



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Planeación Urbana y Regional



“Diagnóstico de Peligros Geológicos e Hidrometeorológicos, en la Subcuenca del Río San Jerónimo”.

Tesis

Que para obtener el título de

LICENCIADOS EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presentan:

VÍCTOR BUSTOS JAIMES

RODRIGO ANTONIO ESCALONA VALDEZ

Director de tesis:

L. EN GEOG. ARMANDO REYES ENRÍQUEZ

Toluca de Lerdo, Estado de México; agosto de 2013

"Education is the most powerful weapon which you can use to change the world".

Nelson Mandela

Dedicatorias y Agradecimientos (Víctor)

A lo largo de la vida, cada logro y cada meta obtenida son gracias a la ayuda y colaboración de amigos, familiares y personas que son encontradas en el andar, que impulsan a superar cada obstáculo, por lo que debo agradecer.

En primer lugar a mis amigos, de esos que están en peligro de extinción... Guardado, Itzel, Pablo, Alex. A mis Roomates Edgar, Víctor Eder y a mi carnal Juan Carlos Díaz, que espero estos 10 años de conocernos sean el inicio de una larga amistad; como olvidarme de un amigo que no pudo llegar a donde yo, **Ladislao Ortiz** (D.E.P), donde quiera que estés, va por ti hermano....

A mi hermano del alma **Rodrigo Escalona**, gracias por mostrarnos que la vida es hermosa y debemos luchar por ella, a mi amiga y por fortuna mi novia **Paula Sofía Moreno**, por su ayuda incondicional y cariño a cada momento.

Agradecer por todo su apoyo y conocimientos a algunos de los mejores profesores de mi vida; Armando Reyes Enríquez, Patricia Mireles Lezama y José García Flores.

Mis más gratos agradecimientos a la Familia Millán Cruz, ellos que sin conocerme me abrieron las puertas de su casa y me adoptaron como hijo desde hace siete años.

A los familiares que ya no estarán más entre nosotros, mi abuelita la más querida **Edilburga Figueroa**, mi abuelo **Evaristo Jaimes**, **Esmeralda Jaimes** (prima), donde sea que estés, **Roberto Bustos** (tío), todos mis logros van por ustedes también.

Pero mis mayores agradecimientos y la mejor dedicatoria de todo lo que yo pueda lograr en esta vida, están referidas a mis padres, esos dos personajes que se quitan de la boca la comida, para que sus hijos puedan salir adelante, jamás los olvidaría ni restaría méritos.

Benita Jaimes Figueroa, gran mujer que con su nobleza, espíritu trabajador y valentía, ha logrado transmitir el mensaje de superación en mí.

Jorge Bustos Rodríguez, hombre de campo (a mucha honra), que se gana el pan de cada día bajo las exigencias y limitaciones de su persona, para ser un sponsor en mi educación.

A mis hermanos Norberto, Vicky, Jorge, Sergio, Miguel, Manuelito y Lucerito, ahora me toca a mí, voltear hacia atrás y tratar de ayudarles a que sean personas de bien.

Dedicatorias y Agradecimientos (Rodrigo)

A mi **Familia**, gracias por estar conmigo durante estos años, por haberme dado este regalo de la educación y enseñarme a seguir adelante, a confiar en mis capacidades y no dudar de mí, este trabajo refleja tanto mis capacidades, mis ambiciones y anhelos, acerca de lo que busco de la vida, por tanto gracias por su apoyo **Guillo, Guilla, Cerdito y Koji**; sobre todo gracias por confiar en mí y estar a mi lado.

A **Itzel (Dulce Cerdita)**, gracias Itzel por ser siempre tan buena amiga, alegre y divertida, gracias por tantos momentos de felicidad y por acompañarme en mis tristezas, eres muy especial y nunca olvidaré lo que hemos vivido, ojalá haya más aventuras por compartir y sobretodo más bromas para guardado, sigue adelante con tus metas cerdita y no olvides que puedes contar conmigo.

Dr. Lobo (Pablo) me has ayudado mucho desde que comenzamos a ser amigos, al iniciar el servicio social juntos, has estado a mi lado y eres de los pocos que en verdad sabe cuando algo me preocupa, me entristece o me pone mal y siempre tratas de cambiar eso y hacerme reír para que me sienta mejor, gracias ca, eres una persona noble y capaz, no dejes que nada te detenga y sigue adelante.

A **Jhovany (Guardis)** eres una persona interesante, me has hecho pasar momentos tan agradables que me da mucho gusto llamarte mi amigo, y hay momentos que son tan difíciles que no te entiendo, sin embargo no es bueno opacar las cosas buenas por uno o dos disgustos, muchas gracias amigo por estar a mi lado y por enseñarme muchas cosas de la vida, has estado a mi lado cuando te he necesitado y aunque no lo demuestres sé que me aprecias como yo a tí, espero que en el futuro sigamos riendo juntos y conociendo más lugares, gracias guardis.

A **Víctor Bustos Jaimes**, mi mejor amigo, por este trabajo y por todo lo que hemos vivido, tanto alegría como tristeza, gracias por haber estado ahí cuando más he necesitado a un amigo de verdad, por eso y más gracias hermano, por tanto sigue adelante, continúa con esas ganas de avanzar y aprender, no olvides tus metas y no dudes de tus capacidades, por tanto "You know you have a friend all along the road, so don't forget that, because whatever you need, I'll be there for you, ok?", recuerda que confío en tí y sé que lograrás cumplir tus metas, Gracias Victorinoix

A **Paula (Moradita)** gracias Pau por tu ayuda académica, pero en especial por tu ayuda en lo personal, por apoyarme y por divertirnos juntos, eres comprensiva y amable, aprovecha esas virtudes y cumple tus metas y no dejes de ser como eres, siempre vive alegre y disfruta de la vida.

Cerdito (Alex kun) gracias amigo por ayudarme a reír y dejar de ser tan frío con los demás, me has ayudado a mejorar y espero que continúes con tu carisma, tienes buenas virtudes, solo debes de elegir un buen camino que te haga feliz a ti y no a los demás, encuentra ese equilibrio y veras que muchas cosas mejorarán, gracias cerdito

Al **Profe Armando**, profe gracias por confiar en mí, por enseñarme no solo aspectos académicos, sino también de amistad y de la vida, sobre aspectos que muchos aun no comprenden de la vida, gracias profe por su amistad y compañerismo y por esos momentos que me he sentido mal y me ha alegrado, gracias.

A **Julio**, gracias profe Julio por lo que nos ha enseñado y por su amistad, y por no haberse desesperado con nosotros por querer hacer mucho trabajo en la tesis, pero ya está completa y bien hecha, gracias Julio.

More and more I find myself wondering if it's all worth fighting for...

For a future without fear, yes it's worth it.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
INTRODUCCIÓN	9
JUSTIFICACIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
ANTECEDENTES	13
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO	17
I.1 TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS (TGS)	19
I.2 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA	20
I.2.1 Partes Físicas	24
I.2.2 Morfometría	25
I.3 CONTEXTO DE LOS PELIGROS NATURALES	30
I.3.1 Riesgo y Peligro	32
I.3.2 Tipología de Riesgos.....	34
I.4 PLATAFORMAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	35
I.5 EVALUACIÓN MULTICRITERIO	38
I.6 MARCO METODOLÓGICO	41
I.6.1 Etapa de Documentación y Selección de Información	41
I.6.2 Etapa de Caracterización	42
I.6.3 Etapa de Diagnóstico.....	43
CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO	54
II.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	55
II.1.1 Límites Fisiográficos	56
II.1.2 Región Hidrológica	57
II.2 COMPONENTE NATURAL	58
II.2.1 Geología.....	58
II.2.2 Geomorfología	61
II.2.3 Edafología	63
II.2.4 Clima	67
II.2.5 Uso de Suelo y Vegetación.....	71
II.2.6 Áreas Naturales Protegidas.....	73
II.2.7 Morfometría.....	75

II.3 COMPONENTE SOCIAL	76
II.3.1 Población Total.....	77
II.3.2 Localidades Urbanas y Rurales	78
II.3.3 Densidad de Población.....	79
II.3.4 Principales Actividades Económicas	80
CAPÍTULO III RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS	83
III.1 PELIGROS GEOLÓGICOS	84
III.1.1 Sismicidad	84
III.1.2 Inestabilidad de Laderas	85
III.1.3 Erosión.....	90
III.2 PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS	92
III.2.1 Precipitaciones Máximas en 24 Horas	92
III.2.2 Inundaciones	93
III.2.3 Heladas	96
III.2.4 Granizadas	97
III.2.5 Sequías	98
III.2.6 Tormentas Eléctricas	101
III.2.7 Niebla	102
III.3 MULTIPELIGROSIDAD	103
III.3.1 Fenómenos Geológicos.....	103
III.3.2 Potencial de pérdidas en agricultura	105
III.3.3 Fenómenos Hidrometeorológicos	107
III.3.4 Potencial de pérdidas en agricultura	110
CAPÍTULO IV PROPUESTAS Y CONCLUSIONES	112
PROPUESTAS	113
CONCLUSIONES	117
FUENTES.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: COMPARACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO DE RIESGOS Y PELIGROS NATURALES.....	14
TABLA 2: DEFINICIÓN DE LOS COMPONENTES DE CUENCA	24
TABLA 3: CLASIFICACIÓN DE VALORES DE COMPACIDAD	27
TABLA 4: RANGOS DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (MINUTOS)	28
TABLA 5: RELACIÓN VALOR/PONDERACIÓN DE VARIABLES	44
TABLA 6: PONDERACIÓN DE VARIABLES PARA MOVIMIENTOS RÁPIDOS.....	45
TABLA 7: PONDERACIÓN DE VARIABLES PARA MOVIMIENTOS LENTOS.....	47
TABLA 8: PONDERACIÓN DE VARIABLES PARA EROSIÓN.....	48
TABLA 9: PONDERACIÓN DE VARIABLES PARA INUNDACIONES.....	49
TABLA 10: PONDERACIÓN DE VARIABLES PARA SEQUÍAS.....	51
TABLA 11: FORMACIONES LITOLÓGICAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO	59
TABLA 12: RELIEVE DE LA SUBCUENCA.....	61
TABLA 13: TIPOS DE SUELOS DOMINANTES.....	63
TABLA 14: ÁREA Y PORCENTAJE DE UNIDADES EDÁFICAS	66
TABLA 15: DESCRIPCIÓN DE CLIMAS POR MUNICIPIO.....	68
TABLA 16: CLASIFICACIÓN DE LOS USOS DEL SUELO Y VEGETACIÓN	71
TABLA 17: SUPERFICIE DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS.....	74
TABLA 18: ÍNDICES Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	75
TABLA 19: TOTAL DE POBLACIÓN POR LOCALIDADES	78
TABLA 20: POBLACIÓN DE LOCALIDADES RURALES Y URBANAS POR MUNICIPIO	79
TABLA 21: PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS	81
TABLA 22: DESCRIPCIÓN DE LA PELIGROSIDAD POR SEQUÍAS	99
TABLA 23: ANÁLISIS DE LA MULTIPELIGROSIDAD POR FENÓMENOS GEOLÓGICOS	104
TABLA 24: POTENCIALIDAD DE AFECTACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS RESPECTO A LA AGRICULTURA	106
TABLA 25: ANÁLISIS DE LA MULTIPELIGROSIDAD POR FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS...108	
TABLA 26: POTENCIALIDAD DE AFECTACIÓN DE PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS RESPECTO A LA AGRICULTURA.....	110
TABLA 27: TIPOS DE OBRAS PROPUESTAS POR FENÓMENO PERTURBADOR	116

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE CORRIENTES DE UNA CUENCA	23
FIGURA 2: CICLO DE LA PREVENCIÓN.....	31
FIGURA 3: DEFINICIÓN DE RIESGO	33
FIGURA 4: ELEMENTOS DE UN SIG.....	37
FIGURA 5: COMPONENTES DE LA TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO.....	39
FIGURA 6: ESQUEMA METODOLÓGICO.....	41
FIGURA 7: MODELO DE SOBREPOSICIÓN DE VARIABLES EN AMBIENTE SIG	44
FIGURA 8: MODELO DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE MOVIMIENTOS RÁPIDOS	46
FIGURA 9: MODELO DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE MOVIMIENTOS LENTOS	48
FIGURA 10: MODELO DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE EROSIÓN	49
FIGURA 11: MODELO DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE INUNDACIONES	50
FIGURA 12: MODELO DE RELACIÓN USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN E INSOLACIÓN	51
FIGURA 13: MODELO DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE MULTIPELIGROSIDAD GEOLÓGICA.....	52
FIGURA 14: MODELO DE ELABORACIÓN DEL MAPA DE MULTIPELIGROSIDAD HIDROMETEOROLÓGICA	53
FIGURA 15: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	56
FIGURA 16: LÍMITES FISIAGRÁFICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	57
FIGURA 17: CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN 12062	69
FIGURA 18: CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN 15134	70
FIGURA 19: CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN 12209	70
FIGURA 20: DENSIDAD DE POBLACIÓN POR MUNICIPIO	80

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1: ESTRATIFICACIÓN VERTICAL DE ROCAS SEDIMENTARIAS	59
FOTOGRAFÍA 2: DEPÓSITOS DE LAHAR AL ESTE DE IXTAPAN DE LA SAL.....	60
FOTOGRAFÍA 3: SISTEMA DE GEOFORMAS DE LA CABECERA DE LA SUBCUENCA	62
FOTOGRAFÍA 4: PAISAJE KÁRSTICO HACIA EL EXUTORIO DE LA SUBCUENCA.....	63
FOTOGRAFÍA 5: SUELOS ANDOSOLES PREDOMINANTES EN LA SUBCUENCA	65
FOTOGRAFÍA 6: SUELOS CARACTERÍSTICOS DEL SUR DE LA ZONA DE ESTUDIO	65
FOTOGRAFÍA 7: BOSQUE DE PINO CON PASTIZAL DE ALTA MONTAÑA	72
FOTOGRAFÍA 8: AGRICULTURA DE TEMPORAL EN EL MUNICIPIO DE JOQUICINGO	73
FOTOGRAFÍA 9: DESLIZAMIENTO DE MATERIAL EN LADERAS DE ORIGEN VOLCÁNICO.....	87
FOTOGRAFÍA 10: INESTABILIDAD DE LADERAS POR CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS	87
FOTOGRAFÍA 11: POSIBILIDAD DE OCURRENCIA DE MOVIMIENTOS RÁPIDOS EN SAN PEDRO ZICTEPEC.....	88
FOTOGRAFÍA 12: INDICADOR DE MOVIMIENTOS LENTOS POR VEGETACIÓN EN ZUMPAHUACÁN	89
FOTOGRAFÍA 13: EROSIÓN EN PENDIENTE CERCA DE SAN PEDRO TLANIXCO	91
FOTOGRAFÍAS 14 Y 15: ÁREA INUNDABLE EN LA PLANICIE ALUVIAL DE TENANCINGO	94
FOTOGRAFÍAS 16 Y 17: EFECTOS DE UNA INUNDACIÓN.....	95
FOTOGRAFÍA 18: OCURRENCIA DE NIEBLA EN JOQUICINGO.....	103

Introducción

Los fenómenos naturales que actualmente causan desastres no son nuevos, han actuado a lo largo de la historia de la Tierra. *"Es posible que muchos de ellos hayan conducido a la extinción de especies. Aunque son procesos violentos, no son malignos, sólo forman parte del sistema natural que es la Tierra"*, (Lugo e Inbar, 2002).

En la actualidad, es frecuente escuchar el término riesgo para denominar ciertos eventos como terremotos, tsunamis, inundaciones, deslaves, sequías, incendios, entre otros, por otro lado están sujetos a fuerzas internas y externas de la Tierra que aceleran o retardan tales procesos. Son las acciones humanas como deforestación, desestabilización de pendientes, uso de tierras inundables, emisiones masivas de gases de efecto invernadero, las que catalizan los procesos naturales de la Tierra, por lo que se considera al hombre como agente acelerador de dichos procesos y son considerados como riesgo solo cuando afectan los procesos, sistemas y actividades humanas.

En esta investigación se diagnostican los peligros geológicos e hidrometeorológicos a los que está sujeta la subcuenca del Río San Jerónimo ubicada en la ladera sur del Parque Nacional Nevado de Toluca, basado en un estudio por cuenca hidrológica para un análisis integral y cuya metodología se resume en lo siguiente. En un primer momento se establecen los fundamentos conceptuales, teorías y métodos para contextualizar la temática del objeto de estudio, para así brindar un panorama integral. Consecuentemente se plantea una etapa de caracterización de los subsistemas abióticos, bióticos y sociales para determinar las características específicas del entorno de la subcuenca, misma que sirva para sentar las bases en un diagnóstico posterior.

El diagnóstico de peligros se lleva a cabo con base en la clasificación abordada por CENAPRED, retomando la clasificación en peligros geológicos e hidrometeorológicos a los que pueda estar sujeta la zona de estudio, utilizando el análisis multicriterio aplicado a una plataforma de Sistema de Información Geográfica, que permita la ponderación de las diferentes variables del sistema natural y antrópico para generar la cartografía y determinar su afectación e influencia espacial a la población.

De manera consecuente se plantea un tipo de cartografía específica que agrupe las máximas peligrosidades para cada categoría y que sirva como herramienta para determinar las zonas prioritarias ante tales eventos y posteriormente proponer medidas y propuestas de mitigación.

Justificación

La presente investigación tiene como principal fundamento legal, el establecido en la Ley General de Protección Civil que en su artículo cuarto establece que la política pública en la materia de protección civil, se ajustará a los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo y tendrá como propósito esencial identificar y analizar el riesgo, como sustento para la implementación de acciones encaminadas a la prevención y mitigación de desastres. En el entendido del fundamento legal, es necesario conocer las características biofísicas y socioeconómicas del área de estudio, que en conjunto permitan determinar las condiciones que propicien algún evento peligroso.

Una cuenca es un sistema complejo que se articula de elementos bióticos, abióticos y sociales, su importancia como unidad de estudio del territorio se basa en la integración de un sistema complejo que está en armonía con cada uno de sus elementos. En México como en muchas otras partes del mundo, las instituciones encargadas de impulsar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales, han basado sus estudios en cuencas hidrológicas para delimitar regiones territoriales con similitudes en la dinámica del entorno biofísico; tales como la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); mismos que resaltan la importancia integradora de estudios que contemplen cada variable del subsistema natural y social.

En este sentido, la Subcuenca del Río San Jerónimo presenta una variación importante en cuanto a su topografía, así se tienen valores máximos de altitud de 4440 y mínimos de 1100 msnm, lo que le confiere una gran variabilidad en climas, vegetación, formas del relieve, entre otros., y por lo tanto una probabilidad de ocurrencia de diversos peligros geológicos e hidrometeorológicos, dando pie a una investigación más completa.

De igual forma se considera que no existen estudios previos en materia de peligros para dicha zona, cuya delimitación esté basada en cuencas hidrológicas a diferencia de los estudios estatales o municipales que minimizan la comprensión del entorno biofísico y la dinámica del territorio.

Por consiguiente se generó una herramienta que permite dar a conocer los peligros naturales a los que pueda estar sometida la población y el entorno natural, debido a que los diferentes procesos económicos y sociales como la urbanización y la explotación de los recursos naturales, propician la pérdida del equilibrio natural, ocasionando conflictos en forma de bienes y personas bajo riesgo, mismos que pueden llegar a convertirse en un desastre.

De igual forma se contempla la elaboración de información cartográfica, referente a los peligros naturales (geológicos e hidrometeorológicos), como herramienta para la toma de decisiones encaminadas a prevenir el peligro, mismo que pueda convertirse en una herramienta para futuras investigaciones que permitan llevar a cabo análisis más complejos, especializados y a escalas locales para poder prevenir e informar a la población.

Objetivo General

Diagnosticar los peligros geológicos e hidrometeorológicos en la subcuenca del Río San Jerónimo, basado en una plataforma de Sistemas de Información Geográfica y Análisis Multicriterio.

Objetivos Específicos

- Documentar y seleccionar la información teórica para generar un marco de referencia integral que contextualice la investigación
- Caracterizar la subcuenca del Río San Jerónimo en sus aspectos abióticos, bióticos y sociales
- Generar y analizar cartográficamente los peligros geológicos e hidrometeorológicos en el área de estudio
- Elaborar un mapa de multipeligro por categoría de peligros para determinar zonas de atención prioritaria
- Realizar propuestas con base a los peligros identificados que permitan prevenir a la población implicada

Antecedentes

El análisis de los antecedentes existentes es una herramienta para comprender el contexto en que se han efectuado investigaciones similares a este trabajo de investigación, donde se revisan estudios de caso a diferentes escalas, con el objetivo de identificar y conocer las diferentes formas de abordar los estudios de los peligros naturales, con ello se puede tener una mejor comprensión de los métodos y procedimientos que se han realizado, con la finalidad de tener una base orientada a definir una posible metodología de la investigación.

Tabla 1: Comparación de casos de estudio de riesgos y peligros naturales.

Casos de Estudio	Objetivo y Propósito	Descripción Metodológica	Herramientas Utilizadas	Conclusiones
<p>Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones, en el área Metropolitana del Valle de Aburrá, Antioquia, Colombia</p>	<p>Identificar zonas de amenaza de deslizamientos e inundaciones, bajo dos metodologías en el valle de Aburrá</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Presentación de información teórica y conceptual 2) Descripción de la zona de estudio 3) Utilización de la metodología de Análisis de Regresión Múltiple, correlacionando valores de precipitación con el número de eventos 4) Construcción de gráficos de Precipitación Promedio Mensual Multianual 5) Aplicación del Análisis de Regresión Múltiple 6) Desarrollo y empleo del Modelo de Análisis Multicriterio para el cálculo de riesgo en IDRISI KILIMANJARO 7) Análisis y ponderación de variables 8) Realización de Algebra de Mapas 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos de precipitación por estaciones • Registro de eventos de inundación y deslizamientos de la tesis: Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina, 2004 • Plataforma de SIG en IDRISI KILIMANJARO para el análisis multicriterio • Información temática obtenida del estudio de Microzonificación Sísmica de los municipios 	<p>-Para la metodología de Análisis de Regresión Múltiple, no se obtuvieron los resultados esperados, ya que la ocurrencia de eventos depende de ciertas variables y no sólo de una</p> <p>-Las estaciones de precipitación son escasas en el Valle de Aburrá por lo que los resultados no son confiables</p> <p>-La falta de datos hace ineficiente a cualquier metodología, por muy exacta que sea</p>
<p>Atlas de riesgos del municipio de Centro, Tabasco 2009</p>	<p>Generar información básica que permita a las autoridades municipales construir una sólida estrategia de prevención de desastres y reducción de riesgos en el municipio de Centro</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Caracterizar y diagnosticar 2) Tendencias de crecimiento urbano 3) Identificación de fuentes de peligro 4) Identificación de zonas de riesgo 5) Analizar contexto jurídico 6) Proponer acciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo digital generado por LIDAR • Fotografías aéreas y ortofotos escala 1: 10,000 de INEGI • Cartografía censal del INEGI - ArcGis 9.2 • Mapa de diferenciación ecogeográfica de Tabasco • Normales climatológicas de CNA • Base de datos nacional ERIC II 	<p>-Para cada distrito que conforma el municipio de Centro se generó la cartografía para identificar cada una de las áreas en riesgo</p> <p>-Se estimó la densidad de población existente en las zonas de riesgo mitigable y no mitigable</p> <p>-Se emitieron recomendaciones pertinentes en materia de gestión de riesgos y mejoramiento ambiental tales</p>

				como: Manejo de la cubierta vegetal, manejo racional de zonas de inundación, elaboración del POTDU ¹ del municipio de Centro
Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México	Determinar los peligros volcánicos aplicando técnicas multicriterio y SIG en el área del nevado de Toluca, mediante la elaboración de mapas con base en criterios de decisión.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Elaboración de 150 secciones estratigráficas a partir de trabajo de campo 2) Generación de una base de datos de diferentes eventos volcánicos 3) Transformación de cartografía analógica aplicando técnicas de fotointerpretación 4) Análisis cartográfico escalas 1:50000 y 1: 250000 5) Revisión e incorporación de información en trabajos antecedentes 6) Evaluación y combinación de variables mediante evaluación multicriterio 7) Aplicación del método de combinación lineal ponderada en IDRISI 	<ul style="list-style-type: none"> • Ilwis e IDRISI • Análisis multicriterio • Datos vectoriales y raster • Método de la línea de energía • Mapas temáticos y escalas de atributos • Escalas 1:20000 y 1:75000 • Mapas temáticos 	<p>-El nivel de peligro corresponde al área por encima de los 3000 msnm del volcán Nevado de Toluca</p> <p>-El uso de las técnicas del EMC, permite evaluar los distintos factores simultáneamente, sin la necesidad de realizar operaciones de sobre posición</p> <p>-Se identificaron 5 tipos de peligros volcánicos (flujos de bloques y ceniza, flujos de pómez, lahares, avalanchas de escombros y caída de ceniza)</p> <p>-Las principales áreas afectadas en caso de una nueva erupción serían al noreste y sur del volcán</p>

Fuente: Elaborado a partir de las investigaciones citadas

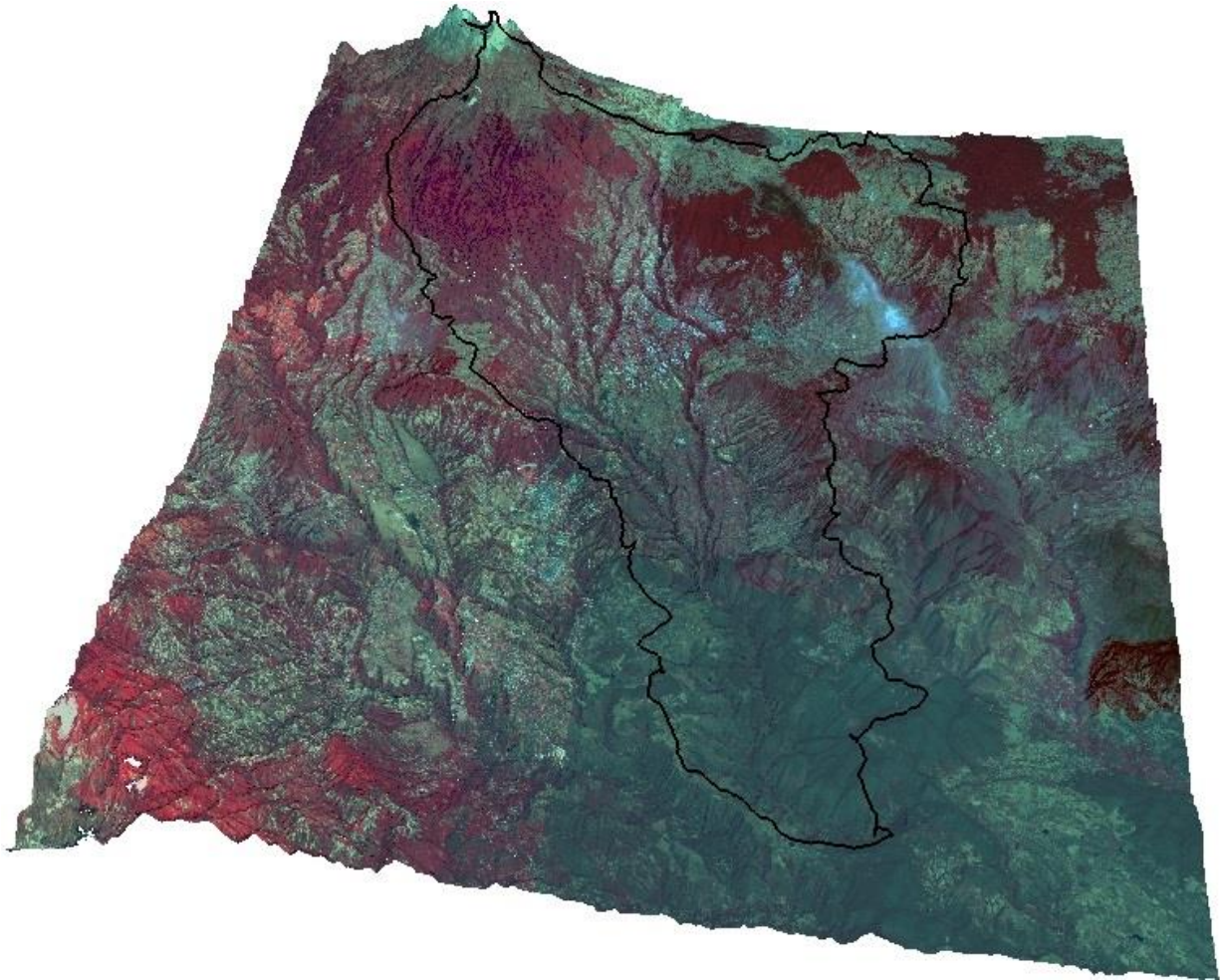
¹ POTDU: Programa de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano

En general al analizar los casos de estudio, se hace evidente que para abordar los mismos se emplearon diferentes técnicas de análisis espacial que además de consultar fuentes de información cartográfica, también fue indispensable la generación de nueva cartografía especializada en los temas a estudiar, en este caso acerca de los peligros naturales como se puede apreciar en la tabla 1.

Dado lo anterior, se puede afirmar que la presentación, generación y procesamiento de mapas que permiten visualizar la información espacial de los fenómenos en cuestión, logran consolidarse como un medio de conocimiento para ser transmitido, de esta forma la cartografía temática facilita la difusión de información acerca de los peligros que potencialmente puedan presentarse dentro de la zona de estudio, la cual estará dirigida principalmente a la población que desarrolla sus actividades económicas dentro de la misma.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO



En el presente capítulo se abordan los conceptos y teorías que se ajustan a los estudios que toman como unidad básica de análisis territorial a la cuenca hidrológica, en relación a la peligrosidad, entendiéndola como un sistema natural donde la sociedad interactúa con los elementos naturales de manera dinámica, por ende es necesario su comprensión conceptual a manera de marco base a lo largo del trabajo de investigación. El objetivo principal del presente capítulo, se define en integrar y contextualizar las principales teorías y conceptos especializados en la temática de las cuencas hidrológicas, peligros naturales, elementos de los Sistemas de Información Geográfica, así como la técnica de Evaluación Multicriterio.

Para lograr lo anterior, la estructura se conforma por seis subcapítulos, que contienen los principales conceptos, teorías, así como la metodología del objeto de estudio. El primer subcapítulo aborda la Teoría General de Sistemas (TGS), como elemento base para lograr un estudio desde una perspectiva integradora de los aspectos relacionados a la cuenca; para el subcapítulo dos, se describen los principales conceptos en el marco de las cuencas hidrológicas como unidad de estudio del territorio, así como los principales componentes que interactúan de manera directa en su funcionalidad.

En el subcapítulo tres se lleva a cabo la descripción de los componentes del riesgo, dejando en claro que los alcances de la investigación se acotan a los peligros; el cuarto y quinto subcapítulos señalan los principios en los que se fundamentan los componentes de las plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la técnica de Evaluación Multicriterio, como principales herramientas y técnicas para elaborar cartografía específica en cuestión de peligros. Por último el subcapítulo seis describe la metodología en la cual se sustenta la investigación, detallando las fases de desarrollo de la investigación para lograr el cumplimiento del objetivo general.

I.1 TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS (TGS)

Actualmente para prevenir desastres o en su caso algún tipo de catástrofe, es de suma importancia elaborar modelos de pronóstico de fenómenos naturales, que muestren la relación e interacción entre los distintos elementos y/o factores de un sistema, como lo es una cuenca hidrológica, que se aborda conceptualmente más adelante; ya que el manejo de las mismas se basa en la integración del estudio de distintos factores relacionados entre sí, los cuales se conjugan para llevar a cabo la dinámica de procesos dentro del territorio, vinculados directamente para funcionar y que al ser alterado algún componente de su ciclo, se pierde el equilibrio del sistema; de ahí que se aborden algunas cuestiones conceptuales y descriptivas de la Teoría General de Sistemas (TGS), que ayudará a entender los procesos y relaciones dadas en una cuenca como un sistema biofísico abierto donde se efectúan flujos de energía, entradas y salidas.

Al respecto, cabe mencionar que la TGS centra sus principales antecedentes en "el trabajo de Ludwig Von Bertalanffy, a partir de la presentación que hizo de la Teoría de los Sistemas Abiertos, en 1925" (Johansen, 2001). De acuerdo con Arnold y Osorio, (1998), ésta teoría tiene una aproximación científica y sistemática para representar la realidad y los fenómenos que ocurren, de tal modo que se puede abordar para efectuar estudios de tipo transdisciplinarios que permitan conocer eventos naturales y sociales.

Por lo anterior es pertinente exponer la idea de Johansen (2001), quien plantea el concepto de sistema como *"un grupo de partes y objetos que interactúan y que forman un todo o que se encuentran bajo la influencia en alguna relación definida"*. Por otro lado De Bolós (1992), define al sistema como *"un modelo que consiste en un conjunto de elementos en interacción, dicho esto, se puede distinguir que un objeto como unidad de análisis, debe estar comprendido por aquellos elementos que lo conforman para integrar un panorama de su evolución en el medio"*.

Los Sistemas Generales, de acuerdo con Arnold y Rodríguez (1991, en Arnold y Osorio, 1998), pueden clasificarse según su entitividad en reales, ideales y modelos; con relación a su origen en naturales o artificiales y finalmente de acuerdo al ambiente o grado de aislamiento pueden ser cerrados o abiertos, según el tipo de

intercambio que establecen con su exterior. Así mismo, cabe mencionar que en lo que se refiere al sistema de una cuenca hidrológica, los componentes que lo integran pueden estar subdivididos en tres grupos, los cuales son el componente abiótico, biótico y el social.

De esta manera, la TGS cumple una función integradora y a su vez transdisciplinaria que permite estudiar fenómenos de ocurrencia, no sólo de las ciencias naturales, sino que puede ser transportada y conceptualizada a todas las áreas del conocimiento, tal es el caso de una cuenca hidrológica, integrada por diferentes elementos, factores y agentes que interactúan entre sí. De tal forma que la TGS, es de vital importancia para entender el funcionamiento de un sistema abierto, a fin de comprender y analizar su dinámica y comportamiento, abriéndose la posibilidad de pronosticar las afectaciones e impactos generados por la interacción de sus diversos componentes, lo anterior para tomar decisiones acerca del manejo de los recursos naturales (subsistemas abiótico y biótico) encaminadas a un manejo sustentable del territorio y sus recursos.

I.2 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA

El concepto de cuenca, se retoma de la definición propuesta por Henao (2006) como *“un área natural en la cual el agua se desaloja a través de un sinnúmero de corrientes, cuyos caudales son recogidos por un colector común, que sirve de eje de la zona. La extensión de una cuenca puede variar, desde pocas a miles de hectáreas”*, además la considera como la mejor unidad geográfica de planeación ya que, el estudio y conocimiento de sus características geográficas, físicas y biológicas la asemejan a un ecosistema, donde los componentes que lo integran están en constante interacción conservando la integridad y equilibrio de la misma, entre los cuales se encuentran el agua, suelo, vegetación, fauna, el hombre y el medio ambiente.

A su vez, Aparicio (2007) menciona que la cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde la precipitación que cae sobre ella es drenada por un sistema conformado por corrientes que se dirigen hacia una misma salida. En suma, ambos autores hacen referencia al escurrimiento de la cuenca, así como a sus cauces por los

cuales el agua tiene su punto común de salida, con lo que se comprende que la cuenca está en función de una red de drenaje, en donde la precipitación se concentra para fluir a través de ellos, para posteriormente concentrar el volumen de agua hacia el exutorio (salida de la cuenca), donde además la calidad y cantidad del recurso hídrico, dependen de las actividades humanas y su relación con el medio natural.

En el estudio de una cuenca se debe considerar que todos los recursos que posee son interdependientes y han de ser considerados en su conjunto, y no independientes. Lo cual tiene una gran relevancia ya que al ser un sistema abierto y dinámico, la cuenca no puede estar aislada de otros sistemas o elementos que puedan ejercer cierta influencia sobre la misma, además que cuando uno de sus elementos no es contemplado en su análisis, los resultados obtenidos no serán confiables.

Para llevar a cabo dicho análisis de forma integral, es necesario agrupar los componentes de la cuenca en cuatro categorías, las cuales son factores físicos, biológicos, humanos o socioeconómicos y ambientales (Henao, 2006). Siendo el factor físico uno de los más importantes que tiene relación con el relieve (topografía) y que es importante abordar para llevar a cabo el diagnóstico de los peligros naturales de la cuenca (considerando a la geología, geomorfología y edafología que influyen en la erosión del suelo, inestabilidad de laderas, inundaciones, entre otros).

En cuanto a los factores biológicos, ya se considera a otros elementos que intervienen en la cuenca en su aspecto biótico sostenido por el recurso suelo, además de contemplar no solo a especies, sino también a las interacciones que se dan entre ellas. El primer elemento es el suelo, recurso que es tomado en cuenta por su material de origen, el relieve en donde se encuentra, la pendiente que posee, así como la fertilidad del mismo; este elemento es incluido dentro de este grupo, ya que es el soporte de las actividades del hombre, las cuales dependen de las características del mismo, ya sea para actividades productivas como la agricultura o la explotación de recursos forestales.

Dentro de las especies vegetales, se considera a todas las especies que se encuentran dentro de la cuenca, tales como lo son los bosques naturales y artificiales, los cultivos, las praderas y otros tipos de cobertura vegetal que se desarrollen dentro de los límites de la subcuenca. Las especies animales dentro de la subcuenca son importantes, por las funciones que desempeñan al interior de la misma, sin embargo por la naturaleza de la investigación no se contempla la fauna existente dentro de la subcuenca como unidad de estudio.

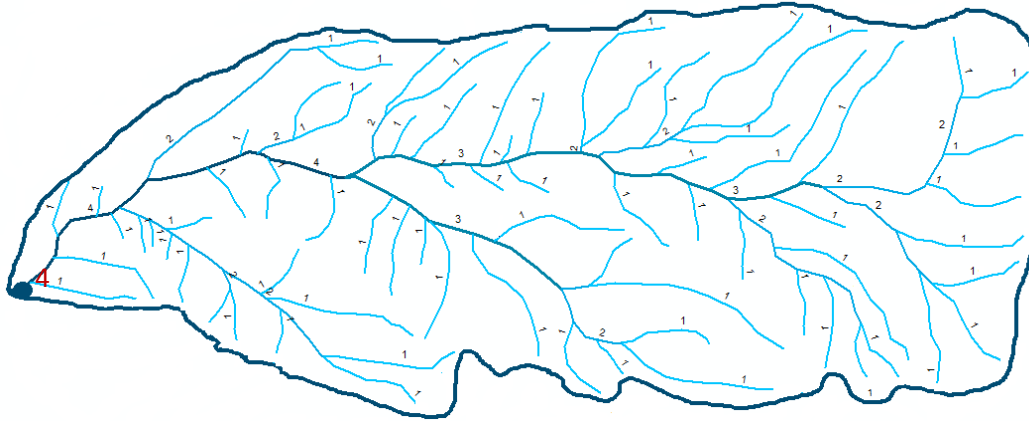
De acuerdo con Bernal y Coronado en Henao (2006), para lograr que planes o programas funcionen o arrojen los resultados esperados, es indispensable incluir a la población que habita en determinadas zonas de estudio y mediante un manejo integrado de los recursos con los que cuentan, permite introducir cambios sociales que fomenten un desarrollo económico que a su vez, logre mejorar las condiciones de vida de la misma población y por tanto que éstas mismas comunidades puedan sostenerse.

Dentro de las características de la cuenca, Aparicio (2007) aborda no solo las partes físicas de la cuenca, sino que además describe los elementos inherentes a los cauces, como lo son parteaguas, el área de la cuenca, la corriente principal y el orden de las corrientes. Lo anterior con el objetivo de explicar los fenómenos que condicionan el escurrimiento (como el área y el tipo de suelo) y los fenómenos que condicionan la velocidad de respuesta de la cuenca. Siendo el parteaguas una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa a una cuenca de sus vecinas, por otro lado el área de la misma está referida a la superficie, en proyección horizontal delimitada por el parteaguas.

De igual forma Aparicio (2007), menciona la importancia de las corrientes tributarias, la cual radica en que a un mayor número de corrientes o grado de bifurcación, el sistema de drenaje que la conforma tendrá una respuesta más rápida a la precipitación, es decir, que la red de drenaje será capaz de dar una mejor respuesta a eventos extremos que puedan generar algún tipo de peligro hidrometeorológico.

Por otro lado Nanía (2003), considera el orden de corrientes como un número que refleja la red de drenaje, es decir, la cantidad de ríos tributarios que se conectan al cauce principal, con base en esta idea se puede asignar el orden a las corrientes como se puede apreciar en la figura 1, donde se presenta una cuenca con orden cuatro de corrientes.

Figura 1: Determinación del orden de corrientes de una cuenca



Fuente: Elaborado con base en la descripción de Horton

De tal forma que para el caso de la presente investigación, se retoma la clasificación de orden propuesta por Horton (1945, en Nanía, 2003), debido a que muestra de forma clara y sencilla el valor propio de la red de drenaje de la cuenca, además de la interpretación de dicho valor.

