Xaamkëjxpët ja y'ejxpat, mitë nyëkajpxypy-nyëmatyakypy, ti ayoo'n-ti wunmääny ja y'ët-ja nyäjxwiinyët myëët

Atlas de Riesgos Naturales de Santa María Tlahuitoltepec, Mixe, Oaxaca

Universidad Autónoma Chapingo
Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Suelos

Km. 38.5, carretera México-Texcoco,
Texcoco de Mora, Estado de México
C. P. 56230 RFC: UAC771230988

Constructora y Comercializadora Jiyo S. A. de C. V.

Tulipanes 212, Fraccionamiento Lomas de Antequera
Oaxaca de Juárez, Oaxaca
C. P. 68060 RFC: CCJ08070285

Diciembre de 2011
Número de obra: 120437PP041230
Número de expediente: PP11/20437/AE/1/023

Este programa es de carácter público, no es patrocinado ni promovido por partido político alguno y sus recursos provienen de los impuestos que pagan todos los contribuyentes. Esta prohibido el uso de este programa con fines políticos, electorales, de lucro y otros distintos a los establecidos. Quien haga uso indebido de los recursos de este programa deberá ser denunciado y sancionado de acuerdo con la ley aplicable y ante la autoridad competente.

La propiedad intelectual del presente estudio corresponde al Honorable Ayuntamiento de Santa María Tlahuitoltepec, Mixe, Oaxaca, y a la Secretaria de Desarrollo Social.

Se autoriza el uso, reproducción y difusión de este material previa autorización de los propietarios.

Secretaría de Desarrollo Social

Xaamkutunk

Honorable Ayuntamiento de Santa María Tlahuitoltepec

Programa de Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos

Universidad Autónoma Chapingo

Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Suelos

Constructora y Comercializadora Jiyo S.A. de C.V.

Directorio de la Secretaría de Desarrollo Social

Jesús Heriberto Félix Guerra
Secretario de Desarrollo Social

Sara Halina Topelson Fridman
Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio

José Luis Escalera Morfín
Director General de Desarrollo Territorial

Juan Antonio Martínez Zaragoza
Director General Adjunto de Prevención y Atención a Desastres

José Manuel Tello García
Subdelegado de Desarrollo Urbano Ordenación del Territorio y Vivienda

Luz Elena Rivera Cano
Coordinación General

Guillermo Pérez Moreno
Supervisión Técnica

Directorio de la Presidencia Municipal de Santa María Tlahuitoltepec

Cenobio Díaz Martínez
Presidente Municipal

Braulio Vásquez García
Secretario Municipal

Pablo Gutiérrez Martínez
Síndico Municipal

Directorio de la Universidad Autónoma Chapingo

Prócoro Díaz Vargas
Director del Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Suelos

Directorio de Constructora y Comercializadora Jiyo S.A. de C.V.

Erick B. Martínez Martínez
Director General

Victorino Vásquez Martínez
Proyectista

Personal Técnico Responsable

Coordinación del Atlas de Riesgos

Prócoro Díaz Vargas

Francisco Fabián Calvillo Aguilar

Calixto Genaro López Luna

Moisés Gamaliel López Arias

Liliana Ibeth Martínez Torres

Equipo Asesor en Mecánica de Suelos

Felipe de Jesús Martínez Hernández

José Luis Elizarraráz

Miguel Peña Datoli

Rodolfo A. Martínez Vargas

Juan Orozco Vásquez

Índice

CAPÍTULO I. Antecedentes e Introducción....4

1.1 *Tsoontääjk* / Introducción....4

1.2 *Jëpkäjpxën* / Antecedentes....4

1.3 Objetivos....5

CAPÍTULO II. Determinación de la zona de estudio....8

2.1 Determinación de la zona de estudio....8

CAPÍTULO III. Descripción de los elementos del medio natural....11

3.1 Fisiografía....11

3.2 Geología....14

3.3 Geomorfología....14

3.4 Edafología....17

3.5 Hidrología superficial....24

3.6 Climatología....26

3.7 Uso de suelo y vegetación....26

3.8 Áreas naturales protegidas....29

3.9 Problemática ambiental....29

CAPÍTULO IV. Descripción de los elementos sociales, económicos y demográficos....31

4.1 Elementos demográficos: dinámica demográfica, distribución de población, pirámide de edades, mortalidad, densidad de población....31

4.2 Características sociales: Índice de marginación, Índice y grado de rezago social, escolaridad, hacinamiento y discapacidad....34

4.3 Principales actividades económicas en la zona: Población Económicamente Activa, Principales actividades económicas de la zona....36

4.4 Estructura urbana: Equipamiento, salud, y servicios en la vivienda....37

CAPÍTULO V. Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos perturbadores de origen natural....39

5.1 Riesgos, peligros y/o vulnerabilidad ante fenómenos de origen Geológico....39

5.1.1 Fallas y Fracturas....39

5.1.2 Sismos....41

5.1.3 Tsunamis o maremotos....45

5.1.4 Vulcanismo....45

5.1.5 Movimiento de masas (deslizamientos, flujos y derrumbes)....46

5.1.6 Hundimientos....58

5.1.7 Erosión....58

2.2 Riesgos, peligros y/o vulnerabilidad ante fenómenos de origen hidrometeorológico....66

2.2.1 Ciclones (Huracanes y ondas tropicales)....66

2.2.2 Tormentas eléctricas....66

2.2.3 Sequías....67

2.2.4 Temperaturas máximas extremas....67

2.2.5 Vientos fuertes....67

2.2.6 Inundaciones....67

2.2.7 Masas de aire (heladas, granizo y nevadas)....67

CAPÍTULO VI. Propuestas....69

6.1 Obras no estructurales....69

6.2 Obras estructurales....69

Capítulo I

Antecedentes e Introducción

CAPÍTULO I. Antecedentes e Introducción

1.1 *Tsoontääjk* / Introducción

Existen fenómenos geológicos e hidrometeorológicos que inciden en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec y que en sinergia a las condiciones topográficas locales, el diseño y materiales de construcción de las casas habitación y el crecimiento demográfico incrementan el peligro y vulnerabilidad del municipio ante la eventualidad de fenómenos naturales. En éste lugar del estado de Oaxaca existen riesgos sísmicos, por fallas y fracturas, deslizamientos, derrumbes, flujos de lodo y tierra, erosión laminar hídrica, por el paso de huracanes, ondas, heladas, fuertes vientos y sequías.

Las sequias, heladas y fuertes vientos son fenómenos de menor impacto; sin embargo, ameritan atención prioritaria en los escenarios de cambio climático, incluyendo el peligro por erosión hídrica laminar.

Fenómenos como los deslizamientos, derrumbes y flujos de lodo y tierra han ocasionado eventos catastróficos en el municipio. Esta situación se complica por las acciones de los habitantes, tales como, modificar la estructura del suelo durante los procesos de urbanización y el desarrollo de actividades agrícolas, obstruir y desviar el flujo natural de manantiales, corrientes perennes e intermitentes de agua y por el manejo inadecuado en la disposición final de aguas grises y negras.

La eventualidad de fenómenos naturales en el municipio implica tomar una serie de medidas, estructurales y no estructurales, y acciones concatenadas con el objetivo de atenuar la vulnerabilidad del municipio ante peligros geológicos e hidrometeorológicos. Una medida no estructural es el Atlas de Riesgos Municipal, que tiene como objetivo identificar e interpretar áreas de incidencia de riesgo por fenómenos naturales a fin de constituirse como la piedra angular para la gestión integral de riesgos en el municipio.

El Atlas de Riesgos de Santa María Tlahuitoltepec omite la identificación de fenómenos como tsunamis, erupciones y emisiones volcánicas, inundaciones, tormentas de granizo y eléctricas, nevadas y temperaturas máximas extremas. Ésta omisión obedece a razones como la ubicación geográfica del municipio respecto al mar, a volcanes activos en México y la región ventosa del estado de Oaxaca. En el Capítulo 5 se detallan las particularidades de esta situación.

La elaboración del Atlas de Riesgo tiene fundamentos jurídicos en la Ley de Protección Civil del estado de Oaxaca, Artículo 1 inciso III, que busca “los mecanismos para implementar las acciones de prevención […] para la salvaguarda de las personas, sus bienes, el entorno y el funcionamiento de los servicios vitales y sistemas estratégicos en los casos de emergencia y desastres”, para tal efecto, el Artículo 4 de esta misma ley, mandata al Sistema Estatal de Protección Civil contar con un Altas de Riesgo, y de acuerdo con el Artículo 19 inciso VII los Ayuntamientos deben colaborar en la realización del Atlas de Riesgo de tal forma que se puedan “identificar los tipos de riesgos a los que están expuestos los servicios vitales, sistemas estratégicos, las personas, sus bienes y entornos” (Ley de Protección Civil, 1999).

Además, en el Plan Estatal de Desarrollo de Oaxaca 2011-2016, en la Línea de Acción 1, contempla la “prevención de desastres” en la planeación urbana y territorial, Estrategia 2.1 - apartado de Ordenamiento Territorial e Infraestructuras (Gobierno del Estado de Oaxaca, 2011). En este sentido, el municipio, a través de su Plan de Desarrollo Rural Sustentable 2010, contempla el apoyo de “toda iniciativa que valore y favorezca la práctica de mejoramiento del medio ambiente”, Estrategia 1 para el Desarrollo Físico-Ambiental (Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable, 2010).

1.2 *Jëpkäjpxën* / Antecedentes

En el origen de Santa María Tlahuitoltepec los habitantes de la agencia municipal Santa María Yacochi y la cabecera municipal alguna vez se establecieron como un solo pueblo; con el paso del tiempo, la escases de tierras de cultivo y la degradación del suelo motivó la fractura social, de aquí que algunos habitantes buscaran otras tierras que les brindara mejores condiciones de vivienda y tierras de labor. Éstos individuos se establecieron al principio en el lugar llamado Tsajptëjkupäjkp (en la cima de la Casa Sagrada), cerca del Cerro Kumxënä’m (en el Lugar de la Flecha del Sol); sin embargo, no fue el lugar apropiado para sus necesidades. En la cima de la Casa Sagrada se comenzó a evidenciar la escasez de agua, la incidencia de fuertes vientos y tormentas eléctricas, que finalmente obligo a los pobladores a establecerse en lo que hoy es la cabecera municipal de Santa María Tlahuitoltepec, rodeados por el cerro sagrado Cempoaltépetl.

Es indudable que la distribución y el asentamiento de las comunidades en la Sierra Ayuujk, como en Santa María Tlahuitoltepec, están en función a la disponibilidad y productividad de las tierras de labor así como de la cosmovisión ante las principales elevaciones de la sierra tales como el cerro Cempoaltépetl (Li’pyxyukp) y La Mujer Dormida (Taxujtskojpk).

Por otro lado, lejos de la concepción espiritual sobre el origen y ubicación de Santa María Tlahuitoltepec, en el municipio han ocurrido desastres a causa de la eventualidad de fenómenos naturales (

Cuadro 1), es decir, que éstos fenómenos en simbiosis a las condiciones locales de usos y tipos de suelo, cobertura vegetal, geología, pendientes del terreno y entre otros son causa de peligro (Cuadro 2), que como consecuencia han provocado cuantiosos daños materiales a la infraestructura local, la pérdida de casas habitación, edificios públicos, caminos, puentes peatonales, zonas de cultivo e incluso vidas humanas (Salo *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Cronología de la ocurrencia de fenómenos naturales en Santa María Tlahuitoltepec.

Año	Fenómeno	Consecuencias
1931	Sismo. Intensidad: 6 grados en la escala de Mercalli; epicentro: Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.	Agrietamientos en la cabecera municipal. El sismo afecto a los estados de Oaxaca, Puebla, Guerrero, Tlaxcala, Veracruz, Estado de México, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tabasco, Campeche, Chiapas y el Distrito Federal.
1940	Deslizamientos, flujos de lodo y tierra	Se perdieron cultivos agrícolas.
1940 - 1950†	Nevada	Dañó a la vegetación natural y a los cultivos agrícolas del centro de Santa María Tlahuitoltepec.
1945	Sequía	Ocurrieron incendios forestales en las localidades de Santa María Alotepec, Santiago Atitlán Santiago Zacatepec, Santa María Yacochi y Santa María Tlahuitoltepec.
1956†	Sismo	Agrietamiento en la infraestructura local de la cabecera municipal.

Año	Fenómeno	Consecuencias
1970	Onda tropical	Ocurrieron agrietamientos, deslizamientos en laderas y flujos de lodo y tierra.
1982	Erupción volcánica (El Chichonál)	En el municipio se encontraron remanentes de las cenizas que expulso el volcán.
1988	Sequía	Ocurrió un incendio que consumió parte del bosque de los municipios de Santa María Tlahuitoltepec, Santiago Atitlán y Santiago Zacatepec.
2005	Flujos de lodo	Daños a casas habitación cercas al fenómeno, y en áreas de cultivo.
2010	Deslizamientos, flujos de lodo y tierra	Daños en la infraestructura local de la cabecera municipal. Además, ocurrió la inevitable pérdida de 11 vidas humanas.

Fuente: Atlas Estatal de Riesgos (2003), Vázquez (2011).

† Entrevistas realizadas a los habitantes de la cabecera municipal de Santa María Tlahuitoltepec.

Cuadro 2. Grado de peligro de los fenómenos incidentes en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

Origen	Fenómeno	Peligro
Geológico	Fallas y Fracturas	Medio
	Sismos	Medio
	Deslizamientos	Muy Alto
	Derrumbes	Muy Bajo
	Flujos	Muy Alto
Hidrometeorológico	Erosión hídrica	Medio
	Ciclones	Medio
	Heladas	Alto

1.3 Objetivos

Objetivo general

Identificar e interpretar áreas de incidencia de riesgo por fenómenos naturales para establecer estrategias de prevención de desastres a través de un Atlas de Riesgos para el municipio de Santa María Tlahuitoltepec, Mixe, Oaxaca.

Objetivos específicos

- Describir las condiciones físicas y socioeconómicas del municipio.
- Zonificar los peligros, identificarlos e interpretarlos en relación a los diferentes niveles de riesgo propuestos por SEDESOL.
- Proponer estrategias de acción para la prevención de desastres.

1.4 *Määpäät* / Alcances

El Atlas de Riesgos Municipal, más allá de proporcionar información sobre los riesgos ante peligros naturales (geológicos e hidrometeorológicos) y su magnitud en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec, proporciona un sustento metodológico para fundamentar estrategias y líneas de acción para la prevención, reducción y mitigación de desastres.

Esta herramienta metodológica es la piedra angular en los procesos de ordenamiento y crecimiento de los asentamientos humanos, las actividades productivas y las vías de comunicación. Es decir, con base en la zonificación de riesgos naturales, se puede hacer un análisis temporal y espacial de amenazas a fin fomentar la planeación en el desarrollo local con énfasis en la prevención.

1.5 *Kutyuunën* / Metodología general

El análisis de los peligros en el Atlas de Riesgo Municipal contempla como insumos: información cartográfica en formato vectorial (.shp) y raster (.bil, .tiff, .jpg), trabajo de campo y análisis de los datos obtenidos e investigación bibliográfica. La información cartográfica se obtuvo a través de una recopilación de información disponible del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), esta información es vectorial y alfanumérica de temas como topografía, uso del suelo y vegetación, climas, edafología, geología, hidrología y vías de comunicación, también de las áreas geoestadísticas municipales, áreas geoestadísticas básicas rurales, y localidades del país; del modelo digital de elevación se derivaron las curvas de nivel. Del Servicio Geológico Mexicano se obtuvo información digital de la geología del municipio (Carta E14D49). La gestión de los datos cartográficos se efectuó mediante el uso de un sistema de información geográfica con el objeto de generar mapas temáticos en formato vectorial (.shp), Keyhole Markup Zip (.kmz) e impresos. Las subcuencas se obtuvieron del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) de INEGI. Esta información es la base para el procesamiento cartográfico de la descripción física; además, del Sistema Nacional de Información Municipal - Instituto Nacional para el Federalismo (SNIM - INAFED) se procesaron datos de la descripción socioeconómica de Santa María Tlahuitoltepec. En el proceso digital de la información cartográfica digital se siguieron los lineamientos de la Base para la estandarización en la elaboración de Atlas de Riesgo y Catálogo de datos geográficos para representar el riesgo. El sistema de proyección cartográfica que se usa es Cónica Conforme de Lambert, Datum ITRF92. La escala de trabajo es 1: 50 000.

En colaboración, el Honorable Ayuntamiento Municipal de Santa María Tlahuitoltepec proporcionó algunos datos con relación a desastres naturales ocurridos en el municipio y de las acciones que han realizado ante estas situaciones. También, facilitó el Plan de Desarrollo Municipal 2011 y el Plan Municipal de Desarrollo Sustentable de 2005.

La descripción histórica, biofísica y socioeconómica del municipio se realizó con base en una revisión bibliográfica en bibliotecas de la capital del estado de Oaxaca tales como el Instituto Welte, la Casa de la Ciudad, CIESAS-Oaxaca, el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, la biblioteca local Konk Ëy, el Archivo Histórico del estado de Oaxaca y en la hemeroteca pública Néstor Sánchez Hernández de Oaxaca.

Posterior a la revisión bibliográfica; se practicó un ejercicio sistemático de identificación de peligros por fenómenos naturales (geológicos e hidrometeorológicos), considerando su periodicidad, área de ocurrencia y grados de impacto, con base en la clasificación de la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL, 2011) que considera:

a. Perturbadores de origen geológico: fallas y fracturas, sismos, tsunamis, vulcanismo, deslizamientos, derrumbes, flujos, hundimientos y erosión.

b. Perturbadores de origen hidrometeorológico: ciclones, huracanes, ondas tropicales, tormentas eléctricas, sequías, temperaturas máximas extremas, vientos fuertes, inundaciones y masas de aire (heladas, granizo, nevadas).

El Atlas de Riesgos contempla cuatro niveles de estudio (nacional, estatal, municipal y área geoestadística básica - AGEB) definidos por el grado de peligro, las características físicas y sociales del municipio. De los fenómenos hidrometereológicos se analizaron a nivel nacional los fenómenos de sequias, temperaturas máximas extremas, vientos fuertes e inundaciones; a escala estatal huracanes, ondas tropicales y tormentas eléctricas. De los geológicos se analizaron a nivel nacional sismos; a nivel estatal tsunamis, derrumbes y hundimientos; a nivel municipal fallas y fracturas, sismos y erosión; a nivel de AGEB deslizamientos y flujos.

A través del estudio y análisis de estos factores de peligro y con base en la información histórica de desastres naturales, las condiciones fisiográficas y socioeconómicas del municipio y los estudios en campo se identificaron zonas de riesgo por fenómenos naturales en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec, Mixe, Oaxaca. Finalmente, se plantearon propuestas para la prevención, reducción y mitigación de desastres.

La identificación de riesgos, producción cartográfica y la elaboración de este documento está en sintonía con los lineamientos de la Guía para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (CENAPRED, 2004), presentada en las Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 2011).

1.6 Contenido del Altas de Riesgo

El cuerpo del Atlas de Riesgo Municipal de Santa María Tlahuitoltepec se integra por Cinco Capítulos. El Capítulo I, de antecedentes e introducción, es una síntesis histórica del origen social del municipio y de los eventos desastres que han ocurrido en su territorio, en este mismo apartado se enlistan los objetivos general y específicos que en síntesis pretenden la identificación e interpretación de aquellas áreas en riesgo por fenómenos naturales que inciden en el municipio a fin de plantear propuestas que coadyuven en los procesos de planeación para el crecimiento urbano y prevención de desastres en función de la zonificación de riesgos que más atañen la calidad de vida de los habitantes.

El Capítulo II y III, Determinación de la Zona de Estudio y Descripción de los Elementos del Medio Natural, respectivamente, nos ubican geográficamente en la zona de estudio y es una sinopsis de elementos fisiográficos, geológicos, geomorfológicos, edafológicos, hidrológicos, climas, uso de suelo y vegetación, y áreas naturales protegidas propios de la zona de estudio.

El Capítulo IV, Descripción de los Elementos Sociales, Económicos y Demográficos, es una síntesis de indicadores tales como la dinámica y distribución de la población, la composición piramidal de edades, la tasa de mortalidad y densidad de población, también de algunos indicadores que hacen hincapié en la calidad de vida de los pobladores como el índice de desarrollo humano e índice de marginación, el grado de escolaridad, hacinamiento y discapacidad. Finalmente se describen las principales actividades productivas en las que se ocupa la población local así como las obras de infraestructura pública y otros.

En el Capítulo V, Identificación de Riesgos, Peligros y Vulnerabilidad ante Fenómenos Perturbadores de Origen Natural, se analizan cada uno de los factores de riesgo que afectan a Santa María Tlahuitoltepec. Éste análisis se divide en dos grandes apartados de acuerdo al origen del riesgo: geológicos e hidrometeorológicos. En el primer apartado se desglosan las particularidades de los fenómenos sísmicos, inestabilidad de laderas, fallas y fracturas, tsunamis, deslizamientos, vulcanismo, flujos, derrumbes, hundimientos y erosión. En el segundo apartado se desglosan fenómenos de origen hidrometeorológico tales como los ciclones, tormentas tropicales, sequias, temperaturas máximas extremas, vientos fuertes, inundaciones y masas de aire.

Capítulo II

Determinación de la zona de estudio

CAPÍTULO II. Determinación de la zona de estudio

2.1 Determinación de la zona de estudio

La elaboración del Atlas de Riesgos contempla cuatro niveles de estudio según las características físicas y sociales del municipio, agrupando los peligros en dos categorías principales: hidrometeorológicos y geológicos.

Hidrometeorológicos. En esta categoría, los fenómenos que no afectan al municipio y sus proximidades se trabajaron a nivel nacional (sequias, temperaturas máximas extremas, vientos fuertes e inundaciones); a nivel estatal se trabajaron huracanes, ondas tropicales y tormentas eléctricas.

Geológicos. Ésta categoría es la de mayor interés dadas las condiciones orográficas del municipio, por lo que se trabajaron cuatro niveles de análisis. Los siguientes fenómenos, tsunamis, derrumbes y hundimientos, se atendieron a nivel estatal; fallas y fracturas, sismos y erosión, se abordaron a nivel municipal; sin embargo, los movimientos de masas se atendieron a nivel AGEB por su alta incidencia y peligrosidad en el municipio. El vulcanismo se trabajó a nivel nacional ya que no existen volcanes activos en el estado.

Cada peligro se trabajó según la intensidad con la que incide en el municipio; dando como resultado diferentes niveles de análisis (Cuadro 3) según la metodología estandarizada por la SEDESOL.

Cuadro 3. Nivel de análisis, de los fenómenos abordados en el Atlas de Riesgos Naturales de Santa María Tlahuitoltepec, bajo estándares de la SEDESOL.

Fenómeno	Grado de afectación	Nivel de análisis
Fallas y fracturas	Medio	2
Sismos	Medio	3
Vulcanismo	Nulo	1
Tsunamis o maremotos	Nulo	1
Deslizamientos	Muy alto	5
Derrumbes	Muy Bajo	3
Flujos	Muy alto	2
Erosión hídrica	Medio	2
Huracanes	Medio	1
Heladas	Alto	3
Sequias	Nulo	1

Ubicación de la zona de estudio. Santa María Tlahuitoltepec se ubica geográficamente entre los paralelos 17° 03’ y 17° 12’ de latitud norte y los meridianos 95° 58’ y 96° 10’ de longitud oeste, a una altitud que oscila entre 1000 y 3400 m. Pertenece a al distrito Mixe (Figura 1), ubicado dentro de la región Sierra Norte. Colinda al norte con los municipios de Mixistlán de la Reforma y Totontepec Villa de Morelos; al este con el municipio de Santiago Atitlán; al sur con los municipios de Tamazulapam del Espíritu Santo y San Pedro y San Pablo Ayutla; al oeste con el municipio de San Pedro y San Pablo Ayutla y Mixistlán de la Reforma (Figura 2). Cuenta con una superficie total de 153.57 km^2, es decir, el 0.14% de la superficie del estado de Oaxaca (INEGI, 2008). Cuenta con 36 localidades y una población 9663 habitantes (INEGI, 2011).

La vía de acceso principal al municipio es la Carretera 179 que conecta a la ciudad de Oaxaca de Juárez con San Pablo Villa de Mitla, San Pedro y San Pablo Ayutla, Tamazulapam del Espíritu Santo, Santa María Tlahuitoltepec, Totontepec Villa de Morelos, y Santiago Zacatepec. El recorrido de la capital a la cabecera municipal es de aproximadamente 123 km en un tiempo de 3 h. No menos importante es la carretera de terracería intermunicipal Santiago Atitlán (Mixe) – Santiago Xochiapa (Veracruz).

Las principales elevaciones del municipio son los cerros Cempoaltépetl (3280 msnm), Juquila (2210 msnm), Esquipulas (2230 msnm), Chuparrosa (2800 msnm) y el cerro Pelón (2960 msnm). Por otro lado los ríos Santa Ana y Palomo son los efluentes principales que atraviesan por el municipio.

La cabecera del municipio de Santa María Tlahuitoltepec es la localidad con mayor extensión territorial y número de habitantes. En segundo lugar está la localidad de Santa María Yacochi, ubicada al norte de la cabecera municipal.

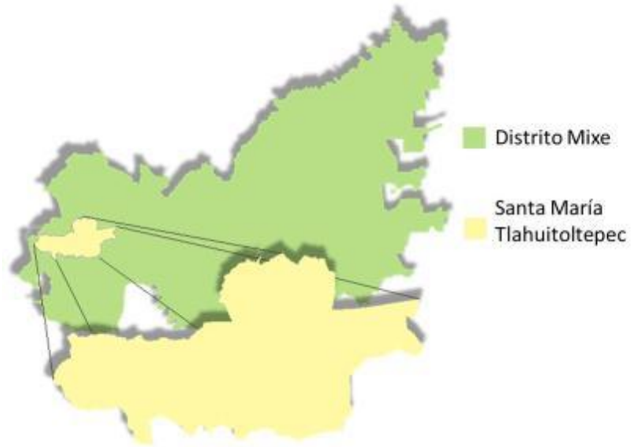


Figura 1. Ubicación de Santa María Tlahuitoltepec en el distrito Mixe.

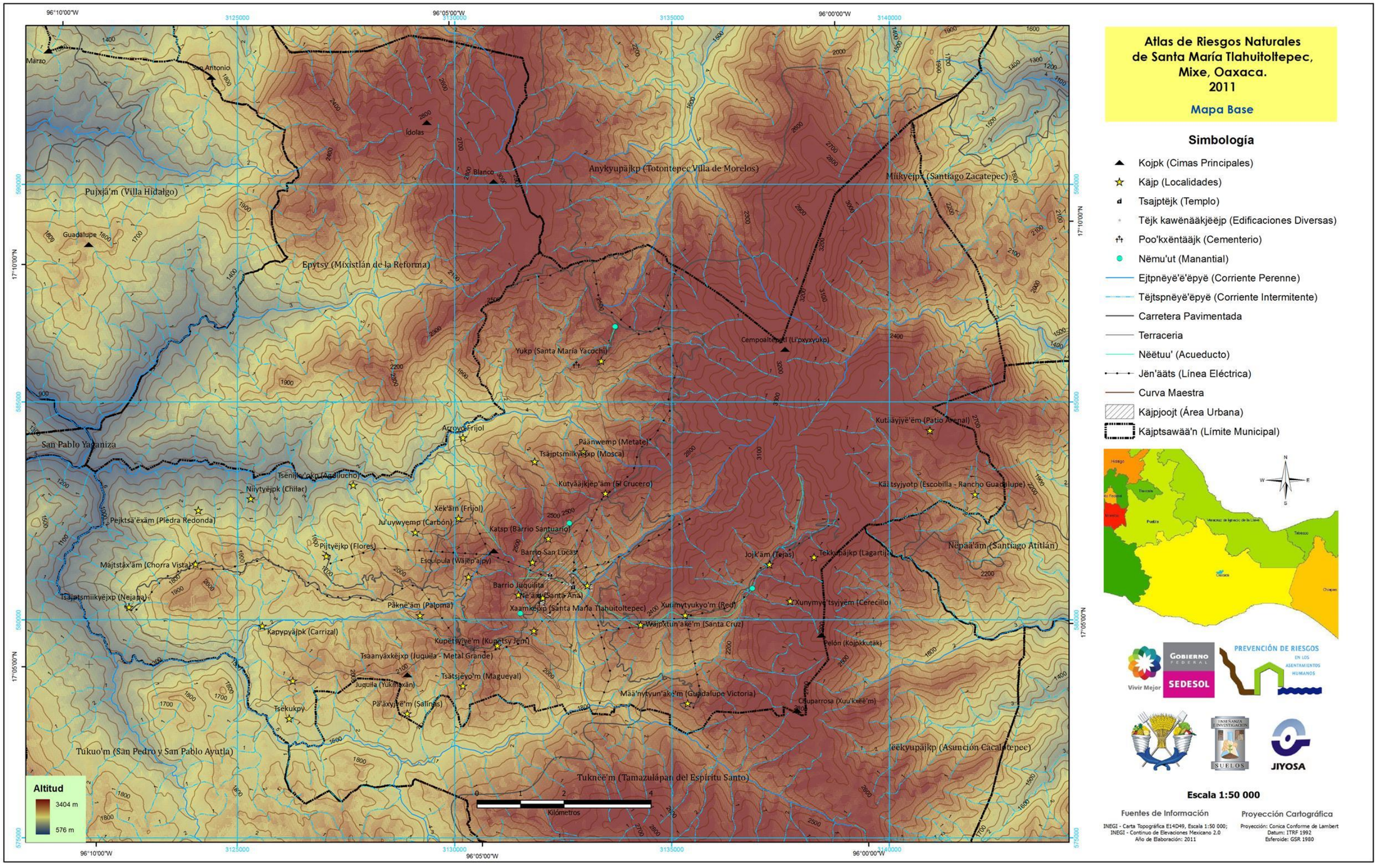


Figura 2. Mapa Base de Santa María Tlahuitoltepec.

Capítulo III

Descripción de los elementos del medio natural

CAPÍTULO III. Descripción de los elementos del medio natural

3.1 Fisiografía

El municipio de Santa María Tlahuitoltepec pertenece a la subprovincia Tierras Altas de Oaxaca, en dirección norte-sur, que pertenece a la provincia Sierra Madre del Sur (INEGI, 2011). Sin embargo, los resultados de una clasificación realizada a nivel de sistemas por el presente estudio (Figura 3), arrojó 27 sistemas terrestres (Cuadro 4), ladera interfluvial disectada por corrientes; lomeríos ondulados disectados por corrientes; montaña alargada con laderas cóncavas; ladera en bloques con drenaje paralelo; montaña alta circular; montaña alta alargada con laderas disectadas; montaña con lomeríos redondeados disectados; montaña con laderas estrechas; barranca con declives abiertos; ladera amplia con lomeríos ondulados; ladera disectada por barrancas y llanura intermontana; ladera con barrancas y declive escarpado; ladera disectada por corrientes y lomeríos redondeados (Figura 4); barranca con laderas escarpadas y lomeríos cerrados; ladera disectada por barranca; montaña con pendiente convexa; ladera convexa con lomeríos tendidos; barranca con laderas escalonadas y lomeríos redondeados; barranca alargada escalonada con laderas amplias; ladera alargada disectada por barrancas escalonadas; sierra escarpada disectada por barrancas; barranca pequeña con laderas tendidas; ladera escarpada; barranca con laderas escarpadas; ladera escarpada con lomeríos disectados por corrientes; ladera con lomeríos disectados por corrientes y ladera cóncava (Figura 5).

