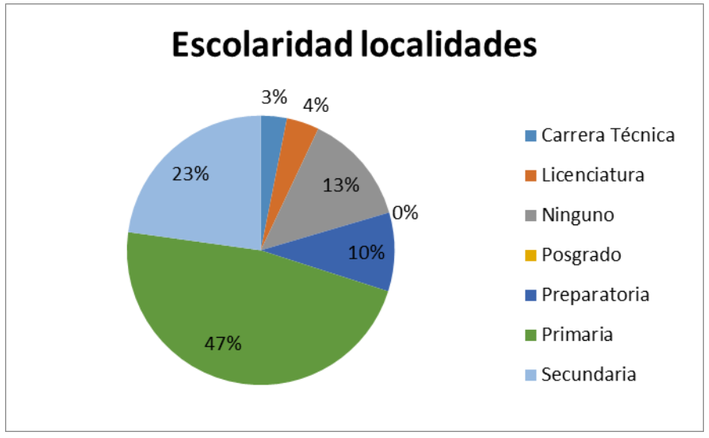


Fuente: Elaboración propia. Grafica de escolaridad de las personas encuestadas.

La educación predominante de las personas encuestadas dentro de la cabecera municipal la fue la primaria con un 31% mientras que en las localidades con un 47%, secundaria con un 28% en cabecera y en localidades con un 23%, licenciatura con un 18% en cabecera, con una notable diferencia de 4% en localidades, por lo que el localidades Ningún nivel de escolaridad es dominante con 13% a comparación con cabecera que solo tiene el 4%.



Fuente: Elaboración propia. Grafica de escolaridad de las personas encuestadas en la Cabecera Municipal

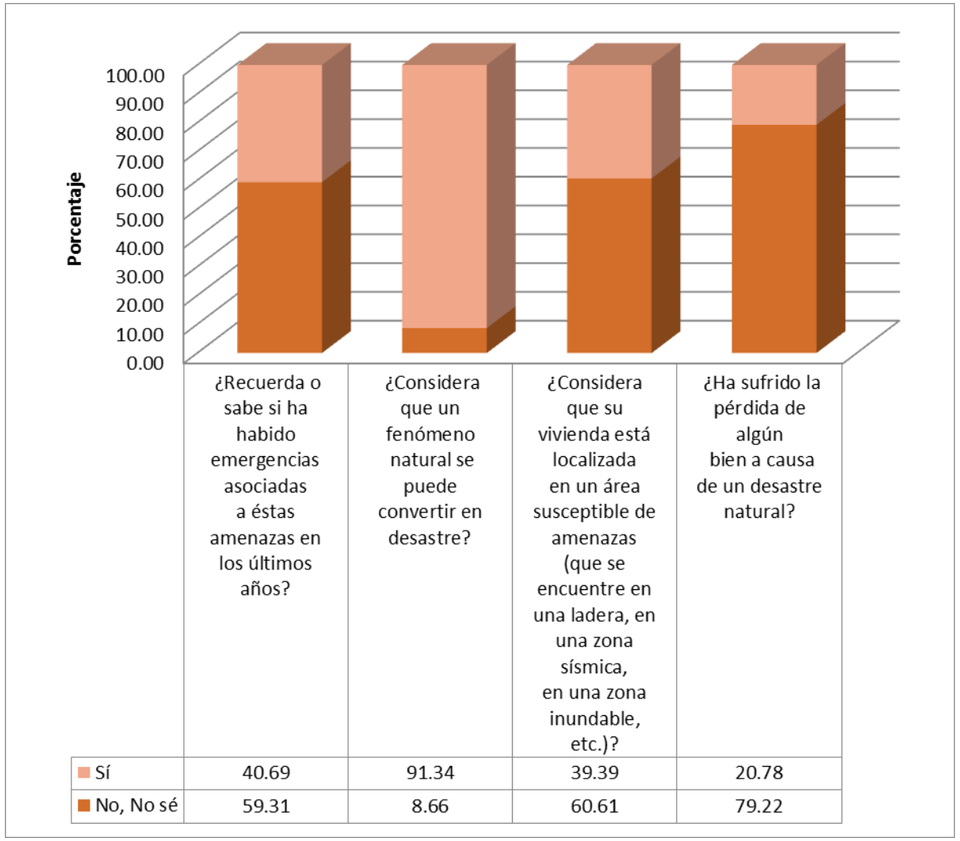


Fuente: Elaboración propia. Grafica de escolaridad de las personas encuestadas en localidades.

Algunas conclusiones a las que podemos llegar con el análisis de las encuestas realizadas en la Cabecera Municipal de Autlán son las siguientes

Se realizó una selección en orden de importancia de las preguntas en el cuestionario y se agruparon por similitud de temas abordados.

Gráfico 6-4. Resultados de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 2,3,4, y 5 del cuestionario de CENAPRED 2006.



Fuente: Elaboración propia. Grafica de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 2,3,4, y 5 del cuestionario de CENAPRED 2006.