Límites de una Cuenca

“Para delimitar una cuenca es necesario considerar la topografía del terreno, los límites de la cuenca son las partes más altas a su alrededor. Los límites topográficos más altos se llaman divisorias o divorcios de aguas, considerados así, por ser una línea de separación con las cuencas adyacentes. Las divisorias o divorcios de aguas siguen alrededor de la cuenca y solamente atraviesan el río en el punto de desagüe”, (Henaó, 2006). Considerando lo anterior, es pertinente considerarlo como fundamento para delimitar la zona de estudio a través de parteaguas, mismo que definirá el sistema de manera integral.

I.2.1 Partes Físicas

“En una cuenca hidrográfica se pueden distinguir tres partes, la cuenca de recepción, garganta o canal de desagüe y el lecho o cono de deyección. Según sea el área de la cuenca y el estado de desarrollo o de intervención pueden aparecer en una cuenca una o dos partes solamente”, (Ibídem). De acuerdo con lo anterior, es posible afirmar que dicha zonificación facilita la comprensión de los procesos que ocurren de manera continua en la dinámica de la misma, a su vez se describen a continuación, los elementos antes mencionados y un agregado de componentes considerados por su importancia.

Tabla 2: Definición de los componentes de cuenca

Conceptos	Definición
Cuenca de recepción	Es la parte más alta de la cuenca en donde se concentra la mayoría del agua, dentro de esta zona se presenta continuamente la erosión producida por el agua.
Garganta o canal de desagüe	Es el encajonamiento formado entre dos vertientes, por cuyo fondo son conducidos las aguas y materiales provenientes de la cuenca de recepción.
Lecho o cono de deyección	Es el depósito aluvial que se forma cuando la corriente llega a una superficie plana o de poca pendiente (fondo del valle, llanura, etc.)
Talweg	Es el canal natural formado por la zona más profunda de su territorio por el cual escurren las aguas
Interfluvio	Es la superficie que se encuentra entre los Talwegs de cuencas sucesivas
Vertientes	Son las áreas receptoras de agua que se extienden a lado del Talweg, desde este hacia la línea de divorcio

Fuente: Elaborada acorde con Henao (2006)

En este orden de ideas, podemos resaltar la importancia de la cuenca de recepción (tabla 2), dado que concentra la mayor captación de agua para el resto de la cuenca, al mismo tiempo las actividades llevadas a cabo en dicha zona afectarán en gran medida la calidad, cantidad y disponibilidad del agua aguas abajo, a su vez se infiere que los procesos ocurridos en las zonas altas, afectarán de manera directa todo el sistema de cuenca.

I.2.2 Morfometría

Desde el punto de vista del estudio de cuencas, el análisis morfométrico juega un papel muy importante para poder determinar el comportamiento hidrológico y características geomorfológicas con relación al recurso agua, de tal suerte que las actividades humanas dependen exclusivamente de la disponibilidad de dicho recurso. *Tal herramienta puede servir también como análisis espacial ayudando en el manejo y planeación de los recursos naturales*, (López Blanco, 1989 en INE 2004).

Área de la cuenca

Es definida por Nanía (2003), como la superficie que en proyección horizontal, está delimitada por la divisoria de aguas; en este contexto se puede considerar al área de la cuenca como un parámetro fundamental para la planeación y administración de los recursos naturales, específicamente el agua. Es importante para la comprensión, interpretación y pronóstico de ciertos peligros hidrometeorológicos, ya que con base en ella, se puede determinar el escurrimiento superficial de la cuenca, al considerar todas las entradas agua y los escurrimientos superficiales subsecuentes en eventos extremos.

“El área de la cuenca afecta las crecidas, el flujo mínimo y la corriente media en diferentes modos. Entre más grande sea la cuenca, mayor tiempo necesitará el pico de crecida en pasar por un punto determinado y necesariamente sucede que las crecidas son menores cuando la cuenca aumenta en tamaño. Para la administración y manejo de las cuencas, se subdividen en subcuencas y posteriormente en sectores de acuerdo con la conformación fisiográfica e hidrográfica” (Henao, 2006). Con base en lo anterior, se define al área de estudio como una subcuenca debido a la proporción territorial que comprende.

Perímetro, Longitud Axial y Ancho Promedio

El perímetro definido por Henao (2006), es la medición de la línea envolvente del área, en este caso se trata de la línea de divorcio o parteaguas, la cual es el límite de la cuenca; el perímetro *per se*, es considerado como la medida del límite de la cuenca previamente definido por la delimitación de la misma. Por otro lado la longitud axial es definida por como la distancia existente entre la desembocadura y el punto

más lejano de la cuenca, definida por el mismo eje de la cuenca. Por último el ancho promedio es el resultado de dividir el área de la cuenca por la longitud axial.

Estos elementos morfométricos parecen tener poca relevancia por sí mismos, sin embargo son componentes fundamentales para la estimación de los cálculos morfométricos de la cuenca, estos factores son insumos requeridos para determinar los siguientes parámetros.

Forma de la Cuenca

“Este factor permite conocer la velocidad con que el agua llega al cauce principal y cuándo sigue su curso, desde el origen hasta la desembocadura. La forma de la cuenca difícilmente se puede expresar por medio de un índice numérico”, (Henaó, 2006). Su importancia radica en que al obtener valores altos, indican tendencia a la concentración de aguas, por lo tanto formación de crecidas y favorecimiento de la ocurrencia de eventos extremos causando inundaciones.

El factor de forma es un índice morfométrico que expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Ff = \text{Ancho promedio} / \text{Longitud axial}$$

Este índice muestra la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, dando una primera aproximación acerca de la susceptibilidad a peligros hidrometeorológicos como inundaciones repentinas o torrentes. Así las cuencas con factores de forma bajos, son menos propensas a tener avenidas intensas y simultaneas sobre su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor.

Por otro lado Llamas (1989), hace referencia al coeficiente de compacidad propuesto por Gravelius, definiéndolo como la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie que la cuenca, donde valores cercanos a 1 indican tendencia a concentrar mayor volumen de escurrimiento. Se puede expresar por medio de la siguiente fórmula:

$$K_c = (0.28) P / \sqrt{A}$$

K_c: Es el coeficiente de compacidad

P: Perímetro de la cuenca

A: Área de la cuenca

Por otro lado, el coeficiente de compacidad está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, mismo que se describe más adelante. Para comprender el coeficiente de compacidad, en la tabla 3 se muestran valores de clasificación obtenidos a través de la fórmula vista con anterioridad, en los cuales se establece la relación entre dicho valor (que va de 1.0 a 1.75) y su forma correspondiente, mismos que permiten interpretar los resultados de los cálculos morfométricos de mejor forma.

Tabla 3: Clasificación de valores de compacidad

Rangos de K _c	Forma de la cuenca
Menor a 1.25	Redonda a oval- redonda
De 1.25 a 1.50	Oval redonda a oval- oblonga
De 1.50 a 1.75	Oval- oblonga a rectangular- oblonga

Fuente: Extraída de Nanía, (2003)

A partir de la tabla anterior se pueden obtener datos que muestren la peligrosidad de la cuenca con respecto a las crecidas, un aspecto importante a considerar, por la naturaleza de la investigación se pretenden conocer estos factores que intervienen en la ocurrencia de peligros naturales, ya que en su posterior análisis, serán considerados para el diagnóstico de las inundaciones.

Tiempo de Concentración

"Es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe; en este momento ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, puesto que están llegando gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca" (Henaó, 2006). Este parámetro expresa que a mayor tiempo, mayor volumen de agua, también puede indicar mayor escurrimiento. Para el cálculo de la misma se retoma la fórmula establecida por Pizarro (en INE, 2004), expresada de la siguiente forma:

$$T_c = (13.548) (L^2 / H)^{0.77}$$

Dónde:

T_c: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce principal en (Km)

H: Diferencia de alturas (m)

La siguiente tabla muestra la clasificación de tiempos de concentración para los distintos tipos de cuencas:

Tabla 4: Rangos de tiempo de concentración (Minutos)

Rangos de T _c	Clases
0 a 41.5	Rápido
41.6 a 83.2	Moderado
83.3 a 125.1	Lento

Fuente: INE, 2004

La tabla anterior señala los valores expresados en minutos, así como la clasificación considerada por dichos rangos de valor siendo el tiempo estimado donde el agua se acumula en un mismo punto de desagüe.

Densidad de Drenaje

“Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene” (INE, 2004: 15). Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$D_d = L/A$$

Siendo:

L: Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en km

A: Área de la cuenca en km²

Pendiente Media de la Cuenca

En los estudios de orden morfométrico de la cuenca, es importante conocer esta medida debido que a mayor pendiente mayor desplazamiento del agua, menor tiempo de concentración y menor infiltración, la cual se obtiene considerando todas las alturas por donde pasa la corriente principal (curvas de nivel).

“La pendiente media de una cuenca es el cociente entre la diferencia de elevación máxima, H, medida entre el punto más alto del límite de la cuenca y la desembocadura del río principal, y la mitad del perímetro de la cuenca” (Llamas, 1998). Puede expresarse de la siguiente manera:

$$I_m = 2H / P$$

Dónde:

I_m: Pendiente media

H: Elevación máxima

P: Perímetro de la cuenca

Estos parámetros morfométricos ayudan a comprender la dinámica de la cuenca y su forma de regulación con los demás actores, mismos que son parte del análisis, ya que los demás componentes abióticos, bióticos y sociales ejercen influencia directa y condicionan los procesos de peligros.

I.3 CONTEXTO DE LOS PELIGROS NATURALES

Haciendo referencia a que este tipo de eventos son de origen natural y parte del proceso evolutivo del planeta, es importante considerar el crecimiento poblacional como lo han mencionado Keller y Blodgett (2004), afirmando que uno de los principios fundamentales en el estudio de los riesgos naturales, es que la población intensifica el efecto del riesgo.

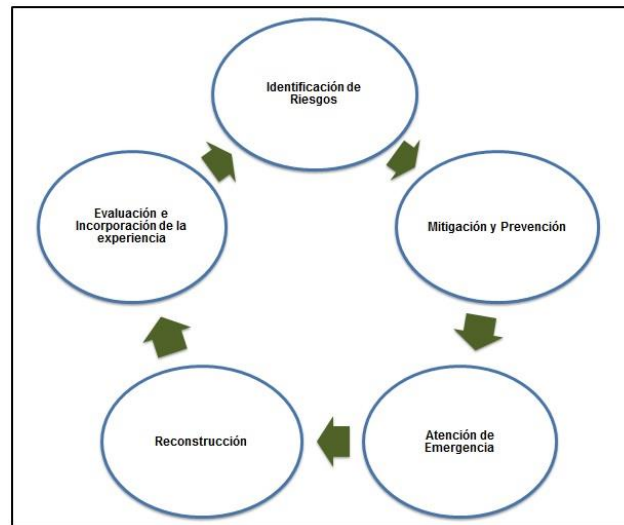
Estas repercusiones ocasionan que eventos de origen natural considerados como peligrosos, hayan adquirido o aumentado su intensidad ocasionando con esto mayores pérdidas, a su vez el crecimiento de la población se ha acelerado de manera considerable, por lo que a mayor población, mayores sistemas humanos y por lo tanto mayores bienes bajo riesgo.

Por sus efectos, los desastres pueden tener importantes consecuencias en el ámbito económico y social, en el desarrollo de una región e inclusive llegar a comprometer la seguridad nacional. Por tanto, su impacto puede incidir significativamente en el bienestar y calidad de vida de sus habitantes. Así, *"en las últimas dos décadas (1980-2000), los efectos causados por los desastres en México significaron, en promedio anual, pérdidas de 500 vidas humanas y daños materiales por 700 millones de dólares"* (Bitrán, 2001, en CENAPRED, 2006).

A su vez, en el contexto nacional se retoma la conceptualización del ciclo de prevención propuesta por CENAPRED (2006), donde se muestran las etapas del mismo, así como la importancia de llevar a cabo cada una de ellas para abordar los riesgos.

Para el caso concreto de la investigación, se tienen como objetivos la identificación de peligros dentro del territorio de la Subcuenca de Río San Jerónimo (SRSJ), para posteriormente fungir como herramienta de mitigación y prevención de desastres a través de la elaboración de las etapas preliminares del mismo ciclo (véase figura 2).

Figura 2: Ciclo de la prevención



Fuente: (CENAPRED, 2006)

La combinación entre el análisis de cuencas y la temática de los peligros naturales, a través de una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG), favorecen un mejor análisis de tales eventos, con esto al poder conocer y asignar valores a las variables que intervienen dentro de estos fenómenos, es posible conocer a detalle las características del entorno, así como determinar por qué surgen tales eventos. Por lo anterior se puede concluir que mediante éste análisis se podrán caracterizar y diagnosticar dichos fenómenos perturbadores para poder lograr la elaboración de información de carácter preventivo y coadyuven a una mejor planificación del territorio y aprovechamiento de los recursos naturales.

I.3.1 Riesgo y Peligro

Considerando que el objeto de estudio de la presente investigación se centra en aquellos fenómenos perturbadores de origen natural (de orden Geológico e Hidrometeorológico), se retoma el concepto de riesgo o riesgo natural propuesto por Keller y Blodgett (2006), siendo cualquier proceso natural que presenta una amenaza para la vida humana o la propiedad. El suceso en sí, no es un riesgo; más bien un proceso natural se convierte en un riesgo cuando amenaza los intereses humanos.

Desde el punto de vista de un peligro natural, el riesgo puede considerarse como el producto de la probabilidad de un suceso y sus consecuencias. El riesgo de un suceso determinado se define como el producto de la probabilidad de las veces que ocurre dicho suceso y las consecuencias si ocurriese. Con lo anterior es conveniente proponer la idea de Suarez (1998), en la que lo refiere como una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, a la salud, la propiedad o al ambiente. Se mide en vidas humanas y propiedades en riesgo.

El riesgo generalmente se le estima como el producto de probabilidad de "X" consecuencias. Por otro lado el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006) establece como punto importante que los riesgos están ligados a las actividades humanas. Así mismo lo define como *"la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores"*.

Con base en lo mencionado por los autores, el riesgo *per se* es la interacción del hombre y sus actividades con los fenómenos perturbadores, los cuales generan diversas repercusiones con base en el grado de vulnerabilidad al que está sujeto el hombre mismo, con base en ello, la presente investigación permite comprender y posteriormente diagnosticar los peligros naturales en la SRSJ, ya que por los alcances de la investigación no se abordarán las pérdidas tanto monetarias, materiales y humanas.

Por tanto esta investigación contribuye a estudios preventivos mediante la generación de información que muestre la peligrosidad. En este sentido para obtener el valor de los riesgos, se consideran todos los componentes que en él intervienen y que se muestran en la siguiente fórmula:

Figura 3: Definición de riesgo

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Exposición})$$
$$R = f(P * V * E)$$

Fuente: (CENAPRED, 2006)

Con base en la fórmula anterior se aprecia que el peligro es considerado como aspecto primordial para determinar las bases de un análisis de riesgo, (ver figura 3), los cuales si no son conocidos o estudiados, evitarán la generación de información necesaria que permita la mitigación de los efectos negativos sobre la sociedad y el entorno, considerando que la presente investigación sólo abordará los peligros naturales, a continuación se define el concepto de peligro para una mejor contextualización.

Peligro o Amenaza

Se retoma el concepto de “peligro natural” establecido por Keller y Blodgett (2006), donde los autores refieren al peligro natural como una amenaza para las personas o para la propiedad que existe, el cual es causado por la naturaleza y por lo general no es causado por el hombre. Por otra parte se tiene la concepción de peligro propuesta por Suarez (1998), el cual menciona que el deslizamiento geoméricamente y mecánicamente caracterizado se considera como peligro, al mismo tiempo tal autor lo define con base al fenómeno perturbador.

Haciendo mención a CENAPRED (2006), se propone que en el estudio de los peligros, es importante definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso, mismo que pueda medirse numéricamente y ser asociado mediante relaciones físicas con los efectos del fenómeno sobre los bienes expuestos, por lo anterior es preciso mencionar que peligro se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto período de tiempo y en un sitio dado.

Con lo que la investigación pretende diagnosticar los peligros a través de la elaboración de cartografía, basada en modelos de pronóstico para cada uno de los fenómenos antes mencionados, cuya importancia radica en lo mencionado por CENAPRED.

“Los mapas de peligro representan la distribución de los fenómenos perturbadores de origen natural o antropogénico, basados en datos probabilísticos y/o estadísticos que conducen a la determinación de un nivel cuantitativo de la intensidad de algún fenómeno perturbador que existe en un lugar determinado. Los estudios pueden realizarse a distintas escalas y se basan principalmente en información obtenida del monitoreo, trabajo en campo, experimentación y su posterior análisis y modelación” (CENAPRED, 2006). Con lo anterior es posible definir las bases para llevar a cabo el objeto de estudio de la investigación, a su vez se tiene un mayor fundamento para proponer cartografía de peligros.

I.3.2 Tipología de Riesgos

De acuerdo con la legislación mexicana, el organismo rector de la prevención y mitigación de riesgos, así como de elaborar planes de acción para prevenir los riesgos es el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), este establece una clasificación de los riesgos categorizados en geológicos, hidrometeorológicos, químicos, socio-organizativos y sanitario-ambientales.

De lo anterior se pueden describir las características de los riesgos contemplados en la actual investigación, con el propósito de comprender sus componentes, orígenes y consecuencias. Debido a que no existe una definición específica para cada uno de los riesgos en CENAPRED, se plantean los siguientes conceptos basados en una interpretación propia, en la que sólo se describen los riesgos geológicos e hidrometeorológicos debido a que los restantes no son objeto de la investigación.

Riesgos Geológicos

Con base en CENAPRED (2006), se puede plantear que un riesgo geológico es la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseados sobre sistemas constituidos por personas a causa de fenómenos que son originados por los movimientos de la corteza terrestre o bien en la superficie por factores que

desencadenan eventos perturbadores. Tales fenómenos pueden ser enunciados en: terremotos, tsunamis, vulcanismo, flujos de lodo, movimientos de ladera, desprendimientos de rocas, caída de derrubios, flujo de detritos, reptación etc.

Riesgos Hidrometeorológicos

De acuerdo con CENAPRED (2006), los fenómenos hidrometeorológicos por su parte pueden estar referidos a la probabilidad de ocurrencia de daños a los sistemas humanos por fenómenos provocados por eventos extremos en el ciclo del agua, es decir, por la precipitación y escurrimiento; referidos a inundaciones, sequías, heladas, granizadas, etc.

I.4 PLATAFORMAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Actualmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han empleado en la solución de problemas de diversas temáticas con relación directa al territorio, por un lado facilitan la manipulación, modelado y representación de datos geográficos, a su vez simplifican las tareas de análisis y visualización de la información, por lo que son una herramienta necesaria para estudios ambientales y territoriales.

Los SIG entonces, se pueden definir como una tecnología integradora que une varias disciplinas con el objetivo común del análisis, creación, adquisición, almacenamiento, edición, transformación, visualización, distribución, etc., de información geográfica (Goodchild, 2000 en Gómez y Barredo, 2005). Es prioritario aplicar la tecnología existente en cuanto al análisis de datos espaciales, ya que mediante la interpretación de los mismos, es posible conocer el estado actual y las condiciones del entorno natural.

El autor Bosque (1997 en Gómez y Barredo 2005), define los SIG como una caja de experimentación, ya que estos sistemas permiten realizar el trabajo de investigación en diferentes escenarios virtuales, considerando las características de una región en particular, estos escenarios permiten prever acontecimientos futuros mediante el análisis de los datos históricos, en donde el comportamiento de estos datos permitirán hacer pronósticos y buscar qué escenario es el que se desea lograr a futuro, siempre y cuando todas las variables hayan sido consideradas y ponderadas mediante la Evaluación Multicriterio (EMC), para este caso.

Otra definición de SIG es la establecida por Cebrián (1994, en Gómez y Barredo 2005), en donde menciona que el SIG es una base de datos especializada que contiene objetos de tipo geométrico, estos entendidos como datos de tipo vectorial, en donde las bases de datos obtienen una mayor importancia. Los SIG también son definidos como un modelo informatizado del mundo real, descrito en un sistema de referencia ligado a la Tierra, establecido para satisfacer las necesidades de información específicas, respondiendo a un conjunto de preguntas en concreto, (Rodríguez 1993, en Gómez y Barredo 2005). La importancia de los SIG para la presente investigación se enfoca exclusivamente en poder determinar los peligros de manera espacial en un territorio y lograr un modelo de predicción de eventos en un tiempo futuro.

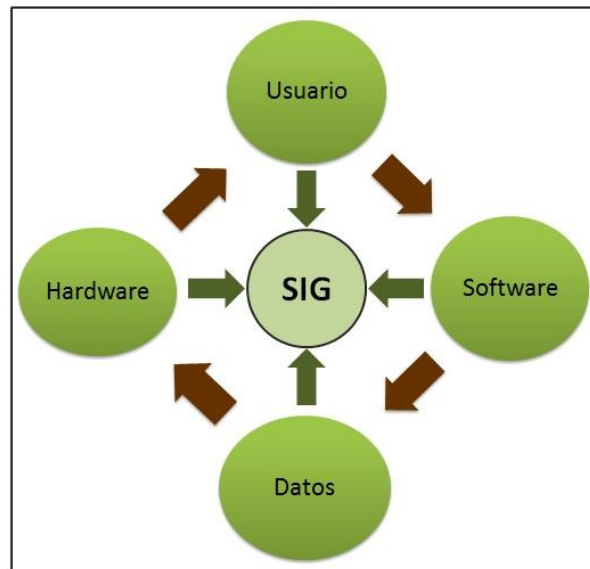
Los tipos de datos y la forma de trabajo de los mismos, son variables importantes dentro de estas definiciones, en donde los diferentes componentes de un SIG se abordan de distinta manera de acuerdo a los objetivos de los autores.

Componentes de los Sistema de Información Geográfica (SIG)

Principalmente se retoman cuatro elementos que componen a los SIG, los cuales fueron establecidos por Maguire (1991, en Gómez y Barredo 2005), los cuales pueden ser enunciados como hardware, el cual es la parte física del sistema, éste suele estar representado por alguna plataforma de computador, dentro de este elemento entran las denominadas PC's; software, referido a los programas de aplicación, este elemento realiza las operaciones y manipulación de los datos, con éste el usuario establece una estrecha relación de comunicación acerca de las operaciones realizadas.

Por otro lado están los datos, considerados como elementos cruciales, ya que sobre los mismos se realizan todas las operaciones posibles que permita el SIG. Por último está el liveware, considerado como la parte viva del sistema, son las personas encargadas del diseño, implementación y uso del SIG (ver figura 4).

Figura 4: Elementos de un SIG



Fuente: (Maguire, 1991, en Gómez y Barredo 2005)

Funciones de los SIG

Principalmente los autores Gómez y Barredo (2005), engloban las funciones en cuatro grandes grupos, los cuales son entrada de información, gestión de datos, transformación y análisis de datos y la salida.

La entrada de datos corresponde a los datos espaciales y sus características temáticas asociadas, provienen por lo general de diversas fuentes y en distintos formatos. La gestión de datos contempla las operaciones de almacenamiento y recuperación de los datos de la base, los aspectos concernientes a la forma en que se organizan espacial y temáticamente.

Por consiguiente las funciones de transformación y análisis de datos son las que proveen nuevos datos a partir de los existentes originalmente, es aquí en donde el usuario los define y determina cómo los utilizará, para poder resolver problemas espaciales determinados, estableciéndose así soluciones a través del SIG, con las operaciones que utilizan los datos espaciales de diferentes maneras.

En el mismo contexto, las salidas de datos dependen de los requerimientos del usuario, las más frecuentes son mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, representaciones tridimensionales, simulaciones de vuelo sobre ciertas zonas, con estas

salidas podemos representar la información contenida en la base de datos, o bien el resultado de determinadas aplicaciones.

Es importante considerar estas etapas ya que en la presente investigación se trabajará el análisis espacial mediante las plataformas de SIG, en los cuales los datos de salida serán en forma de mapas acerca de las características de la zona, así como mapas especializados en la temática de la peligrosidad ya que se podrán localizar los fenómenos perturbadores.

I.5 EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Debido a que es la técnica en la cual se basa la obtención de la cartografía de peligros, resulta pertinente enunciar las definiciones de los diversos autores, para entrar en contexto de tal por tanto, puede definirse como un *“conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El fin básico de las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto”*, (Voogd, 1983 en Gómez y Barredo, 2005), mediante esta conceptualización de la técnica de EMC, *“se pueden generar soluciones de compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo a su grado de atracción”*, (Janssen y Rietveld, 1990 en Gómez y Barredo, 2005).

“La EMC se sitúa en el ámbito de la teoría de la decisión, la cual puede orientarse en dos direcciones, la positiva (descriptiva), esta se centra en especificar las razones por las cuales las decisiones son tomadas de un modo determinado y la normativa (prescriptiva), comienza por definir la racionalidad de los agentes con base en una serie de supuestos justificables intuitivamente”, (Romero, 1993 en Gómez y Barredo, 2005).

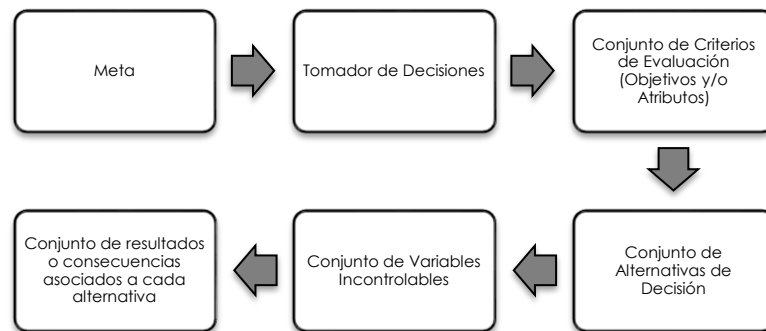
“Se logra comúnmente a través de uno de dos procedimientos diferentes. El primero implica una supercapa booleana por la cual todos los criterios son reducidos a declaraciones lógicas de adecuación y luego combinados por medio de uno o más operadores como la intersección (AND) y la unión (OR). El segundo se conoce como combinación lineal ponderada (WLC), donde los criterios continuos (factores) son estandarizados en un rango numérico común, y luego combinados por medio de un promedio ponderado”, (Eastman, 2006).

Por otra parte Eastman (2006), afirma que una decisión es una elección entre alternativas, mismas que pueden representar diferentes caminos de acción; por otro lado define a un criterio como la base para una decisión que puede medirse y evaluarse, lo concibe de dos tipos: factores y restricciones. El mismo autor define a la evaluación multicriterio con base en sus dos componentes principales que son la decisión y los criterios, ya que para llevar a cabo el análisis es necesario conocer cada una de las variables que conforman el entorno físico a evaluar dentro de un mismo espacio territorial.

Un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración. Por lo tanto se mide comúnmente en una escala continua. Una restricción sirve para limitar las alternativas en consideración. *“En muchos casos, las restricciones se expresan en forma de un mapa Booleano (Lógico); las áreas excluidas de la consideración están codificadas con un 0 y aquellas incluidas están codificadas con un 1”*, (Eastman, 2006).

De igual forma Keeney y Raiffa (1976); Pitz y McKillip (1984), en Malczewski (1999), mencionan que los problemas de la Toma de Decisiones Multicriterio, involucra seis componentes básicos (ver figura 5), ya que para alcanzar los objetivos propuestos, es necesario lograr cada uno de los componentes de dicho proceso, de esta forma podrán obtenerse los productos deseados.

Figura 5: Componentes de la toma de decisiones multicriterio



Fuente: Keeney y Raiffa (1976); Pitz y McKillip (1984), en Malczewski (1999)

“Las técnicas adoptadas dentro del enfoque normativo, incorporan planteamientos explícitos de preferencias de los centros decisores, dichas preferencias pueden representarse de diferentes maneras como lo son: cantidades,

ponderaciones, limitantes, metas y otros parámetros”, (Eastman, 1993 en Gómez y Barredo, 2005), este enfoque se ajusta a las necesidades de la investigación, donde se pretende llevar a cabo esta valoración de las variables para poder determinar sobre cuál de ellas recaerá la mayor ponderación dentro del análisis de la peligrosidad.

Gómez y Barredo (2005), establecen un punto especialmente importante dentro de esta investigación, la unión entre un SIG y la EMC, misma que permite llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico (espacial y temático), por lo tanto ofrece la posibilidad de resolver problemas espaciales complejos, en este caso los peligros naturales que puedan presentarse en el territorio del área de estudio; se podrán asignar valores a todos los componentes del sistema biofísico de la subcuenca que intervengan en la peligrosidad.

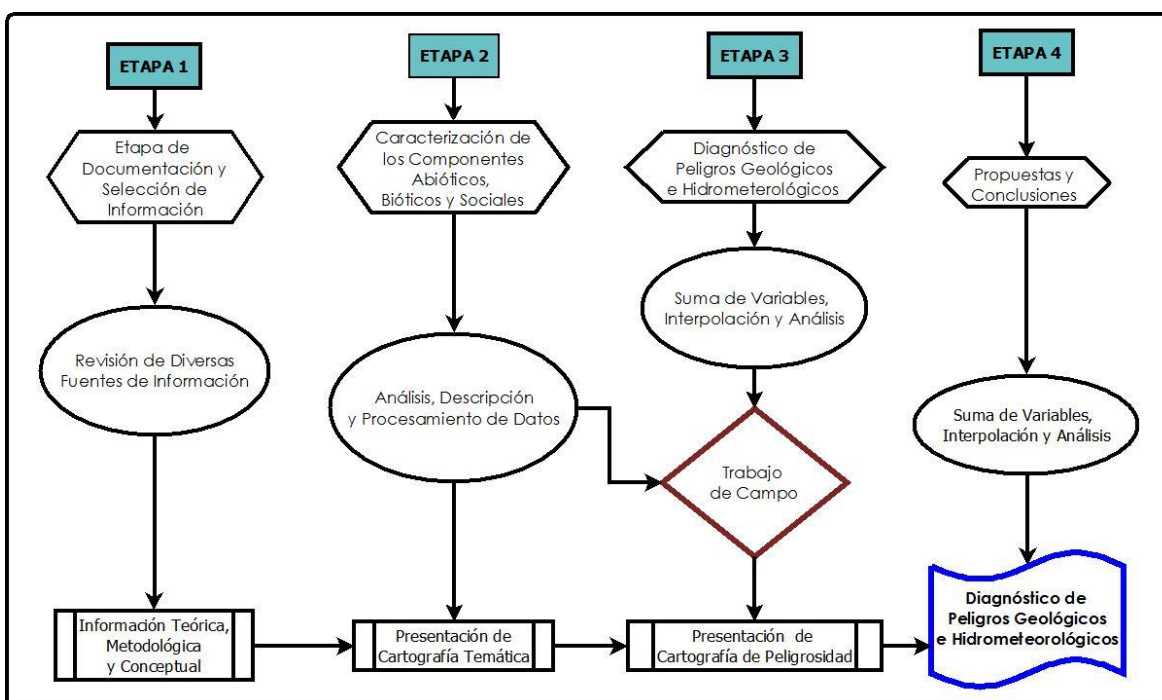
De tal forma que para cumplir con la teoría anteriormente descrita y lograr el objetivo de esta investigación, es necesario definir el tipo de operación realizada con las variables generadas en el capítulo de caracterización de la SRSJ, que en éste caso será la suma de variables que, de acuerdo a Eastman (2006), son un juego de herramientas que ofrece un SIG y que hace posible combinar las capas de los mapas matemáticamente de acuerdo a varias ecuaciones.

Tal autor menciona que las herramientas del Álgebra de Mapas ofrecen usualmente tres tipos de operaciones diferentes: La primera consiste en modificar matemáticamente los valores de los datos de atributo por medio de una constante, el segundo en transformar matemáticamente los datos de atributo por medio de una operación estándar y la tercera como la habilidad para combinar matemáticamente (sumar, restar, multiplicar y dividir), capas diferentes de datos para producir un resultado compuesto; siendo esta última la principal operación que será llevada a cabo para poder localizar espacialmente los peligros geológicos e hidrometeorológicos en la SRSJ.

I.6 MARCO METODOLÓGICO

Dentro de los proyectos de investigación, resulta indispensable conocer cada una de las fases a considerar para su ejecución y así obtener los mejores resultados en la búsqueda y generación de conocimiento, el método a considerar dependerá del objeto de estudio. Para fines prácticos, se plantea la descripción de la metodología de la presente investigación en el actual subcapítulo, con la intención de sistematizar y al mismo tiempo mostrar al lector una serie secuencial de fases que sean comprensibles al cabo de la realización de la investigación, desde la fase de recopilación de información hasta finalmente la obtención de los resultados en capítulos posteriores. Para comprender de forma clara la forma secuencial del presente trabajo, se presenta la figura 6 la cual sintetiza la metodología de las etapas posteriores.

Figura 6: Esquema Metodológico



Fuente: Propia de los autores

I.6.1 Etapa de Documentación y Selección de Información

Se efectúa una búsqueda de información cartográfica de cartas temáticas (topográficas, edafológicas, de uso del suelo, geológicas, de vegetación, climáticas, entre otras), así como los datos vectoriales con escala 1:50,000, 1:100,000 y 1:250,000

de las principales fuentes generadoras de información geográfica a nivel nacional y estatal, como lo son el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM).

Por otro lado se debe compilar información de tipo bibliográfica, hemerográfica, de estudios de casos, investigaciones de tesis, artículos de revista, publicaciones electrónicas, etc., con el propósito de obtener referencia de teorías, conceptos, metodologías e ideas que aporten fundamentos a la presente investigación (particularmente Peligros, Sistemas de Información Geográfica, Cuencas Hidrológicas y Técnica de Evaluación Multicriterio).

I.6.2 Etapa de Caracterización

La definición del área de estudio está acotada bajo el criterio de cuencas hidrológicas, con una delimitación por parteaguas mediante el empleo de curvas de nivel y los afluentes que la conforman.

Para llevar a cabo la caracterización se utilizaron diversas fuentes de información geográfica, como son imágenes de satélite, datos vectoriales y cartas temáticas que ayudaron a conocer las características físicas de la subcuenca. Con la previa recopilación de información de datos vectoriales y raster de la zona de estudio, en la fase de caracterización se digitalizó aquella información que no haya sido encontrada o que no exista, por medio de plataformas de SIG tal como *ArcGis v. 10.0*.

Una vez obtenidos los diferentes mapas temáticos, se procede a una descripción que contemple los principales atributos de cada elemento. Particularmente para el análisis morfométrico de la subcuenca, se calculan los parámetros morfométricos e hidrológicos del área de estudio con el fin de evaluar el funcionamiento de dicho subsistema mediante datos primarios como precipitación, área de la cuenca, orden de corrientes, etc. Con base en los elementos cartografiados y digitalizados, se procede a la verificación en campo de la información espacial, con el objetivo de conocer si las unidades descritas, corresponden a la realidad para posteriormente corregir aquellas en las que se haya detectado diferencias significantes entre lo señalado en la cartografía y la realidad.

I.6.3 Etapa de Diagnóstico

Después de la digitalización y adaptación de los datos espaciales al área de estudio, se obtiene una serie de mapas temáticos, como topográfico, geológico, geomorfológico, uso del suelo y vegetación, hidrológico y de pendientes, etc., mismos que representan la fuente primaria para la generación de cartografía especializada en peligrosidad y a su vez demuestran las cualidades del entorno biofísico y social de la subcuenca.

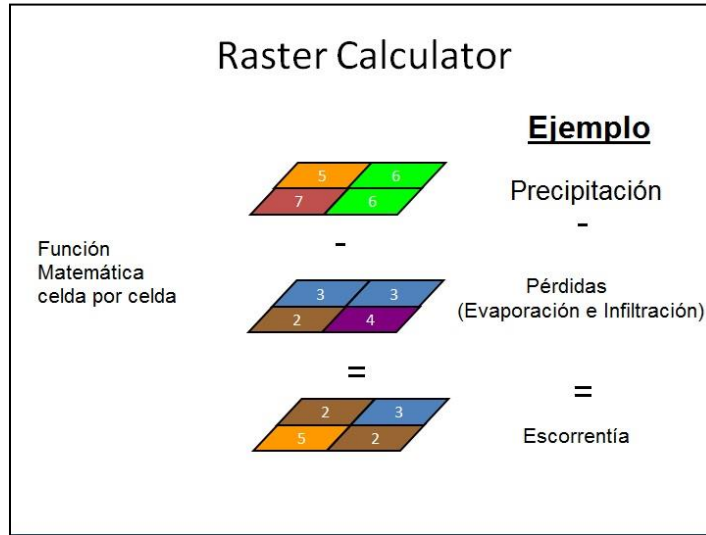
Para efectos de la presente investigación, se elaboran los mapas de peligrosidad para eventos geológicos e hidrometeorológicos, con una probabilidad de ocurrencia futura sin contemplar magnitudes, velocidades, intensidades, etc., se limita a tan sólo mostrar la ubicación probable de ocurrencia en el territorio de la subcuenca como aporte a la fórmula del riesgo.

Ante las dificultades para realizar las predicciones temporales para la estimación de la peligrosidad y definir las probabilidades, la peligrosidad suele expresarse con frecuencia de forma cualitativa (peligrosidad muy alta, alta, media, baja y nula), o únicamente referida a la localización espacial de los procesos, por lo que muchos de los mapas denominados de peligrosidad, e incluso de riesgo, son en realidad mapas de susceptibilidad del territorio, (González, 2002: 618-619).

En lo que comprende a la parte operativa de los procesos en ambiente SIG, se utiliza la técnica de Análisis Multicriterio, basado en operaciones denominadas *Suma de Mapas*, para determinar las peligrosidades por medio de la ponderación de las variables, se efectúa utilizando una matriz de ponderación que refleja el valor de la misma, de acuerdo a la realidad, posteriormente se realiza un modelo conceptual que permita visualizar y producir su ejecución.

En este modelo se establece la manera en que las variables serán sobrepuestas, principalmente para lograr alguna operación matemática de imágenes en formato raster al combinar cada una de las variables y obtener la peligrosidad (ver figura 7).

Figura 7: Modelo de sobreposición de variables en ambiente SIG



Fuente: Elaborada a partir de Whiteaker, 2011

Cabe señalar que en el diagnóstico de peligros para el capítulo tres, no todos los mapas han sido elaborados sumando variables, algunos otros basta con interpolar datos de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional y Servicio Sismológico Nacional, para posteriormente reclasificar valores estadísticos y mostrar un producto final, se enlistan las heladas, granizadas, precipitación máxima en 24 horas, niebla, tormentas, temperaturas máximas y sismicidad.

A continuación se describen los procesos mediante los cuales se elaboraron los mapas de peligrosidad, con base en la suma de variables e interpolación. A manera de aclaración, en la tabla 5 se muestran los valores asignados a cada una de las variables y su grado de peligrosidad² en cuanto a la ocurrencia de fenómenos mostrados.

Tabla 5: Relación valor/ponderación de variables

Ponderación	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja	Nula
Valor	1	2	3	4	5	6

Fuente: Propia de los autores

² Los valores de las clases de variables no siempre corresponden a un rango definido, debido a las similitudes en el comportamiento de las variables, algunos rangos se restringen a valores anteriores. Dichas variables son ponderadas de acuerdo con la naturaleza de cada evento perturbador, por lo tanto una misma puede tener diferentes valores y ponderación.

Remoción en masa (Movimientos Rápidos)

Continuando con la descripción metodológica, el mapa de movimientos rápidos es el resultado de la selección, ponderación y suma de variables y los criterios para cada clase, retomando variables como geología, en cuanto a la consolidación del material, uso del suelo y vegetación en función del tipo de cobertura del suelo, edafología en cuanto a la estructura del suelo, pendientes resaltando los valores máximos para la inestabilidad de laderas y precipitaciones máximas donde a mayor precipitación, mayor valor. Dichas variables y criterios, fueron consideradas como fundamentales para la ocurrencia de dicho fenómeno por CENAPRED y seleccionadas con base en elementos de la caracterización, a continuación se muestra en la tabla 6 la ponderación y tipo de variables antes mencionadas para éste tipo de fenómeno.