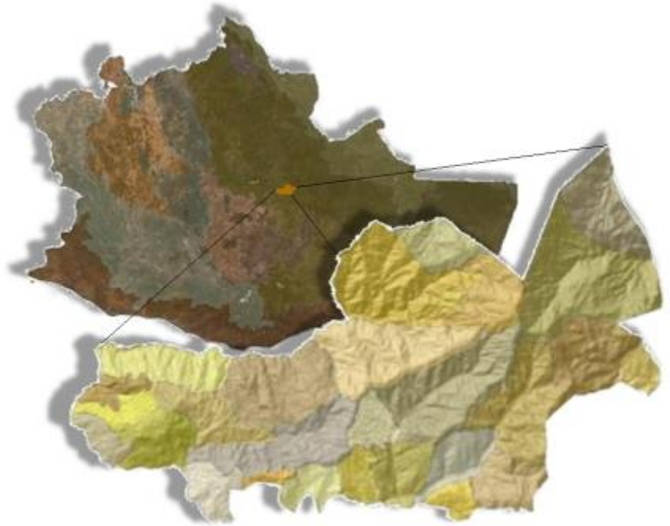


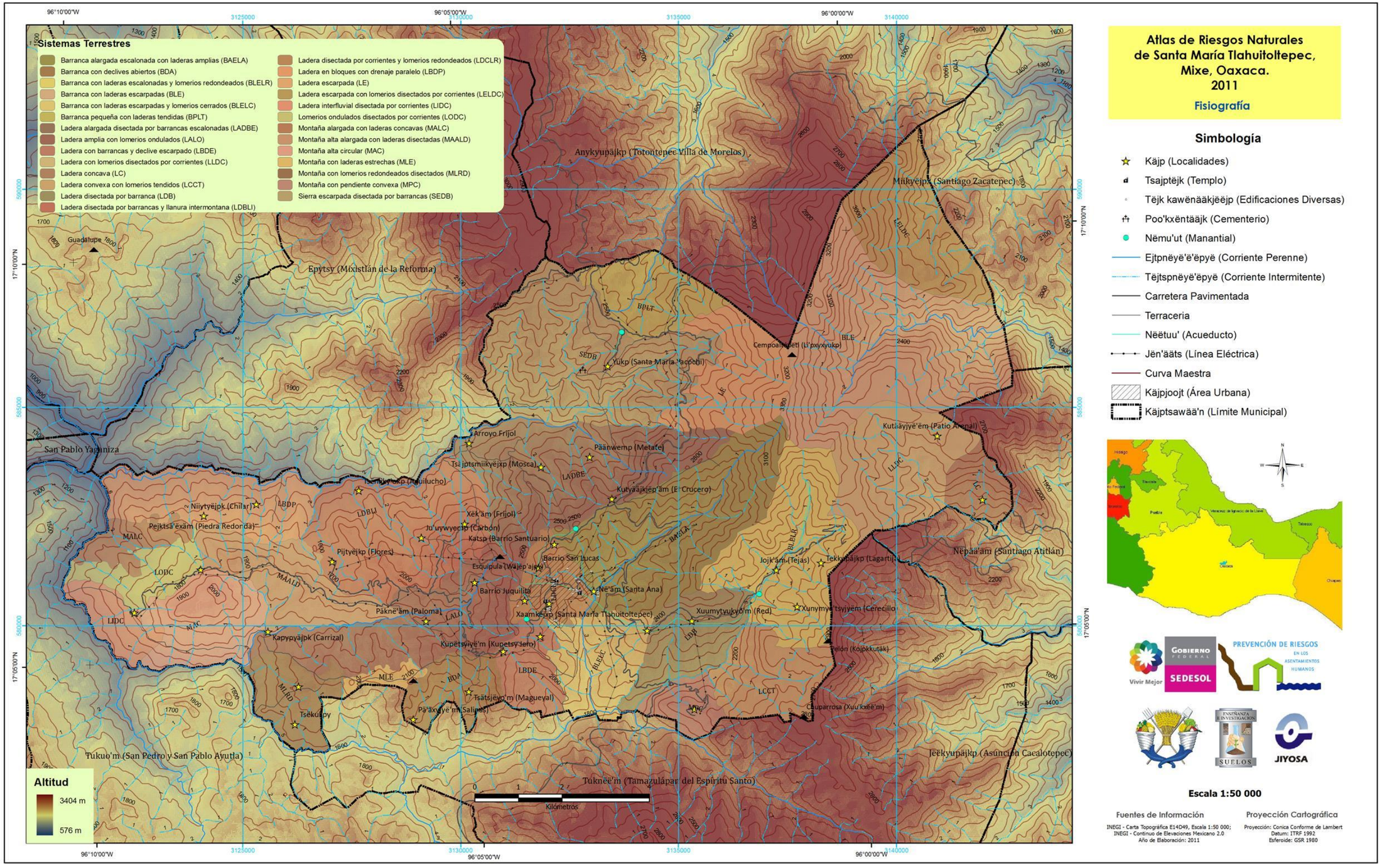
Figura 3. Clasificación de los sistemas terrestres de Santa María Tlahuitoltepec.

Figura 4. Fisiografía general de la cabecera municipal, ladera disectada por corrientes y lomeríos redondeados, 2011. **Foto:** C.A.F.

Cuadro 4. Clasificación de sistemas terrestres en Santa María Tlahuitoltepec.

Sistema terrestre	Forma	Roca	Suelo	US y V	Altitud (m)	H	P
Ladera interfluvial disectada por corrientes	Ladera interfluvial	CE y AC	Lu	AT y BPE	1000 a 2000	SD tp	800 a 1200
Lomeríos ondulados disectados por corrientes	Lomeríos ondulados	CE y AC	Lu	AT y Bpe	1000 a 1500	SD tp y d	800 a 1200
Montaña alargada con laderas cóncavas	Montaña	CE	Lu	AT y Bpe	1000 a 1500	SD tp	800 a 1200
Ladera en bloques con drenaje paralelo	Bloques y valles paralelos	CE	Lu	AT y Bpe	1000 a 1500	SD tp	800 a 1200
Montana alta circular	Montana con pendientes suaves	AC	Lu	AT y Bpe	1000 a 1500	SD (d)	800 a 1200
Montana alta alargada con laderas disectadas	Montana alargada	TA y A	Lu	Vs, BPE y AT	1000 a 2000	SD tp	800 a 1200
Montana con lomeríos redondeados disectados	Montaña	AC	Ac	AT y Bpe	1000 a 2000	SD tr	800 a 1200
Montana con laderas estrechas	Montana alargada	TA y A	Ac	AT y Bpe	1500 a 2000	SD tp	800 a 1200
Barranca con declives abierto	Barranca	TA y A	Ac	AT y Bpe	1500 a 2500	SR tp	1200 a 1500
Ladera amplia con lomeríos ondulados	Ladera, lomeríos.	TA y A; CE	Lu	VS y BPE	1500 a 2500	SD tpi	800 a 1200
Ladera disectada por barrancas y llanura intermontana	Ladera, barrancas	CE	Lu	Vs, BPE y AT	1500 a 2500	SD tpi	1200 a 1500
Ladera con barrancas y declive escarpado	Barranca	TA y A	Ac	AT y Bpe	1500 a 2500	SD tp	1200 a 1500
Ladera disectada por corrientes y lomeríos redondeados	Ladera convexa	TA y A; AC	Ac	AT, Vs y BPE	2000 a 2500	SD tp	1200 a 1500
Barranca con laderas escarpadas y lomeríos cerrados	Barranca	CE, AC y G	Ac	AT, Vs y BPE	1500 a 2500	SD tp	1200 a 1500
Ladera disectada por barranca	Ladera cóncava	CA; CE; TA y A	Ac	AT	2000 a 2500	SD tp	1200 a 1500
Montaña con pendiente convexa	Montaña con pendiente convexa	AC; CE	Ac	AT y Bpe	2000 a 3000	SD tr	1200 a 1500
Ladera convexa con lomeríos tendidos	Ladera convexa.	AC; TA y A	Le	Bm y AT	2500 a 3000	SD tp	1200 a 2000
Barranca con laderas escalonadas y lomeríos redondeados	Barranca	TA y A; AC	Le y Ac	AT y BM	2500 a 3000	SD tp	1200 a 2000
Barranca alargada escalonada con laderas amplias	Barranca	TA y A; AC	Ac y Le	Bm y AT	2000 a 3000	SD td	1200 a 1500
Ladera alargada disectada por barrancas escalonadas	Ladera cóncava	TA y A; AC	Lu	Bpe y Bm	2000 a 2500	SD tp	1500 a 2000
Sierra escarpada disectada por barrancas	Barranca	TA y A; AC	Lu	Bm y Bpe	2000 a 2500	SD td	1200 a 1500
Barranca pequeña con laderas tendidas	Barranca	TA y A	Le	BM y Bm	2000 a 2500	SD td	1200 a 1500
Ladera escarpada	Ladera	TA y A	Le y Lu	BM y Bm	2500 a 3000	SD tp	1200 a 1500
Barranca con laderas escarpadas	Barranca	TA y A	Lu y Le	Bm y P	2000 a 3000	SD td	1500 a 2000
Ladera escarpada con lomeríos disectados por corrientes	Lomeríos	TA y A	Lu y Le	Bm y Pi	2000 a 3000	SD td	1500 a 2000
Ladera con lomeríos disectados por corrientes	Ladera	TA y A	Lu y Le	AT y Bm	2000 a 2500	SD td	1500 a 2000
Ladera cóncava	Ladera con pendiente suave	TA y A	Lu	Vs y BM	2000 a 2500	SD tp	1500 a 2000

H: hidrología; P: precipitación; CE: cuarcito – esquisto; AC: arenizca – caliza; TA y A: toba andesítica – andesita; G: granodiorita; Lu: luvisol; Ac: Acrisol; Le: leptosol; AT: agricultura de temporal; BPE: bosque de pino – encino; Bpe: bosque secundario de pino – encino; Vs: vegetación secundaria; BM: bosque mesófilo; Bs: vegetación secundaria y bosque mesófilo; P: pastizal; Pi: pastizal inducido; SD (d): sitio donador sin drenaje evidente; SD td: sitio donador tipo dendrítico; SD tp: sitio donador tipo paralelo; SD tp y d: sitio donador tipo paralelo y dendrítico; SD tpi: sitio donador tipo parelelo intermitente; SD tr: sitio donador tipo radial; SR tp: sitio receptor tipo paralelo.



Atlas de Riesgos Naturales de Santa María Tlahuitoltepec, Mixe, Oaxaca. 2011

Fisiografía

Simbología

- Käjp (Localidades)
- Tsajptëjk (Templo)
- Tëjk kawënääkjëëjp (Edificaciones Diversas)
- Poo'kxëntääjk (Cementerio)
- Nëmu'ut (Manantial)
- Ejtpnëyë'ë'ëpyë (Corriente Perenne)
- Tëjtspnëyë'ëpyë (Corriente Intermitente)
- Carretera Pavimentada
- Terraceria
- Nëëtuu' (Acueducto)
- Jën'ääts (Línea Eléctrica)
- Curva Maestra
- Käjpjoojt (Área Urbana)
- Käjptsawää'n (Límite Municipal)

Gobierno Federal SEDESOL Vivir Mejor

Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos

ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN SUELOS

JIYOSA

Escala 1:50 000

Fuentes de Información

INEGI - Carta Topográfica E14D49, Escala 1:50 000;
INEGI - Continuo de Elevaciones Mexicano 2.0
Año de Elaboración: 2011

Proyección Cartográfica

Proyección: Conica Conforme de Lambert
Datum: ITRF 1992
Esferoide: GSR 1980

Figura 5. Mapa de Fisiografía de Santa María Tlahuitoltepec

JIYOSA

Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos

3.2 Geología

Santa María Tlahuitoltepec pertenece a la Provincia Geológica Cuicateca (Ortega *et al.*, 1991); la edad de la provincia data de la era mesozoica, es de origen volcanosedimentario y de un ambiente geotectónico arco-submarino (Instituto de Geología, 1992).

El municipio se localiza principalmente en las interfaces de rellenos formados por tobas andesíticas con predominio de suelos residuales y superficiales, alterados fuertemente por el intemperismo químico (Figura 6).La litología corresponde al siguiente tipo de rocas: ígneas (70.32%), sedimentarias (17.38%) y metamórficas (12.3%) (Figura 7). Las rocas ígneas extrusivas (andesita y toba ácida) datan del periodo terciario en la era cenozoica; las rocas sedimentarias (calizas) datan del periodo cretácico en la era mesozoica; las rocas metamórficas (esquistos) pertenecen a la misma era y periodo que las sedimentarias (SGM, 2004).

La unidad litológica más antigua es el Complejo Metamórfico Sierra de Juárez del Carbonifero-Pérmico que consiste en rocas metamórficas de bajo grado, en facies de esquistos verdes constituida principalmente por cuarcita, esquisto, filita y metacaliza. Al complejo metamórfico, en las porciones noroeste y noreste sobreyacen en discordancia rocas terrígenas compuestas por limolita, arenisca y lentes de conglomerado de la Formación Todos Santos de edad Jurásico Medio, ésta a su vez es sobreyacida por sedimentos constituidos por arenisca conglomerática, conglomerado de cuarzo, lutita, arenisca, caliza con pedernal y caliza masiva pertenecientes a la Formación Xonamanca de edad Berriasiano-Aptiano.

Por otra parte, en las porciones poniente sur y suroriental afloran depósitos de la cuenca de Oaxaca de la Formación Jaltepongo del Neocomiano-Aptiano que consisten en areniscas, lutita y escasos lentes de conglomerado y caliza. La relación entre estas dos últimas formaciones no es observable en el campo. Sobreyaciendo a la Formación Jaltepetongo, de manera concordante y transicional aflora caliza con nódulos de pedernal de la Formación Yushé de edad Albiano-Cenomaniano. Durante el Paleoceno-Eoceno se depositan conglomerados polimíctico y arenisca correspondiente a la Formación Tamazulapan. De manera discordante sobre las formaciones mencionadas se presenta una secuencia volcánica constituida por andesita, dacita, toba y brecha de composición andesítica y dacítica perteneciente a la Formación Laollaga de edad Mioceno Inferior, sobreyaciendo concordantemente a la Formación Laollaga aflora riolita y toba riolítica del Mioceno medio a superior. Relacionados con esta serie volcánica e intrusionando a las unidades anteriores se tienen hipabisales tipo pórfido andesítico así como intrusivos de composición granodiorítica con diferenciación magmática a tonalita, de edad Mioceno medio. Del pleistoceno se tienen depósitos de travertino. La columna superficial más reciente (travertino) se encuentra compuesta por calizas formadas por agua dulce en manantiales y fuentes termales, esto es, se forman por precipitación de calcita en cursos de agua, fuentes y manantiales, son porosas y contienen restos de plantas.

Figura 6. Resultado de procesos de intemperización en rocas de Santa María Tlahuitoltepec.

3.3 Geomorfología

La geoforma básica del municipio de Santa María Tlahuitoltepec es la Sierra Alta Compleja (Figura 7). Ésta geoforma cubre la mayor parte de la superficie del municipio (92.6%) y en menor proporción el Pie de Monte (1.8%), Lomeríos (2.3%) y pequeños Valles (3.3%). La altitud de estas geoformas va de los 1000 m hasta los 3400 m que es la elevación máxima en el cerro de Cempoaltépetl. La cabecera municipal se extiende sobre el flanco del cerro Yukpe'ejxki'py cuya cima se encuentra a los 2520 msnm en promedio, la zona habitada varía entre los 2200 a 2400 msnm con pendientes superiores a 19.3° (Martínez, 1995).

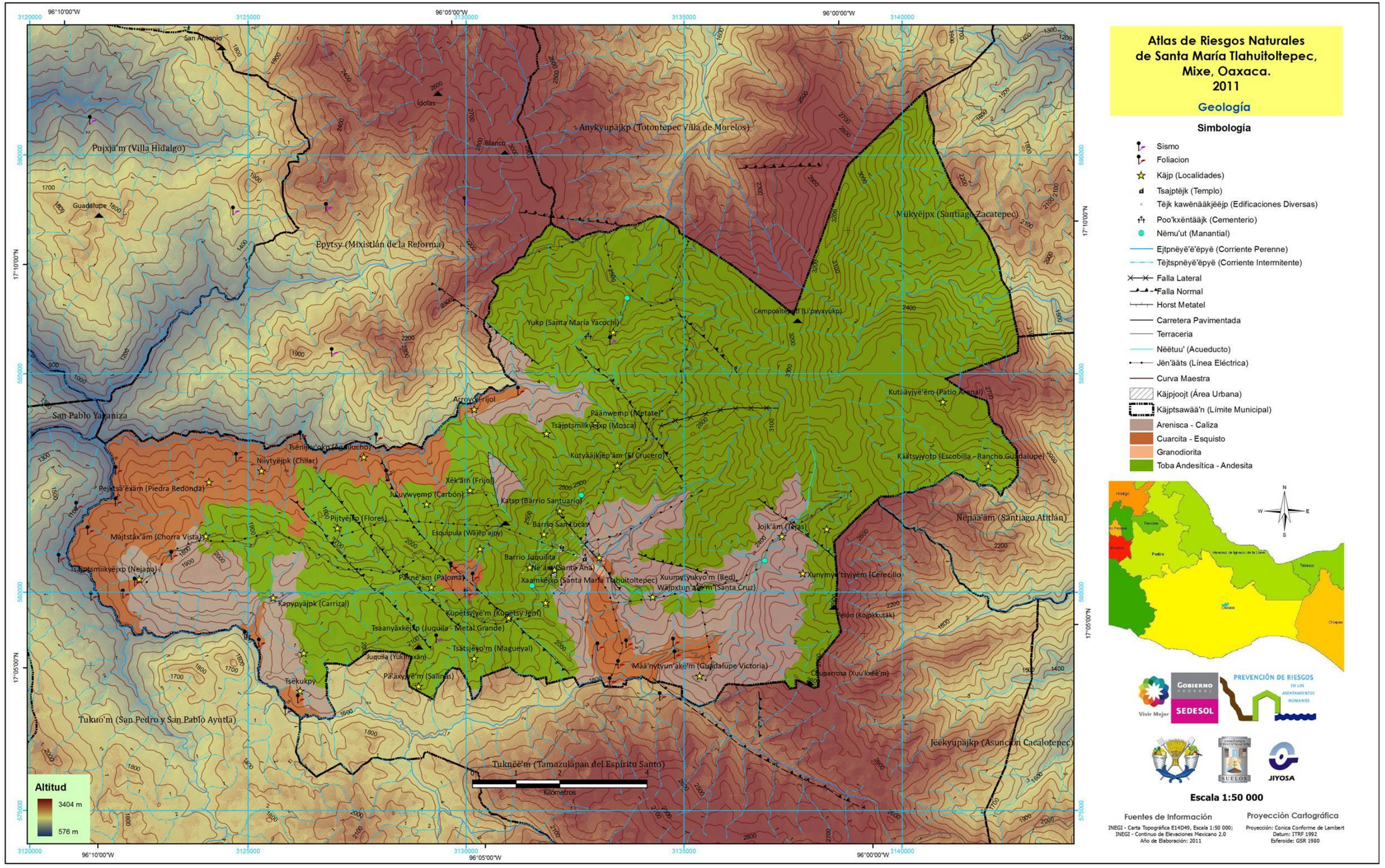


Figura 7. Mapa de Geología de Santa María Tlahuitoltepec.

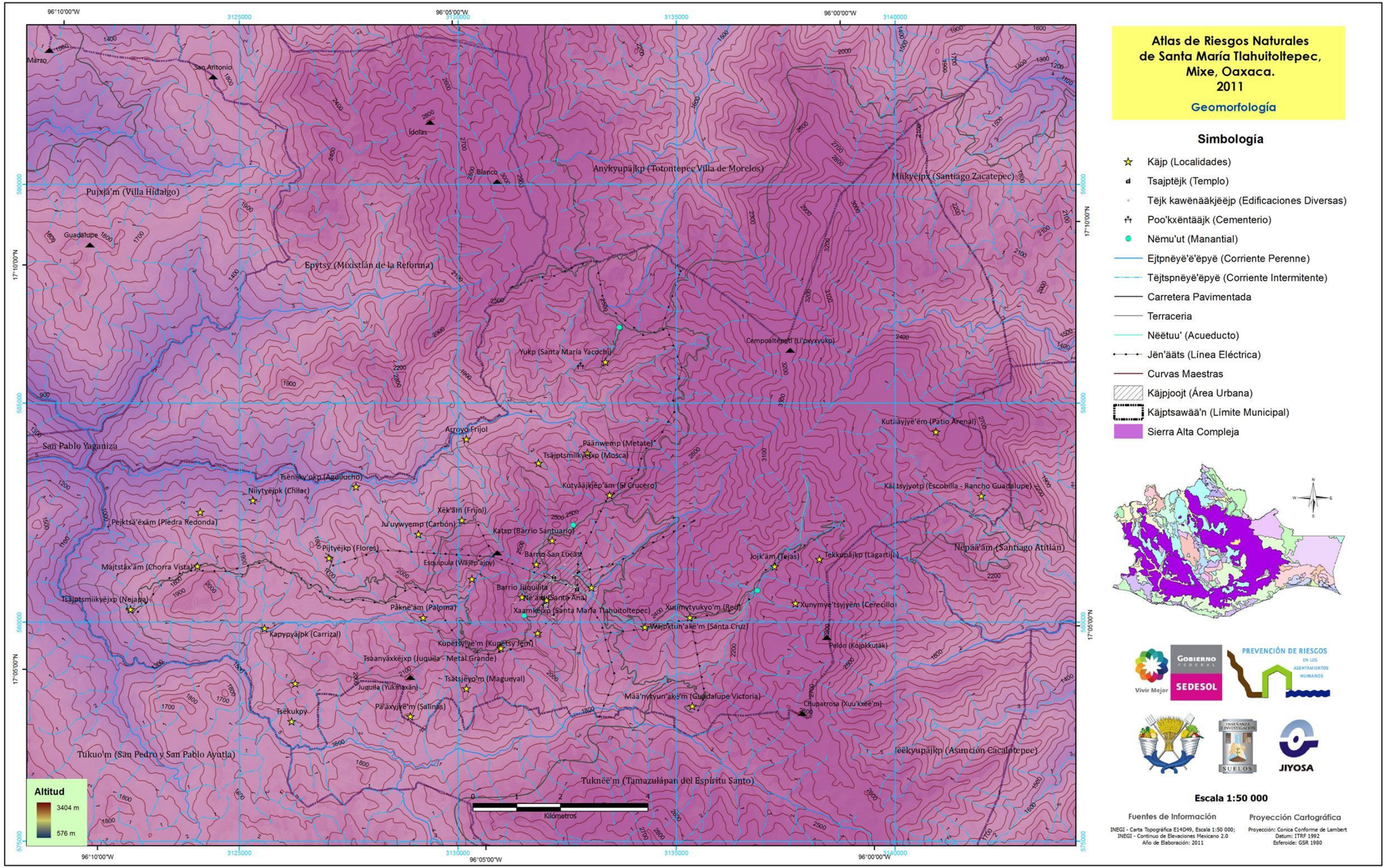


Figura 8. Mapa de Geomorfología de Santa María Tlahuitoltepec.

3.4 Edafología

Utilizando el procedimiento reglamentado en la norma oficial Mexicana, NOM-023-RECNAT-2011; que establece las especificaciones técnicas sobre la descripción cartográfica y clasificación en la elaboración de inventarios de suelos (Figura 9); obteniéndose cuatro grupos de suelos en el municipio (Cuadro 5).

Figura 9. Perfil 3, Las Flores (FL).

Cuadro 5. Unidades de suelo encontradas en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

Grupo	Área (ha)	Superficie (%)
Leptosol Hístico	4365.35	28.48
Luvisol Háplico	5539.03	36.14
Acrisol Háplico	2581.4	16.84
Leptosol Úmbrico	2842.36	18.54
Total	15328.14	100

De acuerdo con los objetivos del estudio y la metodología para un levantamiento detallado de suelos se usó la Serie de Suelos como unidad cartográfica, la cual distingue características y propiedades de los suelos que determinan diferentes técnicas de manejo y respuestas a impactos ambientales. El estudio realizado arrojó cinco series; sin embargo, tres son las más extensas y concentran el 75% de la superficie bajo estudio (Cuadro 6).

Cuadro 6. Superficie por serie de suelos según el levantamiento agrológico del municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

Clave	Serie de suelos	Superficie		Perfil representativo
		ha	%	
MY	Santa María Yacochi	4366.08	28.48	1
BS	Barrio Santuario	2581.77	16.84	2
FL	Las Flores	2843.04	18.55	3
LT	Laguna-Tejas	4544.27	29.65	6
NJ	Nejapa	993.00	6.48	7
	Total	**15328.15**	**100.00**	

Con las series de suelos obtenidas en el esquema de clasificación FAO/Unesco/ISSRIC (2006) (Figura 10) se elaboró un mapa de edafología a mayor precisión (1:30 000), información determinante en el cálculo del índice de inestabilidad de laderas (Figura 11).

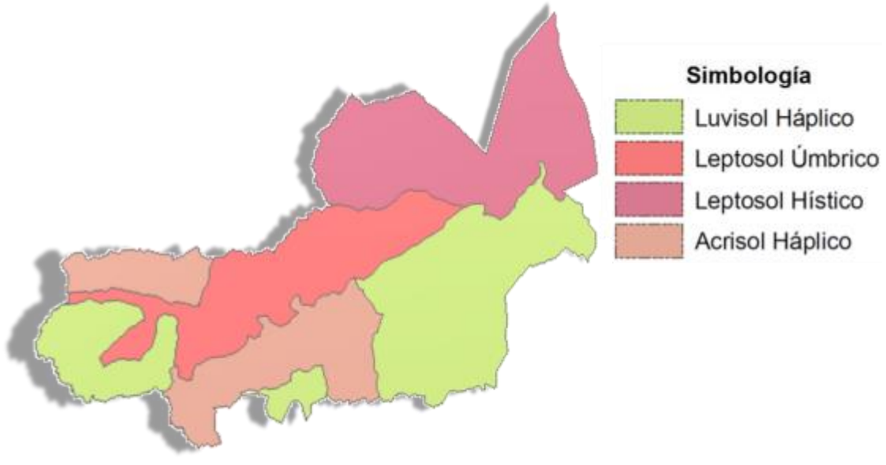


Figura 10. Distribución de las series de suelos en Santa María Tlahuitoltepec.

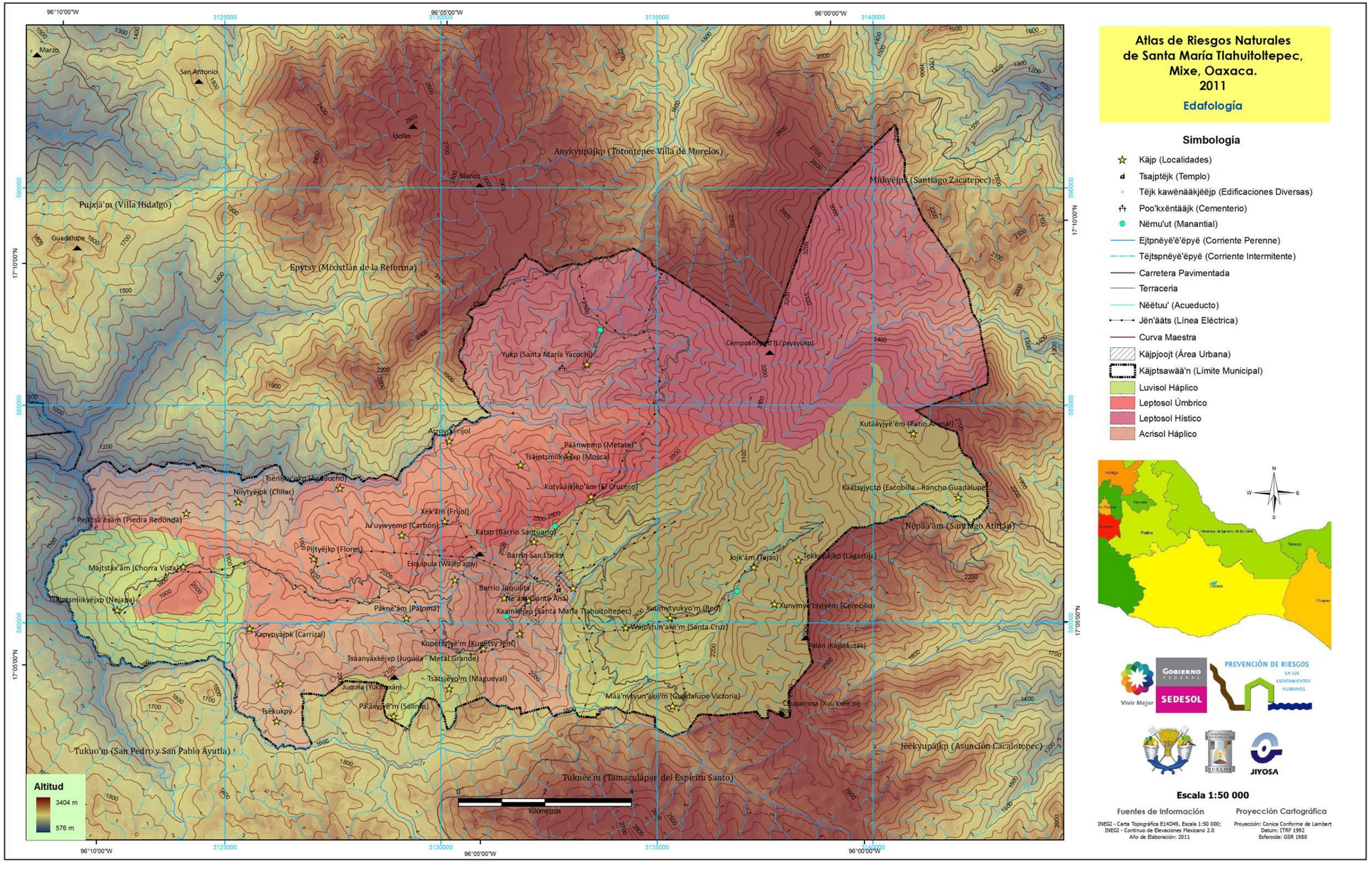


Figura 11. Mapa de Edafología de Santa María Tlahuitoltepec.

Así mismo, se realizó la clasificación de las series con el sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en su onceava (Cuadro 7).

Cuadro 7. Clasificación de series de suelo para el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

ID	Serie	Perfil	USDA (2010)	FAO (2006)
MY	Santa María Yacochi	1	Typic Ustorthents	Leptosol Hístico (Hiperesquelético) LPhkhu
BS	Barrio Santuario	2	Typic Haplustults	Acrisol Háplico (Crómico) AChacr
FL	Las Flores	3	Typic Humustepts	Leptosol Úmbrico (Esquelético) LPumk
LT	Laguna-Tejas	6	Typic Haplustalf	Luvisol Háplico (Arcillico) LVhace
NJ	Nejapa	7	Typic Haplustalf	Luvisol Háplico (Arcillico) LVhace

Serie Santa María Yacochi (MY)

Los suelos de esta serie ocupan aproximadamente el 30% del área de estudio y se caracterizan por presentar rocosidad en su superficie y a lo largo del perfil de suelo, y en horizontes existe gran cantidad de grava y/o roca. El color característico del primer horizonte cambia drásticamente con respecto a la segunda capa, debido a la acumulación de materia orgánica, presentando el segundo horizonte un color más tenue dentro del perfil, el cual entra dentro del grupo de los 2.5 Y (Pardos claros).

Estos suelos presentan poca profundidad antes de llegar al horizonte C (Cuadro 8), caracterizado por presentar fragmentos de roca. La segunda capa acumula altos contenidos de arcilla, debido a la lixiviación de la misma desde el horizonte superior, otorgándole una permeabilidad rápida, pedregoso a ligeramente pedregoso, no salinos, no calcáreos, con buen drenaje y muy susceptibles a la erosión. Estos suelos se ubican en las partes altas del área de estudio, en donde existe mínimo porcentaje de área de cultivos y abundante vegetación herbácea.

Estos suelos se ubican en áreas de pendientes pronunciadas y relieve colinado-montañoso, donde la roca madre se encuentra a poca profundidad, suelos someros que sostienen una vegetación dominante de bosque de pino-encino, la cual abarca en su totalidad el área de la serie de suelo. La secuencia de horizonación O-Cr indica que hay un débil desarrollo del perfil, ya que presenta un horizonte orgánico (O) de poca profundidad e inmediatamente después un horizonte Cr denominado como lecho rocoso intemperizado.

Cuadro 8. Resultados de análisis físicos de las muestras de suelo del perfil 1, Santa María Yacochi (serie MY).

Capa	Profundidad (cm)	Densidad aparente (gcm^{-3})	Textura (%)			Clase Textural
			Arena	Limo	Arcilla	
O	0-45	0.66	76.4	20.6	3.0	Arena Francosa
Cr	45-150	1.19	56.4	26.6	17.0	Franco Arenoso

En los primeros 45 cm de profundidad el suelo es muy rico en materia orgánica (Figura 12) y el pH es muy ácido, con media a baja capacidad de intercambio catiónico y cantidad de cationes intercambiables, lo que denota una baja fertilidad. Los resultados de conductividad eléctrica indican que son suelos no salinos, ya que los valores están muy por debajo del valor de 2.0 dSm^{-1} (Cuadro 9) considerado límite para presentar algunas deficiencias y toxicidades por sales solubles a la mayoría de las plantas cultivadas. De la misma forma, la saturación de bases es baja, lo que indica que la capacidad de intercambio catiónico está en equilibrio con los cationes intercambiables.

Figura 12. Perfil 1, Santa María Yacochi (serie MY).

Cuadro 9. Resultados de análisis químicos de las muestras de suelo del perfil 1, Santa María Yacochi (serie MY).