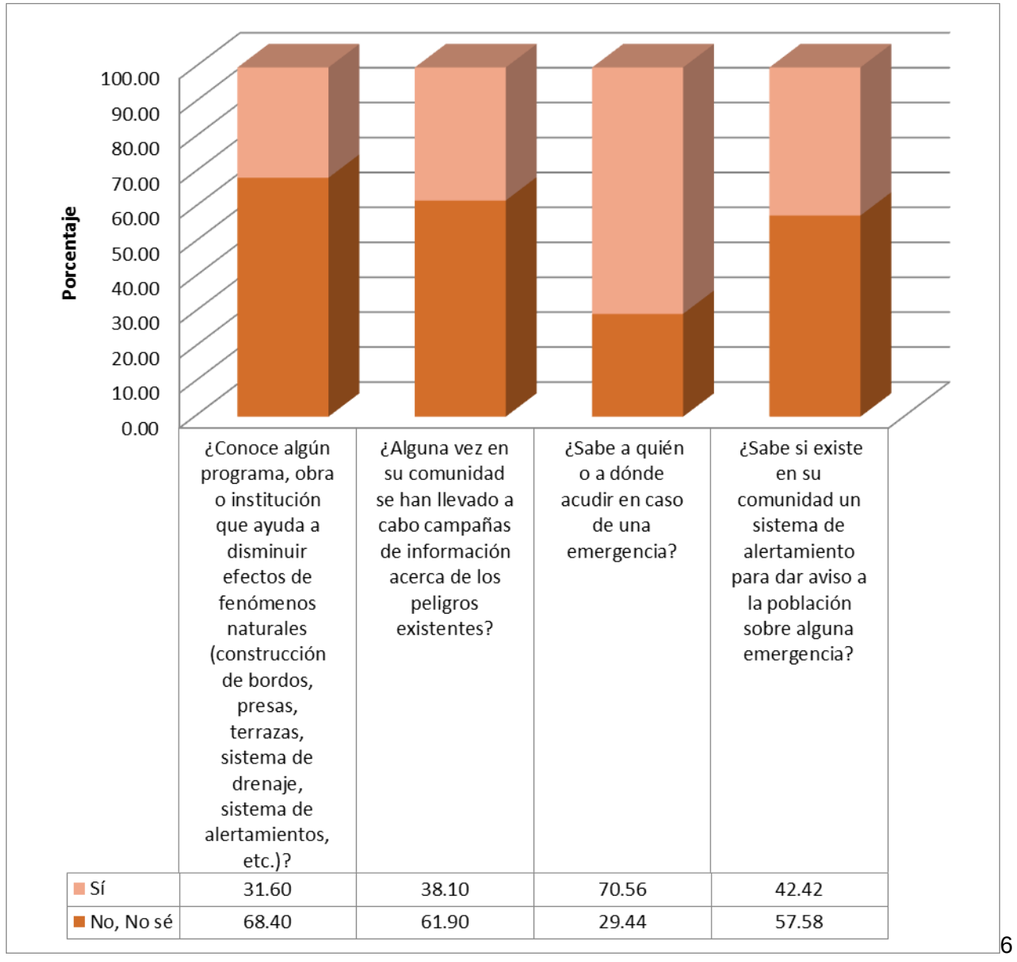
El 40%de de las personas recuerda o sabe si ha habido emergencias asociadas a éstas amenazas en los últimos años.

El 91% las personas de la cabecera municipal y localidades de Autlán consideran que un fenómeno natural se puede convertir en un desastre.

El 60% de las personas las personas de la cabecera municipal y localidades de Autlán considera que su vivienda no está localizada en un área susceptible de amenazas.

El 20% de las personas ha sufrido la pérdida de algún bien, a causa de un desastre natural.

Gráfico 6-5. Resultados de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 9,11,14, y 15 del cuestionario de CENAPRED 2006



6

Fuente: Elaboración propia. Grafica de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 9,11,14, y 15 del cuestionario de CENAPRED 2006.

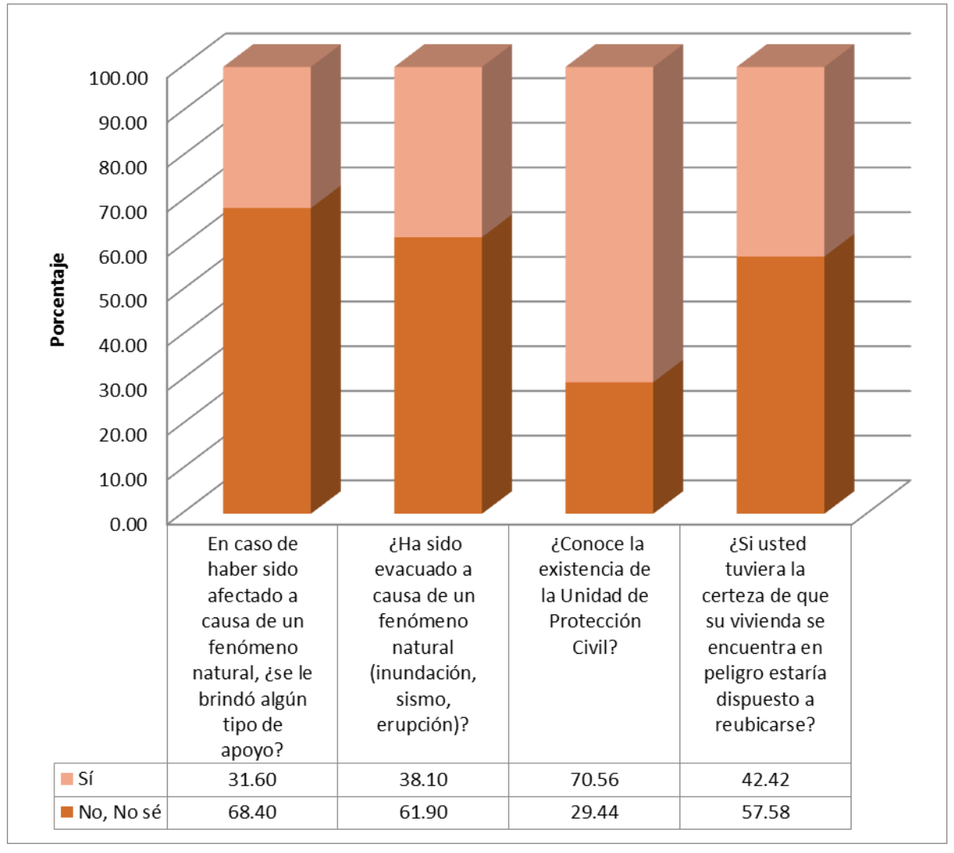
El 68% de las personas no conoce algún programa obra o institución que ayuda a disminuir efectos de fenómenos naturales.

El 61% de las personas encuestadas, no se han enterado si alguna vez en su comunidad se han llevado a cabo campañas de información acerca de los peligros existentes.

El 70% si sabe a quién o a dónde acudir en caso de emergencia.

El 57% no sabe si existe en su comunidad un sistema de alertamiento para dar aviso a la población sobre alguna emergencia.

Gráfico 6-6. . Resultados de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 16,17,20, y 25 del cuestionario de CENAPRED 2006



Fuente: Elaboración propia. Grafica de percepción local en cabecera municipal y localidades de las preguntas 16,17,20, y 25 del cuestionario de CENAPRED 2006.

El 68% de las personas no se les ha brindado algún tipo de apoyo, cuando fueron afectados a causa de un fenómeno natural.

El 38% ha sido evacuado a causa de un fenómeno natural.

El 70% de las personas tanto en cabecera municipal como en las localidades, conoce la existencia de la Unidad de Protección Civil.

El 42% estaría dispuesto a reubicarse, si tuviera la certeza de que su vivienda se encuentra en peligro.

6.2.3 Grado de Vulnerabilidad Social

De acuerdo al programa especial de prevención y mitigación del riesgo de desastre (2001-2006) menciona que, los efectos directos e indirectos causados por los desastres de mediana y gran envergadura en México, significaron, en promedio anual durante las últimas dos décadas, pérdidas de 500 vidas humanas y daños materiales ascendientes a 700 millones de dólares. Estas cuantiosas pérdidas han recaído en mayor medida en los grupos más desprotegidos y vulnerables de la población.

La vulnerabilidad social es consecuencia directa del empobrecimiento, el incremento demográfico y de la urbanización acelerada sin planeación. Asimismo, la vulnerabilidad social antes desastres naturales se define como una serie de factores económicos, sociales y culturales que determinan el grado en el que un grupo social está capacitado para la atención de las emergencias, rehabilitación y recuperación frente a un desastre.

De acuerdo al planteamiento metodológico CENAPRED 2006, la vulnerabilidad social (GVS) se encuentra asociada a los tres elementos o condiciones, las condiciones socioeconómicas determinado por el indicador de rezago social donde determinan el 50%, la capacidad de respuesta un 25% y la percepción local del riesgo un 25%, determinada por la siguiente expresión.

$$GVS = (R1 * 0.50) + (R2 * 0.25) + (R3 * 0.25)$$

GVS = El grado de Vulnerabilidad Social asociada a desastre
R1 = Resultado del índice de Rezago Social
R2 = Resultado del cuestionario capacidad de respuesta
R3 = Resultado del cuestionario percepción local de riesgo

Una vez realizadas las operaciones para determinar la vulnerabilidad social (GVS), se obtiene que el cálculo del índice para el municipio de Autlán es: **0.28** que de acuerdo a los valores determinados por CENAPRED 2006, el grado de vulnerabilidad social es Bajo. Véase la tabla 8.

Tabla 6-8.Rangos para determinar el Grado de Vulnerabilidad Social

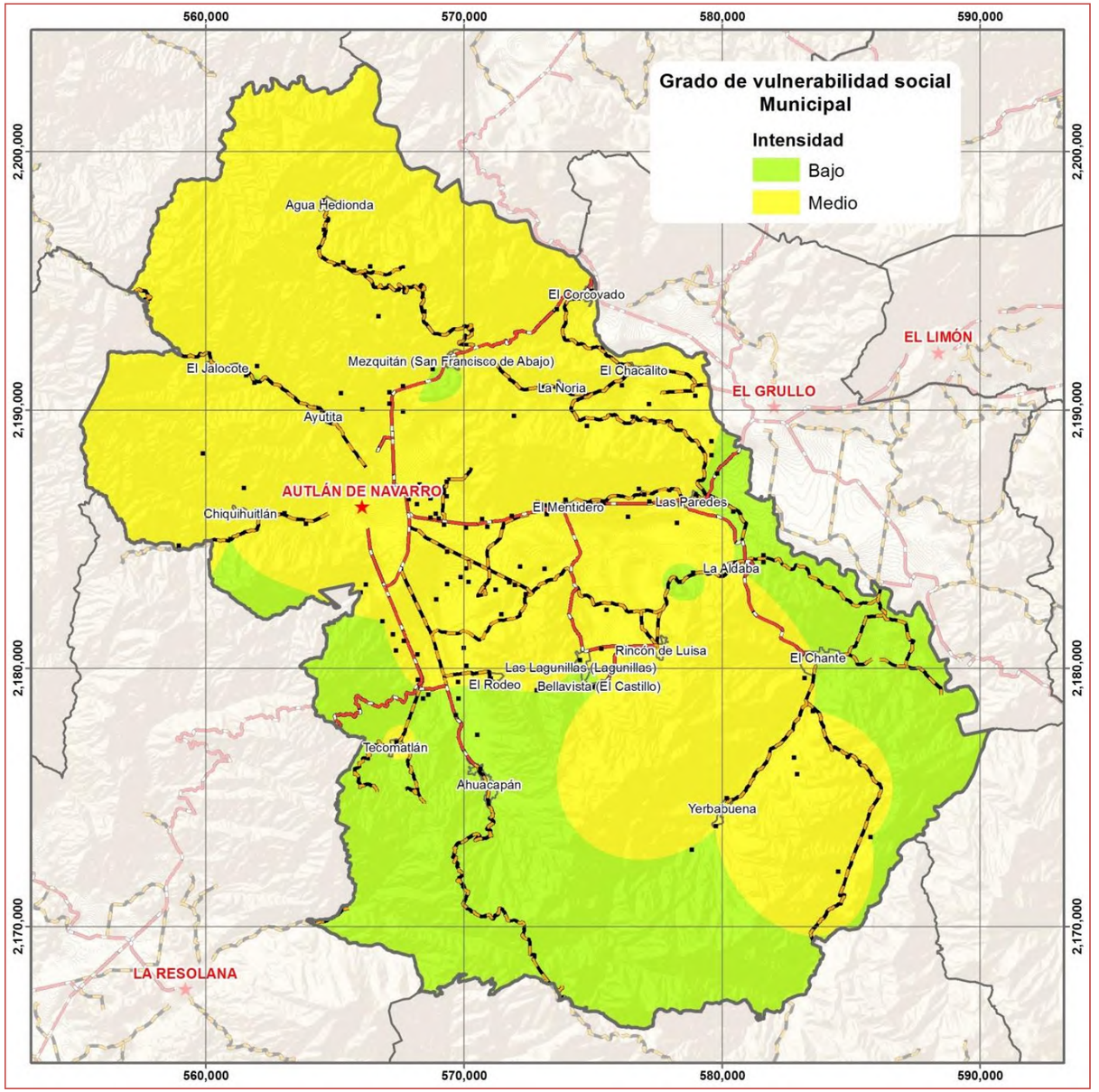
Valor final	Grado Vulnerabilidad Social	Resultado final
De 0 a 0.20	Muy Bajo	**0.28**
De 0.21 a 0.40	**Bajo**	
De 0.41 a 0.60	Medio	
De 0.61 a 0.80	Alto	
Más de 0.80	Muy Alto	

Fuente: Elaboración propia con base CENAPRED 2006a

El resultado obtenido aritméticamente del grado de vulnerabilidad social (GVS) para el municipio de Autlán de Navarro es de intensidad “bajo”, sin embargo al utilizar modelos espaciales basados en métodos algebraicos de mapas, se obtiene un modelo de valor “Medio” para el caso municipal y “bajo” para la cabecera municipal, este cálculo se basa al procesar la información vectorial a formato raster (arreglo matricial), los valores son ponderados para cada variable analizada, donde son susceptibles de ser analizadas para la obtención de otras coberturas de información referente al mismo espacio geográfico, estas coberturas tiene la cualidad de normalizarse en valores continuos en el intervalo de cero a uno y convertidas en formato raster para realizar las operaciones de estipuladas en la ecuación de GVS.

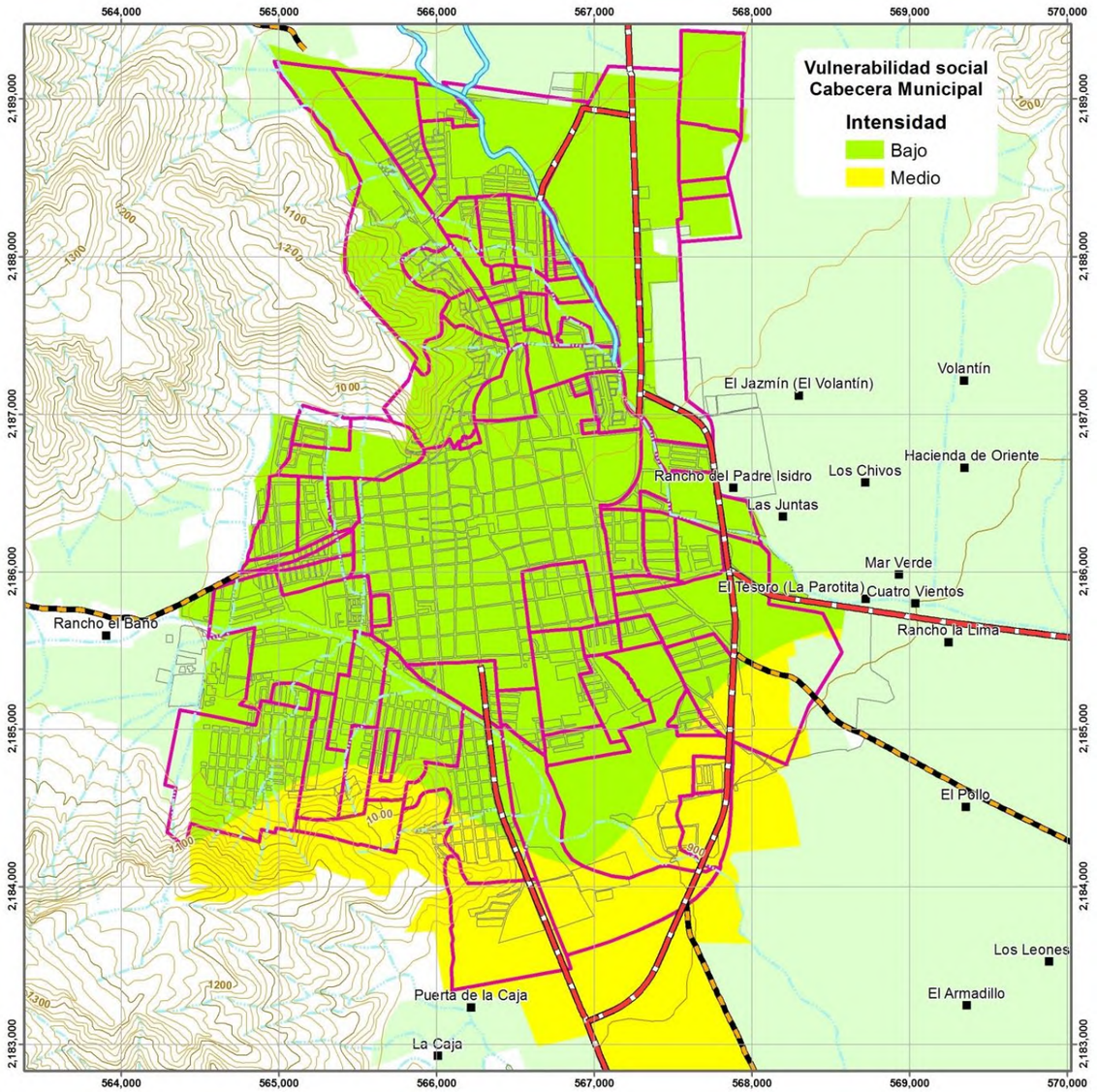
La representación espacial del grado de vulnerabilidad social (GVS) para el municipio de Autlán y la cabecera municipal queda de la siguiente manera. Véase figuras 6-7 y 6-8.

Figura 6-7.Modelo espacial del grado de vulnerabilidad social (GVS), municipio de Autlán.



Fuente: Elaboración propia con base en el índice de GVS.

Figura 6-8. Modelo espacial del grado de vulnerabilidad social (GVS), cabecera municipal Autlán



Fuente: Elaboración propia con base en el índice de GVS.

Bibliografía

Aki, K. and P. G. Richards (2002). *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, W. H. Freeman, San Francisco, CA, second edition.

Allan, J. F. (1986). *Geology of the Colima and Zacoalco Grabens, southwest Mexico: Cenozoic rifting inthe Mexican Volcanic Belt*, Bull. Geol. Soc. *Am.* **97**, 473-485.

Allan, J. F., S. A. Nelson, J. F Luhr,. I. S. E.Carmichael, M. Wopat, and P. J. Wallace (1991). *Pliocene-Recent rifting in SW México and associated volcanism an exotic terrane in the making in Dauphin, P. J.and Simoneit B. R. T. eds., The Gulf and Peninsular province of the Californias*; American Association of Petroleum Geologists Memoir **47**, 425-445.

Alvarez, R., (2002). Banderas rift zone: A plausible NW limit of the Jalisco Block, *Geophys. Res. Lett.*, **29,** 20, DOI: 10.1029/2002GL016089.

Atwater, T. (1970). Implications of Plate Tectonics for the Cenozoic Tectonic Evolution of Western North America, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 81, 3513-3536.

Avendaño-Ibarra E. I. (2008). *Estudio de Sismicidad y Mecanismos Focales en el Bloque de Jalisco usando datos de banda muy ancha de la red temporal MARS*. Tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 1-93.

Bandy, W. L. (1992). *Geological and geophysical investigation of the Rivera-Cocos plate boundary:implications for plate fragmentation,* Ph. D. Thesis, Texas A&M University, College Station, Texas, 195.

Bandy, W. L., F. Michaud, J. Bourgois, T. Calmus, J. Dyment, C. A. Mortera-Gutiérrez, J. Ortega-Ramírez, B. Pontoise, J.-Y. Royer, B. Sichier, M. Sosson, M. Rebolledo-Vieyra, F. Bigot-Cormier, O.Díaz-Molina, A. D. Hurtado-Artunduága, G. Pardo-Castro, and C. Trovillard-Perrot, (2005). *Subsidence and strike-slip tectonism of the upper continental slope off Manzanillo,* México, *Tectonophysics*, **398**, 3-4,115-140.

Bandy, W. L., Mortera-Gutiérrez, C. A. y Urrutia-Fucugauchi, J., (1993). *Gravity field of the southernColima graben México, Geofis. Int.*, **32**, 44, 561-567.

Bandy, W. y M. Pardo (1994). *Statistical examination of the existente and relative motion of the existente and southern México blocks*, *Tectonics*, **13**, 755-768.

Bandy, W., C. Mortera-Gutierrez, J. Urrutia-Fucugauchi and T.W.C Hilde (1995). *The subducted Rivera-Cocos plate boundary: Where is it, what is it, and what is its relationship to the Colima rift? Geophys.Res. Letters*, **22**, 22, 3075-3078.

Bandy, W., K**ostoglodov, Hurtado-Díaz and M. Mena, (1999).** *Structure of the souther Jalisco subduction zone, México, as inferred from gravity and Seismicity*, *Geofis. Int*. **38**, 127-136.

Bandy, W., T. W. C. Hilde and C. Y. Yan (2000). *The Rivera-Cocos plate boundary: Implications for Rivera-Cocos relative motion and plate fragmentation*, *Geol. Soc. of Am.* Special Paper **334**, 1-28.

Baranov, V. (1957). A new method for interpretation of aeromagnetic maps pseudo-gravimetric anomalies, *Geophysics,* **22**, 359-386.

Bath, M. (1958). *Polar Graphs of Initial Motions at an Earthquake Source*, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **48**, 129-131.

Beguería, S. y Lorente, A., (1999). *Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés Occidental*. Geographicalia, N. 37.

Boore, D. M. (1989). *The Richter scale: its development and use for determining earthquake sourceparameters*, Tectonophysics, **166**, 1-14.

Bufaliza M. (1984). *Atenuación de intensidades sísmicas con la distancia en sismos mexicanos, Tesis de maestría*, Facultad de Ingeniería UNAM.

Cabrera, C. , 2013. Diario La Letra Fría

Castellanos G. y Z. Jiménez (1995). *Sismología de Colima: Universidad de Colima*, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaria de Educación Pública, SESIC-DES,

Catastro del Estado, IITEJ.Área urbana 2010, INEGI. Área urbana 1998,

CEA (Comisión Estatal del Agua) del Estado de Jalisco (2015). *Ficha Técnica Hidrológica Municipal, Autlán de Navarro*. Gobierno del Estado de Jalisco.

CENAPRED (Centro Nacional de Prevencion de Desastres), (2004). *Guia básica para la elaboración de Atlas estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*

CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres),(2010). ***Tormentas Severas, Serie Fascículo, 1a. Edición***.Versión Electrónica 2014.

CFE (Comisión Federal de Electricidad) (1993). *Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad*.

CFE (Comisión Federal de Electricidad) (1996). *Intensidades generadas por sismos históricos (1875) e instrumentales (1932 y 1995)*.

Challenger, A., y J. Soberón. (2008). *Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, pp. 87-108.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad)(1998) *Clima* (clasificación de Koppen, modificado por García)

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), (2011). ***Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación 2011***.

CONAGUA Comision Nacional del Agua, (2015). *Acuíferos*.

CONANP (Comision Nacional de Areas Naturales Protegidas) (2016), *Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán*.

CONANP (Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas), recuperado de http://manantlan.conanp.gob.mx/vegetacion.php

CONAPO (Consejo Nacional de Población). *Dinámica demográfica 1990-2010 y proyecciones de población 2010-2030.*

Courboulex, F., S. K. Singh, J. F. Pacheco and C. J. Ammon (1997). *The 1995 Colima-Jalisco, Mexico, earthquake (Mw 8): A study of the rupture process*, Geophys. Res. Lett., **24,** 1019-1022.

Cox, T. F., M. Gardine and M. West (2008). *June 2006 seismic swarm and dike injection event beneath the Michoacan-Guanajuato volcanic field*, American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract # V51D-2071.

Cronin, V. (2004). *A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists*, Baylor University, 14pp.

DeMets, C. and D. S. Wilson (1997). *Relative motions of the Pacific, Rivera, North American, and Cocosplate since 0.78* Ma. J. Geophys. Res., **102**, B2, 2789-2806.

DeMets, C. and S. Traylen (2000). Motion of the Rivera plate since 10 Ma relative to the Pacific and North American plates and the mantle, Tectonophysics, 318, 119-159.

DeMets, C. y S. Stein (1990). Present-day Kinematics of the Rivera Plate and Implications for Tectonicsin Southwestern Mexico, *J. Geophys. Res.*, **95**, 13 931-21,948.

DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. and S. Stein, (1994). E*ffect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions*, Geophys. Res. Lett., 21, 2191-2194.

DeMets, C., R. G. Gordon, D. F. Argus, and S. Stein, (1990). *Current plate motions*, Geophys. J. Int., **101**,425-478.

Diario Oficial de la Federación, (1987). *Decreto por el que se declara de* Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, México: Diario Oficial de la Federación.

Diario Oficial de la Federación, (2015). *Reglas de Operación del Programa de Prevención de Riesgos, para el ejercicio fiscal 2016.*

Díaz, E. C. and F. Mooser (1972). *Formación del Graben de Chapala. Sociedad Geológica Mexicana.* Memoria II. Convención Nacional, 144-145.

Eissler, H.K. and McNally K.C. (1984), *Seismicity and tectonics of the Rivera Plate and implications for the 1932 Jalisco, Mexico, earthquake*, J. Geophys. Res. 89(B6): 4520-4530.
El informador Acervo Historico, recuperado de http://hemeroteca.informador.com.mx/
Escobedo, D., J.F. Pacheco and G. Suarez, (1998). *Teleseismic body-wave analysis of the Octuber, 1995 (Mw=8), Colima-Jalisco, Mexico earthquake*, *J. Geophys. Res.*, **89**, 4520-4530.
García-Quintero, J. J. (2007). *Geometría, Sismicidad y deformación de la placa de Cocos subducidad, Tesis, Centro de Geociencias*, UNAM, 1-38.
Geissert, D. (2004). La Geomorfología. In: Guevara, Laborde y Sánchez (eds.). *Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra*. Parte 2. Unión Europea-INECOL, pp. 159-178.
Gutiérrez, M. Santoyo, W. Bandy, M. Guzmán, V. Kostoglodov, G. Reyes and C. Ramírez (1997). *The October 9, 1995 Colima-Jalisco, Mexico earthquake (Mw 8): an aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 1932*, Geophys. Res. Lett., **24**, 2223-2226.
http://www.radiocosta.com.mx/celebran-dia-municipal-de-proteccion-civil-en-autlan/radio costa
http://www.udg.mx/es/noticia/jalisco-registro-una-canicula-mas-severa-este-2015) Red Universitaria de Jalisco (sequia en autlan)
IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco) con base en CONAPO; Proyecciones de la población para los municipios de México 2010-2030 (actualización abril de 2013).
IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco) con base en estimaciones del CONEVAL, con base en INEGI, MCS-ENIGH 2010 y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010.
IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco). (2015). Autlan de Navarro. Diagnóstico del Municipio. Octubre 2015. http://www.iieg.gob.mx/
IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco)con base en CONAPO; Índice de Marginación 2010 y 2015.
IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco)con base en INEGI,Encuesta Intercensal 2015
IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco)con base en INEGI; Anuario Estadístico de Jalisco 2015 y Encuesta Intercensal 2015
IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco)en base en Oficina Estatal de Informacion para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS). Valor de la producción agrícola 2010-2014
IIEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco)Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco; en base a datos proporcionados por IMSS. Trabajadores asegurados. Región Sierra de Amula de Jalisco. 2012-2015.
IIEG Sistema de información Territorial en Linea , recuperado de http://sitel.jalisco.gob.mx/portal2/
IIEG, Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco con base en INEGI, censos y conteos nacionales, 2010-2015
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica) (2001), Fisiografía, Provincias fisiográficas de la "Carta Fisiográfica".
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica) (2001),Geología 1:50,000. Digitalizado por IIEG, 2015..
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica) (2010), SIATL, Cuencas y Subcuencas.
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica) (2010). Censo de Población y Vivienda 2010, publicación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, www.inegi.org.mx., Aguascalientes, Aguascalientes, México.
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica) (2015). Guía para la interpretación de la Cartografía. Uso del Suelo y Vegetación Serie V. Aguascalientes, México.
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica)(2000) Fisiografía Síntesis de Información geográfica del estado de Nayarit. Nayarit, México.
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica), (2001) *Geomorfología, Sistemas de topofomas, Fisiografía*.
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica),(2001) Edafología 1:50,000. Digitalizado por IIEG, 2015.
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica),(2010) *Censo de Población y Vivienda*.
INEGI (Instituto de Información Estadística y Geográfica),(2016) Marco Geoestadístico Municipal 2016. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
INEGI. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrológicas. Recuperado de http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#
Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco (IITEJ) (2001). Zonas de Recarga de Agua.
Instituto Ingeniería, UNAM (2004). Peligro Sísmico Mexicano.
Kostoglodov, V., Reyes, G. and Ramírez, C. (1997). The october 9, 1995 Colima-Jalisco, earthquake (Mw 8): An aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 193. Geophys. Res. Lett., 24, 2223-2226.
Malagón M. A. y E. López (2006). *Obtención de Ley de Atenuación usando sismos sintéticos para el estado de Jalisco*.
Malagón M. A., (2004). *Catálogo de sismos instrumentales ocurridos en el estado de México*. Instituto de Ingeniería Sísmica.
Malagón M. A.,(2004). *Catálogo de sismos históricos ocurridos en el estado de Jalisco*. Instituto de Ingeniería Sísmica. Universidad de Guadalajara.
Malagón, M. A., (2016). *Cálculo de la aceleración máxima esperada para el Municipio de Tecolotlán, usando sismos sintéticos*. Inédito
Mendoza, C. and S. Hartzell (1999). *Fault-Slip Distribution of the 1995 Colima-Jalisco, Mexico,Earthquake*, Bull. Seismol. Soc. Am. **89**, 5, 1338-1344.
Nuñez-Cornú F. (2011). *Peligro Sísmico en el Bloque Jalisco, México. Centro de Sismología y Vulcanología de Occidente*. Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco. México.
Núñez-Cornú F. J., M. Rutz, C. Suárez-Plascencia, G. Reyes-Dávila, and F. A. Nava (2003). Seismotectonics of Jalisco Block, México, Geological Society of America Cordilleran, Section, 2003,
Núñez-Cornú F. J., M. Rutz, F. A. Nava, G. Reyes-Davila, and C. Suarez-Plascencia (2002). Characteristics of seismicity in the coast and north of Jalisco Block, México, *Phys. Earth Plan. Int.*, **132**,141-155.
Núñez-Cornú, F.J., M. Rutz, F.A. Nava, G. Reyes-Davila, C. Suárez Plascencia (2002) Characteristics of Seismicity in the Coast and North of Jalisco.Block, MEXICO. Phys. Earth. Plant. Int, 132,1/3, 141-155.
OMM/UNESCO, 1974 Glosario Hidrológico Internacional WMO/OM/BG no. 385 Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, Suiza
Ortiz M., S. K. Singh, J. Pacheco and V. Kostoglodov (1998). Rupture length of the Octuber 9, 1995 Colima-Jalisco, earthquake (Mw 8) estimated from tsunami data, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 15, 2857-2860.86
Ortiz M., V. Kostoglodov, Singh S. K., and J. Pacheco (2000). New constrains on the uplift of octuber 9, 1995 Jalisco-Colima earthquake (Mw 8) based on the analysis of tsunami records at Manzanillo and Navidad, Mexico, *Geofis. Int.*, **39**, 4, 349-357.
Pardo, M. (1993). *Características sismotectónicas de la subducción de las placas de Rivera y Cocos en el sur de México*. Tesis, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, 1-128.
PROCESO,2011 (deslave autlan)
Protección Civil del Estado de Jalisco, Enero 2017. http://www.proteccioncivil.gob.mx/es/ProteccionCivil/EntidadesFederativas?seccion=&entidad=Jalisco&municipio. Fecha de consulta 21 de enero de 2017.
Radio Costa, 2015 (http://www.radiocosta.com.mx/1200-personas-evacuadas-y-danos-materiales-por-

el-paso-de-patricia-por-autlan/
Ramírez (2000). Estudio Macrosísmico del temblor de Colima (Mw 5.3) del 6 de Marzo del 2000,*GEOS*, **20**, 4, 414-417.
Rosas-Elguera, J., L. Ferrari, V. H. Garduño Monroy and J. Urrutia-Fucugauchi (1996). *Continental boundaries of the Jalisco block and the their influence in the Pliocene-Quaternary kinematics of western Mexico*, *Geology*, **24**, 10, 921-924.
Rutz López M., F. Núñez-Cornú (2004). *Sismotectónica del norte y oeste del Bloque de Jalisco usando datos sísmicos regionales*. GEOS, 24, 3.
Rutz López Martha (2001). *Microsismicidad del noroeste del Bloque de Jalisco (México).Aplicación a la Sismotectónica y peligrosidad sísmica de la zona*. Tesis, Universidad de Granada. España.
Rutz López, Martha (2007). Peligro Sísmico en Bahía de Banderas (2007). Tesis Maestría. Posgrado en Geofísica. Universidad de Guadalajara.
Rutz-López M. (2002). *Microsismicidad del noroeste del Bloque de Jalisco (México). Aplicación a la Sismotectónica y Peligrosidad Sísmica de la Zona*, Tesis, Departamento de Física Teórica y del Cosmos,Universidad De Granada.
Rutz-López M. y F. J. Núñez-Cornú (2004). *Sismotectónica del Norte y Oeste del Bloque de Jalisco usando datos sísmicos regionales*, GEOS, **24**, 1, 2-13.
Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México (1ra. Ed. D). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU), (2016). Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2016.
SEDUR (Secretaría de Desarrollo Urbano). Plan de Desarrollo Urbano Autlán de Navarro, Jalisco 2012-2015, Secretaría de Desarrollo Urbano
Seismic Research Centre, University of the West Indies. (2011). Modified Mercalli Scale. Recuperado de www.uwiseismic.com/Downloads/Eq_mercalli_scale.pdf
Singh, S. K., L. Ponce and S. P. Nishenko (1985). The great Jalisco, Mexico, earthquakes of 1932: Subduction of the Rivera Plate, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **75** 5, 1301-1313.
Singh, S.K., L. Astiz and J. Havskov (1981), "Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: A reexamination", Bull. Seism. Soc. Am., 71, 3, 827-843.
Sociedad Botánica de México. (1987). Guías botánicas de excursiones en México: X Congreso Mexicano de Botánica, del 27 de septiembre al 4 de octubre de 1987, Guadalajara, Jalisco, México. Sociedad Botánica de México, Universidad de Guadalajara. Retrieved from https://books.google.com.mx/books?id=sgxToAEACAAJ
TD Pennington, J Sarukhan - Mexico D. F.(1968) *Arboles tropicales de México*- Ins Investigaciones Forestales.
Unidad Estatal de Protección Civil y Bomberos, 2015.Publicado por el IIEG
Uso de suelo y vegetación, elaboración propia a partir de la clasificación supervisada de imágenes LANDSAT 8 de fecha 25 de diciembre de 2015 y 30 de marzo de 2016.
Zobin V. M. and J. F. Ventura-Ramírez (1998). The macroseismic field generated by the Mw 8.0 Jalisco, Mexico, earthquake of 9 October 1995. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88**, 3, 703-711.