Tabla 6: Ponderación de variables para movimientos rápidos

Geología		Uso del suelo y Vegetación		Edafología		Pendientes (Grados)		Precipitaciones Máximas en 24 Horas (mm)	
Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor
Aluvión	5	Zona Urbana	5	Acrisol	3	0-4	6	51-91	5
Andesita Basalto	1	Pastizal	2	Andosol	1	5-8	5	92-132	4
Lahar y Depósitos Volcánicos	4	Pastizal Inducido	2	Cambisol	2	9-15	4	133-173	3
Basalto	1	Agricultura de Temporal	1	Feozem	2	16-30	3	174-214	2
Basalto y Andesita	1	Agricultura de Riego	1	Leptosol	1	31-45	2	215-230	1
Lahar y Toba Andesítica	2	Sin Vegetación Aparente	1	Luvisol	2	46 >	1		
Conglomerado Oligomítico	2	Bosque Mesófilo de Montaña	2	Regosol	2				
Lahar	3	Bosque de Oyamel	2	Vertisol	5				
Andesita Basalto	1	Bosque de Pino	2						
Derrames piroclásticos y toba	1	Bosque de Pino-Encino	3						
Depositos de lahar y ceniza volcánica	2	Bosque de Encino	3						
Filita, Filita y esquisto y esquisto	2	Bosque de Encino-Pino	3						
Caliza	3	Bosque de Tásbate	4						
Metasedimentario, metavolcánico y caliza lutita	3	Selva Baja Caducifolia	4						
Caliza, pedernal	4								
Arenisca, lutita y grauvaca	2								

Fuente: Propia de los autores

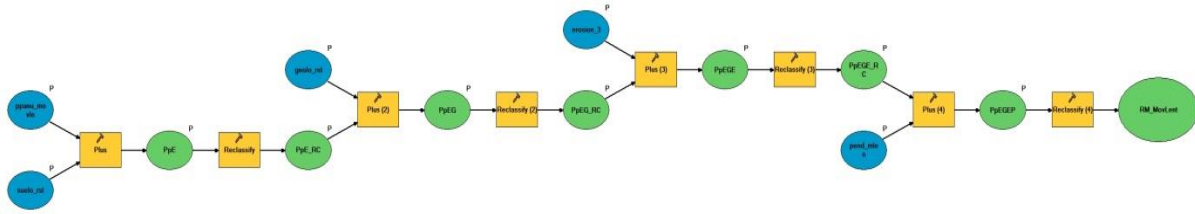
Tabla 7: Ponderación de variables para Movimientos Lentos

Geología		Edafología		Precipitación Media Anual (mm)		Pendientes (Grados)		Erosión	
Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor
Aluvión	4	Acrisol	3	843 a 963	6	0 a 4°	2	Muy Alta	1
Andesita Basalto	5	Andosol	2	964 a 1084	5	4 a 8°	1	Alta	2
Lahar y Depósitos Volcánicos	2	Cambisol	3	1085 a 1205	4	8 a 15°	3	Media	3
Basalto	4	Feozem	2	1206 a 1326	3	15 a 30 °	4	Baja	4
Basalto y Andesita	4	Leptosol	3	1327 a 1447	2	30 a 85°	5	Nula	5
Lahar y Toba Andesítica	2	Luvisol	1	1447 a 1530	1				
Conglomerado Oligomítico	3	Regosol	3						
Lahar	1	Vertisol	5						
Derrames piroclásticos y toba	2								
Depositos de lahar y ceniza volcánica	1								
Filita, Filita y esquistos y esquistos	2								
Caliza	3								
Metasedimentario, metavolcánico y caliza lutita	3								
Caliza, pedernal	3								
Arenisca, lutita y gravaca	2								

Fuente: Propia de los autores

El resultado de la ponderación de las variables, tal como se muestra en la tabla anterior, permite la realización de la suma de variables, por lo que en la figura 9 se puede visualizar la secuencia de procedimientos para la presentación final de la información cartográfica. Para el caso de la variable erosión, se retoma el raster obtenido a partir del modelo de susceptibilidad a la erosión, por lo anterior se retoman de igual forma las variables sugeridas por Alcántara *et al* (2008).

Figura 9: Modelo de elaboración del mapa de Movimientos Lentos



Fuente: Propia de los autores

Una vez creado y corrido el modelo del mapa, se procede a la descripción y análisis de resultados arrojados, mismos que pueden ser observados en su correspondiente apartado de la presente investigación.

Erosión

Debido a la disponibilidad de información, se considera éste proceso como erosión laminar hídrica en su conjunto, las variables seleccionadas son edafología bajo el criterio de consolidación del material, uso del suelo y vegetación en referencia al tipo de cobertura del suelo, pendientes bajo el criterio de los grados de inclinación y precipitación media anual en función de la mayor cantidad de precipitación, ya que tal proceso es constante, de tal forma que en la tabla 8, es posible visualizar las variables y su valor asociado al fenómeno.

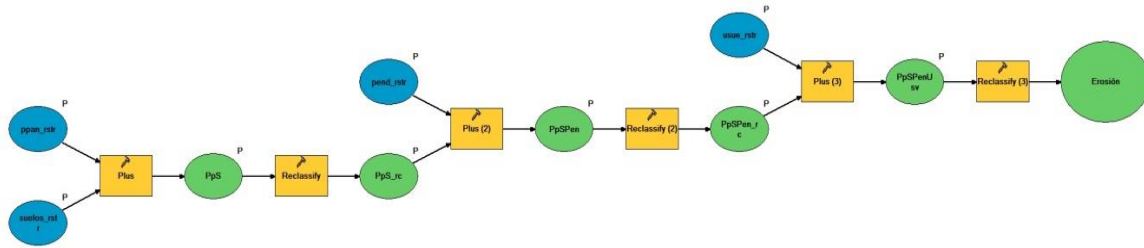
Tabla 8: Ponderación de variables para erosión

Edafología		Uso del Suelo y Vegetación		Pendientes (Grados)		Precipitación (mm)	
Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor
Vertisol	5	Sin Vegetación Aparente	1	0 a 3	6	843 a 953	6
Luvisol	5	Agricultura de Temporal, Riego	2	3 a 6	5	954 a 1063	5
Acrisol	3	Pastizal y Pastizal Inducido	2	6 a 15	4	1064 a 1173	4
Cambisol	3	Bosque de Encino	3	15 a 30	3	1174 a 1283	3
Feozem	4	Bosque de Pino, Pino-Encino, Oyamel, Encino-Pino, Mesófilo de Montaña, Táscate	4	30 a 45	2	1284 a 1393	2
Leptosol	2	Selva Baja Caducifolia	4	45 a Más	1	1394 a 1530	1
Regosol	2	Zona Urbana	5				
Andosol	1						

Fuente: Propia de los autores

Para llevar a cabo el análisis de la erosión se procede a generar el modelo seleccionando en primera instancia las variables con mayor relación para que puedan existir procesos erosivos, por tanto en la figura 10 se puede observar tal procedimiento.

Figura 10: Modelo de elaboración del mapa de Erosión



Fuente: Propia de los autores

Para la validación de los modelos es necesario realizar la reclasificación del resultado a manera de que sea un mapa semejante con la realidad, por lo que se debe efectuar un trabajo de campo que avale dichos resultados.

Inundaciones

Para determinar la peligrosidad por inundaciones, es necesario considerar las variables que tienen mayor influencia sobre dicho proceso, elementos como la geomorfología bajo el criterio de la capacidad de desalojo de agua, geología en función de la capacidad de infiltración de agua, uso del suelo y vegetación referente al criterio de cobertura del suelo, edafología por el tipo de drenaje, precipitación máxima en 24 horas por la acumulación de agua en eventos extremos y las pendientes en función de la inclinación del terreno; las anteriores consideradas como variables que influyen en la ocurrencia de una inundación, debido a que dicho proceso en su mayoría ocurre de forma súbita, por lo que en la tabla 9 se observa la ponderación de dichas variables.

Tabla 9: Ponderación de variables para Inundaciones

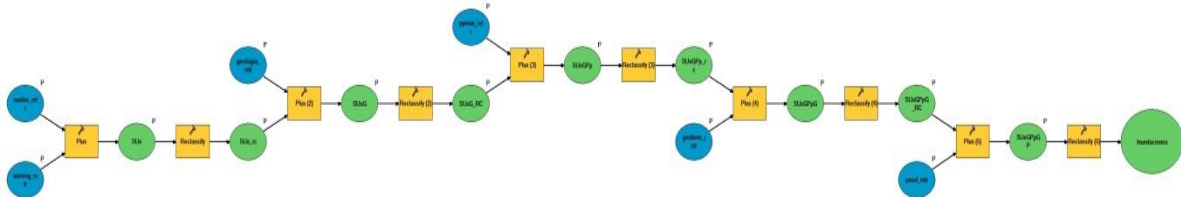
Geomorfología		Geología		Uso de Suelo y Vegetación		Edafología		Precipitación Máxima en 24 horas (mm).		Pendientes (Grados)	
Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor
Planicie, Planicie Aluvial	1	Aluvión	1	Zona Urbana	1	Vertisol	1	51 a 81	6	0 a 3	1
Sumidero	1	Conglomerado Oligomignítico	2	Agricultura de Temporal, Riego	2	Luvisol	1	82 a 112	5	3 a 6	2
Mesa Lávica	2	Caliza, Caliza con Pedernal, Caliza y Lutita	3	Pastizal Inducido	2	Acrisol	2	113 a 143	4	6 a 15	3
Valle	2	Metavolcánica, Metasedimentario	3	Bosque de Encino, Táscate	3	Cambisol	3	144 a 174	3	15 a 30	4
Rampa Acumulativa	3	Arenisca Lutita y Grauvaca	3	Bosque de Pino, Pino-Encino, Encino-	4	Feozem	4	175 a 205	2	30 a 45	5

				Pino, Oyamel, Mesófilo de Montaña							
Piedemonte	3	Esquisto, Filita	3	Pastizal	4	Leptosol	4	205 a 230	1	45 a Más	6
Peniplanicie Aluvial	3	Derrames piroclásticos y Toba	3	Sin Vegetación Aparente	4	Regosol	4				
Lomerío Monogenético	3	Andesita y Basalto, Basalto y Andesita	3	Selva Baja Caducifolia	4	Andosol	5				
Lomerío Volcánico	4	Lahar y Depósitos volcánicos, Lahar y Toba Andesítica	3								
Ladera Erosiva, de Montaña, Volcánica	5	Lahar, Depósitos de Lahar y Ceniza Volcánica	4								
Lomerío	5	Basalto	4								
Mogotes	6										
Volcán en Herradura	6										

Fuente: Propia de los autores

Una vez conocidas y ponderadas las variables que influyen de manera directa en la ocurrencia del fenómeno perturbador, es necesario dar un panorama de la construcción de la información cartográfica, por lo que en la figura 11 se sintetiza y detalla el proceso de obtención.

Figura 11: Modelo de elaboración del mapa de Inundaciones



Fuente: Propia de los autores

El proceso anterior arroja un mapa de inundaciones, cabe señalar que este tipo de peligrosidad sólo se evalúa en tres rangos por las condiciones geomorfológicas del área de estudio, para mayor detalle consultar la descripción y análisis de Inundaciones en su respectivo apartado.

Sequías

Son uno de los fenómenos hidrometeorológicos con mayor incidencia en el área de estudio y a su vez uno de los más complejos para su análisis, por lo que en la presente investigación se utilizan las variables de uso del suelo y vegetación, insolación, temperaturas máximas extremas, y precipitación media anual para ayudar a

determinar las zonas con mayor potencialidad para el desarrollo del fenómeno (ver tabla 10), siendo las dos últimas variables que no se suman, sus valores son utilizados como referencia de isolíneas.

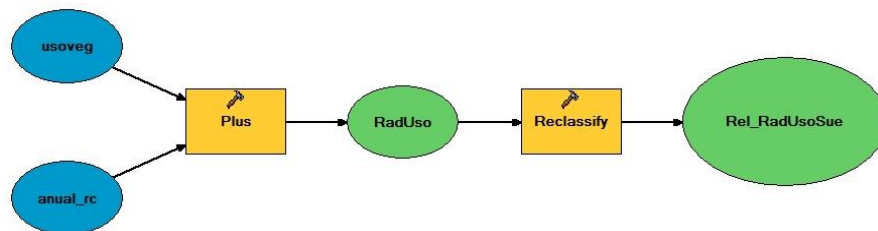
Tabla 10: Ponderación de variables para sequías

Clase	Sin cobertura natural, Zona Urbana	Pastizal, Pastizal inducido	Agricultura de Riego y Temporal	Bosque de Táscate, Selva Baja Caducifolia y Bosque de Encino	Bosque Mixto y Pino	Bosque Mesófilo y Oyamel
Valor	1	2	2	3	4	5

Fuente: Propia de los autores

Con lo anterior se elabora un modelo que conjunta los valores de ponderación anteriores en relación con los valores de insolación, para obtener un primer resultado de sequías, tal como se aprecia en la figura 12.

Figura 12: Modelo de relación Uso del Suelo y Vegetación e Insolación



Fuente: Propia de los autores

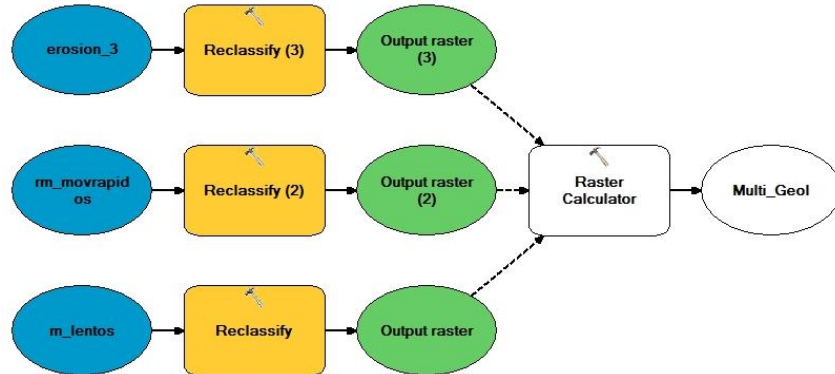
El análisis completo de las sequías se detalla en la fase de diagnóstico, donde se señala la importancia de todas las variables que intervienen en la ocurrencia del fenómeno, aunque no se retoman las temperaturas máximas extremas, y precipitación media anual en el modelo de suma de variables, es necesario incluirlas en la descripción y análisis.

Multipeligrosidad por Fenómenos Geológicos

El proceso de elaboración de la información cartográfica, se realiza mediante la selección de las zonas prioritarias, eligiendo aquellas que representan la mayor peligrosidad referida a eventos de remoción en masa (movimientos rápidos y lentos), erosión y como referencia, la sismicidad, cuyo proceso se detalla posteriormente, tal

como se visualiza en la figura 13. Debido a que ese mapa conjunta las máximas peligrosidades, no se realiza ninguna ponderación de variables.

Figura 13: Modelo de elaboración del mapa de Multipeligrosidad Geológica



Fuente: Propia de los autores

Como se muestra en la figura anterior, es necesario hacer un proceso de reclasificación de peligros geológicos para obtener los valores máximos de cada uno, por último se sobreponen de manera simultánea las capas para obtener de esta forma las zonas que conjuntan uno o más peligros.

Multipeligrosidad por Fenómenos Hidrometeorológicos

La información resultante de los diferentes fenómenos hidrometeorológicos, resulta de la suma de los valores de máxima peligrosidad realizada de igual forma que los geológicos, por lo que no se muestra una tabla de ponderaciones. Las variables utilizadas son niebla, tormentas, sequías, granizadas, heladas e inundaciones, por lo anterior la figura 14 detalla el proceso de obtención.

Figura 14: Modelo de elaboración del mapa de Multipeligrosidad Hidrometeorológica



Fuente: Propia de los autores

Como resultado de dicho proceso se obtiene el mapa de multipeligro, el cual señala las zonas de la subcuenca que conjuntan uno o más eventos con máxima peligrosidad, lo cual permitirá llevar a cabo el análisis de los mismos y su interacción con el sistema social traducido en posibilidad de afectación.

En el contexto del capítulo uno se logró cumplir con el primer objetivo particular mediante la descripción e integración de teorías y conceptos que aportaron las bases para la realización de objetivos posteriores. La importancia de describir las temáticas anteriores radica en conocer la manera de articulación de cada uno de ellos en cuanto a la ocurrencia de los fenómenos naturales, con el objetivo de diagnosticarlos en esta zona de estudio, mediante la TGS se puede comprender la importancia de conocer todos los elementos y actores que interactúan para mantener el equilibrio de este sistema. Al finalizar se aborda lo referente a las plataformas de SIG, el análisis multicriterio y metodología utilizada, a manera de herramientas indispensables en la comprensión de los eventos de la naturaleza y sus efectos, para poder pronosticar y prevenir daños.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO



El presente capítulo tiene como finalidad caracterizar la zona de estudio en los componentes que la conforman, abióticos, bióticos y sociales. Se describen los subsistemas, comprendiendo geología, geoformas, suelos, climas, uso de suelo y vegetación, entre otros; para posteriormente profundizar en la descripción de las condiciones socioeconómicas de la población que están directamente relacionadas con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales.

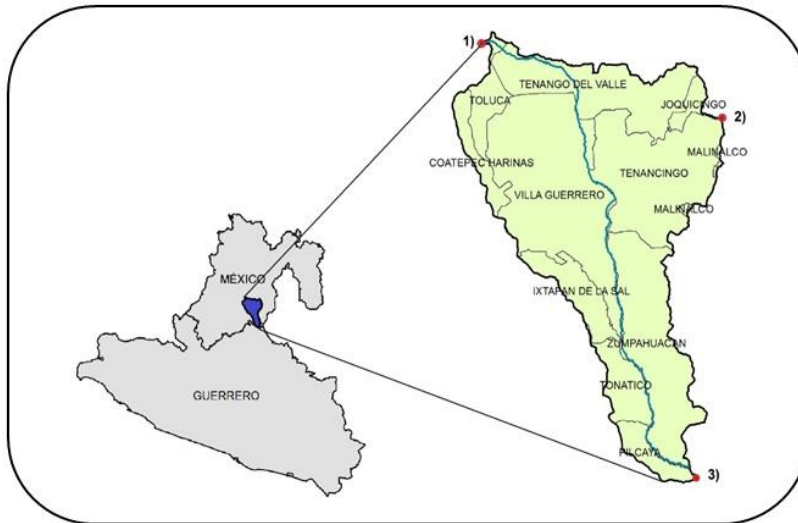
II.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Subcuenca del Río San Jerónimo (SRSJ), forma parte de la subregión de planeación del alto del Balsas, su territorio está distribuido en los estados de México y Guerrero, cuyas coordenadas extremas están definidas por los meridianos 19° 07' 00" y 18° 40' 30" latitud norte y los paralelos -99° 47' 00" y -99° 29' 00" de longitud oeste, tal como se muestra en la figura 15.

La vertiente principal tiene su origen en el estado de México, específicamente en el Parque Nacional Nevado de Toluca, se orienta hacia la parte sur del estado comprendiendo los municipios de Toluca de Lerdo, Tenango del Valle, Joquicingo de León Guzmán, Coatepec Harinas, Villa Guerrero, Tenancingo de Degollado, Malinalco, Zumpahuacán, Ixtapan de la Sal y Tonalico.

De acuerdo con INEGI (2001), el exutorio de la misma se localiza en el estado de Guerrero, concretamente en el municipio de Pilcaya cerca de la localidad de Cacahuamilpa, Guerrero (Véase mapa C01), lugar en donde se infiltran el afluente del San Jerónimo y del Chontalcoatlán, los cuales se incorporan para formar la vertiente principal del Río Amacuzac, cuya superficie territorial se extiende por el estado de Morelos.

Figura 15: Ubicación geográfica de la zona de estudio



Fuente: Elaborado con base en INEGI, 2004

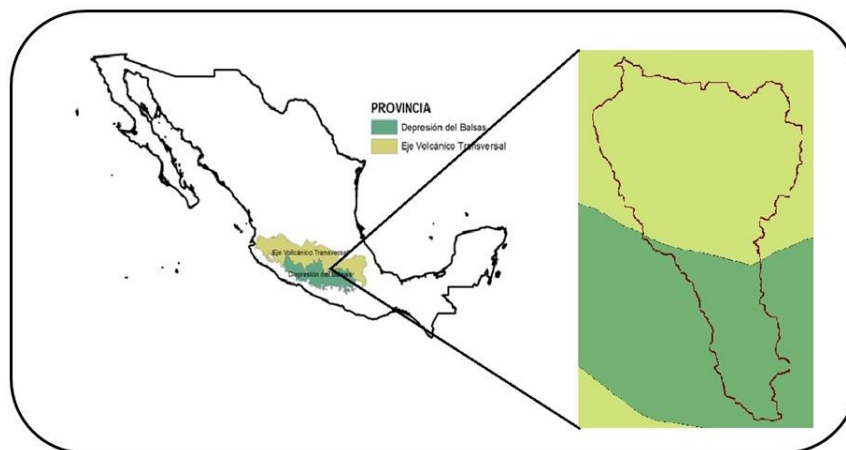
II.1.1 Límites Fisiográficos

La zona de estudio se ubica en la convergencia de dos provincias fisiográficas, el Sistema Volcánico Transversal, específicamente en la subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac y La Sierra Madre del Sur, en la subprovincia de Sierras y Valles Guerrerenses (figura 16).

“La primera atraviesa el país casi en línea recta, más o menos sobre el paralelo 19° y se extiende de oeste a este desde la costa del Océano Pacífico hasta la costa del Golfo de México, la subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac, integrada por grandes sierras volcánicas o aparatos individuales que se alternan con amplios vasos lacustres”, (INEGI, 2001). Es la subprovincia que abarca mayor extensión en el estado de México, los materiales que constituyen a la Sierra son predominantemente andesíticos y las laderas de la misma son escarpadas; los lomeríos que la limitan al noroeste constan de amplios depósitos de nube ardiente.

La desembocadura de la SRSJ se ubica dentro de la subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses, donde se alternan sierras y valles con orientación general hacia el Sur. Su litología con predominio de rocas calcáreas; así pues, se advierten formaciones de carso como dolinas (pozo de disolución), lago –dolinas y grutas (Cacahuamilpa) entre otros rasgos (*ibíd*).

Figura 16: Límites fisiográficos de la zona de estudio



Fuente: CONABIO (1998)

De acuerdo con lo citado en INEGI (2001), los subsistemas de topofomas representativos de la subprovincia depresión del Balsas, son sierras de cumbres tendidas, cuyas laderas son escarpadas y están constituidas predominantemente de rocas volcánicas basálticas, aunque en el sur tiene rocas sedimentarias calcáreas, lomerío con mesetas, valle de laderas tendidas, valle de laderas tendidas con mesetas, lomerío con cañadas, lomerío y meseta de aluvión antiguo con lomeríos, los tres en la zona limítrofe con Morelos.

II.1.2 Región Hidrológica

“La región IV Balsas, está conformada por dos grandes provincias fisiográficas, La Sierra Madre del Sur y El Eje Volcánico Transversal, cuya evolución a través de los tiempos geológicos, dio lugar a una amplia variedad de características orográficas, climáticas e hidrológicas. La región administrativa IV Balsas está constituida por la Región Hidrológica N° 18. Tiene una superficie hidrológica de 117 305 km², distribuidos en tres subregiones de la siguiente

manera: Alto Balsas 50 464 km², Medio Balsas 31 887 km² y Bajo Balsas 34 954 km²", (CONAGUA, 2010).

De acuerdo con INEGI (2001), la región hidrológica RH-18 perteneciente al Río Balsas, se considera importante en la República Mexicana en el contexto hidrológico, teniendo una ubicación dentro del territorio del estado de México hacia la parte Sur, siendo también conocido con el nombre de Atoyac, Mezcala o Zacatula. La región hidrológica del Balsas es también subdividida en cuatro grandes cuencas las cuales son Río Atoyac, Río Balsas-Zirándaro, Río Grande de Amacuzac y Río Cutzamala, dentro del estado de Guerrero, México y Morelos. Por la subdivisión de cuencas antes mencionada, es preciso mencionar que el área de estudio pertenece a la vertiente del Río Grande de Amacuzac.

II.2 COMPONENTE NATURAL

De acuerdo con la metodología preestablecida, se procede a la descripción de los componentes naturales (abióticos y bióticos), que integran el sistema de la SRSJ, ello con la finalidad de conocer las características que posee y posteriormente, realizar el diagnóstico que permita caracterizar los diferentes peligros planteados con anterioridad.

II.2.1 Geología

La geología de la subcuenca del Río San Jerónimo es diversa, por su naturaleza y dinámica a lo largo de la historia geológica de la zona, se encuentran rocas calizas hasta rocas volcanoclásticas de diferentes períodos evolutivos. La tabla 11 señala las principales formaciones litológicas que se localizan dentro del área de estudio, siendo estas asociaciones rocosas que presentan características similares y que se desarrollaron en los mismos períodos geológicos, en la fotografía 1 se muestra la estratificación de rocas sedimentarias en la zona de Zumpahuacán, misma que corresponde al período Cretácico.

Fotografía 1: Estratificación vertical de rocas sedimentarias



Fuente: Propia de los autores, tomada en trabajo de campo

Como se puede observar, los elementos litológicos comprenden los tres principales grupos de rocas (ígneas, metamórficas y sedimentarias). A continuación se describen algunas de las formaciones presentes en la superficie de la subcuenca que proporcionen una visión general de la geología regional adyacente a la zona de estudio.

Tabla 11: Formaciones Litológicas de la Subcuenca del Río San Jerónimo

Formación Litológica	Características Principales
Tepoztlán	Posee depósitos volcanoclásticos, principalmente lahar de composición andesítica. Aflora en la cercanía de Tenancingo y Villa Guerrero, se considera de edad Mioceno, descansa en apariencia concordante sobre la Formación Balsas. La topografía desarrollada sobre la Formación Tepoztlán se caracteriza por acantilados y un terreno escalonado que refleja las variaciones en la resistencia a la erosión de los diferentes intervalos litológicos.
Morelos	Presenta calizas de plataforma en estratos gruesos a masivos, con horizontales dolomitizados, su presencia se restringe al oriente de Ixtapan de la Sal. Las calizas y dolomías cubren discordantemente las unidades estratigráficas más antiguas y el espesor de esta formación varía entre 1 y 1,000 m.
Xochipala	Compuesta de caliza arcillosa en estratos delgados a medianos con intercalaciones de lutita filitizada, arenisca conglomerática, grauvaca y lava almohadillada.
Balsas	Compuesta por conglomerado, arenisca y limolita, todos de origen continental, predominantemente de color rojizo, contiene algo de lava máfica, brecha y toba andesítica. Descansa con discordancia angular sobre las rocas plegadas de la formación Mezcala y de unidades litoestratigráficas más antiguas. El tipo litológico más característico de la región es un conglomerado formado por guijas y

	clastos de calizas esencialmente cretácicas, que pueden presentarse con una matriz calcárea o con una matriz de arena, limo, y arcilla con óxidos de hierro.
Mezcala	Presenta arenisca, limolita, lutita y conglomerado de grano fino, de origen marino, interestratificados con capas delgadas de caliza arcillosa y caliza clásica en la parte inferior. Los clastos de las areniscas y conglomerados en las partes inferior y media de la formación son de carbonatos, mientras que los de la parte superior son de cuarzo y de diversas rocas ígneas.
Esquisto Taxco	Consiste en una secuencia de rocas palíticas, psamídicas y volcánicas por lo menos dos veces deformadas que se presenta como esquistos de sericita y cuarzo de grano fino a mediano, esquistos, pizarra negra, tobas y rocas volcanosedimentarias que pueden ser clasificadas como semiesquisto, mismo que se distribuye al oriente, sureste de la ciudad de Taxco, Guerrero aunque también aflora en la Sierra de Tonicico-Ixtapan.

Fuente: Fries, C. Jr., 1960

De acuerdo con lo anterior se puede afirmar que la región está en constante dinámica geológica y su evolución es muy variada, se encuentran desde rocas sedimentarias antiguas del Jurásico hasta rocas recientes del cuaternario como el aluvión. Consecuentemente es el lahar del período terciario la unidad geológica con mayor abundancia y cuya distribución se encuentra en una franja que va desde el noreste hasta el suroeste como se muestra en la fotografía 2.

Fotografía 2: Depósitos de lahar al este de Ixtapan de la Sal



Fuente: Tomada por el profesor Armando Reyes Enríquez

De igual forma el basalto y andesita del cuaternario son abundantes y se localizan en las laderas del Nevado de Toluca. Por contraparte las rocas con menor presencia son la filita, caliza con pedernal cerca de Ixtapan de la Sal, las cuales están directamente asociadas a la presencia de metamorfismo y rocas de origen marino (Ver mapa C02).

II.2.2 Geomorfología

Las principales unidades se clasifican en dos tipos de relieve (endógeno y exógeno), con cuatro sistemas de origen (tectónico, volcánico, erosivo y acumulativo) y diez subsistemas conformados cada uno por diferentes elementos.

La siguiente tabla muestra los principales tipos de relieve de acuerdo con el origen del mismo, los sistemas y subsistemas referidos; mientras que la columna de elementos representativos muestra tan sólo una serie de ejemplos de los subtipos de subsistemas; ello debido a que la leyenda geomorfológica completa se encuentra concentrada en la carta respectiva (véase mapa C03).

Tabla 12: Relieve de la Subcuenca

Relieve	Sistemas	Subsistemas	Elementos representativos
Endógeno	Volcánico	Montañas	Ladera erosiva de montaña plegadas con disección media
		Mesas Lávicas	Emplazadas sobre esquistos de composición riolítico-andesítica con laderas disectadas
		Lomeríos	Con material metamórfico y disección alta De materiales basálticos y andesíticos con diferente disección De materiales volcanoclásticos con diferente disección
		Volcán	Volcán en herradura
Exógeno	Erosivo	Laderas	De materiales volcanoclásticos con diferente disección
		Valles	Fluviales con control estructural
		Mogotes	Con disección baja

		Sumidero	Propio del modelado Kárstico
	Acumulativo	Planicies	Aluvial
		Peniplanicies	Aluvial combinada con materiales residuales con disección media
		Rampas	Acumulativa con contactos litológicos De piedemonte

Fuente: SEMARNAT/GEM/UAEM (S/F)

La tabla anterior simplifica las diferentes geoformas, de acuerdo con su origen, estado y grado de disección para posteriormente ser usadas en el diagnóstico de peligros. Por otra parte se puede afirmar que en la zona de estudio existe una variedad de geoformas debido a su origen geológico y evolución misma, concretamente predominan formas como laderas de montaña, lomeríos volcánicos, mesas lávicas, montañas y volcanes en herradura como parte del paisaje volcánico de la cuenca alta y su localización se encuentra en la cuenca alta hacia el norte, (ver fotografía 3).

Fotografía 3: Sistema de geoformas de la cabecera de la subcuenca



Fuente: Tomada por el profesor Armando Reyes Enríquez

Por otro lado existen mogotes, sumideros y valles representativos del paisaje kárstico en la parte sur del área de estudio (ver fotografía 4), mismos que al ser paisajes muy disectados, en conjunto con las actividades humanas pueden propiciar el desencadenamiento de algunos procesos de inestabilidad de laderas.

Fotografía 4: Paisaje Kárstico hacia el exutorio de la subcuenca



Fuente: Propia de los autores

II.2.3 Edafología

Las principales unidades edafológicas encontradas en la subcuenca son descritas en la siguiente tabla, con la finalidad de poder entender las principales características y determinar en la etapa posterior de diagnóstico una posible ponderación de las cualidades de cada uno. Los tipos de suelos son representados de manera gráfica en el mapa C04, mismo que permite visualizar su distribución espacial.

Tabla 13: Tipos de suelos dominantes

Tipo de Suelo	Características y Potencialidades
Acrisol	Son suelos con mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de la migración de arcillas, son suelos ácidos fuertemente meteorizados con baja saturación y bases en alguna profundidad, se forma a partir de meteorización de rocas ácidas y arcillas; se sitúan en antiguas superficies con topografía con colinas u ondulaciones.
Andosol	Son suelos típicamente negros de paisajes volcánicos, formados a partir de vidrios y eyecciones volcánicas (ceniza, pómez, pero también tufa y otros) u otro material rico en silicato. Se desarrollan en ambientes ondulados a montañosos, húmedos y regiones árticas a tropicales.
Cambisol	Suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo, evidentes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato. Se forman a partir de materiales de textura media a fina, derivados de un amplio rango de rocas sobre terrenos llanos a montañosos en todos los climas.

Feozem	Suelos oscuros ricos en materia orgánica, formados a partir de materiales no consolidados, predominantemente básicos, eólicos (loess), till glaciar y otros. Se forman en climas cálidos a frescos, regiones moderadamente continentales en tierras llanas a onduladas; la vegetación natural es pastizal como la estepa de pastos altos y/o bosque.
Leptosol	Son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos, son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas; se forman a partir de varios tipos de roca continua o de materiales no consolidados con menos de 20% de tierra firme; se presentan principalmente en tierras de altitud media o alta con topografía fuertemente disectada, principalmente en zonas fuertemente erosionadas.
Luvisol	Son suelos con mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de la migración de arcillas; se forman a partir de una amplia variedad de materiales no consolidados incluyendo till glaciar y depósitos eólicos aluviales y coluviales, están localizados principalmente en tierras llanas o suavemente inclinadas en regiones templadas frescas y cálidas con estación seca y húmeda marcadas.
Regosol	Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado a partir de material no consolidado de grano fino, son particularmente comunes en áreas áridas y en regiones montañosas; el desarrollo del perfil es mínimo como consecuencia de edad joven y/o lenta formación del suelo.
Leptosol Rendzínico	Presentan características similares a los Regosoles, sólo que estos suelos se desarrollan sobre roca calcárea.
Vertisol	Son suelos muy arcillosos que se mezclan con alta proporción de arcillas expandibles, forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan. Estos suelos se forman a partir de sedimentos que contienen elevada proporción de arcillas expandibles producidas por neoformación a partir de meteorización de rocas, se desarrollan principalmente en depresiones y áreas llanas a onduladas, principalmente en climas tropicales, subtropicales, semiárido a subhúmedo y húmedo.

Fuente: IUSS y WRB, (2007)

La tabla anterior muestra las diferentes unidades edáficas que se distribuyen a lo largo de la zona de estudio, se representan por dos componentes de paisaje, siendo el primero de tipo volcánico y suelos formados en zonas planas como los vertisoles, tal como se muestra en la fotografía 5.

Fotografía 5: Suelos andosoles predominantes en la subcuenca



Fuente: Tomada por los autores

El segundo es el paisaje Kárstico, el cual lo conforma una variedad de rocas sedimentarias con suelos que son formados a partir de este material parental, dicha zona se localiza en la porción sur de la subcuenca, es posible ubicar suelos leptosoles como aquellos que son más abundantes. Una de las principales características de los suelos formados a partir de rocas sedimentarias, es la poca profundidad, lo cual los hace fácilmente erosionables, cómo se muestra en la fotografía 6.

Fotografía 6: Suelos característicos del sur de la zona de estudio



Fuente: Propia de los autores

De acuerdo a los datos obtenidos del INEGI (2004), se puede determinar la superficie de los grupos edáficos de la SRSJ, con la finalidad de conocer el área de cobertura de cada unidad, para posteriores análisis y descripción de sus condiciones (véase tabla 14).

Tabla 14: Área y porcentaje de unidades edáficas

Grupo de Suelo	Área (km²)	Porcentaje respecto al área de la subcuenca
Acrisol Órtico	0.10	0.013
Andosol Húmico	264.68	35.564
Andosol Mólico	16.80	2.257
Andosol Ócrico	17.22	2.313
Cambisol Cálcico	1.58	0.212
Cambisol Crómico	38.84	5.218
Cambisol Éutrico	30.77	4.134
Feozem Calcárico	0.69	0.092
Feozem Cálcico	1.21	0.163
Feozem Háplico	76.51	10.280
Feozem Lúvico	9.21	1.237
Leptosol	116.23	15.617
Leptosol Rendzínico	43.99	5.911
Luvisol Cálcico	0.29	0.037
Luvisol Crómico	5.88	0.789
Luvisol Férrico	20.52	2.756
Luvisol Vértico	2.50	0.335
Regosol Éutrico	14.64	1.966
Vertisol Pélico	82.57	11.094
Total	744.23	100

Fuente: Elaborado con base en INEGI, 2004

Los suelos de tipo Acrisol se ubican en el municipio de Zumpahuacán, en la porción este de la SRSJ, esta unidad se encuentra exclusivamente en su fase Órtica, representando un 0.013% del total de la superficie del área de estudio, siendo la unidad con menor predominancia.

En lo referente a las unidades edáficas de tipo leptosoles, estos se distribuyen en la región centro hacia la zona sur de la SRSJ, formados de acuerdo con la geología en rocas calizas, lahares y conglomerados; están referidos hacia los valles fluviales del sur de Villa Guerrero hacia los municipios de Tonatico, Zumpahuacán y Pilcaya, caracterizado por geformas del paisaje *Kárstico* y conforman un 15.61% del total de la zona de estudio, siendo el segundo grupo en extensión y cobertura territorial.

Por otra parte los suelos andosoles son originados por material volcanoclástico, y se presentan en las fases Húmico, Mólico y Ócrico, su distribución se encuentra en la parte norte, noreste y noroeste de la subcuenca, particularmente en el extremo sur del municipio de Toluca y Tenango del Valle, norte de Villa Guerrero y Tenancingo; su distribución se caracteriza por la alta montaña, laderas y ligeras ondulaciones como parte de la evolución del paisaje volcánico, (la fotografía 5 muestra un ejemplo de estos suelos). Dentro de este grupo edáfico, la fase predominante apunta hacia el Andosol Húmico con un porcentaje de superficie de 35.564% respecto a la zona de estudio, siendo el predominante en mayor proporción.

II.2.4 Clima

Es el resultado de las variaciones de distintos parámetros atmosféricos, tales como precipitación, temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección de vientos; considerando al mismo tiempo las variaciones del relieve, altitud, latitud y continentalidad, la siguiente tabla presenta las características climáticas por municipio, resaltando la temperatura y precipitación de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García.

Tabla 15: Descripción de climas por municipio

Municipio	Clima	Temperatura Media Anual (°C)	Precipitación (mm)
Coatepec Harinas	Cb'(w2) y C(w2)	18.2	1087.8
Ixtapan de la Sal	C(w2) y (A)C(w1)	18.9	Entre 913.4 y 1242
Joquicingo de León Guzmán	Cb'(w2) y C(w2)	12.7	936.2
Malinalco	C(w2)	14.2 a 21	Entre 1087.3 y 1395.5
Pilcaya	(A)C(w1)	20 a 24.4	Entre 921.2 y 988.6
Tenancingo de Degollado	C(w2) y (A)C(w1)	14.2 a 18.3	Entre 1049.7 y 1225.8
Tenango del Valle	Cb'(w2), C(w2) y E(T)CHw	4 a 18.9	Entre 936.2 y 1221.5
Toluca de Lerdo	E(T)CHw y Cb'(w2)	4	1221.5
Tonatico	(A)C(w1)	20	Entre 967.9 y 1070.7
Villa Guerrero	C(w2), (A)C(w1) y Cb'(w2)	14.7 a 20.3	Entre 932.2 y 1242
Zumpahuacán	(A)C(w1) y C(w2)	16.9 a 20.33	Entre 932.2 y 1070.7

Fuente: CONABIO, 1997 y SMN, 2012

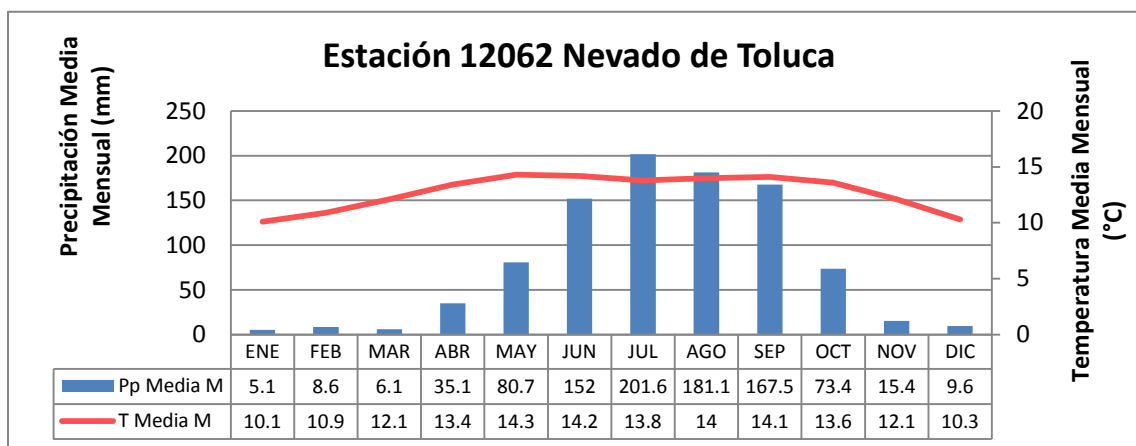
En el contexto de la SRSJ y de acuerdo a la carta de climas (CONABIO, 1997), según el sistema de clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García, existen cuatro grupos de climas predominantes (ver mapa C05), el primero de ellos es el E(T)CHw; que corresponde al clima frío con temperatura media anual entre -2 y 5 °C, temperatura del mes más frío sobre 0 °C y temperatura del mes más cálido entre 0 y 6.5 °C. La segunda unidad es Cb'(w2); considerado como semifrío con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5 y 12 °C, la temperatura del mes más frío varía entre -3 y 18 °C y la temperatura del mes más cálido se encuentra por debajo de los 22 °C.

En lo correspondiente a la tercera unidad climática se describe C(w2); que es considerado como clima templado subhúmedo con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, siendo la temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C y menor a 22 °C la temperatura del mes más cálido. La cuarta y última unidad es (A)C(w1);

referido al tipo de clima denominado semicálido subhúmedo del grupo C, con temperatura media anual mayor de 18 °C, la temperatura del mes más frío se encuentra por debajo de los 18 °C y la del mes más cálido mayor a 22 °C.