Capa	Profundidad (cm)	pH	CE (dSm^{-1})	(%)		Cmol(+)Kg^{-1}				
				CO	MO	Na	K	Ca	Mg	CIC
O	0-45	4.8	0.14	14.8	25.4	0.2	0.4	0.1	0.3	16.4
Cr	45-150	4.3	0.09	1.1	2.0	0.1	0.4	0.1	0.5	36.0

CE: Conductividad Eléctrica; CO: Carbón Orgánico; MO: Materia Orgánica; Na: Sodio; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio y CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

La mayoría de los suelos presentan un epipedón Hístico en la parte alta de esta serie y en menor porcentaje un epipedón Úmbrico en la parte baja donde existe una mayor profundidad del perfil. Para el caso del epipedón Hístico, la profundidad es de 0 a 40 cm aproximadamente, cumpliendo el requisito de color oscuro, de consistencia no dura, de espesor mayor de 10 cm y contenidos de carbono orgánico entre 12 y 18%. En el caso del epipedón Úmbrico el cual debe tener un color oscuro, baja saturación de bases, un espesor mínimo de 10 cm y un contenido de moderado a alto de materia orgánica. El horizonte sobreyace a un horizonte B o C Argílico o Árgico (USDA y WRB, respectivamente), el cual tiene un mayor contenido de arcilla que el horizonte superficial, debido a una acumulación iluvial de arcilla, formación pedogenética, erosión superficial o actividad biológica, principalmente.

El perfil típico de la serie Santa María Yacochi (MY) es clasificado como Typic Ustorthents en el sistema del Departamento de Suelos de Estados Unidos (USDA, 2010) y como Leptosol Hístico (Hiperesquelético) de acuerdo con la Base Referencial Mundial de Suelos (WRB, 2006). En términos generales coincide con algunos de los límites propuestos por el INEGI; sin embargo, para ésta última fuente no considera que a la serie Santa María Yacochi está ligada a suelos del tipo Umbrisol Háplico.

La clasificación del USDA destaca en su nomenclatura a nivel de subgrupo, la característica distintiva de los suelos de la serie Santa María Yacochi es su poca profundidad, rocosidad superficial, contacto lítico y altos contenidos de materia orgánica en la superficie en un clima templado húmedo. Por su parte, la clasificación FAO, hace referencia a la poca profundidad, contacto lítico, contenidos de materia orgánica y contenidos de arcilla iluvial.

Serie Barrio Santuario (BS)

Esta serie de suelo se ubica en laderas y se caracterizan por presentar suelos de colores más rojizos que todos los demás, evidenciando una lavado de bases en sus capas. Presentan colores Munsell en el grupo 7.5 YR (Pardos) y una elevada proporción de arcilla en todos los horizontes (Cuadro 10). El perfil se caracteriza por una difusa separación de las capas, debido a la presencia de una alta precipitación que provoca que en los horizontes exista una excesiva lixiviación de arcilla. Estos suelos se ubican en áreas de pendientes moderadas y relieve ondulado-colinado, donde hay evidencia de erosión en forma de cárcavas y surcos, los suelos son medianamente profundos en las partes altas y profundos en las partes bajas. En esta región existen corrientes intermitentes, poca rocosidad, pero elevada concentración de arcilla y arena en los horizontes de suelo, debido al arrastre y depositaciones de suelo en las partes bajas de esta zona. La vegetación dominante es bosque de encino, en algunas zonas, bosque de pino, pastizal inducido, y agricultura de temporal en menor porcentaje.

Cuadro 10. Resultados de análisis físicos de las muestras de suelo del perfil 2, Barrio Santuario (serie BS).

Capa	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (gcm^{-3})	Textura (%)			Clase Textural
			Arena	Limo	Arcilla	
Ap	0-50	1.29	40.4	30.6	29.0	Franco Arcilloso
B1	50-120	1.43	54.4	18.6	27.0	Franco Arcillo Arenoso
B2	120-150	1.55	57.4	21.6	21.0	Franco Arcillo Arenoso

La secuencia de horizonación Ap-B1-B2 indica que no hay cambios notorios en las capas subsuperficiales. Estos suelos de poca profundidad no evidencian lixiviación de arcilla, pero la mayoría de ellos, ubicados en las partes bajas, presentan una horizonación A-B-Bt, caracterizándolos la acumulación de arcilla en las capas subsuperficiales.

La capa superficial presenta un contenido rico de materia orgánica y un pH muy ácido, característicos de estos suelos con elevadas precipitaciones. Esta serie presenta suelos con media a alta capacidad de intercambio catiónico y altos contenidos de cationes, otorgada por la textura que es de franco arcilloso a franco arenoso, proporcionan a estos suelos una buena fertilidad. Además, esta serie tiene una baja saturación de bases y no presenta salinidad, ya que los valores de CE son menores de 2.0 dSm^{-1} (Cuadro 11).

Cuadro 11. Resultados de análisis químicos de las muestras de suelo del perfil 2, Barrio Santuario (serie BS).

Capa	Profundidad (cm)	pH	CE (dSm-1)	(%)		Cmol(+)Kg-1				
				CO	MO	Na	K	Ca	Mg	CIC
Ap	0-50	4.7	0.30	1.8	3.1	0.1	0.4	6.0	2.5	16.7
B1	50-120	5.2	0.06	0.4	0.6	0.2	0.2	6.0	2.6	32.4
B2	120-150	5.2	0.07	0.3	0.5	0.1	0.1	7.6	3.9	27.4

CE: Conductividad Eléctrica; CO: Carbón Orgánico; MO: Materia Orgánica; Na: Sodio; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio y CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

La mayoría de los suelos no presentan un epipedón definido ya que las características de los mismos no son diferenciables de las capas subyacentes. Sin embargo, en suelos de las partes más altas corresponde a un epipedón Ócrico, el cual puede ser delgado (en este caso) o muy seco, colores altos de value y croma, y contiene muy poco carbono orgánico. Si el horizonte subyacente es un horizonte B de alteración (definido posteriormente como un horizonte Cámbico u Óxico) y no existe un horizonte superficial que este oscurecido apreciablemente por el humus, el límite inferior del epipedón Ócrico será el límite inferior de la capa arable o a una profundidad equivalente (18 cm) en un suelo que no haya sido arado, siendo el primer punto la condición acorde al perfil representativo en cuestión. El epipedón sobreyace a un horizonte B Cámbico, que puede o no ser Argílico o Árgico, aunque la mayoría lo presenta, dicha capa subsuperficial tiene un mayor contenido de arcilla que el horizonte superficial. Un horizonte Cámbico es aquel que no entra dentro de los demás horizontes de diagnóstico superficiales, pero que es el resultado de alteraciones físicas, transformaciones químicas, o remociones o combinaciones de dos o más de esos procesos.

El perfil típico de la serie Barrio Santuario (BS) es clasificado como Typic Haplustults en el sistema del Departamento de Suelos de Estados Unidos (USDA, 2010) y como Acrisol Háplico (Crómico) de acuerdo con la Base Referencial Mundial de Suelos (WRB, 2006).

La clasificación del USDA destaca en su nomenclatura a nivel de subgrupo, la característica distintiva de los suelos de esta serie es su acumulación de arcilla en las capas subsuperficiales y un porcentaje de bases promedio menor de 35% en la capa superficial. Por su parte, la clasificación FAO, hace referencia al pH ácido, contenidos de arcilla iluvial y baja saturación de bases (Figura 13).

Figura 13. Perfil 4, Santa Ana (serie BS).

Serie Las Flores (FL)

Esta serie de suelo se caracteriza por presentar en su perfil de suelo elevadas concentraciones de arena, otorgándole una textura de arena francosa a franco arenoso (Cuadro 12). Los suelos de las partes bajas tienen un horizonte superficial enriquecido de materia orgánica, y la mayoría son suelos profundos, característica que varía consistentemente con la pendiente, lo que origina que estos sean más profundos en las zonas bajas. Los suelos de esta serie son suelos de carácter residual, es decir que se forma a partir de los procesos de intemperismo de la roca madre ayudado por los procesos de formación del clima, pendiente, la vegetación y el tiempo. Algunas áreas de esta serie, contienen materiales de arrastre en la superficie del perfil, confiriéndole un alto contenido de materia orgánica (MO) a estas zonas.

Cuadro 12. Resultados de análisis físicos de las muestras de suelo del perfil 3, Las Flores (serie FL).

Capa	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (gcm^{-3})	Textura (%)			Clase Textural
			Arena	Limo	Arcilla	
Ah	0-25	1.17	54.4	23.6	22.0	Franco Arcillo Arenoso
AC	25-60	1.45	61.4	23.6	15.0	Franco Arenoso
Cx	60-132	1.84	80.4	14.6	5.0	Arena Francosa

Esta serie presenta una vegetación dominante de bosque de pino-encino, una parte de bosque de encino y, en un porcentaje menor pastizal inducido y agricultura de temporal, representado por maíz y agave. Las áreas mayoritarias presentan condiciones de drenaje rápido y pedregosidad moderada en todo el perfil de suelo.

La secuencia de horizonación dominantes es Ah-AC-Cx, lo cual indica que es un suelo incipiente con débil a nulo desarrollo del perfil y con un fragipán. La mayoría de estos suelos de esta serie son profundos y no evidencian pedogénesis sobresaliente, a excepción de aquellos ubicados en las zonas de menor altura, que presentan rasgos de acumulación de materia orgánica superficial, láminas de partículas más finas y procesos de gleyzación en las capas más profundas, presentando algunos de ellos una horizonación Ah-AC-C-Cg o un A-Cx.

Las capas superficiales (si presentan horizonte A), contienen cantidades altas de materia orgánica, sobre todo los suelos de las partes bajas. Además de ser suelos muy ácidos por una alta precipitación en la zona, los suelos de esta serie presentan de media a alta capacidad de intercambio catiónico, una saturación de bases en su mayoría mayores a 50%, una cantidades de cationes de media a alta, lo que se traduce en un suelo fértil, sin considerar la textura, la cual se encuentra principalmente en intervalos entre franco arenoso hasta arena francosa. Estos suelos no presentan salinidad, ya que los valores de CE son menores de 2.0 dSm^{-1} (Cuadro 13).

Cuadro 13. Resultados de análisis químicos de las muestras de suelo del perfil 3, Las Flores (serie FL).

Capa	Profundidad (cm)	pH	CE (dSm^{-1})	(%)		Cmol(+)Kg^{-1}				
				CO	MO	Na	K	Ca	Mg	CIC
Ah	0-25	4.1	0.16	3.0	5.2	0.1	0.4	3.4	2.2	29.7
AC	25-60	4.4	0.12	1.1	1.8	0.2	0.4	10.2	2.7	19.2
Cx	60-132	4.5	0.12	0.2	0.3	0.2	0.4	6.8	4.5	23.3

CE: Conductividad Eléctrica; CO: Carbón Orgánico; MO: Materia Orgánica; Na: Sodio; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio y CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

Los suelos que presentan un desarrollo de la capa superficial, es por lo general una horizonte A con de pobre a rico contenido de materia orgánica, llegando a formarse un horizonte Úmbrico, el cual en éste caso corresponde al perfil representativo de esta serie. Las capas subsuperficiales tienen un débil desarrollo, presentando capas gravillosas y de textura arena francosa en todas las capas, característica que identifica a un suelo Leptosol para la clasificación de la WRB (2006) e Inceptisol por la presencia de un fragipán, para USDA (2010). Los suelos con horizontes superficiales desarrollados pueden ser Ócricos ó en su defecto, cuando acumulan materia orgánica; Úmbricos. Cada uno de estos horizontes refleja el grado de desarrollo del perfil y su ubicación dentro del relieve de la zona. Los suelos de las partes más altas pueden tener un horizonte superficial poco o nulo desarrollado, siendo el más común un

epipedón Ócrico, el cual puede ser delgado, o muy seco, colores altos de value y croma, y contiene muy poco carbono orgánico. En cambio cuando es Úmbrico son más profundos, oscuros, con baja saturación de bases y contenido moderado a alto de materia orgánica. Para este caso el horizonte subsuperficial puede ser desde una mezcla de ambos, un fragipán y un horizonte C.

El perfil típico de la serie Las Flores (Figura 14) es clasificado como Typic Humustepts en el sistema del Departamento de Suelos de Estados Unidos (USDA, 2010) y como Leptosol Úmbrico (Esquelético) de acuerdo con la Base Referencial Mundial de Suelos (WRB, 2006).

Figura 14. Perfil 11, Las Flores (serie FL).

Serie Laguna-Tejas (LT)

Esta serie de suelos se caracteriza por la presencia de texturas finas en todos los horizontes del perfil de suelo, poca a nula existencia de pedregosidad en el perfil de suelo y una alta rocosidad superficial en algunos puntos de la región, excepcionalmente cerca de los ríos y partes más bajas. Son suelos derivados de materiales aluviales, debido a su ubicación en las partes bajas de la región y cerca de corrientes intermitentes de la zona. Estos suelos presentan principalmente una vegetación endémica de bosque de encino y bosque de pino-encino.

La serie Laguna-Tejas presenta suelos con colores dentro del grupo de los pardos a pardos obscuros (7.5 YR), y texturas franco arcillosos a arcillosos. Los suelos de esta serie contienen de medias a altas concentraciones de materia orgánica en todos los horizontes, acentuándose en las partes más profundas, originada principalmente por la lixiviación de material vegetal en descomposición en las distintas capas.

La secuencia de horizonación dominantes es A-B, que se traduce como un suelos con poco grado de desarrollo pedogenético (Cuadro 14). Estos suelos derivados de depositaciones aluviales presentan grandes cantidades de partículas finas, que le confieren un horizonte subsuperficial Cámbico y en algunos casos Árgico, cuando existen mayores concentraciones de arcilla. Los suelos de esta serie son profundos y algunos de ellos evidencian acumulación de materia orgánica en sus capas superficiales, y cierto grado de desarrollo estructural, principalmente en las zonas bajas de la región, identificándolos como epipedones Ócricos, generando con ello otros tipos de horizonación como Ah-AB-B-Bt.

Cuadro 14. Resultados de análisis físicos de las muestras de suelo del perfil 6, Laguna-Tejas (serie LT).

Capa	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (gcm^{-3})	Textura (%)			Clase Textural
			Arena	Limo	Arcilla	
A	0-70	1.50	37.4	30.6	32.0	Franco Arcilloso
B	70-150	1.42	33.4	32.6	34.0	Franco Arcilloso

Los horizontes superficiales de los suelos de esta serie presentan de medio a altos porcentajes de materia orgánica, ubicando los de mayor porcentaje en las zonas bajas. Son suelos muy ácidos como la mayoría en la región, que presentan mediana capacidad de intercambio catiónico, una saturación de bases mayor a 50%, baja cantidad de cationes intercambiables a excepción del calcio que presenta cantidades altas, especialmente en las capas subsuperficiales. La textura dominante es franco arcilloso o limoso, y en algunos casos existiendo arcilla en todo el perfil. Como la mayoría de los suelos de la región estos suelos tampoco presentan salinidad, observando intervalos máximos de CE de 0.2 dSm^{-1}.

Cuadro 15. Resultados de análisis químicos de las muestras de suelo del perfil 6, Laguna-Tejas (serie LT).

Capa	Profundidad (cm)	pH	CE (dSm^{-1})	(%)		Cmol(+)Kg^{-1}				
				CO	MO	Na	K	Ca	Mg	CIC
A	0-70	5.0	0.16	1.0	1.7	0.1	0.4	14.8	12.7	31.1
B	70-150	4.8	0.15	0.8	1.4	0.1	0.2	9.3	8.7	25.6

CE: Conductividad Eléctrica; CO: Carbón Orgánico; MO: Materia Orgánica; Na: Sodio; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio y CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

La mayoría de los suelos en esta serie presentan un horizonte A medianamente desarrollado, que por lo general es una A con medio a alto contenido de materia orgánica, colores no muy obscuros, evidenciado una débil melanización, que conlleva a identificar un horizonte Ócrico. Las capas subsuperficiales existentes en el perfil presentan características similares que el horizonte A, excluyendo a la materia orgánica que siempre es mayor en la capa superficial. Estos horizontes subsuperficiales tienen colores menos rojizos y no presentan algún rasgo distintivo útil para su clasificación, identificándolo como un horizonte de diagnóstico Cámbico, para ambos sistemas de clasificación.

Estas características de suelos con texturas finas, débil estructura, acumulación iluvial de arcilla en horizontes subsuperficiales y su alta saturación de bases, los identifica como Luvisoles, para la clasificación de la WRB (2006) y como Alfisoles, para USDA (2010).

El perfil típico de la serie Laguna-Tejas (Figura 15) es clasificado como Typic Haplustalf en el sistema del Departamento de Suelos de Estados Unidos (USDA, 2010) y como Luvisol Háplico (Árcillico) de acuerdo con la Base Referencial Mundial de Suelos (WRB, 2006).

Figura 15. Perfil 6, Laguna-Tejas (serie LT).

Serie Nejapa (NJ)

Esta serie de suelo que es la de menor superficie dentro del área de estudio, se caracteriza por ubicarse en las partes más bajas de la región, entre los 1000 y 1200 m; con un relieve fuertemente ondulado a colinado, además presenta una vegetación en su mayoría por especies arbustivas. Esta área presenta poca cobertura vegetal y existen cultivos como maguey y maíz, que cubren una superficie considerable de la zona.

El perfil representativo de esta serie de suelo se caracteriza por presentar una considerable pedregosidad (grava) tanto superficial como en todos sus horizontes, además contiene cantidades significativas de arcilla que le dan una consistencia ligeramente dura en seco y firme en húmedo. El color característico es pardo amarillento el cual está ubicado en el grupo de los 10 YR. La homogeneidad en los horizontes, evidencia su formación a partir de sedimentos aluviales, que provienen de las partes altas de la región, y la poca profundidad hace pensar que tienen poca evolución, dando origen a una vegetación de porte bajo y escasa cobertura vegetal, representada por algunos pastos y hierbas endémicas.

La secuencia de horizonación de la Serie Nejapa (NJ) es A-Bt-C, con algunas variantes como un horizonte Ap y AB antes del horizonte Bt, y probablemente la existencia de un horizonte C endurecido. Los suelos de esta serie son profundos y presentan estructuras firmes debido al contenido de arcilla, son suelos con colores claros en la superficie, que identifican al horizonte de diagnóstico superficial Ócrico (USDA, 2010). En las capas subsuperficiales estos suelos presentan acumulaciones de arcilla, dando origen a un horizonte Argílico o Árgico, según USDA (2010) y FAO (2006), respectivamente. Todas las capas del perfil de suelo tienen pedregosidad (gravas), las cuales definen un suelo con débil grado de desarrollo. La textura dominante es arcilla principalmente en las capas subsuperficiales y franco arcilloso o franco arcillo arenoso en la superficie, existiendo gravas en todo el perfil (Cuadro 16)

Cuadro 16. Resultados de análisis físicos de las muestras de suelo del perfil 7, Nejapa (serie NJ).

Capa	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (gcm^{-3})	Textura (%)			Clase Textural
			Arena	Limo	Arcilla	
A	0-50	1.74	47.4	20.6	32.0	Franco Arcillo Arenoso
Bt1	50-100	1.70	26.4	13.6	60.0	Arcilla
Bt2	100-155	1.95	39.4	16.6	44.0	Arcilla

Las capas superficiales del suelo de esta serie presentan contenidos de materia orgánica de mediana a altamente ricos, así como un pH ligeramente ácido, que son los menos ácidos de la región, característica que evidencia una menor precipitación en esta área. Son suelos que presentan mediana capacidad de intercambio catiónico, una saturación de bases mayor a 50 %, baja cantidad de cationes intercambiables a excepción del calcio que presenta cantidades altas, especialmente en las capas subsuperficiales. Como la mayoría de los suelos de la región estos suelos tampoco presentan salinidad, observando intervalos máximos de CE de 0.1 dSm^{-1}(Cuadro 17).

Cuadro 17. Resultados de análisis químicos de las muestras de suelo del perfil 7, Nejapa (serie NJ).

Capa	Profundidad (cm)	pH	CE (dSm^{-1})	(%)		Cmol(+)Kg^{-1}				
				CO	MO	Na	K	Ca	Mg	CIC
Ap	0-50	6.2	0.34	1.2	2.1	0.1	0.3	9.0	1.9	16.7
Bt1	50-100	6.4	0.17	0.6	1.0	0.1	0.4	10.6	2.8	10.9
Bt2	100-155	6.4	0.18	0.3	0.5	0.1	0.1	1.1	1.3	26.3

CE: Conductividad Eléctrica; CO: Carbón Orgánico; MO: Materia Orgánica; Na: Sodio; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio y CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

Los suelos de la Serie Nejapa (NJ) presentan un horizonte A precariamente desarrollado, que por lo general es una A con medio a alto contenido de materia orgánica, colores claros, evidenciado la poca melanización, que son características de un horizonte Ócrico. Las capas subsuperficiales existentes en el perfil presentan características similares que el horizonte A, aunados a la presencia de pedregosidad (grava). Los horizontes subsuperficiales tienen colores más rojizos y mayores contenidos de arcilla, identificándolo como un horizonte de diagnóstico Árgico o Argílico (Figura 16).

Figura 16. Perfil 7, Nejapa (serie NJ).

3.5 Hidrología superficial

El municipio de Santa María Tlahuitoltepec pertenece la Región Hidrológica Papaloapan (RH-28). Esta región cuenta con 39 189 km^2, se extiende por los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz, Oaxaca es quien más aporta escurrimientos. Se estima que el escurrimiento medio anual es de 39 175 millones de m^3. La Región hidrológica RH-28 se subdivide en las cuencas del Río Playa, Río Trini y Río Lalana, los principales afluentes del Río Papaloapan que desemboca en el Golfo de México (INEGI - SIATL).

La hidrología de Santa María Tlahuitoltepec se compone de tres microcuencas que contienen arroyos permanentes, numerosas corrientes intermitentes y una gran cantidad de manantiales (Figura 17) distribuidos en la mayor parte del territorio municipal (Figura 18). Los arroyos más importantes son: Axëtsy nyë'aäm (Santa Ana), Mäjää'y tyun'akë'm (Guadalupe Victoria), Kääjjnë'am (Tigre), Päknë'am (Palomar), Tsinijky'okp (Gavilán), Tëkëëknë'äm (Tres Ríos) (Ayuntamiento de Santa María Tlahuitoltepec, 2011).

Figura 17. Manantial en la localidad de Las Flores, Santa María Tlahuitoltepec, 2011.

Por otro lado, los coeficientes de escurrimiento (CE) superficial guardan una estrecha relación con el estrato geológico al que pertenece. Por ejemplo, el CE al este del municipio es de 5 a 10% lo que concuerda con el tipo de roca ahí presente (calizas). Las localidades Patio Arenal y Escobilla (Rancho Guadalupe) se ubican en este sitio, colindando al este con los municipios de Santiago Atitlán y Santiago Zacatepec.

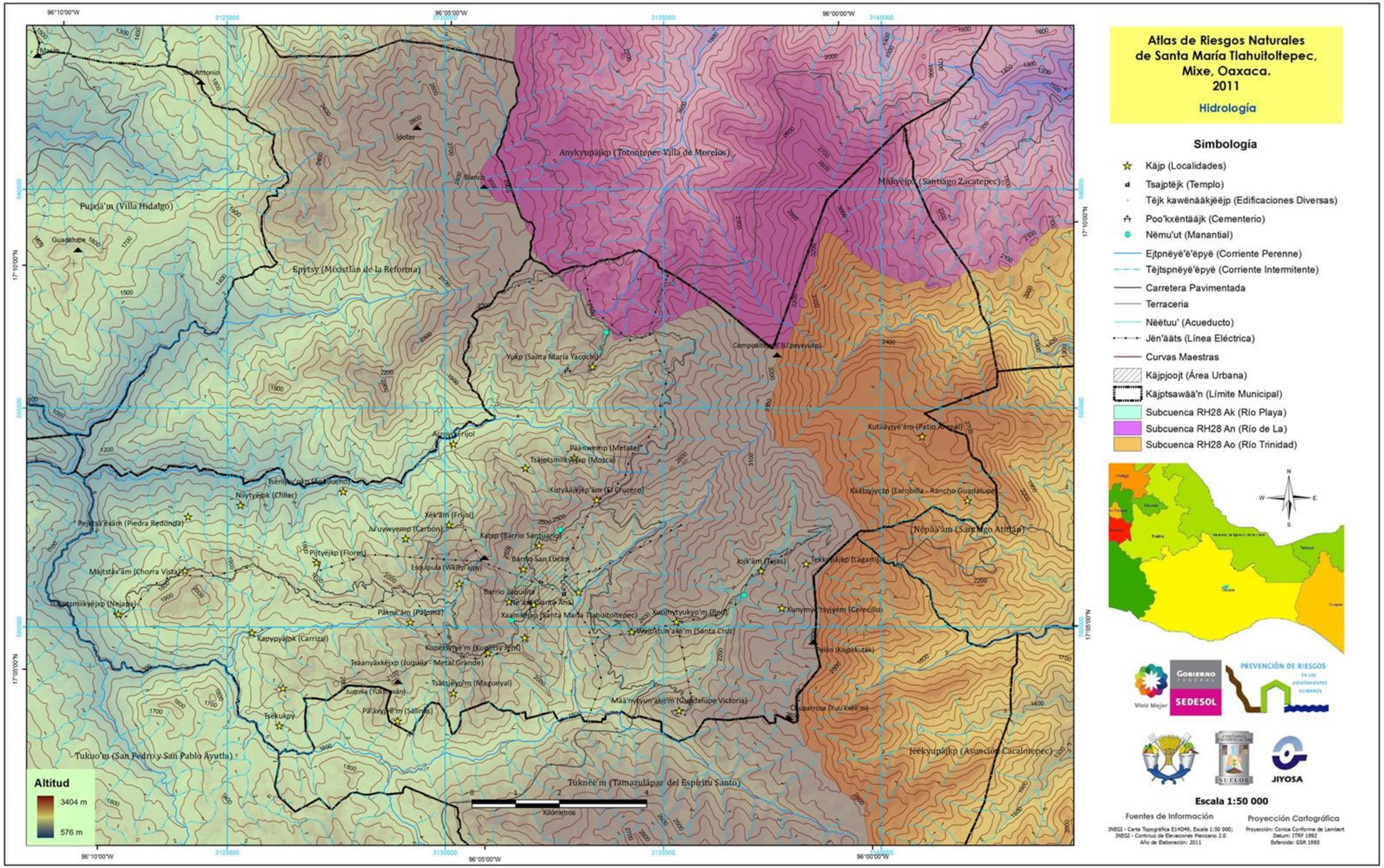


Figura 18. Mapa de Hidrología de Santa María Tlahuitoltepec.

3.6 Climatología

El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, (A) Cw, en la proporción del territorio que varía de los 960 a los 1500 msnm; desde los 1400 hasta 3300 msnm el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, Cw; más allá de los 2400 msnm el clima es templado con lluvias en verano, Cw (Díaz, 2002) (Figura 19).

El intervalo de precipitación en los meses de mayo a octubre oscila entre 1200 a 1400 mm, con una temperatura de 9 a 27 °C. En los meses de noviembre hasta abril (N-A) la precipitación varía entre 125 a 150 mm, con una temperatura de 6 a 24 °C; en los meses de N-A ocurren heladas en un promedio de 1 a 8 días (Vázquez, 2006).

La precipitación total anual oscila entre 1000 a 3500 mm mientras la precipitación media anual oscila entre 800 a 2000 mm. El escurrimiento medio anual entre 100 a 500 mm; sin embargo, en algunas zonas del municipio la evapotranspiración real (ER) fluctúa entre 600 a 700 mm, sobre todo en la parte sur del municipio, en localidades como Aguilucho, Carbón, Esquipulas (Zempoalzuchilt) y Kupetsy Jëm; del centro del municipio hasta poco antes de Escobilla y el norte del cerro Cempoaltépetl la ER se estima en 700 a 800 mm; en el territorio de la localidad Patio Arenal la ER oscila entre 800 a 900 mm; finalmente, en la zona más elevada del cerro Cempoaltépetl la ER oscila entre 900 a 1000 mm.

3.7 Uso de suelo y vegetación

El uso de suelo y vegetación se obtuvo a partir de imágenes de satélite Geo-Eye con un tamaño de pixel de 0.5 m y fecha de enero de 2012; ésta imagen permitió obtener información de uso actual, así como la caracterización de los deslizamientos ocurridos en 2010 (Figura 20). Se hizo un recorte de la imagen con el área del municipio y se definieron los campos de entrenamientos con el apoyo de la carta temática de Uso de suelo, Serie IV (INEGI, 2006); posteriormente se realizó una reclasificación integrando la información de campo obtenida durante los recorridos de campo. Finalmente después una clasificación supervisada con ayuda del software ERDAS y ArcGis 10 se definieron los tipos de usos de suelo procesados en polígonos (Cuadro 18).

Un área importante por la extracción de leña es el bosques de pino-encino (25.2% del territorio) éstos se asocian a un clima templado con lluvias en verano, mientras que en las latitudes más altas y en zonas de barlovento se ubica el bosque mesófilo de montaña (40.5%) asociado a un clima templado con lluvias todo el año. Las localidades que se enmarcan en esta vegetación son Santa María Tlahuitoltepec, Chorra Vista, Carrizal, Paloma, Aguilucho, Magueyal, Mosca y Metate.

Las especies predominantes en el municipio son las del género *Pinus: P. rudis, P. hartwegii, P. pseodostrobus* var*, oaxacana pseodostrobus P. protuberns, P pseodostrobus* spp*., P. leiophyla, P. pringlei, P. michoacana, P. patula, P. herrerai y P. lawsoni.* Se estima que del género *Quercus* existen por lo menos 8 especies (Martínez, 1995).

El pastizal se localiza en una zona muy restringida en la parte más alta del municipio, sobre todo en los alrededores del cerro Cempoaltépetl, en una franja de aproximadamente 1 km de este a oeste y cerca de 4 km en dirección norte-sur a 3000 msnm. El bosque de encino es poco significativo, cubre una porción menor a 500 m^2 y se localiza al sur del municipio, a 1 km de la localidad Guadalupe Victoria.

Además, la agricultura de temporal corresponde a 24.5% de la superficie total del municipio (Figura 21), sobre todo en las tierras bajas donde se ubican localidades como Piedra Redonda, Nejapa y Chilar (al oeste); Laguna y Tsëkujkypy (al suroeste); Salinas (al sur del cerro Juquila); Kupetsy Jëm, Santa Ana, Guadalupe Victoria y Santa Cruz (centro sur); y Tejas, Cerecillo, Lagartija y Patio arenal (noreste).

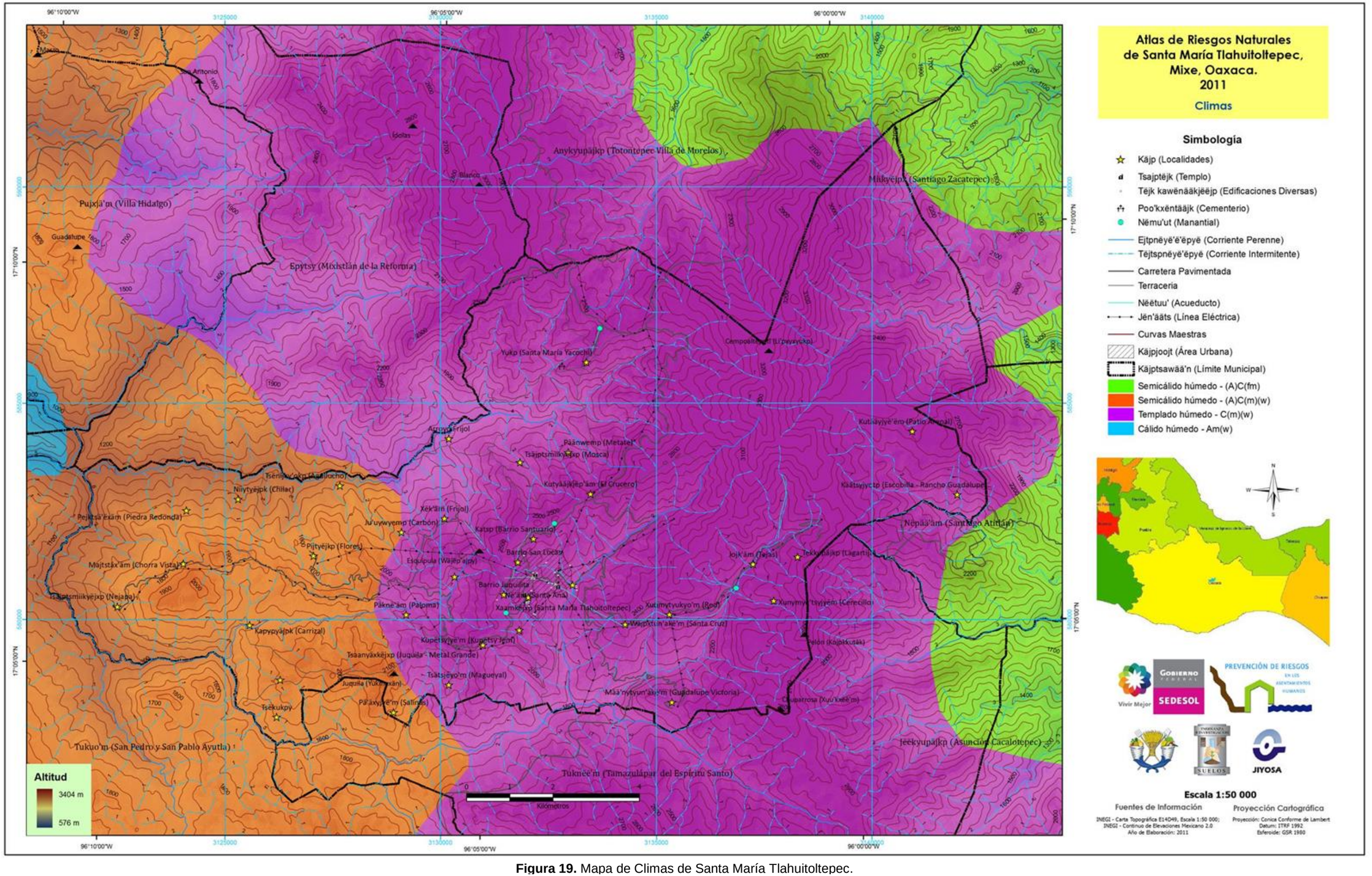


Figura 19. Mapa de Climas de Santa María Tlahuitoltepec.

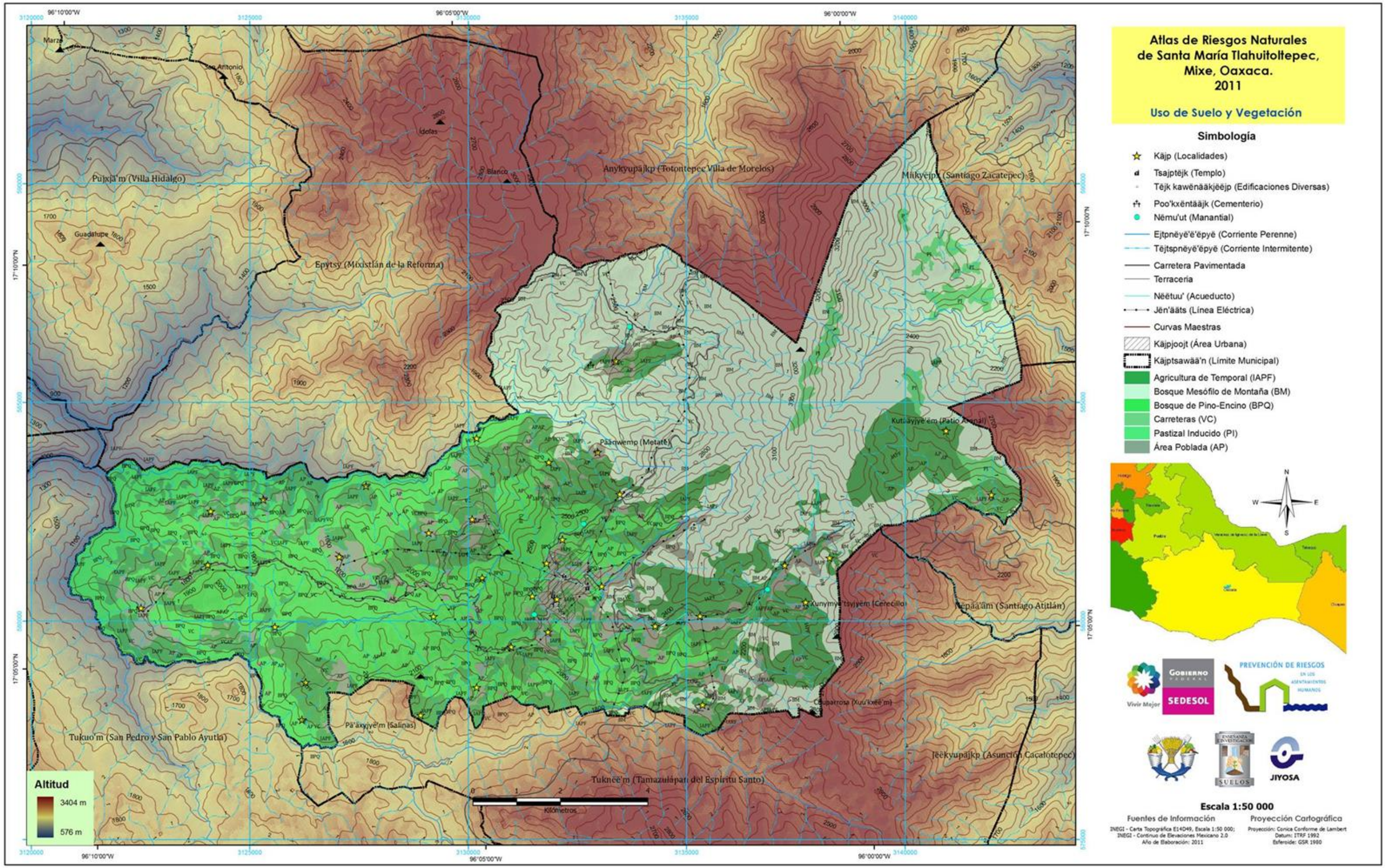


Figura 20. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación de Santa María Tlahuitoltepec.

Cuadro 18. Superficie por tipo de uso de suelo en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

Uso del suelo	Superficie	
	ha	%
Área poblada	1,034.18	6.7
Agricultura de temporal	3,753.73	24.5
Bosque de Pino-Encino	3,866.01	25.2
Bosque Mesófilo de Montaña	6,207.25	40.5
Pastizal Inducido	314.45	2.1
Vías de comunicación	152.54	1.0
Total general	15,328.16	100

Figura 21. Agricultura de temporal, Santa María Tlahuitoltepec.

3.8 Áreas naturales protegidas

En el territorio de Santa María Tlahuitoltepec no se localizan zonas con la categoría de Área Natural Protegida; sin embargo, existen reservas comunales en pro de la protección de bosques bajo el resguardo de Bienes Comunales.

3.9 Problemática ambiental

Santa María Tlahuitoltepec enfrenta problemas ambientales tales como la degradación de los bosques, introducción de especies invasoras, contaminación del aire, agua y suelo, mismos que afectan gravemente la calidad de vida y la salud de los habitantes de la comunidad. Ésta problemática se origina por la sinergia de diversos factores como la demanda de alimento, leña, agua, tierra, transporte, etc. Una demanda intrínsecamente relacionada al crecimiento constante de la población, la insuficiente infraestructura para el manejo adecuado de aguas grises y negras (Figura 22), el incremento en el consumo de productos industriales que es el insumo básico para la generación de residuos sólidos, éstos últimos sin un plan de manejo.

Además, las obras de infraestructura como carreteras y líneas eléctricas alteran la estructura del bosque y el suelo. Si bien las obras de mayor impacto como los trazos carreteros cuentan con estudios de impacto ambiental, al final no realizan obras de mitigación, restauración y compensación ambiental. De tal forma que en la actualidad hayan desaparecido varios manantiales, arroyos y bosques a causa del desarrollo en la infraestructura.

Desde otro ángulo, la problemática ambiental se agudiza con la introducción de sistemas nuevos de producción agrícola que demandan el uso intensivo de agroquímicos cuyos efectos, eventualmente, degradan al suelo, destruyen a la edafofauna, reducen la fertilidad del suelo, y salinizan al mismo; efectos indirectos por el arrastre de los contaminantes se hallan en la destrucción de la fauna riparia, fauna acuática, contaminación de los mantos freáticos y finalmente en la salud de la población.

Figura 22. Instalación de la red de drenaje, El Llano.

Capítulo IV

Descripción de los elementos sociales, económicos y demográficos

CAPÍTULO IV. Descripción de los elementos sociales, económicos y demográficos

4.1 Elementos demográficos: dinámica demográfica, distribución de población, pirámide de edades, mortalidad, densidad de población

Dinámica demográfica

El crecimiento de la población, en el periodo de 1990 a 2010, incrementó durante el segundo quinquenio 19.82%, contrario al primer quinquenio donde el crecimiento fue estable (Figura 23) (INEGI, 2010). Sin embargo, la dinámica de la población en la cabecera municipal es diferente, es decir, en la década de 1970 a 1980 el incremento de la población fue de 32%, de 1980 a 1990 incremento 52%, de 1990 a 2000 incremento 25% y de 2000 a 2010 incremento 26% (Figura 24). Esta tendencia en la dinámica de la población obedece principalmente a la emigración de habitantes que circundan la cabecera municipal.

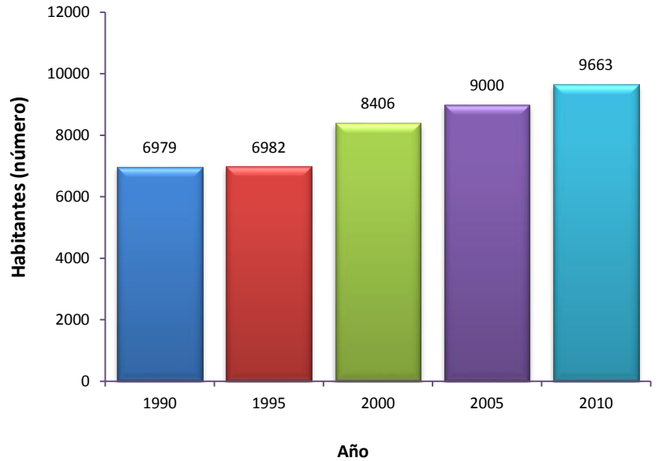


Figura 23. Dinámica demográfica del municipio de Santa María Tlahuitoltepec. **Fuente**: INEGI, Censos y Conteos 1990-2010.

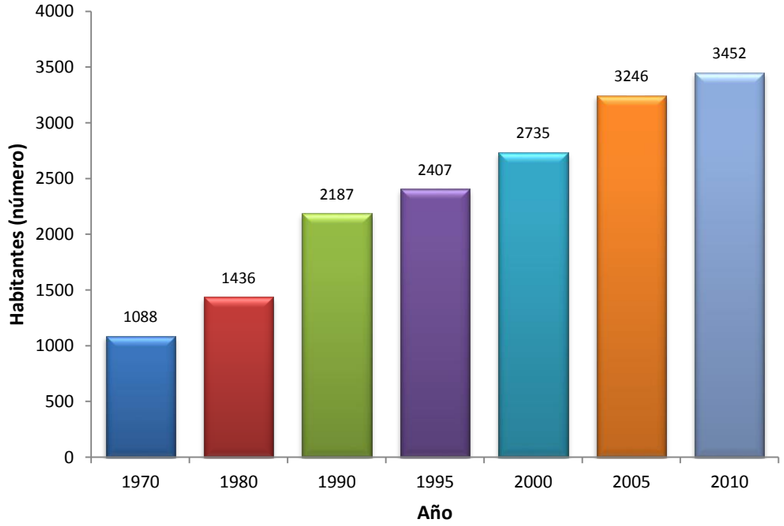


Figura 24. Dinámica demográfica de la cabecera municipal de Santa María Tlahuitoltepec. **Fuente:** Archivo histórico de localidades, INEGI.

Distribución de la población

La concentración de la población en la cabecera municipal es 35.7% veces mayor en relación al resto de la localidades (Figura 25), situación que surge a raíz de la concentración de servicios e infraestructura en educación, salud, transporte y otros. En otras palabras, porque la economía se concentra en la cabecera municipal (Anexo-Cuadros-Cuadro 1). Cabe destacar que el 98.2% de la población habla una lengua indígena (Anexo-Cuadros-Cuadro 2).

Pirámide de edades

La proporción de edades del municipio es la siguiente; el 34% de los habitantes es menor a 15 años, el 20% es menor a 25 años, el 24% menor de 45 años, 14% mayor a 45 años y sólo 8% es mayor a 65 años (Figura 26). Por lo que de acuerdo con INEGI (2010), la población del municipio de Santa María Tlahuitoltepec es una población joven (Figura 27).

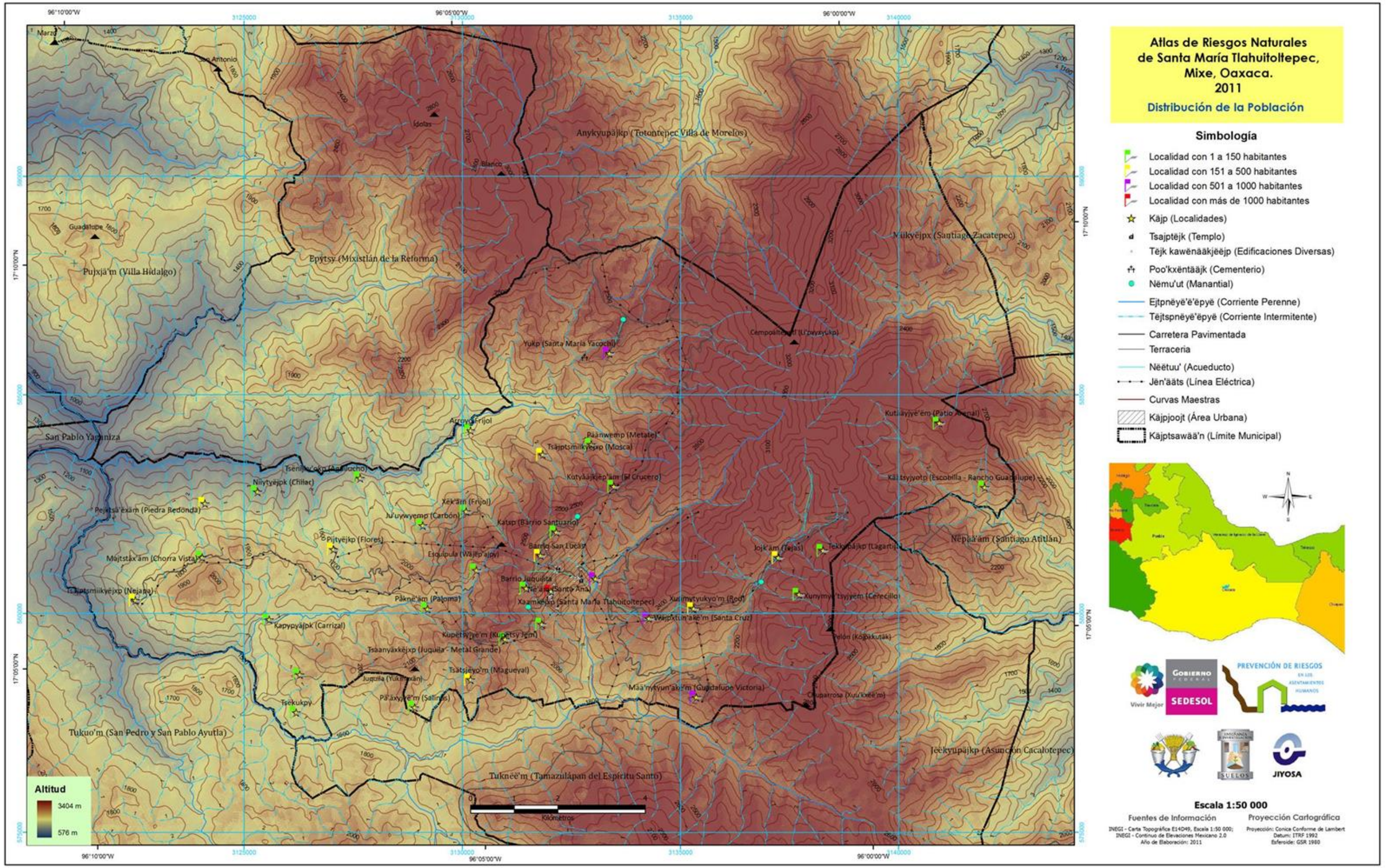


Figura 25. Mapa de Distribución de la Población en Santa María Tlahuitoltepec.

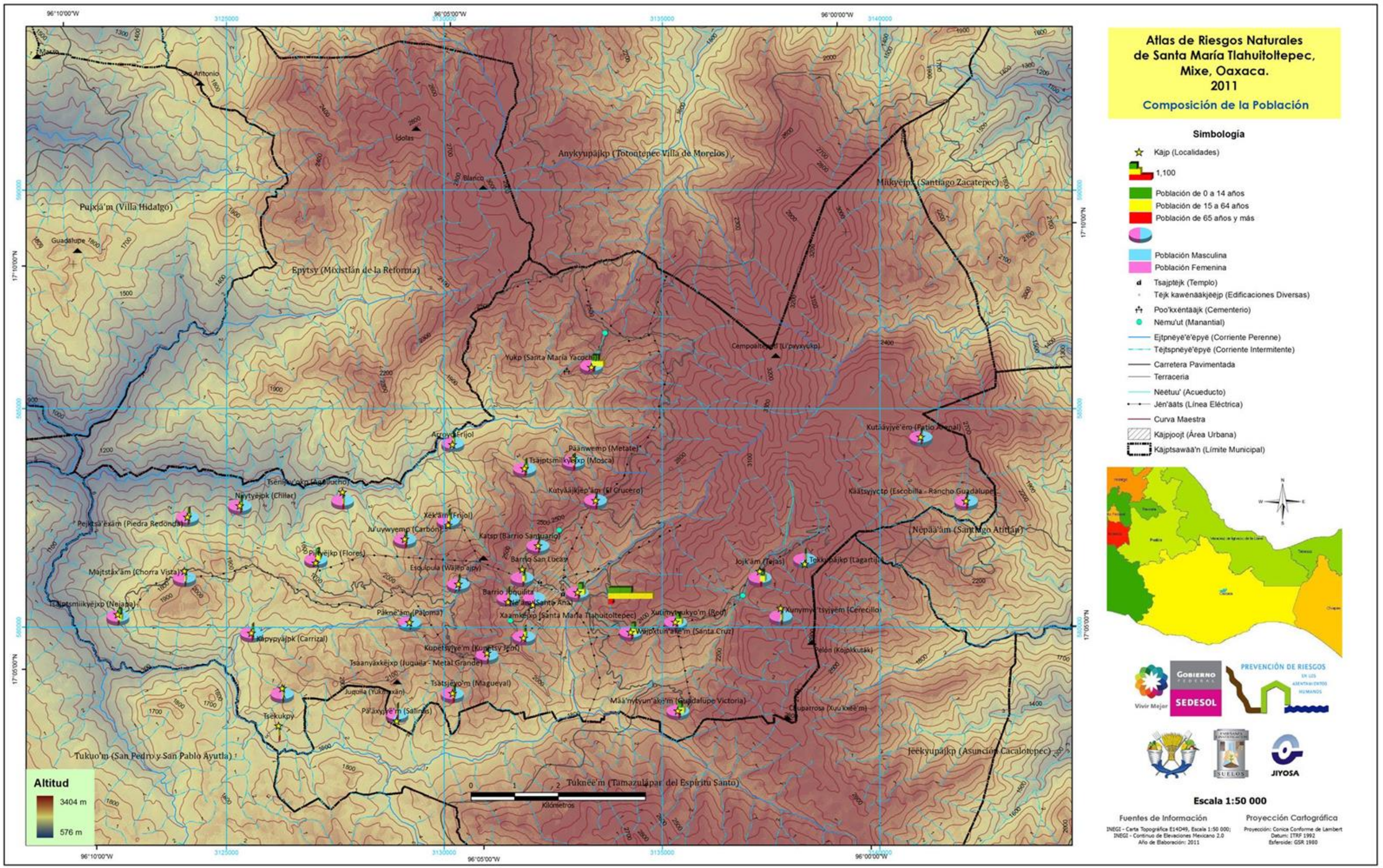


Figura 26. Mapa de Composición de la Población de Santa María Tlahuitoltepec.

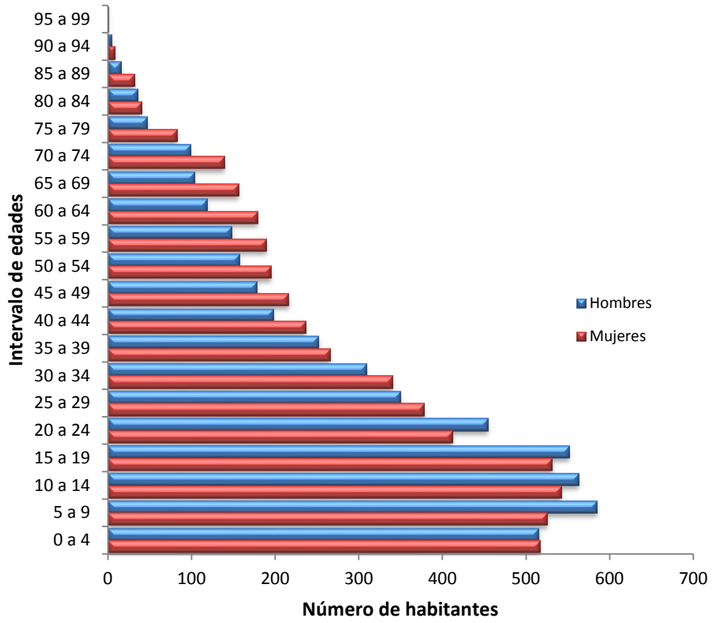


Figura 27. Pirámide de edades de los habitantes de Santa María Tlahuitoltepec.
Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

Mortalidad

De acuerdo con INEGI (2005) la tasa de mortalidad en la cabecera municipal es de 5.6 personas por cada 1000 habitantes y la tasa de mortalidad infantil es de 13.96 %. En 2009 (INEGI) fallecieron un total de 41 habitantes, 66% del sexo masculino y el resto del sexo femenino.

Densidad de población

La densidad de la población en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec es de 62.92 habitantes km^{-2}; sin embargo, los límites geográficos de las localidades del municipio aún no están establecidas por lo que aún no se puede calcular la densidad de población por localidad.

4.2 Características sociales: Índice de marginación, Índice y grado de rezago social, escolaridad, hacinamiento y discapacidad

Índice de marginación

De acuerdo con el Índice de Marginación (IM), Santa María Tlahuitoltepec se ubica como un municipio de Muy Alta marginación, esto se debe a que el 47% de la población vive en condiciones de marginación (CONAPO, 2010); es decir, el ingreso del 67.63% de la población está por debajo de los dos salarios mínimos, mientras que casi el 48.44% no cuenta con el servicio de agua entubada (Cuadro 19).

Cuadro 19. Índice y grado de rezago social de Santa María Tlahuitoltepec.

Indicador	Valor asignado
Población total	9663
Población de 15 años o más analfabeta	28.11
Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela	5.05
Población de 15 años o más con educación básica incompleta	62.47
Población sin derechohabiencia a servicios de salud	77.97
Viviendas con piso de tierra	30.32
Viviendas que no disponen de excusado o sanitario	6.87
Viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública	55.36
Viviendas que no disponen de drenaje	75.01
Viviendas que no disponen de energía eléctrica	20.95
Viviendas que no disponen de lavadora	95.48
Viviendas que no disponen de refrigerador	84.86
Índice de rezago social	2.01702
Grado de rezago social	Muy Alto
Lugar que ocupa en el contexto nacional	94

Fuente: CONEVAL, 2010.

Además, nueve localidades de Santa María Tlahuitoltepec están catalogadas con un grado de Alta Marginación, otras veinticinco localidades con un grado de Muy Alta Marginación (Cuadro 20); la diferencia entre las localidades de alta y muy alta marginación es su ubicación geográfica respecto a las principales vías de comunicación.

Cuadro 20. Índice y grado de marginación de las localidades de Santa María Tlahuitoltepec.

Localidad	Marginación	
	índice	Grado
Aguilucho	1.29	Muy alto
Arroyo Frijol	0.86	Muy alto
Barrio Juquilita	0.13	Alto
Barrio San Lucas	0.45	Alto
Barrio Santuario	0.58	Alto
Carbón	1.30	Muy alto
Carrizal	1.77	Muy alto

Localidad	Marginación	
	índice	Grado
Cerecillo	0.81	Muy alto
Chilar	1.38	Muy alto
Chorra Vista	1.49	Muy alto
El Crucero	1.26	Muy alto
Escobilla (Rancho Guadalupe)	1.94	Muy alto
Esquipulas (Zempoalsúchitl)	1.42	Muy alto
Flores	0.88	Muy alto
Frijol	1.29	Muy alto
Guadalupe Victoria	0.69	Muy alto
Juquila (Metal Grande)	1.67	Muy alto
Kupetsy Jëm	0.43	Alto
Lagartija	1.66	Muy alto
Laguna	2.05	Muy alto
Magueyal	1.96	Muy alto
Metate	1.76	Muy alto
Mosca	1.81	Muy alto
Nejapa	1.10	Muy alto
Paloma (Tsijixïn Äm)	1.79	Muy alto
Patio Arenal	2.14	Muy alto
Piedra Redonda	1.51	Muy alto
Red	0.90	Muy alto
Salinas	1.79	Muy alto
Santa Ana	0.22	Alto
Santa Cruz	0.55	Alto
Santa María Tlahuitoltepec	- 0.32	Alto
Santa María Santa María Yacochi	0.06	Alto
Tejas	0.44	Alto

Fuente: CONAPO, 2005.

Índice y Grado de Rezago Social

Este índice incorpora los siguientes indicadores: educación, acceso a servicios de salud, servicios básicos de calidad, espacios de vivienda y activos en el hogar, además incluye seis de los indicadores del Índice de Marginación; se establece con la finalidad de ordenar a las unidades de observación según sus carencias sociales, también sintetiza diferentes dimensiones de la pobreza al combinar indicadores de carencias, sin embargo, no incorpora indicadores como ingreso, seguridad social y alimentación, aun así, permite analizar la desigualdad de coberturas sociales que subsisten. El valor del Índice de Rezago Social de Santa María Tlahuitoltepec es de 2.01702, es decir, un Grado de Rezago Social Muy Alto; además, ocupa el lugar 94 en el contexto nacional (Cuadro 21).

Cuadro 21. Índice y grado de marginación de Santa María Tlahuitoltepec.

Indicador	Valor asignado
Población total	9663
Porcentaje de población analfabeta de 15 años o más	28.17
Porcentaje de población sin primaria completa de 15 años o más	40.64
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni excusado	4.57
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	18.72
Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada	48.44
Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento	52.24
Porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra	27.21
Porcentaje de población en localidades con menos de 5 000 habitantes	100
Porcentaje de población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos	67.63
Índice de marginación	1.3445
Grado de marginación	Muy Alto
Lugar que ocupa en el contexto nacional	239

Fuente: CONAPO, 2010.

Escolaridad

En Santa María Tlahuitoltepec, el 84.1% de la población de 6 a 14 años sabe leer y escribir, sólo el 15.3% de ésta no sabe leer ni escribir y el 0.6% restante no especifica su situación. Además, el 71.68% de la población de 15 años y más, es alfabeta, el 28.11% es analfabeta y el 0.20% no especificaron su situación (Anexo-Cuadros-Cuadro 3); cabe destacar que la cobertura de infraestructura en educación cubre la mayoría de las agencias y localidades del municipio; el grado de escolaridad promedio en el municipio es 5.94 (Cuadro 22).

Cuadro 22. Población con aptitud para leer y escribir en Santa María Tlahuitoltepec.

Indicador	Población 6 a 14 años		Población 15 años y más	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Sabe leer y escribir	838	828	2448	2152
No sabe leer y escribir	172	132	567	1237
No especificada	6	6	3	10
Total	1016	966	3018	3399

Fuente: INEGI, Censo de población y vivienda 2010.

Hacinamiento

Las condiciones de hacinamiento ocurren cuando en el cuarto de una vivienda duermen más de dos personas, condición que compromete la privacidad de los ocupantes en situaciones como la creación de condiciones inadecuadas para el estudio y esparcimiento, entre otras actividades esenciales para el desarrollo integral de las personas. En Santa María Tlahuitoltepec, el 22% de las viviendas se encuentran en condiciones de hacinamiento (INEGI, 2010).

Discapacidad

De acuerdo con INEGI (2010) en Santa María Tlahuitoltepec habitan 134 individuos con capacidades motrices diferentes; 175 individuos con alguna limitación visual, 19 individuos con limitaciones lingüísticas, 74 individuos con limitaciones auditivas y 23 individuos con capacidades mentales diferentes (Cuadro 23).

Cuadro 23. Tipo de limitación por localidad en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

Localidad	Tipo de limitación					
	Motora	Visual	Comunicación	Auditiva	Aprendizaje	Mental
Santa maría Tlahuitoltepec (Cabecera)	25	47	5	11	3	5
Flores	6	10	0	11	1	1
Nejapa	6	15	0	9	0	0
Santa cruz	14	1	0	3	0	0
Tejas	6	6	0	0	1	0
Santa maría yacochi	10	10	1	12	3	6
Frijol	2	5	1	1	1	1
Juquila (metal grande)	0	0	0	0	0	0
Santa ana	4	4	2	0	2	1
Mosca	0	0	0	0	0	0
Guadalupe victoria	9	0	0	0	2	1
Metate	0	2	1	0	0	0
Patio arenal	1	1	0	0	0	0
Laguna	0	3	0	1	0	0
Magueyal	1	0	1	0	0	2
Tsëkukpy	*	*	*	*	*	*
Escobilla (rancho Guadalupe)	3	7	0	2	0	0
Red	6	1	1	0	0	1
Esquipulas (zempoalsúchitl)	2	0	0	0	0	0
Aguilucho	1	1	1	1	0	0
Carrizal	3	11	0	2	0	1
Chilar	14	17	2	8	2	0
Piedra redonda	6	10	3	2	2	3
Carbón	5	9	0	6	3	0
Salinas	1	0	0	0	0	0
Lagartija	0	0	0	0	0	1
Paloma (päjk'nëëäm)	1	5	0	2	0	0
Chorra vista	0	0	0	0	0	0
Arroyo frijol	1	1	0	0	0	0
Barrio santuario	1	0	0	0	0	0
Kupetsy jem	4	0	0	0	0	0
Barrio juquilita	0	0	0	0	0	0
Barrio san lucas	2	8	1	3	1	0
El crucero	0	0	0	0	0	0
Cerecillo	0	1	0	0	0	0
Localidades de una vivienda	0	0	0	0	0	0
Total del municipio	134	175	19	74	21	23

Fuente: INEGI, Censo de población y vivienda 2010.

4.3 Principales actividades económicas en la zona: Población Económicamente Activa, Principales actividades económicas de la zona

Población Económicamente Activa (PEA)

En Santa María Tlahuitoltepec, el 57.9% de la PEA está ocupada en el sector primario, el 19.6% en el sector secundario y el 19.4% en el sector terciario; la PEA es de 2252 individuos. Es importante destacar que el 50% del PEA se localiza en el centro del municipio, sólo el 29.1% en la zona alta y el 20.5% en la zona baja del mismo (Anexo-Cuadros-Cuadro 5) (INAFED, 2008).

Principales actividades económicas en la zona

La economía de Santa María Tlahuitoltepec se basa en actividades como la agricultura, ganadería y el comercio. Los servicios son un sector creciente en la economía local (Ayuntamiento de Santa María Tlahuitoltepec, 2010).

a) Agricultura

Las actividades agrícolas se caracterizan por ser minifundistas, en otras palabras, la producción se sustenta en unidades familiares, atomizas y dispersas. Los sistemas de cultivo son básicamente tradicionales, tal como el cultivo de maíz y frijol bajo el sistema milpa; con estos sistemas de producción tradicional, los productos que se obtienen son granos básicos de autoconsumo, además, son sistemas de cultivo propios de la cultura y tradición local. Los cultivos principales son: maíz, frijol, chilacayote, papa, calabaza y chícharo (Anexo-Cuadros-Cuadro 6); sin embargo, la adopción de nuevas tecnologías agrícolas y sistemas de cultivo son empoderadas con gran facilidad por parte de los agricultores. Cabe señalar que la innovación en tecnología agrícola es incipiente; lo convencional es cultivar de forma manual con ayuda de coas y en algunos casos con el uso de arados con tracción animal (Figura 28).

Figura 28. Sistema tradicional de producción agrícola, Las Flores.

En 2007 existían un total de 860 unidades de producción agrícola en una superficie de 2898.98 ha; alrededor de 856.58 ha no fueron sembradas y 257.56 ha se dejaron en descanso; las razones que obstaculizaron la siembra fueron: disminución de la mano de obra local (32.7%), mal temporal (15.4%), recursos económicos y apoyos escasos (13.3%) y degradación de suelo y otros (12.4%). Además, 2872.55 ha están bajo temporal y solo 26.43 ha están bajo riego (INEGI, 2007).

b) Ganadería

La ganadería en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec es una actividad poco explorada; básicamente la cría de aves en sistemas de traspatio es la actividad, con ganado menor, más importante del municipio. Este sistema de cría es altamente rentable, las condiciones de manejo son muy favorables y las especies que se usan son gallinas, gallos y guajolotes criollos.