Con el objetivo de mostrar la distribución de la precipitación y temperatura en la zona de estudio, fueron seleccionadas tres estaciones meteorológicas correspondientes a la cuenca alta, media y baja; mismas que serán descritas a continuación a través de climogramas que muestran la relación gráfica de la temperatura y la precipitación media mensuales.

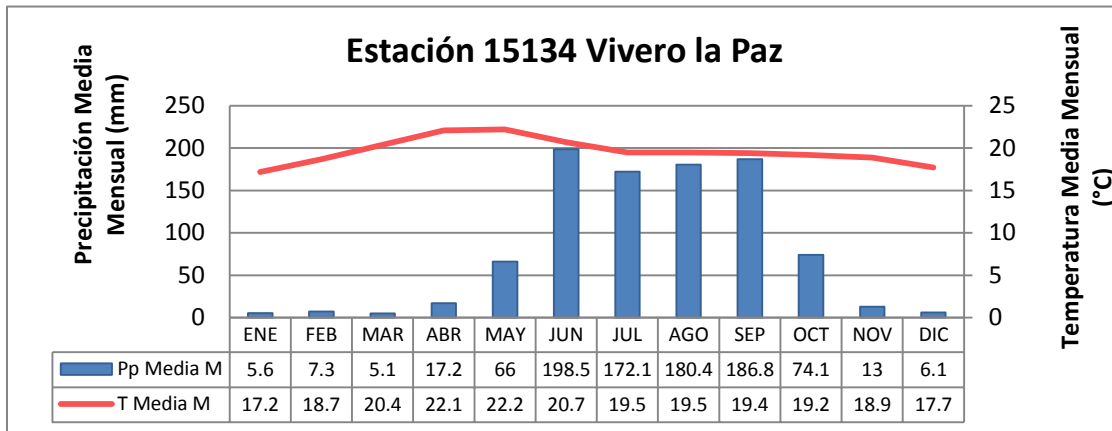
Figura 17: Climograma de la estación 12062



Fuente: Elaborado con base en datos del SMN, 2012

La estación Nevado de Toluca presenta una máxima precipitación en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, con una oscilación entre los 152 y 201 mm, siendo el registro de la mayor precipitación en todo el año, en contraste se presentan valores de 5.1mm en el mes de Enero siendo el mínimo de todo el año. En cuanto a la temperatura media mensual, la máxima se presenta en el mes de Mayo con 14.3 °C; mientras que la mínima es registrada en Enero con 10.1 °C, (ver figura 17).

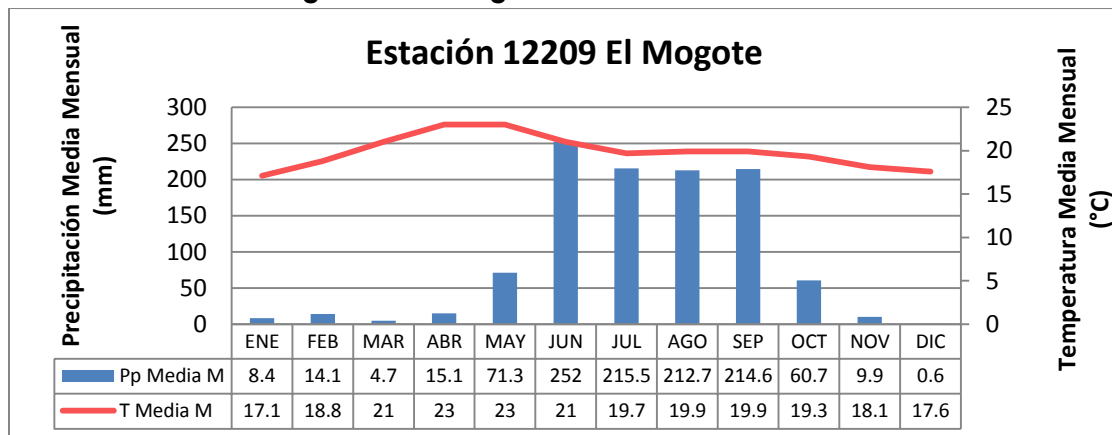
Figura 18: Climograma de la estación 15134



Fuente: Elaborado con base en datos del SMN, 2012

En lo referente a la estación Vivero la Paz, siendo la representativa de la cuenca media registra las precipitaciones máximas en la misma temporalidad que la estación anterior, con valores que van desde los 172 mm en Julio, hasta los 198 mm en el mes de Junio, la mínima se puede visualizar en Marzo con 5.1 mm registrados. A su vez las temperaturas máximas son referidas al mes de Mayo con un valor de 22 °C y las mínimas se registran en Enero con 17.2 °C, (ver figura 18).

Figura 19: Climograma de la estación 12209



Fuente: Elaborado con base en datos del SMN, 2012

Con respecto a la última estación del Mogote, es preciso mencionar que es la estación representativa del exutorio de la subcuenca; el régimen de precipitación es distribuido en los mismos meses que las anteriores, los valores son contrastantes y presentan máximas de 252 mm en el mes de Junio y mínimos de

0.6 mm en Diciembre. De igual forma las temperaturas medias mensuales registradas, muestran una máxima de 23 °C en los meses de Abril y Mayo y mínimas de 17.1 en Enero, (ver figura 19).

II.2.5 Uso de Suelo y Vegetación

De acuerdo con la información vectorial obtenida de la serie IV de INEGI, se puede clasificar al uso de suelo y vegetación del área de estudio de la siguiente forma, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16: Clasificación de los Usos del Suelo y Vegetación

Subsistema	Uso del Suelo y Vegetación	Área (km ²)	Superficie con respecto al total (%)
Antrópico	Agricultura de Riego	157.79	21.20
	Agricultura de Temporal	193.43	25.99
	Pastizal Inducido	36.21	4.86
	Zona Urbana	5.20	0.69
Natural	Bosque de Encino	38.41	5.16
	Bosque de Encino-Pino	17.69	2.37
	Bosque de Oyamel	17.71	2.37
	Bosque de Pino	82.55	11.09
	Bosque de Pino-Encino	60.81	8.17
	Bosque de Táscate	48.41	6.50
	Bosque Mesófilo de Montaña	9.58	1.29
	Pastizal	1.13	0.152
	Selva Baja Caducifolia	74.90	10.06
	Sin Vegetación Aparente	0.42	0.05
Total		744.23	100

Fuente: INEGI, 2010

Con el propósito de facilitar la interpretación de los datos mostrados en la tabla anterior, los diferentes usos de suelo y tipos de vegetación fueron clasificados en dos subsistemas (natural y antrópico), en la fotografía 7 se muestra la vegetación de bosque de pino al límite de la cota 4000, donde es frecuente encontrar los pastizales de alta montaña.

Fotografía 7: Bosque de Pino con pastizal de alta Montaña



Fuente: Propia de los autores

Se observa que en el caso del subsistema antrópico están considerados cuatro tipos de uso del suelo los cuales en conjunto representan el 52.75% del total del territorio de la subcuenca, predominando la agricultura de temporal como se muestra en la fotografía 8 (25.99%), la cual se presenta de manera significativa en la porción Noreste de la zona de estudio, de manera puntual en los municipios de Tenango del Valle y Tenancingo, así mismo la agricultura de riego (21.20%), se concentra en la región central siendo los municipios de Tenancingo y Villa Guerrero en donde más se practica.

Fotografía 8: Agricultura de temporal en el municipio de Joquicingo



Fuente: Tomada por los autores

Por el contrario el subsistema natural comprende 10 diferentes tipos de vegetación, siendo el 47.24% de la superficie total, predominando el bosque de pino (11.09%) cuya distribución está definida hacia la parte Noroeste de la cuenca alta, específicamente en los municipios de Tenango del Valle y Villa Guerrero; de tal forma que aquel tipo de vegetación con menor ocupación territorial está representado por el pastizal (0.15%), localizado en las cumbres del Nevado de Toluca a más de 4000 msnm.

II.2.6 Áreas Naturales Protegidas

De acuerdo con los datos obtenidos a partir de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas CONANP (2012) y Bezaury-Creel y otros (2007), para la subcuenca del Río San Jerónimo existen cinco tipos de decretos, divididas en categorías estatales y federales, tal como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17: Superficie de Áreas Naturales Protegidas

Área Natural Protegida	Tipo de Manejo	Área (km ²)	Superficie con respecto a la subcuenca (%)
Parque Nacional "Nevado de Toluca"	Federal	65.13	8.75
Parque Nacional "Desierto del Carmen o Nixcongo"		1.03	0.14
Parque Estatal Ecológico Turístico y Recreativo "Hermenegildo Galeana"	Estatal	3.36	0.45
Parque Ecológico y Recreativo "Tenancingo Malinalco y Zumpahuacán"		235.17	31.60
Parque Natural para la Recreación Popular "Nahuatlaca-Matlazinca"		24.99	3.36
Resto del territorio de la Subcuenca		414.55	55.70
Total		744.23	100

Fuente: Elaborada con base en CONANP (2012) y Bezaury-Creel y otros (2007).

Como se observa en el mapa C07, las Áreas Naturales Protegidas de la zona de estudio están ubicadas en la cabecera de la subcuenca, hacia la parte noroeste y este de la misma, en los municipios de Toluca, Tenango del Valle, Tenancingo, Villa Guerrero, Joquicingo y Zumpahuacán.

De acuerdo con la tabla anterior, es el Parque Ecológico y Recreativo "Tenancingo Malinalco y Zumpahuacán", el de mayor extensión territorial (ocupando el 31.60% del total de la subcuenca), está localizado al este del área de estudio y pese a su decreto, en su territorio se establecen las localidades de San Bartolomé Atlatlauca, San Pedro Zictepec, San Juan Xochiaca, Maxtleca de Galeana, San Martín Coapaxtongo, San Miguel Tecomatlán, San José Tenería, Santa Ana Ixtlahuatzingo y cabeceras municipales de Joquicingo y Tenancingo.

Contrario a lo anterior, el Parque Nacional "Desierto del Carmen o Nixcongo", localizado al sureste de la cabecera municipal de Tenancingo el de menor extensión con un 0.14% del territorio.

II.2.7 Morfometría

El comportamiento morfométrico se define a través de los componentes del subsistema natural tales como geología, edafología, geomorfología y régimen climático, que en su conjunto definen cada uno de los tipos de cuenca; su importancia radica en el conocer su funcionamiento dado que todos los recursos y actividades humanas giran en torno a la disponibilidad del agua, así como a los posibles peligros a los que los sistemas sociales puedan estar sujetos.

Por tal motivo resulta importante cuantificar las características morfométricas de la subcuenca a través de índices y parámetros (véase tabla 18) que permitan conocer los aspectos positivos y negativos para el desarrollo de diferentes actividades y facilitar la toma de decisiones.

Tabla 18: Índices y parámetros morfométricos

Morfometría del área de captación		
Unidad de Análisis	Valor	Clasificación
Pendiente media (porcentaje)	32.33	Fuerte
Área (km ²)	744.23	Media
Factor de forma	0.17	Bajo
Coefficiente de compacidad (kc)	1.68	Oval- oblonga a rectangular- oblonga (Bajo)
Tiempo de concentración (hrs)	5.26	Alto
Ancho medio de la cuenca(km)	11.29	-
Morfometría de la Red de Drenaje		
Orden	7	Alto
Número de cauces	3988	-
Pendiente del cauce principal	0.05	Suave
Longitud del cauce principal (km)	65.93	Largo
Densidad de drenaje (km/km ²)	3.58	Alta

Fuente: Elaborado con base en INE, 2004

De acuerdo con los índices y parámetros morfométricos antes mostrados, se puede afirmar que es una subcuenca mediana ya que comprende una superficie de 744.23 km², con un gran desnivel entre sus puntos más alto (4440 msnm) y bajo

(1100 msnm) lo que le confiere una condición de variabilidad de precipitaciones y temperaturas; en relación con lo anterior se considera que presenta un tipo de relieve fuerte indicando mayor eficiencia y velocidad de transporte del agua.

Por otra parte el coeficiente de compacidad muestra que la forma de la subcuenca es oval- oblonga a rectangular- oblonga, indicando que en su estado natural no se encuentra susceptible a una alta acumulación de escurrimiento, aunado a ello el factor de forma señala una baja tendencia a la formación de crecidas, en relación a estos parámetros se puede observar que el tiempo de concentración es alto, dado que se requieren 5.26 horas para que una gota de lluvia sea drenada desde el punto más alto hacia el exutorio.

Con respecto a la red de drenaje, se estima el orden de corrientes en un valor de siete, lo que muestra un mayor control estructural y en general mayor erosión; por lo tanto mayor energía del sistema al ser una subcuenca montañosa. De igual forma la densidad de drenaje es de 3.58 considerada como alta, lo que se traduce en una mayor eficiencia y velocidad de transporte del agua. La pendiente del cauce principal es de 0.05, siendo considerada como suave por lo que la velocidad del desplazamiento del agua es media y por consecuencia la infiltración es moderada.

En conclusión la Subcuenca del Río San Jerónimo (SRSJ) y en su estado natural, es considerada poco susceptible a las inundaciones como consecuencia de su relieve montañoso y la alta capacidad de drenaje que le confiere su control estructural al presentar pendientes altas; por lo anterior presenta una alta capacidad erosiva que evidencia la antigüedad de la misma de acuerdo con la profundidad y cantidad de sus cauces; a su vez se puede observar que presenta una baja concentración de agua y un elevado tiempo de concentración, indicando un mayor escurrimiento.

II.3 COMPONENTE SOCIAL

La población es el componente esencial en la dinámica de una cuenca hidrológica debido a que todas aquellas actividades que se llevan a cabo en el territorio, repercuten en la calidad y cantidad de recursos naturales y por

consecuencia la ocurrencia de peligros naturales. A continuación se muestran algunos índices e indicadores socio-demográficos que permitirán analizar el comportamiento de la población y su influencia en el área de estudio.

II.3.1 Población Total

En el caso de la presente investigación se retoman los datos del INEGI, en el Censo de Población y Vivienda 2010, considerando únicamente las localidades cuyo territorio corresponde a la SRSJ, por lo tanto los valores mostrados para los municipios, están referidos estrictamente a la delimitación de la misma. Cabe mencionar que los municipios de Toluca de Lerdo y Malinalco, Estado de México constituyen una pequeña porción del área de estudio, pero al no presentar población alguna en la subcuenca, son omitidos de la descripción del componente social.

En cuanto al número de localidades, la SRSJ presenta un total de 171, mismas que se distribuyen a lo largo y ancho del territorio en un total de 11 municipios, diez de ellos correspondientes al Estado de México y uno más al Estado de Guerrero. Cumpliendo con la caracterización, se muestra en la tabla 19, el total de población por localidad para cada municipio referido al área de estudio, con el fin de identificar el número de habitantes por localidad y su concentración.

Tabla 19: Total de Población por localidades

Municipio	Total de Localidades	Total de Población 2010
Coatepec Harinas	2	879
Ixtapan de la Sal	13	5177
Joquicingo de León Guzmán	4	5363
Pilcaya	2	1062
Tenancingo de Degollado	53	71566
Tenango del Valle	18	25655
Tonatico	5	1229
Villa Guerrero	51	59991
Zumpahuacán	23	14476
Total		185398

Fuente: INEGI, 2010

La tabla anterior muestra los datos de población total para el 2010 en la SRSJ, siendo que Tenancingo de Degollado y Villa Guerrero presentan la mayor cantidad de población (con un 71%), debido a que la mayor proporción del territorio de dichos municipios se ubica en la subcuenca. Por otro lado se puede observar que el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México y Pilcaya en el Estado de Guerrero representan la menor proporción de población (1%), siendo dos de los municipios con menor área correspondiente a la subcuenca; lo que demuestra la relación directa entre población y territorio.

II.3.2 Localidades Urbanas y Rurales

De acuerdo con las clasificaciones de INEGI, se considera una localidad urbana aquella que posee una población mayor a 2500 habitantes, caso contrario y menor a dicha cantidad se clasifica como localidad rural. A continuación en la tabla 20, se presenta un concentrado de localidades urbanas y rurales por municipio para visualizar el tipo de población predominante.

Tabla 20: Población de localidades rurales y urbanas por municipio

Municipio	Localidades		Población	Población
	Rurales	Urbanas	Rural (hab)	Urbana (hab)
Coatepec Harinas	2	0	879	0
Ixtapan de la Sal	13	0	5177	0
Joquicingo de León Guzmán	3	1	1330	4033
Pilcaya	2	0	1062	0
Tenancingo de Degollado	47	5	41114	30452
Tenango del Valle	14	4	5309	20346
Tonatico	5	0	1229	0
Villa Guerrero	41	3	43043	16948
Zumpahuacán	22	1	10420	4056
Total	149	14	109563	75835

Fuente: INEGI, 2010

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la población rural representa el 59% del total, siendo el tipo de población predominante, mientras que la urbana corresponde al 41% del total, además existen tan solo 14 localidades consideradas como urbanas versus 149 rurales. Lo anterior demuestra que la población urbana se concentra en unas pocas localidades, mientras tanto la rural, se encuentra dispersa dificultando la dotación de servicios públicos e infraestructura.

II.3.3 Densidad de Población

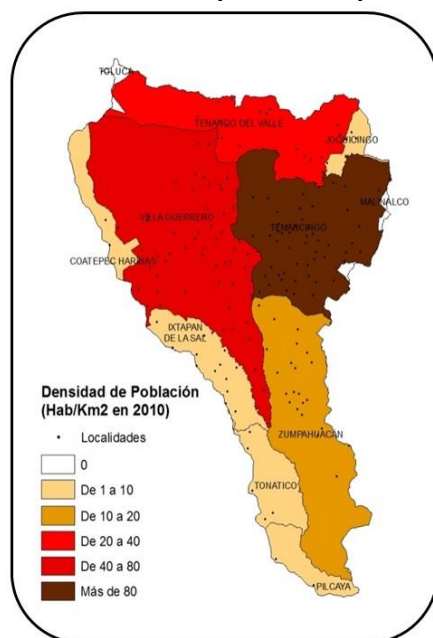
La densidad de población de la SRSJ, es muy heterogénea, dado que Villa Guerrero y Tenancingo son las cabeceras municipales que mayor densidad poblacional presentan y que se localizan hacia la parte centro-norte, mientras que, en la zona sur se distribuye la menor cantidad.

De forma general se puede afirmar que la densidad de población (ver figura 20), para la zona de estudio de acuerdo con cálculos elaborados a partir de datos de INEGI, (2010) es de 249.64 habitantes por km²; que resulta de dividir la superficie territorial (742.667 km²) entre el total de población (185,398 habitantes);

los municipios con mayor densidad poblacional en orden descendente son: Tenancingo de Degollado (96.36 hab/km²), Villa Guerrero (80.77 hab/km²), Tenango del Valle (34.54 hab/km²), Zumpahuacán (19.49 hab/km²), Joquicingo de León Guzmán (7.22 hab/km²), Ixtapan de la Sal (6.97 hab/km²), Tonalico (1.65 hab/km²), Pilcaya (1.42 hab/km²) y Coatepec Harinas (1.18 hab/km²) véase figura 20.

La densidad poblacional junto con otros indicadores, ayudan a comprender la forma en la que la población ejerce algún tipo de presión sobre los recursos naturales, a su vez permiten explicar el comportamiento demográfico de la población y se vinculan con la demanda y oferta de los servicios públicos (salud, educación, agua potable, drenaje y energía eléctrica), en las zonas urbanas y rurales.

Figura 20: Densidad de población por municipio



Fuente: Elaborado con base en IGCEM, 2011 e INEGI, 2010

II.3.4 Principales Actividades Económicas

Para abordar este apartado, solo se considera la descripción de las principales actividades económicas de los municipios de Tenango del Valle, Tenancingo de Degollado, Villa Guerrero, Ixtapan de la Sal y Zumpahuacán (ver

tabla 21), debido a que representan la mayor proporción del territorio de la zona de estudio, además de concentrar el mayor porcentaje de la población; por lo anterior se omite dicha descripción de los municipios de Coatepec Harinas (dos localidades), Toluca de Lerdo (sin localidades), Malinalco (sin localidades), Tonalico (cinco) y Pilcaya (dos), debido a que presentan poca o nula población en el territorio, siendo además localidades rurales que figuran con un menor impacto.

Tabla 21: Principales actividades económicas

Municipio	Tipo de actividades	Descripción
Joquicingo	Primarias	<ul style="list-style-type: none"> Sector agropecuario
	Terciario	<ul style="list-style-type: none"> Comercio Servicios
Tenango del Valle	Primarias	<ul style="list-style-type: none"> Agricultura de Temporal Producción Pecuaria Producción Forestal Actividades Acuícolas Minería
	Terciarias	<ul style="list-style-type: none"> Comercio Turismo
Tenancingo	Primarias	<ul style="list-style-type: none"> Floricultura Agricultura
	Secundarias	<ul style="list-style-type: none"> Fabricación de Textiles y Muebles
	Terciarias	<ul style="list-style-type: none"> Servicios Científicos y Técnicos Servicios Mobiliarios e Inmobiliarios Servicios Educativos Comercio de Pequeña y Mediana Empresa
Villa Guerrero	Primarias	<ul style="list-style-type: none"> Agricultura Floricultura Actividades Pecuarias Actividades Forestales
	Secundarias	<ul style="list-style-type: none"> Manufactura
	Terciarias	<ul style="list-style-type: none"> Comercios Servicios
Ixtapan de la Sal	Primarias	<ul style="list-style-type: none"> Agricultura Pecuaria

Zumpahuacán	Primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura • Pecuaria • Forestal • Silvicultura • Acuacultura
	Secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Minería • Artesanía
	Terciaría	<ul style="list-style-type: none"> • Comercio • Turismo • Servicios

Fuente: GEM (2003, 2004, 2009, 2010, 2011)

De acuerdo con la tabla anterior las actividades desarrolladas en cada municipio son muy similares, destacando principalmente las actividades de orden primario y enfocado a la agricultura, silvicultura, ganadería y caso concreto la floricultura en los municipios de Tenancingo y Villa Guerrero. De igual forma las actividades terciarias, son llevadas a cabo en menor escala, sin embargo su desarrollo es de suma importancia para los municipios ya que contemplan al comercio, servicios y turismo.

De acuerdo con la metodología planteada para abordar la presente investigación, éste capítulo muestra de forma concreta los elementos bióticos, abióticos y socioeconómicos que integran el sistema natural y su interrelación en el desarrollo de la dinámica de la subcuenca, la información antes mencionada es de referencia y se limita a describir lo existente, para dar paso al diagnóstico por componente del sistema en el próximo capítulo. De tal forma que se tienen el análisis del estado actual de la zona de estudio en relación a los diferentes componentes de la misma, dando un primer panorama acerca de sus potencialidades y problemáticas.

CAPÍTULO III

RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS



La presente etapa de la investigación, tiene como objetivo el diagnóstico de peligros geológicos (Sismicidad, Movimientos de Ladera Rápidos y Lentos, Erosión) e hidrometeorológicos (Precipitación Máxima en 24 Horas, Inundaciones, Sequías, Heladas, Granizadas, Tormentas Eléctricas y Niebla), determinando aquellos que tengan mayor probabilidad de ocurrencia en el área de estudio y destacando el grado de susceptibilidad y peligrosidad para cada zona y sus posibles afectaciones. La información cartográfica generada en este capítulo está definida en forma de datos raster para usos posteriores.

III.1 PELIGROS GEOLÓGICOS

Dentro del presente subcapítulo se abordan como peligros geológicos a la sismicidad, remoción en masa (movimientos rápidos y lentos) y erosión, fenómenos derivados de la interacción del sistema biótico, abiótico y social, considerando como principal elemento a los rasgos geológicos y geomorfológicos que componen la zona de estudio, asociado a elementos del sistema natural y antrópico que fungen como factores desencadenantes para la ocurrencia de dichos peligros.

III.1.1 Sismicidad

“La sismicidad es un fenómeno natural que se produce por fracturamiento repentino de una porción de la litósfera terrestre (cubierta rígida del planeta) como consecuencia de la acumulación de esfuerzos de deformación. La energía liberada por el rompimiento se propaga en forma de ondas sísmicas, hasta grandes distancias” (CENAPRED, 2012).

Con base en lo anterior, el análisis para este tipo de peligrosidad es realizado mediante los sismos históricos registrados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN), dentro del cual se determinó que la SRSJ se ubica en una zona de baja intensidad, debido a que los sismos registrados para el período de 1998 a 2012 se ubican en los rangos de 0.7 a 3.4 (escala de Richter), considerados como imperceptibles. Cabe señalar que dentro del mapa D01 se señala como peligrosidad muy alta hacia la zona norte de la subcuenca.

Para efectos de esta investigación se determinó que la sismicidad no es un evento que tenga un impacto importante dentro de la zona de estudio, mismo que pueda generar ciertas pérdidas, sin embargo es de suma importancia considerarlo, debido a que este fenómeno es considerado como un factor desencadenante, el cual puede propiciar que algún otro tipo de evento geológico tenga origen y por tanto afectar a la población dentro de la zona.

De acuerdo a los registros obtenidos se puede concluir que se presenta un máximo valor de isosistas hacia la cabecera de la subcuenca con un valor de 3.4 grados Richter involucrando a la población de San Pedro Tlanixco como la mayor concentración de población afectada. Por el contrario la región sureste muestra la menor afectación registrada con una intensidad de 1.2 o menor en dicha temporalidad.

III.1.2 Inestabilidad de Laderas

De acuerdo con CENAPRED (2012), este tipo de fenómeno es conocido también como deslizamiento del terreno o de tierra, el cual implica movimiento de rocas y/o suelo por la acción de la gravedad cuyos procesos que lo ocasionan están determinados por factores externos (erosión, socavación, incisión de un río y excavaciones artificiales) e internos (relacionados con las características de los materiales térreos en cuanto a composición, textura y grado de intemperismo), por lo tanto un ambiente altamente modificado por el hombre es en gran medida susceptible a la ocurrencia de tales procesos. Está considerado como la conjunción de varios tipos de fenómenos, para efectos de la presente investigación, se llevó a cabo el análisis de acuerdo con la clasificación de movimientos rápidos y lentos que se describen a continuación.

III.1.2.1 Movimientos Rápidos

“Se inician como pequeños deslizamientos de suelo, el cual se licúa y acelera a altas velocidades, que pueden inclusive llegar a alcanzar 60 km por hora, se originan en depresiones altas de un talud con pendientes inclinadas” (CENAPRED, 2008). Aunado a los elementos desencadenantes mencionados con anterioridad, es importante incluir el tipo de suelo (cantidad de arcillas) y un evento de precipitación extrema como factores que pueden influir en la ocurrencia de dichos movimientos.

De acuerdo con lo preestablecido en la descripción de los parámetros morfométricos del capítulo anterior, es preciso mencionar que existe una relación directa entre la densidad de drenaje (alta), pendiente media de la cuenca (fuerte) y orden de corrientes (alta), con los movimientos de ladera rápidos; lo anterior considerando que son parámetros de escorrenfía que pueden actuar como agentes desencadenantes de dichos eventos.

Como puede observarse en el mapa D02a, el rango de peligrosidad muy alta por movimientos rápidos se ubica en la zona noreste y noroeste, siendo ésta última una porción del territorio en la cual no existen poblaciones que puedan ser afectadas, mientras que en la cabecera de la subcuenca, hacia el noreste se localizan poblaciones como San Juan Xochiaca, Maxtleca de Galeana, San Francisco Tepexoxuca, la cabecera municipal de Joquicingo de León Guzmán, San Bartolomé Atlatlauca y Santa Ana Ixtlahuatzingo, con probabilidad alta. De igual forma se presenta otra zona con peligrosidad muy alta al sureste de la cabecera municipal de Ixtapan de la Sal y de Zumpahuacán en la región sur de la SRSJ.

Lo anterior como consecuencia del predominio de un paisaje disectado con valles profundos y barrancas, rocas de tipo basalto y andesita fragmentadas con materiales no consolidados como lahar, suelos de tipo Andosol con gran cantidad de materia orgánica y capacidad de retención de agua, vegetación de pino, oyamel, así como agricultura de temporal y riego con precipitaciones máximas en 24 horas de 51 a 230 mm y cuya principal variable para propiciar tales movimientos es el grado de pendiente.

La fotografía nueve muestra un evento de Movimiento Rápido, registrado en las laderas del tramo de la autopista Tenango-Ixtapan de la Sal, a la altura del poblado de San Pedro Tlanixco, donde el relieve se describe a partir de altas pendientes, transición entre la agricultura de riego y bosque de pino, con rocas de tipo lahar y suelos andosoles.

Fotografía 9: Deslizamiento de material en laderas de origen volcánico



Fuente: Propia de los autores

Aunado a lo anterior, actividades antrópicas como la construcción de carreteras que desestabilizan la pendiente, pueden desencadenar un movimiento de ladera rápido tal como se aprecia en la fotografía 10.

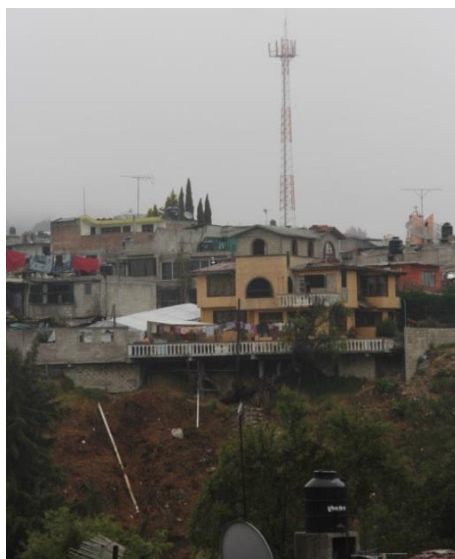
Fotografía 10: Inestabilidad de laderas por construcción de carreteras



Fuente: Toma efectuada por los autores

Así mismo se puede afirmar que la construcción de viviendas en zonas de pendiente fuerte, representa una peligrosidad alta debido a la desestabilización de las laderas, de tal forma que en la fotografía 11 se puede observar, que los movimientos de ladera rápidos están latentes para las construcciones aledañas a los valles profundos, debido a las características del material y a la pendiente del terreno, cuyo ejemplo se localiza en San Pedro Zictepec.

Fotografía 11: Posibilidad de ocurrencia de movimientos rápidos en San Pedro Zictepec



Fuente: Propia de los autores

Tal como se muestra en la fotografía anterior,

Por el contrario la zona central en los alrededores de la cabecera municipal de Villa Guerrero, planicie aluvial de Tenancingo y las zonas planas del sur de la subcuenca, se caracterizan por una peligrosidad nula ante dichos movimientos a consecuencia de la baja disección del paisaje, pendientes suaves menores a 12 grados y precipitaciones máximas registradas entre 51 y 91 mm.

III.1.2.2 Movimientos Lentos

Este tipo de movimientos son considerados por Suárez (1998), como procesos extremadamente lentos, es decir, apenas de unos pocos centímetros al año y afectan regularmente a grandes extensiones de terreno, generalmente son originados por las alteraciones climáticas relacionadas con los procesos de

humedecimiento y secado en suelos, específicamente en éste caso se incluyen variables como:

- Geología
- Tipo de suelo
- Precipitación media anual
- Pendientes
- Erosión

Como consecuencia del análisis de las variables anteriores, se obtuvo el mapa D02b, donde se puede observar el grado de peligrosidad por movimientos lentos en una clasificación desde nula hasta muy alta, siendo esta última referida a la zona central y noreste del área de estudio, con pendientes de cuatro a ocho grados, suelos predominantes de vertisoles, feozem y andosoles, con tipos de roca de depósitos de lahar y cenizas volcánicas, combinados con precipitaciones medias anuales de entre 1300 a 1500 mm, por lo anterior es posible mencionar que la inclinación de los árboles son un indicador de tales procesos, tal como se muestra en la fotografía 12.

Fotografía 12: Indicador de movimientos lentos por vegetación en Zumpahuacán



Fuente: Tomada por los autores

Considerando los elementos anteriores, se puede afirmar que los centros poblacionales con mayor posibilidad de afectación, se refieren a San Bartolomé Atlatlauca, San Pedro Zictepec, San Francisco Tepexoxuca y las cabeceras municipales de Joquicingo de León Guzmán y Villa Guerrero.

En contraparte la región noroeste y sureste muestran peligrosidad media a nula a consecuencia de su estructura de roca resistente y disección del paisaje elevada, lo que demuestra pendientes altas mayores a 15 grados acompañadas de suelos permeables con buen drenaje y bajo grado de erosión.

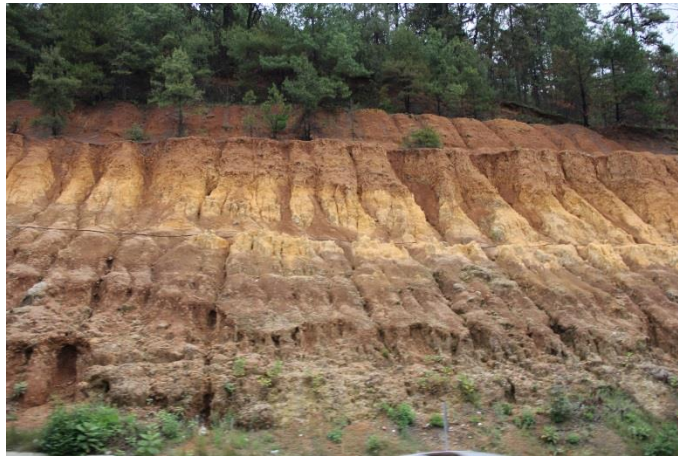
Las poblaciones ubicadas en las zonas de peligrosidad baja a nula se refieren a Santiago Oxtotitlán, Zacango, cabecera municipal de Tenancingo de Degollado, San Martín Coapaxtongo, San Juan Xochiaca y San Miguel Tecomatlán.

III.1.3 Erosión

“Es el desprendimiento, transporte y depositación de partículas o masas pequeñas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua o viento, el flujo puede concentrarse en canales produciendo surcos y cárcavas. Los procesos de erosión son comunes en suelos residuales poco cementados o en suelos aluviales, especialmente los compuestos por limos y arenas finas principalmente, cuando la cobertura vegetal ha sido removida” (Suárez, 1998). Con esta definición, se establece que el modelo que muestra la susceptibilidad a la erosión está referido a la Hídrica.

Una vez conocidos los parámetros morfométricos del área de estudio, se considera pertinente señalar la relación existente con la erosión, así se tiene que la pendiente media (fuerte), tiempo de concentración (alta), orden de corrientes (alta), densidad de drenaje (alta), condicionan una alta susceptibilidad a la erosión al existir alta energía del relieve, provocando el arrastre de sedimentos, lo cual se intensifica al haber áreas con suelos desnudos como se muestra en la fotografía 13, donde las cicatrices del suelo son provocadas por pendientes fuertes, escurrimiento sobre suelo desnudo a partir de un corte de carretera.

Fotografía 13: Erosión en pendiente cerca de San Pedro Tlanixco



Fuente: Propia de los autores

El análisis de la erosión, tiene por objetivo dar a conocer las zonas con mayor susceptibilidad a la erosión, las cuales se pueden observar en el mapa D03, considerando que en la porción noreste de la SRSJ, se focaliza el grado de susceptibilidad muy alto, valor que se determinó a partir de la pendiente que va de 30 a 45 grados (cuyo factor influye de manera importante sobre este proceso), el suelo predominante es el Andosol (presenta poca estructura, buen drenaje y mucha porosidad), por lo que es muy susceptible a la erosión si la cobertura vegetal que posee es removida a causa de las actividades humanas y los cambios de uso del suelo.

Una de las actividades con mayor predominio es la agricultura de temporal y riego, lo que acelera los procesos erosivos. Los valores de precipitación media anual oscilan entre los 900 y 1200 mm. Por otro lado las poblaciones cercanas a las zonas con una susceptibilidad muy alta, son San Bartolomé Atlatlauca, San Francisco Tepexoxuca, cabecera municipal de Joquicingo de León Guzmán, San Juan Xochiaca y San Martín Coapaxtongo. Refiriéndose a la porción oeste, se encuentra la localidad de Zacango donde también se presenta un área con susceptibilidad muy alta debido a que reúne características similares a la anterior.

Por el contrario en la zona sur de la SRSJ, se presentan los rangos de susceptibilidad de baja a nula, debido a la presencia de selva baja caducifolia que protege al suelo, aunado a esto parte de la zona está conformada por

lahares y roca caliza, con presencia de suelos de tipo vertisol y leptosol. Cabe señalar que en dicha zona, se encuentran algunas áreas de susceptibilidad alta sobre las barrancas, debido a las fuertes pendientes (45 grados o más).

III.2 PELIGROS HIDROMETEOROLÓGICOS

Este tipo de fenómenos son especialmente representativos de la zona geográfica de estudio debido a la variación de los rangos altitudinales que van desde los 1100 hasta los 4440 msnm (límites mínimos y máximos de altitud de la SRSJ) y así mismo con relación a sus variaciones topográficas, mismas que favorecen la diversidad de climas y ocurrencia de dichos fenómenos, los cuales tienen inferencia directa en las actividades humanas.

Por tal motivo son objeto de estudio de la presente investigación y necesitan seria atención para su pronóstico y prevención ante la eventual ocurrencia. Específicamente en el presente documento, se retoman los datos del Servicio Meteorológico Nacional para una temporalidad de 1981-2010 en los registros de días con granizo, niebla, tormentas, sequías, heladas y precipitaciones máximas en 24 horas.

III.2.1 Precipitaciones Máximas en 24 Horas

Son eventos extremos de precipitaciones con un pico de lluvia que sobrepasa la media estimada y su ocurrencia se desarrolla en cortos períodos de tiempo, lo que desestabiliza el medio natural y su grado de afectación está en función directa con el grado de respuesta del mismo.

Tales precipitaciones son de vital importancia para la comprensión y análisis de otros fenómenos naturales, como inundaciones e inestabilidad de laderas ya que pueden ser considerados como agentes desencadenantes, en el primer caso ocasiona un desbordamiento de los caudales y por consiguiente inundaciones en las zonas bajas y para el segundo, las cantidades excesivas de precipitación saturan los suelos para una eventual remoción en masa (flujos de lodo, movimientos de rocas, deslizamientos o movimientos complejos).

En relación directa con los parámetros morfométricos descritos con anterioridad, se determina que el comportamiento de la subcuenca para eventos

extremos de precipitación en general presenta un sistema de drenaje eficiente, con baja susceptibilidad a la acumulación de escurrimiento y baja tendencia a la acumulación de crecidas, sin embargo, dichos factores varían de acuerdo con las características específicas del medio físico, así como del uso y cobertura del suelo.

Una vez efectuada la interpolación de valores de las estaciones climatológicas, se puede visualizar en el mapa D04 que las precipitaciones máximas en 24 horas de mayor intensidad, se ubican en la región noreste teniendo posibilidad de afectación directa en las zonas urbanas de San Juan Xochiaca y la cabecera municipal de Joquicingo de León Guzmán, los valores máximos registrados van desde los 120 a los 230 mm.

De igual forma se muestran precipitaciones consideradas con peligrosidad media con valores de 120 a 160 mm en las zonas urbanas de Zacango, Santa Ana Ixtlahuatzingo y cabeceras municipales de Tenancingo de Degollado y Zumpahuacán que debido a su uso de suelo urbano, se observa que el escurrimiento superficial es mayor.

En contraparte, los valores con menor intensidad de precipitación en 24 horas se distribuyen en diferentes puntos de la zona de estudio, por lo que se puede mencionar la región noroeste (ladera sur del Nevado de Toluca), alrededores de San Bartolomé Atlatlauca y San Pedro Zictepec, sur de Villa Guerrero y Tenancingo, registrando de 51 a 86 mm de precipitación.

III.2.2 Inundaciones

“Es aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna infraestructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura” (CENAPRED, 2007a).

Con base en la cartografía generada, se puede afirmar que los sitios con la mayor peligrosidad por inundaciones se concentran en la planicie aluvial de

Tenancingo, lo cual tiene una relación directa con las precipitaciones máximas en 24 horas registradas en la cabecera de la subcuenca y el sistema de drenaje fluye hacia dicha región, con lo cual se aumenta la peligrosidad por inundaciones, contemplado a su vez las localidades aledañas de San José el Cuartel y San José Tenería (ver mapa D05).

Las características específicas de dicha zona están acotadas por depósitos de aluvión y suelos de tipo vertisol y feozem (suelos con alto contenido de arcillas), cuyas combinaciones con geoformas planas (planicies aluviales) y pendientes bajas (0 a 3 grados), eliminan la posibilidad de escurrimiento superficial eficiente, así mismo retardan la capacidad de infiltración de agua al subsuelo; tales variables favorecen la ocurrencia de inundaciones en eventos de precipitaciones máximas extremas, tales características pueden visualizarse en un evento registrado en Julio de 2009 en la fotografía 14 y 15.

Fotografías 14 y 15: Área inundable en la planicie aluvial de Tenancingo



Fuente: Propia de los autores y H. Cuerpo de Bomberos de Tenancingo 2009

De igual forma se considera que la cabecera municipal de Joquicingo, se localiza en un rango medio de peligro debido a la composición y estructura del medio físico, por mencionar algunas variables asociadas a la zona se ubican en rocas de aluvión, suelos andosoles y piedemonte (geoforma predominante), cuyas pendientes influyen de manera directa en la peligrosidad.