Por otra parte, las unidades de producción con bovinos, porcinos, caprinos y ovinos es una actividad rústica e incipiente (Anexo-Cuadros-Cuadro 7).

c) Actividad Forestal

En Santa María Tlahuitoltepec existen 194 unidades de producción forestal (UPF); se aprovechan especies como *Quercus* (7290.31m^3), *Pinus* (380.75 m^3) y otras (855.03 m^3). También se explotan volúmenes no maderables (1531.74 m^3) para leña en 25 UP, hongos (1 UP) y tierra de monte (1 UP) (INEGI, 2007).

d) Otras actividades productivas.

Existen actividades tales como la panificación, joyería, hilados y tejidos, albañilería, herrería, carpintería, alfarería, curtiduría, pirotecnia, entre otras, que complementan a las actividades agrícolas y ganaderas en el municipio (Ayuntamiento de Santa María Tlahuitoltepec, 2010).

4.4 Estructura urbana: Equipamiento, salud, y servicios en la vivienda

Equipamiento

La infraestructura pública en Santa María Tlahuitoltepec está compuesta por edificaciones como el Palacio Municipal, el Edificio del Comisariado de Bienes Comunales, la tienda DICONSA, la Escoleta Municipal (escuela de música), los Centros de Educación Inicial (2), Preescolar (2), Primarias completas (2), Educación Especial, Albergue Escolar, Secundaria General, Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTa), Escuela de Capacitación Musical Mixe (CECAM), Instituto Tecnológico de la Región MIXE (ITRM) y una clínica del Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS). Además, en las localidades de Las Flores, Frijol, Guadalupe Victoria, Santa Cruz y Tejas existen casas de salud y al menos una cancha de baloncesto en cada localidad (Anexo-Cuadros-Cuadro 8) (Ayuntamiento de Santa María Tlahuitoltepec, 2010).

Salud

Los servicios de salud se otorgan mediante el Instituto del Seguro Social (IMSS), algunas instituciones religiosas, farmacias comunitarias y 3 consultorios particulares de medicina general (Ayuntamiento de Santa María Tlahuitoltepec, 2010). Sin embargo, el 78% de la población no es derechohabiente de alguna de las instituciones públicas antes mencionadas por lo tanto no acceden a servicio médico gratuito (Anexo-Cuadros-Cuadro 9).

Servicios en la vivienda

La red eléctrica de la cabecera municipal se alimenta a través de una línea trifásica que abastece el 99% de las viviendas. La red de suministro de agua potable abastece el 90% de las viviendas; el resto de las viviendas en la cabecera municipal (barrio El Ocotal) y las localidades de Nejapa, Las Flores y Laguna se abastecen por una red de agua potable independiente al de la cabecera municipal. La red de alcantarillado de aguas grises y negras en la cabecera municipal cubre tan sólo la zona centro; la disposición final de estas aguas se realiza en un depósito ubicado al sur de la cabecera, donde no existe un tratamiento de las aguas. Además, el uso de fosas sépticas es mucho más común en el municipio (Anexo-Cuadro-Cuadro 10).

Capítulo V

Identificación de riesgos, peligros y vulnerabilidad ante fenómenos perturbadores de origen natural

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

5.1 Riesgos, peligros y/o vulnerabilidad ante fenómenos de origen Geológico

Los peligros o amenazas geológicas; sismos, tsunamis, inestabilidad de laderas, fallas y fracturas son resultado de la dinámica de las fuerzas internas de la tierra; estas fuerzas se manifiestan a través del movimiento de las placas tectónicas y la actividad volcánica.

En el estado de Oaxaca, el movimiento tectónico se manifiesta a través de la Placa de Cocos; el movimiento es en dirección este con un desplazamiento promedio de 7 cm año^{-1}, ésta situación provoca una colisión de placas, es decir, la corteza oceánica es destruida en una zona de decreción (zona de apertura) de la fosa mesoamericana y una parte menor de ella se suma a la corteza continental en una zona de acreción (zona de subducción), en el talud continental (Gobierno del estado de Oaxaca, 2003).

5.1.1 Fallas y Fracturas

El Municipio de Santa María Tlahuitoltepec es afectado por una red de fallas denominadas, El Taller, Tejas, Tlahui 1 y 2, Santa Ana 1 y 2, El Frijol, Las Flores 1 y 2, Horst Metate y La Ardilla. El mayor número de fallas es de tipo normal e inversa (Figura 29); Tlahui 2 es de tipo lateral; Horst Metate es una asociación de fallas que forma un macizo tectónico (Horst), lo que vuelve a la fosa formada un una zona de alta actividad y riesgo sísmico (Figura 30).

.

Figura 29. Fallas Normales en la localidad de Tejas.

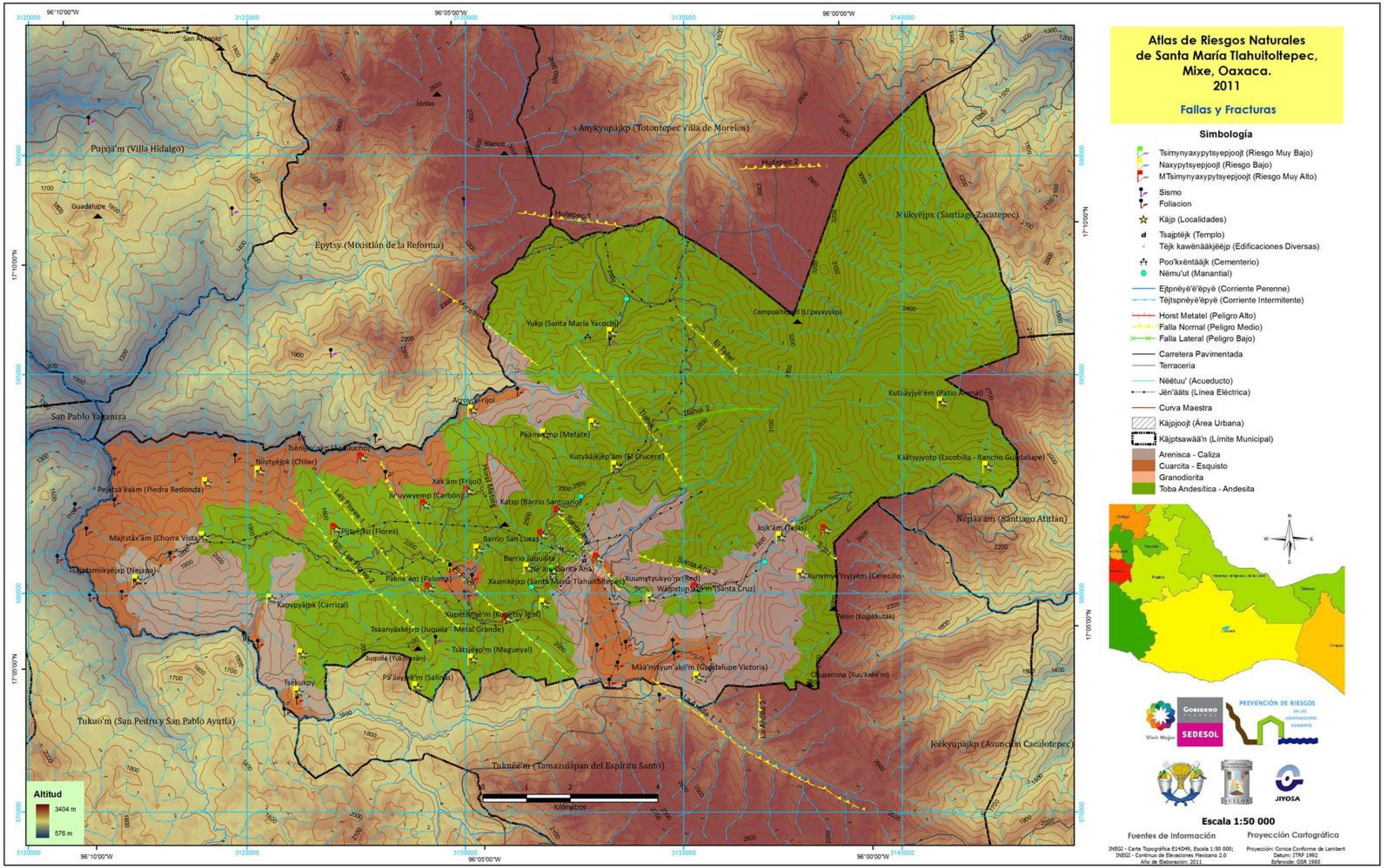


Figura 30. Mapa de Fallas y fracturas de Santa maría Tlahuitoltepec.

5.1.2 Sismos

La actividad sísmica en el estado de Oaxaca es significativamente intensa, durante más de 180 millones de años ha tenido manifestaciones de actividad sísmica y volcánica. La corteza continental en el estado está afectada por esfuerzos de deformación y ruptura por cizalla, debido a la interacción de las Placas Norteamericana y Cocos; la Placa de Cocos es destruida bajo la Placa Norteamericana en un proceso geológico denominado subducción. Además, la placa de Cocos se mueve en dirección este a una velocidad promedio de 7 cm año^{-1}, este movimiento provoca la colisión de las placas (Gobierno del estado de Oaxaca, 2003).

En la regionalización sísmica de México, de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Santa María Tlahuitoltepec, se localiza dentro de la zona C de peligro Medio-Alto (Figura 31); las aceleraciones del terreno son mayores a 10% de aceleración de gravedad terrestre (*g*).

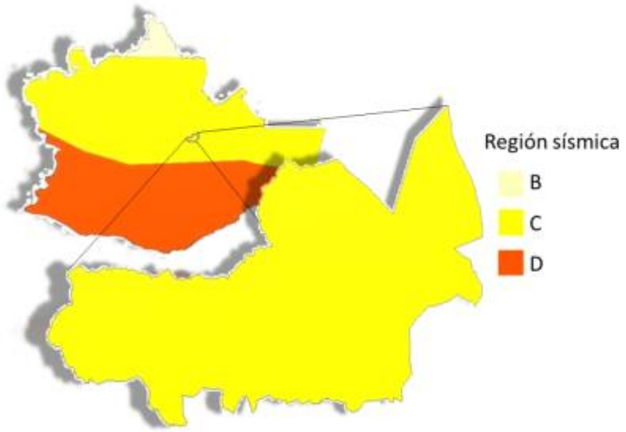


Figura 31. Región sísmica en Santa María Tlahuitoltepec, Región C.
Fuente: CFE, 1993.

En México el tipo de obra civil dominante sufre graves afectaciones en su estructura a partir de un nivel de excitación del terreno igual o mayor al 15% de aceleración de la gravedad terrestre; en este sentido, la CFE generó el mapa de Periodos de Retorno para Aceleraciones de 15% de *g* o mayores (Figura 32) (CFE, 1993).

Para la determinación del nivel de riesgo por sismicidad se analizaron los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años (Figura 33, 34 y 35) que determina la vida útil de las diferentes construcciones. Los periodos de retorno indican aceleraciones máximas para terreno firme, es decir, es el tiempo medio (en años) que tarda en ocurrir un sismo con una aceleración del terreno, previamente definida en el análisis. Cabe destacar que con aceleraciones del terreno de 150 cm s^{-2} se deben considerar medidas estructurales en el diseño de obras civiles (CENAPRED, 2006); con un periodo de retorno de 500 años las estructuras de obra civil están en peligro (Figura 36).

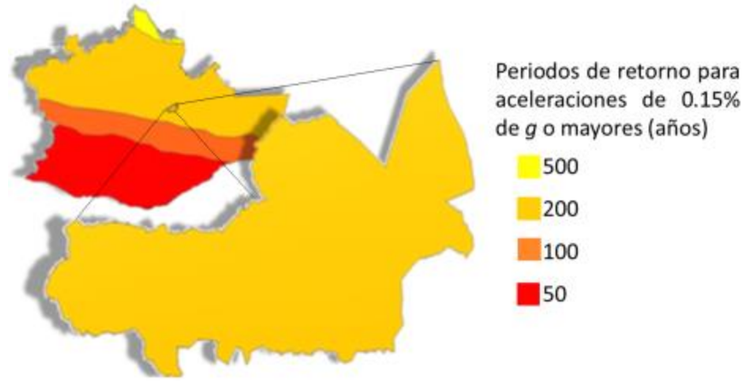


Figura 32. Santa María Tlahuitoltepec en el contexto del mapa nacional de periodos de retorno para aceleraciones de 15% de *g* o mayores. **Fuente**: CFE, 1993.

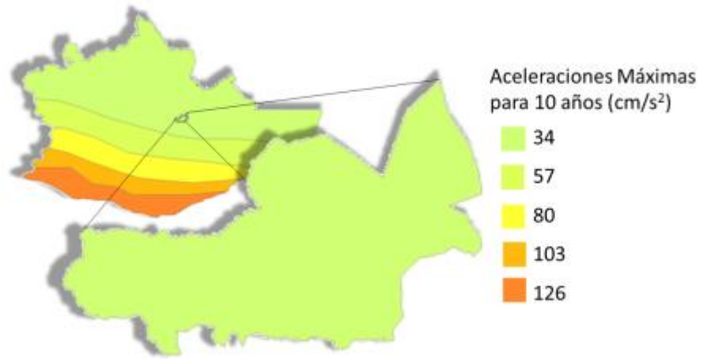


Figura 33. Santa María Tlahuitoltepec en el contexto del mapa nacional aceleraciones máximas para periodos de retorno de 10 años (aceleración máxima 34 cm s^{-2}). **Fuente**: CFE, 1993.

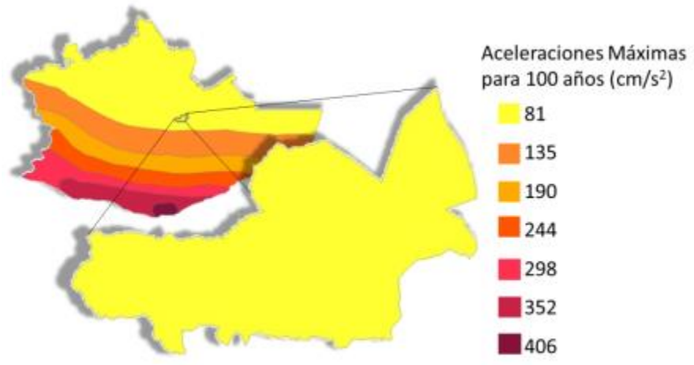


Figura 34. Santa María Tlahuitoltepec en el contexto del mapa nacional aceleraciones máximas para periodos de retorno de 100 años (aceleración máxima 81 cm s^{-2}). **Fuente**: CFE, 1993.

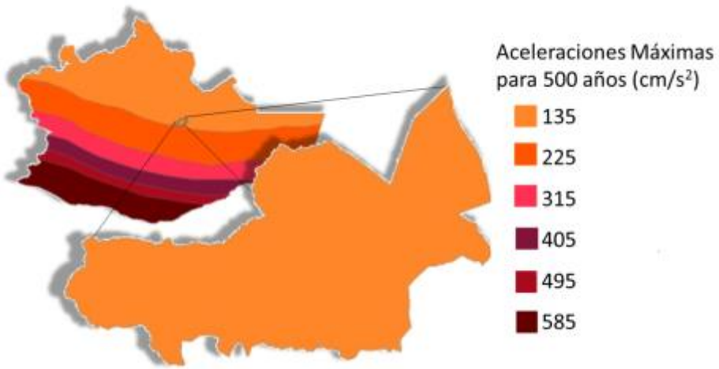


Figura 35. Santa María Tlahuitoltepec en el contexto del mapa nacional de aceleraciones máximas para periodos de retorno de 500 años (aceleración máxima 135 cm s^{-2}).**Fuente:** CFE, 1993.

El registro de la actividad sísmica en Santa María Tlahuitoltepec señala que en 1956 ocurrió un sismo del que no se tiene registro de intensidad y duración; sin embargo, el efecto más notable se avista en el agrietamiento del templo local. Desde la década de 1990 se han registrado dos eventos sísmicos con epicentro en el municipio (Figura 37).

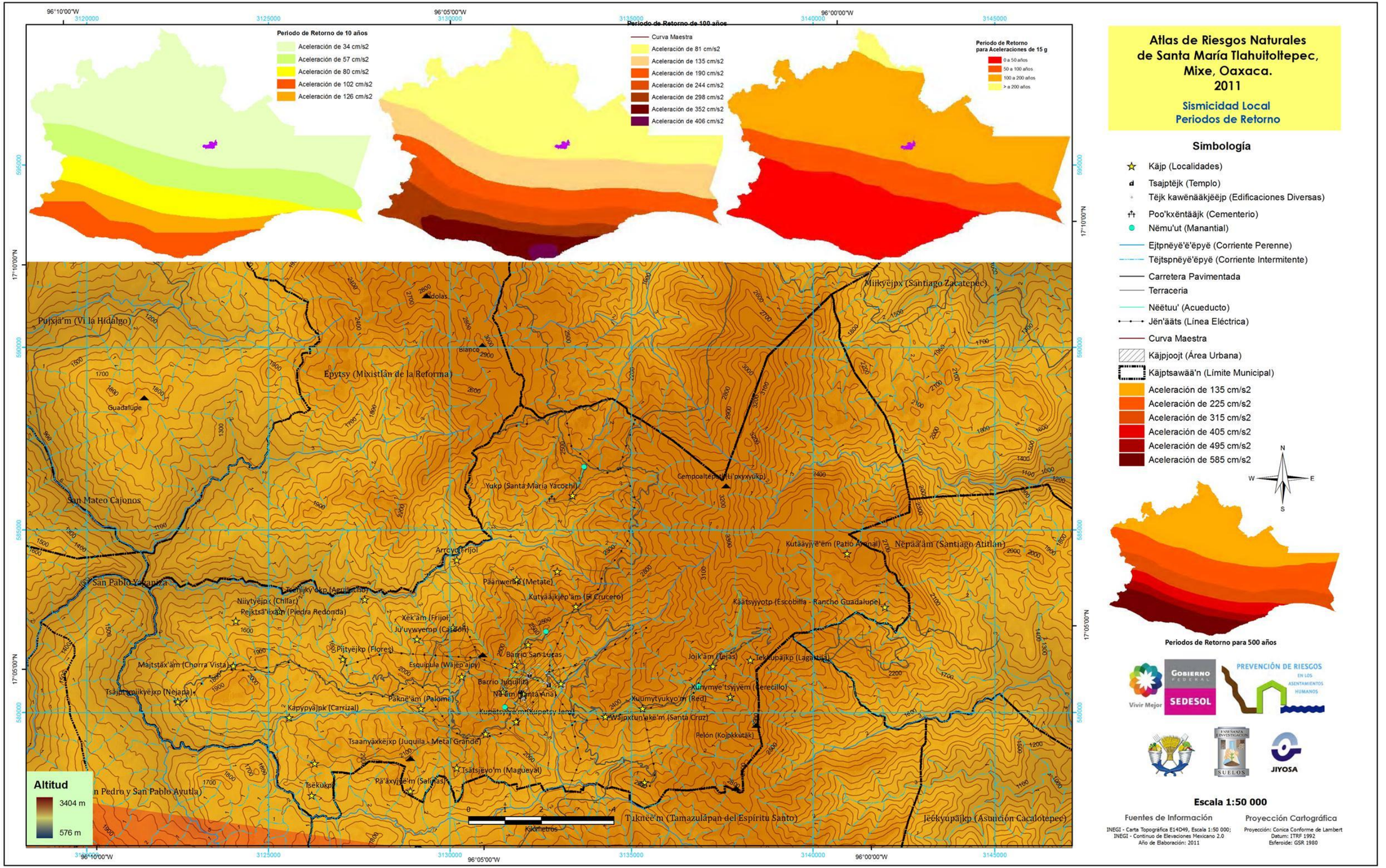


Figura 36. Mapa de Sismicidad Local Periodos de Retorno en Santa María Tlahuitoltepec.

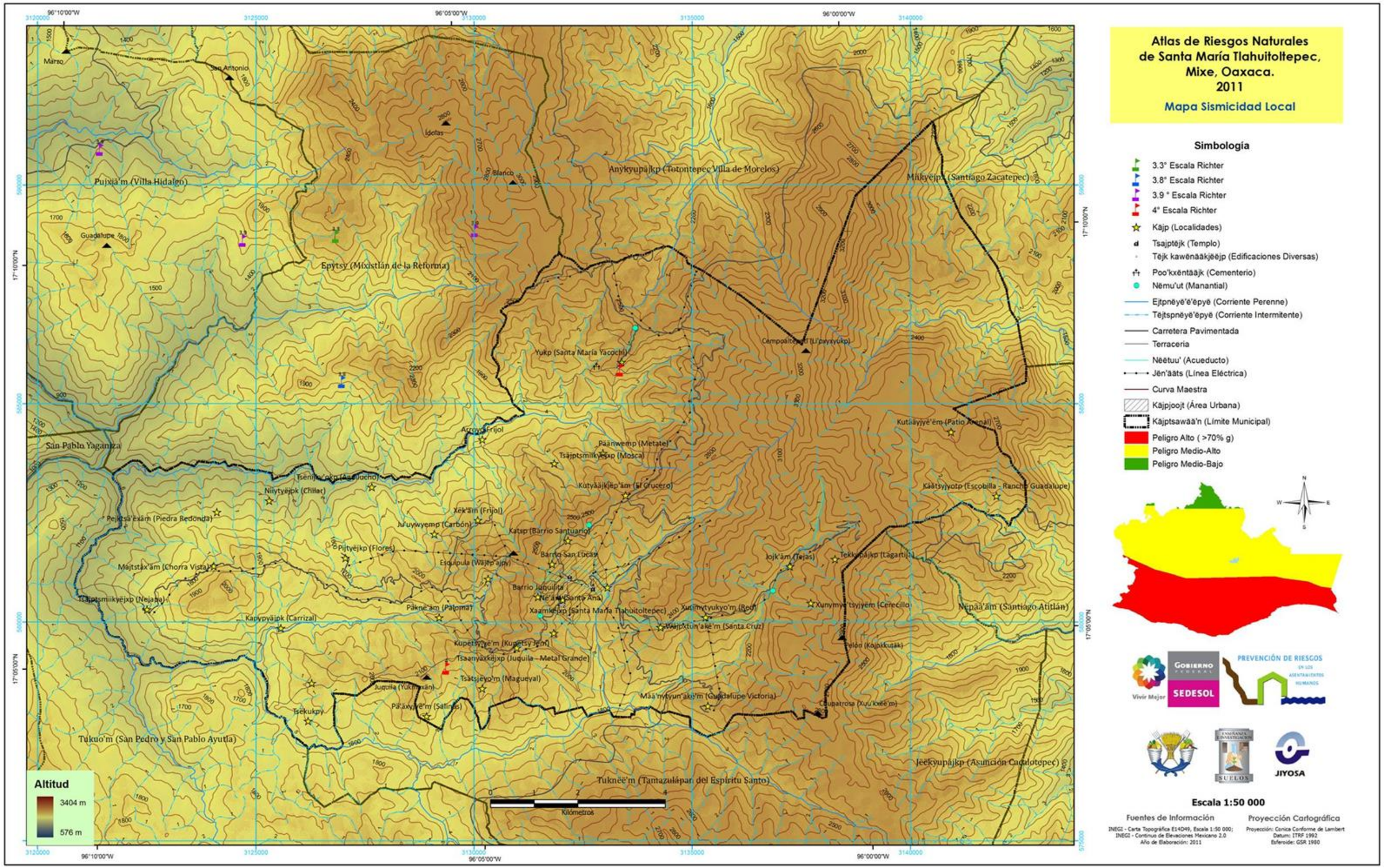


Figura 37. Mapa de Sismicidad Local de Santa María Tlahuitoltepec.

5.1.3 Tsunamis o maremotos

Los tsunami son olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un sismo; además, la altura máxima esperada de olas que impacten la franja inmediata a la línea de costa en la zona receptora de tsunamis lejanos es de 3 m. Para la zona generadora de sismos locales, la altura máxima reportada varía entre 7 y 11 m. Por esta razón, es recomendable establecer, de manera preliminar, la cota de 10 m como la altura del peor escenario esperable de desastre, el cual deberá incluir desembocaduras de ríos, en vista de que el oleaje anormal puede avanzar a lo largo de los causes.

En este sentido, Santa María Tlahuitoltepec se ubica a una altitud de 2500 m y alejada 131 km de la línea de costa; en este sentido, el municipio no está en peligro por tsunamis (Figura 38).

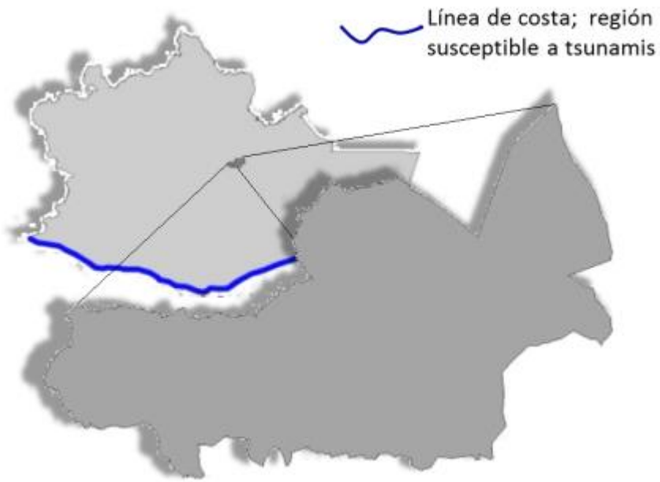


Figura 38. Santa María Tlahuitoltepec en el contexto del mapa nacional de peligro por tsunamis. NOTA: El ancho de la franja de color azul no indica el área de influencia tierra adentro; la penetración de las olas depende básicamente de la topografía del área inmediata de la línea de costa. **Fuente**: CENAPRED, 2006**.**

5.1.4 Vulcanismo

En el análisis del riesgo volcánico se consideró en primer término la probabilidad de ocurrencia de una erupción en relación a la ubicación geográfica de Santa María Tlahuitoltepec y los volcanes activos de México; un espacio geográfico respecto a un volcán activo debe estar distanciado al menos 100 km para descartar el peligro por vulcanismo; es decir, para minimizar los daños causados por la densidad de las cenizas y el movimiento de la corteza que una erupción tiene como efecto colateral (CENAPRED, 2006).

El análisis de riesgo volcánico en Santa María Tlahuitoltepec con base en la metodología de CENAPRED ubicó al municipio con un riesgo muy bajo; un *buffer* de 100 km con respecto al límite municipal reveló una zona con ausencia de volcanes activos y volcanes categoría 1, 2 y 3, que son los de mayor peligrosidad y de actividad geológicamente reciente (Figura 39).

Figura 39. Ubicación geográfica de volcanes activos en México respecto a Santa María Tlahuitoltepec; *buffer* de 100 km.

5.1.5 Movimiento de masas (deslizamientos, flujos y derrumbes)

El deslizamiento es un término que abarca casi todos los movimientos de masas en las laderas, entre ellos, los derrumbes, aludes de tierra y flujos de lodo (Figura 40), que implican movimiento por gravedad. Los elementos que afectan a la estabilidad de laderas son varios e interactúan de formas complejas y a menudo sutiles. Los factores naturales que afectan los deslizamientos son sismos, propiedades intrínsecas del suelo (físicas, químicas y mineralógicas), geología, geomorfología e hidrología (Varnes, 1984).

Figura 40. Flujo de lodo en el Barrio San Pablo , 2010.

Con base en un análisis que determinó el índice de estabilidad de las laderas en Santa María Tlahuitoltepec (Figura 41); la mayor parte de la superficie del municipio se encuentra entre el límite inferior y superior de inestabilidad; es decir, cerca del 80 % de la superficie del municipio tiene un peligro de medio a alto (Figura 42). La mayor parte del área con inestabilidad se concentra en las partes medias y altas, debido a la presencia de Leptosoles, los cuales presentan rocosidad superficial, texturas gruesas y una poca profundidad de suelo. Las zonas más bajas comprenden índices moderadamente estables a estables, influenciando en mayor parte por las condiciones de poca pendiente, gran profundidad de suelo y texturas de medias a finas, entre estas regiones se contemplan las localidades de Nejapa, Las Flores, Patio arenal, Carrizal y Laguna. La mayor parte del municipio comprende alturas intermedias entre los 1800 y 2800 msnm, zonas de pendientes altas, lo que conlleva a establecerlas en situaciones de poca estabilidad.

El análisis de los factores que determinan el movimiento de masas indica que las localidades como Nejapa, Carrizal, Las Flores, Laguna y Patio arenal son áreas estables y pueden utilizarse como sitios de concentración seguros durante una contingencia. Sin embargo, las localidades como Santa María Tlahuitoltepec (cabecera municipal), Santa María Yacochi, Metate, Arroyo Frijol y El Chilar se ubican en áreas inestables. Estas localidades deben considerarse prioritarias dentro de un plan de contingencia municipal.

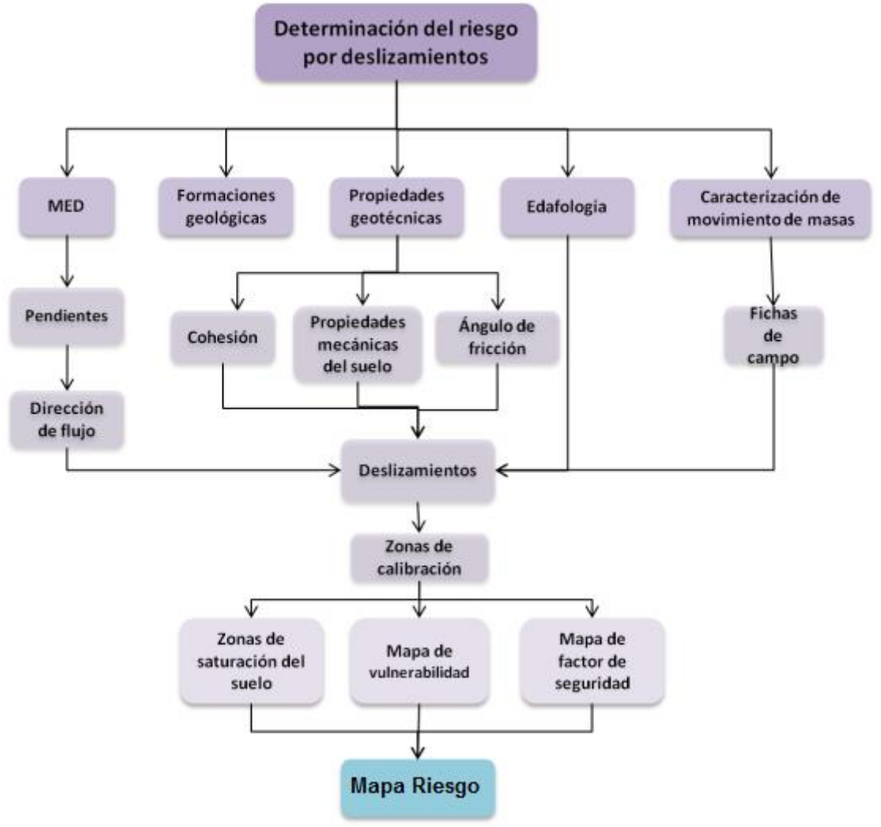


Figura 41. Diagrama de flujo para determinar riesgo por deslizamientos.

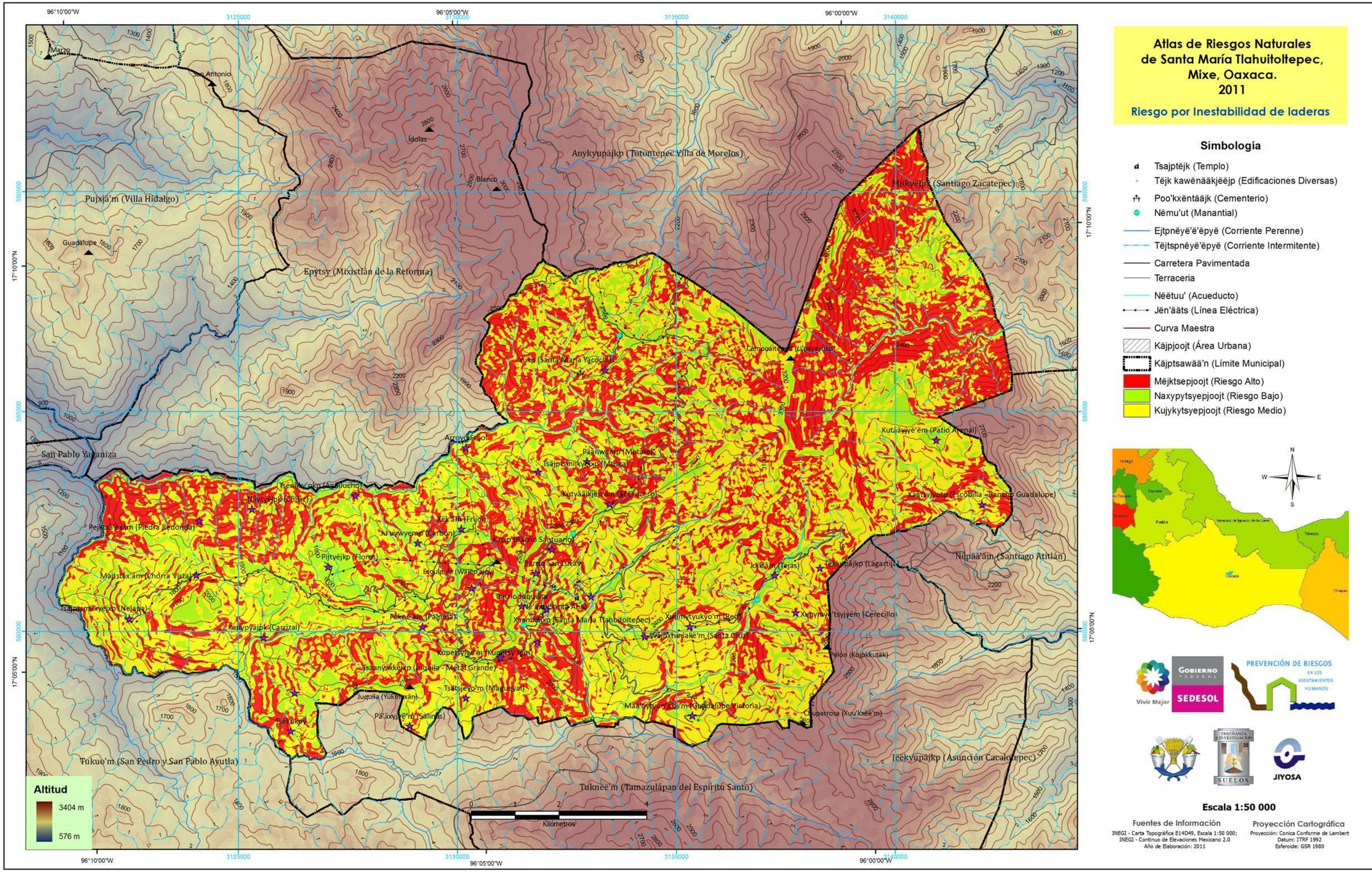


Figura 42. Mapa de Peligro de Inestabilidad de Laderas de Santa María Tlahuitoltepec.

Análisis de la precipitación

El análisis de la precipitación (lluvia máxima en 24 h) se realizó con datos de la estación 2000 (Ayutla) que cuenta con 38 años de registro de información (1961-2008). El análisis estadístico se determinó para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 75, y 100 años (Cuadro 24).

Cuadro 24. Resultados del análisis estadístico de la precipitación de la estación 2000-Ayutla.

Periodo de retorno	q	P en 24 h	Desviación Estándar	Intervalo de confianza
100	0.990	131.07	8.5761	114.26 - 147.88
75	0.986	128.08	8.2799	111.85 - 144.31
50	0.980	123.66	7.8496	108.27 - 139.04
25	0.960	115.41	7.0776	101.54 - 129.29
20	0.950	112.54	6.8191	99.167 - 125.90
10	0.900	102.65	5.9892	90.910 - 114.39
5	0.800	90.68	5.1508	80.582 - 100.78
3	0.666	79.50	4.6159	70.451 - 88.549
2	0.500	67.80	4.4110	59.153- 76.447

q: Probabilidad de no excedencia de la precipitación máxima para cada periodo de retorno; P en 24 h: Precipitación máxima en 24 horas

Intervalos altitudinales

La altitud promedio en la mayor parte del territorio municipal oscila entre los 1800 y los 2600 m, en la que se concentra más del 55%, mientras que las partes más altas entre los 3000 a 3400 m, se concentra menos del 4% del territorio (Cuadro 25).

Cuadro 25. Intervalos de elevación por superficie en Santa María Tlahuitoltepec.

Categoría	Altitud (m)	Área (ha)	Área (m^2)	Porcentaje (%)
1	800 - 1200	328.38	3283832	2.14
2	1200 - 1400	573.87	5738739	3.74
3	1400 - 1600	880.77	8807666	5.75
4	1600 - 1800	1477.66	14776631	9.64
5	1800 - 2000	1844.04	18440383	12.03
6	2000 -2200	2318.90	23188956	15.13
7	2200 - 2400	2582.48	25824799	16.85
8	2400 - 2600	2267.82	22678188	14.80
9	2600 - 2800	1736.21	17362135	11.33
10	2800 - 3000	688.26	6882597	4.49
11	3000 - 3100	258.11	2581080	1.68
12	3100 - 3200	220.01	2200086	1.44
13	3200 - 3400	151.65	1516455	0.99
Total		**15328.15**	**153281547**	**100**

Direcciones de flujo

La caracterización de las direcciones de flujo en Santa María Tlahuitoltepec (Figura 43) determinó que existen más sitios donadores que receptores (Cuadro 26); esta información coincide con las observaciones de campo. La acumulación de flujos en pendientes pronunciadas y una alta precipitación provoca la saturación del suelo lo que genera desprendimientos de lodos y rocas.

Cuadro 26. Intervalos de dirección de flujo por superficie en Santa María Tlahuitoltepec.

Categoría	Intervalos de 0 a π	Área (ha)	Área (m^2)	Porcentaje (%)
1	0 - 0.6	1158.11	11581131	7.56
2	0.6 - 1.2	1034.52	10345184	6.75
3	1.2 - 1.8	1523.18	15231784	9.94
4	1.8 - 2.4	1725.74	17257395	11.26
5	2.4 - 3.0	1690.53	16905342	11.03
6	3.0 - 3.6	1854.57	18545682	12.10
7	3.6 - 4.3	1793.65	17936506	11.70
8	4.3 - 4.9	1576.51	15765075	10.29
9	4.9 - 5.6	1599.89	15998878	10.44
10	5.6 - 6.3	1371.46	13714570	8.95
Total		**15328.15**	**153281547**	**100**

Áreas de contribución específica

La acumulación de flujo realiza un conteo acumulativo del número de píxeles que se vierten en las tomas de corriente, la operación se realiza para encontrar el patrón de drenaje de un terreno (Figura 44). Esta acumulación de flujo creció durante el evento de lluvia máxima hasta rebasar los límites permisibles, situación que favoreció la formación de flujos de lodos. En el municipio existen áreas con acumulaciones de flujo altas por intervalo de área en el municipio (Cuadro 27). El mapa obtenido evidencia los valores acumulados de flujo hidrológicos que representan el número de píxeles de entrada que contribuyen al agua en los puntos de salida.

Cuadro 27. Intervalo de área por superficie en Santa María Tlahuitoltepec.

Categoría	Intervalo de área (m^2m^{-1})	Área (ha)	Área (m2)	Porcentaje
1	0 - 1.4	809.96	8099629	5.28
2	1.4 - 1.8	3653.20	36532029	23.83
3	1.8 - 2.1	4877.24	48772373	31.82
4	2.1 - 2.4	3129.69	31296874	20.42
5	2.4 - 2.7	1283.14	12831439	8.37
6	2.7 - 3.2	846.72	8467235	5.52
7	3.2 - 3.7	347.74	3477400	2.27
8	3.7 - 4.5	248.25	2482464	1.62
9	4.5 - 5.5	101.18	1011791	0.66
10	5.5 - 7.1	31.03	310314	0.20
Total		15328.15	153281547	100

Pendiente

En Santa María Tlahuitoltepec el 65% de la superficie tiene una pendiente entre 20 y 45 grados; menos del 3% de la superficie está en el intervalo más bajo de pendiente; entre los 10 y 45 grados se alcanzan valores superiores al 85% de la superficie total del municipio (Cuadro 28) (Figura 45).

Cuadro 28. Intervalos de pendientes por superficie en Santa María Tlahuitoltepec.

Categoría	Intervalos de pendiente (Grados)	Área (ha)	Área (m^2)	Porcentaje (%)
1	0 -2	151.20	1512016	0.99
2	2 - 5	294.15	2941498	1.92
3	5 - 10	992.81	9928094	6.48
4	10 - 20	3363.44	33634420	21.94
5	20 - 30	5206.15	52061526	33.96
6	30 - 45	4795.22	47952242	31.28
7	45 - 71	525.18	5251751	3.43
Total		**15328.15**	**153281547**	**100**

Saturación

La mayor parte de la superficie del municipio se encuentra en el intervalo de parcialmente saturadas y saturado (Figura 46), lo que confiere condiciones de inestabilidad en los límites inferior y superior de la zona (Cuadro 29).

Cuadro 29. Intervalos de saturación por superficie en Santa María Tlahuitoltepec.

Clasificación	Intervalos de saturación	Área (ha)	Área (m^2)	Porcentaje (%)
Baja saturación	0.0 - 0.1	330.69	3306851	2.16
Parcialmente saturadas	0.1 - 1.1	10012.82	100128239	65.32
Límite de saturación	1.1 - 2.1	1554.84	15548421	10.14
Saturación	2.1 - 3.1	3429.80	34298036	22.38
Total		**15328.15**	**153281547**	**100**

Índice de estabilidad

Santa María Tlahuitoltepec se ubica en seis grados de estabilidad; estable, moderadamente estable, cuasi-estable, límite inferior de inestabilidad, límite superior de inestabilidad e inestable (Cuadro 30). La mayor parte de la superficie del municipio se encuentra en el intervalo del límite inferior y superior de inestabilidad; es decir, cerca del 80% de la superficie del municipio.

Cuadro 30. Clasificación de la estabilidad por superficie en Santa María Tlahuitoltepec.

Clasificación	Índice de Estabilidad	Área (ha)	Área (m^2)	Porcentaje (%)
Estable	> 1.50	1115.41	11154136	7.28
Moderadamente estable	1.25 - 1.50	456.35	4563539	2.98
Cuasi - estable	1.00 - 1.25	878.50	8785004	5.73
Límite inferior de inestabilidad	0.50- 1.00	7787.48	77874841	50.81
Límite superior de inestabilidad	0.00 - 0.50	4491.75	44917529	29.30
Inestable	0.00	598.65	5986498	3.91
Total		**15328.15**	**153281547**	**100**

Con la obtención del mapa de índice de estabilidad de laderas se determinó el grado de riesgo a movimientos de masas (Figura 47 y 48). Es de mencionarse que la ubicación de los deslizamientos producidos (Figura 49) se encuentra en las áreas entre los límites inferior y superior de inestabilidad y zonas inestables, reafirmando esta información con lo obtenido en el estudio y en la caracterización de los movimientos de masas de la región (Anexo-Fichas de Campo-Caracterización Deslizamientos).

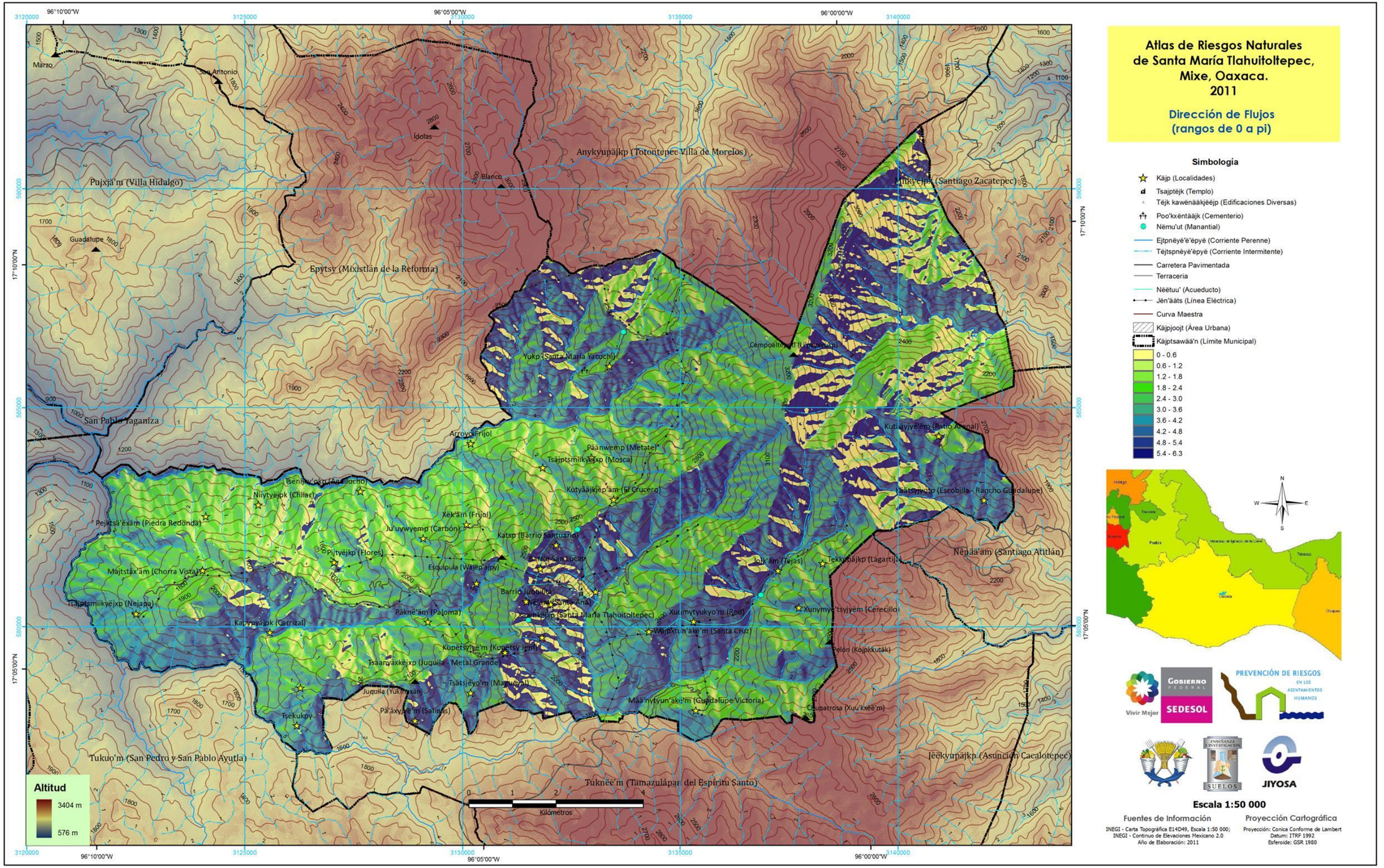


Figura 43. Mapa de Dirección de Flujos en Santa María Tlahuitoltepec.

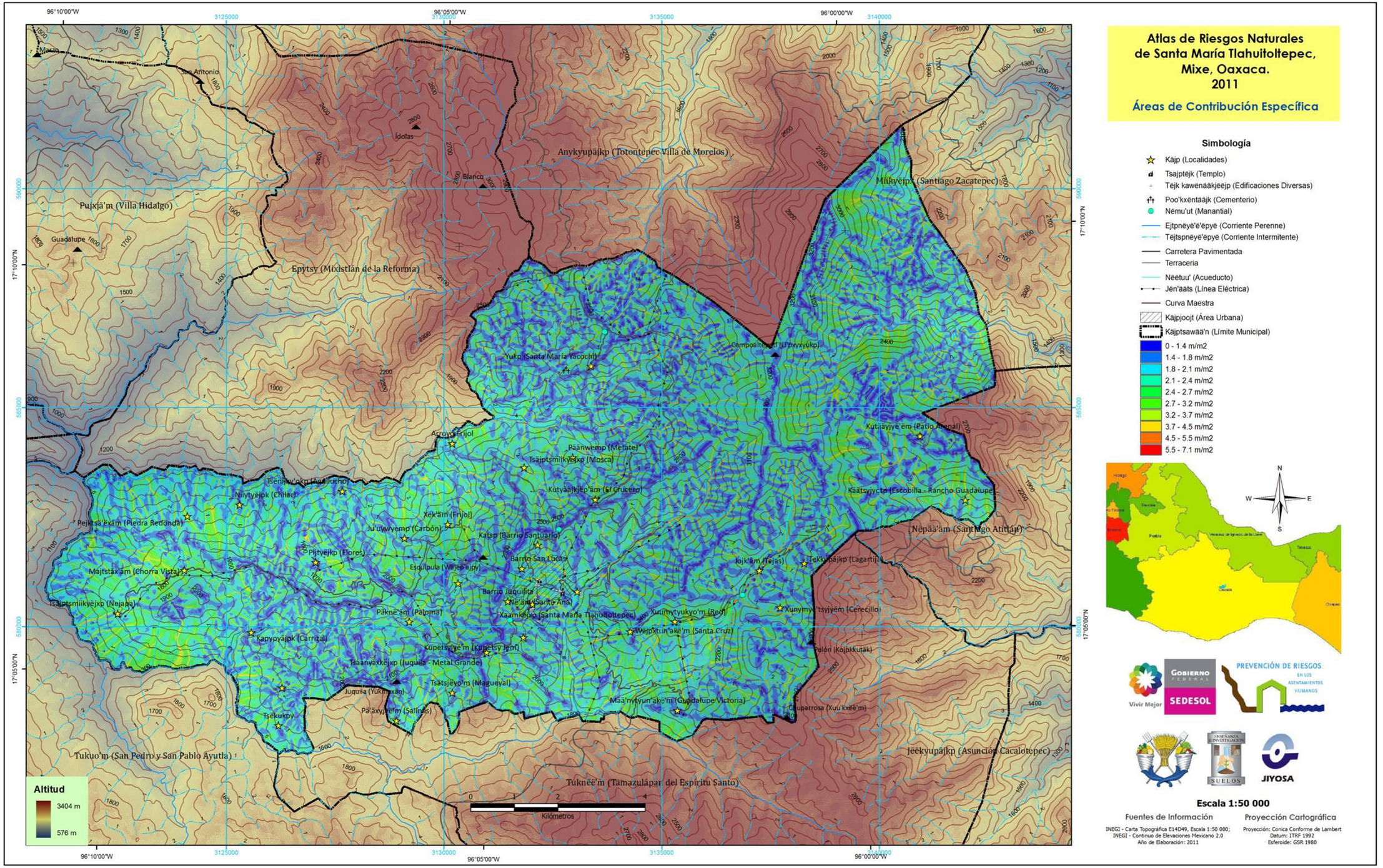


Figura 44. Mapa de Áreas de Contribución Específica.

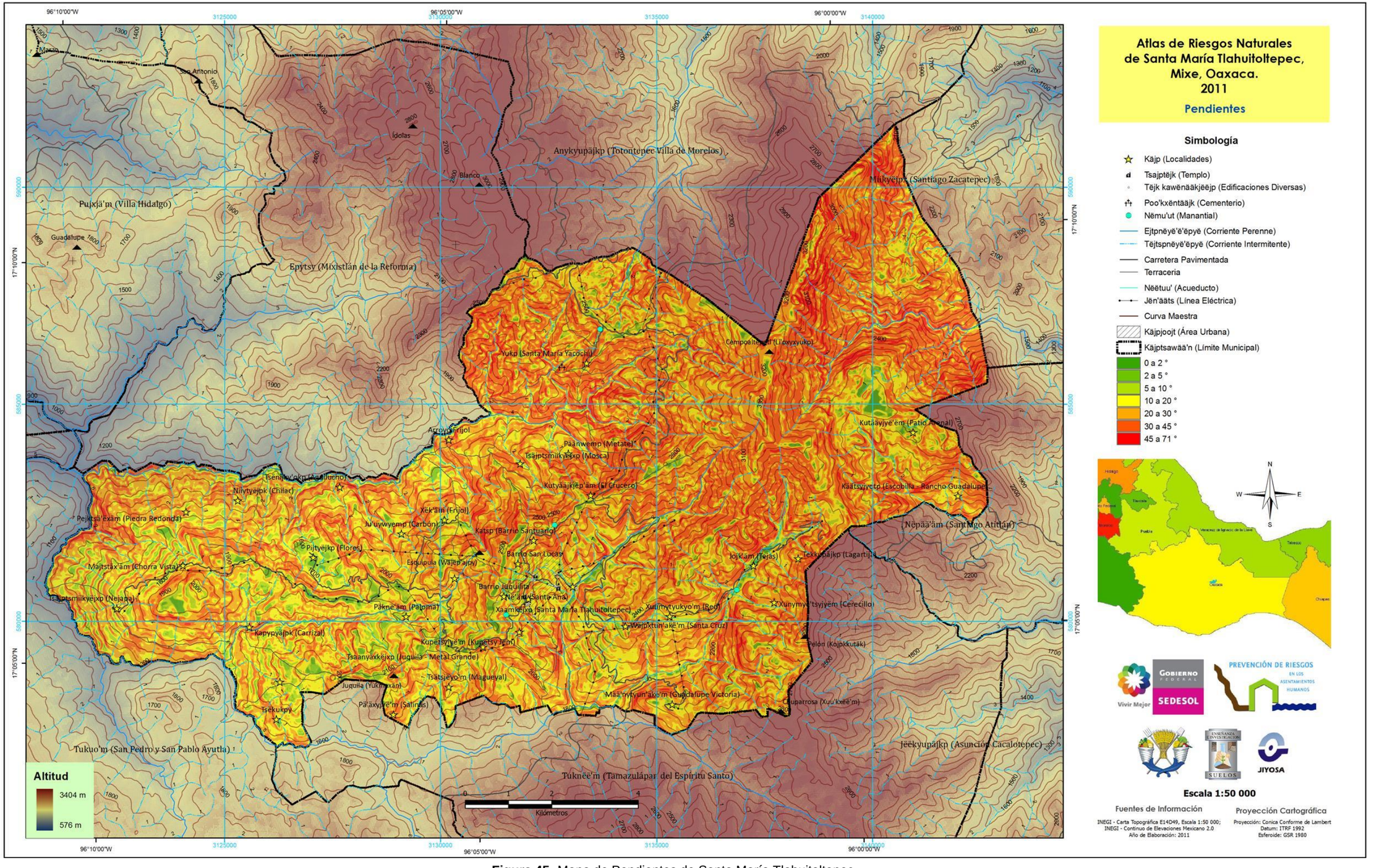


Figura 45- Mapa de Pendientes de Santa María Tlahuitoltepec.

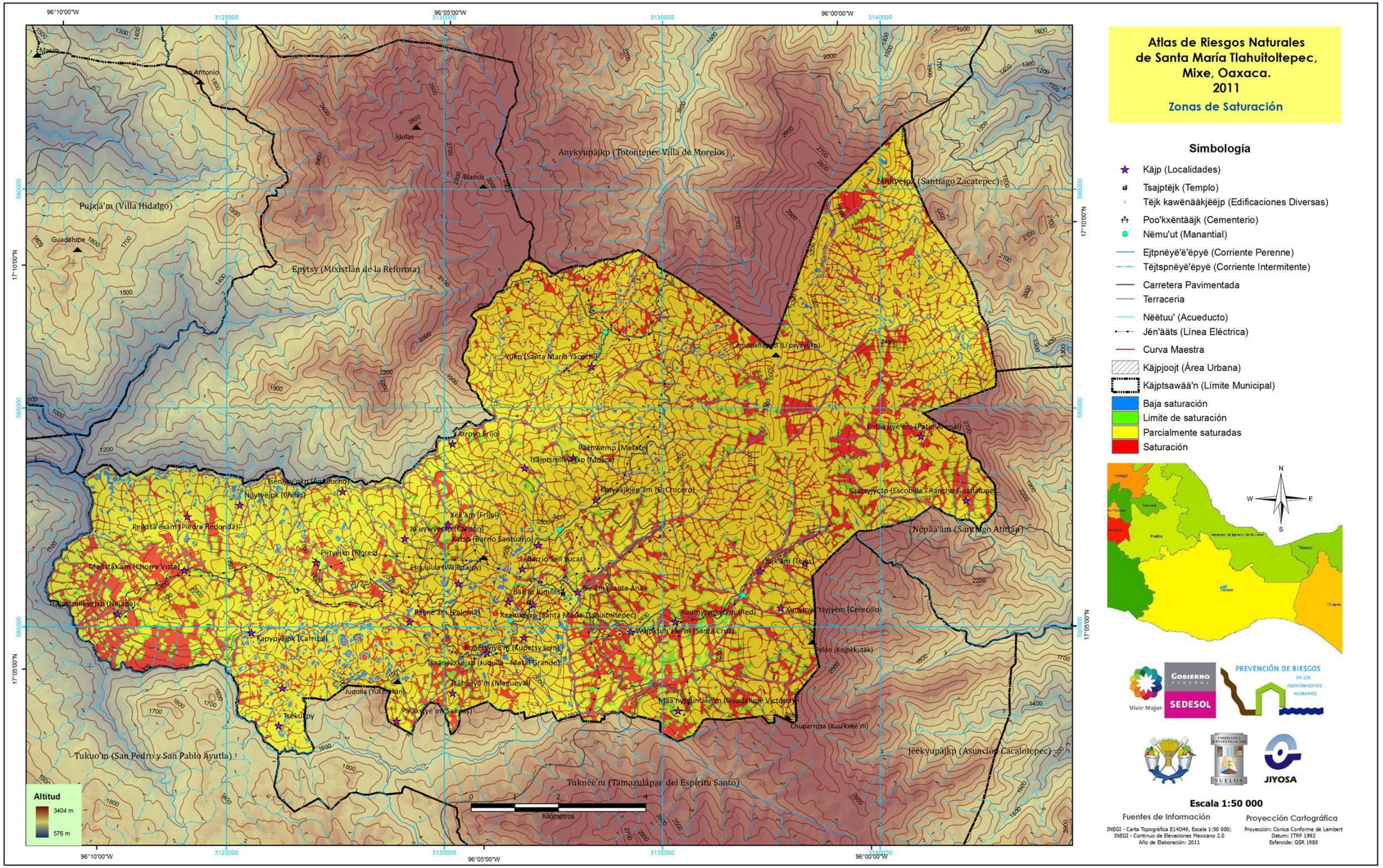


Figura 46. Mapa de Zonas de Saturación de Santa María Tlahuitoltepec.

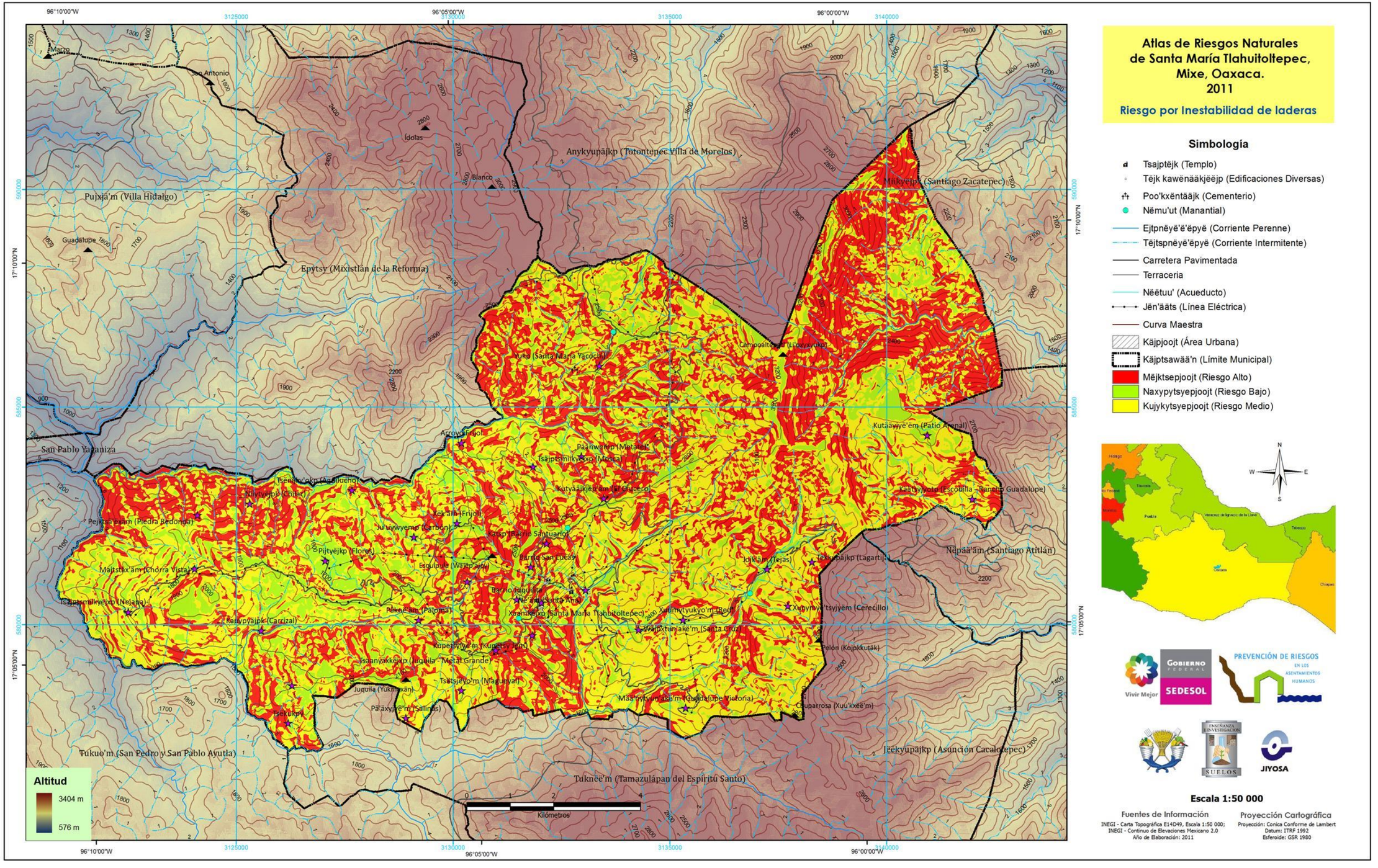


Figura 47. Mapa de Riesgo por Inestabilidad de Laderas en Santa María Tlahuitoltepec.

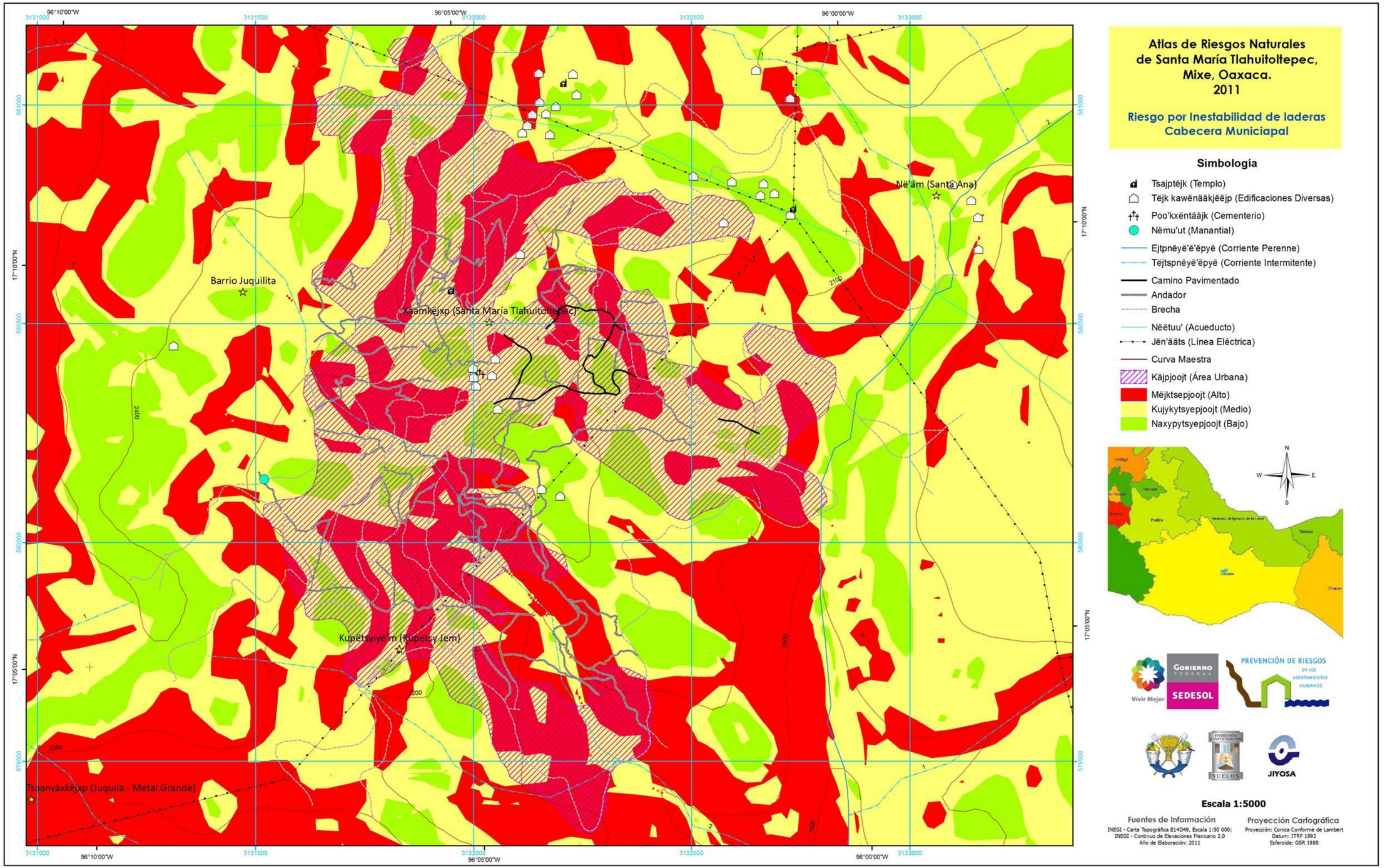


Figura 48. Mapa de Riego por Inestabilidad de laderas en la cabecera municipal de Santa María Tlahuitoltepec.