Las zonas antes mencionadas elevan su peligrosidad al ser consideradas zonas urbanas y disminuir la capacidad de infiltración del agua por la

pavimentación de calles y construcción de infraestructura, aumentando el escurrimiento superficial, lo anterior tal como se muestra en las fotografías 16 y 17, donde eventos extremos de precipitación inundaron todo el valle, se visualiza una construcción socavada por la corriente de un río, provocando la volcadura y posible arrastre aguas abajo, en la otra fotografía se inundó un sistema de invernaderos.

Fotografías 16 y 17: Efectos de una inundación



Fuente: H. Cuerpo de Bomberos de Tenancingo, 2011

A manera de conclusión y considerando los parámetros morfométricos calculados en el capítulo anterior, es posible mencionar que la subcuenca en su estado natural no se encuentra susceptible a una alta acumulación de escurrimiento, a su vez señala una baja tendencia a la formación de crecidas, lo anterior como consecuencia de un alto grado de evolución determinado en la densidad de drenaje, tal como se muestra en el mapa C08.

En su estado natural, la subcuenca es considerada poco susceptible a las inundaciones, como consecuencia de su relieve montañoso y la alta capacidad de drenaje, sin embargo la región del Valle de Tenancingo si se considera altamente inundable, con lo que la urbanización de dicha zona le confiere características de zona prioritaria.

III.2.3 Heladas

Es un tipo de fenómeno hidrometeorológico asociado a la disminución de las temperaturas a niveles por debajo de los cero grados centígrados, que a su vez tiene relación directa con la altitud, es decir, a mayor altitud y en combinación con otros factores climáticos, se aumenta la probabilidad de ocurrencia. *“Las heladas se presentan particularmente en las noches de invierno por una fuerte pérdida radiactiva. Suele acompañarse de una inversión térmica junto al suelo, donde se presentan los valores mínimos, que pueden descender a los dos grados centígrados o aún más”* (CENAPRED, 2007b: 4).

Los principales impactos ocasionados, están en relación con la producción agrícola, ganadera y la salud de la población, así se tiene que una helada mayor puede acabar con la producción agrícola de la temporada, por lo que la zonificación y conocimiento de la ocurrencia de éste fenómeno puede contribuir a mitigar las pérdidas de la producción y tomar medidas preventivas para la población.

Una vez llevado a cabo el análisis de las estaciones meteorológicas que cubren el territorio de estudio, se puede visualizar en el mapa D06 que la mayor peligrosidad por heladas, se sitúa en la cuenca alta, específicamente en las zonas con una altitud y mayor a los 2500 msnm, en los alrededores del Volcán Nevado de Toluca y parteaguas hacia el noreste, por lo que las zonas urbanas de San Bartolomé Atlatlahuca, San Francisco Tepexoxuca, San Pedro Tlanixco, San Juan Xochiaca, San José el Cuartel y cabeceras municipales de Joquicingo y Tenancingo, pueden ser las más afectados por una eventual helada. Las oscilaciones de temperatura varían en valores de -2 hasta -15 °C registradas.

Las actividades productivas del sector primario plasmadas en la tabla 22, para los municipios involucrados en las máximas peligrosidades por heladas son Tenango del Valle, el cual presenta actividades de agricultura y ganadería, Joquicingo con actividades agropecuarias y Tenancingo, caracterizadas por actividades de floricultura y agricultura, con lo cual se destaca la probabilidad de afectación a dichas actividades por la ocurrencia de heladas.

En contraparte la zona central y hacia el sur de la subcuenca, se distribuyen valores históricos registrados de -2 a 5 grados centígrados, por lo tanto el impacto es menor ante dicho fenómeno y su peligrosidad es considerada de baja a nula, donde tales categorías describen probabilidad muy baja de ocurrencia por la altitud a la que se ubica la región, cabe señalar que aunque sea poca la probabilidad de heladas, con un solo día basta para dañar por completo los cultivos y en algunos casos causar pérdida total.

III.2.4 Granizadas

“El granizo es un tipo de precipitación en forma de piedras de hielo y se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en las nubes de tipo cumulonimbus son arrastrados por corrientes ascendentes de aire” (Prieto et al, 2010). Con fundamento en lo anterior, se puede considerar a las granizadas como fenómenos hidrometeorológicos relacionados con la incidencia de tormentas eléctricas y cuyas principales repercusiones se derivan en la pérdida de cosechas y deterioro de la infraestructura urbana.

La SRSJ presenta granizadas con incidencia muy localizada hacia la cabecera de la misma, en la dirección noroeste, donde los rangos oscilan de baja a muy alta peligrosidad con registros de 5 a 50 días con granizo al año, según los registros históricos del Servicio Meteorológico Nacional (cabe destacar que no se ubica ninguna población en la zona), por consiguiente las localidades urbanas más afectadas ante una eventual granizada son, San Pedro Tlanixco y Zacango respectivamente al presentar de 5 a 10 días con granizo en promedio (Ver mapa D07). Dichas localidades están caracterizadas por usos de suelo destinados a la agricultura de temporal y riego en menor medida, con lo que al registrarse un solo día con granizo, es posible que puedan ser afectados los cultivos hasta perder la cosecha en su totalidad.

Caso contrario, el resto de la zona de estudio muestra peligrosidad considerada como nula debido a que los registros señalan de 0 a 5 días con granizo al año, por lo que se puede concluir que dicho fenómeno natural no es representativo de un peligro latente a la población.

III.2.5 Sequías

Basado en la idea de García y otros (2007), una sequía desde el punto de vista meteorológico se presenta cuando la precipitación acumulada durante un período de tiempo es más pequeña que la media de las precipitaciones registradas en dicho período o que un valor específico de la precipitación, lo que sugiere un período prolongado y anormal de déficit de humedad y por lo tanto del suministro y disponibilidad de agua para la población y sus actividades. Dicho fenómeno presenta diferentes repercusiones, tales como pérdidas agrícolas y ganaderas, favorecimiento de incendios forestales, déficit de agua y daños a la salud por la mala calidad de la misma.

De igual manera ESRI (2012), define los datos resultantes de un raster de insolación solar, utilizados como variable para delimitar las zonas con probabilidad de sequías, como la cantidad de energía solar por superficie que recibe cualquier porción de la tierra y que se expresa en watts/hora en una superficie de un metro cuadrado (WH/m²).

Con base en lo anterior, es posible afirmar que la peligrosidad por sequías en el área de estudio se comporta de manera irregular (ver mapa D08), así se tiene que la región centro-noreste presenta la mayor peligrosidad considerada de media a alta, teniendo rangos de temperaturas máximas registradas de 30 a 40 °C (Véase tabla 22). Por lo que las poblaciones con mayor probabilidad de afectación por una eventual sequía son San Pedro Tlanixco, San Bartolomé Atlatlauca, San Pedro Zictepec, San Francisco Tepexoxuca, Maxtleca de Galeana, San Martín Coapaxtongo, San Juan Xochiaca, Santa Ana Ixtlahuatzingo, San Miguel Tecomatlán, Zacango, Santiago Oxtotitlán, Ejido la Finca y las cabeceras municipales de Villa Guerrero, y Zumpahuacán.

Tabla 22: Descripción de la Peligrosidad por sequías

Zona	Localidad de Referencia	Relación Insolación/Usos del Suelo y Vegetación	Temperatura Máxima Registrada (°C)	Precipitación Media Anual (mm)
Norte	San Pedro Tlanixco, San Bartolomé Atlatlauca	Valores medios a altos, con predominio de agricultura de temporal	De 29 a 39	De 960 a 1360
Noreste	Cabecera Municipal de Joquicingo de León Guzmán	Valores altos, con predominio de agricultura de temporal	De 30 a 41	De 920 a 1360
Noroeste	Sin Referencia (Faldas del Volcán Nevado de Toluca)	Valores medios a bajos, con predominio de Bosque de Pino y Oyamel	De 25 a 39	De 980 a 1440
Centro	Cabecera Municipal de Villa Guerrero	Valores altos, con predominio de agricultura de temporal y riego	de 32 a 41	De 860 a 1520
Sur	Cabecera Municipal de Zumpahuacán, El Mogote	Valores medios y bajos, con predominio de Selva Baja Caducifolia y agricultura de temporal	De 34 a 40	De 860 a 1080

Fuente: Elaborada con base en datos del mapa D08

La tabla anterior muestra una zonificación del área de estudio que fue realizada para un mejor análisis e interpretación de las sequías, por lo que se pueden distinguir cinco zonas con diferentes grados de peligrosidad, bajo las condiciones mostradas en el mapa D08.

La zona noroeste presenta una relación uso de suelo y vegetación/insolación con valores medios a bajos, temperaturas entre 25 a 39 °C con valores de precipitación de 980 a 1440 mm, por lo que se puede afirmar que la pérdida de humedad será menor y por lo tanto se disminuye la peligrosidad por dicho fenómeno, con lo anterior se define que dicha región no presenta poblaciones afectadas y puede ser considerada como la zona del área de estudio con la más baja o nula probabilidad de sequías.

Consecuentemente, las características más relevantes de la zona norte muestran factores predominantes como uso de suelo agrícola de temporal y riego (lo que provoca la pérdida de humedad del suelo a falta de cubierta vegetal en la mayor parte del año), temperaturas extremas de 29 a 39 °C, régimen de precipitaciones de 960 a 1360 mm, y relación uso del suelo/insolación con valores medios a altos, con lo que se infiere peligrosidad alta por sequías hacia las localidades de San Bartolomé Atlatlauca y San Pedro Tlanixco y posibles afectaciones a las zonas agrícolas aledañas.

Con relación a la zona Noreste, los valores mostrados señalan relación uso del suelo/insolación alta, que aunado a las temperaturas máximas registradas de 30 a 41 °C y precipitaciones de 920 a 1360 mm anuales favorecen posibilidad alta de ocurrencia de sequías que afecten a las localidades de San Pedro Zictepec, Maxtleca de Galeana, San Martín Coapaxtongo, San Juan Xochiaca, San Francisco Tepexoxuca y cabecera municipal de Joquicingo.

La relación uso del suelo/insolación en la zona centro es considerada como alta, además de presencia de temperaturas máximas de 32 a 41 °C con precipitaciones de 860 a 1520 mm, dicha zona señala las más altas oscilaciones de temperaturas y rangos de precipitación que se distribuyen de forma variada, por consiguiente las localidades de Zacango y Santiago Oxtotitlán presentan peligrosidad media ante sequías, en contraparte Santana Ixtlahuatzingo, San José El Cuartel, Ejido la Finca y cabeceras municipales de Tenancingo y Villa Guerrero señalan peligrosidad alta ante sequías al ubicarse en zonas de menor precipitación, mayor temperatura y uso del suelo que favorecen dicho fenómeno.

Por último se describe la región sur de la SRSJ con base en valores medios y bajos con respecto a la relación uso del suelo/insolación, con temperaturas de 34 a 40 °C y precipitaciones de 860 a 1080 mm. Dicha zona presenta variación extrema de formas del relieve, por un lado se ubican valles profundos que favorecen la aparición de microclimas debido a que en un día reciben menor insolación, en contraparte las planicies favorecen la mayor cantidad de insolación recibida durante el día, por lo que la humedad ambiental habrá de

disminuir y favorecer alta peligrosidad ante sequías que afecten directamente a las localidades El Mogote y cabecera municipal de Zumpahuacán como principales poblaciones afectadas.

III.2.6 Tormentas Eléctricas

Técnicamente se definen como la caída de rayos, producida por el incremento del potencial eléctrico entre las nubes y la superficie terrestre, donde el rayo es la descarga eléctrica atmosférica a tierra, generalmente en zonas boscosas y urbanas.

“Los efectos de las tormentas eléctricas van desde herir o causar el deceso de una persona de forma directa o indirecta, hasta dañar la infraestructura de la población, que provocaría la suspensión de la energía eléctrica, además de afectar algunos aparatos (radio, televisión, computadoras, refrigeradores, etc). En ocasiones, las descargas eléctricas pueden provocar la muerte del ganado y son la causa más común del retraso de las aeronaves y de los accidentes aéreos, siendo el mayor peligro para la aviación” (Hebbs, 2005, en Prieto et al, 2010: 15).

Para determinar la peligrosidad por tormentas eléctricas, se usaron los registros históricos de días con tormentas cuyo resultado se muestra en el mapa D09, mismo que señala la peligrosidad más alta en la zona noroeste con afectaciones directas a la población de Zacango principalmente (0 a 57 días con tormentas eléctricas), a su vez se visualizan zonas urbanas con peligrosidad baja como lo son Santiago Oxtotitlán y la cabecera municipal de Tenancingo, mismos que registran un promedio de 10 a 20 días con tormentas eléctricas al año.

En contraposición, se puede inferir que la zona noreste, sur y centro de la subcuenca se ubican en un rango de peligrosidad de baja a nula con 0 a 10 días, lo que se traduce en una disminución de pérdidas, tanto materiales como humanas. Es importante mencionar la relación directa entre las tormentas eléctricas con las granizadas, tal como se aprecia en el mapa D07 Y D09, la distribución de ocurrencia de ambos fenómenos se homogeniza hacia la zona noroeste, en donde se concentra su mayor peligrosidad, destacando la baja o nula presencia de población y por lo tanto poca afectación a la sociedad y sus

actividades, por lo que se afirma que dicho fenómeno tiene un bajo impacto en el territorio de estudio.

III.2.7 Niebla

“Es un hidrometeoro, consistente en numerosas gotas de agua lo suficientemente pequeñas para mantenerse suspendidas en el aire indefinidamente. Reduce la visibilidad a menos de un kilómetro” (SMN, 2013). Generalmente la condensación del vapor de agua se encuentra a no más de un metro del suelo, lo que sumado con su densidad dificulta en gran medida la visibilidad a campo abierto, lo cual puede ser causal de accidentes en carretera.

Una vez realizadas las interpolaciones de los días con niebla, es posible visualizar en el mapa D10, la distribución de los rangos de peligrosidad destacando las máximas en el territorio correspondiente al noroeste de la subcuenca, hacia las faldas del Volcán Nevado de Toluca con 40 a 150 días con niebla registrados. Destacando la ausencia de poblaciones, vialidades y carreteras importantes en la zona, por lo que resulta una afectación menor.

Es posible afirmar que el tramo de la carretera Tenango-Tenancingo, al paso por las zonas urbanas de San Bartolomé Atlatlauca, San Pedro Zictepec, Maxtleca de Galeana y San Martín Coapaxtongo; así mismo como una pequeña porción del tramo de las carreteras libre y de cuota La Finca-Ixtapan de la Sal, se enmarcan dentro de un rango con peligrosidad baja al mostrar valores de 15 a 40 días con niebla, lo que se traduce en la posibilidad de accidentes viales al ser carreteras muy transitadas por la conexión entre el sur del Estado de México, norte de Guerrero y Morelos. En la fotografía 18, se visualiza la niebla hacia la región noreste de la subcuenca, específicamente en el municipio de Joquicingo.

Fotografía 18: Ocurrencia de niebla en Joquicingo



Fuente: propia de los autores

Por el contrario las zonas este, centro y sur de la SRSJ, registran valores bajos a nulos de peligrosidad por niebla, siendo de cero a 15 días los valores históricos registrados y por consiguiente se reduce la posibilidad de accidentes viales y otras afectaciones derivadas de la ocurrencia de tal fenómeno.

III.3 MULTIPELIGROSIDAD

De acuerdo con la metodología establecida, en la que se propone un mapa de multipeligrosidad que sirve como síntesis de los fenómenos señalados con anterioridad y a su vez conjunta los peligros geológicos e hidrometeorológicos por separado, a continuación se muestran las máximas peligrosidades por fenómeno natural que permiten visualizar a manera de síntesis, cuáles son las zonas con mayor peligrosidad por uno o varios eventos y a su vez pueden determinar la cantidad de población involucrada con una posible afectación.

III.3.1 Fenómenos Geológicos

De acuerdo con lo establecido en la metodología (ver mapa M01 en anexo cartográfico), a continuación se muestran las áreas con el máximo grado de peligrosidad por fenómenos geológicos, identificando zonas de probable ocurrencia de uno o varios de ellos en relación a las principales poblaciones del área de estudio.

Tabla 23: Análisis de la multipeligrosidad por fenómenos geológicos

Multipeligro	Área (km²)	Porcentaje de la subcuenca	Principales poblaciones con posibilidad de afectación	Total de población con posible afectación
Erosión	14.76	1.98	Zacango, Santiago Oxtotitlán, Santa Ana Ixtlahuatzingo, San Pedro Zictepec y Loma de la Concepción	20315
Movimientos lentos	63.96	8.59	San Pedro Tlanixco, San Pedro Zictepec, San Bartolomé Atlatlauca, San Francisco Tepexoxuca, Cab. Mun. Joquicingo y Villa Guerrero, San Juan Xochiaca, San Martín Coapaxtongo, Santiago Oxtotitlán, San José, San Pablo Tejalpa, San Simonito, Acatzingo de la Piedra, Buenavista	53313
Movimientos rápidos	157.97	21.23	Santiago Oxtotitlán, San Martín Coapaxtongo, San Juan Xochiaca, Los Naranjos y La Compuerta	10824
Mov. Lentos y Erosión	2.54	0.34	San Gaspar	1039
Mov. Rápidos y Erosión	60.24	8.09	San Juan Xochiaca, San Martín Coapaxtongo, Santiago Oxtotitlán, Zacango, Santa Cruz Xochiaca y Pueblo Nuevo	14595
Mov. Rápidos y Mov. Lentos	2.05	0.28	San Gaspar	1039
Mov. Rápidos, Mov. Lentos y Erosión	0.05	0.01	San Simonito	1505

Fuente: Elaborado con base en datos de campo e INEGI, 2010

La tabla anterior señala la ocurrencia de uno hasta tres fenómenos geológicos para un mismo territorio, existiendo una probabilidad de ocurrencia, por lo que no significa que sean sucesos de simultaneidad, la población con posibles afectaciones está acotada por los eventos señalados. Como puede apreciarse, son los movimientos rápidos los que presentan un mayor porcentaje de cobertura del territorio (21.23% del total de la subcuenca), mismos que potencialmente pueden tener afectaciones a un aproximado de 10824 habitantes.

Por el contrario el evento de multipeligro que conjunta a los movimientos rápidos, lentos y erosión, representa tan solo el 0.01% de la subcuenca, por lo que se puede inferir que es muy baja su área de afectación, siendo San Simonito la única población cercana a la superficie de impacto con apenas 1505 habitantes. Como se puede observar la sismicidad no está incluida como un fenómeno geológico de gran impacto para la zona de estudio, siendo la máxima intensidad registrada considerada como imperceptible, por lo que solo se utiliza para hacer referencia en el mapa de tal fenómeno.

A manera de conclusión se considera que la multipeligrosidad por fenómenos geológicos, tiene una posibilidad de impacto menor, por lo que fenómenos individuales tienen una mayor incidencia.

III.3.2 Potencial de pérdidas en agricultura

De acuerdo con los datos obtenidos en el mapa M01, que sintetizan las máximas peligrosidades y vulnerabilidades de los peligros geológicos, se presenta a continuación un compendio del análisis entre dichos peligros máximos y las actividades agrícolas que pueden estar sujetas a dichos procesos. Lo anterior con la finalidad de comprender las dimensiones de superficie con potencial de pérdida ante la ocurrencia de un proceso geológico, como se señala en la siguiente tabla.

Tabla 24: Potencialidad de afectación de peligros geológicos respecto a la agricultura

Peligros Geológicos	Tipo de Agricultura	Área (Hectáreas)	Porcentaje de la Subcuenca
Erosión	Riego	648.574	0.871
	Temporal	494.171	0.664
Movimientos lentos	Riego	2615.793	3.515
	Temporal	3017.714	4.055
Movimientos rápidos	Riego	561.482	0.754
	Temporal	1824.695	2.452
Mov. Lentos y Erosión	Riego	124.527	0.167
	Temporal	127.906	0.172
Mov. Rápidos y Erosión	Riego	1332.569	1.791
	Temporal	3655.601	4.912
Mov. Rápidos y Mov. Lentos	Riego	0	0
	Temporal	204.183	0.274
Mov. Rápidos, Mov. Lentos y Erosión	Riego	0	0
	Temporal	4.594	0.006
Total		14611.812	19.633

Fuente: Elaborado con base en datos de campo e INEGI, 2010.

De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla anterior, se determina que los movimientos rápidos tienen potencial de impacto mayor para las actividades agrícolas de riego y temporal, aunque son procesos de ocurrencia prolongada, sus efectos pueden ser desencadenantes de otros tipos de procesos de inestabilidad de laderas; así mismo se muestra que existen 2615.793 hectáreas de agricultura de riego y 3017.714 hectáreas de temporal bajo un potencial de peligro. Lo anterior refleja importancia debido a que los municipios de Joquicingo, Villa Guerrero, Tenango y Tenancingo, se caracterizan por basar sus actividades productivas primarias en la agricultura.

Así mismo se determina que los movimientos rápidos en suma con la susceptibilidad a la erosión, afectan la agricultura de temporal a un aproximado de 3655.601 hectáreas, mismas que ocupan el 4.912% del territorio total de la subcuenca, siendo considerados la combinación de procesos geológicos que

mayor posibilidad de afectación representa para la agricultura; por el contrario, son los multipeligros asociados a movimientos rápidos, movimientos lentos y erosión (0% riego y 0.006% temporal), movimientos rápidos con movimientos lentos (0% riego y 0.274% temporal) y movimientos lentos y erosión (0.167% riego y 0.172% temporal), los procesos con menor probabilidad de afectación a la agricultura al ser superficies muy localizadas y de menor extensión territorial.

A manera de resumen, se determina que el 19.633% del total de la subcuenca está bajo algún tipo de peligrosidad de origen geológico, la cual indica que 14611.812 hectáreas de uso de suelo agrícola (temporal y riego), pueden ser afectadas.

III.3.3 Fenómenos Hidrometeorológicos

La multipeligrosidad por fenómenos denominados hidrometeorológicos, está orientada en su gran mayoría hacia la zona noroeste del área de estudio (ver mapa M02), en donde factores como la altitud y condiciones de vientos lo propician, a continuación en la tabla 25, se enlistan los fenómenos perturbadores ya mencionados y la probabilidad de ocurrencia de uno o más de ellos. Lo anterior con la finalidad de determinar las zonas de multipeligro y elaborar un mejor diagnóstico.

Tabla 25: Análisis de la multipeligrosidad por fenómenos hidrometeorológicos

Multipeligro	Área (km ²)	Porcentaje de la subcuenca	Principales poblaciones con posibilidad de afectación	Total de población con posible afectación
Niebla	17.576	2.36162	Sin población	0
Tormentas	26.586	3.57232	Zacango, Potrero de la Sierra y El Peñón	3819
Sequías	248.824	33.43354	San Pedro Tlanixco, San Pedro Zictepec, San Bartolomé Atlatlauca, San Francisco Tepexoxuca, San Juan Xochiaca, San Martín Coapaxtongo, San Miguel Tecomatlán, Santa Ana Ixtlahuatzingo, Santiago Oxtotitlán, Zacango Cab.Mun de Villa Guerrero, Santa María, Santa María Aranzazú, San José Ixpuichiapan, San Mateo Coapexco, San Francisco	60273
Granizadas	3.063	0.41159	Sin población	0
Heladas	1.824	0.24503	Sin población	0
Inundaciones	18.521	2.48857	Cabecera Municipal de Tenancingo, San Miguel Tecomatlán, Cruz Vidriada, Emiliano Zapata, Colonia Valle de Guadalupe, Santa Teresita Acatzingo, San José Ixpuichiapan, La Ciénega, La Mesita, Colonia San Mateo y El Salitre	35602
Tormentas y Niebla	0.493	0.06622	Sin población	0
Sequías y Niebla	0.021	0.00279	Sin población	0
Sequías y Tormentas	6.148	0.82614	Zacango y Los Fresnos	3814
Granizadas y Niebla	0.926	0.12437	Sin población	0
Granizadas y Tormentas	2.778	0.37327	Sin población	0
Granizadas y Sequías	0.168	0.02257	Sin población	0
Heladas y Niebla	5.579	0.74966	Sin población	0
Heladas y Tormentas	0.125	0.01677	Sin población	0
Heladas y Sequías	10.294	1.38317	Cabecera Municipal de Joquicingo y El Carmen	4738
Granizadas, Tormentas y Niebla	0.389	0.05230	Sin población	0
Granizadas, Sequías y Tormentas	0.329	0.04418	Sin población	0
Granizadas, Sequías y Niebla	0.065	0.00871	Sin población	0
Heladas, Tormentas y Niebla	6.413	0.86172	Sin población	0
Heladas, Granizadas y Niebla	0.002	0.00027	Sin población	0

Fuente: Elaborado con base en datos de campo e INEGI, 2010.

Como puede observarse en la tabla anterior, el fenómeno hidrometeorológico de mayor impacto en la subcuenca son las sequías, por un lado presentan la mayor cobertura (33.43% del total de superficie) y a su vez la mayor posibilidad de afectación a la población (60273 habitantes). De igual forma son las inundaciones uno de los máximos fenómenos que afectan a la población (35602 habitantes), concentrándose exclusivamente en el valle de la cabecera municipal de Tenancingo y alrededores, con un 2.48% del área de estudio, lo que se traduce en eventos que presentan la mayor afectación a la población y sus actividades.

Por otro lado la combinación de ocurrencia de heladas y sequías en diferentes puntos de la SRSJ, cubren tan solo el 1.38% de la superficie y una probabilidad de afectación a 4738 habitantes, por lo que son la combinación de multipeligros con mayor incidencia³ y posibilidad de afectación. La multipeligrosidad en combinación con el resto de fenómenos, está definida en zonas con nula población, sin embargo existen algunos sistemas afectables como lo son la agricultura de temporal y ganadería extensiva al noroeste de la subcuenca con potencial de pérdidas.

El análisis llevado a cabo en esta fase de la investigación, permitió identificar y ubicar espacialmente las zonas con mayor peligrosidad por fenómenos geológicos e hidrometeorológicos, ya sea por fenómeno individual o en conjunto (multipeligros), con ello se determinaron aquellas poblaciones o asentamientos humanos con mayor posibilidad de afectaciones ante dichos eventos, teniendo un dato aproximado de población afectada. El conocer la distribución espacial de la peligrosidad, es un factor determinante para poder definir las medidas de prevención que ayuden a mitigar sus impactos y a su vez, poder tomar decisiones respecto a la distribución de las actividades humanas, así como la planeación de futuras zonas urbanizables para mantener la calidad ambiental y el equilibrio sociedad-naturaleza en el territorio.

³ Aunque son fenómenos con posibilidad de ocurrencia en diferentes épocas del año, la probabilidad de ocurrencia de uno u otro depende de eventos extremos de temperaturas máximas o mínimas.

III.3.4 Potencial de pérdidas en agricultura

Debido a que los procesos de origen hidrometeorológico, son eventos poco predecibles y las medidas de mitigación no están accesibles para todo tipo de productores, es indispensable la difusión de la información que permita la oportuna toma de decisiones para su mitigación. A continuación en la tabla 26, se señalan los procesos hidrometeorológicos con mayor probabilidad de afectación a las actividades agrícolas del área de estudio.

Tabla 26: Potencialidad de afectación de peligros hidrometeorológicos respecto a la agricultura

Peligros Hidrometeorológicos	Tipo de Agricultura	Área (Hectáreas)	Porcentaje de la Subcuenca
Tormentas	Riego	50.642	0.068
	Temporal	30.623	0.041
Sequías	Riego	12005.902	16.132
	Temporal	12054.865	16.198
Sequías y Tormentas	Riego	335.375	0.451
	Temporal	278.041	0.374
Heladas	Riego	0	0
	Temporal	144.059	0.194
Heladas y Sequías	Riego	0	0
	Temporal	1027.268	1.380
Total		25926.773	34.837

Fuente: Elaborado con base en datos de campo e INEGI, 2010.

Con base en el análisis de la multipeligrosidad por eventos hidrometeorológicos, se determina en la tabla anterior que las sequías son los procesos que potencialmente presentan mayor afectación en la agricultura, valores reflejados en 12005.902 hectáreas de riego (16.132%) y 12054.865 hectáreas de temporal (16.198%).

Por otro lado, se menciona que las heladas, heladas y sequías, presentan la menor posibilidad de afectación a la agricultura de riego (0%), por otro lado, con valores cercanos a cero están las tormentas eléctricas.

Con lo mencionado anteriormente, se concluye que los fenómenos hidrometeorológicos son los procesos que mayor potencial de impacto pueden tener para las actividades agrícolas de temporal y riego, con un estimado de 34.837% del total de la zona de estudio (25926.773 hectáreas), siendo las sequías los eventos específicos de mayor posibilidad de afectación.

CAPÍTULO IV

PROPUESTAS Y CONCLUSIONES



El objetivo final de la presente investigación, se centra en la elaboración de propuestas basadas en los resultados obtenidos a lo largo de la investigación acerca del uso, difusión y manejo de la información generada, para posteriormente describir acciones específicas que pueden llevarse a cabo con estudios más especializados y de manera más puntual; por último se describen las conclusiones generales sobre el proceso de la investigación a lo largo de cada capítulo, mismas que permitan describir el cumplimiento del objetivo general.

Propuestas

Para comprender el desarrollo y ubicación espacial de los peligros geológicos e hidrometeorológicos, se generó cartografía específica para cada uno de los eventos descritos con anterioridad, por lo que dicha información permite identificar las zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de uno o varios eventos perturbadores, con lo que se facilita su ubicación en campo, por lo que se recomienda que la información sea utilizada para analizar las zonas prioritarias en el levantamiento de datos en campo, así como para la difusión de la información y prevención de la población para evitar el uso de las zonas con mayor peligrosidad en un futuro.

Con lo anterior es posible definir que los principales usuarios de la información generada, están acotados a los especialistas en ciencias ambientales y planeación territorial, especialistas en el manejo de recursos naturales y autoridades en protección civil, dado que su campo de estudio está orientado hacia la comprensión y análisis de problemas ambientales, generados a partir de la relación sociedad-naturaleza, así como buscar un ordenamiento racional del territorio, por lo que es necesaria la relación de dichos especialistas con las autoridades encargadas de la toma de decisiones en materia de protección civil y desarrollo urbano para utilizar como base este tipo de estudios para una correcta planeación del territorio y toma de decisiones en relación a su uso.

Consecuentemente los estudios de ésta índole pueden ser considerados como base para las entidades municipales, debido a que tal información es considerada de tipo preventivo y de pronóstico que facilita el uso adecuado de

su territorio con miras a declarar zonas urbanizables para uso futuro, por el contrario debido a que existen zonas urbanas bajo peligrosidad, los estudios de éste tipo permiten detectar áreas de influencia con posible afectación para proponer medidas correctivas que mitiguen los daños, a su vez informar y prevenir a la población para una mejor reacción temprana ante dichas eventualidades.

Por lo tanto se proponen las siguientes áreas de atención prioritaria, de acuerdo con los resultados de peligros identificados en el capítulo anterior y su probabilidad de afectación por número de habitantes en la subcuenca, siendo la zona que comprende San Francisco Tepexoxuca, San Juan Xochiaca y San Miguel Tecamatlán, misma que corresponde a los movimientos de ladera rápidos y erosión (ver mapa P01).

De igual forma se propone la región del valle de Tenancingo como prioritaria para inundaciones (ver mapa P02), cuya área de influencia se extiende desde San Miguel Tecamatlán, San José Tenería, San José El Cuartel hasta la cabecera municipal de Tenancingo, dando paso a estudios específicos para la construcción e implementación de medidas o acciones preventivas y correctivas para minimizar las posibles afectaciones.

Así mismo plantear que la región comprendida por San Bartolomé Atlatlauca, San Francisco Tepexoxuca, San Juan Xochiaca y cabecera municipal de Joquicingo, es prioritaria para la atención de medidas de prevención ante heladas, las cuales pueden ser orientadas hacia la producción agrícola y salud pública.

Por otro lado es preciso mencionar que para la zona central y hacia el sur de la subcuenca, se propone como prioritaria para la atención de medidas que mitiguen las sequías cuyas principales afectaciones se extienden desde la cabecera municipal de Villa Guerrero y Zumpahuacán, Ejido La Finca y El Mogote, de igual forma se considera relevante la elaboración de estudios por estaciones y que sean de mayor precisión para la región, a fin de comprender de mejor forma la dinámica del fenómeno. Por último se considera como zona prioritaria ante tormentas eléctricas la localidad de Zacango, cuyo enfoque se oriente a adoptar medidas que mitiguen el impacto.

Por consiguiente se propone en la tabla 27, las medidas estructurales propuestas para la mitigación, control y atención post eventualidad, mismas que están directamente relacionadas con los peligros con mayor probabilidad de ocurrencia y afectación, con lo que se priorizan los movimientos de ladera rápidos, erosión e inundaciones.

Con lo anterior se recomienda considerarlas solo como propuestas generales que necesariamente habrán de ser analizadas por especialistas en ingeniería para validar su viabilidad o proponer aquellas que se ajusten en mejor forma al área de afectación y que puedan contar con financiamiento de una entidad municipal, estatal o federal. Se sugiere que sean los gobiernos municipales quienes identifiquen los problemas prioritarios en cuestión de peligros naturales, con el objetivo de presentar una iniciativa para la solicitud de apoyo económico encaminado a financiar sus obras o acciones propuestas, una vez realizado lo anterior es conveniente hacer partícipe al Consejo de Cuenca con la finalidad de conciliar tales acciones y hacerlas extensivas a todos los municipios que conforman la subcuenca.

Tabla 27: Tipos de obras propuestas por fenómeno perturbador

Tipo de Obra	Peligro a reducir	Características	Objetivo	Ubicación	Dependencia o Programa para su ejecución
Presa de Gavión	Erosión, Mov. rápidos, inundaciones	Elaborada a partir de rocas y compuesta por una serie de gaviones unidos unos a otros con alambre	Retener los materiales de azolve producto de la erosión y disminuir la velocidad de los torrentes.	Áreas prioritarias propuestas para inundaciones, erosión y movimientos rápidos	SEMARNAT, CONAGUA, CONAFOR, Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, PROBOSQUE y SEDAGRO
Reforestación	Erosión, Inundaciones, Mov. rápidos y sequías	Plantación de especies nativas con germoplasma de buena calidad y procedencia conocida	Recuperación y restauración de ecosistemas forestales para disminuir escurrimiento superficial	Parte alta de la subcuenca y áreas prioritarias propuestas para erosión, movimientos rápidos	SEMARNAT, CONAFOR, Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México y PROBOSQUE (Programa de Reforestación y Restauración Integral de Microcuencas)
Cabeceo de cárcavas y Estabilización de taludes	Erosión y movimientos rápidos	Son acciones en la parte inicial de una cárcava para evitar su crecimiento en longitud, prevenir y detener la erosión. Consiste en el recubrimiento con material inerte como piedras, cemento o material vegetal muerto para amortiguar la energía de la escorrentía	Evitar el crecimiento longitudinal de la cárcava, estabilizar, cubrir y disminuir la pendiente de los taludes para evitar deslizamientos	Áreas prioritarias propuestas para erosión, movimientos rápidos	CONAFOR, Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, PROBOSQUE
Dique	Inundaciones	Se caracteriza por un muro de contención	Impedir que en una inundación, el agua que rebase el cauce, llegue a la zona urbana	Áreas prioritarias propuestas para inundaciones	CONAGUA, CAEM y Organismo del Agua Municipal
	Sequías	Elaboración de programas con base en el PRONACOSE, estrategia de aseguramiento en estados afectados por sequía (Seguros agropecuarios)	Participación de los municipios en el programa para adoptar las medidas de mitigación, remuneración monetaria de las pérdidas por sequías	Áreas prioritarias propuestas para sequía	SAGARPA, CONAGUA (Programa Nacional Contra la Sequía), IMTA, Organismos de cuenca, Organizaciones de Protección Civil

Fuente: Propia de los autores

En la tabla anterior se señalan algunas medidas estructurales y programas que son implementados por dependencias oficiales para prevenir, atender y corregir algunas afectaciones derivadas de la peligrosidad.

Conclusiones

Una vez efectuada la presente investigación, es posible enunciar las siguientes conclusiones como pilares del estudio de peligrosidad en la subcuenca del Río San Jerónimo, específicamente abordando los peligros geológicos e hidrometeorológicos pueden presentar mayor incidencia en su territorio.

- De acuerdo con lo establecido en los objetivos general y específicos al inicio de la investigación, se puede afirmar que se ha cumplido con lo preestablecido, lo anterior con fundamento en la contextualización del objeto de estudio, la caracterización, la generación de cartografía e interpretación de peligros y multipeligros hasta la integración de propuestas orientadas a mitigar los posibles daños.
- Debido a que el análisis de los peligros en la presente investigación, se llevó a cabo en una escala regional (1:160,000), es importante que una vez localizados los peligros, se efectúe un análisis local por especialistas para determinar las medidas preventivas, correctivas o estructurales que ayuden a disminuir el impacto generado por peligros geológicos e hidrometeorológicos con base en las zonas propuestas como prioritarias, para que su mitigación y prevención sea más efectiva.
- Por su parte la información consultada (conceptos, teorías y métodos), permitió conocer el contexto de los sistemas, cuencas, peligros naturales así como el uso de la información en plataformas de SIG y análisis multicriterio, para poder desarrollar el contenido de la investigación de manera más coherente y precisa, a fin de que el lector pueda entender con claridad la información generada.
- La naturaleza de la investigación se apegó estrictamente al concepto de sistema, cuya visión se centra en conjuntar todos los elementos que lo conforman para entender la dinámica y funcionamiento del mismo, por lo que el estudio de cuenca permitió conocer todos los componentes que

intervienen en la incidencia y ocurrencia de eventos perturbadores, concluyendo que dicho modelo se adecúa de mejor manera en comparación con estudios a través de límites municipales que impiden comprender el sistema en su totalidad.

- Por otro lado se concluye que los análisis basados en plataformas de SIG, permiten trabajar los datos espaciales de tal forma que incluyen todos los elementos que conforman el sistema de la subcuenca, entrelazando, relacionando e interpolando datos que facilitan el pronóstico de eventos peligrosos, por lo que se tiene una referencia espacial integral de dichos procesos, que en conjunto con el trabajo de campo permite la retroalimentación y validación de la información.
- En el contexto de los estudios de corte ambiental, específicamente aquellos que involucran procesos naturales y antrópicos (peligros), es de vital importancia considerar la selección, tratamiento, uso, análisis e interpretación de las capas cartográficas utilizadas en los procesos bajo un entorno SIG, con lo cual se asegura que los estudios estén referidos a la realidad del entorno biofísico y social, garantizando así poder sentar las bases para prever, informar, comprender y actuar en función de dichos procesos.
- De igual forma es preciso mencionar que el diagnóstico por peligro en la investigación, permite comprender, entender y difundir información acerca de los factores que intervienen en la ocurrencia de un evento perturbador, lo que permite tomar decisiones sobre las medidas preventivas y correctivas que son posibles de ejecutar para mitigar los posibles daños, con lo que se genera una conciencia en la población que les permita actuar y prepararse de mejor manera ante una eventualidad.
- De acuerdo con el objeto de estudio de la presente investigación, se cumple con el primer elemento de la fórmula del riesgo planteada por CENAPRED, debido a que contempla los peligros geológicos e hidrometeorológicos en cuanto al diagnóstico (basado en extensión y localización), así como su probabilidad de ocurrencia, con lo anterior es posible determinar por peligro, la vulnerabilidad que presentan las zonas

urbanas y localidades involucradas, por lo que en conjunto con el grado de exposición se puede evaluar el riesgo en estudios con mayor alcances.

- El aporte del trabajo de investigación, a partir de la elaboración de cartografía por peligro, permite comprender de forma particular y en su conjunto (multipeligrosidad), las superficies con posibilidad de ocurrencia de procesos geológicos e hidrometeorológicos, mismos que fungen como antecedente para fomentar la prevención y correcta planeación del territorio en función de su vocación, para el uso futuro.
- Los resultados obtenidos y la información generada a partir del trabajo de investigación, son elementos que se sugiere deban considerarse como bases para elaborar estudios de Ordenamiento Territorial, Regional, Programas de Protección Ambiental, Planes de Manejo de Áreas Naturales Protegidas, Planes de Desarrollo Urbano, Atlas de Riesgos y Programas de Educación Ambiental, lo anterior con fundamento en que los peligros son resultado de las fuerzas de la tierra que permanentemente habrán de suceder y mismos que se consideran inherentes a los sistemas humanos y naturales, de tal forma que al ser estudios base, permiten una ordenación adecuada del territorio fomentando el desarrollo de áreas de baja o nula peligrosidad, permitiendo prevenir, informar y educar a dichas poblaciones para estar preparadas ante eventualidades.
- Considerando el aporte principal de la investigación, donde se pronostica en la mayoría de los peligros estudiados la posibilidad de ocurrencia de los mismos, a partir de la sobreposición y relación de variables, se detectaron las zonas de probable afectación, con lo que se contrastan los alcances de los Atlas de Riesgos que únicamente representan eventos pasados y se limitan a presentar dicha información, omitiendo la generación de información para pronósticos que permitan entender, informar y prevenir a la población.
- Considerando los alcances de la investigación, se generaron propuestas enfocadas a obras de infraestructura, equipamiento o acciones que mitiguen los efectos de ciertos peligros estudiados (incluyendo movimientos de ladera rápidos, erosión, inundaciones), ya que se trabajó con una

amplia extensión territorial, consecuentemente se proponen hacer estudios locales que mitiguen las posibles afectaciones de acuerdo con las especificaciones propias de cada zona.

- Se concluye que los peligros geológicos con mayor probabilidad de impacto están definidos por los Movimientos Rápidos con un porcentaje del territorio de 21.23%, el cruce de Movimientos Rápidos con Erosión representan el 8.09%.
- Con respecto a los peligros hidrometeorológicos las sequías presentan una probabilidad de afectación en un 33.43% del territorio de la subcuenca, así mismo las inundaciones con un 2.48% son los dos tipos de eventos con mayor probabilidad de afectaciones respecto a la cobertura y total de población involucrada, respectivamente.
- Una de las principales complicaciones al realizar programas a nivel de cuenca, se centra en que la organización municipal, impide llevar a cabo acciones de infraestructura y equipamiento para combatir problemas ambientales, aunado a ello las diferencias entre partidos políticos gobernantes en los diferentes niveles de gobierno, minimizan la opción de llegar a acuerdos conjuntos, dificultando la toma de decisiones y la ejecución de políticas encaminadas a la solución de las problemáticas ambientales.

Fuentes

1. Aceves, Fernando, López, Jorge y Martín Ana, 2006: "Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México" en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 2-23, México DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
2. Alcántara Irasema, Echavarría Alonso, Gutiérrez Carlos, Domínguez Leobardo, Noriega Ignacio, 2008: "Fascículo: Inestabilidad de laderas. Serie Fascículos", Segunda reimpresión de la Segunda Edición, México DF: CENAPRED.
3. Aparicio, Francisco J, 2007: "Fundamentos de Hidrología de superficie", México DF: Limusa Noriega Editores.
4. Arnold Marcelo y Osorio Francisco, 1998: "Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas" en *Revista Cinta de Moebio* 1-12, Chile: Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile.
5. Bertalanffy, Ludwig, 1989: "Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones". México DF: Fondo de Cultura Económica.
6. Bezaury-Creel J.E., J. Fco. Torres, L. M. Ochoa Ochoa, 2007: "Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales del Distrito Federal y Municipales de México, versión 1.0" México, D.F., The Nature Conservancy / PRONATURA A.C / Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Consultado en Noviembre de 2012 y disponible en: <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/informacion/info.htm>
7. CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2012: "Glosario de términos", México, D.F., Secretaría de Gobernación. Consultado en Diciembre de 2012 y disponible en www.cenapred.unam.mx/es/Glosario/Glosario_s.php
8. CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2006a: "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica", México DF: Secretaría de Gobernación.
9. Cervantes-Zamora Y, Cornejo-Olgín, S. L, Lucero-Márquez R, Espinoza-Rodríguez J. M, Miranda-Viquez, E. y Pineda-Velázquez, A, 1990: "Provincias

- Fisiográficas de México'. Extraído de la Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000", México: Instituto de Geografía, UNAM.
10. CETENAL, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, 1982: "*Datos vectoriales de suelos de las cartas E14-A47, E14-A48, E14-A57, E14-A58, E14-A67 Y E14-A68*", s/l: CETENAL.
 11. CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2012: "*Cobertura de las Áreas Naturales Protegidas Federales de México*", Morelia Michoacán: CONANP. Consultado en Diciembre de 2012 y disponible en <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/informacion/info.htm>
 12. CONAPO, Consejo Nacional de Población, 2010: "*Índice de Marginación por Localidad 2010*", México, DF: CONAPO. Consultado en Septiembre de 2012 y disponible en: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010
 13. CONAGUA Comisión Nacional del Agua, 2010: "*Estadísticas del Agua en la cuenca del Río Balsas*", 2010, México DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
 14. Eastman, J. Ronald, 2006: "*IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing*", Massachusetts, USA: Clark Labs, Clark University.
 15. ESRI, Environmental Systems Research Institute, 2012:" Conjunto de Herramientas de Radiación Solar", California, USA: ESRI. Consultado en Abril de 2012 y disponible en: help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z000000t5000000
 16. Fries, C. Jr., 1960: "*Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, Región central Meridional de México*", D F, México: Boletín del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 60, 236 p.
 17. Galindo, Adalberto, Ruiz, Silvia (Responsables), Morales Adriana, Gómez Carlos M., Aguilar Maximiliano, Salcedo Miguel, Valencia Jorge, Rodríguez Marcos (Colaboradores), 2009 Primera edición: "*Atlas de riesgo del municipio de*

- Centro, Tabasco*", Ayuntamiento municipal de Centro, Tabasco México: Secretaría de Desarrollo Social.
18. García, Enriqueta, CONABIO, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, 1998: "Datos vectoriales de climatología" (clasificación de Koppen modificada por García), escala 1:1000000, D.F, México: CONABIO. Consultado en Diciembre de 2011 y disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
 19. García Norlang, Marín Rafael y Méndez Karla, 2006: *Estimación de la Vulnerabilidad Social, 2006: "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social"*, México DF: CENAPRED/SEGOB.
 20. GEM Gobierno del Estado de México, 2011: "Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Tenango del Valle", Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Metepec, México. Consultado en Enero de 2013 y disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/planes_de_desarrollo/planes_municipales/tenango_de_valle/index.htm
 21. GEM Gobierno del Estado de México, 2010: "Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Tenancingo", Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Metepec, México. Consultado en Enero de 2013 y disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/planes_de_desarrollo/planes_municipales/tenancingo/index.htm
 22. GEM Gobierno del Estado de México, 2009: "Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Villa Guerrero", Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Metepec, México. Consultado en Enero de 2013 y disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/planes_de_desarrollo/planes_municipales/villa_guerrero/index.htm
 23. GEM Gobierno del Estado de México, 2004: "Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Joquicingo", Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Metepec, México. Consultado en Enero de 2013 y disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/planes_de_desarrollo/planes_municipales/joquicingo/index.htm

24. GEM Gobierno del Estado de México, 2004: "Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Zumpahuacán", Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Metepec, México. Consultado en Enero de 2013 y disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/planes_de_desarrollo/planes_municipales/zumpahuacan/index.htm
25. GEM Gobierno del Estado de México, 2003: "Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de Ixtapan de la Sal", Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Metepec, México. Consultado en Enero de 2013 y disponible en: http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/planes_de_desarrollo/planes_municipales/ixtapan_de_la_Sal/index.htm
26. Gómez, Montserrat y Barredo José, 2005: "Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio", Madrid España: Rama editorial.
27. González, Juan, 2006: "*Propuesta Metodológica basada en el Análisis Multicriterio para la identificación de las zonas de Amenaza por Deslizamientos e Inundaciones*", en *Revista de Ingenierías de la Universidad de Medellín*, 5-008, Medellín, Colombia.
28. González, Luis, 2002: "*Ingeniería geológica*", México DF: Editorial Pearson.
29. Henao, Jesús, 2006: "*Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*", Bogotá Colombia: Universidad Santo Tomas.
30. IGCEM, Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, 2011: "*Mapa de la división política del Estado de México, revisado por el Grupo de Trabajo de la Comisión de Límites del Estado de México en Noviembre de 2011*", Toluca, estado de México: IGCEM. Consultado en Mayo de 2012 y disponible en: <http://igcem.edomex.gob.mx/descargasgeograficas.html>
31. INE, Instituto Nacional de Ecología, 2004: "*Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro*", México DF: Instituto Nacional de Ecología.
32. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2001: "*Síntesis de Información Geográfica del Estado de México*", Aguascalientes México: INEGI.

33. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2004a: "*Datos vectoriales de la carta E14A47 escala 1:50000*", Aguascalientes México: INEGI.
34. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2004b: "*Datos vectoriales de la carta E14A48 escala 1:50000*", Aguascalientes México: INEGI.
35. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2004c: "*Datos vectoriales de la carta E14A57 escala 1:50000*", Aguascalientes México: INEGI.
36. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2004d: "*Datos vectoriales de la carta E14A58 escala 1:50000*", Aguascalientes México INEGI.
37. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2004e: "*Datos vectoriales de la carta E14A67 escala 1:50000*", Aguascalientes México: INEGI.
38. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2004f: "*Datos vectoriales de la carta E14A68 escala 1:50000*", Aguascalientes México: INEGI.
39. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2009: "*Datos vectoriales de la serie IV de Uso de Suelo y Vegetación de México*", Aguascalientes México: INEGI.
40. INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2010: "*Censo de Población y Vivienda 2010, Principales Resultados por Localidad (ITER)*", Aguascalientes México: INEGI.
41. IUSS, International Union of Soil Sciences, Grupo de Trabajo WRB, 2007: "*Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*", Roma Italia: Food and Agriculture Organization.
42. Johansen, Oscar, 2001: "*Introducción a la Teoría General de Sistemas*", México DF: Limusa Noriega Editores.
43. Keller, Edward y Blodgett, Robert, 2006: "*Riesgos naturales: Procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes*", Madrid España: Pearson Prentice Hall.
44. Llamas, José, 1989: "*Hidrología General, Principios y Aplicaciones*", Toluca México: Universidad Autónoma del Estado de México.
45. Lugo, José y Moshe Inbar, 2002: "*Desastres Naturales en América Latina*" en Lugo, José y Moshe Inbar (compiladores) 2002: D. F, México: Fondo de Cultura Económica.

46. Malczewski, Jacek, 1999: "*GIS and Multicriteria Decision Analysis*", New York United States of America: John Wiley and Sons, inc.
47. Matías Lucía G, Fuentes Oscar A, García Fermín, 2007: "Heladas. Serie Fascículos.", Segunda Edición, CENAPRED, México.
48. Nanía, Leonardo, 2003: "*La cuenca y los procesos hidrológicos*", Granada España: Universidad de Granada/ E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes.
49. Ordoñez, Celestino, Martínez-Alegría Roberto, 2003: "*Sistemas de Información Geográfica: Aplicaciones prácticas con IDRISI 3.2 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales*", México D.F: Alfaomega Ra-Ma.
50. Palacio J.L, Sánchez M.T, Casado J.M, et al, 2004: "*Indicadores para la Caracterización y Ordenamiento del Territorio*", México D.F: Instituto Nacional de Ecología INE.
51. Prieto González Ricardo, Avendaño Garcíá Ma. Asunción, Matías Ramírez Lucia G., Eslava Morales Héctor, 2010: "Tormentas severas. Serie Fascículos.", 1a. Edición, CENAPRED, México.
52. Salas Marco, Jiménez Martín, 2007: "Inundaciones. Serie Fascículos.", Primera Re-impresión de la Primera Edición, CENAPRED, México
53. SEMARNAT, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, GEM Gobierno del Estado de México, UAEM Universidad Autónoma del Estado de México, (s/f). "*Ordenamiento Ecológico Territorial de la Subcuenca Nevado Sur*", SEMARNAT, Toluca, México.
54. SGM, Servicio Geológico Mexicano/SE, Secretaría de Economía, 1998: "*Carta Geológico-Minera E14-5 Cuernavaca*", Pachuca México: Servicio Geológico Mexicano/Secretaría de Economía.
55. SMN, Servicio Meteorológico Nacional, 2013: "*Glosario de términos Hidrometeorológicos*", D.F México: SMN. Consultado el 11 de Abril de 2013, disponible en: smn.cna.gob.mx/glosario/glos-n.html
56. SMN, Servicio Meteorológico Nacional: "Normales climatológicas 1981-2010", D.F México: SMN. Consultado el 18 de Julio de 2012, disponible en:

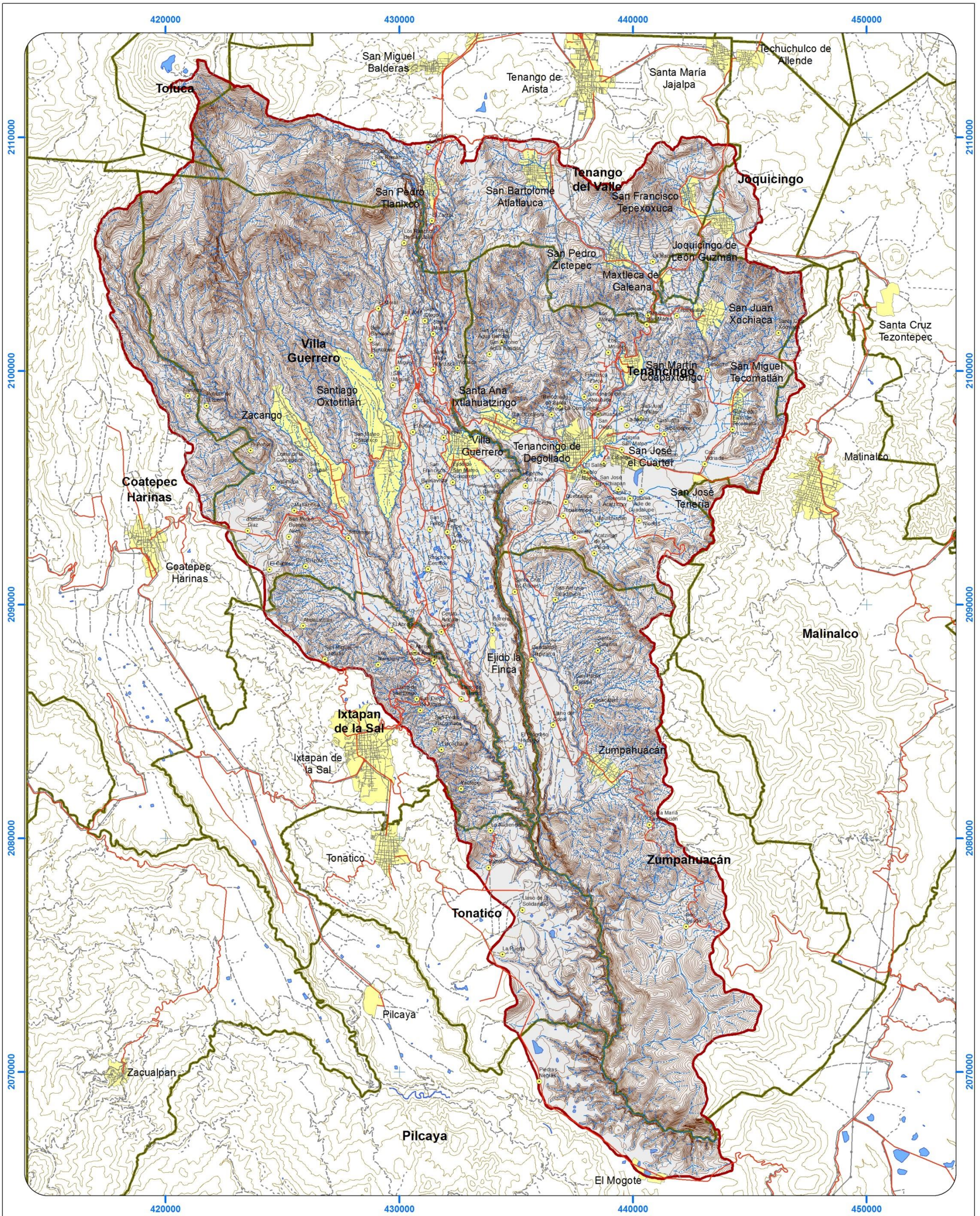
http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75

57. Strahler, Alan H., Strahler, Arthur N., 1997: "*Geografía Física*" tercera edición, Barcelona España: Ediciones Omega.
58. Suarez, Jaime, 1998: "*Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*", Bucaramanga Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos de la Universidad Industrial de Santander.
59. UNISDR, Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, 2009: "*Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*", Ginebra Suiza: Organización de las Naciones Unidas.
60. Whiteaker, Tim, 2011: "*Geographic Information System in Hidrology*", Austin USA: University of Texas at Austin.

ANEXO CARTOGRÁFICO:

MAPAS TEMÁTICOS, DE PELIGROSIDAD, MULTIPELIGROSIDAD Y PROPUESTAS





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



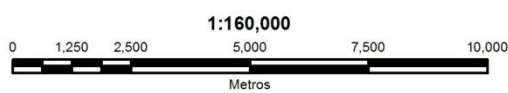
"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa C01: Topográfico



Simbología

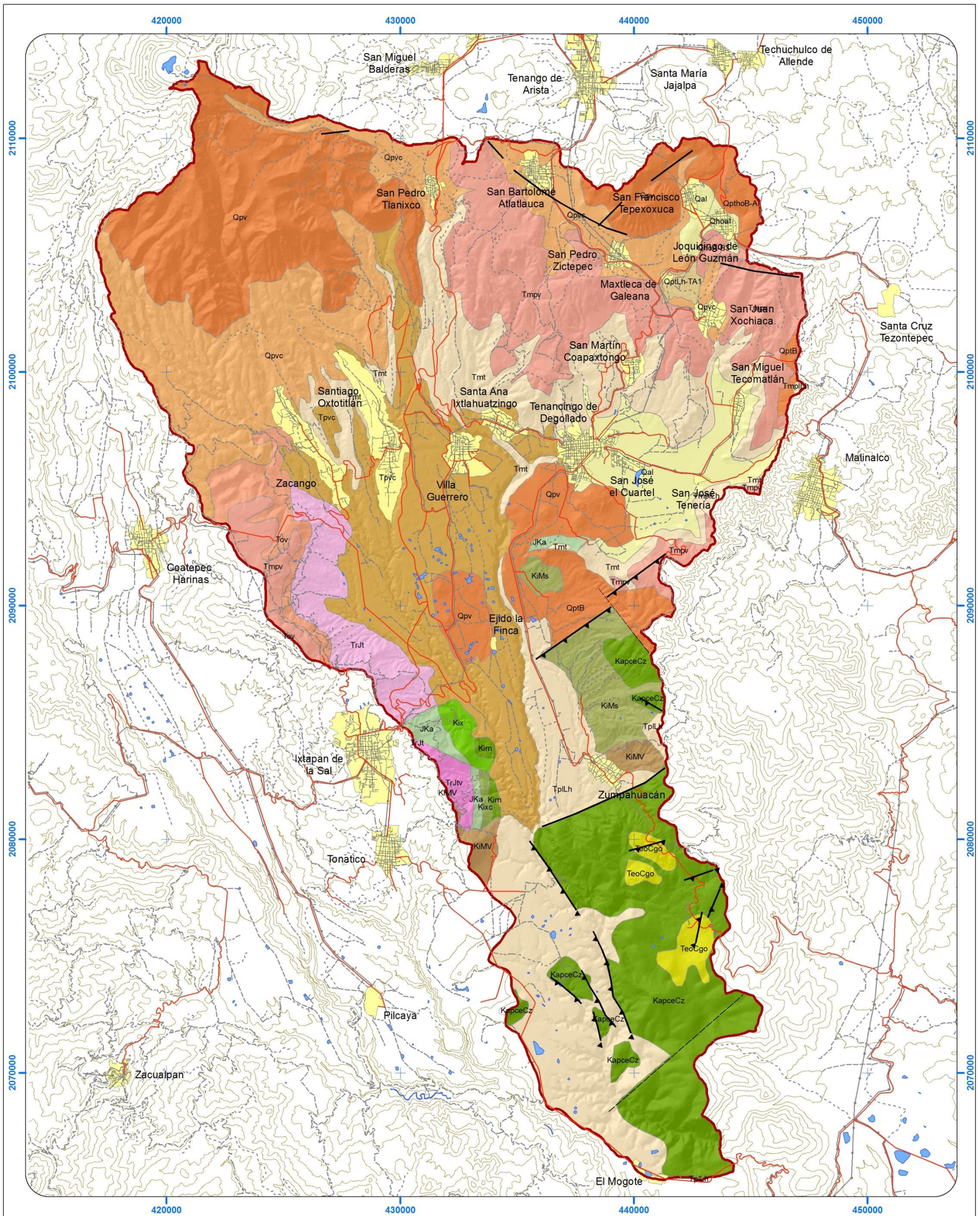
- | | | |
|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Límites Municipales | Vías de Comunicación | Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m) |
| Localidades > 100 hab. | Carretera Pavimentada | Rasgos Hidrográficos |
| Zona Urbana | Terracería | Corriente perenne |
| | Brechas | Corriente intermitente |
| | Vereda | Cuerpos de Agua |
| | Línea Telefónica | Parteaguas |
| | Curvas de Nivel (Equidistancia 20 m) | |



Fuente: Datos vectoriales de INEGI. Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoid: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

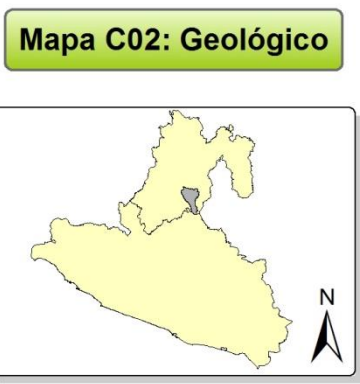
Bustos James Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"



Mapa C02: Geológico

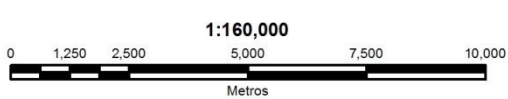
Simbología Temática			
Cuaternario (Q)	Terciario (T)	Depósitos de Lahar y Ceniza	Caliza
Qal Aluvión	TeoCps Conglomerado Oligomítico	TrJt Filita	Km Caliza
Qhoal Aluvión	TmtLh Lahar	TrJt Filita y Esquistos	KMs Metasedimentario
QhsA-B Andesita y Basalto	Tmt Lahar	TrJt Esquistos	KMV Metavolcánica
Qpvc Lahar y Depósitos Volcánicos	Tmpv Andesita y Basalto	TrJv Esquistos	Kk Caliza y Lutita
QptB Basalto	Tov Derrames Piroclásticos y Toba	CrCret Caliza con Pedernal	Kxc Caliza con Pedernal
Qpv Basalto y Andesita	Tplh Lahar	Jurásico (J)	JKa Arenisca, Lutita y Grauvaca
QpLh-TA Lahar y Toba Andesítica			
QpB-A Basalto y Andesita			

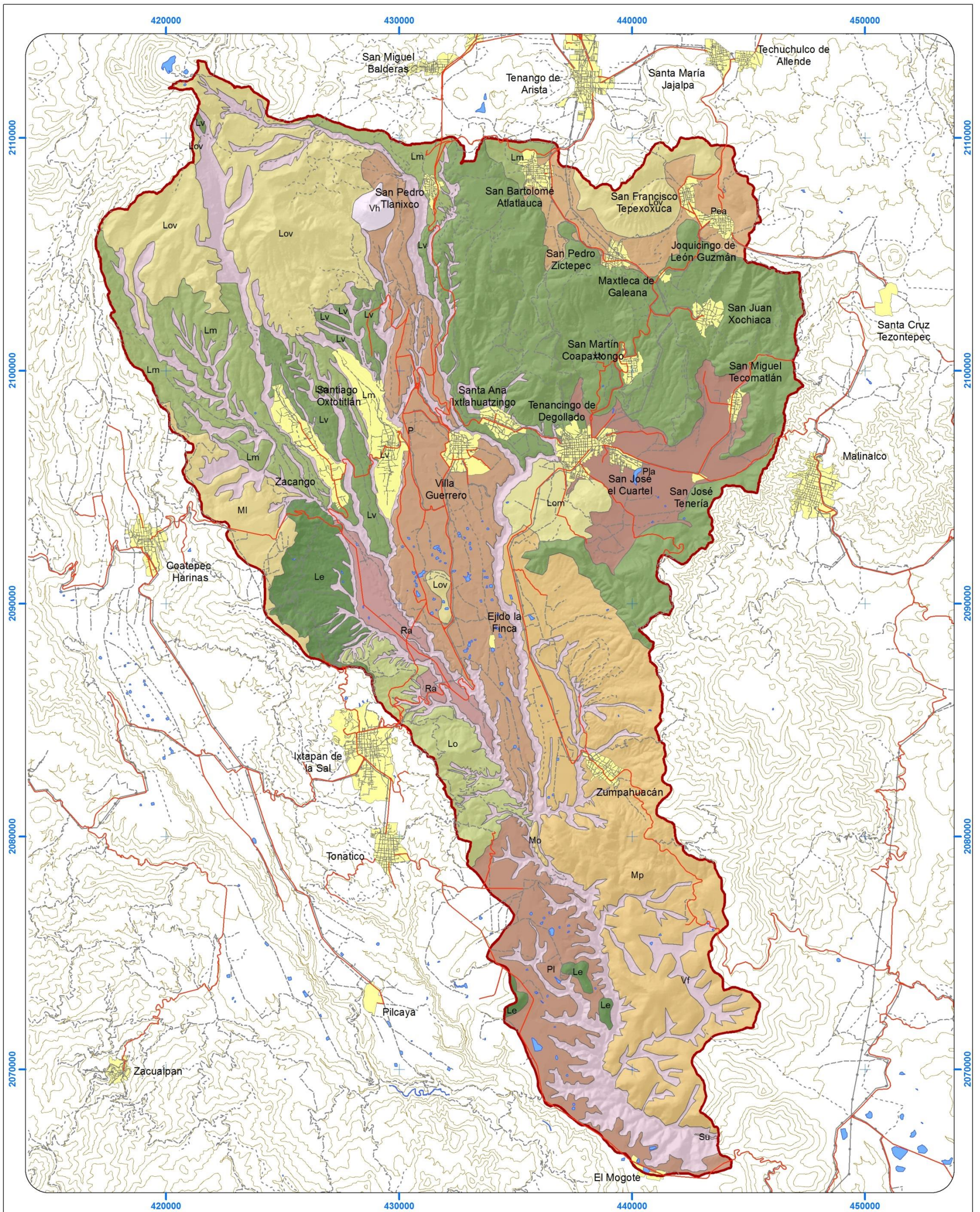
Fuente: Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Servicio Geológico Mexicano (SGM), Cartas E142 y E145. (1998)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
Datum: D WGS- 1984
Elipsoide: WGS- 1984
Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa C03: Geomorfológico



Simbología Temática					
Le	Ladera Erosiva	MI	Mesa Lábrica	Pla	Planicie Aluvial
Lv	Ladera Volcánica	Mo	Mogotes	Ra	Rampa Acumulativa
Lm	Ladera de Montaña	Mp	Montaña Plegada	Su	Sumidero
Lo	Lomerío	Pea	Peniplanicie Aluvial	Vf	Valle Fluvial
Lom	Lomerío Monogenético	P	Piedemonte	Vh	Volcán en Herradura
Lov	Lomerío Volcánico	Pl	Planicie		

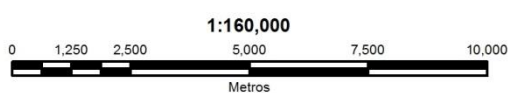
Simbología Básica

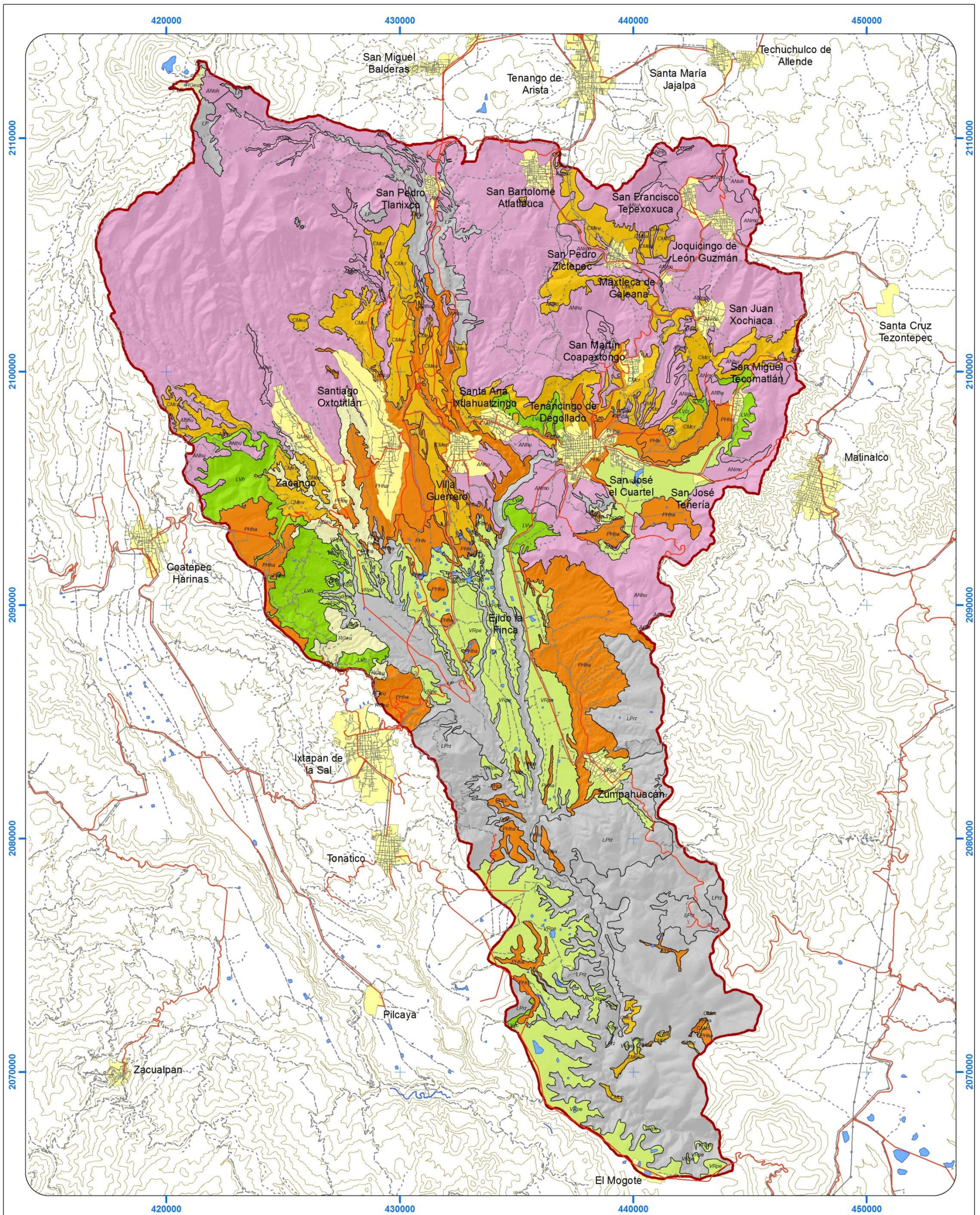
- Zona Urbana
- Vías de Comunicación**
- Carretera Pavimentada
- Terracería
- Brechas
- Vereda
- Línea Telefónica
- Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
- Cuerpos de Agua
- Parteaguas

Fuente: Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa C04: Edafológico

Simbología Temática

ACor	Acrisol Órtico	CA	Cuerpo de Agua	LVcc	Luvisol Cálxico
ANhu	Andosol Húmico	PHcc	Feozem Cálxico	LVfr	Luvisol Férrico
ANmo	Andosol Mólico	PHha	Feozem Háptico	LVvr	Luvisol Vértico
ANoh	Andosol Ócrico	PHlv	Feozem Lúvico	RGeu	Regosol Eutrúico
CMer	Cambisol Crómico	LP	Leptosol	VRpe	Vertisol Pélico
CMcc	Cambisol Cálxico	LPz	Leptosol Réndzico		
CMeu	Cambisol Eutrúico	LVcr	Luvisol Crómico		

Simbología Básica

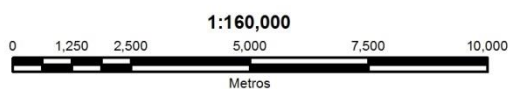
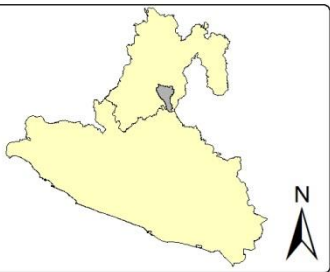
+	Zona Urbana
Vías de Comunicación	
—	Carretera Pavimentada
- - -	Terracería
- - - -	Brechas
- - - - -	Vereda
—	Línea Telefónica
~	Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
—	Cuerpos de Agua
~	Parteaguas

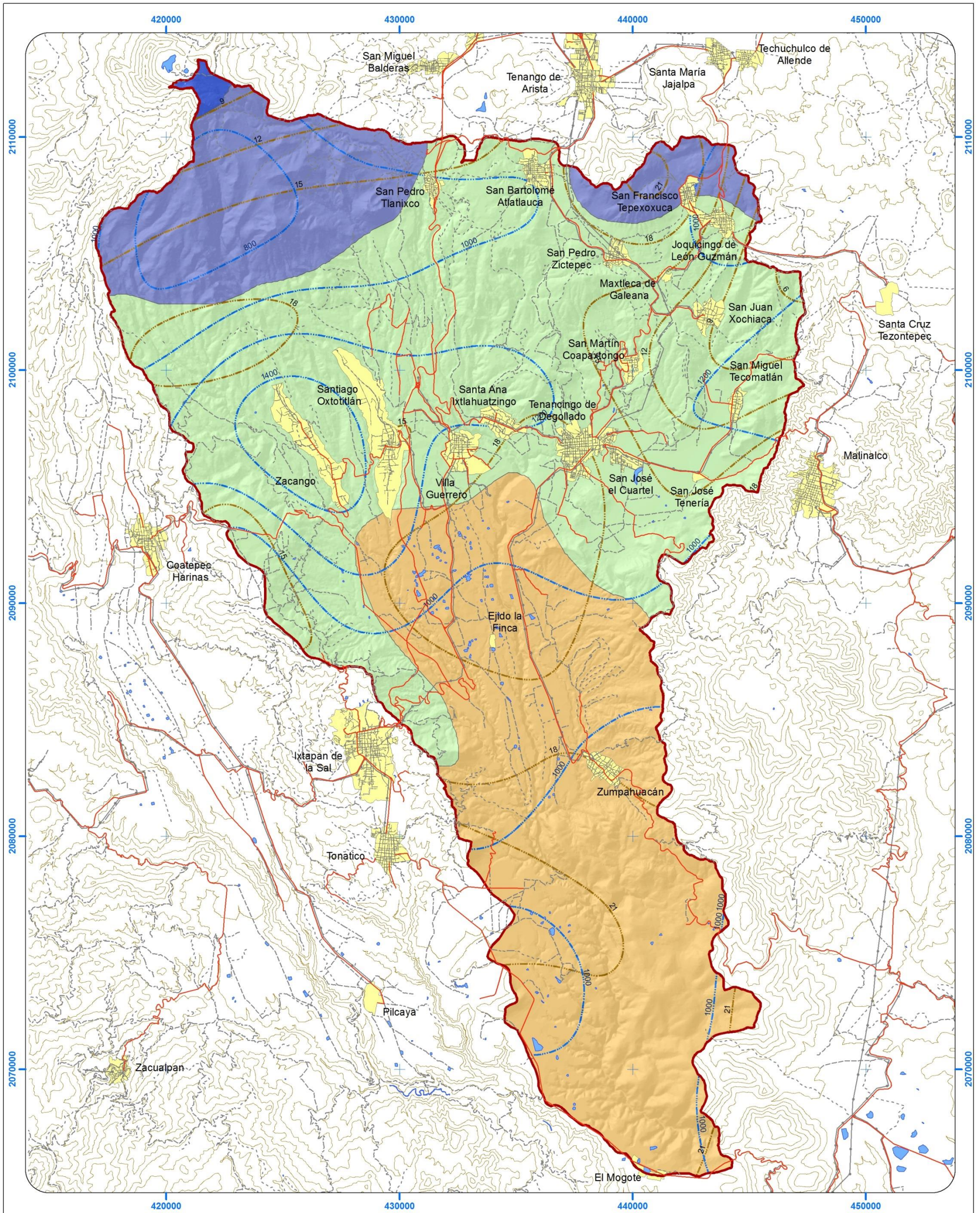
Fuente: Cartas edafológicas de CETENAL, E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68, (1982)

Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68, (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsóide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

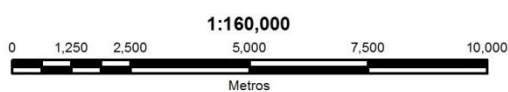


"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa C05: Climas



- | | | | |
|---|--|--------------------------|---------------------------------------|
| Simbología Temática | | Simbología Básica | |
| Isotermas a cada 3 °C | Isoyetas a cada 200 mm. | Zona Urbana | Vías de Comunicación |
| Frio con temperatura media anual entre -2 y 5°C, con lluvias en verano | Semifrio Subhúmedo con temperatura media anual entre 5 y 12°C, precipitación en el mes más seco menor de 40 mm | Carretera Pavimentada | Terracería |
| Templado Subhúmedo con temperatura media anual entre 12 y 18°C, precipitación en el mes más seco menor de 40 mm | Semicálido Subhúmedo con temperatura media anual mayor de 18°C, precipitación del mes más seco menor de 40 mm | Brechas | Vereda |
| | | Línea Telefónica | Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m) |
| | | Cuerpos de Agua | Parteaguas |

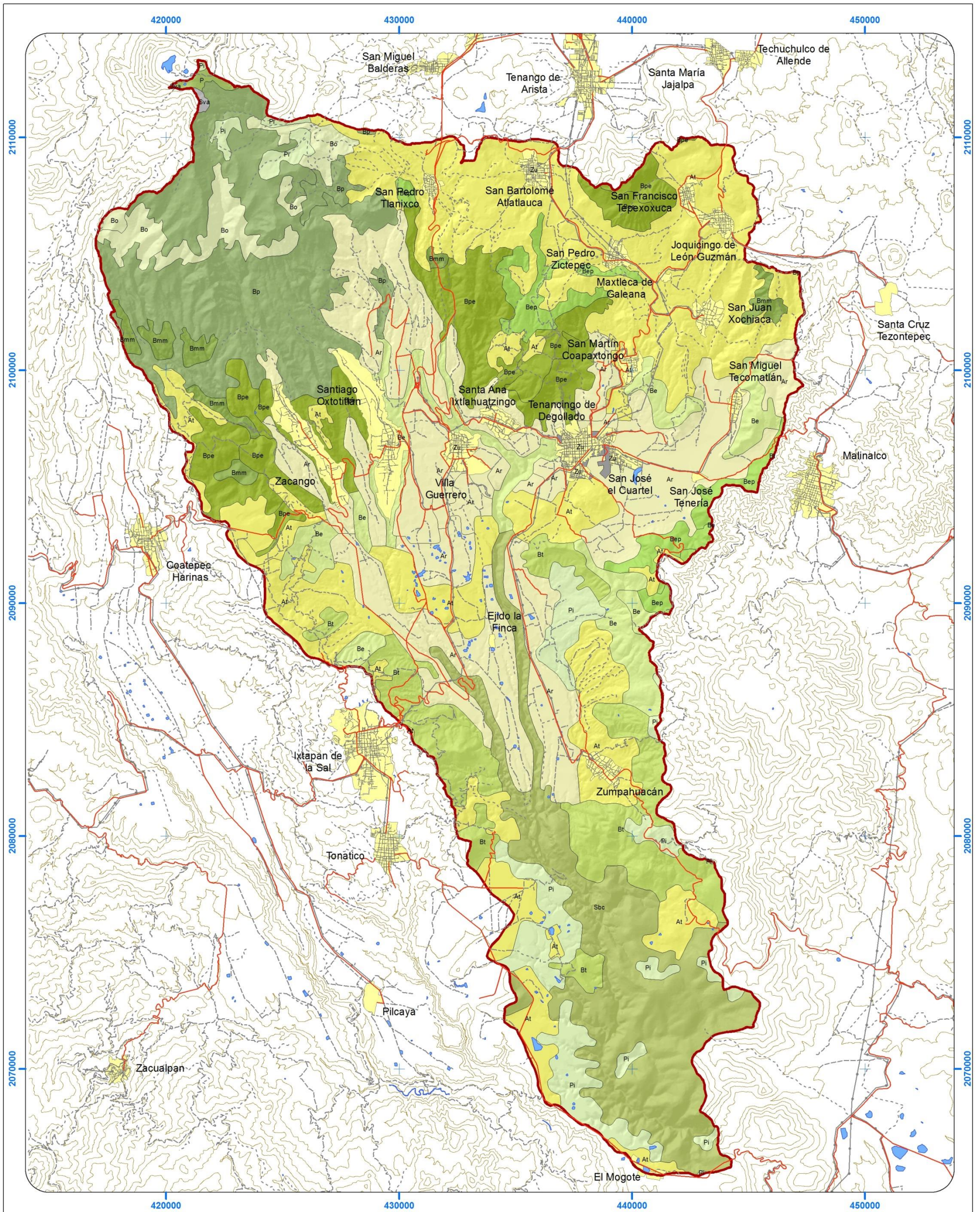


Fuente: Datos vectoriales de García, Enriqueta/ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998)

Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS-1984
 Elipsoide: WGS-1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

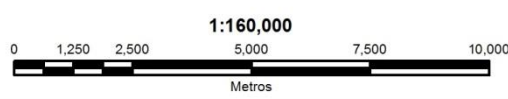


"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa C06: Uso del Suelo y Vegetación



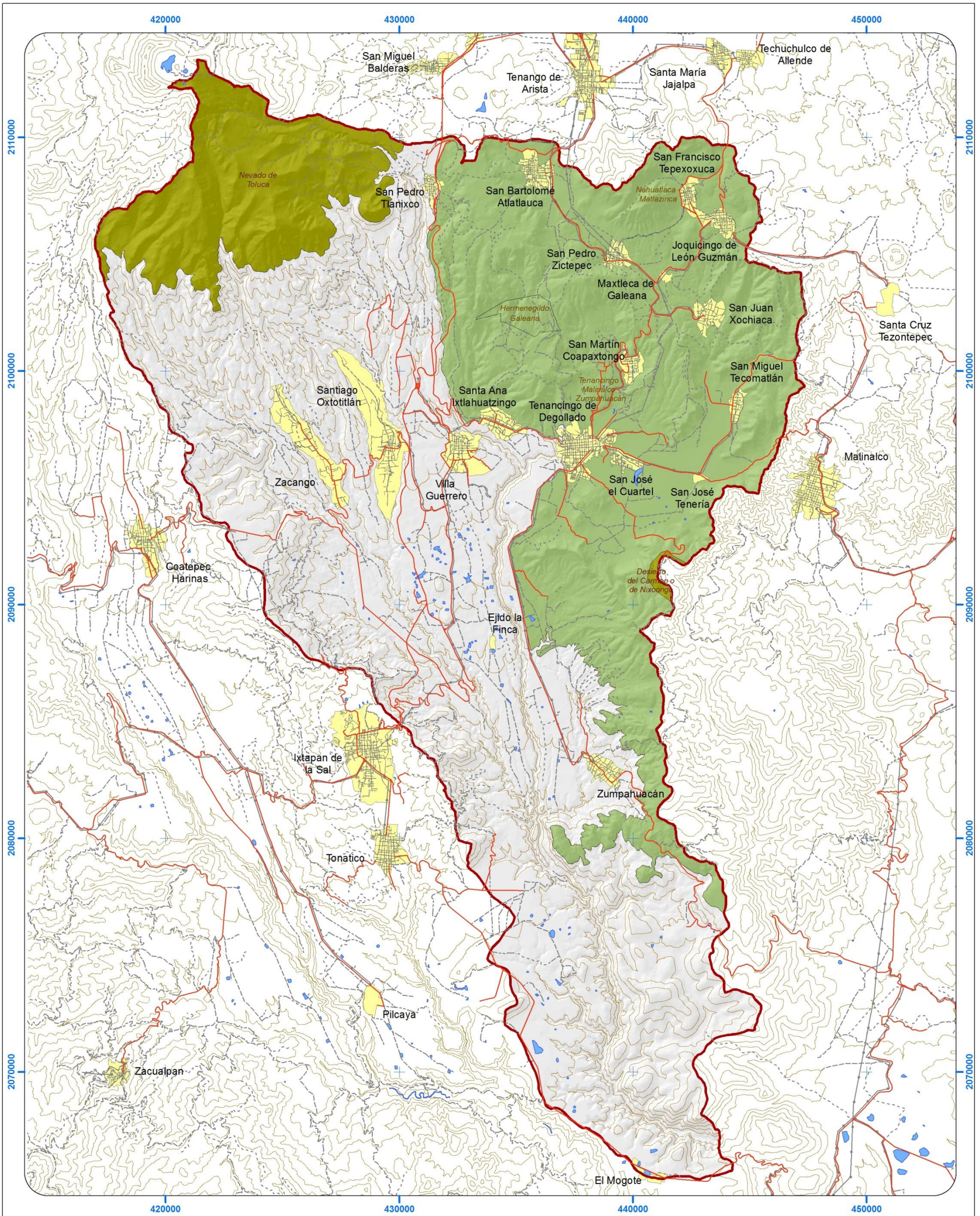
Simbología Temática			Simbología Básica	
Zu	Zona Urbana	Sva	Sin Vegetación Aparente	Zona Urbana
P	Pastizal	Bmm	Bosque Mesófilo de Montaña	Vías de Comunicación
Pi	Pastizal Inducido	Bo	Bosque de Oyamel	Carretera Pavimentada
At	Agricultura de Temporal	Bp	Bosque de Pino	Terracería
Ar	Agricultura de Riego	Bpe	Bosque de Pino Encino	Brechas
		Bt	Bosque de Tascate	Vereda
		Sbc	Selva Baja Caducifolia	Línea Telefónica
				Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
				Cuerpos de Agua
				Parteaguas



Fuente: Datos vectoriales de INEGI, Serie IV (2005)
Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
Datum: D WGS- 1984
Elipsoide: WGS- 1984
Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
Escalona Valdez Rodrigo Antonio

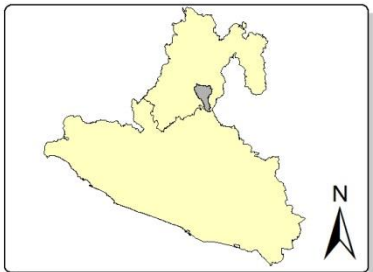


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

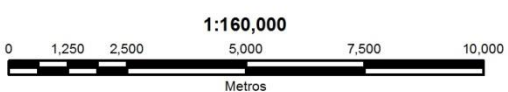


"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa C07: Áreas Naturales Protegidas



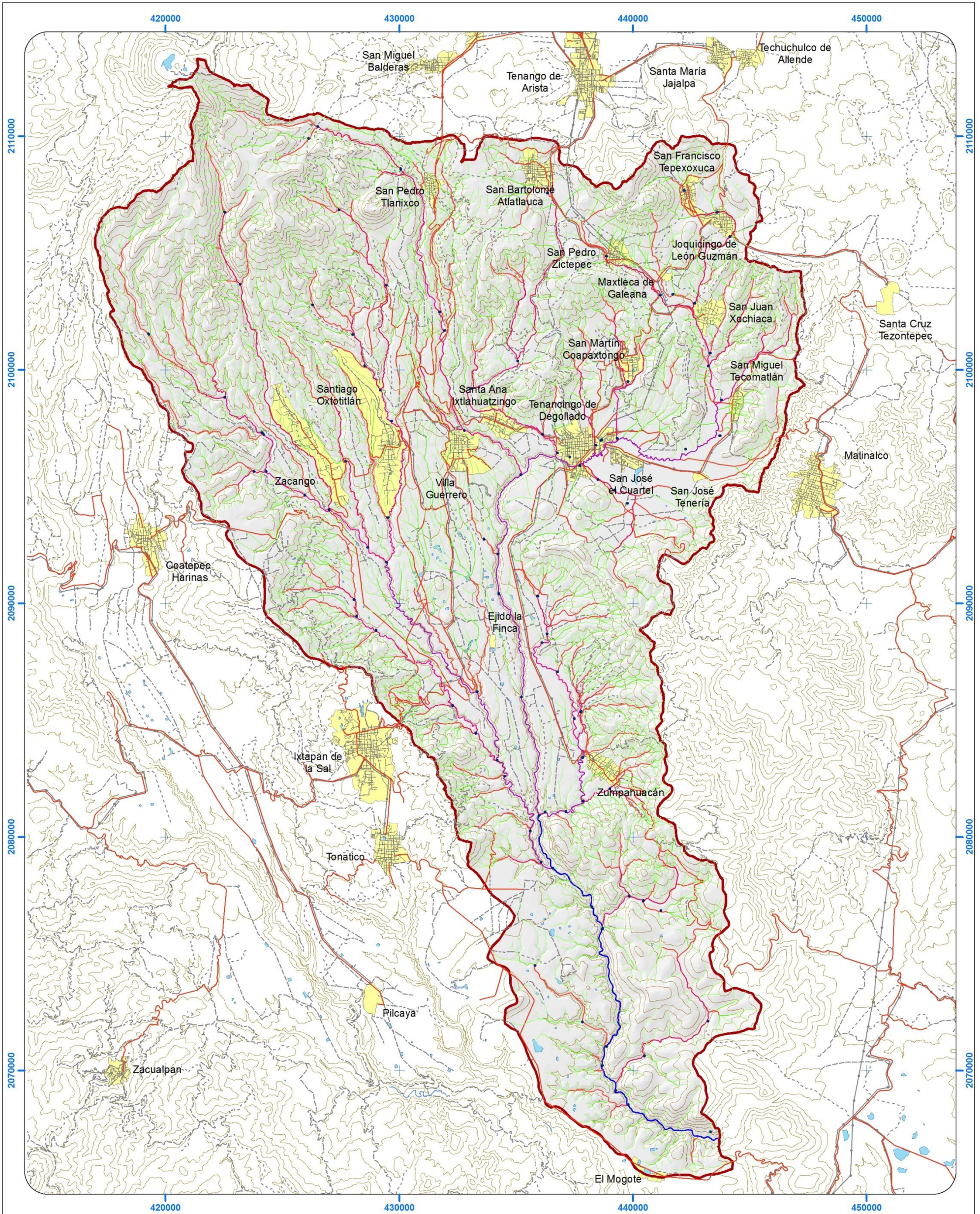
Simbología Temática		Simbología Básica
ANP Federales	ANP Estatales	Zona Urbana
Desierto del Carmen o de Nixcongo	Hermenegildo Galeana	Vías de Comunicación
Nevado de Toluca	Nahuatlaca - Matlazinca	Carretera Pavimentada
	Tenancingo - Malinalco - Zumpahuacán	Terracería
		Brechas
		Vereda
		Línea Telefónica
		Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
		Cuerpos de Agua
		Parteaguas



Fuente: Bezaury-Cresil J.E., J. Fco. Torres, L. M. Ochoa. The Nature Conservancy. PRONATURA, CONABIO, CONANP, 2007. Base de Datos Geográficas de Áreas Naturales Protegidas Estatales del Distrito Federal y Municipales de México.
 Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2012. Cobertura de las Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Morelia Michoacán de Ocampo, México.
 Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68 (1999).

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsóide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa C08: Hidrológico



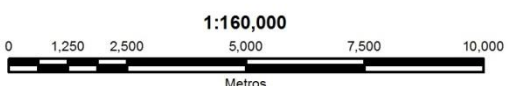
Simbología Temática

- Puntos de Concentración
- Orden de corrientes
 - 1
 - 2
 - 3
- Cuerpos de Agua
 - Perenne
 - Intermitente

- 4
- 5
- 6
- 7

Simbología Básica

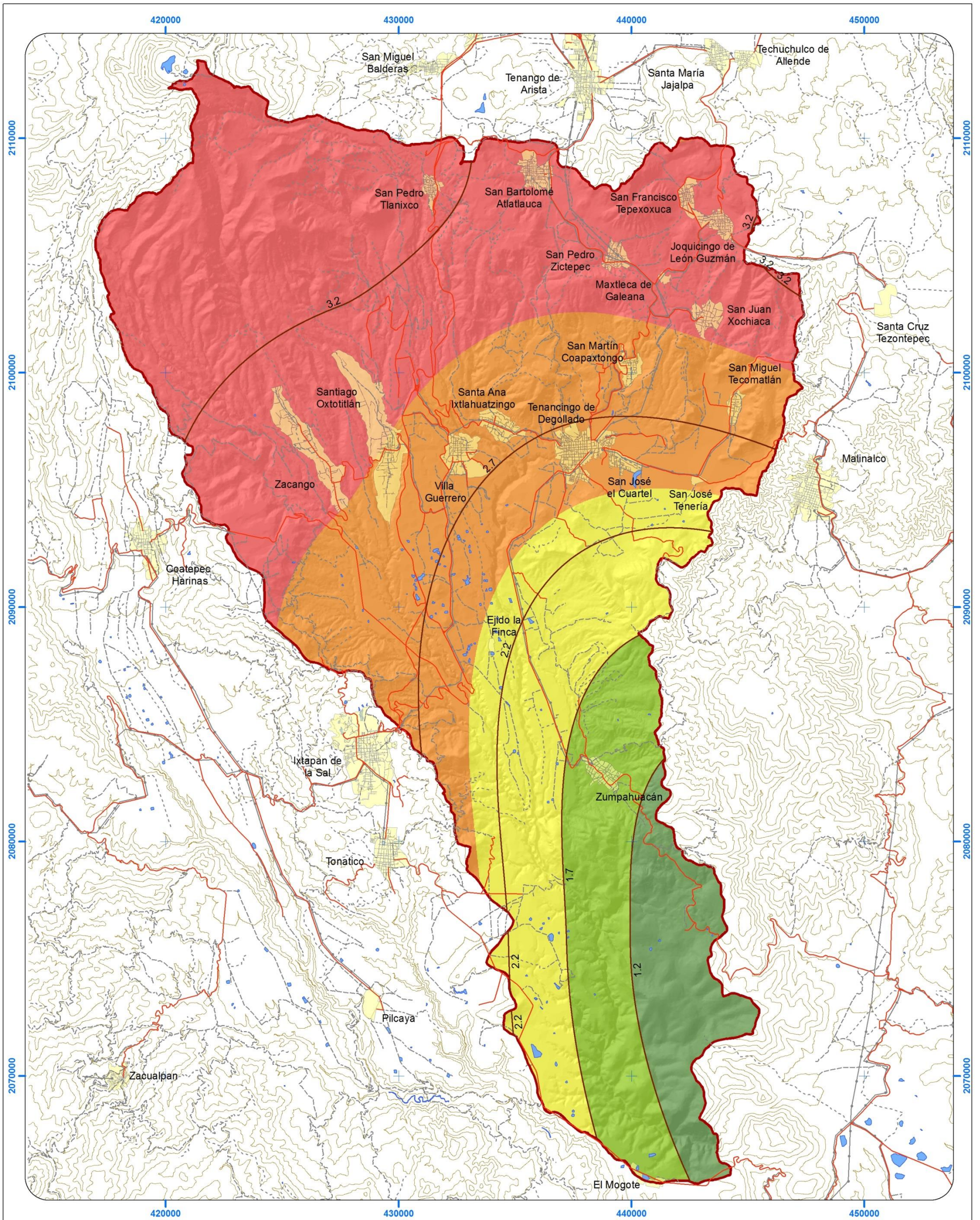
- Zona Urbana
- Vías de Comunicación
 - Carretera Pavimentada
 - Terracería
 - Brechas
 - Vereda
 - Línea Telefónica
 - Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
 - Parteaguas



Fuente: Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68, (1999).

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Victor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio

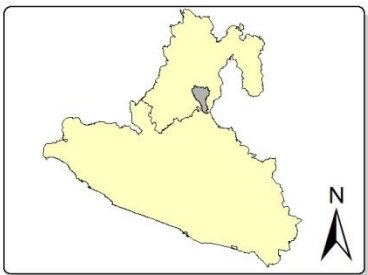


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D01: Peligrosidad por Sismicidad



Simbología Temática

- Muy Alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Nulo
- Isosistas

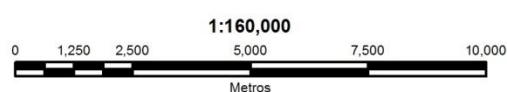
Simbología Básica

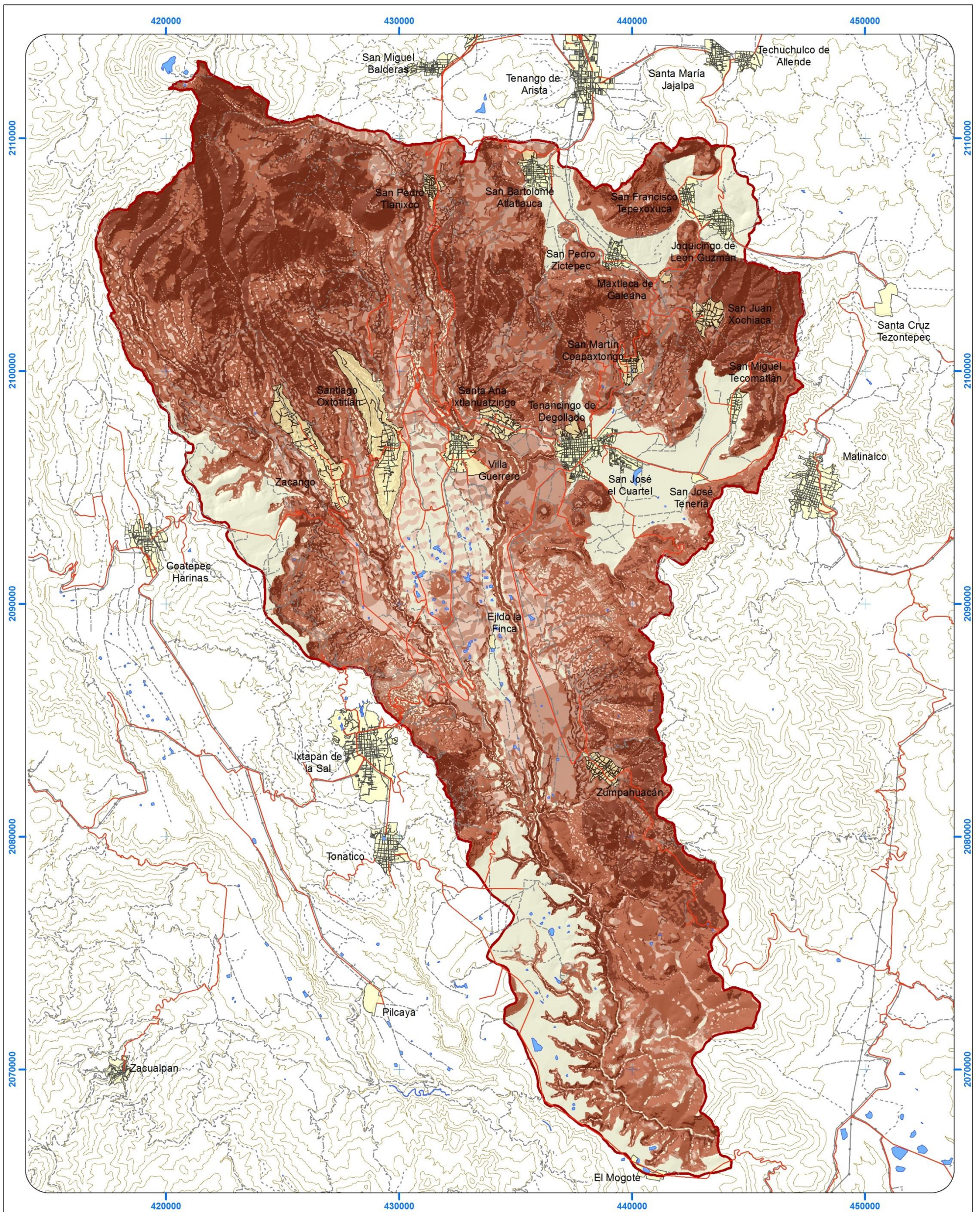
- Zona Urbana
- Cuerpos de Agua
- Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
- Parteaguas
- Vías de Comunicación
 - Carretera Pavimentada
 - - - Terracería
 - - - Brechas
 - - - Vereda
 - Línea Telefónica

Fuente: Servicio Simiológico Nacional (SSN), 1998 - 2012.
 Datos vectoriales de INEGI: Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D02a: Peligrosidad por Movimientos Rápidos

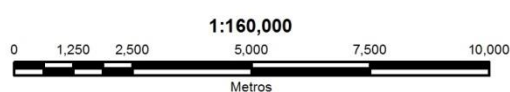


Simbología Temática

- | | |
|----------|------|
| Muy Alto | Bajo |
| Alto | Nulo |
| Medio | |

Simbología Básica

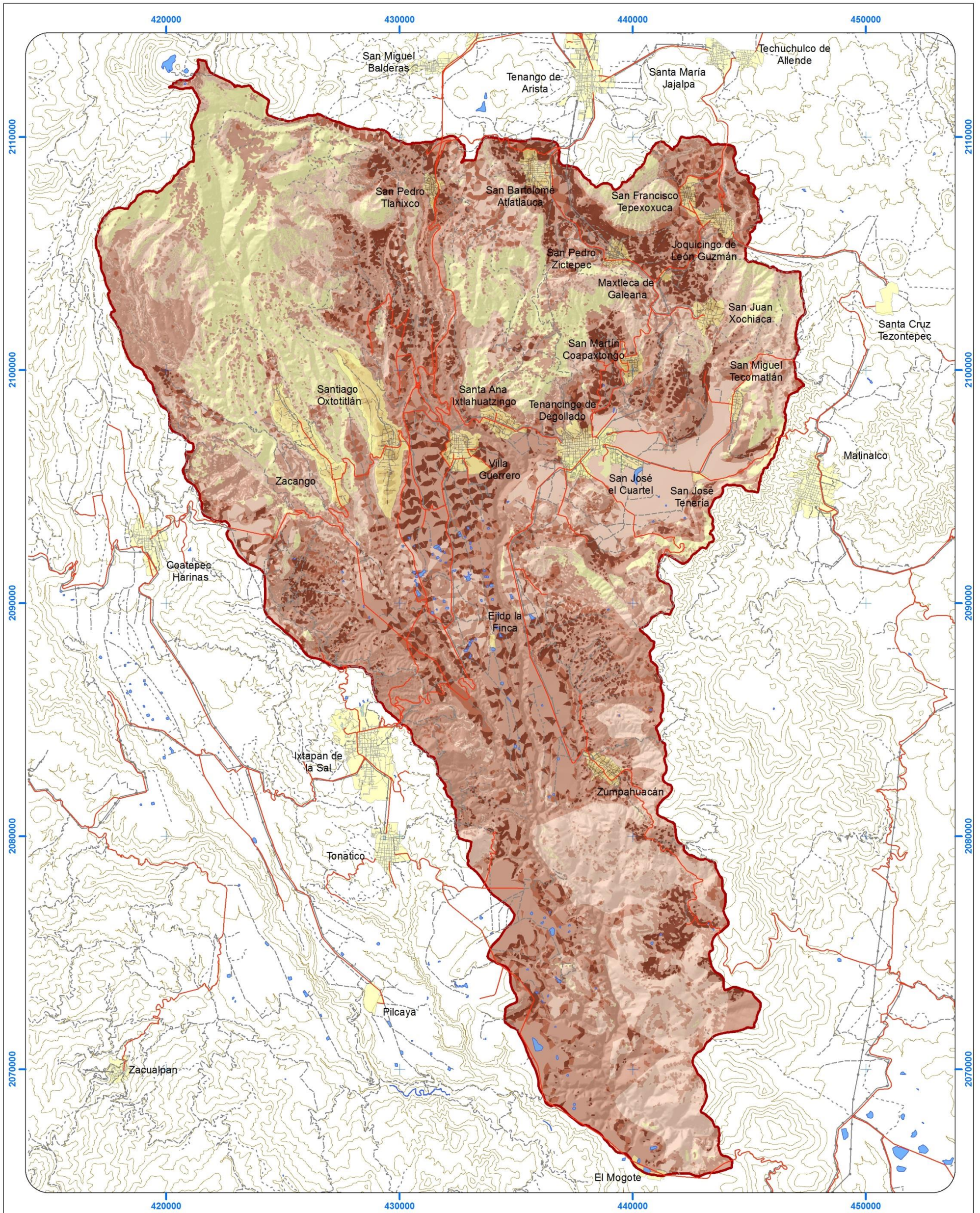
- | | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Zona Urbana | Vías de Comunicación |
| Cuerpos de Agua | Carretera Pavimentada |
| Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m) | Terracería |
| Parteaguas | Brechas |
| | Vereda |
| | Línea Telefónica |



Fuente: Datos vectoriales de INEGI Cartas, E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67, E14A68, (1999).

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"



Mapa D02b: Peligrosidad por Movimientos Lentos

Simbología Temática

- Muy Alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Nulo

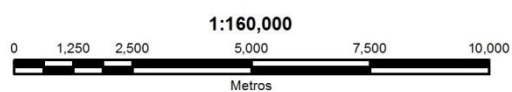
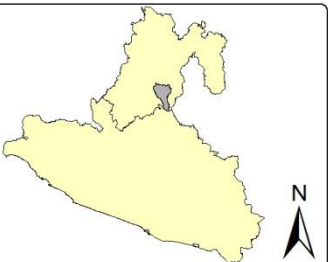
Simbología Básica

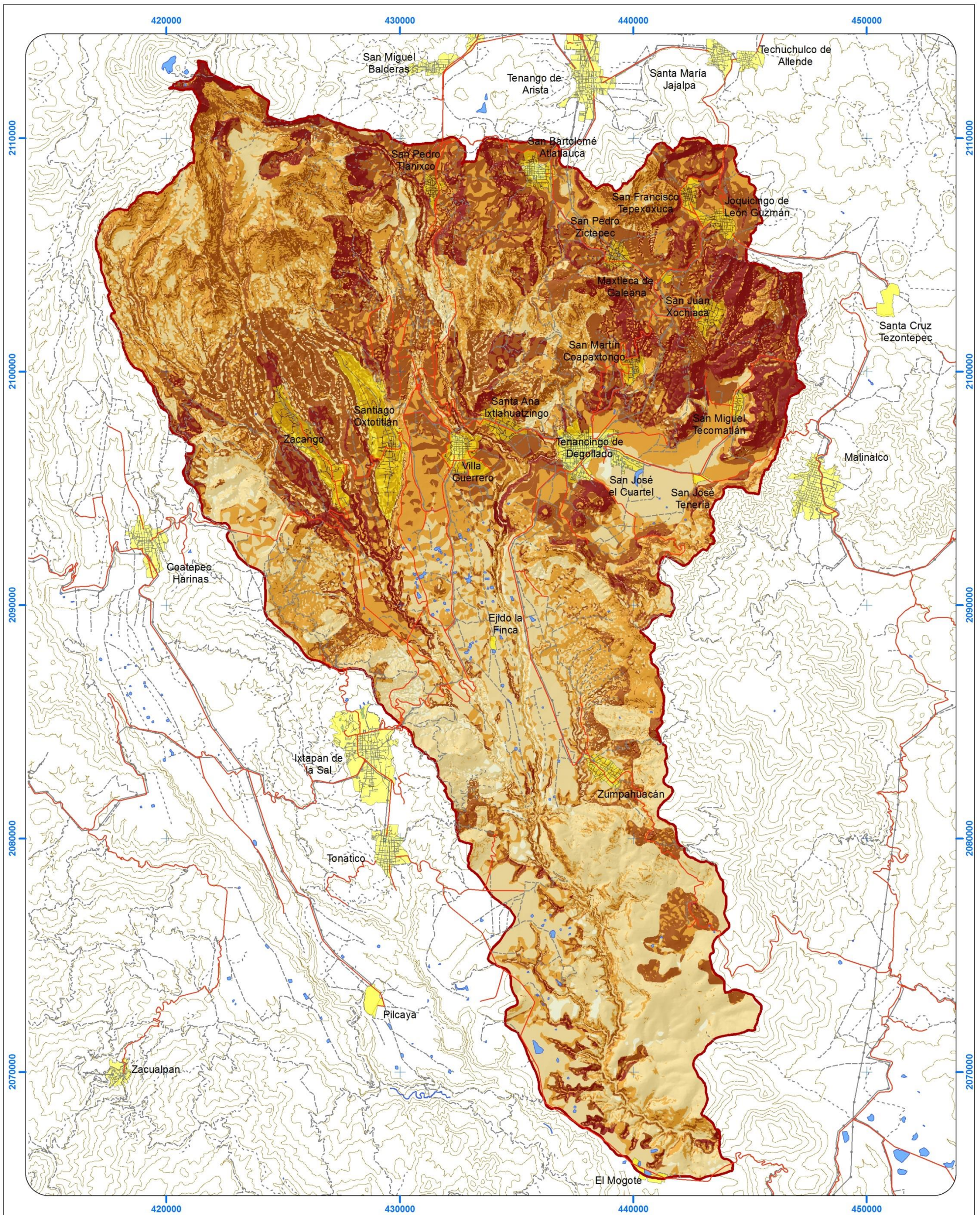
- Zona Urbana
- Cuerpos de Agua
- Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
- Parteaguas
- Vías de Comunicación
- Carretera Pavimentada
- Terracería
- Brechas
- Vereda
- Línea Telefónica

Fuente: Datos vectoriales de INEGI Cartas, E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67, E14A68, (1999).

Proyección: Universal Transversa de Mercator
Datum: D WGS: 1984
Elipsoide: WGS: 1984
Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D03: Susceptibilidad a la Erosión

Simbología Temática

 Muy Alta	 Baja
 Alta	 Nula
 Media	

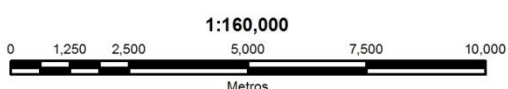
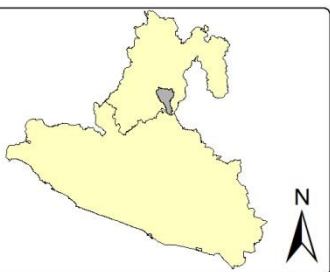
Simbología Básica

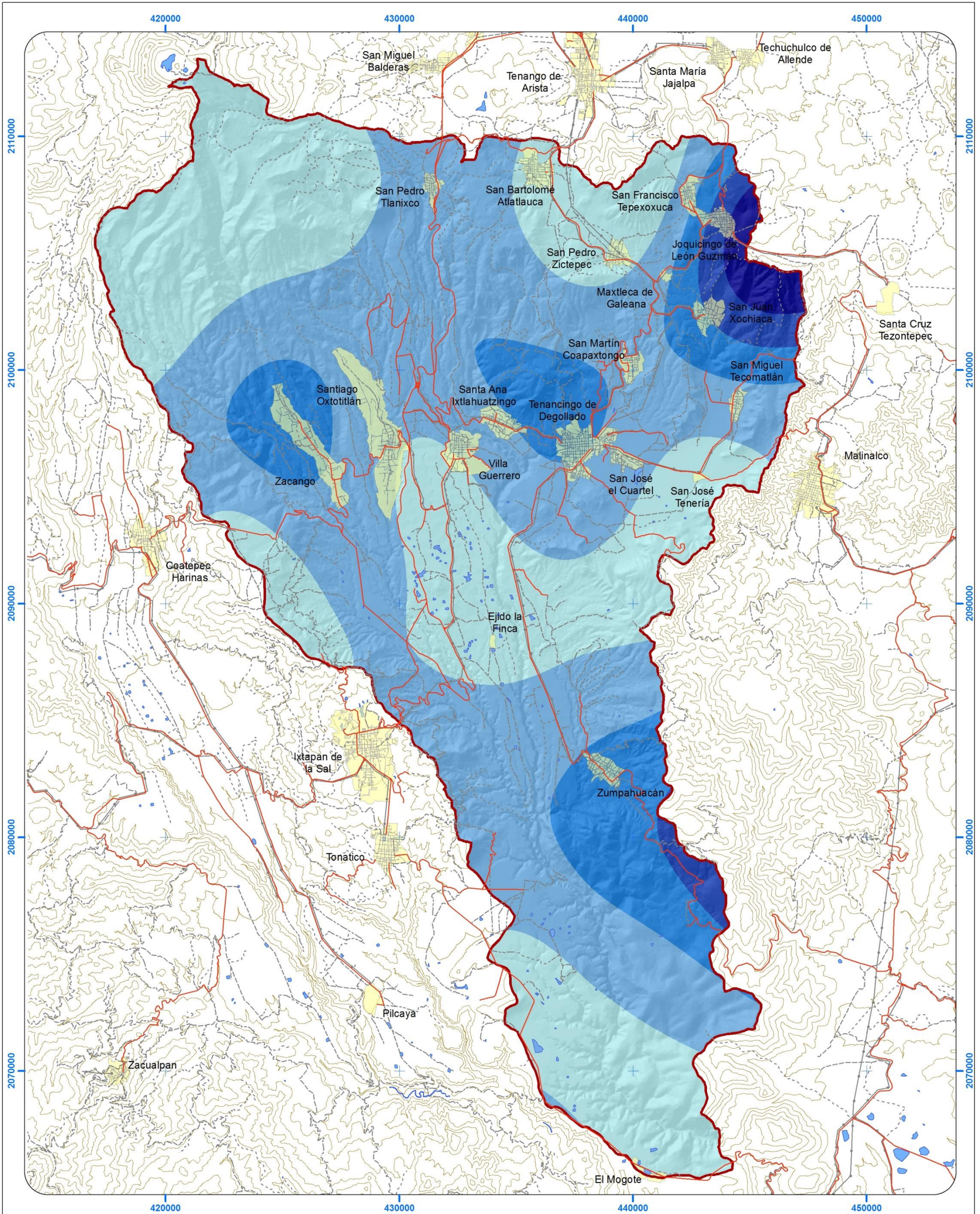
 Zona Urbana	 Vías de Comunicación
 Cuerpos de Agua	 Carretera Pavimentada
 Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)	 Terracería
 Parteaguas	 Brechas
	 Vereda
	 Línea Telefónica

Fuente: Datos vectoriales de INEGI Cartas, E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67, E14A68, (1999).

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Victor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D04: Precipitación Máxima en 24 hrs.

Simbología Temática

- Muy Alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Nulo

Simbología Básica

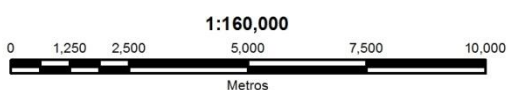
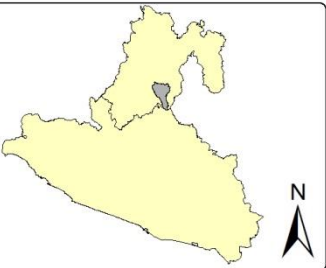
- Zona Urbana
- Cuerpos de Agua
- Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
- Parteaguas
- Vías de Comunicación
- Carretera Pavimentada
- Terracería
- Brechas
- Vereda
- Línea Telefónica

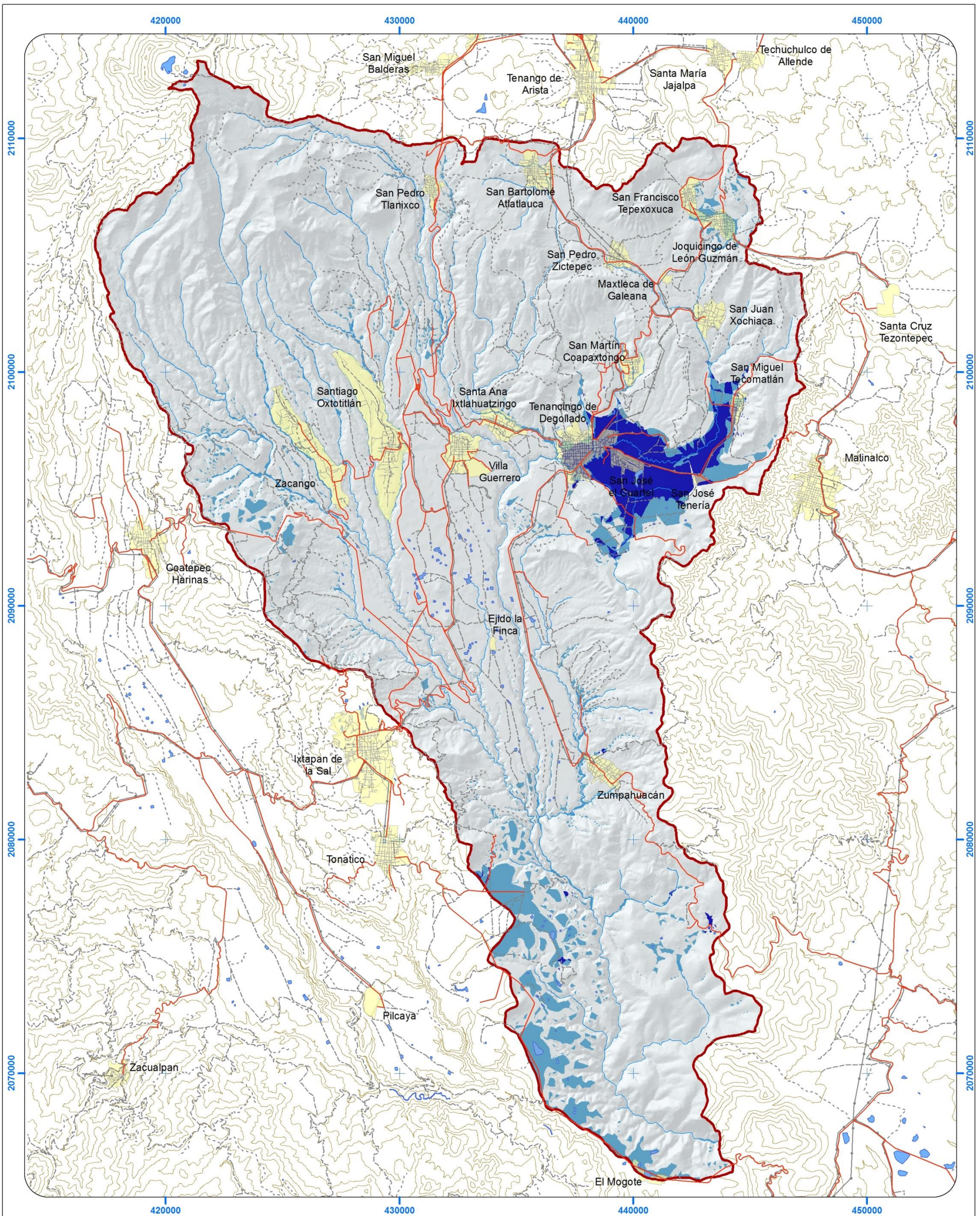
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Normales Climatológicas, 1981 - 2010

Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D05: Peligrosidad por Inundaciones

Simbología Temática

- Muy Alto
- Medio
- Nulo

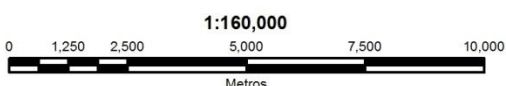
Simbología Básica

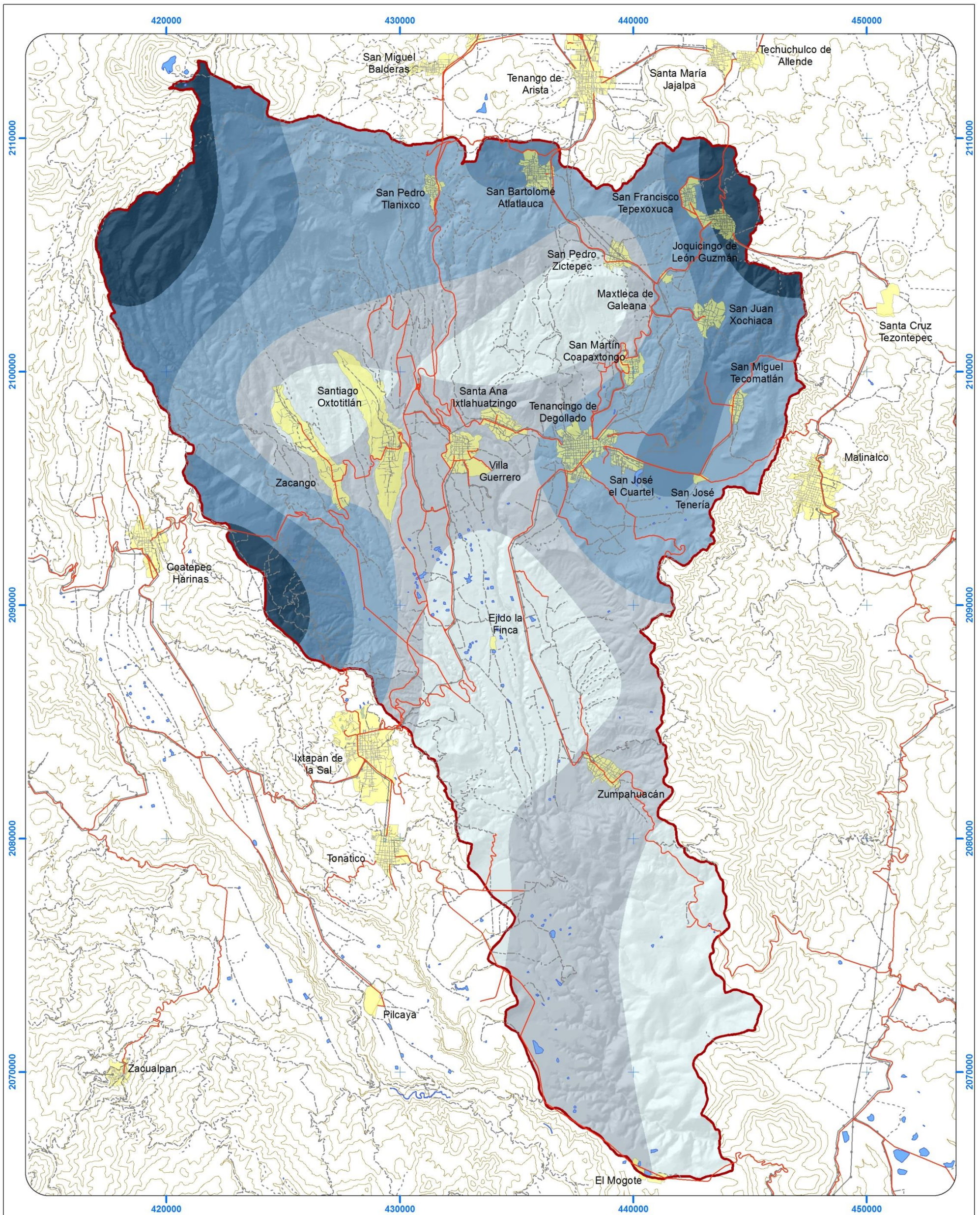
- Zona Urbana
- Corriente perenne
- Cuerpos de Agua
- Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
- Parteaguas
- Vías de Comunicación
- Carretera Pavimentada
- Terracería
- Brechas
- Vereda
- Línea Telefónica

Fuente:
 -Datos vectoriales de INEGI Cartas, E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67, E14A68, (1999).
 -Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Normales Climatológicas (1981 - 2010)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D06: Peligrosidad por Heladas

Simbología Temática

- Muy Alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Nulo

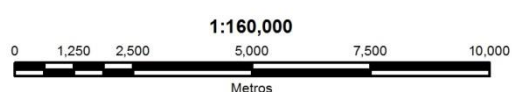
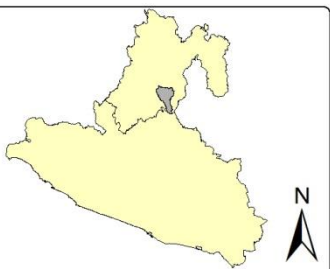
Simbología Básica

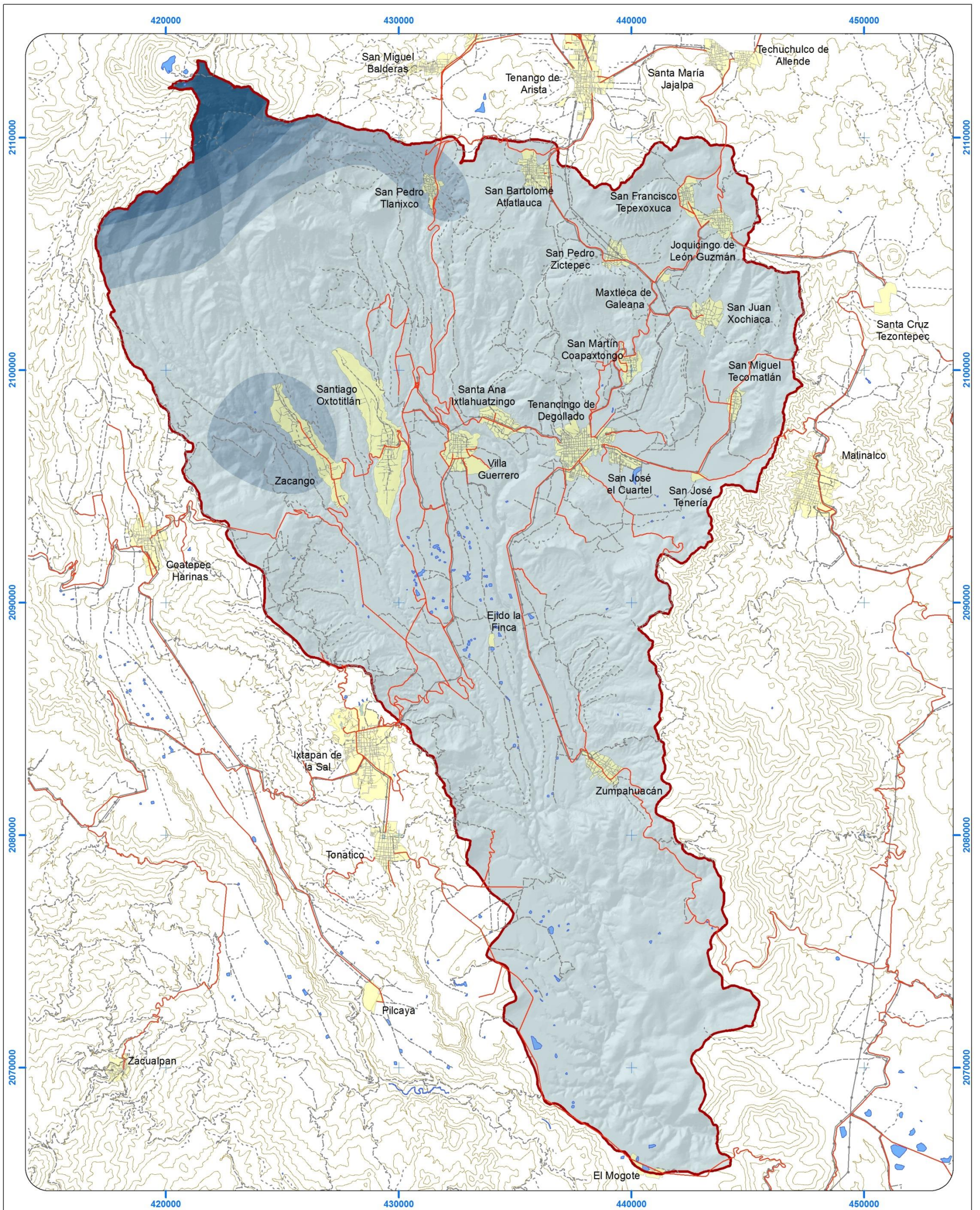
- Zona Urbana
- Cuerpos de Agua
- Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
- Parteaguas
- Vías de Comunicación
- Carretera Pavimentada
- Terracería
- Brechas
- Vereda
- Línea Telefónica

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Normales Climatológicas, 1981 - 2010
 Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Victor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D07: Peligrosidad por Granizadas

Simbología Temática

Muy Alto	Bajo
Alto	Nulo
Medio	

Simbología Básica

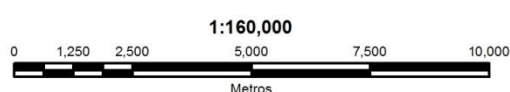
Zona Urbana	Vías de Comunicación
Cuerpos de Agua	Carretera Pavimentada
Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)	Terracería
Parteaguas	Brechas
	Vereda
	Línea Telefónica

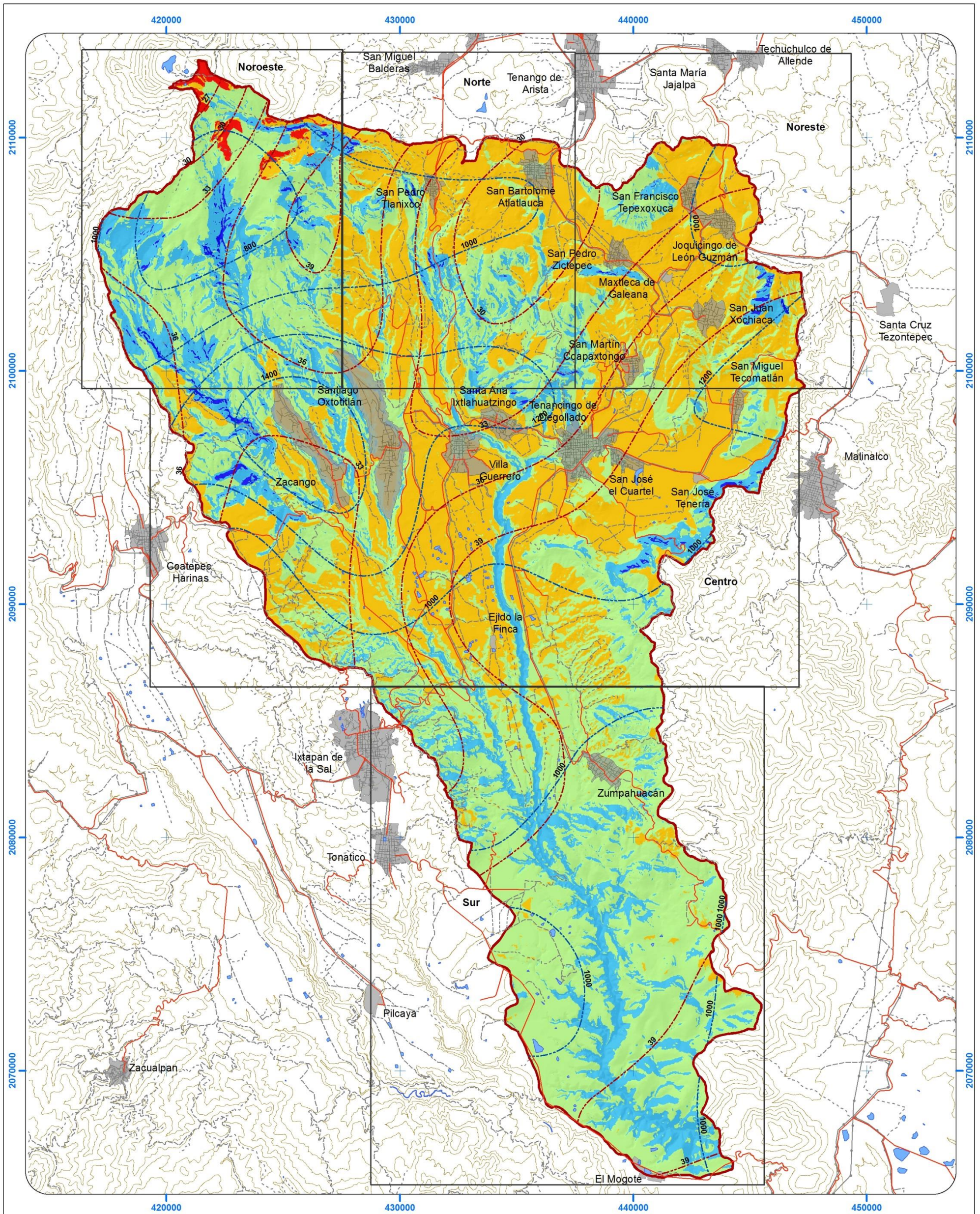
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Normales Climatológicas, 1981 - 2010

Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
Datum: D WGS- 1984
Elipsoide: WGS- 1984
Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

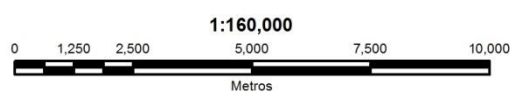
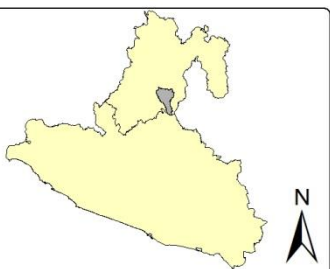
Mapa D08: Peligrosidad por Sequías

Simbología Temática

- Muy Alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Nulo
- Isoyetas (cada 200 mm)
- Isotermas (cada 3°C)

Simbología Básica

- Zona Urbana
- Cuerpos de Agua
- Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
- Parteaguas
- Vías de Comunicación
- Carretera Pavimentada
- Terracería
- Brechas
- Vereda
- Línea Telefónica

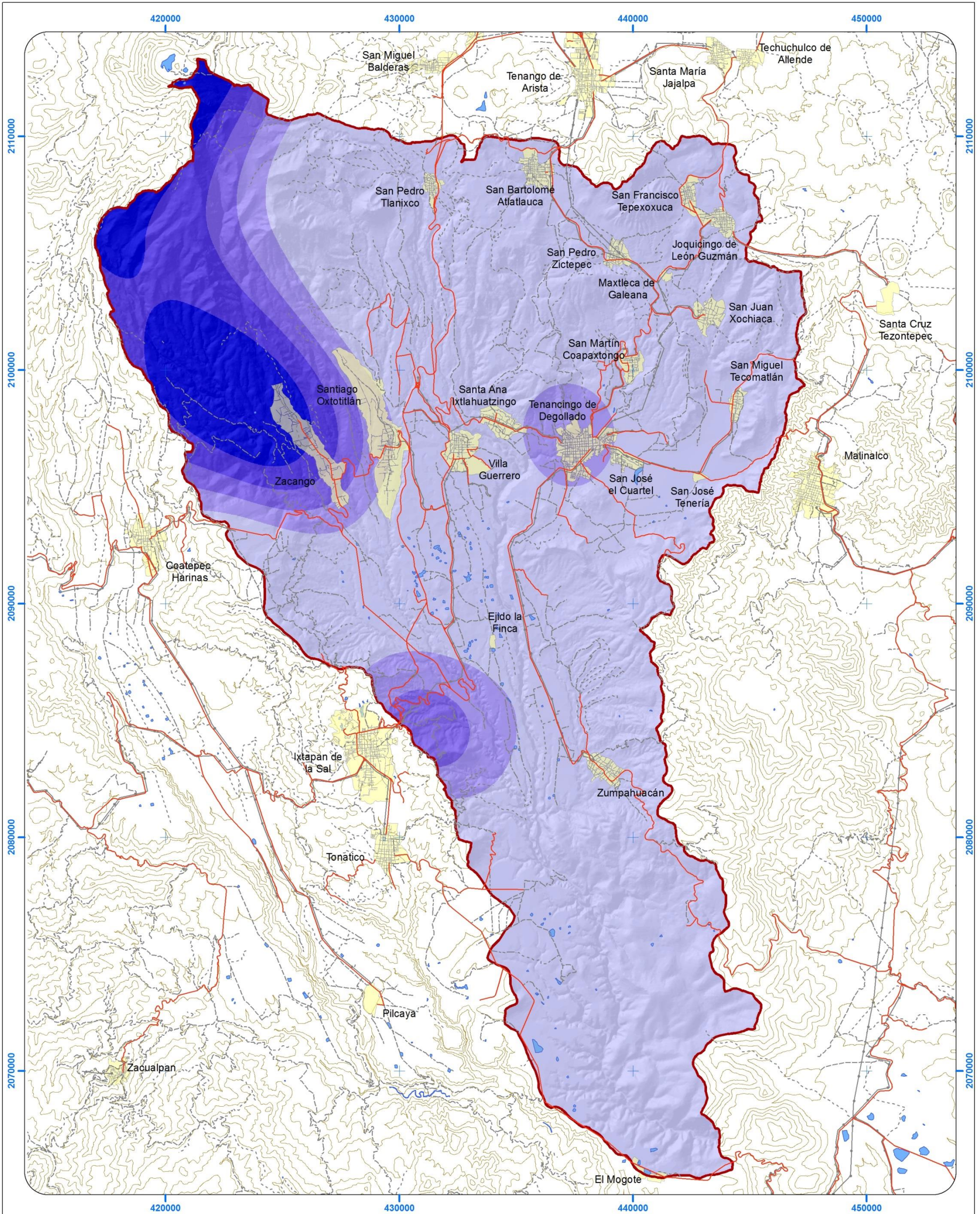


Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Normales Climatológicas, 1981 - 2010

Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D09: Peligrosidad por Tormentas

Simbología Temática

- | | |
|----------|------|
| Muy Alto | Bajo |
| Alto | Nulo |
| Medio | |

Simbología Básica

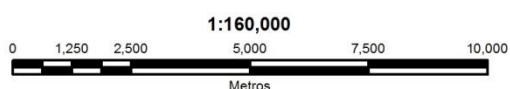
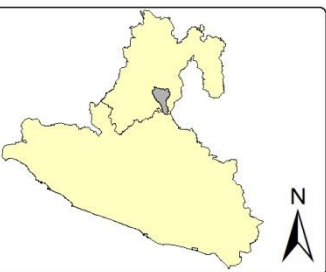
- | | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Zona Urbana | Vías de Comunicación |
| Cuerpos de Agua | Carretera Pavimentada |
| Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m) | Terracería |
| Parteaguas | Brechas |
| | Vereda |
| | Línea Telefónica |

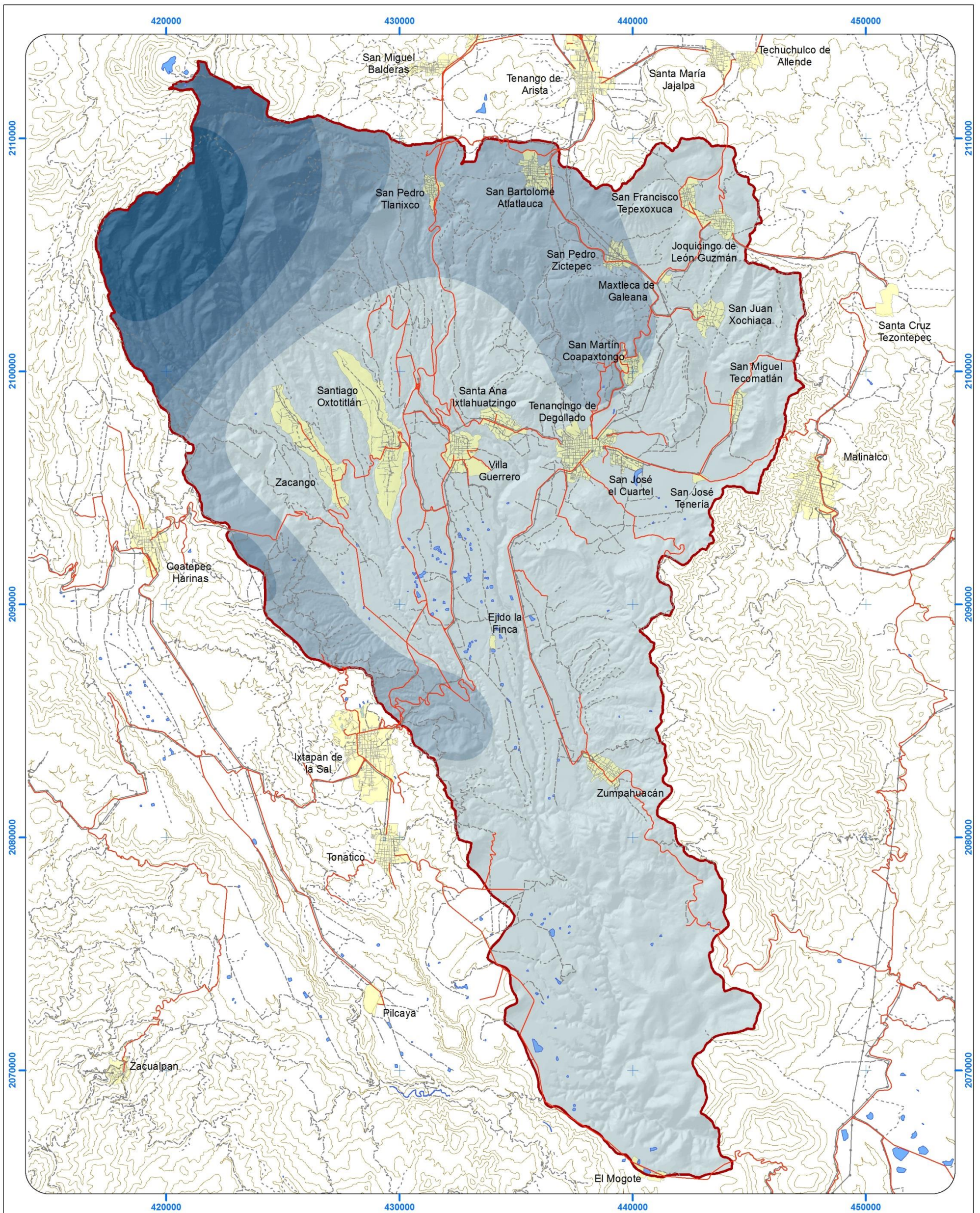
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Normales Climatológicas, 1981 - 2010

Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68, (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Victor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa D010: Peligrosidad por Niebla

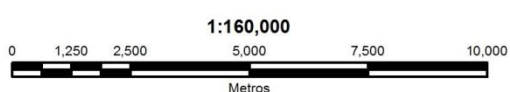


Simbología Temática

- | | |
|----------|------|
| Muy Alto | Bajo |
| Alto | Nulo |
| Medio | |

Simbología Básica

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Zona Urbana | Vías de Comunicación |
| Cuerpos de Agua | Carretera Pavimentada |
| Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m) | Terracería |
| Parteaguas | Brechas |
| | Vereda |
| | Línea Telefónica |

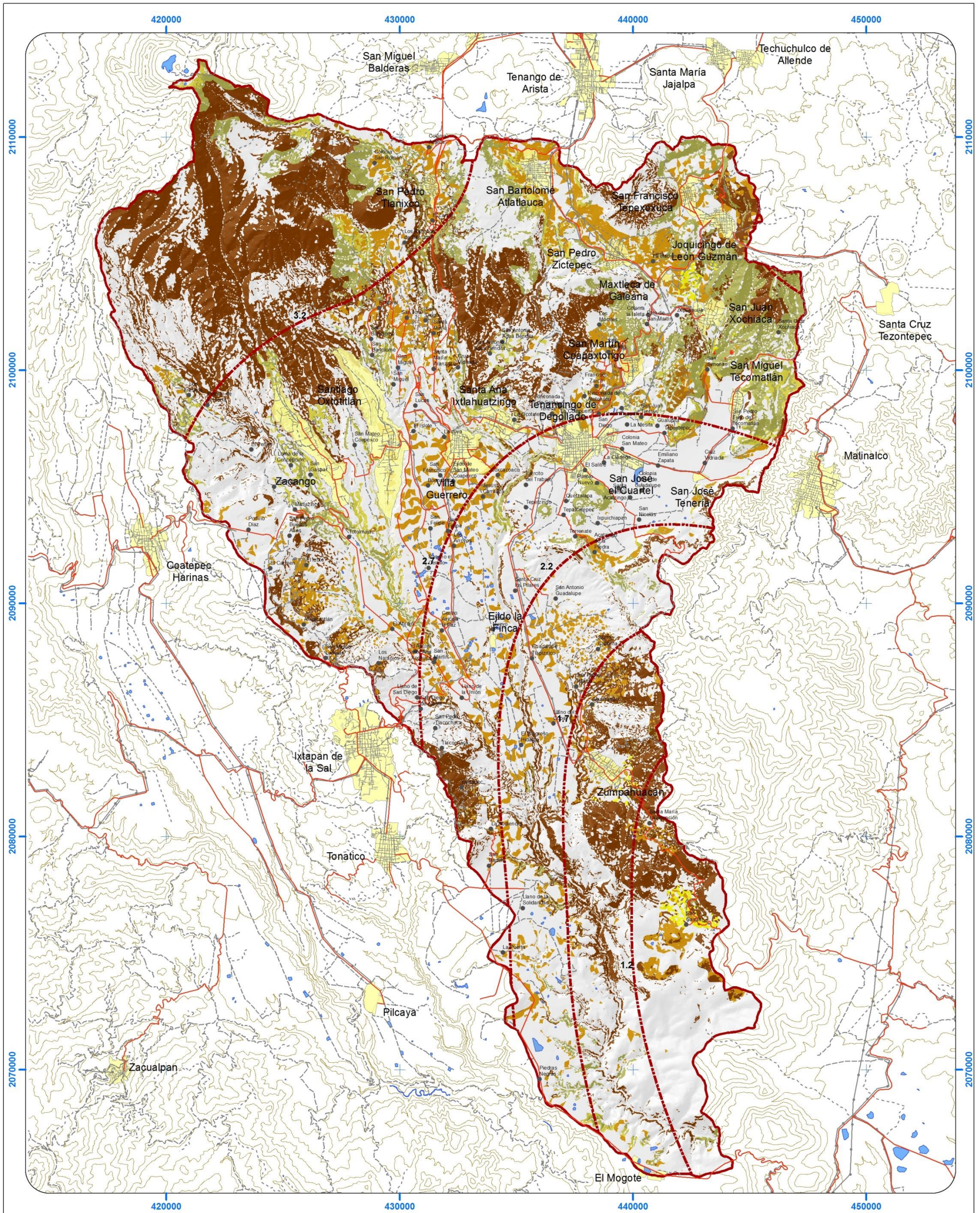


Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Normales Climatológicas, 1981 - 2010

Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

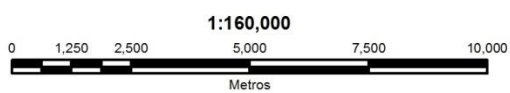
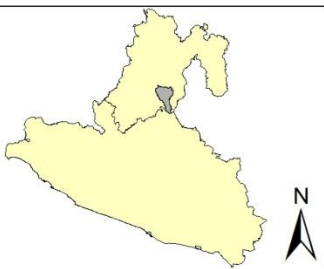
Mapa M01: Multipeligrosidad de Fenómenos Geológicos

Simbología Temática

- Zonas con menor peligrosidad
- Erosión
- Mov. Lentos
- Mov. Lentos, Erosión
- Mov. Rápidos
- Mov. Rápidos, Erosión
- Mov. Rápidos, Mov. Lentos
- Mov. Rápidos, Mov. Lentos, Erosión
- Isosistas (cada 0.5 grados Richter)

Simbología Básica

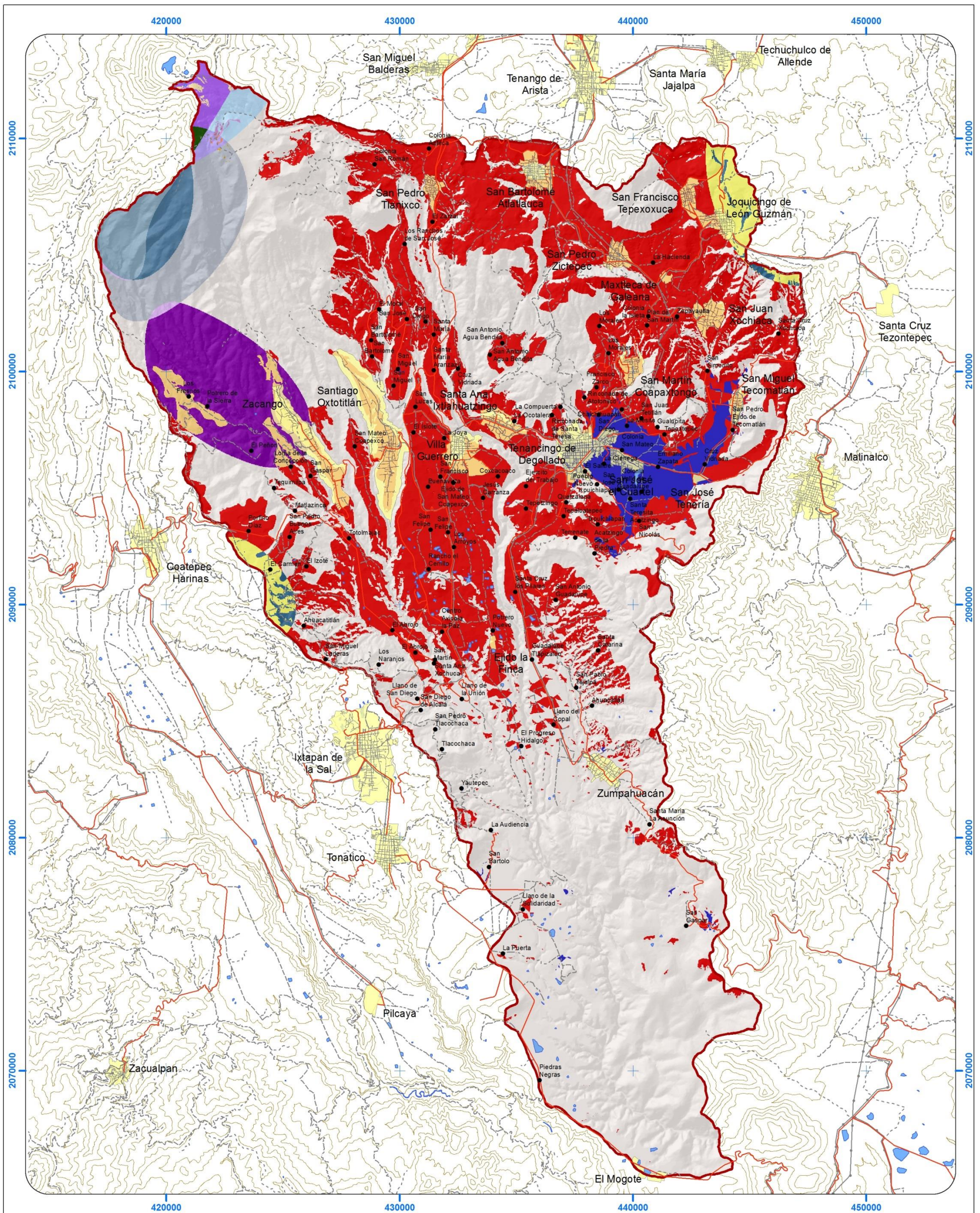
- Localidades
- Zona Urbana
- Cuerpos de Agua
- Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
- Parteaguas
- Vías de Comunicación
- Carretera Pavimentada
- Terracería
- Brechas
- Vereda
- Línea Telefónica



Fuente: Elaborado con Servicio Simiológico Nacional (SSN), Sismicidad Histórica, Catálogo
 Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
 FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL



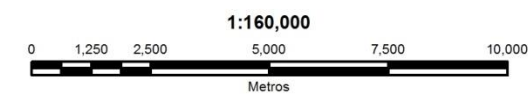
"DIAGNÓSTICO DE PELIGROS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JERÓNIMO"

Mapa M02: Multipeligrosidad por Fenómenos Hidrometeorológicos



Simbología Temática	
■ Zonas con menor peligrosidad	■ Granizadas, Tormentas, Niebla
■ Niebla	■ Granizadas, Sequías
■ Tormentas	■ Granizadas, Sequías, Niebla
■ Tormentas, Niebla	■ Granizadas, Sequías, Tormentas
■ Sequías	■ Heladas
■ Sequías, Niebla	■ Heladas, Niebla
■ Sequías, Tormentas	■ Heladas, Tormentas
■ Granizadas	■ Heladas, Tormentas, Niebla
■ Granizadas, Niebla	■ Heladas, Sequías
■ Granizadas, Tormentas	■ Heladas, Granizadas, Niebla
■ Inundaciones	

Simbología Básica	
● Localidades	— Vías de Comunicación
■ Zona Urbana	— Carretera Pavimentada
■ Cuerpos de Agua	— Terracería
■ Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)	— Brechas
— Parteaguas	— Vereda
	— Línea Telefónica



Fuente: Elaborado con Servicio Simiológico Nacional (SSN), Sismicidad Histórica, Catálogo
 Datos vectoriales de INEGI, Cartas E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67 y E14A68. (1999)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimes Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio

Mapa P01: Propuestas de Áreas Prioritarias para Movimientos Rápidos y Erosión (Medidas de Mitigación)

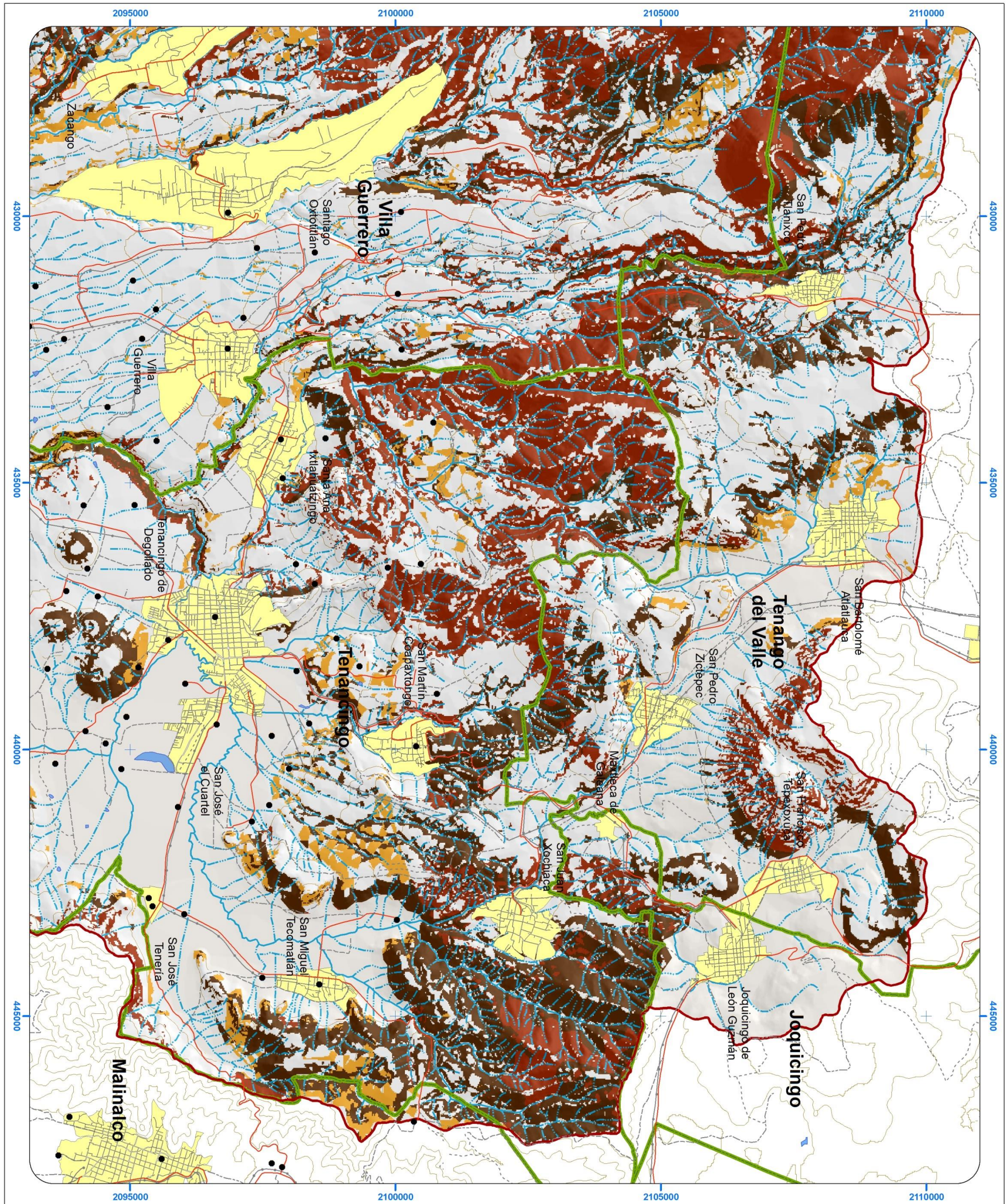
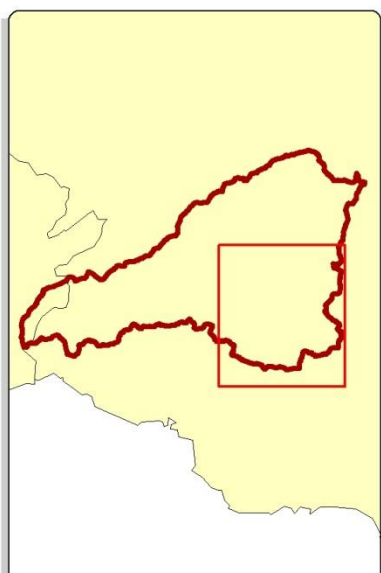
Simbología Temática

- Mov. Ráp y Erosión
- Mov. Rápidos
- Erosión

Tipo de Obra	Peligro a reducir	Características
Pres de Gerdón	Erosión y Mov. rápidos	Elaborada a partir de rocas y compacta por una serie de gerdones unidos unos a otros con alambre
Referenciación	Erosión y Mov. rápidos y sequías	Plantación de especies nativas con gemoplasma de buena calidad y precedencia conocida
Cabezas de cadáveres y Estabilización de taludes	Erosión y movimientos rápidos	Son acciones en la parte inicial de un cárcavo para evitar su crecimiento en longitud, prevenir y detener la erosión. Consiste en el resquebrajamiento con material inerte como piedras, cemento o material vegetal muerto para amortiguar la energía la secretaría

Simbología Básica

- Límites Municipales**
- Zona Urbana
 - Localidades
 - Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)
 - Rasgos Hidrográficos
 - Corriente Perenne
 - Corriente Intermitente
 - Cuerpos de Agua
 - Parqueas
- Vías de Comunicación**
- Carretera Pavimentada
 - Terracería
 - Brechas
 - Vereida
 - Línea Telefónica



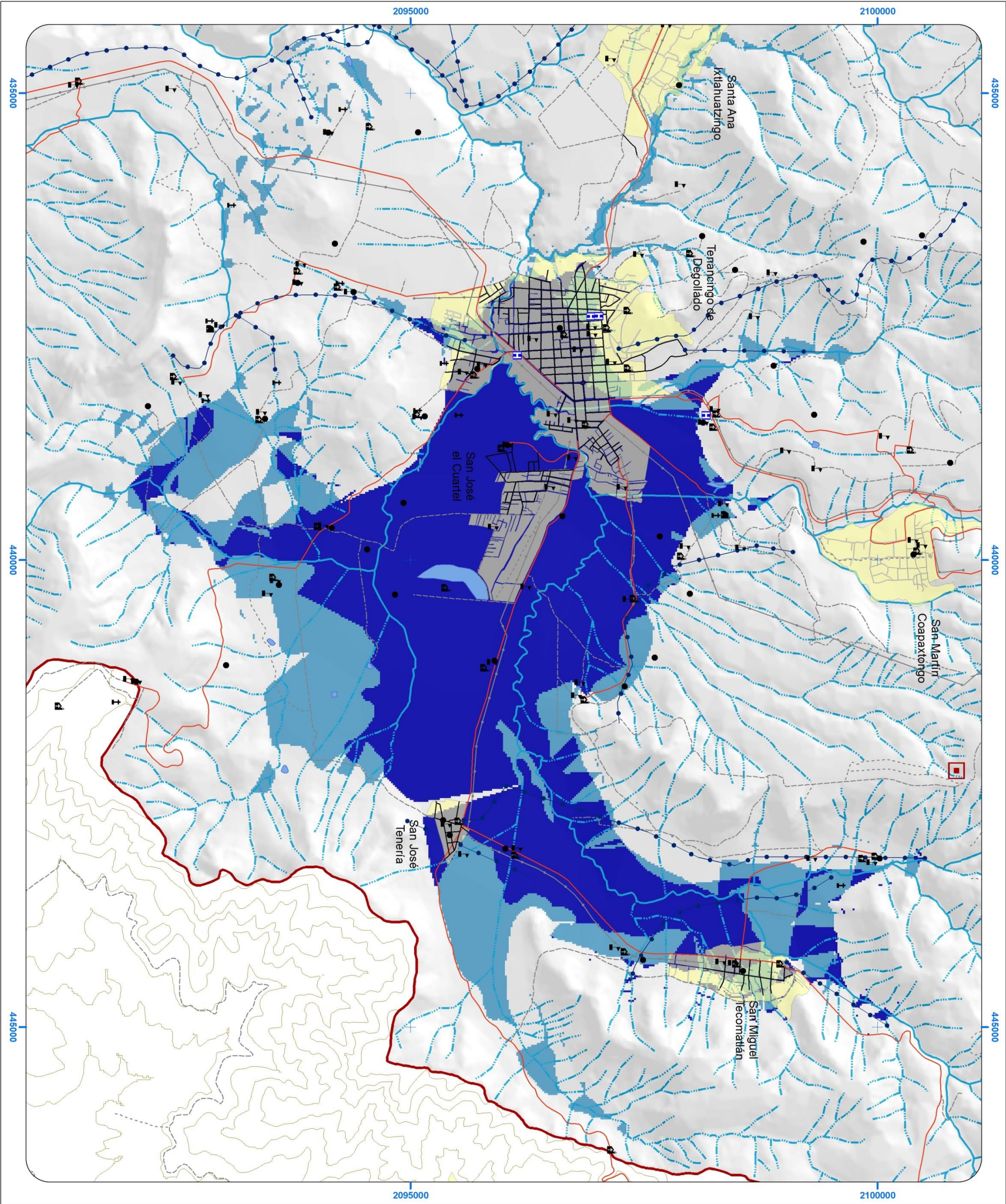
Fuente: Datos vectoriales de INEGI Cartas: E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67, E14A68, (1999).

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaimez Victor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio

1:70,000

0 500 1000 2000 3000 4000
 Metros



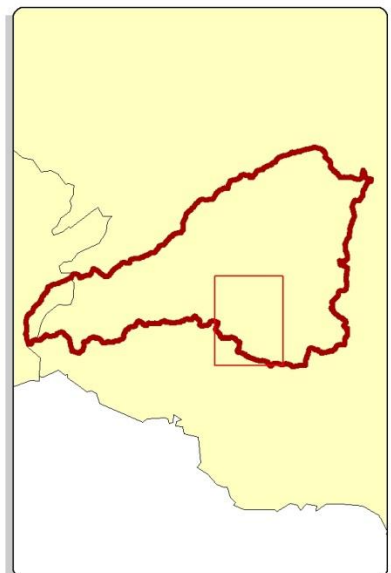
Simbología Temática

	Zona Inundable		Corriente Perenne
	Zona Intermedia		Corriente Intermitente
	Áreas no Inundables		

Tipo de Obra	Peligro a reducir	Características
Dique	Inundaciones	Elaborada a partir de rocas y compuesta por una serie de gaviones unidos unos a otros con diambre
Preso de Gavión	Inundaciones	Se concretiza por un muro de contención

Simbología Básica

	Zona Urbana		Parqueguas
	Localidades		Vías de Comunicación
	Centro de Asistencia Médica		Carretera Pavimentada
	Escuela		Terracería
	Templo		Brechas
	Cementerio		Vereda
	Rellevo Sanitario		Línea Telefónica
	Curvas de Nivel (Equidistancia 100 m)		Calle
	Acueducto		
	Cuerpos de Agua		



Fuente: Datos vectoriales de INEGI Cartas: E14A47, E14A48, E14A57, E14A58, E14A67, E14A68, (1999), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Normales Climatológicas (1981 - 2010)

Proyección: Universal Transversa de Mercator
 Datum: D WGS- 1984
 Elipsoide: WGS- 1984
 Zona Geográfica: 14 Norte

Bustos Jaime Víctor
 Escalona Valdez Rodrigo Antonio