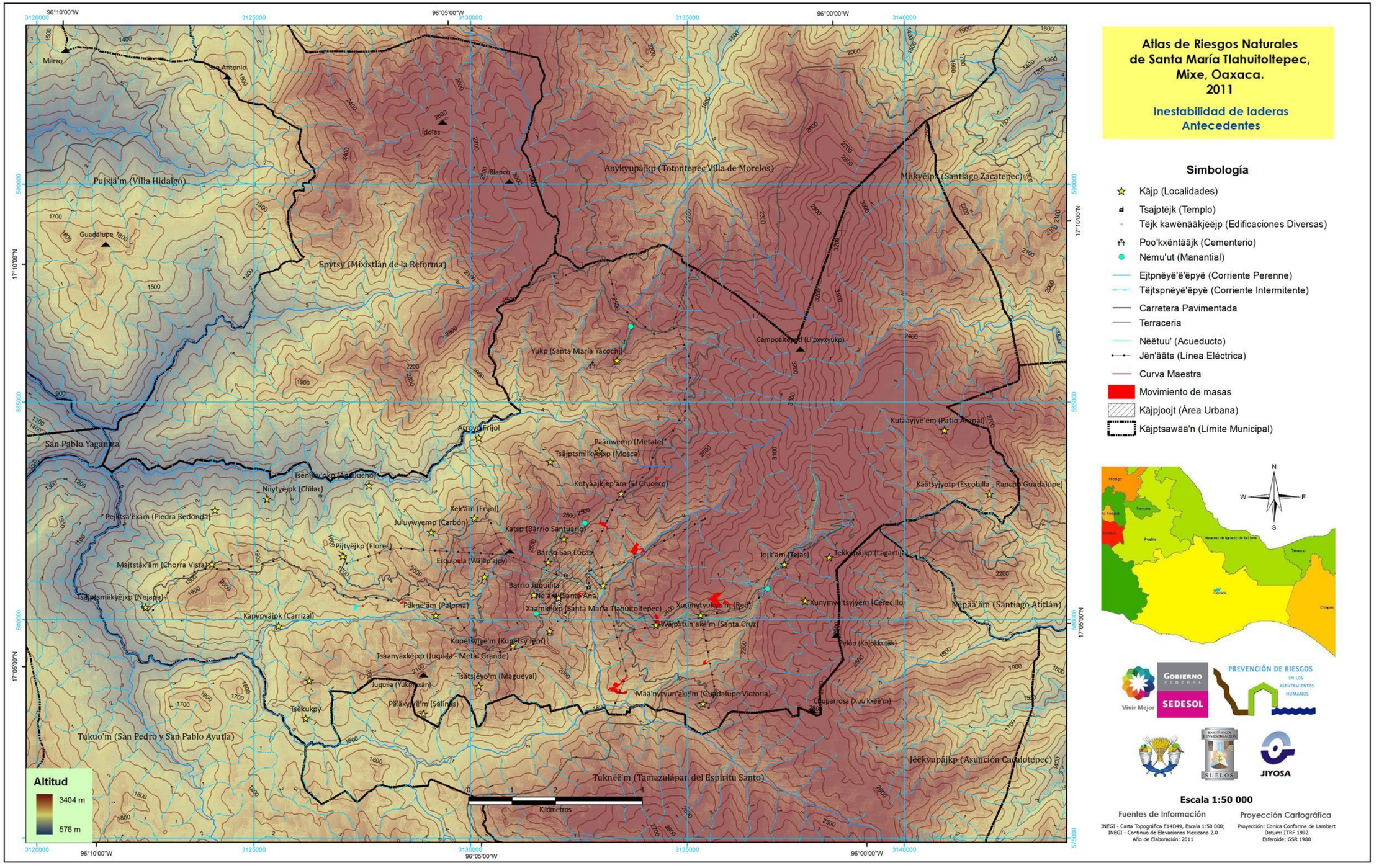


Figura 49. Mapa de Inestabilidad de laderas que muestra la ubicación de los movimientos de masas que han afectado el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

Resultados por región de calibración

Los límites físicos para la calibración fueron las unidades de suelo determinadas durante el estudio agrológico
Cuadro 31); unidades con características similares y por tanto valores iguales de transmisividad máxima y mínima, cohesión máxima y mínima, y ángulo de fricción.

Cuadro 31. Valores por región de calibración en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

Región	T_R MIN	T_R MAX	CMIN	CMAX	PHIMIN	PHIMAX	Área (ha)	%
Leptosol Hístico	400.0	550.0	0.2	0.5	17.0	22.0	4365.35	28.5
Luvisol Háplico	300.0	500.0	0.1	0.7	17.0	19.0	5539.03	36.1
Acrisol Háplico	900.0	1150.0	0.0	0.3	18.0	21.0	2581.40	16.8
Leptosol Úmbrico	500.0	900.0	0.2	0.5	18.0	21.0	2842.36	18.5

TR_MIN: Transmisividad mínima. TR_MAX: Transmisividad máxima. C_MIN: Cohesión mínima. C_MAX: Cohesión máxima. PHIMIN: Ángulo de fricción mínimo

La caracterización de los deslizamientos y la sobreposición de las regiones de calibración determinaron que en la unidad Luvisol Háplico se presentaron la mayoría de los movimientos de masas durante los eventos de 2010, en total 10 deslizamientos.

Las unidades que fueron más suceptibles a deslizamientos de acuerdo a las características de pendiente, uso y unidad de suelo, de saturación de flujo provocado por el evento fueron Luvisol Háplico Acrisol Háplico y Leptosol Úmbrico, mientras que no se detectaron movimientos en el Leptosol Hístico (Cuadro 32).

Cuadro 32. Número de deslizamientos por región de calibración en Santa María Tlahuitoltepec.

Región	Área (ha)	Número de deslizamientos
Leptosol Hístico	4365.35	0
Luvisol Háplico	5539.03	10
Acrisol Háplico	2581.40	5
Leptosol Úmbrico	2842.36	5

Acrisol Háplico. La unidad de Acrisol Háplico resultó afectada por 74% de inestabilidad en los límites inferior y superior de inestabilidad, en valores numéricos de 0.5 a 1.0 dentro del diagrama de áreas de contribución y pendientes (Cuadro 33).

Cuadro 33. Índices de estabilidad de la región Acrisol Háplico en Santa María Tlahuitoltepec.

Índice de estabilidad	Área (km^2)	Porcentaje (%)	No. de deslizamientos
Estable	2.0	8.0	2
Moderadamente estable	0.8	3.0	0
Cuasi-estable	1.5	6.0	0
Límite inferior de inestabilidad	10.5	41.0	1
Límite superior de inestabilidad	8.6	33.0	2
Inestable	2.3	9.0	0
Total	**25.7**	**100.0**	**5**

Leptosol Hístico. La unidad Leptosol Hístico es mayormente inestable, es decir, se ubica entre el limites inferior y superior de inestabilidad. En valores numéricos de 0.5 a 1.0 dentro del diagrama de áreas de contribución y pendientes.

Las áreas estables en la unidad representan el 9% en el intervalo de estables y moderadamente inestables con los límites superiores de mayor estabilidad, clasificados entre 1.25 y 1.50 en valor de índice de estabilidad (
Cuadro **34**). Para esta unidad no se presentaron eventos de deslizamientos durante el evento de 2010.

Cuadro 34. Índices de estabilidad de la región Leptosol Hístico en Santa María Tlahuitoltepec.

Índice de estabilidad	Área (km^2)	Porcentaje (%)	No. de deslizamientos
Estable	2.6	6.0	0
Moderadamente estable	1.2	3.0	0
Cuasi-estable	2.4	6.0	0
Límite inferior de inestabilidad	17.4	40.0	0
Límite superior de inestabilidad	16.7	39.0	0
Inestable	3.0	7.0	0
Total	**43.3**	**100.00**	**0**

El área totalmente inestable de la unidad es de 3 km^2, representa 7% del poligono definido, estas representan áreas de total inseguridad durante eventos extremos de lluvias.

Leptosol Úmbrico. En esta unidad fueron caracterizados 5 deslizamientos ocurridos durante los eventos de lluvias máximas de 2010, de los cuales 2 son de zonas estables con pocas probabilidades de ocurrencia y 3 entre los límites inferior y superior de inestabilidad, entres los valores 0.5 y 1.0. El límite inferior y superior representa 71% de la unidad, más de la mitad de la unidad presenta inestabilidad ante eventos extremos de lluvia en áreas de máxima acumulación de flujo. Sin embargo, también existe una superficie importante estable, principalmente en pendientes poco pronunciadas, 13% de la unidad es estable completamente y con poca probabilidad de deslizamiento (Cuadro 35).

Cuadro 35. Índices de estabilidad de la región Leptosol Úmbrico en Santa María Tlahuitoltepec.

Índice de estabilidad	Área (km^2)	Porcentaje (%)	No. de deslizamientos
Estable	3.6	13.0	2
Moderadamente estable	1.3	5.0	0
Cuasi-estable	2.6	9.0	0
Límite inferior de inestabilidad	13.0	46.0	1
Límite superior de inestabilidad	7.0	25.0	2
Inestable	0.7	2.0	0
Total	**28.2**	**100.0**	**5**

Luvisol Háplico. Es la unidad con mayor porcentaje de inestabilidad con 88% de inestabilidad, mientras que el área estable es de apenas 8% (Cuadro 36).

Cuadro 36. Índices de estabilidad de la región Luvisol Háplico en Santa María Tlahuitoltepec.

Índice de estabilidad	Área (km^2)	Porcentaje (%)	No. de deslizamientos
Estable	3.1	6.0	2
Moderadamente estable	1.3	2.0	0
Cuasi-estable	2.3	4.0	0
Límite inferior de inestabilidad	37.0	67.0	1
Límite superior de inestabilidad	11.6	21.0	2
Inestable	0.0	0.0	0
Total	**55.3**	**100**	**5**

5.1.6 Hundimientos

Con base en la búsqueda, recopilación, organización y valoración de información bibliográfica de Santa María Tlahuitoltepec para conocer la cinemática del fenómeno; el análisis concluye que no existe en el municipio riesgo por hundimientos (CENAPRED, 2006).

5.1.7 Erosión

La erosión hídrica de suelos es un proceso de arrastre y sedimentación aguas abajo de partículas del mismo, por efecto de la fuerza erosiva de la lluvia, las propiedades intrínsecas del suelo y los usos del mismo. Es también uno de los problemas de degradación ambiental que más afecta a México, siendo una amenaza para la agricultura y las estructuras hidroagrícolas. Éstas últimas saturan los almacenamientos, canales de riego y degradan la calidad física y química del agua.

Para reducir la pérdida de productividad de los suelos (Figura 50) y la calidad del agua y optimizar el uso de recursos para la conservación de suelos y agua es necesario identificar los patrones espaciales de las áreas donde la erosión se origina y las tasas de erosión asociadas a ellas (Hofierka, 1996; Lane, 1997; Mitasova, 1996; Garen, 1999). Para tal efecto, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), se usa para obtener indicadores básicos del proceso de erosión hídrica de tal forma que el modelo predice la tasa anual de pérdida de suelo y la deposición de una tormenta específica (Figueroa *et al.*, 1990; Torres, 1996).

La ecuación básica es:

$$A = R * K * L * S * P$$

Donde: A es la pérdida de suelo en t ha^{-1} $año^{-1}$; R es el factor erosividad de la lluvia en MJ mm ha^{-1} h^{-1} $año^{-1}$; K es el factor erosionabilidad del suelo en t ha^{-1} h^{-1} ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}; L es el factor longitud de la pendiente (adimensional); S es el factor grado de la pendiente (adimensional); C es el factor uso y manejo del suelo y vegetación (adimensional) y P es el factor de prácticas mecánicas (adimensional).

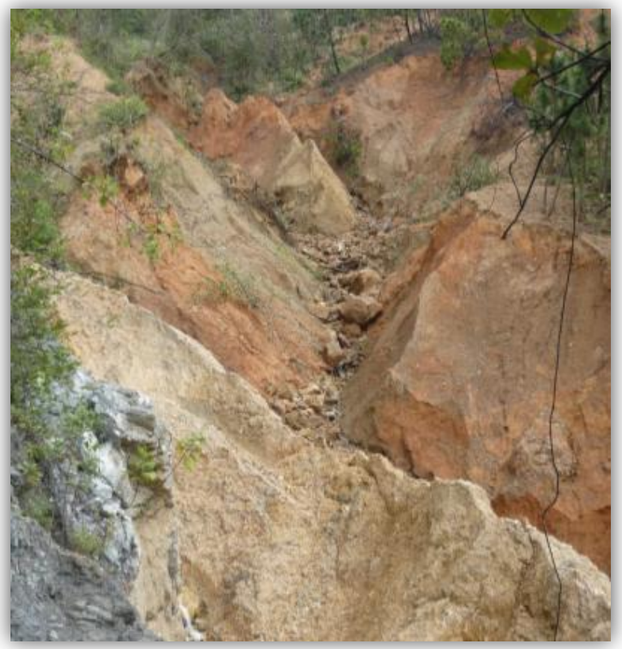


Figura 50. Efectos de la erosión hídrica (canalillos y cárcavas) en laderas de Santa María Tlahuitoltepec, 2011

El análisis del proceso erosivo en Santa María Tlahuitoltepec fue con base en el método SEMARNAT-UACH (2002) y Figueroa *et al.* (1991). Con base en este esquema de trabajo se obtuvieron los indicadores básicos de la Ecuación Universal de pérdida de Suelo (Figura 51).

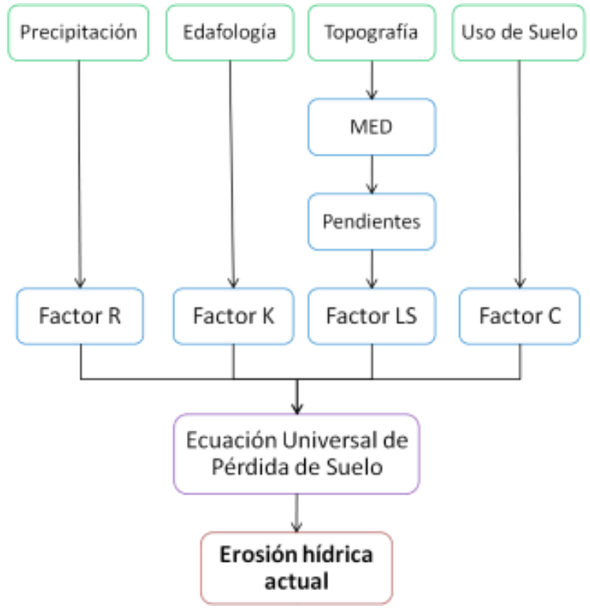


Figura 51. Metodología general para determinar erosión hídrica.

Con ayuda del software ArcGis 9.3 (Modulo ArcMap) se ejecutó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Algebra de Mapas). A continuación de muestran los resultados parciales por cada factor calculado.

Factor R

El análisis del Factor R arrojó que la erosividad de la lluvia en la zona de estudio oscila entre 2936.50 a 31068.89 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $año^{-1}$ (Cuadro 37), éste último valor corresponde al 40% de la zona (Figura 52). La precipitación media anual en la zona de estudio oscila entre 1300 y 1440 mm .

Cuadro 37. Superficie por intervalo de erosividad de la lluvia, Factor R, en Santa María Tlahuitoltepec.

Erosividad de la lluvia (MJ mm ha-1 h-1 año-1)	Superficie	
	ha	%
2936.5	662.18	4.32
2936.5-9776.53	4,058.86	26.48
9776.53-15403.01	4,371.23	28.52
15403.01-31068.89	6,235.88	40.68
Total	**15,328.15**	**100.00**

Factor K

La determinación del Factor K para Santa María Tlahuitoltepec (Cuadro 38) arrojó tres valores, 0.010 a 0.013 corresponde al 47% de la zona de estudio, 0.013 a 0.029 al 17% y 0.029 a 0.079 al 36% (Figura 53).

Cuadro 38. Valores del Factor K en Santa María Tlahuitoltepec.

Valor de K (adimensional)	Superficie	
	ha	%
0.010-0.013	7,201.14	46.98
0.013-0.029	2,579.31	16.83
0.029-0.079	5,547.71	36.19
Total	**15,328.15**	**100.00**

Factor LS

Del proceso para determinar el Factor LS se obtuvieron cinco intervalos de valores (Cuadro 39); 0.0 a 5.67, 5.67 a 10.3, 10.3 a 14.77, 14.77 a 19.92 y 19.92 a 43.79 que corresponden al 15, 27, 29, 20 y 8% de la superficie de la zona de estudio, respectivamente (Figura 54).

Cuadro 39. Valores del Factor LS, longitud e inclinación de la pendiente, en Santa María Tlahuitoltepec.

Valores de LS (adimensional)	Superficie	
	ha	%
0.0-5.67	2311.45	15.08
5.67-10.3	4145.11	27.04
10.3-14.77	4546.43	29.66
14.77-19.92	3130.16	20.42
19.92-43.79	1195.00	7.80
Total	**15 328.15**	**100.00**

Factor C

El análisis de la cobertura vegetal (Cuadro 40) y en correlación con datos obtenidos en campo se generó cinco intervalos de valores para el Factor C (Figura 55).

Cuadro 40. Valores del Factor C en Santa María Tlahuitoltepec.

Valor de C (adimensional)	superficie	
	ha	%
0.0016-0.003	7,937.79	51.79
0.003-0.0072	3,495.10	22.80
0.0072-0.1197	965.59	6.30
0.1197-0.1998	511.60	3.34
0.1998-0.36	2,418.07	15.78
Total	**15,328.15**	**100.00**

Factor P

Durante el análisis del Factor P no se identificaron prácticas de conservación de suelo por tal motivo se asigna el valor 1 a este factor. Este valor no disminuye el proceso de erosión hídrica.

Intervalos de pérdida de suelo

Con el software ArcGis 9.3 utilzando el módulo ArcMap, se ejecutó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo obteniéndose el mapa de erosión hídrica del municipio (Figura 56). Los resultados del proceso indican que el 38.80% de la zona de estudio la erosión es inapreciable, es decir, se pierden menos de 5 t ha^{-1} $año^{-1}$ de suelo, el 29.65% pierde alrededor de 5 a 10 t ha^{-1} $año^{-1}$, el 10.62% más de 300 t ha^{-1} $año^{-1}$, el 10.41% de 50 a 200 t ha^{-1} $año^{-1}$ y el 6.25 y 4.27% pierden 50 y 300 t ha^{-1} $año^{-1}$, respectivamente (Cuadro 41)

Cuadro 41. Intervalos de valor de erosión hídrica en Santa María Tlahuitoltepec.

Intervalo	Categoría	Superficie	
		ha	%
Menor de 2	No apreciable	1,152.13	7.52
2 a 5	No apreciable	4,794.52	31.28
5 a 10	Ligera	4,544.18	29.65
10 a 25	Moderada	1,476.73	9.63
25 a 50	Moderada	119.25	0.78
50 a 75	Alta	103.35	0.67
75 a 150	Alta	485.35	3.17
150 a 200	Alta	369.94	2.41
200 a 300	Muy alta	654.23	4.27
Mayor de 300	Extrema	1,628.48	10.62
Total		15,328.15	100.00

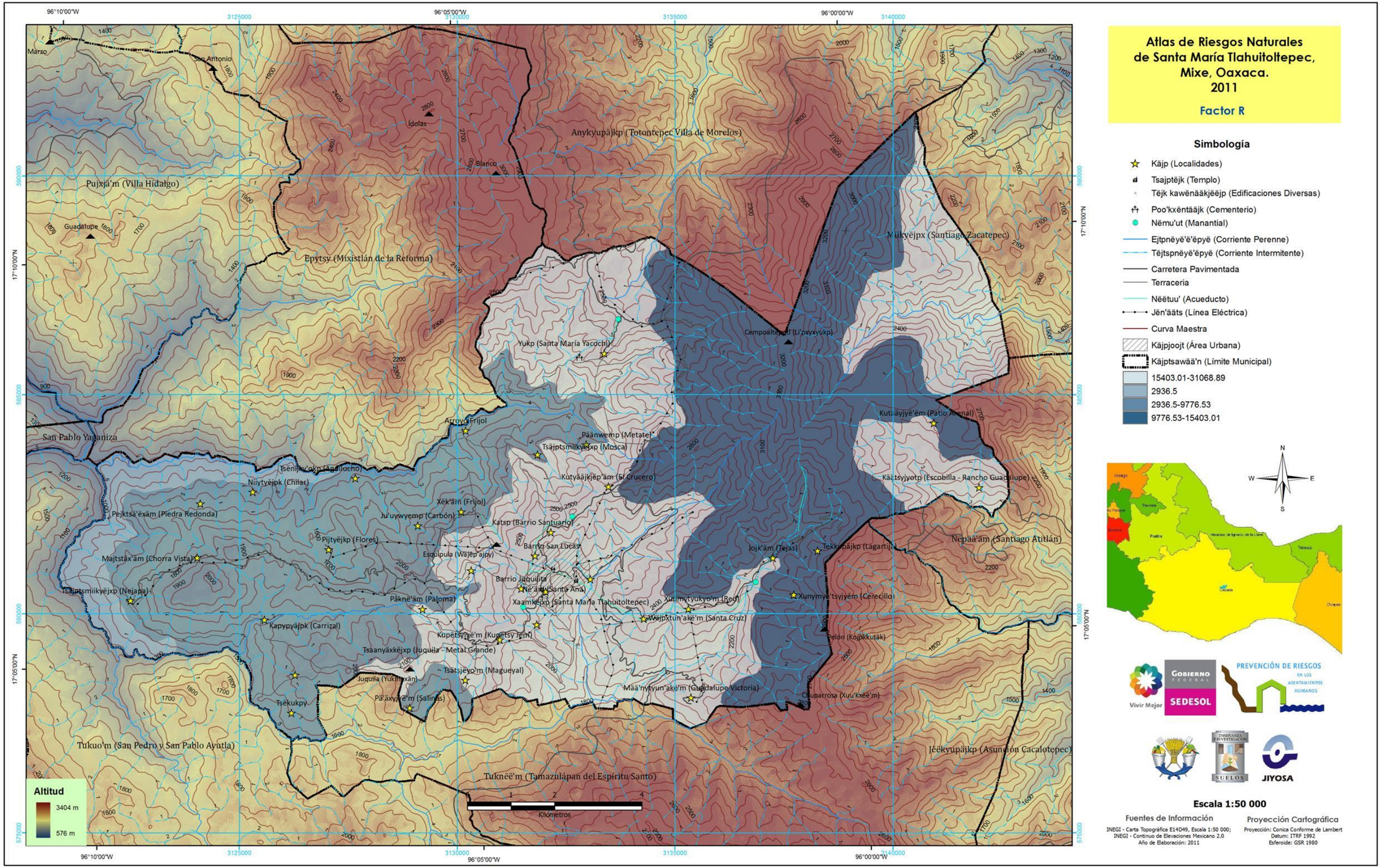


Figura 52. Mapa de intervalos del Factor R para el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

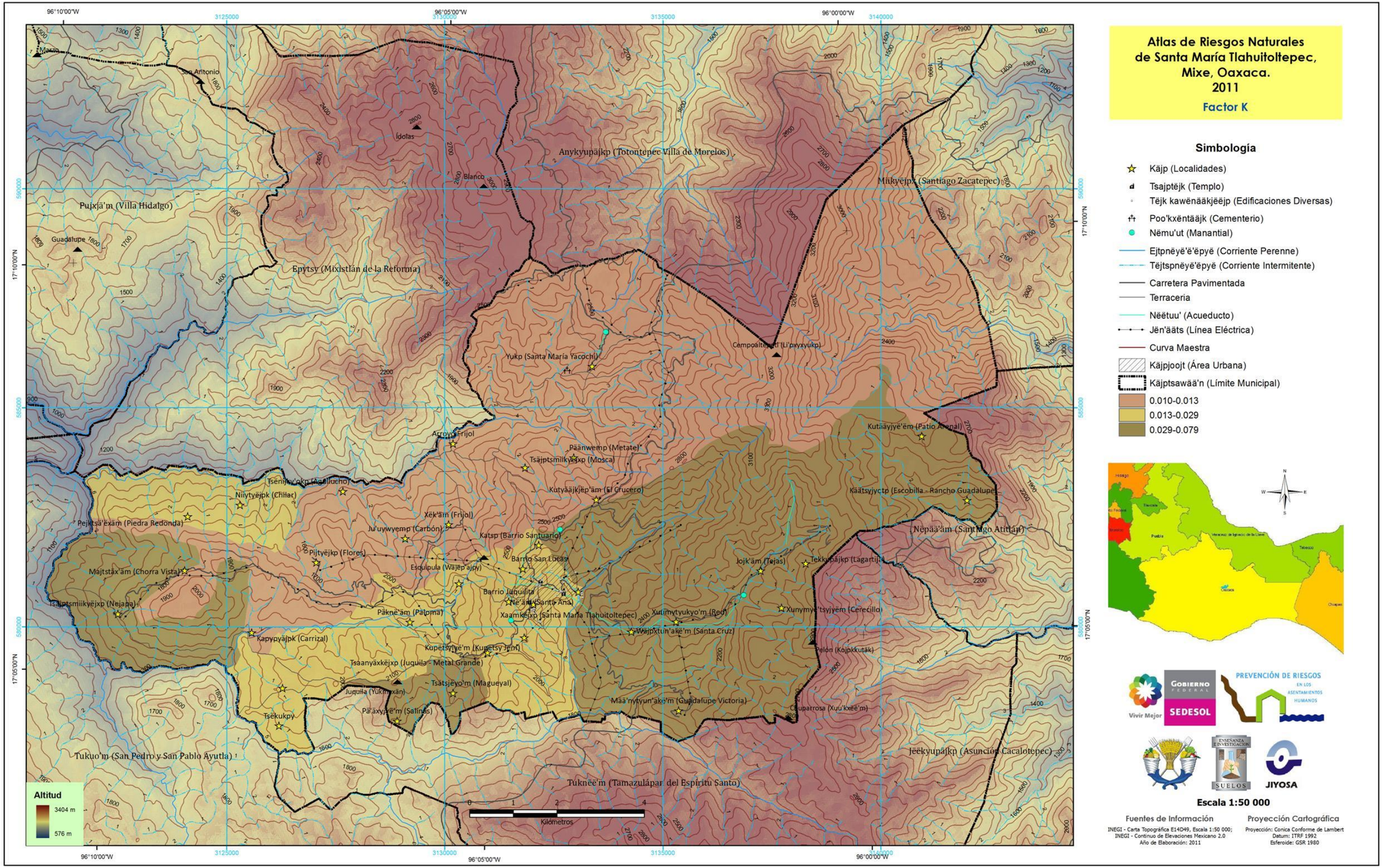


Figura 53. Mapa de intervalos del Factor K para el Municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

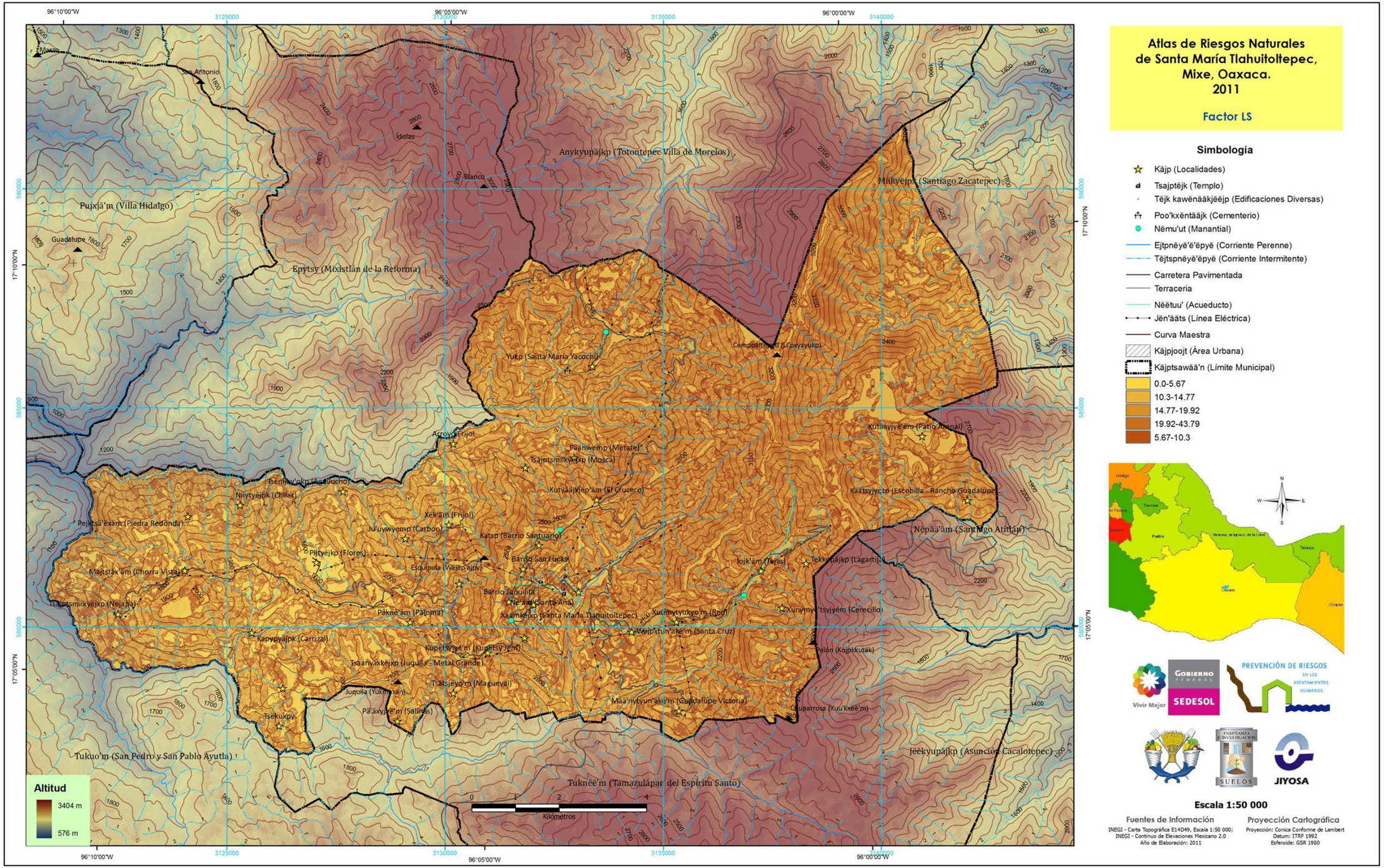


Figura 54. Mapa de intervalos del Factor LS del municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

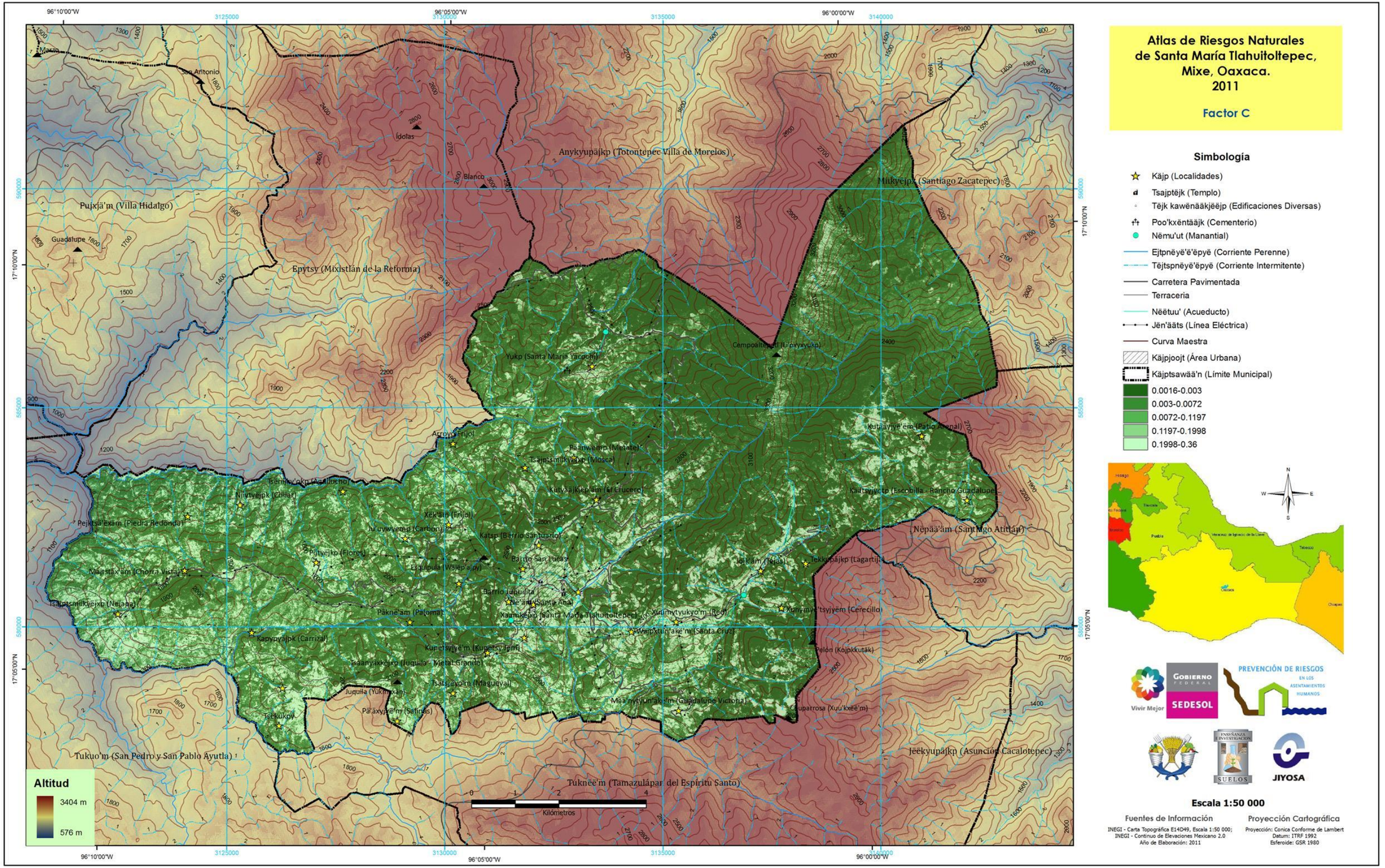


Figura 55. Mapa de intervalos del Factor C del municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

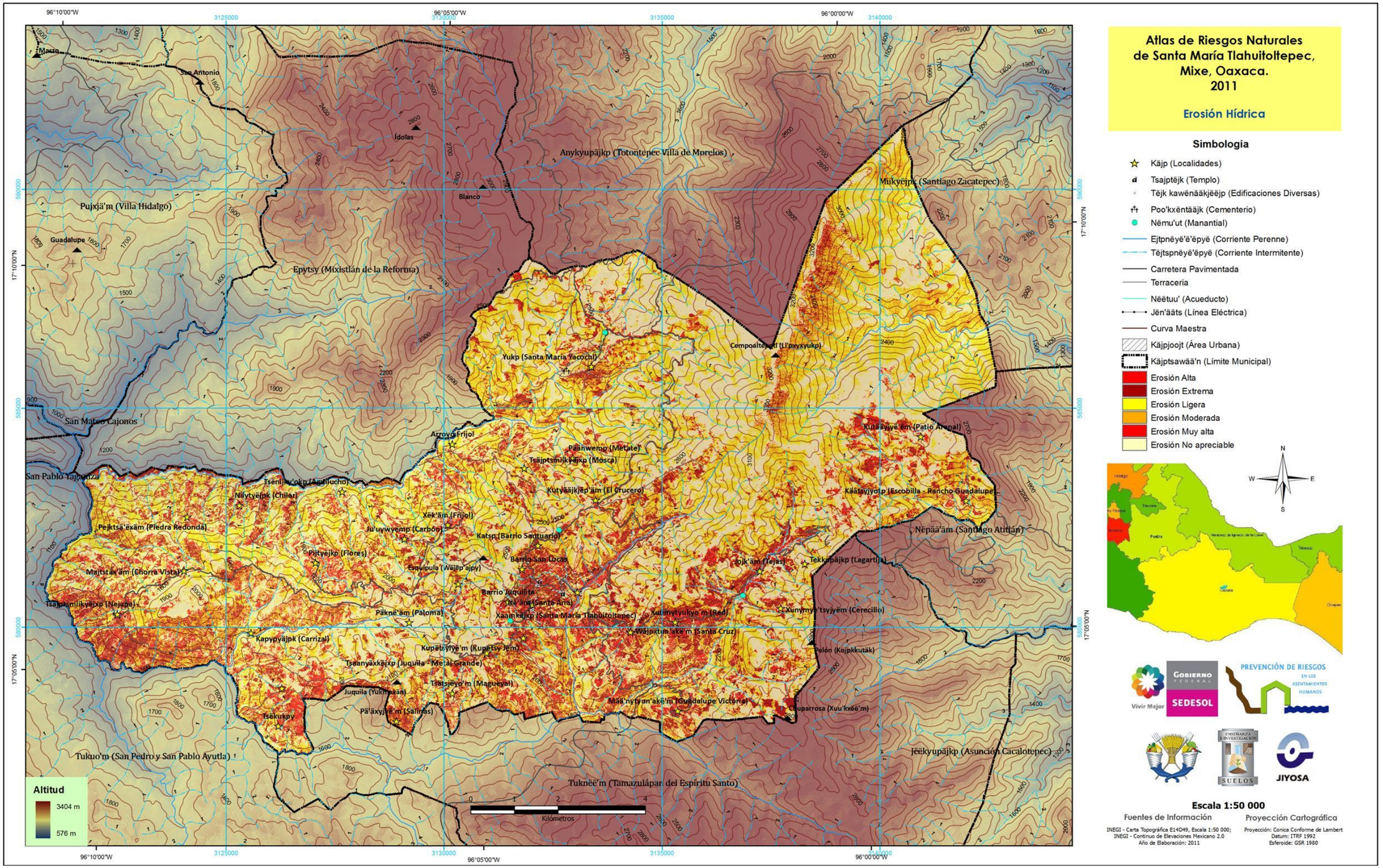


Figura 56. Mapa de grado de Erosión Hídrica de Santa María Tlahuitoltepec**.**

2.2 Riesgos, peligros y/o vulnerabilidad ante fenómenos de origen hidrometeorológico

2.2.1 Ciclones (Huracanes y ondas tropicales)

La temporada de ciclones, en México, inicia en mayo para el Océano Pacifico y en junio, para el Océano Atlántico; en ambos casos la temporada termina a fines de noviembre. Los ciclones que llegan a México, según las zonas ciclogenéticas, provienen de la Sonda de Campeche, Golfo de Tehuantepec, Caribe Oriental (alrededor de los 13° latitud norte y 65° longitud oeste) y sur de las Islas Cabo Verde (cerca de los 12° latitud norte y 57° longitud oeste, región Atlántica).

El CENAPRED clasifica las zonas de influencia de los ciclones en los siguientes niveles: muy alto, alto, medio y bajo. Con base en esta clasificación, Santa María Tlahuitoltepec se ubica geográficamente en una zona de riesgo bajo (Figura 57). Por otro lado, no existe un solo ciclón ocurrido en el periodo de 1970 a 2008 que haya alcanzado a llegar con la categoría de huracán hasta el municipio de Santa María Tlahuitoltepec (Figura 58); sin embargo, sus efectos se evidencian en daños a la infraestructura local a causa de intensos y/o prolongados eventos de precipitación.

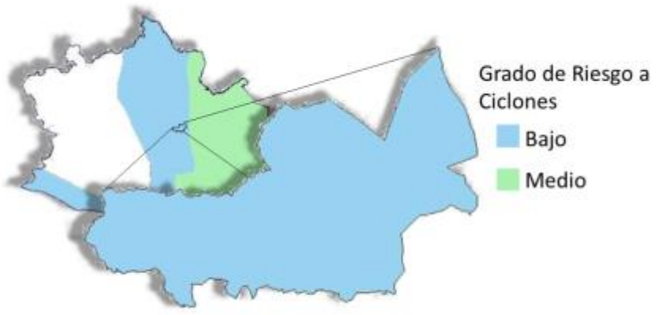


Figura 57. Santa María Tlahuitoltepec en el contexto de las zonas de riesgo por ciclones en México. **Fuente**: CENAPRED, 2003.

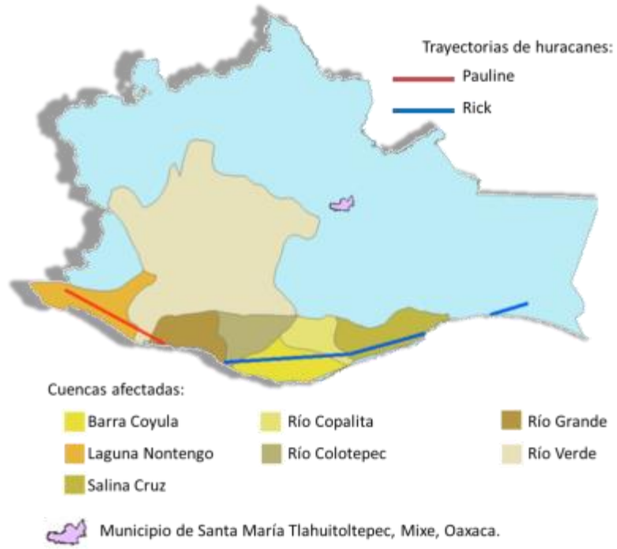


Figura 58. Cuencas afectadas por los huracanes cuya trayectoria atravezarón el estado de Oaxaca y su cercanía respecto al municipio de Santa María Tlahuitoltepec. **Fuente**: CENAPRED, 2010.

2.2.2 Tormentas eléctricas

Santa María Tlahuitoltepec se ubica en una zona de riesgo medio por tormentas eléctricas (Gobierno del estado de Oaxaca, 2003). Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiesta por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno).

Un análisis de la información bibliográfica y los datos que se obtuvieron en campo concluye que las tormentas eléctricas no representan un riesgo para la población del municipio; no existen evidencias en la historia del municipio de daños directos a la población.

2.2.3 Sequías

La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación en un año es menor que el promedio histórico anual, y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas.

Según el Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (PIH-LAC-UNESCO, 2010), Santa María Tlahuitoltepec se ubica en tres zonas de Régimen de Aridez (Figura 59):

a. Régimen hiperhídrico e hídrico. Cero meses secos.
b. Régimen húmedo. Con 3 a 4 meses secos.
c. Régimen subhúmedo. Con 5 a 6 meses secos.

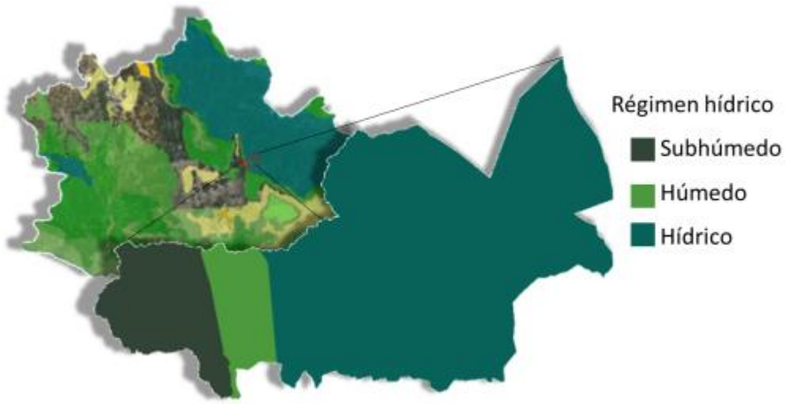


Figura 59. Santa María Tlahuitoltepec en el contexto del Atlas de Zonas Áridas y del Caribe.
Fuente: PIH-LAC – UNESCO, 2010

De acuerdo con esta clasificación la sequía no es un fenómeno que represente un riesgo para la población; sin embargo, si afecta a los cultivos agrícolas. Cabe destacar que éste fenómeno es un indicador básico en escenarios de cambio climático.

2.2.4 Temperaturas máximas extremas

Con base en el análisis de datos climáticos de la estación de San Pedro y San Pablo Ayutla, estación que por las condiciones geográficas en las que se ubica es posible extrapolar los datos para Santa María Tlahuitoltepec, se obtuvieron los siguientes datos:

a. Promedio de temperatura de 1951 a 2001: 15.5 °C
b. Temperatura máxima: 18 °C

De acuerdo con las bases de SEDESOL (2011) para determinar la zona de afectación por temperaturas máximas extremas (a partir de 28 °C) y los resultados del análisis de datos climáticos el fenómeno no representa un riesgo para la población y la infraestructura local.

2.2.5 Vientos fuertes

Las condiciones fisiográficas en Santa María Tlahuitoltepec muestran la configuración tan heterogénea del terreno que no permite el flujo continuo de masas de aire. La velocidad de las masas de aire no tiene la capacidad de provocar daños de consideración a la infraestructura local y/o a los cultivos. En otras palabras, las montañas que rodean al municipio proveen de una protección natural frente a los vientos fuertes. En éste sentido, el análisis de la información concluye que éste fenómeno no representa un riesgo para la población y la infraestructura local.

2.2.6 Inundaciones

Una inundación es un evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y que pueden ocasionar daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura local (Salas y Jiménez, 2004).

La red hidrológica y formas del relieve, entre otros, de Santa María Tlahuitoltepec originan condiciones fisiográficas básicamente como sitios donadores en la red hidrográfica; es decir, las condiciones fisiográficas que sobresalen son montañas, laderas y barrancas. Con base en estas condiciones del sitio y la cinemática del fenómeno es evidente que el municipio no se encuentra en peligro frente al fenómeno; por lo tanto, no existe vulnerabilidad y riesgo ante el mismo.

2.2.7 Masas de aire (heladas, granizo y nevadas)

Una helada es una disminución de la temperatura del aire a un valor igual o inferior al punto de congelación del agua 0 °C (WMO, 1992). La cubierta de hielo es una de sus formas producida por la sublimación del vapor de agua sobre los objetos; ocurre cuando se presentan dichas temperaturas (Ascaso y Casals, 1986). Con base en la anterior definición y el análisis de variables meteorológicas (temperaturas mínimas diarias) de las estaciones Santa María Alotepec (20001), San Pedro y San Pablo Ayutla (20007), San Juan Metaltepec (20069), Villa Hidalgo (20179), Yalalag Villa Hidalgo (20314), Totontepec (20305), Tlahuitoltepec (20509), Zacatepec (20387) y Santo Domingo Barrio Bajo (20258) se determinó el riesgo por heladas a través del procesamiento cartográfico de la información (Figura 60). En la determinación de la vulnerabilidad social se analizaron indicadores como calidad de vida, elementos de los asentamientos humanos y vivienda (Anexo-Metodologías-Heladas).

Para determinar el peligro por heladas se tomó como base las temperaturas menores a 0 °C, las cuales solo se presentan en cuatro meses del año, correspondientes a enero, febrero, noviembre y diciembre. Para generar las isotermas mensuales se realizó interpolación cartográfica para los meses en los cuales se presentan de temperaturas de 0 °C y menores a ésta.

.

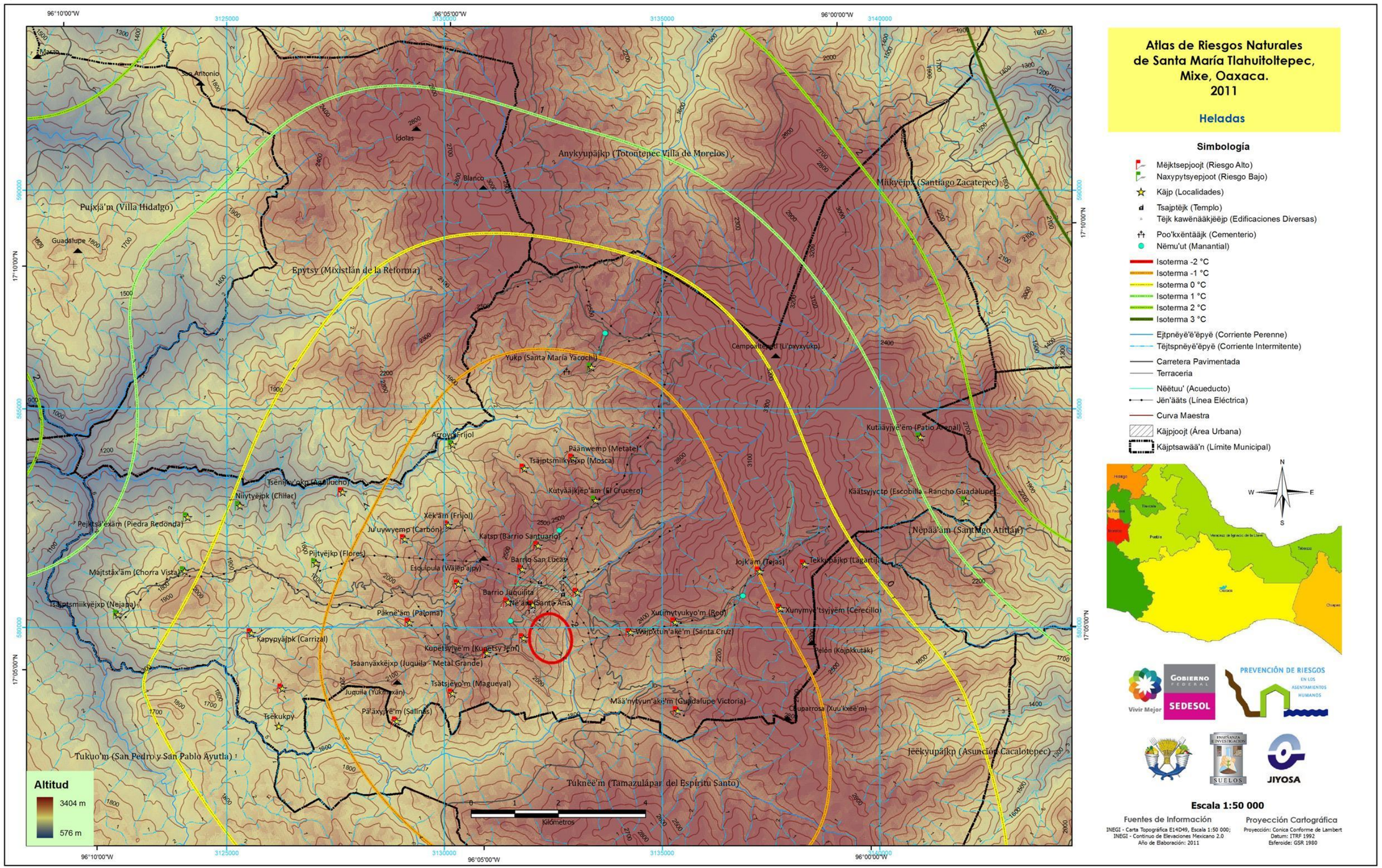


Figura 60. Mapa de riesgo a Heladas en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.

CAPÍTULO VI. Propuestas

La determinación de la estabilidad de laderas en Santa María Tlahuitoltepec y el análisis del riesgo por éste fenómeno son las bases que permitieron focalizar alternativas que coadyuven en la calidad de vida de los habitantes del municipio.

La determinación del peligro por movimiento de masas se realizó con un periodo de retorno de 50 años para la lluvia máxima en 24 h, ésta estimación del peligro incrementa el factor de seguridad en el pronóstico del fenómeno. En este sentido, Santa María Tlahuitoltepec, Santa María Yacochi, Metate, Arroyo Frijol y El Chilar son las localidades con mayor riesgo en el municipio. En el caso de la cabecera municipal de Santa María Tlahuitoltepec, la dirección de los movimientos de masas tiende en dirección oeste-este.

Atender la problemática del fenómeno amerita una serie de acciones que contemplan obras estructurales y no estructurales, tales como obras y prácticas de conservación de suelos; mejores prácticas de manejo de actividades agrícolas, pecuarias y forestales; plan de crecimiento urbano.

6.1 Obras no estructurales

Las obras no estructurales son alternativas a corto plazo; es decir, son planes de acción con el objeto de atenuar el riesgo y que contemplen el fomento de la cultura de la prevención y difundan los conocimientos básicos ante el riesgo por movimiento de masas, más aún frente a deslizamientos. Algunas líneas de acción son las que se enuncian a continuación:

a. Instrumentar un sistema de alertas tempranas con base en el registro de la lluvia máxima en un periodo de 24 h y los estándares de estabilidad del suelo.

b. Desarrollar simulacros de evacuación adecuados al riesgo por movimiento de masas.

c. Diseñar planes de evacuación hacia albergues estratégicamente ubicados en las zonas estables.

d. Crear un plan de desarrollo agrícola, pecuario, forestal y urbano con énfasis en la conservación y protección de los recursos naturales.

6.2 Obras estructurales

La implementación de obras estructurales tiene el objeto de monitorear el movimiento horizontal y vertical de las laderas, así como proveer una solución de mediano y largo plazo ante los movimientos de remoción de masas.

Inclinómetros

La instalación de inclinómetros se justifica en la zona más urbanizada del municipio, es decir, en Santa María Tlahuitoltepec. En esta zona es importante monitorear el comportamiento de los movimientos horizontales de los taludes con una serie de inclinómetros con una profundidad entre 8 y 12 m y un empotramiento entre 2 y 4 m dentro de la masa estable (Figura 61 y 62); con el objetivo de elaborar gráficas de comportamiento que permitan desarrollar un plan de contingencia.

El inclinómetro permite conocer la distribución en la profundidad de los desplazamientos horizontales que se presentan en la masa de suelo. El equipo está compuesto por un ademe de aluminio de cuatro canales, sonda-cable eléctrico graduado y unidad de control y lectura. La instalación de los inclinómetros debe cumplir con los siguientes lineamientos:

a) La perforación del barreno utilizará una broca tricónica de 3” y agua como fluido de perforación; con una profundidad de entre 8 y 12 m con respecto al nivel de terreno natural; la perforación se lavará circulando agua hasta que retorne con un mínimo de material en suspensión; finalmente se extraerá la tubería de perforación.

b) El descenso de la tubería del inclinómetro realizará los acoplamientos necesarios; el primer tubo cuenta con un tapón perfectamente sellado que evitará filtraciones dentro de la tubería; la tubería estándar es de aluminio con diámetro externo de 71 mm en tramos de 3 m y ranuras ortogonales a cada 90º, cubiertos en la parte superior del último tramo de tubería con un tapón removible que evita la introducción de material sólido desde la superficie; la orientación del eje principal (A-A) es en sentido perpendicular a las grietas de tensión en la zona.

c) Posterior a la instalación de la tubería, en la parte externa desde el fondo de la perforación se inyectará una mezcla de bentonita-agua-cemento hasta el nivel de terreno natural. Además, es conveniente colocar un registro protector, el cual deberá quedar a nivel del terreno natural. La sonda-cable de medición se especificará según geometrías finales de cada inclinómetro.

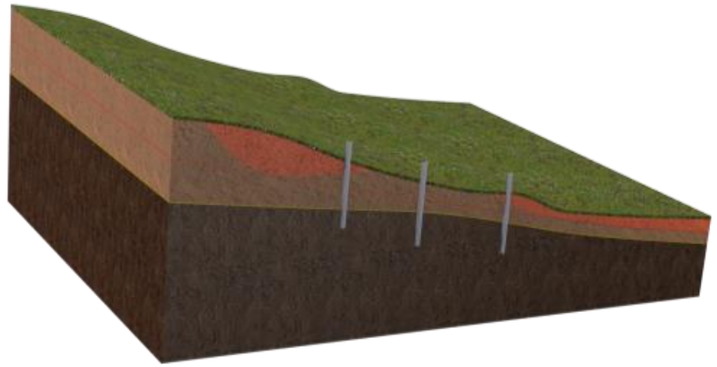


Figura 61. Corte esquemático de inclinómetros empotrados en depósitos resistentes.

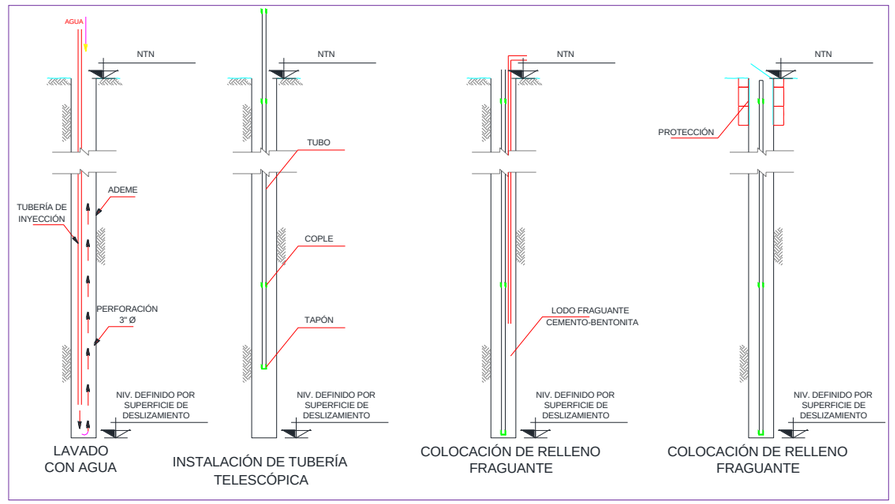


Figura 62. Esquema general de la instalación de inclinómetros.

Galerías Filtrantes

En zonas donde la inestabilidad de masas son un factor que determina un alto nivel de riesgo, es vital diseñar y construir obras de captación de agua superficial y subsuperficial con la capacidad de conducir el líquido de tal forma que la disolución de los carbonatos de calcio, el arrastre de materiales, tubificación y generación de materiales de falla sea mínima. Para cumplir este objetivo se necesitan construir Galerías Filtrantes (Figura 63 y 64), estructuras que captan el agua en la parte superior de los taludes, la almacenan y conducen a zonas de bajo riesgo. La galería principal está compuesta por una tubería de captación ranurada, ligada a colectores verticales laterales que conducen el flujo de agua a colectores que permitan distribuir el agua en forma controlada.

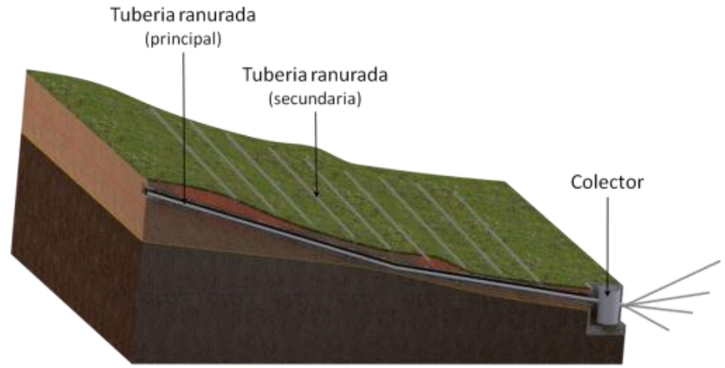


Figura 63. Corte transversal de la galería filtrante.

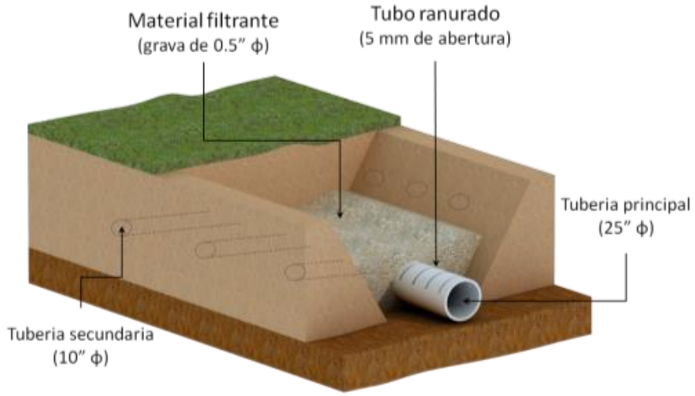


Figura 64. Corte frontal de la galería filtrante.

Estabilización de taludes

La estabilización de taludes tiene el objeto de reducir los bordos inestables en la parte alta de asentamientos humanos, es decir, taludes con pendientes mayores a 30°; sobre todo en núcleos de población reducidos tales como Esquipulas, El Ocotal, El Llano, Metate y Santa María Yacochi. La estabilización de taludes pretende reducir el ángulo de inclinación a valores menores de 30°. Los cortes del talud crean terrazas de trabajo; estos cortes se deben proteger para atenuar el proceso de erosión hídrica laminar.

La ubicación y el diseño de ingeniería de cada propuesta está determinada por las condiciones particulares del sitio así como de las características del proyecto a implementar; sin embargo, se realizó un aproximado del tipo de obras para cada localidad (Figura 65).

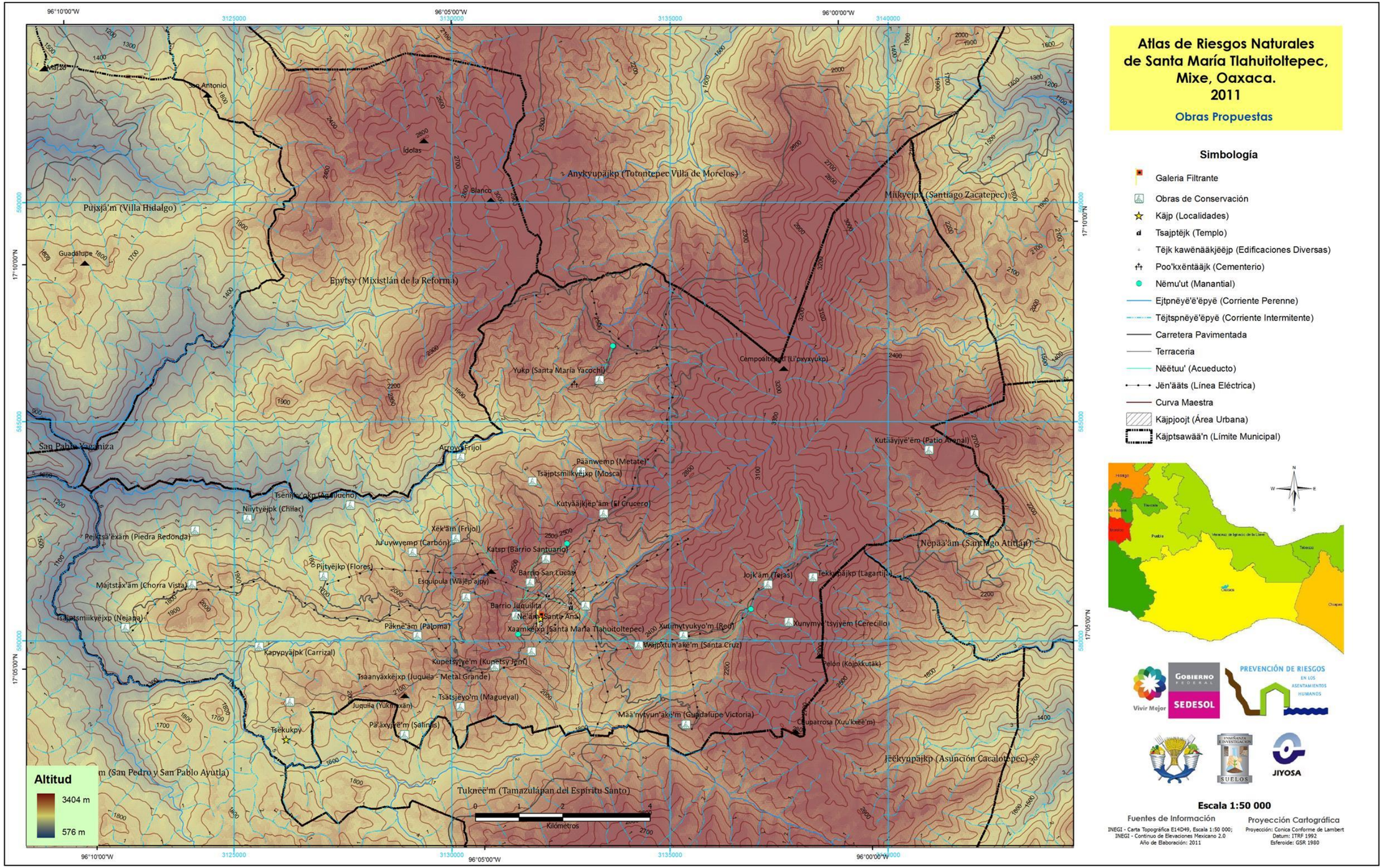


Figura 65. Mapa de Obras Propuestas para la prevención y mitigación de desastres naturales en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec.