

Atlas de Riesgos y/o Peligros del  
municipio de Santiago  
Tulantepec de Lugo Guerrero

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

## 1.1 Introducción

El *Atlas de peligros y/o riesgos del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero*, en el estado de Hidalgo, ilustra las condiciones de peligro, vulnerabilidad y riesgo en las que se encuentra dicho territorio, registrando las afectaciones que tienen los fenómenos perturbadores de origen natural (geológicos e hidro-meteorológicos) a los asentamientos humanos, medio ambiente, infraestructura y entorno. La información plasmada en este documento, permitirá a las Direcciones de Protección Civil y Obras Públicas del municipio llevar a cabo acciones preventivas en los sitios no afectados, mientras se mitiga el peligro en otras previamente impactadas. De la misma forma, ante emergencias naturales, este atlas podrá orientar en la toma de decisiones eficaces.

Para la realización de este documento, se llevó a cabo un análisis de los fenómenos perturbadores de origen natural registrados con anterioridad y los observados en visitas al municipio. Este análisis se reflejó en cartografía multifactorial que caracterizó los sitios y zonas con diferente grado de peligro. Posteriormente, mediante visitas a campo se delimitaron polígonos de peligro.

A partir de los datos obtenidos, se elaboraron mapas a detalle, en los cuales se ilustra el peligro, riesgo y vulnerabilidad del territorio municipal; cada uno de ellos con su respectiva descripción. Asimismo, las zonas y polígonos delimitados están integrados en un mapa actualizado de riesgos donde se incluyeron los fenómenos naturales registrados a nivel municipal. Posteriormente se realizó un análisis detallado de cada uno de los fenómenos registrados.

Cabe resaltar que en el estado de Hidalgo existen riesgos por sequía, erosión hídrica y eólica, variaciones de temperaturas máximas extremas, heladas, lluvias extremas, vientos, fallas y fracturas, granizadas, tornados, tormentas eléctricas y vientos fuertes. Estos riesgos tienen un impacto mayor en las actividades humanas cotidianas de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y ameritan atención prioritaria, pues el cambio ambiental imperante puede exacerbarlos. De igual importancia son aquellos fenómenos geológicos relacionados con la precipitación extrema como los deslizamientos, derrumbes, y flujos de lodo. Si bien los sismos representan un riesgo latente, las características físico-sociales y antecedentes históricos del

municipio permiten caracterizarlos como de incidencia baja. De la misma forma, la baja incidencia de ondas tropicales les confiere riesgo menor, que no debe ser ignorado. Finalmente, algunos fenómenos naturales representan un riesgo mínimo, pues su ocurrencia en el estado de Hidalgo es improbable o mínima (ej. tsunamis y maremotos, erosión marina, tormentas de nieve).

Los riesgos antrópicos tienen su origen en la actividad humana y la interacción con su entorno; a menudo guardan relación con la tecnología pero también son independientes como la pobreza y delincuencia.

## **1.2 Antecedentes**

La elaboración de los Atlas de Riesgo tiene su fundamento jurídico en la Ley General de Protección Civil, puesto que “los atlas de riesgos constituyen el marco de referencia para la elaboración de políticas y programas en todas las etapas de la Gestión Integral del riesgo” (Artículo 19, inciso XXII) (Ley General de Protección Civil, 2012); así como en la Ley de Protección Civil del estado de Hidalgo, que fomenta “la elaboración de los atlas estatales y municipales para la prevención y atención de desastres” (Artículo 12, inciso XII) para “identificar, diagnosticar y prevenir los riesgos a los que esté expuesto el territorio [...] y actualizar periódicamente el atlas de riesgos municipal” (Artículo 16, inciso II) con el objeto de “elaborar programas municipales [...] correspondientes al Atlas Municipal de Riesgos” (Capítulo III, Artículo 35, inciso II) (Ley de Protección Civil del Estado de Hidalgo, 2011).

Los antecedentes de investigaciones sobre riesgos se remontan a 1991, cuando la Secretaría de Gobernación publicó la primera versión del “Atlas Nacional de Riesgos”, subsecuentemente, se publicó el “Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en la República Mexicana” elaborado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en 2001 (Guevara-Ortiz *et al.*, 2006). En los últimos años, varias entidades federativas y municipios a nivel nacional han elaborado sus respectivos Atlas de Riesgo, y esta labor aún se encuentra desarrollándose.

Las recientes herramientas para el manejo de información (ej. Sistemas de Información Geográfica), los avances en la identificación del peligro y la creación de modelos para su representación, han permitido evolucionar la concepción de lo que constituye un Atlas de Riesgos. Estos documentos ya no son una simple colección de mapas, sino un sistema integral de información que permite evaluar el riesgo de los desastres naturales a diferentes niveles y

escalas, realizar simulaciones y escenarios, y actualizar la información de manera continua para mantener su vigencia.

La Ley de Protección Civil y la Ley Orgánica Municipal del Estado de Hidalgo marca como una obligación de las demarcaciones municipales, salvaguardar la vida de su población, además de contar con un documento donde se identifiquen los peligros naturales. También instruye a la capacitación de las dependencias correspondientes para alcanzar la capacidad operativa necesaria y de planeación y disposición para actuar en caso de una emergencia. El Estado de Hidalgo cuenta desde el año 2007 con su respectivo Atlas de Riesgo elaborado por el Servicio Geológico Mexicano (SGM). Sin embargo, de los 84 municipios que conforman la entidad, sólo 29 de ellos, (35 % del total) cuentan con su respectivo atlas (información a 25 de septiembre de 2023).

## **1.2.1 Marco Conceptual. El Riesgo, Peligro y Vulnerabilidad**

### **1.2.1.1 Fundamentos técnicos y definiciones**

Los riesgos están ligados a las actividades humanas. De esta manera, la existencia de un riesgo implica la presencia de un agente perturbador (natural o antrópico) que tenga la probabilidad real de ocasionar daños a un sistema afectable (medio ambiente, asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que pueda constituir un desastre. Así, un deslizamiento de terreno en una región deshabitada, no representa un riesgo, pues no produciría un desastre.

Según Cardona (1996), amenaza, riesgo, peligro, vulnerabilidad y grado de exposición de definen de la siguiente manera:

**Amenaza:** la probabilidad del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. Es una condición latente de posible generación de eventos perturbadores.

**Riesgo:** probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes; la infraestructura civil, productiva y de servicios, y el medio físico, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores.

El riesgo se entiende como la conjunción e interacción de tres factores: el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos (Ordáz, 1996).

$$\text{Riesgo} = f(\text{peligro}, \text{vulnerabilidad}, \text{exposición})$$

**Peligro:** probabilidad de que ocurra un fenómeno perturbador potencialmente dañino de intensidad, durante cierto periodo de tiempo y en un sitio dado. Para su estudio, es importante definir a los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso, medido (numéricamente) y asociado con sus efectos a los bienes expuestos. En la mayoría de los fenómenos potencialmente peligrosos se distinguen dos medidas: magnitud e intensidad. La *magnitud* precisa el tamaño del fenómeno perturbador, su potencial destructivo y la energía que libera. La *intensidad* mide la fuerza del fenómeno en un sitio determinado. Por esto un fenómeno tiene una sola magnitud, pero tantas intensidades como son los sitios en que interese determinar sus efectos. La forma de representar el carácter probabilístico de un fenómeno natural es en términos del *periodo de retorno*, que es el intervalo de tiempo que en promedio transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad.

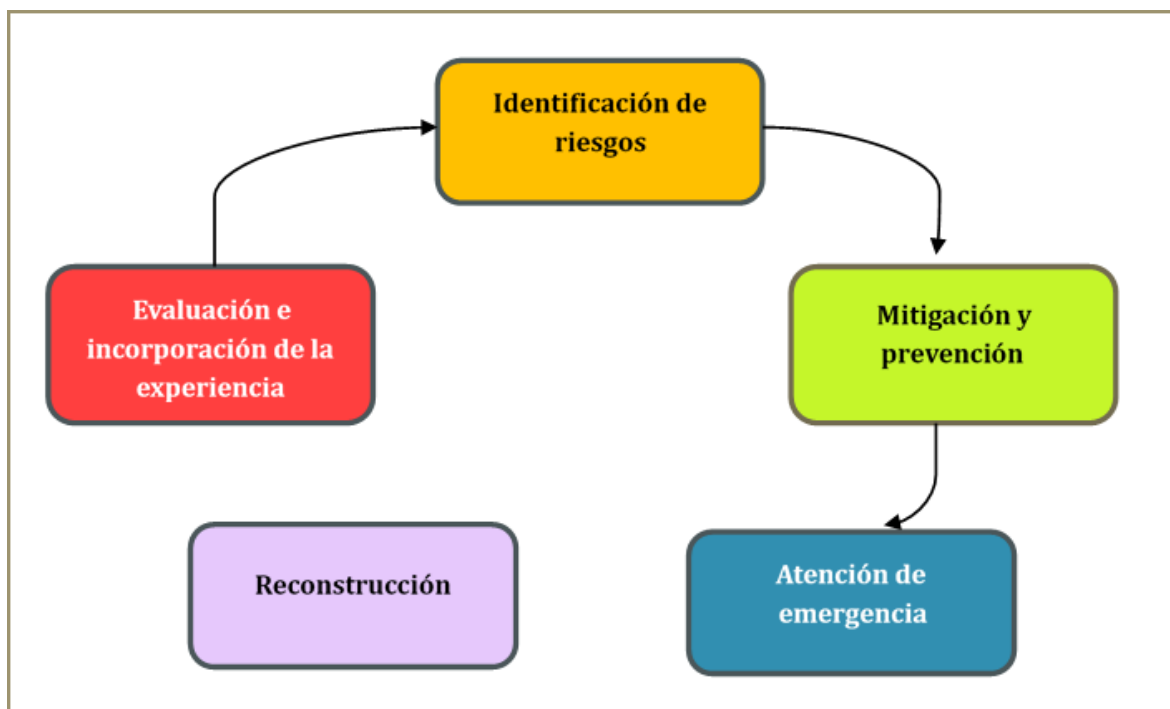
**Vulnerabilidad:** susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por un fenómeno perturbador, es decir el grado de pérdidas humanas y económicas esperadas. En términos generales pueden distinguirse dos tipos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. La primera mide los daños en términos físicos (ej. la resistencia de construcción ante los vientos de un huracán) y la segunda se relaciona con aspectos socio-económicos, educativos y culturales de la población, por lo tanto puede ser subjetiva.

**Grado de exposición:** cantidad de personas, bienes e infraestructura que se encuentran en un sitio dado y que son susceptibles de ser dañados. Se le asignan valores monetarios para que se pueda cuantificar el valor de los daños (no siempre se traduce en dinero). En ocasiones pueden emplearse valores como porcentajes de determinados tipos de construcción o inclusive el número de personas que son susceptibles a verse afectadas. El grado de exposición puede variar con el tiempo debido al crecimiento y desarrollo de la población e infraestructura. En cuanto mayor sea el valor monetario de los bienes expuestos, mayor será el riesgo que se enfrenta. Si el valor de lo expuesto es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro. La exposición puede disminuir con los sistemas de alerta temprana, anticipando oportunamente a la población de la ocurrencia de un fenómeno natural, ya sea a través de una evacuación o inclusive evitando los asentamientos humanos en el sitio.

Una vez que se han identificado y cuantificado el peligro, la vulnerabilidad y el grado de exposición para los diferentes fenómenos naturales perturbadores y sus manifestaciones, es necesario completar el análisis a través de escenarios de riesgo, mediante representaciones geográficas de las intensidades o de los efectos adversos de eventos extremos. Esto resulta de gran utilidad para el establecimiento y priorización de acciones de mitigación y prevención de desastres, sobre todo para protección civil.

Bitrán-Bitrán (2001) menciona que los riesgos pueden tener importantes consecuencias en el ámbito económico y social, en el desarrollo de una región e inclusive llegar a comprometer la seguridad nacional. Por lo tanto, su impacto incide significativamente en el bienestar y calidad de vida de la población. Por ejemplo, entre 1980 y 1999, los efectos de los desastres en México significaron pérdidas de 500 vidas humanas y daños materiales por 700 millones de dólares al año; sin embargo, con el crecimiento poblacional estas cifras han aumentado significativamente.

Un elemento clave para lograr reducir el impacto destructivo que provocan los fenómenos naturales o antropogénicos, es la implementación de una estrategia de prevención. Para ello es necesario tomar acciones en cada una de las etapas identificadas del **ciclo de la prevención**.



[Figura 1. Ciclo de la prevención (Guevara-Ortiz *et al.*, 2006).]

Según Guevara-Ortiz *et al.* (2006) las etapas del ciclo de la prevención son las siguientes:

- 1. Identificación de Riesgos.** Refiere a conocer los peligros y amenazas a los que está expuesta la población; estudiar y conocer los fenómenos naturales perturbadores identificando dónde, cuándo y cómo afectan; identificar y establecer, a distintos niveles de escala y detalle, las características y niveles actuales de riesgo, entendiendo el riesgo como el producto del peligro (agente perturbador), la vulnerabilidad (propensión a ser afectado) y la exposición (los sistemas afectables).
- 2. Mitigación y prevención:** una vez identificados los riesgos, consiste en diseñar acciones y programas para mitigar y reducir el impacto de los desastres naturales antes de que éstos ocurran. Incluye la implementación de medidas estructurales y no estructurales para reducción de la vulnerabilidad o la intensidad con la que impacta un fenómeno natural; planeación del uso de suelo, aplicación de códigos de construcción, obras de protección y contención, educación y capacitación a la población, elaboración de planes operativos de protección civil y manuales de procedimientos, implementación de sistemas de monitoreo y de alerta temprana, investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de mitigación, preparación para la atención de emergencias (disponibilidad de recursos, albergues, rutas de evacuación, simulacros, etc.).
- 3. Atención de emergencias:** son las acciones que deben tomarse inmediatamente antes, durante y después de un desastre natural o antrópico con el fin de minimizar la pérdida de vidas humanas, bienes y planta productiva, así como preservar los servicios públicos básicos (electricidad, hospitales, agua potable, suministro de alimentos) y el medio ambiente, sin olvidar la atención prioritaria y oportuna a los damnificados.
- 4. Recuperación y reconstrucción:** son las acciones orientadas al restablecimiento y vuelta a la normalidad de los sistemas afectados (población y entorno). Esta etapa incluye la reconstrucción y mejoramiento de infraestructura y servicios dañados o destruidos.
- 5. Evaluación del impacto e incorporación de la experiencia:** consiste en valorar el impacto económico, social y ambiental, incluyendo daños directos e indirectos. Tiene entre otras ventajas: determinar la capacidad del gobierno (en sus tres órdenes de gobierno) para coadyuvar y enfrentar las tareas de reconstrucción, fijar las prioridades a atender, determinar los requerimientos de apoyo y financiamiento, retroalimentar el diagnóstico de riesgos con información de las regiones más vulnerables y de mayor impacto histórico y finalmente, calcular la relación costo-beneficio de inversión en acciones de mitigación. La experiencia adquirida en las etapas anteriores del ciclo de la prevención es de suma importancia ya que

permite redefinir políticas públicas de planeación, mitigación y reducción de vulnerabilidades, y con ello, evitar la reconstrucción del riesgo, es decir que un mismo fenómeno vuelva a impactar en el futuro de manera similar.

## 1.2.2 Fundamento Legal

Existe un amplio marco normativo a nivel federal, estatal y municipal, que enmarca la legislación que aborda los riesgos.

### 1.2.2.1 Legislación Federal

**Ley Orgánica de la Administración Pública Federal:** Dentro del Artículo 30bis en su fracción XX se menciona que le corresponde a la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana: “Conducir y poner en ejecución, en coordinación con las autoridades de los gobiernos de los estados, del Distrito Federal, con los gobiernos municipales, y con las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, las políticas y programas de protección civil del Ejecutivo, en el marco del Sistema Nacional de Protección Civil, para la prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población en situaciones de desastre y concertar con instituciones y organismos de los sectores privado y social, las acciones conducentes al mismo objetivo”.

**Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA):** en su Artículo 14, señala que las dependencias y entidades de la administración pública federal se coordinarán con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para la realización de las acciones conducentes cuando exista peligro para el equilibrio ecológico de alguna zona o región del país, como consecuencia de desastres producidos por fenómenos naturales, o por caso fortuito o fuerza mayor.

**Ley General de Protección Civil (LGPC):** en su Artículo 1° señala que esta ley es de orden público e interés social, y tiene por objeto establecer las bases de coordinación entre los tres órdenes de gobierno en materia de protección civil, y que los sectores privado y social participarán en la consecución de los objetivos de la misma, en los términos y condiciones que establece. Dentro del Artículo 3°, se indica que los tres niveles de gobierno tratarán en todo momento que los programas y las estrategias dirigidos al fortalecimiento de los instrumentos de organización y funcionamiento de las instituciones de protección civil se sustenten en un enfoque de gestión integral del riesgo. El Artículo 4° apunta que las políticas públicas en materia de protección civil estarán alineadas al Plan Nacional de Desarrollo y al Programa

Nacional de Protección Civil. El Artículo 9° expresa que la organización y la prestación de la política pública de protección civil corresponden al Estado, quien deberá realizarlas en los términos de esta Ley y de su Reglamento por conducto de la Federación, los estados, el Distrito Federal, los municipios y las delegaciones, en sus respectivos ámbitos de competencia. Y que la Secretaría de Gobernación deberá promover la interacción de la protección civil con los procesos de información a fin de impulsar acciones a favor del aprendizaje y práctica de conductas seguras, mediante el aprovechamiento de los tiempos oficiales en los medios de comunicación electrónicos. Y finalmente, el artículo 10° menciona que la Gestión Integral de Riesgos considera, entre otras, las siguientes fases anticipadas a la ocurrencia de un agente perturbador, para ello se deberá tener conocimiento del origen y naturaleza de los riesgos, además de sus procesos de construcción social: identificación de peligros, vulnerabilidades y riesgos, así como sus escenarios; acciones y mecanismos para la prevención y mitigación de riesgos, entre otros. Con respecto a los Programas de Protección Civil, el Artículo 35 indica que el Programa Nacional, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo, es el conjunto de objetivos, políticas, estrategias, líneas de acción y metas para cumplir con el objetivo del Sistema Nacional, según lo dispuesto por la Ley de Planeación.

**Ley General de Cambio Climático (LGCC):** En su Artículo 2°, en la fracción I, la ley refiere que se debe garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la Federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero; mientras que la fracción III habla sobre regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático; la fracción IV menciona acerca de reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno. El Artículo 7°, en su fracción IV, dice que se debe elaborar, actualizar y publicar el Atlas Nacional de Riesgo y emitir los criterios para la elaboración de los atlas de riesgo estatales; y en la fracción VI señala establecer, regular e instrumentar las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, de conformidad con esta Ley, los tratados internacionales aprobados y demás disposiciones jurídicas aplicables. El Artículo 28 señala que la Federación, las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus competencias, deberán ejecutar acciones para la adaptación en la elaboración de las políticas, la Estrategia Nacional, el Programa y los programas en diversos ámbitos, y menciona la fracción I referente a la gestión integral del riesgo. Las acciones de adaptación se reportan

en el Artículo 29, entre ellas destacan las siguientes fracciones relativas a: VII. La protección de zonas inundables y zonas áridas; XI. La elaboración de los Atlas de Riesgo, y XIV. Los programas del Sistema Nacional de Protección Civil. Finalmente, el Artículo 30 indica que las dependencias y entidades de la administración pública federal centralizada y paraestatal, las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus competencias, implementarán acciones para la adaptación conforme a las disposiciones siguientes: I. Elaborar y publicar los atlas de riesgo que consideren los escenarios de vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático, atendiendo de manera preferencial a la población más vulnerable y a las zonas de mayor riesgo, así como a las islas, zonas costeras y deltas de ríos; II. Utilizar la información contenida en los atlas de riesgo para la elaboración de los planes de desarrollo urbano, reglamentos de construcción y ordenamiento territorial de las entidades federativas y municipios; IV. Establecer planes de protección y contingencia ambientales en zonas de alta vulnerabilidad, áreas naturales protegidas y corredores biológicos ante eventos meteorológicos extremos; y IX. Mejorar los sistemas de alerta temprana y las capacidades para pronosticar escenarios climáticos actuales y futuros.

## **1.2.2.2 Legislación Estatal**

### **Ley Orgánica de la Administración Pública para el Estado de Hidalgo**

En su Artículo 28 fracción I establece que la Secretaría de Gobierno le compete conducir las relaciones del Poder Ejecutivo con los otros Poderes del Estado, los Ayuntamientos y con los representantes de los sectores social y privado de la Entidad, en lo referente a política interior y coadyuvar, en la esfera de su competencia, a la realización de los programas de Gobierno. En su fracción XV resalta que la Secretaría de Gobierno se encargará de dirigir y ejecutar, en coordinación con las autoridades federales, estatales y municipales, las políticas y programas de protección civil, para la prevención, auxilio, recuperación y apoyo a la población en situaciones de desastre, promoviendo esquemas de concertación y apoyo con instituciones y organismos de los sectores privado y social. En su fracción XXVIII define que la Secretaría de Gobierno podrá intervenir, en auxilio y coordinación con las autoridades federales y en los términos de las leyes relativas, en materia de cultos religiosos, lotería, rifas y juegos no prohibidos, migración, protección civil, prevención, atención y solución de catástrofes públicas u otros casos similares.

Esta misma ley en su artículo 40, menciona que le corresponde a la Secretaría de Seguridad Pública, en su fracción XXV que junto con los Municipios, el Estado y la Federación, formulará

los mecanismos e instrumentos necesarios para el suministro, intercambio, sistematización, consulta, análisis y actualización de la información para prevenir y combatir la delincuencia, o cualquier asunto relacionado con la protección civil, salud o servicio público en beneficio de la comunidad.

### **Ley de Protección Civil del Estado de Hidalgo**

En su Artículo 1 se menciona que las disposiciones de esta ley son de orden público, interés social y de observancia obligatoria en el Estado de Hidalgo; tiene por objeto proteger y preservar los bienes jurídicos fundamentales tales como: la vida humana, la salud, la familia, su patrimonio y su entorno; en materia de protección civil.

En el Artículo 3 Ter se menciona que la Gestión Integral de Riesgos considera, entre otras, las siguientes fases anticipadas a la ocurrencia de un agente perturbador.

- I. Conocimiento del origen y naturaleza de los riesgos, además de los procesos de construcción social de los mismos;
- II. Identificación de peligros, vulnerabilidades y riesgos, así como sus escenarios;
- III. Análisis y evaluación de los posibles efectos;
- IV. Revisión de controles para la mitigación del impacto;
- V. Acciones y mecanismos para la prevención y mitigación de riesgos;
- VI. Desarrollo de una mayor comprensión y concientización de los riesgos, y
- VII. Fortalecimiento de la resiliencia de la sociedad

En el Artículo 4 se decreta que el Sistema Estatal de Protección Civil es el conjunto orgánico y articulado de estructuras, métodos, normas, instancias, principios, instrumentos, políticas, procedimientos, servicios y acciones que establecen las dependencias y entidades de sector público del Estado y Municipios, las organizaciones del sector privado y social, que tienen como objetivo salvaguardar la vida, integridad física y salud de la población, sus bienes y su entorno, de igual forma la infraestructura, la planta productiva y el medio ambiente, ante la ocurrencia de algún agente perturbador, orientándose a la reducción de riesgo de desastres y se integra por:

- I.- El Consejo Estatal de Protección Civil;
- II.- La Coordinación Estatal de Protección Civil;
- III.- El Centro Estatal de Protección Civil;

IV.- Los Consejos Municipales de Protección Civil;

V.- Los Sistemas Municipales de Protección Civil;

VI.- Las Coordinaciones Municipales de Protección Civil;

VII.- Los Comités Municipales de Emergencias;

VIII.- Los H. Cuerpos de Bomberos;

IX.- Grupos de Brigadistas;

X.- Grupos de Voluntarios; y

XI.- - Las asociaciones y agrupaciones de voluntarios y brigadistas comunitarios debidamente registrados ante la Coordinación Estatal de Protección Civil.

El artículo 10 define al Consejo Estatal de Protección Civil como el órgano consultivo, que tiene como finalidad coordinar acciones y garantizar el correcto funcionamiento del Sistema Estatal de Protección Civil, a través de la supervisión de acciones que realicen los diversos órdenes de Gobierno, mediante la adecuada gestión integral de los riesgos, incorporando la participación activa y comprometida de la sociedad, tanto en lo individual como en lo colectivo.

El artículo 11 define la estructura y funciones del consejo Estatal de Protección Civil el cual se encuentra integrado por:

I.- Un presidente, que será el Gobernador del Estado;

II.- Un Secretario Ejecutivo, que será el Secretario de Gobierno;

III.- Un Secretario Técnico, que será el Sub-secretario de Protección Civil y Gestión de Riesgos;

IV.- Los titulares de las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Estatal, que por el ramo que atienden les corresponda en los subprogramas de prevención, auxilio y apoyo ante la ocurrencia de un desastre.;

V.- Los representantes de los Poderes Legislativo y Judicial del Estado; Para el caso del Poder Legislativo del Estado de Hidalgo, el representante será el diputado o diputada que presida la Primera Comisión Permanente de Protección Civil del Congreso del Estado Libre y Soberano de Hidalgo de la Legislatura en turno;

VI.- Las Delegaciones Estatales de las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal, que realicen actividades relacionadas con la ejecución de los subprogramas de prevención, auxilio y apoyo por la ocurrencia de algún desastre, podrán actuar con voz pero sin voto, cuando el presidente del consejo así lo estime;

VII.- Las organizaciones de los sectores sociales y privados de la Entidad; VIII.- Los representantes de las Instituciones Educativas en el Estado; IX. Los representantes de los Consejos Municipales de Protección Civil; y

X. Los Presidentes Municipales de los lugares donde se establezcan representaciones de la Unidad Estatal de Protección Civil;

Los titulares podrán nombrar a sus respectivos suplentes, quienes tendrán voz y voto. El cargo de consejero será de carácter honorario.

### **Ley para la Protección del Ambiente del Estado de Hidalgo**

En el Artículo 3, en la fracción XIX se define la Contingencia Ambiental y en la fracción LXXII el riesgo ambiental. En el artículo 6 se establece la evaluación del impacto ambiental, asimismo en este mismo artículo se establece que el Ejecutivo del Estado a través de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo en su fracción IV estipula que se debe elaborar, publicar y actualizar el Atlas Estatal de Riesgo, en coordinación con los municipios, conforme a los criterios emitidos por la Federación. En el artículo 11 se marca que para la formulación y conducción de la política ambiental en el estado se debe realizar el Atlas Estatal de Riesgo Ambiental (fracción IV).

El Artículo 47 indica que las personas que realicen actividades riesgosas no reservadas a la Federación, deberán observar las medidas preventivas, de control y correctivas, establecidas en las Normas Oficiales o determinadas por las Autoridades competentes conforme a la Ley de Protección Civil para el Estado de Hidalgo y las demás disposiciones aplicables, para prevenir y controlar accidentes que puedan afectar la integridad de las personas o del ambiente. El Artículo 212 prevé las medidas de seguridad por parte del Estado y de los Ayuntamientos para evitar los riesgos inminentes de desequilibrio ecológico o casos de contaminación, y para ello se señalan las medidas de seguridad, con las cuales se podrá ordenar la clausura temporal, parcial o totalmente de las fuentes contaminantes fracción I); el aseguramiento precautorio de materiales y residuos peligrosos, vehículos, utensilios e instrumentos directamente relacionados con la conducta que da lugar a la imposición de la medida de seguridad (fracción

II); la neutralización o cualquier acción análoga que impida los efectos previstos en el primer párrafo del citado artículo (fracción III); y, , promover ante la autoridad competente, en términos de las leyes relativas, la ejecución de las medidas de seguridad que en dichos ordenamientos se establecen (fracción IV). Finalmente, el artículo 216 se refiere a las infracciones y sanciones por incumplimiento de la presente ley, se contempla con precisión en qué consisten las sanciones administrativas que se deben aplicar a cada caso específico.

### **Ley de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Hidalgo**

Esta Ley contempla dos categorías generales de respuestas al cambio climático, la mitigación y la adaptación, ayudan a reducir los riesgos que ocasionan el cambio climático. El objeto de la mitigación es evitar o al menos limitar el propio cambio Esta Ley contempla dos categorías generales de respuestas al cambio climático, la mitigación y la adaptación, ayudan a reducir los riesgos que ocasionan el cambio climático. El objeto de la mitigación es evitar o al menos limitar el propio cambio climático al reducir las emisiones de gases efecto invernadero, por ejemplo, promoviendo la eficiencia energética, usando energías renovables como la energía solar o eólica y evitando la deforestación. La adaptación consiste en acciones deliberadas para reducir las consecuencias adversas, así como para aprovechar cualquier oportunidad beneficiosa. climático al reducir las emisiones de gases efecto invernadero, por ejemplo, promoviendo la eficiencia energética, usando energías renovables como la energía solar o eólica y evitando la deforestación. La adaptación consiste en acciones deliberadas para reducir las consecuencias adversas, así como para aprovechar cualquier oportunidad beneficiosa.

El Artículo 13 dicta que la política estatal de adaptación frente al cambio climático se sustentará en instrumentos de diagnóstico, planificación, medición, reporte y verificación, así como monitoreo y evaluación, tendrá como objetivo en su fracción III minimizar riesgos y daños, considerando los escenarios actuales y futuros del cambio climático, mientras que la fracción V establece que se deben establecer mecanismos de atención inmediata y expedita en zonas impactadas por los efectos del cambio climático como parte de los planes y acciones de protección civil. El Artículo 26 en su fracción VII establece que el Estado de Hidalgo tiene como obligación regular y determinar la temporalidad en la elaboración y actualización del Programa y Estrategia Estatal, de las evaluaciones de impacto económico del cambio climático, de los Atlas de Riesgos Ambientales del Estado, y demás estudios que se consideren necesarios

para hacer frente al cambio climático en la Entidad. Finalmente, el Artículo 44 en su fracción IV hace referencia a la vulnerabilidad y gestión de riesgos.

### **Ley Orgánica Municipal del Estado de Hidalgo**

Su última reforma publicada en junio de 2023, establece en el artículo 56 fracción gg en la cual el municipio tiene la obligación de aprobar el Atlas Municipal de Riesgos dentro de los ciento ochenta días naturales posteriores al inicio de la administración municipal, así como la actualización de este cada dos años, para lo cual deberán contemplar en su presupuesto de egresos el monto correspondiente para su elaboración o actualización.

En el artículo 60 fracción h que es facultad y obligación del presidente municipal cumplir con el Plan Estatal de Desarrollo, el del municipio y los programas sectoriales, regionales y especiales aprobados, respecto a lo que se refiere a su área de administración. A más tardar noventa días después de tomar posesión de su cargo, el presidente municipal deberá presentar un Plan Municipal de Desarrollo Urbano que contenga los Planes de Desarrollo Rural para los Pueblos y Comunidades Indígenas en caso de contar con población indígena reconocida, así como el que corresponda al desarrollo agropecuario municipal. Asimismo, contará hasta con ciento ochenta días para presupuestar, gestionar lo conducente y ordenar la elaboración del atlas de riesgos correspondiente o en su caso, actualizarlo a su gestión. El Artículo 117 en su fracción XX enmarca que será el Titular de Obras Públicas es el funcionario responsable, en lo general de la elaboración del Atlas de Riesgo Municipal, además deberá coadyuvar de manera coordinada con el titular del área de Protección Civil, en la elaboración o en su caso, con la actualización del Atlas Municipal de Riesgos. Ante la omisión de lo previsto en esta fracción, se estará a lo dispuesto por la legislación en materia de responsabilidades administrativas.

El artículo 127 ordena que en cada municipio se deberá contar con una Dirección de Protección Civil y podrá crear un Cuerpo de Bomberos, como órgano operativo de dicha dependencia que estarán bajo el mando del presidente municipal, el que acatará las órdenes que el gobernador del estado le transmita en aquellos casos de contingencia o emergencia, que se presenten en el municipio por fenómenos hidro-meteorológicos, geológicos, químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos, socio-organizativos y/o cualquier otro fenómeno perturbador. El Sistema Municipal de Protección Civil debe ser el primer nivel de respuesta ante cualquier agente perturbador que afecte a la población; para su adecuado funcionamiento contará con: el Programa Municipal de Protección Civil; Atlas Nacional, Estatal y Municipal de Riesgos;

inventarios; así como directorios de recursos materiales y humanos del municipio correspondiente.

En el artículo 129 fracción XII se estipula que será el titular de protección Civil el que se encargará de coordinar la elaboración del Atlas Municipal de Riesgos, a más tardar en un término de 150 días naturales siguientes al inicio de la administración municipal, el cual deberá ser presentado por el Presidente Municipal para la aprobación del Ayuntamiento en el término de 30 días naturales siguientes para su respectiva publicación. Su actualización será cada dos años bajo el mismo procedimiento. Ante la omisión de lo previsto en esta fracción, se estará a lo dispuesto por la legislación en materia de responsabilidades administrativas.

**Tabla 1.** Competencias y atribuciones de los tres órdenes de gobierno en materia de gestión de riesgos.

ÁMBITO	NOMBRE	TÍTULO	CAPÍTULO	ARTÍCULO
Federal	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal / 2023	Título Segundo De la Administración Pública Centralizada	Capítulo II De la Competencia de las Secretarías de Estado y Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal	Artículo 30bis, fracción XX
	Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente / 2023	Título Primero Disposiciones Generales	Capítulo II Distribución de Competencias y Coordinación	Artículo 14
	Ley General de Protección Civil / 2021		Capítulo I Disposiciones Generales	Artículo 1, 3 y 4

			Capítulo II De la Protección Civil	Artículo 9 y 10
			Capítulo VI De los Programas de Protección Civil	Artículo 35
	Ley General de Cambio Climático / 2022	Título Primero Disposiciones Generales	Capítulo Único	Artículo 2º, fracción I, III y IV.
		Título Segundo Distribución de Competencias	Capítulo Único De la Federación, las Entidades Federativas y los Municipios.	Artículo 7º, fracción IV y VI.
		Título Cuarto Política Nacional de Cambio Climático	Capítulo II Adaptación	Artículo 28, fracción I Artículo 29, fracción VII, XI y XIV. Artículo 30, fracción I, II, IV y IX
Estatal	Ley Orgánica de la Administración Pública para el Estado de Hidalgo / 2023	Título Segundo Del Sector Central	Capítulo II De las Secretarías de Gabinete	Artículo 28, fracción I, XV y XXVIII Artículo 40, fracción XXV
	Ley de Protección Civil	Título Primero Disposiciones Generales		Artículo 1 Artículo 3 Ter

del Estado de Hidalgo / 2023	Título Segundo Del Sistema Estatal de Protección Civil		Artículo 4
	Título Tercero Autoridades Estatales de Protección Civil Del Consejo Estatal de Protección Civil		Artículo 10 y 11
Ley para la Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo / 2023	Título Primero Disposiciones Generales	Capítulo I Del Objeto y Aplicación de la Ley	Artículo 3, fracción XIX y LXXII
		Capítulo II De las Autoridades y Distribución de Competencias	Artículo 6, fracción IV.
	Título Segundo Política Ambiental	Capítulo II Instrumentos de Política Ambiental	Artículo 11, fracción IV. Sección Sexta, Artículo 47.
	Título Séptimo De la Vigilancia	Capítulo I De las medidas de seguridad	Artículo 212, fracción I, II, III Y IV.
		Capítulo II De las Infracciones y Sanciones	Artículo 216

	Ley de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Hidalgo / 2023		Capítulo III Política Estatal de Cambio Climático	Sección Primera  Artículo 13, fracción III y V
			Capítulo IV Sistema Estatal de Cambio Climático	Sección Primera  Artículo 26, fracción VII
			Capítulo V Instrumentos de Planeación	Sección Segunda  Artículo 44, fracción IV
	Ley de asentamientos humanos, desarrollo urbano y ordenamiento territorial del Estado de Hidalgo/2022	Título Tercero  Régimen de Gestión Urbana	Capítulo Primero  Instrumentos de Regulación del Desarrollo Urbano	Sección Tercera  De la infraestructura, equipamiento y servicios públicos  Artículo 60
Municipal	Ley Orgánica Municipal del Estado de Hidalgo / 2019	Título Segundo  Del Gobierno Municipal	Capítulo Quinto  Facultades y Obligaciones de los Ayuntamientos	Artículo 56, Fracción gg.
			Capítulo Sexto  Facultades y Obligaciones de los Presidentes Municipales	Artículo 60, Fracción h

		Título Sexto Régimen Administrativo	Capítulo Quinto De las Dependencias Encargadas de la Prestación de los Servicios Públicos	Artículo 117, Fracción XX
			Capítulo Octavo De la Unidad Municipal de Protección Civil y el H. Cuerpo de Bomberos	Artículo 127  Artículo 129 XII

Fuente: Elaboración propia con base en leyes actuales de México y el Estado de Hidalgo.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Identificar las amenazas de origen geológico e hidrometeorológico, químico-tecnológico, sanitario-ecológico y socio-organizativo, con la finalidad de elaborar los mapas que conformen El Atlas de Riesgos y/o Peligros del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, identificando el tipo y grado de riesgo, con la finalidad de mejorar la toma de decisiones encaminadas a salvaguardar la vida de las personas, sus bienes y su entorno.

### 1.3.2 Objetivos particulares

- Identificar los sitios de peligros y riesgos naturales y antrópicos en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, de acuerdo a los Términos de Referencia para la Elaboración de Atlas de Peligros y/o Riesgos 2018.
- Analizar y generar información cartográfica en bases de datos acerca del riesgo, amenaza y vulnerabilidad.

- Determinar el alcance y el potencial impacto que representará la ocurrencia de peligros de origen geológico, hidrometeorológico, químico-tecnológico, sanitario-ecológico y socio-organizativo en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.
- Contribuir a la elaboración de planes estratégicos de acción y prevención que apoyen la toma de decisiones ante el impacto de riesgos de origen natural y antrópico.
- Visualizar de forma regional y local las zonas de riesgo natural y antrópico en correlación con los asentamientos humanos.

## 1.4 Estrategia

A partir de los resultados observados del diagnóstico del medio físico, geográfico, socioeconómico y ambiental de Hidalgo, que forma parte del Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028 se identifican las siguientes fortalezas territoriales de Hidalgo:

- Tiene una posición geográfica privilegiada en el centro del país. Que lo ubica muy cerca del principal mercado (Ciudad de México); además de contar con una red de comunicaciones que lo vincula con todas las regiones del país.
- Hidalgo posee una gran biodiversidad, que le confiere gran variedad de recursos naturales y ecosistemas.
- Se cuenta con sectores económicos de gran potencial como la minería, aprovechamiento forestal, turístico, agropecuario, agroindustrial e industrial.
- Hidalgo cuenta con grandes extensiones de recursos naturales renovables y no renovables, que se pueden constituir en un eje del desarrollo regional.

Las principales debilidades que enfrenta el desarrollo territorial de Hidalgo son:

- Falta de innovación y escaso desarrollo tecnológico para enfrentar los desafíos ambientales en el estado.
- Elevada dispersión poblacional (sobre todo entre el norte y sur del estado).
- Alto crecimiento demográfico en zonas urbanas (Pachuca, Tulancingo, Tizayuca y Tula-Tepeji) inducido por la migración procedente de la zona metropolitana del Valle de México.

- En materia de ordenamiento territorial la entidad no cuenta con instrumentos actualizados.
- Regiones con escasos recursos hídricos y sobreexplotación de los mantos acuíferos.

El desarrollo territorial de Hidalgo se contempla en el acuerdo 4 “Desarrollo sostenible e infraestructura transformadora de la estructura programática del Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028”.

En el Apartado 4.1 “Infraestructura para el desarrollo social y sostenible” se desarrolla el apartado 4.1.1 “Desarrollar una política hídrica para la entidad”. Se propone generar un programa estatal hídrico para el manejo integral del agua, con una visión regional y alineada a los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 [...] con un enfoque de gestión integrada de cuencas (Apartado 4.1.1.1); generar los programas hídricos regionales alineados a los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 (Apartado 4.1.1.2).

Uno de los aspectos más importantes a considerar en el desarrollo de este trabajo lo representa el Apartado 4.2 “Planeación territorial y urbana” del Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028. Este apartado promueve una política de ordenamiento territorial y desarrollo urbano en beneficio de las y los habitantes de Hidalgo, considerando con responsabilidad las necesidades y oportunidades que los recursos naturales ofrecen.

El Apartado 4.2.1 “Transformar la planeación y gestión ecológica, territorial y urbana de Hidalgo”. Promueve la realización y actualización de los programas de desarrollo urbano y ordenamiento territorial de la entidad, regiones, zonas metropolitanas, municipios, parciales o de polígonos que sean necesarios, así como otros instrumentos de planeación en el tema considerando para ello los elementos de la nueva Agenda Urbana (Apartado 4.2.1.1). También fomenta la cooperación entre las ciudades y municipios que integran las zonas metropolitanas del estado, con vistas a la planeación y ejecución de acciones comunes en materia territorial y urbana (Apartado 4.2.1.2). Se busca garantizar el buen uso del manejo del suelo a través de dictámenes de impacto urbano, ambiental y vial entre otros medios para una nueva gestión territorial y urbana con firme apego a la norma (Apartado 4.2.1.3). Busca ejecutar obras de mitigación de acuerdo a los resultados de los dictámenes de impacto urbano, ambiental y vial (Apartado 4.2.1.4).

También es relevante mencionar el Apartado 4.4 titulado “Cuidado del medio ambiente” del Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028 que busca impulsar la gestión del medio ambiente para el bienestar de las generaciones actuales y futuras, además de proteger, restaurar y aprovechar de manera sostenible los recursos naturales que brindan los ecosistemas del estado. De manera particular se puede mencionar el Apartado 4.4.1.2 que busca “Fortalecer la inspección y vigilancia ambiental mediante el incremento de las capacidades institucionales para contribuir a la reducción de los impactos ambientales sobre los ecosistemas”. En el Apartado 4.4.1.4 se busca “Aplicar lineamientos y disposiciones normativas para regular la emisión de contaminantes de fuentes móviles”.

El Apartado 4.4.2 busca mejorar la calidad del aire en el estado con énfasis en la salud pública y ambiental; por medio de programas, estrategias y acciones para monitorear y reducir las emisiones a la atmósfera generadas por fuentes fijas, así como implementar programas de gestión de la calidad del aire y de contingencias ambientales.

El Apartado 4.4.3 busca impulsar la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. De manera particular se busca instrumentar un Programa Estatal de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial (Apartado 4.4.3.1). Además, busca contribuir al fortalecimiento de la infraestructura[...] para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial (Apartado 4.4.3.3).

De especial interés para la evaluación de los riesgos hidrometeorológicos es el apartado 4.4.4 “Implementar y evaluar el Sistema Estatal de Cambio Climático” que busca fortalecer la planeación intersectorial frente al cambio climático instrumentando el Programa Estatal de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático y replicarlo a escala municipal (Apartados 4.4.4.1 y 4.4.4.2).

Notable es el apartado 4.4.4.5 el cual busca generar, instrumentar y evaluar un programa de educación ambiental; además de impulsar la educación ambiental entre la sociedad hidalguense.

Se busca incrementar la capacidad estatal para la conservación, restauración, conocimiento de la biodiversidad de los recursos naturales impulsando su manejo y aprovechamiento sostenible

(Apartado 4.4.4.6). De manera particular, este apartado busca promover la conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad de Hidalgo, mediante acciones diversas que incluyan la creación y conservación de áreas naturales protegidas resilientes al cambio climático a nivel estatal y municipal; así como el desarrollo de Áreas destinadas voluntariamente a la conservación (ADVC; apartado 4.4.6.1). Se pretenden desarrollar proyectos de conservación, preservación, restauración y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica, además del desarrollo forestal (Apartado 4.4.6.2). Se busca prevenir, combatir y controlar incendios forestales con un enfoque de sensibilización y participación ciudadana (apartado 4.4.6.3). Y finalmente, se busca difundir el conocimiento científico y tradicional [...] para garantizar la conservación y el uso responsable de la biodiversidad (apartado 4.4.6.4).

Los apartados 4.5.1 y 4.5.3.1 del apartado 4.5 “Objetivos transversales por el desarrollo sostenible e infraestructura transformadora” buscan impulsar el desarrollo de la ciencia e investigación en materia de medio ambiente, gestión y planeación territorial, urbana y ecológica con énfasis en las aplicaciones a nivel regional y local, además de mejorar y potenciar de forma efectiva los mecanismos de transparencia y rendición de cuentas concernientes a la planeación ambiental, la territorial y la urbana.

La atención de los desastres naturales requiere de un gran esfuerzo organizativo por parte de la Dirección de Protección Civil Municipal para salvaguardar la integridad de la población.

En el Plan Municipal de Desarrollo 2020-2024 de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, dentro del Plan de acción para la política de seguridad y tránsito, prioritaria para el desarrollo Municipal, como acción estratégica en el inciso E - Fortalecer los mecanismos de protección civil en el Municipio, las siguientes acciones particulares: E1.- Gestionar la elaboración del Atlas de Riesgos del Municipio. E2.- Actualizar el Reglamento de Protección Civil. E3.- Conformar el Comité de Protección Civil Municipal y llevar a cabo un calendario de sesiones de trabajo y minutas de acuerdos y conclusiones.

## **1.5 El uso de los SIG en la caracterización del riesgo**

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de cartografía especializada de riesgos, permite determinar las características espaciales de la zona expuesta

a los mismos: forma, gradación de la intensidad del riesgo con la distancia, y la probabilidad de sufrir las consecuencias de un accidente como resultado de la organización en el territorio de las actividades humanas peligrosas.

El *Atlas de Riesgos y/o Peligros del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero* pretende definir, mediante el uso de un SIG, el área expuesta a los riesgos a partir de dos supuestos: 1.- establecer las características geométricas de las instalaciones que son fuentes de riesgo, que pueden ser lineales, puntuales o zonales; 2.- el alcance espacial, es decir, el umbral máximo de expansión de los efectos peligrosos; y la forma de la "zona de influencia" o buffers en torno a las instalaciones. El buffer dependerá del tipo de instalaciones, puntuales (fábricas, rellenos sanitarios...), lineales (ductos de PEMEX, gasoductos) o zonales (aeropuerto).

En el caso de los riesgos naturales, la cuestión se resuelve más o menos satisfactoriamente con los registros históricos y la misma caracterización geológica, tectónica y/o meteorológica de la zona. Hay que considerar que el modelo de exposición al riesgo propuesto en este trabajo podría ser calificado como determinista, y, en ese sentido, alarmista, porque supone un mismo nivel de accidentabilidad para instalaciones y/o ubicaciones muy dispares. Se señala al respecto, que el modelo que se presenta puede constituir una herramienta útil para aquellos expertos que sí puedan matizar los niveles de peligrosidad de las actividades e instalaciones que aquí se analizan. La necesidad de una aproximación multidisciplinar a este tipo de problemas ambientales debe ser atendida de manera puntual.

Para la determinación de la intensidad de la posible exposición al riesgo en cada punto del área de influencia, lo común es asumir que hay una gradación con la distancia hacia la periferia del área de influencia desde el lugar donde se inicia el riesgo. También es posible representar la probabilidad espacial del riesgo, es decir la menor o mayor posibilidad de que un lugar cualquiera sea afectado por un incidente de origen natural o humano de consecuencias graves.

Podemos suponer que cuantos más fenómenos geológicos (tales como fallas, fracturas o pendientes); así como instalaciones peligrosas se sitúen en las inmediaciones de un punto del territorio municipal donde es más probable que ese lugar se pueda ver afectado por peligros de esta naturaleza. Sólo en el caso de los riesgos de origen antrópico, y en atención a que son éstos los aspectos que se pretenden explorar en este trabajo, y también debido a la pequeña escala del análisis, se ha considerado para este caso un medio físico uniforme, de manera que no se tendrá en cuenta la influencia de la topografía, la litología o la red hidrográfica en la

delimitación territorial de la exposición ante riesgos químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos y socio-organizativos.

Tampoco se ha tomado en consideración los diferentes patrones espaciales derivados del tipo de accidentes (explosión, incendio, escape de químicos, etc.). El estudio descriptivo de los riesgos naturales y antrópicos trata de reconocer los patrones generales de éstos en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Este documento tiene un valor orientado al ordenamiento territorial en la actual fase de crecimiento urbanístico expansivo que está afectando su territorio al encontrarse cerca de un núcleo poblacional importante como lo es Tulancingo, el cual puede conducir a aproximar de manera inadvertida a la población en las actividades peligrosas (el caso de los nuevos desarrollos urbanísticos tanto en el municipio, así como municipios colindantes).

## **CAPÍTULO II. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE ANÁLISIS Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA**

### **2.1 Localización**

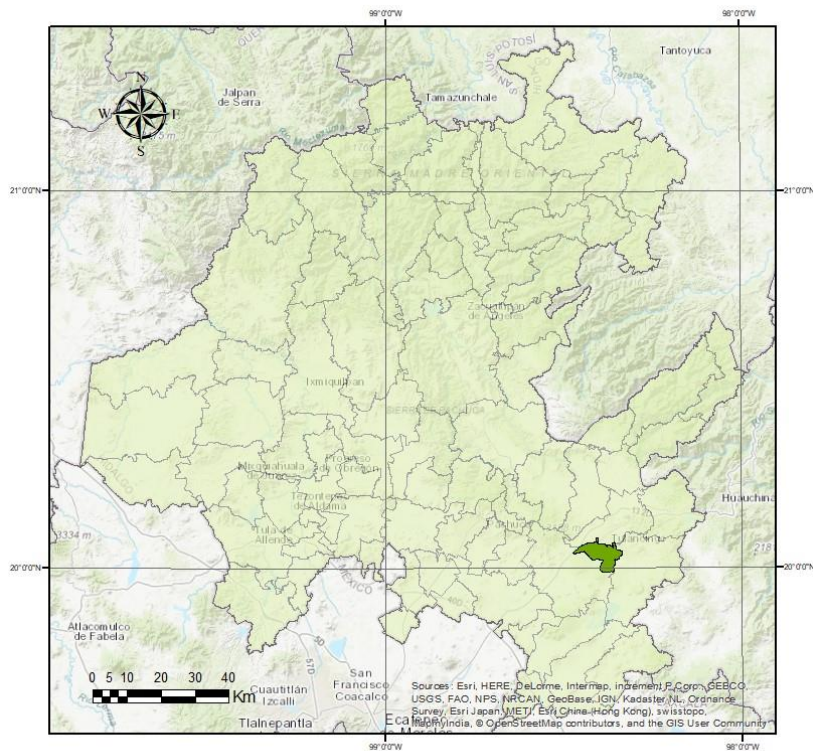
El municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se localiza en el estado de Hidalgo, entre las coordenadas extremas 19° 59' - 20° 05' de latitud norte y 98° 20' - 98° 29' de longitud oeste, a una altitud que oscila entre 2200 y 2700 m.s.n.m (INEGI 2020). Cuenta con una población de 39561 personas, distribuidas en 26 localidades distribuidas en una superficie de 64.3 km<sup>2</sup> (0.31 % del estado) (Censo de población y vivienda, 2020). Colinda

con los municipios de Tulancingo de Bravo (norte y oeste), Cuautepec de Hinojosa (este-sur) y Singuilucan (sur-oeste) y geo-culturalmente pertenece a la región del Valle de Tulancingo.



[Figura 2. Localización del Estado de Hidalgo en el contexto nacional.]

La cartografía digital georreferenciada de este proyecto se asienta sobre un mapa base del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, constituyendo el vínculo geográfico de las capas temáticas. El Mapa base (ARST-01) cuenta con la información topográfica básica, límites políticos, vías de comunicación, hidrografía, localidades rurales, manzanas y Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas, así como principales obras de infraestructura. En el mapa ARST-01 podemos observar en línea gruesa color azul que corresponde al límite municipal de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, en amarillo la zona urbana, en azul se muestran los cuerpos de agua, en color café las curvas de nivel y en línea roja las carreteras principales.



**Figura. 3** Localización de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero en el Estado de Hidalgo.

La modelación e interpretación de los fenómenos de origen natural y antrópico que ocurren en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se realizó con base en las características físicas (variables relacionadas con el suelo, la atmósfera, el agua y variables geomorfológicas) del municipio y las condiciones socioeconómicas actuales de los habitantes. De tal manera que, la descripción de las características físicas, que condicionan la cinemática de los fenómenos que se presentan en el territorio municipal determina el nivel de peligro, y la descripción de las condiciones socioeconómicas determinan la vulnerabilidad física (infraestructura) y social (nivel de organización y capacidad de prevención respuesta). Además, la interacción del peligro y la vulnerabilidad determina el grado de riesgo de desastre ante la exposición de un fenómeno antrópico en las áreas urbanas y rurales del municipio.

**Tabla 2.** Escalas de estudio de los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos. <sup>1</sup> De acuerdo a los Términos de Referencia para la Elaboración de los Atlas de Peligros y/o Riesgos 2018. Las inundaciones se clasifican en aluviales, fluviales, costeras y lacustres

Fenómeno	Análisis <sup>1</sup>		
	Nivel	Escala	
<b>Geológicos</b>	Vulcanismo	1 de 1	Regional
	Sismos	1 de 1	Regional
	Tsunamis	No aplica	No aplica
	Inestabilidad de laderas	3 de 3	Local
	Flujos	2 de 2	Local
	Caídos o derrumbes	2 de 2	Local
	Hundimientos	1 de 1	Regional
	Subsidencia	2 de 2	Local
	Agrietamientos y Fracturamiento	1 de 1	Regional
	Erosión hídrica	1 de 1	Regional
	Erosión eólica	1 de 1	Regional
	Erosión marina	No aplica	No aplica
	Erosión kárstica	No aplica	No aplica
	Sequías	1 de 1	Regional
<b>Hidro-meteorológicos</b>	Heladas	1 de 1	Regional
	Granizadas	1 de 1	Regional

Tormenta de Nieve	1 de 1	Regional
Ciclones tropicales	1 de 1	Regional
Tornados	1 de 1	Regional
Tormentas de polvo	1 de 1	Regional
Tormentas eléctricas	1 de 1	Regional
Lluvias extremas	1 de 1	Regional
Inundaciones	1 de 1	Regional

**Tabla 3.** Escalas de estudio de los fenómenos antrópicos. <sup>1</sup> De acuerdo a los Términos de Referencia para la Elaboración de los Atlas de Riesgos Antrópicos para el Estado de Hidalgo (2022)

Identificación de amenazas, peligro y vulnerabilidad y riesgos de origen antrópico			
Fenómeno	Análisis <sup>1</sup>		
	Nivel	Escala	
Químico-tecnológicos	Derrames químicos	1 de 2	Local
	Incendio forestal	1 de 1	Regional
	Incendio urbano	3 de 3	Local
	Envenenamiento	3 de 3	Local
	Explosiones	3 de 3	Local
	Radiación	1 de 1	Regional
	Sanitario-ecológicos	Plagas	1 de 1
Contaminación		3 de 3	Local
Desertificación		1 de 1	Regional

	Epidemias	3 de 3	Local
	Lluvia ácida	1 de 1	Regional
	Terrorismo	1 de 1	Local
<b>Socio- organizativos</b>	Accidentes terrestres	3 de 3	Local
	Interrupción de servicios	3 de 3	Local
	Sabotaje (Hidrocarburos)	1 de 1	Regional
	Concentraciones masivas de población	3 de 3	Local

[MAPA CLAVE ARST-01- PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 01.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 01.2 – PÁGINA COMPLETA]

## CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIO NATURAL

### 3.1 Fisiografía

Una provincia fisiográfica es una región geográfica donde el relieve es el resultado de un conjunto de procesos modeladores con un mismo origen geológico además de cobertura edáfica y vegetación semejante. El Estado de Hidalgo se asienta sobre las provincias de Llanura Costera del Golfo Norte, la Sierra Madre Oriental y la Faja Volcánica Trans-mexicana que cubren 1.3 %, 45.2 % y 53.5 % de la entidad federativa, respectivamente (INEGI, 2017).

El 100% del territorio del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se localiza en la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac, perteneciente a la Faja Volcánica Trans-mexicana, producto del vulcanismo intenso debido a la subducción de la placa de cocos a la norteamericana en el pasado geológico reciente (Neógeno y Cuaternario). El sistema de topofomas se encuentra conformado en primera instancia por lomeríos compuestos por tobas basálticas, abarcando el 89.81% del territorio municipal; el resto del territorio municipal lo conforman valle de laderas tendidas (10.39%), sobre todo en las zonas limítrofes con Cuauhtepc de Hinojosa (INEGI, 2010). En cuanto a su caracterización fisiográfica regional, es notablemente limitada ya que solamente cuenta con 2 accidentes geográficos principales: el cerro El Campanario y el cerro San José. El cerro El Campanario, se encuentra situado cerca

de las comunidades de Altepemila y Tilhuacán al sur del municipio y tiene una altitud de 2500 m.s.n.m., mientras que el cerro San José, está localizado cerca de las localidad de Altepemila, ubicadas también al sur del municipio y tiene una altitud de 2720 m.s.n.m.

[MAPA CLAVE ARST 03.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 03.2 – PÁGINA COMPLETA]

## 3.2 Geomorfología

La geomorfología, es considerada la ciencia del relieve de la Tierra, enfocándose en las formas que adquiere y las fuerzas o fenómenos involucrados que crean montañas, conos volcánicos, valles, etc. Su objetivo es comprender su origen, transformaciones y comportamiento actual, ya sea de origen antrópicos, climatológicos, hidrográficos, geológicos, entre otros (Elorza, 2008). La importancia de la geomorfología para el Atlas de Riesgos de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se centra en conocer las zonas más vulnerables a riesgos que puedan afectar a la población.

Santiago Tulantepec se encuentra dentro de la provincia de la Faja Volcánica Trans-mexicana que se caracteriza por su gran cobertura de rocas ígneas, resultado de la actividad volcánica del periodo Terciario. En la superficie es posible observar la presencia de estructuras volcánicas en forma de domos, derrames riolíticos, conos de ceniza, mesetas piroclásticas y derrames de basaltos, que ocupa la parte sur del Estado de Hidalgo (DOF, 2015).

La superficie que cubre el municipio de Santiago Tulantepec está constituida por amplias zonas de lomeríos, característicos por su altura baja y pendientes prolongadas en algunas partes del municipio. Hay que considerar a la región norte del municipio con una pequeña porción de valle, en colindancia y compartiendo esta geomorfología con el municipio de Tulancingo. La descripción de las subunidades geomorfológicas de Santiago Tulantepec se describe a continuación.

**Lomerío de tobas con llanuras:** Ubicada en la mayoría del municipio, consta de material volcánico debido a la acumulación de cenizas u otros materiales piroclásticos muy pequeños de composición basáltica, característicos de alguna actividad volcánica suscitada en regiones cercanas, en el caso de Santiago Tulantepec, los eventos volcánicos del cerro Las Navajas, la Caldera de Chichicuautila en las colindancias con Singuilucan y al oeste con la actividad de la caldera de Acozulco (López, 2010). Resaltar la presencia de llanuras en este sistema de

topoformas, las cuales son grandes extensiones de superficie plana o con algunas ondulaciones. Particularmente cerca de la cabecera municipal Santiago Tulantepec, rodeadas de lomeríos conformadas por depósitos de tobas.

**Valle de ladera tendida:** se caracteriza por una forma amplia y suave en su relieve, se diferencia de un valle normal por presentar un ángulo de inclinación leve en sus laderas (Martínez y Ramírez, 1998). Los valles se desarrollan gracias a los procesos de erosión y sedimentación, en los valles de ladera la acción del agua y el movimiento de los sedimentos han contribuido a nivelar y suavizar el terreno, ya que la acumulación de material arrastrado por la corriente del agua ha suavizado la pendiente. El valle de ladera tendida se presenta en la zona norte del municipio de Santiago Tulantepec, cerca del puente de Ahila, abarca una extensión y porcentaje bajo del municipio en colindancia con Medias Tierras perteneciente al municipio de Tulancingo de Bravo.

[MAPA CLAVE ARST 03.3 – PÁGINA COMPLETA]

### **3.3 Edafología**

Esta rama de las ciencias de la Tierra se encarga del estudio del suelo, entendiéndolo como una interfaz donde convergen el regolito (sedimento/roca), humus (material orgánico), agua y aire. La importancia de esta interfaz radica en que es el sustento para diversas actividades económicas como la agricultura y ganadería. La formación, desarrollo y tipo de suelo depende de las peculiaridades de cada sitio, principalmente del clima, además de la roca parental (geología), hidrografía, organismos (flora/fauna) y topografía (Krasilnikov et al., 2013). La edafología es una disciplina que se encarga del estudio de la composición, naturaleza del suelo, su relación con la vegetación que sustenta y su entorno, tomando como referencia la presencia de horizontes edáficos.

La República Mexicana alberga 25 de los 32 tipos de suelos reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial y el estado de Hidalgo cuenta con al menos catorce (SEMARNAT, 2008; IUSS Working Group WRB, 2022).

Los elementos geográficos, biológicos y geológicos del municipio de Santiago Tulantepec han propiciado el desarrollo de cinco grupos de suelos, Cambisoles, Feozems, Leptosoles, Vertisoles y Luvisoles que abarcan diferentes porcentajes del territorio. A continuación, se describen las características de cada grupo.

**Cambisol:** este tipo de suelo está constituido por materiales meteorizados procedentes de una amplia variedad de rocas y materiales sedimentarios (eólicos, aluviales o coluviales) y se distribuyen en todas las geomorfologías, climas y tipos de vegetación. Se caracterizan por una débil a moderada alteración del material original, por la ausencia de cantidades apreciables de arcilla, materia orgánica y minerales de hierro y aluminio que permiten diversos usos agrícolas.. Los cambisoles abarcan el 11.9 % de la superficie de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y se distribuyen en el extremo sur del municipio, abarcando la zona forestal del Cerro del Campanario.

**Feozem:** se forman en materiales no consolidados con alto contenido orgánico en su horizonte más superficial, con saturación de compuestos alcalinos, pero sin carbonatos secundarios en su primer metro. Estos suelos sustentan bosques y praderas en ambientes subhúmedos de una amplia variedad de climas y su estructura puede resultar severamente afectada por sequías, así como la erosión hídrica y eólica. Este grupo edáfico es rico en material orgánico, tiene textura media, buena ventilación-drenaje y pueden sustentar una amplia actividad agrícola. A nivel mundial, ocupan alrededor de 190 millones de hectáreas (IUSS Working Group WRB, 2015). En México, se distribuyen en porciones del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Occidental, la Península de Yucatán, Guanajuato y Querétaro, principalmente (SEMARNAT, 2008). Específicamente en el municipio de Santiago Tulantepec, son poco extensos y pueden ser encontrados en la porción centro-occidental y nororiental del municipio abarcando el 8.8 % del territorio. Se clasifican como Háplicos (textura media a fina con horizontes dúricos y líticos) en las inmediaciones de la cabecera municipal, Lúvicos (textura media, dúricos-líticos) al oriente del municipio en colindancia con Cuauhtepac, en las comunidades de El Salado, Tilhuacán y Altepemila.

**Tabla 4.** Tipos de suelo y su respectiva superficie, con base en la clasificación de la FAO en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Clave	Tipo de Suelo	Descripción	Superficie	
			Km <sup>2</sup>	%
Bh	Cambisol Húmico	Lítica	7.64	11.90%
Hh	Feozem Háplico	ND	0.02	0.02%
Hl	Feozem Lúvico	ND	5.69	8.85%
I	Leptosol	ND	1.13	1.77%
Lc	Luvisol Crómico	Lítica profunda	33.10	51.53%

Lo	Luvisol Órtico	ND	8.23	12.80%
Vp	Vertisol Pélico	ND	8.43	13.13%

**Fuente:** CONABIO, 1998

**Leptosol:** son suelos muy delgados, pedregosos y poco desarrollados que en otras clasificaciones se les conoce como Rendzinas y Litosoles. Son los suelos de más amplia distribución a nivel mundial (mil 655 millones de hectáreas) y se encuentran en todos los tipos de clima, pues son dependientes de la litología. Son particularmente comunes en las zonas montañosas y en regiones altamente erosionadas. Su potencial agrícola está limitado por su poca profundidad y alta pedregosidad, pero pueden tener potencial para pastoreo en estación húmeda (SEMARNAT, 2008; IUSS Working Group WRB, 2015). En Santiago Tulantepec, los leptosoles abarcan sólo el 1.8 % de la superficie municipal cerca de la cabecera municipal.

**Luvisol:** se desarrollan sobre una gran variedad de materiales no consolidados como depósitos glaciares, eólicos, aluviales y coluviales. Su principal característica que las arcillas que contiene se mueven desde horizontes superiores y se acumulan en los más profundos. Predominan en zonas llanas o con pendientes suaves donde existen climas templados fríos o cálidos, pero con una estación seca y otra húmeda. Cuando el drenaje interno es adecuado, presentan alto potencial para desarrollar numerosos cultivos a causa de su moderada alteración y alto grado de humedad. En Santiago Tulantepec, el luvisol crómico abarca la mayor parte del territorio (51.5 %) y es visible en las localidades de Sangre de Cristo, Camelinas, Felipe Ángeles, Magisterial San José, Los Romeros, La Joya 2da Sección, Rancho Colorado, Rancho El Mirador y Ventoquipa. Por otra parte, el luvisol órtico comprende el 12.8 % de la superficie municipal, y se puede caracterizar en Las Lajas, San Luis Buena Vista y Altepemila.

**Vertisol:** son suelos con un porcentaje de arcillas superior al 30 % en todos sus horizontes, alto contenido de nutrientes y fertilidad natural. Se presentan en regiones semiáridas y subhúmedas con una marcada estación de sequía. La vegetación natural que se desarrolla en ellos incluye sabanas, pastizales, matorrales y bosques maderables. Estos suelos se pueden desarrollar en materiales fluviales y lacustres, pero también son comunes sobre materiales arcillosos, producto de la meteorización (p. ej. depósitos piroclásticos). Su alto contenido de arcillas (esmectitas) resulta en su marcada expansión durante época de lluvias, cuando se vuelven pegajosos, y en su contracción en época de estiaje cuando adquieren gran dureza. Esta última propiedad permite la generación de grietas de desecación que pueden conllevar problemas para

las construcciones que asienta y el cultivo; sin embargo, un buen manejo de este grupo edáfico puede resultar en una amplia producción agrícola (IUSS Working Group WRB, 2015). En Santiago Tulantepec, los Vertisoles son de tipo pélico, tienen una textura fina color negro o café oscuro y abarcan el 13.3 % de la extensión municipal. Se desarrollan principalmente al nororiente del municipio y conforman la llanura de inundación del río Grande de Tulancingo, y cerca de las localidades Agrícola Oriental, Sayola, El Charco, La Joya, San Miguel Huatengo y la cabecera municipal Santiago Tulantepec.

[MAPA CLAVE ARST 03.4 – PÁGINA COMPLETA]

### 3.4 Geología

El Estado de Hidalgo guarda un registro geológico extenso caracterizado por rocas de diversos tipos y edades variables desde el Proterozoico (1200 m.a.) hasta el Cuaternario (actualidad). Estas litologías sugieren una notable complejidad en las distintas provincias fisiográficas del estado (Sierra Madre Oriental, la Faja Volcánica Trans-mexicana y la Llanura Costera del Golfo).

El 100% del municipio de Santiago Tulantepec se encuentra dentro de la Faja Volcánica Trans-mexicana (FVTM), cuyo vulcanismo se asocia con la subducción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera por debajo de la placa de Norte América, a lo largo de la Trinchera Mesoamericana. Este arco está constituido por más de 8,000 estructuras volcánicas que incluyen grandes estratovolcanes, calderas, domos, campos de conos monogenéticos y algunos cuerpos intrusivos (Demant, 1978; Gómez-Tuena et al., 2005). La provincia tiene una longitud de ~1,000 Km y un ancho que varía entre 80 y 230 Km (Gómez-Tuena et al., 2005). Localmente el municipio se encuentra dentro de la provincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac.

En Santiago Tulantepec se presentan tres litologías predominantes que abarcan desde el Neógeno hasta el Cuaternario.

**Toba riolítica-Toba dacítica:** es una roca volcánica de origen piroclástico compuesta por fragmentos y cenizas de composición riolítica. Su composición mineral está dominada por una matriz de vidrio volcánico, cristales de feldespato alcalino, biotita y cuarzo. Estos componentes fueron el resultado de erupciones volcánicas explosivas que generan una intensa actividad explosiva y fragmentación de la roca, procedentes del oriente de las calderas de Tulancingo y Acoculco, con edades que van de los 1.7 m.a. a los 240 mil años (López-Hernández, 2009).

Estos depósitos piroclásticos se pueden encontrar en la cabecera municipal y en las inmediaciones de El Salado, Ventoquiya, Agrícola Oriental y puente de Haila.

**Andesita-Basalto:** son rocas ígneas de composición intermedia formadas en estratovolcanes que presentan alto contenido de plagioclasa, piroxeno y anfíbol. Estas rocas afloran en la porción occidental del municipio, cerca de las comunidades de Paxtepec, Los Romeros, San Pedro Huatengo y Altepemila. El Cerro del Campanario es fuente de algunos derrames de lava basáltica que fluyeron en dirección S-NW, conformando algunos túneles de lava, con edades plio-pleistocénicas.

**Aluvial:** son los sedimentos depositados por corrientes de agua, como ríos y arroyos, generalmente en las porciones bajas de una cuenca. Estos sedimentos generalmente tienen una mezcla de fragmentos de rocas y minerales de diferentes tamaños, que van desde limo y arcilla hasta arena y grava. Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo del río Grande de Tulancingo, cerca de las localidades de Agrícola Oriental, el norte de la cabecera municipal Santiago Tulantepec y Sayola. Además, el río Grande de Tulancingo sirve como límite natural entre los municipios de Tulancingo.

[MAPA CLAVE ARST 03.5 – PÁGINA COMPLETA]

### 3.5 Hidrogeología

El 100 % de los recursos hídricos subterráneos del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero pertenecen al acuífero Valle de Tulancingo (clave 1317) de la Región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte, que a su vez está en la Región Hidrológica Número 26 Pánuco. Su subregión es el Alto Pánuco del Río Moctezuma que es afluente del río Grande de Tulancingo (Quetzalapa, Metztlán).

**Acuífero del Valle de Tulancingo (1317):** Está localizado en el sureste del Estado de Hidalgo, en las coordenadas extremas de 19° 54' - 20° 19' latitud norte y 98° 10' - 98° 33' longitud oeste; tiene una superficie aproximada de 1054 km<sup>2</sup>. Limita al norte con los acuíferos de Metztlán y Álamo-Tuxpan, al oriente con el de Acaxochitlán, al sur con los acuíferos de Tecolutla, Tecocomulco y Cuautitlán-Pachuca, y finalmente, al este con el de Huasca-Zoquitlan. Este acuífero se compone de dos entornos geológicos distintos que facilitan el movimiento del agua subterránea. El primero es un medio granular compuesto por materiales clásticos sedimentarios y piroclásticos, donde el agua subterránea fluye a través de los espacios porosos.

El segundo es un medio fracturado formado por rocas volcánicas de composición basáltica, donde el agua subterránea circula a través de grietas y fisuras (Altepemila, Los Romeros, Las Lajas).

El acuífero del Valle de Tulancingo está compuesto principalmente por materiales permeables de depósitos aluviales y clásticos (arcillas-arenas y conglomerados), con un espesor mínimo de 200 metros. Estos materiales se intercalan con lavas basálticas plio-cuaternaria que constituyen la unidad principal en explotación en la zona. En otras áreas, se encuentran materiales permeables como basaltos y cenizas volcánicas, que conforman las sierras del sur y noreste (Sierra de Tenango). Estas serranías están formadas por lavas fracturadas y piroclásticos permeables que permiten la infiltración del agua en el subsuelo, convirtiéndose en zonas de recarga hídrica. El agua subterránea se desplaza con facilidad a través de los espacios entre las gravas, arenas, arcillas poco consolidadas y cenizas volcánicas que componen los materiales clásticos. Además, también se desplaza a través de las vesículas y fracturas en los derrames de basalto. Estos materiales clásticos y los basaltos y piroclásticos que conforman las partes altas de la zona en estudio constituyen el acuífero principal y las zonas de recarga respectivamente. Al oeste, se encuentran rocas con una permeabilidad extremadamente baja que incluyen la Riolita Navajas y el Grupo Pachuca. Estas formaciones consisten principalmente en rocas masivas de composición riolítica, las cuales presentan una capacidad prácticamente nula para permitir el flujo de agua subterránea. Además, estas rocas actúan como límites laterales de esta unidad hidrogeológica con los acuíferos Huasca-Zoquital y Cuautitlán-Pachuca y es posible que formen parte del basamento rocoso del acuífero del Valle de Tulancingo.

El sistema acuífero se compone de dos unidades acuíferas de tipo libre: un medio poroso y un medio fracturado. La unidad somera se encuentra limitada al tercio sur del acuífero del Valle de Tulancingo y tiene un espesor que oscila entre 20 y 40 metros (Singuilucan y Santiago Tulantepec). Está formada por material volcánico-sedimentario con granulometría variable, y es en esta unidad donde se encuentran las norias y algunos pozos poco profundos. En la base de esta unidad somera se encuentra una colada de basalto muy compacta, que actúa como un acuitardo. Por otro lado, la unidad acuífera profunda abarca la totalidad del acuífero del Valle de Tulancingo. Se encuentra compuesta por una serie de capas de piroclásticos intercaladas con tobas y aluviones de diferentes granulometrías. Los espesores de esta unidad pueden superar los 300 metros, según los resultados de exploraciones geofísicas realizadas en estudios

geohidrológicos. La extracción principal de agua subterránea se realiza a través de pozos perforados en esta unidad acuífera profunda. (DOF, 2013).

Según el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Comisión Nacional del Agua, los aprovechamientos de aguas subterráneas presentes en el municipio están constituidos por 15 pozos, de los cuales 1 pozo está destinado para el uso público urbano (concesionados al H. Ayuntamiento de Santiago Tulantepec), 7 para uso agrícola, 2 para uso pecuario, 1 pozo para uso servicios e industrial respectivamente, y 3 concesionados para diferentes usos (Tabla 5).

**Tabla 5.** Algunos aprovechamientos de agua subterránea en Santiago Tulantepec, Hidalgo.

Título de Concesión	Localidad	Acuífero	Uso del agua	Volumen (m <sup>3</sup> )
821665	Santiago Tulantepec	Valle de Tulancingo	Agrícola	80,000
09HGO106325/26GMDL08	Santiago Tulantepec	Valle de Tulancingo	Pecuario	9,490
HGO105640	Rancho Universitario	Valle de Tulancingo	Agrícola	222,000
HGO105641	Rancho Universitario	Valle de Tulancingo	Agrícola	216,000
09HGO102022	San Miguel Huatengo	Valle de Tulancingo	Agrícola	360,000
5HGO101088/26IMGE96	La Joya	Valle de Tulancingo	Múltiple	21,900
09HGO102659	Pedregal de San José	Valle de Tulancingo	Pecuario	15,987
09HGO103461/26AMD18	Ventoquipa	Valle de Tulancingo	Agrícola	393,120
HGO100602	Santiago Tulantepec	Valle de Tulancingo	Múltiple	371,282
09HGO103239/26AMD18	Santiago Tulantepec	Valle de Tulancingo	Agrícola	240,000
09HGO102159/26EMGE97	Ventoquipa	Valle de Tulancingo	Servicios	42,000
09HGO100657/26FMGE00	Santiago Tulantepec	Valle de Tulancingo	Industrial	194,400
13HGO101926/26HMGE97	Santiago Tulantepec	Valle de Tulancingo	Público Urbano	423,546
09HGO101431/26IMDL16	Santiago Tulantepec	Valle de Tulancingo	Múltiple	220,380
09HGO100872/26AMD14	Pedregal de San José	Valle de Tulancingo	Agrícola	570,000

**Fuente:** Registro Público de Derechos de Agua (CONAGUA, 2023).

[MAPA CLAVE ARST 03.6 – PÁGINA COMPLETA]

## **3.6 Hidrología**

Hidrológicamente, el territorio de Santiago Tulantepec pertenece a uno de los ríos más importantes de Hidalgo, el río Metztitlán. Este se origina en los límites del estado de Puebla, a partir de los escurrimientos del Cerro Tlachaloya que a su vez forman el Río Hiscongo y el Río Chico de Tulancingo. Así mismo, los escurrimientos de Cuasesengo y La Paila dan origen al Río Grande de Tulancingo (Ayala-Garay et al., 2013).

### **3.6.1 Subcuenca del Río Tulancingo**

La cuenca del río Grande de Tulancingo está comprendida entre la Faja Volcánica Trans-mexicana y la Sierra Madre Oriental. La provincia de la Faja Volcánica Trans-mexicana cubre la mayor parte de la cuenca del río grande de Tulancingo en su paso por Santiago Tulantepec y se caracteriza geológicamente por el predominio de rocas volcánicas cenozoicas que datan del Neógeno y del Cuaternario. A su vez el río Grande de Tulancingo es la fuente principal de abastecimiento de agua para uso agrícola y proviene de corrientes superficiales, lagunas y nacimientos, en la porción sur del Valle de Tulancingo.

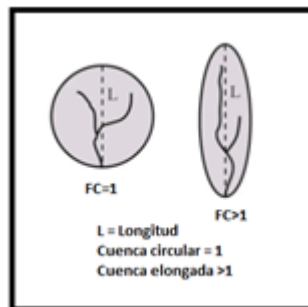
### **3.6.2 Parámetros morfométricos de las subcuencas**

Este estudio cuantitativo consiste en determinar las particularidades físicas de una cuenca hidrográfica. Se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. Dentro de este contexto, es importante señalar que las mediciones deben ser realizadas sobre un mapa con suficiente información hidrográfica y topográfica. La morfometría particular de cada cuenca es proporcional a su respuesta hídrica ante eventos climáticos, poniendo especial atención a la escorrentía superficial (expresada en términos de caudal), la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran.

[MAPA CLAVE ARST 03.7 – PÁGINA COMPLETA]

Los parámetros morfométricos que caracterizan a una cuenca hidrográfica son los siguientes:

1. **Longitud de la cuenca (LC):** Representa la distancia en línea recta medida desde la salida de la cuenca (o su conexión con otro cauce más grande) hasta el punto de nacimiento del canal principal.
2. **Ancho de la cuenca (AC):** Anchura promedio de la cuenca determinada dividiendo el área (A) entre la longitud de la cuenca (LC).
3. **Perímetro de la cuenca (PC):** Longitud de la línea que define la superficie de la cuenca.
4. **Diámetro de la cuenca (DC):** Representa el diámetro del círculo más pequeño que comprendería toda la cuenca.
5. **Longitud del canal principal (LCP):** La longitud del canal principal se calcula desde la boca de la cuenca hasta donde se encuentra el parteaguas. Sigue el curso del río principal de la cuenca incluyendo meandros.
6. **Tasa de sinuosidad (TS):** Es el cociente de la longitud del canal principal (LCP) entre la longitud de la cuenca (LC).
7. **Forma de la cuenca (FC):** Es una medida de la forma (elongación) de la cuenca calculada como el cociente del ancho promedio entre la longitud de la cuenca.



[Figura 4. Formas que puede adoptar una cuenca hidrológica.]

**Tabla 6.** Parámetros morfométricos de la Subcuenca del Río Grande de Tulancingo (RH26Dv).

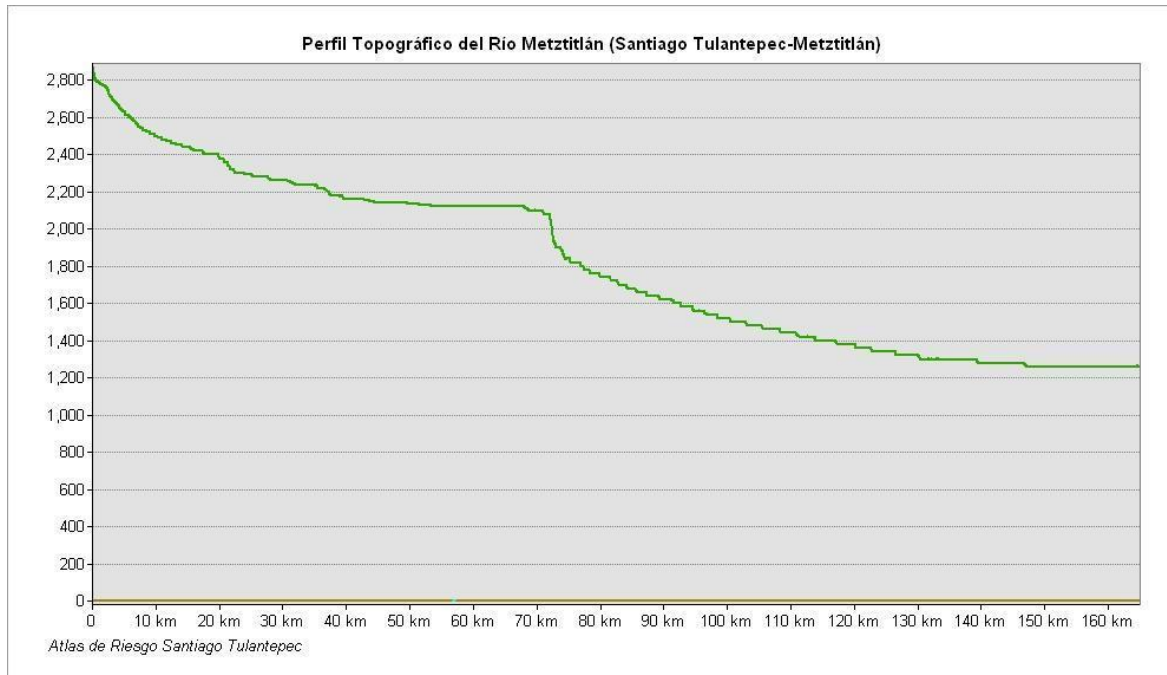
Parámetro morfométrico	Valor
------------------------	-------

---

Longitud de la cuenca	112.67 km
Longitud del canal principal	172.96 km
Ancho de la cuenca	24.85 km
Diámetro de la cuenca	36.43 km
Perímetro de la cuenca	361.37 km
Área de la cuenca	2799.71 km
Forma de la cuenca	0.22 = Elongada
Tasa de sinuosidad	1.53 = Sinuoso

**Perfil topográfico longitudinal del cauce principal:** las variaciones de altitud sobre el nivel del mar al interior de la cuenca, así como su altitud media, son datos esenciales para el estudio de la temperatura y la precipitación. En este sentido, las diferencias de temperatura que se producen como consecuencia de las variaciones de altitud, tienen un efecto importante sobre las pérdidas de agua por evapotranspiración. El perfil longitudinal de cauce fluvial también nos proporciona información valiosa sobre la ubicación de nuestra zona de interés dado que en las partes bajas de la cuenca suceden procesos de depósito de sedimentos y desbordamiento de ríos, en el caso del municipio de Santiago Tulantepec, la mayor parte de su territorio se encuentra en las partes altas de las subcuencas del río Metztlán y el río Grande de Tulancingo.

[Figura 5. Perfil topográfico longitudinal del cauce del río Grande de Tulancingo-Meztitlán con clave de subcuenca (RH26Dv).]



### 3.7 Clima

El clima representa el promedio del tiempo atmosférico en un intervalo largo, normalmente de 30 años o más y se caracteriza por las fluctuaciones de temperatura, precipitación, evaporación, etc., en un lugar determinado. El clima difiere del tiempo en que éste último sólo describe las condiciones de corto plazo de tales variables en una región dada.

La República Mexicana posee la gran mayoría de los grupos climáticos, ya sean cálidos, templados, secos y fríos (A, B, C y E) y el estado de Hidalgo presenta tres tipos (A, B y C) y trece subtipos. Los más extendidos en la entidad son: C(w)-Templado subhúmedo con lluvias en verano (31.4 % del territorio estatal), BS1k-Semiseco templado (29.65 %) y A(C)f-Semicálido húmedo con lluvias todo el año (13.31 %) (INEGI, 2017).

De acuerdo con la información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017) que toma en cuenta la interpolación entre estaciones meteorológicas adjuntas; el municipio de Santiago Tulantepec cuenta con dos climas que se describen a continuación:

**BS1kw:** Representa un clima semiseco-templado, se caracteriza por una temperatura media anual entre 12° y 18°C. La temperatura del mes más frío va de los -3 a los 18° C, mientras que la del mes más caliente es menor de 22°C. Las lluvias se presentan en verano y van de 5% a

10.2% anual. Este clima se presenta en la mayor parte del municipio abarcando el 70% del total de la extensión territorial, con un total de 45.01 km<sup>2</sup>. Abarcando la cabecera municipal, Unidades Habitacionales, El Pedregal de San José y la Colonia Felipe Ángeles.

**C(w1) y C(w2):** Es un clima templado con lluvias en verano con temperaturas medias anuales entre 12 y 18° C. La temperatura del mes más frío va de -3 a 18° C, y la del mes más caliente bajo los 22° C. El subtipo de clima es subhúmedo, la precipitación anual tiene un promedio menor a los 800 mm, mientras que la precipitación en el mes más seco es menor a los 40 mm, y el porcentaje de lluvia invernal corresponde del 5 al 10.2% anual. Este tipo de clima se presenta en la zona este del municipio, en las localidades de Sangre de Cristo, Paxtepec, Las Lajas y Los Romeros y se extiende por 19.3 km<sup>2</sup>, lo que representa el 30 % de la superficie municipal.

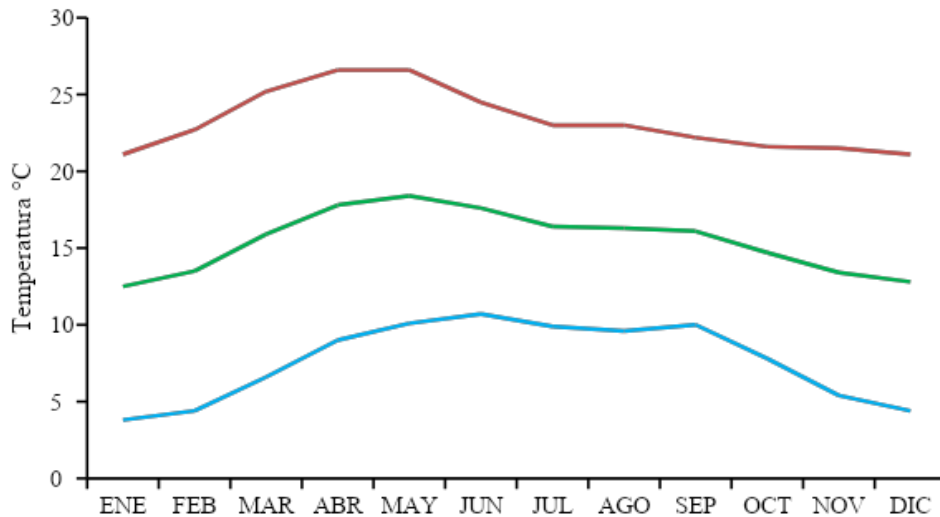
**Tabla 7.** Tipos de clima en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo.

Tipo de Clima	Subtipo	Área (km <sup>2</sup> )	%
BS	BS1kw	45.01	70%
C	C(w1)(w)	17.36	27%
C	C(w2)(w)	1.92	3%

**Fuente:** INEGI, 2008

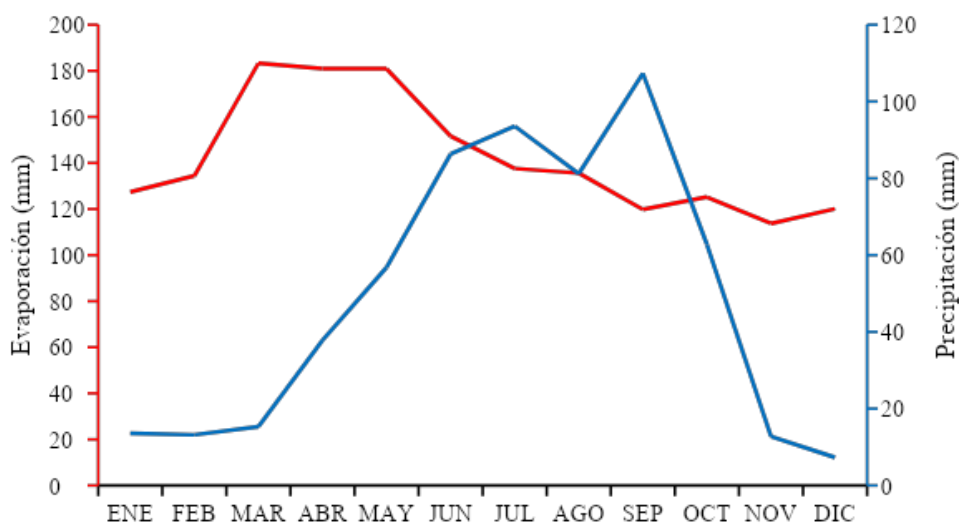
**Caracterización Climática:** Dentro del territorio municipal de Santiago Tulantepec se encuentra una estación climatológica operada por el Servicio Meteorológico Nacional con clave 13031 (20°02'40''N; 98°22'06''W; 2179 m.s.n.m.), que se ubica en la localidad El Charco, y posee registros desde 1966 hasta 2016 no siempre continuos. Con base en esta estación se obtuvieron los promedios históricos de temperatura (media, máxima, mínima), precipitación y evaporación que se describen a continuación.

La temperatura media anual del municipio es de 15.5 °C con máximas que han alcanzado hasta 30 °C entre marzo-mayo (30.3 °C, junio 1986) y mínimas que descienden a menos de los 0 °C en los meses de otoño e invierno (-8 °C, febrero 1972).



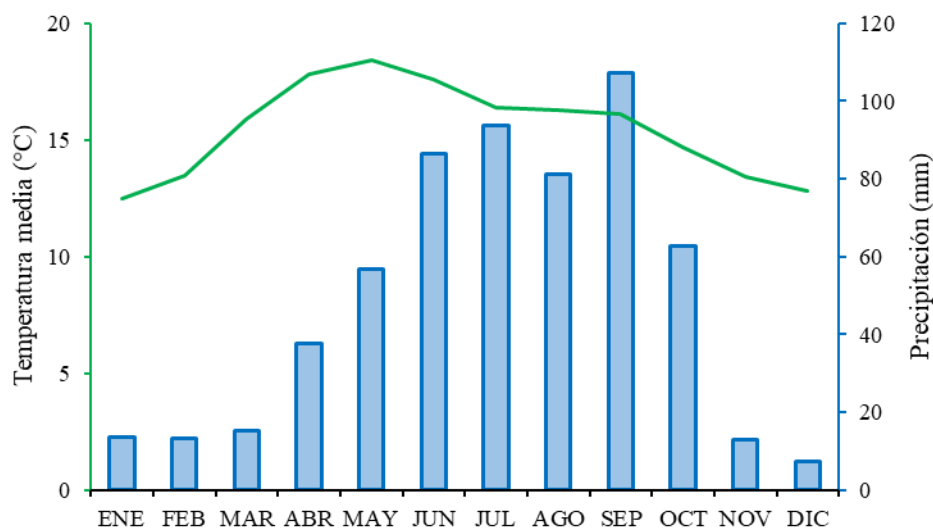
[Figura 6. Se presentan las variaciones de temperatura para la estación meteorológica El Charco en el municipio de Santiago Tulantepec. Los máximos se alcanzan a partir de abril y prevalecen temperaturas relativamente homogéneas hasta septiembre.]

El promedio de precipitaciones acumuladas es de 588 mm/año, de las cuales el 83 % tienen lugar entre mayo y octubre y los máximos se presentan en septiembre. Es decir, el municipio tiene un régimen hídrico dominado por lluvias de verano y otoño debido a la influencia de las lluvias monzónicas y de ciclones tropicales respectivamente. La escasa humedad en invierno y primavera, es producto de las lluvias asociadas con frentes fríos y nortes que afectan a la entidad (Figura 7).

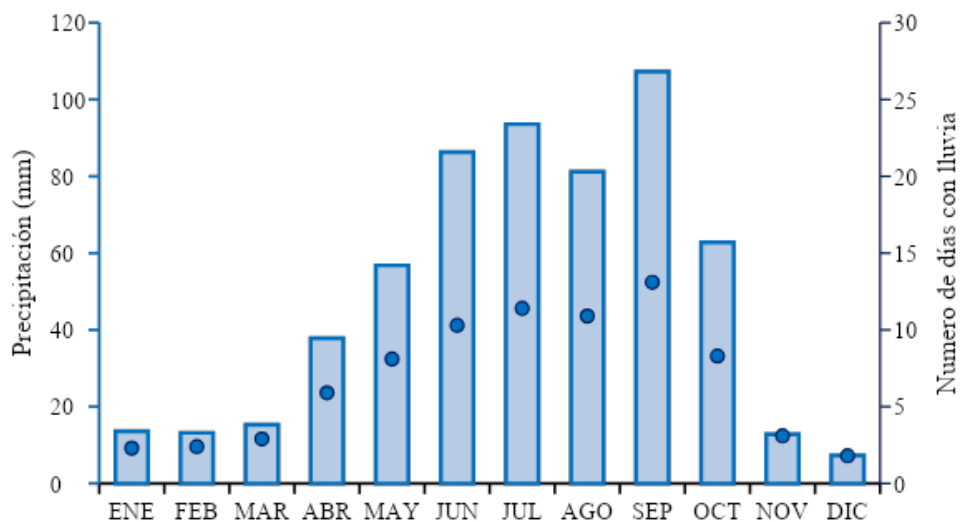


[Figura 7. Se presentan las variaciones de precipitación normal para la estación meteorológica El Charco en el municipio de Santiago Tulantepec. La evaporación supera la precipitación y genera un balance hídrico negativo.]

El mes con mayor número de días lluviosos y mayores acumulados es septiembre, pues llueve en promedio 13.1 días; por el contrario, el mes con menos días de lluvia es diciembre, cuando llueve en promedio menos de 2 días. Por otra parte, la evaporación es intensa en Santiago Tulantepec, con valores de 1710 mm/año que superan hasta tres veces la precipitación y que concentran sus mayores acumulados entre marzo y mayo. Es decir, el territorio municipal es susceptible a la sequía.



[Figura 8. Temperatura media (°C) vs. Precipitación (mm) en la estación meteorológica El Charco en el municipio de Santiago Tulantepec.]



[Figura 9. Precipitación (mm) y número de días con lluvia para la estación meteorológica El Charco en el municipio de Santiago Tulantepec.]

[MAPA CLAVE ARST 03.8 – PÁGINA COMPLETA]

### 3.8 Uso de suelo y vegetación

El municipio de Santiago Tulantepec presenta principalmente un uso de suelo agrícola que abarca aproximadamente el 73% de su territorio, el 14% es ocupado por zona urbana y el 13% está constituido por áreas boscosas (INEGI, 2010). El tipo de flora y fauna están condicionados por la fisiografía, las características del suelo, el clima y la hidrografía, lo que resulta en especímenes con distribuciones características (Aguilar Curiel et al., 2021). La flora se compone de árboles de pino, oyamel, encino, cedro, ocote, cierto tipo de cactáceas, árboles exóticos de frutos como la manzana, la pera y el membrillo, y abundantes flores silvestres.

Las actividades económicas del municipio se ven respaldadas por los suelos con enfoque agrícola. La agricultura mecanizada abarca el 48.4% de los suelos, seguida de la agricultura manual estacional con un 27.9% y la agricultura con tracción animal con un 1.13%. Cabe mencionar que el 22.6% del suelo que se utiliza para labores agrícolas, no es adecuado para este fin.

En cuanto a las actividades económicas pecuarias, los suelos se emplean para el establecimiento de praderas cultivadas, tanto con maquinaria agrícola (48.4%) como con tracción animal (1.1%). También se aprovecha la vegetación natural diferente del pastizal en un 36.4%. Por otro lado, el 14.1% del suelo se utiliza para labores agropecuarias, pero no se considera apto para este propósito (INEGI, 2010).

Los diferentes ecosistemas agrupados de acuerdo con el Sistema de Clasificación de la Vegetación Natural e Inducida de México por INEGI, presentan características particulares de acuerdo a su afinidad ecológica, florística, fisonómica, determinismo u indeterminismo ecológico, las cuales se describen a continuación según el tipo de vegetación y uso de suelo presentes en el municipio.

**Bosque de Pino-Encino:** Es una ecoregión de zonas templadas y subhúmedas en las que hay co-dominancia de especies de pino (*pinus*) y encino (*quercus*). Son bosques que están divididos en tres estratos; un primer estrato arbóreo dominado por pinos que alcanza hasta los 50m, un segundo dominado por encinos de hasta 20m y un tercero de estrato arbustivo donde se presentan individuos juveniles de ambas especies que alcanzan los 10 m. Ambas especies

comparten la dominancia de vegetación debido a la diversidad de ambientes que pueden presentarse en este tipo de bosques. Las especies predominantes son *Pinus montezumae*, *Pinus leiophylla*, *Pinus hartwegii*, *Pinus patula*, *Quercus rugosa*, *Quercus crassifolia*, *Quercus scytophylla*, etc. Esta vegetación se desarrolla en una gran porción al suroeste de Santiago Tulantepec cubriendo un área total de 753.96 ha cerca de las localidades Los Romeros, Altepemila, Santa Ana del Monte, Paxtepec y Sangre de Cristo.

**Pastizal Inducido:** Pastizales que crecen en áreas donde el hombre ha tenido intervención en terrenos agrícolas abandonados o quemados y en bosques talados que se adapta fácilmente a las diversas condiciones climáticas y edáficas del lugar. Está constituido por el pasto *Hilaria Cenchroides*, adaptándose fácilmente al ganado y a la pérdida de la vegetación endémica las cuales favorecen su desarrollo y propagación. Este tipo de pastizal cubre una pequeña área total de 21.74 ha, desarrollándose al sur de Santiago Tulantepec.

**Vegetación Secundaria Arbórea:** se desarrolla varios años después del desmonte original y por lo tanto posteriormente a las etapas herbáceas y arbustivas. Podemos encontrar comunidades de árboles formadas por una sola especie o por varias. En Santiago Tulantepec se desarrollan 2 comunidades de vegetación secundaria arbórea:

- **Bosque encino:** Comunidad vegetal característica de zonas montañosas con co-dominancia de pinos y encinos con alturas desde los 2 hasta los 50 m. Esta vegetación cubre una pequeña área de 44.2 ha al sureste de Santiago Tulantepec cerca de la localidad de La Palpa.
- **Bosque de táscate:** Comunidad vegetal formada por árboles escuamifolios (hojas en forma de escamas) a los que se les conoce como táscate, enebro o cedro. Esta vegetación cubre una pequeña área de 60.5 ha al oeste de Santiago Tulantepec cerca de la localidad de Paxtepec.

**Vegetación Secundaria Arbustiva:** Vegetación que se desarrolla transcurrido un tiempo después de haber sido eliminada o perturbada por factores naturales y/o humanos, no se encuentra de manera original o prístina y sobrevienen cambios en su estructura y composición vegetal debido a que las especies vegetales difieren en su respuesta a los disturbios. Son plantas leñosas de cierto porte que no se yerguen sobre un solo tronco, sino que se ramifican desde la misma base y pueden tener varios metros de altura. En Santiago Tulantepec se desarrollan 3 comunidades de vegetación secundaria arbustiva:

- **Bosque de pino:** Vegetación que pertenece a la familia de las pináceas que normalmente alcanzan los 25 m, tienen un tallo muy firme y su ramificación es muy completa presentando una forma piramidal muy definida en los ejemplares más jóvenes pero a medida que crecen van perdiendo sus ramas de debajo de su tronco. Esta vegetación cubre una pequeña área de 2.28 ha al sur de Santiago Tulantepec.
- **Bosque de táscate:** Comunidad vegetal formada por árboles escuamifolios (hojas en forma de escamas) a los que se les conoce como táscate, enebro o cedro. Esta vegetación cubre una pequeña área de 90.60 ha al sur de Santiago Tulantepec cerca de las localidades San Luis Buena Vista, El Mirador (Rancho) y Palpa.
- **Matorral Crasicaule:** Tipo de vegetación dominada por cactáceas grandes que se desarrollan en zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país. Esta vegetación cubre un área de 105.02 ha al noreste de Santiago Tulantepec cerca de las localidades Agrícola Oriental y Sayola.

En la agricultura del país las siembras y las cosechas, están relacionadas directamente a las estaciones del año como a los periodos vegetativos de los cultivos. En el municipio de Santiago Tulantepec se trabaja y se cosechan esencialmente especies vegetales como el maíz, la cebada en grano, avena forrajera, alfalfa verde, frijol, trigo en grano y nopal tunero (SIGEH, 2022) mediante los siguientes 2 tipos de agricultura:

**Agricultura de temporal:** Agricultura en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende en su totalidad del agua de lluvia y de la capacidad del suelo para captar agua y conservar su humedad. En Santiago Tulantepec se trabaja de manera anual (con un periodo vegetativo de 1 año) y permanente (con un periodo vegetativo de más de 10 años); de manera anual se realiza en casi todo el municipio cubriendo las localidades Las Lajas, Sangre de Cristo, Santa Ana del Monte, Los Romeros, San Pedro Huatengo, El Pedregal de San José, San Luis Buena Vista, Altepemila, Palpa, El Mirador [Rancho], Tilhuacán, El Salado y Rinconada las Aves, en un área total de 3069.2 ha; de manera permanente se realiza en una porción al centro del municipio en las localidades La Joya 2da. Sección y Rancho Colorado cubriendo un área total de 708.9 ha.

**Agricultura de riego:** Agricultura que se realiza con fines de cultivo agrícola, mismos que reciben agua mediante algún sistema de riego o que aprovechan la humedad residual del suelo ya sea antes de empezar o después de haber terminado la temporada de lluvias. En el municipio

se trabaja de manera anual (periodo vegetativo de 1 año) y semipermanente (2-10 años) al noreste de Santiago Tulantepec en las localidades San Miguel Huatengo, El Charco, Agrícola Oriental y La Era cubriendo un área total de 770.7 ha.

**Asentamientos Humanos:** Es el establecimiento de un conglomerado demográfico sujeto por sus sistemas de convivencia, su área físicamente localizada, sus elementos naturales y las obras materiales que lo integran (Ley de Asentamientos Humanos, Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial del Estado de Hidalgo, 2022). Santiago Tulantepec cuenta con 10 grandes y notables localidades las cuales son: La Joya, Santiago Tulantepec, Ventoquipa, Sayola, Unidad Magisterial San José [Colonia], Emiliano Zapata, Unidades Habitacionales, Las Camelinas, Felipe Ángeles [Colonia] y Paxtepec. El suelo ocupado por asentamientos humanos cubre un área total de 755.63 ha.

**Tabla 8.** Tipos de uso de suelo y vegetación en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo.

Uso de Suelo y Vegetación	Superficie	
	Km2	%
Agricultura de Riego Anual y Semipermanente	7.7	12.3
Agricultura de Temporal Anual	30.7	49.1
Agricultura de Temporal Anual y Permanente	7.1	11.3
Asentamientos Humanos	7.6	12.1
Bosque de Pino	2.6	4.2
Bosque de Encino	1.7	2.7
Bosque de Encino-Pino	2.0	3.2
Pastizal Inducido	0.2	0.3
Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Táscate	0.9	1.4

Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Tásate	0.6	0.95
Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Pino	0.02	0.03
Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Encino	0.44	0.7
Vegetación Secundaria Arbustiva de Matorral Crásicaule	1.1	1.7
Total	62.5	100

Fuente: CONABIO, 2001.

[MAPA CLAVE ARST 03.9 – PÁGINA COMPLETA]

# CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS SOCIALES, ECONÓMICOS Y DEMOGRÁFICOS

## 4.1 Elementos demográficos

### 4.1.1 Dinámica demográfica

En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero la tasa de crecimiento de población media anual es media (crecimiento de 3.4 % al año) lo que representa un incremento de 16,823 habitantes en un periodo de 30 años (COESPO, 1990-2020) teniendo como referencia la tasa media de crecimiento anual estatal (1.52%) (COESPO, 2020). En el año 2020, la población ascendía a 39,561 habitantes integrada por 18,646 hombres y 20,915 mujeres (Censo de población y vivienda INEGI, 2020). El municipio forma parte de la región Valle de Tulancingo (305,761 habitantes) y aporta a la misma región el 12.94% de la población. Para el estado de Hidalgo el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero aporta el 1.28 % de la población total estatal (3,082,841 habitantes en el estado de Hidalgo).

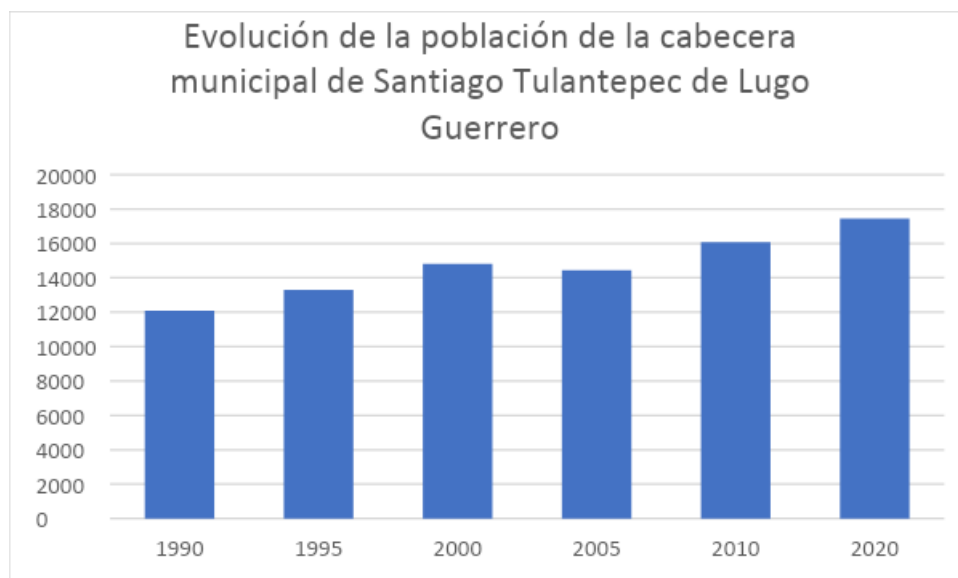
**Tabla 9.** Población de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, con respecto a su ubicación.

Zona	Habitantes	% población Hidalgo	% población Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero
Hidalgo	3,082,841	100	1.28
Valle de Tulancingo	305,761	9.92	12.94

**Fuente:** Censo de población y vivienda INEGI, 2020.

En la cabecera municipal de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero entre 1990-2000, se presentó un incremento de 2,737 personas, al pasar de 12,089 a 14,826 habitantes, posteriormente entre 2000 y 2010 aumentó de 14,826 a 16,078. Finalmente, en el período 2010-2020 la población de la cabecera municipal pasó de 16,078 a 17,449 (1,371 habitantes más) (COESPO, 1990-2020).

**Gráfica 1.** Dinámica demográfica de la cabecera municipal de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

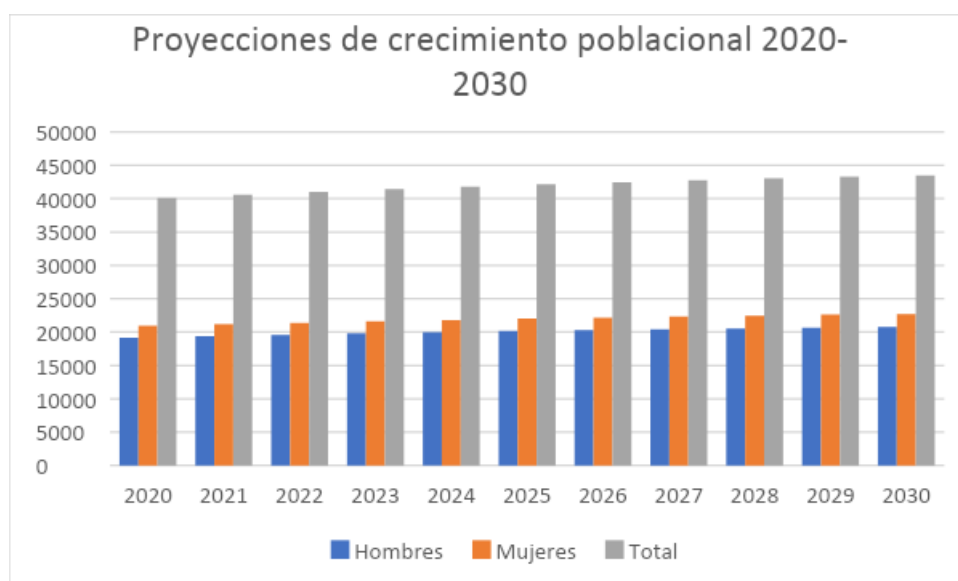


**Fuente:** Censos Generales de Población y Vivienda (1990-2020).

## 4.1.2 Proyección de la población del 2021 al 2030

De acuerdo con los datos de proyección de población, para el año 2025 Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero tendrá una población cercana a los 42,159 habitantes y en el año 2030 ascenderá a 43,544 habitantes (Gráfica 2).

**Gráfica 2.** Proyección de población en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero del 2020 al 2030.



**Fuente:** COESPO, 2020. Proyecciones de población.

**Tabla 10.** Proyecciones de población por grupos de edad según su sexo para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, 2021-2030.

Proyecciones de población a mitad de año por sexo y edad												
Año	Total				Hombres				Mujeres			
	Total	0-14 años	15-64 años	65 años y más	Total	0-14 años	15-64 años	65 años y más	Total	0-14 años	15-64 años	65 años y más
2021	40571	10830	27003	2738	19395	5549	12661	1185	21176	5281	14342	1553
2022	41004	10799	27362	2843	19602	5535	12838	1229	21402	5264	14524	1614
2023	41420	10754	27711	2955	19799	5513	13010	1276	21621	5241	14701	1679
2024	39779	10997	26181	2601	19980	5484	13171	1325	19799	5513	13010	1276
2025	42159	10623	28341	3195	20149	5448	13325	1376	22010	5175	15016	1819
2030	43544	10063	29565	3916	20765	5156	13962	1647	22779	4907	15603	2269

**Fuente:** Perfiles Sociodemográficos Municipales. Cálculos con base en las Proyecciones de la Población para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, 2021-2030 (COESPO, 2020).

### 4.1.3 Distribución y densidad de población

El municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero cuenta con un total de 26 localidades, de las cuales 23 son netamente rurales (con menos de 2,500 habitantes). Las 3 principales localidades son Santiago Tulantepec, Unidades Habitaciones y El Pedregal de San José. El tamaño de las localidades rurales varía entre los 500 y 2,499 habitantes, las más importantes son: Felipe Ángeles, Los Romeros, Paxtepec, Unidad Magisterial San José, Ventoquipa, Emiliano Zapata, Las Camelinas, La Joya 2da. Sección, La Joya y Tilhuacán; mientras que las localidades con menos de 500 habitantes son Las Lajas, Altepemila, Sayola, San Miguel Huatengo, San Pedro Huatengo Agrícola Oriental, San Luis Buena Vista, Sangre de Cristo, Rinconada las Aves, El Charco, entre otras.

**Tabla 11.** Distribución de la población por tamaño de localidades del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo.

Localidades			Población	
Tipo	Tamaño	Número	Total	(%)
Rural	1-249 habitantes	10	978	2.47
	250-499 habitantes	3	967	2.44
	500-999 habitantes	5	3,178	8.03

	1 000-2 499 habitantes	5	8,413	21.27
<b>Urbana</b>	2 500-4 999 habitantes	1	3,472	8.78
	5 000-9 999 habitantes	1	5,104	12.90
	Mayor a 15 000 habitantes	1	17,449	44.11
	Total	26	39,561	100.00
	<b>Fuente: COESPO, 2020</b>			

Las localidades más pobladas son Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero con 17,499 (44.1%) habitantes, Unidades Habitacionales con 5104 (12.9%), El Pedregal de San José con 3472 (8.8%), Felipe Ángeles con 2186 (5.5%), Los Romeros con 2047 (5.2%); mientras que las comunidades menos habitadas son Agrícola Oriental con 160 habitantes (0.4%), San Luis Buena Vista con 135 (0.34 %), Sangre de Cristo con 115 (0.29%), Rinconada Las Aves con 89 (0.22%) y El Charco con 16 (0.04%); y las localidades con menos de 10 habitantes son El Mirador (Rancho), El Salado y Rancho Colorado. El municipio presenta una densidad de población alta (615.3 habitantes/km<sup>2</sup>) en comparación con la densidad de población estatal (148.1 habitantes/km<sup>2</sup>) (INEGI, 2020).

**Tabla 12.** Localidades del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo.

<b>Localidad</b>	<b>Población</b>	<b>%</b>	<b>Grado de Marginación</b>
Santiago Tulantepec	17 449	44.11	Bajo
Unidades Habitacionales	5104	12.9	Muy Bajo
El Pedregal de San José	3472	8.78	Bajo
Felipe Ángeles [Colonia]	2186	5.53	Alto
Los Romeros	2047	5.17	Alto
Paxtepec	1521	3.84	Alto
Unidad Magisterial San José [Colonia]	1486	3.76	Sin datos
Ventoquipa	1173	2.97	Bajo
Emiliano Zapata	921	2.33	Bajo
Las Camelinas	598	1.51	Sin datos

La Joya 2da. Sección	575	1.45	Alto
La Joya	556	1.41	Alto
Tilhuacán	528	1.33	Alto
Las Lajas	352	0.89	Media
Altepemila	331	0.84	Alto
Sayola	284	0.72	Alto
San Miguel Huatengo	235	0.59	Alto
San Pedro Huatengo	215	0.54	Alto
Agrícola Oriental	160	0.4	Bajo
San Luis Buena Vista	135	0.34	Muy alto
Sangre de Cristo	115	0.29	Alto
Rinconada las Aves	89	0.22	Sin datos
El Charco	16	0.04	Sin datos
El Mirador [Rancho]	8	0.02	Sin datos
El Salado	4	0.01	Sin datos
Rancho Colorado	1	0.00	Sin datos

**Fuente:** Censo de Población y Vivienda, 2020.

El municipio cuenta con solo 21 AGEB (Áreas Geoestadísticas Básicas) que son áreas conformadas por un conjunto de manzanas delimitadas por calles, avenidas, andadores entre otras características y todas ellas se encuentran repartidas en tres áreas urbanas, que son El Pedregal de San José, Unidades Habitacionales y la tercera ubicada en la cabecera municipal, Santiago Tulantepec. La AGEB más poblada es la 0200 con 3,038 (7.68%), la 272 con 2,598 (6.57%), la 008A con 2,545 (6.43%), la 234 con 2,386 (6.03%), la 215 con 2,344 (5.93%), la 107 con 316 (0.80%), la 249 con 247 (0.62%); mientras que las menos pobladas son la 37 con 190 (0.48%), la 111 con 175 (0.44%), la 287 con 145 (0.37%), la 319 con 126 (0.32%), la 126 con 29 (0.07%).

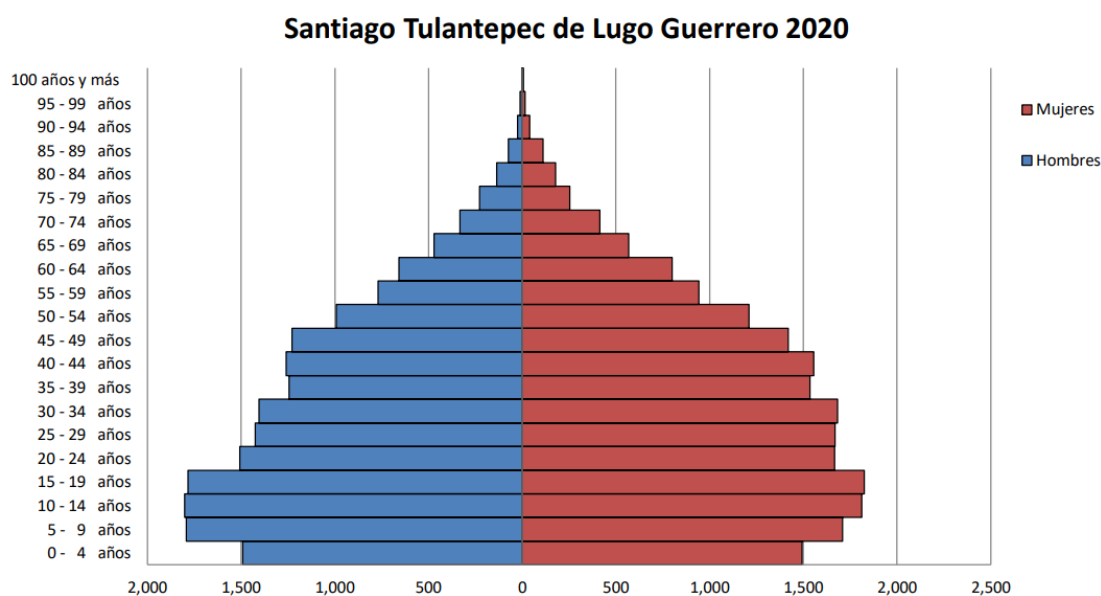
**Tabla 13.** Datos de población de las Áreas Geoestadísticas Básicas de la cabecera municipal de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

<b>AGEB</b>	<b>Clave</b>	<b>Población Total</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
<b>0037</b>	1305600010037	190	87	103
<b>0075</b>	1305600010075	665	316	349
<b>0107</b>	1305600010107	316	140	176
<b>0111</b>	1305600010111	175	84	91
<b>0126</b>	1305600010126	29	14	15
<b>0164</b>	1305600050164	1324	609	715
<b>0179</b>	1305600050179	2148	1002	1146
<b>0183</b>	1305600010183	1483	667	816
<b>0200</b>	1305600010200	3038	1413	1625
<b>0215</b>	1305600010215	2344	1112	1232
<b>0234</b>	1305600010234	2386	1098	1288
<b>0249</b>	1305600010249	247	121	126
<b>0253</b>	1305600360253	1247	600	647
<b>0268</b>	1305600360268	1133	533	600
<b>0272</b>	1305600360272	2598	1199	1399
<b>0287</b>	1305600010287	145	65	80
<b>0291</b>	1305600010291	701	309	392
<b>0304</b>	1305600010304	1063	508	555
<b>0319</b>	1305600360319	126	52	74
<b>008A</b>	130560001008A	2545	1197	1348
<b>022A</b>	130560001022A	2122	1020	1102
	<b>TOTAL</b>	<b>26025</b>	<b>12146</b>	<b>13879</b>

**Fuente:** Censo de población y vivienda, 2020.

## 4.1.4 Pirámide de edades

La población del municipio se encuentra conformada en su mayoría por jóvenes y adultos (67.2%), seguido de niños (25.5%) y en menor proporción de adultos mayores (7.2%) (Figura 10). Las localidades donde se concentran la mayor cantidad de niños del municipio son: Santiago Tulantepec (41.7%), Unidades habitacionales (12.8%), El Pedregal de San José (8.2%), Felipe Ángeles [Colonia] (7.0%), Los Romeros (5.7%); mientras que las localidades que concentran la mayor cantidad de adultos mayores del total municipal son: Santiago Tulantepec (53.6%), El Pedregal de San José (10.6%), Unidades Habitacionales (6.0%), Los Romeros (5.6%), Ventoquipa (4.0%).



[Figura 10. Pirámide de población del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo. Fuente: Perfiles sociodemográficos municipales (COESPO, 2020).]

Del total de población infantil a nivel de las 21 AGEB de la cabecera municipal, El Pedregal de San José y Unidades Habitacionales (6,331 niños), las AGEB donde se concentra la mayor parte de la población son: AGEB 0272 (11.3%), 0200 (10.6%), 0234 (10.1%), 0215 (8.7%) y la 008A (7.9%); mientras que las AGEB donde se concentra menor población de niños son: AGEB 0319 (0.69%), 0287 (0.63%), 0249 (0.62%), 0037 (0.46%), y la 0126 (0.19%) . Las AGEB donde se concentra la mayor población de adultos mayores (2007 personas) son: la 008A (18.0 %), 0200 (15.1%), 0215 (11.5%), AGEB 0179 (10.4%) y la 0234 (7.5%); mientras

que las AGEB donde se concentra la menor población de adultos mayores son: AGEB 0037 (1.44%), 0249 (1.35%), 0107 (1.00%), 0287 (0.60%), y la 0111 (0.30%).

[MAPA CLAVE ARST 04.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 04.1.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 04.1.2 – PÁGINA COMPLETA]

## 4.1.5 Natalidad y mortalidad

La mortalidad para el municipio en el año 2015 era de 170 defunciones generales, de las cuales 91 fueron hombres y 79 mujeres; 10 defunciones de niños (menores de 1 año), 8 hombres y 2 mujeres; para el mismo año se tuvieron 736 nacimientos (46.9% de hombres, 53.0% de mujeres y 0.14% de no especificado). La tasa de mortalidad infantil para el municipio es baja (16.4%) con base en la reportada para el estado de Hidalgo (12.6%) (INEGI, 2017). (Tabla 14).

**Tabla 14.** Mortalidad y natalidad de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo.

	<b>Indicador</b>	<b>Valor Asignado</b>	<b>%</b>
<b>Mortalidad (defunciones)</b>	Total	170	100
	Hombres	91	53.5
	Mujeres	79	46.5
	Menores de un año	10	100
	Menores de un año hombres	8	80.0
	Menores de un año mujeres	2	20.0
	Tasa de mortalidad infantil	16.40	
<b>Natalidad (nacimientos)</b>	Total	736	100
	Hombres	345	46.9
	Mujeres	390	53.0
	No especificado	1	0.1
<b>Fuente:</b> Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo (2017).			

## 4.2 Características sociales

### 4.2.1 Escolaridad

En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero para 2020, 33,015 habitantes (83.45 % de la población) sabe leer y escribir, de los cuales 15,448 son hombres y 17,567 mujeres. Por otra parte, 1,434 habitantes (3.62%) no saben leer y escribir, de los cuales 819 son mujeres y 615 son hombres.

**Tabla 15.** Aptitud para leer y escribir en la población de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Indicador	Población de 8 a 14 años			Población de 15 años y más		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Sabe leer y escribir	4924	2463	2461	28091	12985	15106
No sabe leer y escribir	89	51	38	1345	564	781
Total	5013			29436		
<b>Fuente:</b> Censo de población y vivienda, 2020.						

**Tabla 16.** Población total, indicadores de educación 2020.

Población Total		% de población de 15 años o más analfabeta	% de población de 3 a 14 años que no asiste a la escuela	% Población sin primaria completa de 15 años o más	% Población de 15 a 17 años que no asiste a la escuela	Grado Promedio de escolaridad
Total	39,561	4.57	14.60	11.6	25.36	9.48
Hombres	18,646	4.16	14.12	11.6	28.30	9.43
Mujeres	20,915	4.92	15.08	11.7	22.34	9.53

**Fuente:** COESPO, 2020.

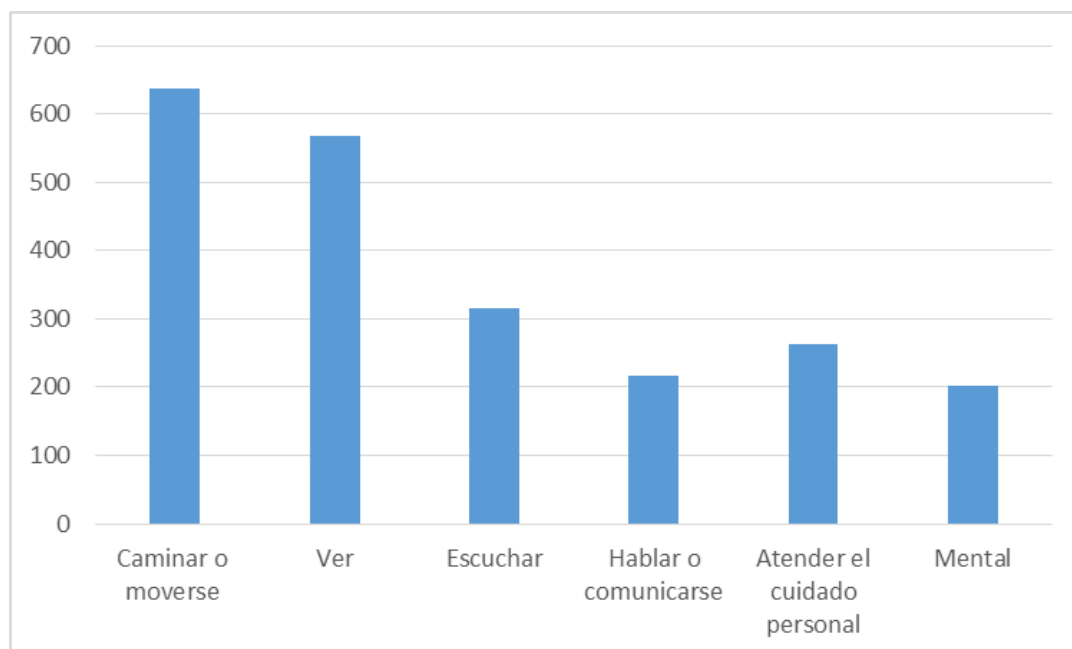
En términos de asistencia escolar de acuerdo al nivel educativo, los más altos porcentajes de inasistencia se presentan en el nivel preescolar con 858 infantes (70.0 %), primaria con 209 niños (17.0%) y educación secundaria con 159 jóvenes (13 %).

Del total de analfabetas que existen en el municipio, estos se concentran en las localidades de Santiago Tulantepec (38.7%), Felipe Ángeles [Colonia] (11%), Los Romeros (9.4%), El Pedregal de San José (7.4 %) y Paxtepec (6.9%), con base en los indicadores del Censo de Población y Vivienda 2020.

## **4.2.2 Discapacidad**

La población con discapacidad en el municipio es de 1,378 habitantes (3.5 %). De estas, 638 (1.61%) habitantes tienen dificultad para caminar o moverse, subir o bajar; 567 (1.43%) personas tienen dificultad para ver; 315 (0.8 %) tienen discapacidad auditiva; 217 (0.55 %) tienen dificultades de habla y comunicación; 262 habitantes (0.66%) discapacidad para vestirse, bañarse o comer; 202 personas (0.51 %) enfrentan discapacidad mental. Las localidades que albergan a la mayor cantidad de población con discapacidad son: Santiago Tulantepec (628 habitantes), El Pedregal de San José (120 habitantes), Los Romeros (118 habitantes), Felipe Ángeles (87 habitantes), Unidades habitacionales (83 habitantes) y Ventoquipa, (76 habitantes); las siguientes localidades por tener la menor cantidad de población podrían representar mayor vulnerabilidad, debido a la dificultad de acceder a los servicios de emergencia y protección civil, siendo estas: San Luis Buena Vista (135 habitantes), Sangre de Cristo (115 habitantes), Rinconada las Aves (89 habitantes), El Charco (16 habitantes), El Mirador (8 habitantes), El Salado (4 habitantes) y Rancho Colorado (1 habitante) .

**Gráfica 3.** Población con discapacidad en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.



**Fuente:** Censo de Población y Vivienda INEGI, 2020.

A nivel AGEB urbanas de la cabecera municipal de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero la población con discapacidad es de 626 habitantes (75.70% del total de las AGEB), siendo la 008A (20.61%) la de mayor porcentaje seguida de la 0215 (15.97%), 0200 (14.22%), 0234 (13.90%) y finalmente la 022A (10.54%).

A nivel AGEB urbanas de El Pedregal de San José la población con discapacidad es de 120 habitantes (14.51% del total de las AGEB), siendo la 0079 (65.83%), seguida de la 0041 (34.17%).

A nivel AGEB urbanas de Unidades Habitacionales la población con discapacidad es de 81 habitantes (9.79% del total de las AGEB), siendo la 0041 (50.62%) la de mayor porcentaje, seguida por la 0025 (30.86%) y finalmente la 0015 (18.52%).

[MAPA CLAVE ARST 04.2 – PÁGINA COMPLETA]

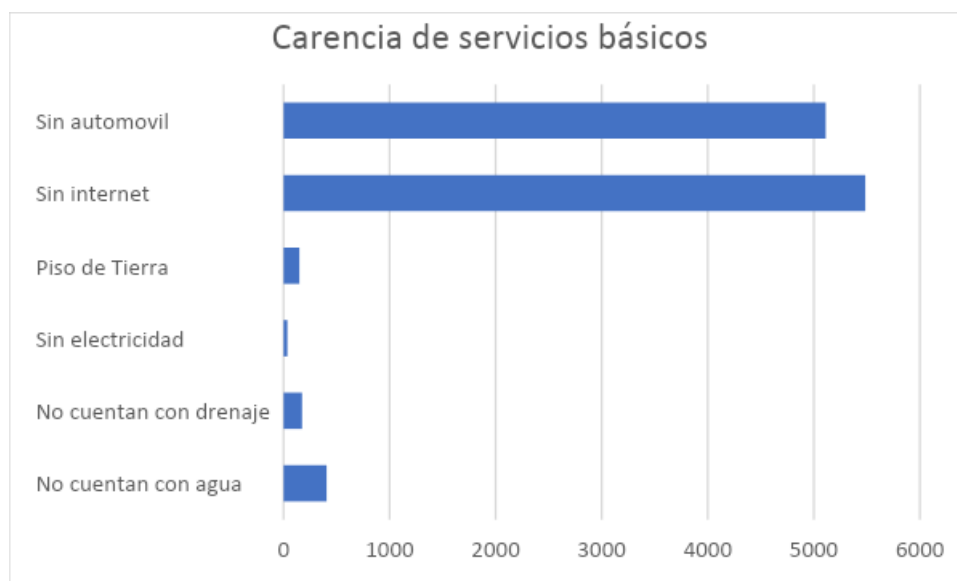
[MAPA CLAVE ARST 04.2.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 04.2.2 – PÁGINA COMPLETA]

### 4.2.3 Vivienda

Un indicador más de la susceptibilidad y el grado de exposición de la población ante desastres naturales es la estructura y condiciones de la vivienda. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero cuenta con 11,139 viviendas habitadas, de donde 406 no cuentan con agua entubada (3.64%), 174 viviendas no cuentan con drenaje (1.56%), 36 viviendas no cuentan con electricidad (0.32%), 149 cuentan con piso de tierra (1.34%), 5485 no cuentan con internet (49.24%) y 5112 no cuentan con automóvil (45.89%) siendo así estas las carencias más relevantes de servicios básicos para el municipio (Gráfica 4).

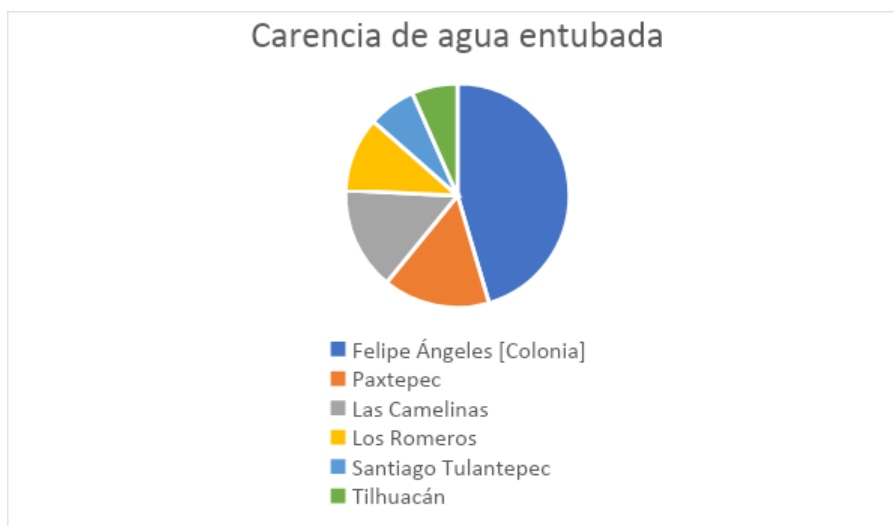
**Gráfica 4.** Carencia de servicios básicos en la vivienda en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.



**Fuente:** Censo de Población y Vivienda INEGI, 2020.

Las localidades que concentran los más altos porcentajes de carencia de servicio de agua entubada en el ámbito de la vivienda son: Felipe Ángeles [Colonia] con 165 viviendas (40.64%), Paxtepec con 56 viviendas (13.79%), Las Camelinas con 54 viviendas (13.30%), Los Romeros con 39 viviendas (9.61%), Santiago Tulantepec con 25 viviendas (6.16%), y Tilhuacán con 24 viviendas (5.91%) (Gráfica 5).

**Gráfica 5.** Carencia de agua entubada en la vivienda en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.



**Fuente:** Censo de Población y Vivienda INEGI, 2020.

Por otra parte, aquellas que carecen de drenaje son: Felipe Ángeles [Colonia] con 49 viviendas (28.16%), Los Romeros con 34 viviendas (19.54%), Santiago Tulantepec con 21 viviendas (12.07%), Altepemila con 18 viviendas (10.34%) y Tilhuacán con 13 viviendas (7.47%).

La carencia de agua entubada en el ámbito de la vivienda para las AGEB de la cabecera municipal es la AGEB 0291 con 11 viviendas, respecto a las demás AGEB se carece de datos.

La carencia de agua entubada en el ámbito de la vivienda para las AGEB de Unidades Habitacionales es la AGEB 0272 con 3 viviendas, respecto a las demás AGEB se carece de datos.

Para las AGEB de El Pedregal de San José respecto a la carencia de agua entubada se carece de datos.

## 4.2.4 Lengua Indígena

La población hablante de lengua indígena en el municipio es de 401 habitantes, de los cuales 174 son hombres y 227 son mujeres. Las localidades con más hablantes de lengua indígena son Santiago Tulantepec con 126 habitantes, Felipe Ángeles [Colonia] con 77 habitantes, El Pedregal de San José con 55 habitantes, Unidad Magisterial San José [Colonia] con 30 habitantes y Paxtepec con 29 habitantes. De las AGEB que conforman la cabecera municipal de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se presentan población de habla indígena en: AGEB 0234 (43 habitantes), 0304 (18 habitantes), 022A y 0183 (15 habitantes cada una) y la 008A (8 habitantes). De las AGEB de El Pedregal de San José se presentan dos con hablantes de lengua indígena siendo estas: AGEB 0179 (29 habitantes), 0164 (26 habitantes). Y de las AGEB de

Unidades Habitacionales se presentan tres AGEB: 0272 (8 habitantes), 0268 (7 habitantes) y la 0253 (4 habitantes).

**Tabla 17.** Población que habla lengua indígena y español en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Sexo	Habla de lengua indígena	Población de 5 años y más		
		Bilingüe	Monolingüe	No especificado de bilingüismo
Total	401	400	1	6
Hombres	174	174	0	4
Mujeres	227	226	1	2

**Fuente:** Censo de población y vivienda INEGI, 2020.

**Tabla 18.** Población auto adscrita por sexo y grandes grupos de edad.

Grupos de edad	Condición de auto adscripción étnica		
	Población adscrita	Población masculina	Población femenina
Total	37227	17676	19551
0-14 años	10503	5359	5144
15-24 años	6439	3139	3300
25-64 años	17888	8156	9732
65 años y más	2397	1022	1375

**Fuente:** CDI, Sistema de indicadores sobre la población indígena de México con base en Encuesta Intercensal 2015.

## 4.2.5 Pobreza

La definición de pobreza considera las condiciones de vida de la población a partir de tres espacios: el del bienestar económico, el de los derechos sociales y el del contexto territorial.

El espacio de bienestar económico comprenderá las necesidades asociadas a los bienes y servicios que puede adquirir la población mediante el ingreso. El espacio de los derechos sociales se integrará a partir de las carencias de la población en el ejercicio de sus derechos para el desarrollo social, en específico aquellos asociados a los indicadores mencionados en el artículo 36, fracciones II a la VII, de la Ley. El espacio del contexto territorial incorpora aspectos que trascienden al ámbito individual (que pueden referirse a características geográficas, sociales y culturales, entre otras); en específico, aquellos asociados al grado de cohesión social, así como otros considerados relevantes para el desarrollo social.

La población en situación de pobreza multidimensional será aquella cuyos ingresos sean insuficientes para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades y presenten carencias en al menos uno de ellos siguientes seis indicadores: rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación. Las mediciones para el cálculo de nivel de pobreza se basan en las dimensiones económicas y sociales de la población que señala la Ley General de Desarrollo Social (LGDS).

El municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero tiene 17,363 habitantes en situación de pobreza (45.5%) (COESPO, 2020), de los cuales el 40.3% está en situación de pobreza moderada y el 5.2% en pobreza extrema, además la población vulnerable por lo menos por una carencia social es de 12,096 (31.7%), la población vulnerable por ingresos es de 2,398 habitantes (6.3%) y finalmente la población no pobre y no vulnerable es de 6,304 habitantes (Tabla 19).

**Tabla 19.** Incidencia, número de personas y carencias promedio en los indicadores de pobreza.

Indicadores	2015			2020		
	Porcentaje	Personas	Carencias promedio	Porcentaje	Personas	Carencias promedio
<b>Pobreza</b>						

Población en situación de pobreza	45.5	17,363	2.0	39.2	14519	2.0
Población en situación de pobreza moderada	40.3	15,377	1.8	36.2	13412	1.9
Población en situación de pobreza extrema	5.2	1,987	3.4	3.0	1108	3.3
Población vulnerable por carencias sociales	31.7	12,096	1.8	36.6	13576	1.8
Población vulnerable por ingresos	6.3	2,398		6.2	2318	
Población no pobre y no vulnerable	16.5	6,304		18.0	6670	
<b>Privación Social</b>						
Población con al menos una carencia social	77.2	29,459	1.9	75.8	28095	1.9
Población con al menos tres carencias sociales	18.2	6,934	3.3	13.8	5108	3.3
<b>Indicadores de carencia social</b>						
Rezago educativo	16.4	6,275	2.5	15.6	5771	2.5
Carencia por acceso a los servicios de salud	29.6	11,290	2.5	38.7	14357	2.4
Carencia por acceso a la seguridad social	66.4	25,328	2.0	67.0	24861	2.0
Carencia por calidad y espacios de la vivienda	4.9	1,861	3.1	5.0	1860	3.0
Carencia por acceso a los servicios básicos de vivienda	15.5	5,899	2.8	5.2	1912	3.1
Carencia por acceso a la alimentación	17.2	6,567	2.5	10.8	4007	2.5
<b>Bienestar</b>						
Población con un ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo	16.4	6,254	2.1	11.3	4185	2.0
Población con un ingreso inferior a la línea de bienestar	51.8	19,762	1.8	45.4	16837	1.7

**Fuente:** COESPO, Perfiles sociodemográficos municipales con base en el MCS-ENIGH 2010, la muestra del Censo de Población y Vivienda 2010, el Modelo Estadístico 2015 para la continuidad del MCS-ENIGH y la Encuesta Intercensal 2015. El Modelo Estadístico 2020 para la continuidad del MCS-ENIGH y la muestra del Censo de Población y Vivienda 2020.

De acuerdo con la metodología para la medición de la pobreza por ingresos, se definen tres niveles de pobreza (Tabla 20):

1. La pobreza alimentaria: incapacidad para obtener una canasta básica alimentaria, aun así se hiciera uso de todo ingreso disponible en el hogar en comprar solo los bienes de dicha canasta.
2. La pobreza de capacidades: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir el valor de la canasta básica alimentaria y efectuar los gastos necesarios en salud y educación, aun dedicando el ingreso total de los hogares nada más que para estos fines.
3. La pobreza de patrimonio: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir la canasta básica alimentaria, así como realizar los gastos necesarios en salud, vestido, vivienda, transporte y educación, aunque la totalidad del ingreso del hogar fuera utilizado exclusivamente para la adquisición de estos bienes y servicios.

Como indicador ligado al factor producto de la pobreza en el municipio, se suma el índice de rezago social, el cual es un estimador de carencias calculado para tres niveles de agregación geográfica: estatal, municipal y local, el cual incorpora indicadores de educación, de acceso a servicios de salud básicos, de calidad y espacios en la vivienda, y activos en el hogar (Tabla 20).

El valor del Índice de Rezago Social de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero es de -0.928801 el cual es considerado de nivel muy bajo, ocupando el lugar 2,087 a nivel nacional. Según datos de CONEVAL, la única localidad con rezago social medio es Altepemila (-0.17978). Por lo tanto, el rezago social es inexistente.

**Tabla 20.** Indicadores socioeconómicos e índice y grado de rezago social en el periodo 2000-2020, en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

	2000	2005	2010	2015	2020
Población total	26,254	29,246	33,495	37,292	39,561
% de población de 15 años o más analfabeta	9.26	8.86	6.80	4.38	4.6
% de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela	6.41	5.15	3.78	2.86	5.7

% de población de 15 años y más con educación básica incompleta	55.48	47.58	41.62	34.86	28.3
% de población sin derechohabiencia a servicios de salud	56.16	50.28	38.25	27.29	38.2
% de viviendas particulares habitadas con piso de tierra	8.19	3.66	3.35	1.09	1.3
% de viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario	17.65	13.12	4.29	1.51	1.0
% de viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada de la red pública	10.16	6.33	8.95	3.58	3.7
% de viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje	20.04	5.40	5.74	4.95	1.6
% de viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica	4.94	8.42	1.63	0.53	0.3
% de viviendas particulares habitadas que no disponen de lavadora	67.13	53.35	43.22	39.51	31.4
% de viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	42.14	29.96	22.80	17.09	13.3
Índice de rezago social	-0.95133	-0.83732	-0.88231	-0.93823	-0.928801
Grado de rezago social	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo
Lugar que ocupa en el contexto estatal	68	62	65	67	67

**Fuente:** COESPO, Perfiles sociodemográficos con base en estimaciones del CONEVAL del II Censo de Población y Vivienda 2005 y XII y XIII Censos de Población y Vivienda 2000, 2010 y 2020. Encuesta Intercensal 2015.

## 4.2.6 Hacinamiento

Cuando el promedio de ocupantes por cuarto es menor o igual a dos se califica como vivienda sin hacinamiento. Este indicador muestra que a mayor porcentaje de viviendas sin hacinamiento es mejor la situación de la población. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se encuentra clasificado como municipio sin hacinamiento con un promedio de 0.92 ocupantes

por cuarto, mientras que a nivel de localidad ninguna de las que comprenden el municipio presenta hacinamiento. De las 511 manzanas que componen las 21 AGEB de la cabecera municipal, El Pedregal de San José y Unidades Habitacionales, se tienen 52 manzanas sin datos sobre el promedio de ocupantes por cuarto, 334 manzanas tienen menos de un habitante por cuarto; y ninguna AGEB presenta manzanas con hacinamiento.

**Tabla 21.** Viviendas particulares y ocupantes según la clase de vivienda en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Total	Casa única en el terreno	Casa que comparte	Casa dúplex	Departamento en edificio	Vivienda o cuarto en vecindad	Local no construido para habitación	Vivienda móvil	Refugio	No especificado
11,135	80.93	18.00	0.22	0.27	0.15	0.13	0.01	0.01	0.04

Año	Viviendas	Ocupantes	Ocupantes por vivienda
2020	11,135	39,545	3.55

**Fuente:** COESPO, Perfiles sociodemográficos municipales con base en el Censo de población y vivienda INEGI, 2020.

## 4.2.7 Índice y grado de marginación

El Índice de marginación, es la medida de déficit y de intensidad de las privaciones y carencias de la población en dimensiones relativas a las necesidades básicas establecidas como derechos constitucionales. El índice de marginación es el resultado de una estimación por componentes principales de cuatro dimensiones y nueve indicadores: educación (analfabetismo y población sin primaria completa); viviendas (ocupantes en viviendas sin agua entubada, sin drenaje ni servicio sanitario, con piso de tierra, sin energía eléctrica y hacinamiento); ingresos (población ocupada que gana hasta dos salarios mínimos); y distribución de la población (población en localidades con menos de 5 mil habitantes).

**Tabla 22.** Indicadores socioeconómicos e índice y grado de marginación en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

	2000	2005	2010	2015	2020
Población total	26,254	29,246	33,495	37,292	39,561
% Población analfabeta de 15 años o más	9.27	8.87	6.82	4.43	4.57
% Población sin primaria completa de 15 años o más	27.89	22.49	19.05	14.93	28.39*
% Ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario	10.14	3.65	2.77	0.72	0.56
% Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica	4.67	1.22	1.55	0.49	0.21
% Ocupantes en viviendas sin agua entubada	5.88	6.31	6.95	3.75	3.85
% Viviendas con algún nivel de hacinamiento	51.70	44.69	38.55	27.45	18.12
% Ocupantes en viviendas con piso de tierra	8.19	3.86	3.20	0.99	1.39
% Población en localidades con menos de 5000 habitantes	43.53	50.59	52.00	52.00	42.99
% Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos	61.12	57.26	41.38	41.96	75.20
Índice de marginación	-0.95303	-0.93760	-0.99848	-1.0559	57.51
Grado de marginación	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo
Lugar que ocupa en el contexto estatal	64	65	64	66	63

**Fuente:** COESPO, Perfiles sociodemográficos municipales con base en el CONAPO Índices de marginación 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.

En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, sólo hay dos localidades con grado de marginación medio, correspondientes a Altepemila (0.79) y Rinconada Las Aves (0.79).

[MAPA CLAVE ARST 04.3 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 04.3.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 04.3.2 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 04.4 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 04.4.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 04.4.2 – PÁGINA COMPLETA]

**Tabla 23.** Población total según condición de afiliación a servicios de salud y tipo de institución, 2020.

Sexo	Población Total	Condición de afiliación a servicios de salud <sup>1</sup>								
		Afiliada <sup>2</sup>							No derecho habiente	No especificado
		Total	IMSS	ISSST E e ISSST E estatal	Pemex, Defensa o Marina	Seguro Popular o para una nueva Generación <sup>3</sup>	Institución Privada	Otra institución <sup>4</sup>		
<b>Total</b>	39,561	61.7	48.1	9.46	0.4	37.7	2.3	0.8	38.2	0.1
<b>Hombres</b>	18,646	60.3	49.4	9.05	0.3	36.8	2.5	0.7	39.6	0.1
<b>Mujeres</b>	20,915	63.0	47.1	9.82	0.4	38.4	2.2	0.9	36.9	0.1

<sup>1</sup> La distribución porcentual de la condición de afiliación a servicios de salud se calcula respecto a la población total.

<sup>2</sup> El porcentaje para cada institución de servicios de salud se obtuvo con respecto de la población afiliada. La suma de los porcentajes puede ser mayor a 100% debido a las personas que están afiliadas en más de una institución de salud.

<sup>3</sup> Incluye el Sistema de Protección Social en Salud (SPSS) que coordina la Secretaría de Salud (SSA).

<sup>4</sup> Incluye otras instituciones de salud públicas y privadas del país.

\*Municipio censado.

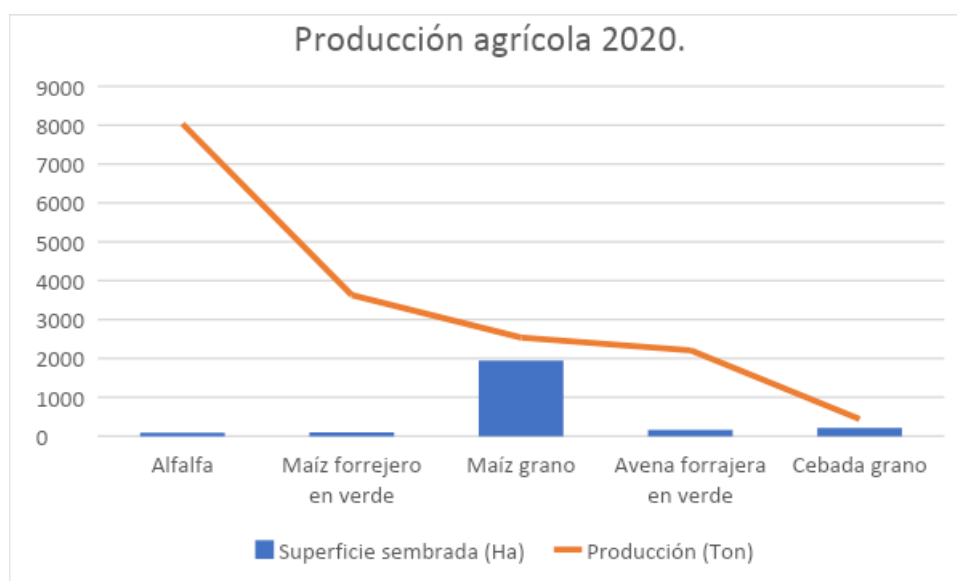
**Fuente:** COESPO, Perfiles sociodemográficos municipales con base en el Censo de Población y Vivienda INEGI, 2020.

## 4.3 Economía municipal

### 4.3.1 Sector primario; agricultura; ganadería y actividad forestal

Del sector agrícola de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero los principales cultivos de acuerdo a superficie sembrada son: maíz grano (1,940 ha), cebada grano (213 ha), avena forrajera (164 ha), maíz forrajero (98 ha), alfalfa (91 ha)

**Gráfica 6.** Superficie sembrada (ha) y porcentaje de la producción (ton) de los principales cultivos de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero .



**Fuente:** Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP, 2020).

La producción pecuaria en el municipio la representan la producción de porcinos (467 ton), bovinos (322 ton), ovinos (90 ton), aves (87 ton), guajolote (5 ton), caprinos (4 ton).

**Gráfica 7.** Producción pecuaria en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.



**Fuente:** SIAP, 2020.

### 4.3.2 Sector secundario

En el sector secundario, dentro del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se cuentan 1,719 unidades económicas, en actividades de la industria manufacturera se encuentran 274, en la actividad minera se encuentra 1. En el sector terciario, se cuentan con 33 unidades de comercio al por mayor y 665 de comercio al por menor; también existen 236 servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos bebidas; son 31 servicios de esparcimiento, culturales y deportivos y otros servicios recreativos y cuenta con 34 unidades económicas destinadas a servicios educativos (Tabla 24).

**Tabla 24.** Unidades económicas de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Actividad Económica	Unidad Económica
A) minería	1
B) industrias manufactureras	274
C) comercio al por mayor	33
D) comercio al por menor	665
E) transportes, correos y almacenamiento	4
F) información en medios masivos	4

G) seguros financieros y de seguros	4
H) servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	40
I) servicios profesionales, científicos y técnicos	16
J) servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	25
K) servicios educativos	34
L) servicios de salud y asistencia social	48
M) servicios de esparcimiento, culturales y deportivos y otros servicios recreativos	31
N) servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	236
O) otros servicios excepto actividades gubernamentales	286
P) actividades legislativas, gubernamentales de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	10
Q) generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	4
R) construcción	
Total	
<b>Fuente:</b> DENUE INEGI (2021).	

### 4.3.3 Población económicamente activa

La población económicamente activa (PEA) considera las personas en edad de trabajar compuesta por la población ocupada y desocupada, el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero tiene una PEA de 19,449 habitantes (61.5% de la población total de 12 años y más) y 12,096 habitantes componen la población económicamente inactiva (PEI) (38.3%); de la PEA la población ocupada es de 19,188 habitantes (98.7% de la población de 12 años y más) y la población desocupada de 261 habitantes (1.3%).

**Tabla 25.** Población de 12 años y más por condición de actividad económica y de ocupación, 2020.

Sexo	Población de 12 años y más	Condición de actividad económica <sup>1</sup>				
		Población económicamente activa <sup>2</sup>				
		Total	Ocupada	Desocupada	Población no económicamente activa	No especificado
<b>Total</b>	31,619	61.5	98.7	1.3	38.3	0.2
<b>Hombres</b>	14,603	75.5	98.4	1.6	24.3	0.3
<b>Mujeres</b>	17,016	49.5	99.0	1.0	50.3	0.2

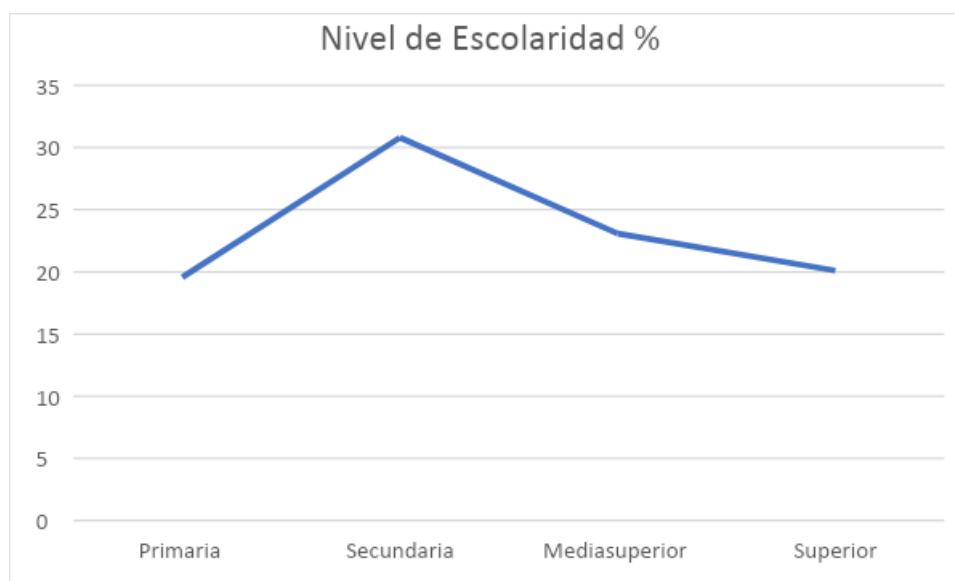
<sup>1</sup>La distribución porcentual de la condición de actividad económica se calcula respecto de la población de 12 años y más.

<sup>2</sup>La distribución porcentual se calcula respecto al total de la población económicamente activa.

**Fuente:** COESPO, Perfiles Sociodemográficos Municipales. Cálculos con base en el Censo de población y vivienda 2020.

La población económicamente activa está distribuida de acuerdo a su nivel de escolaridad en su mayor proporción es con estudios de secundaria (30.80%), primaria (19.57%), educación media superior (23.08%) y educación superior (20.10%).

**Gráfica 8.** Población económicamente activa por nivel de escolaridad en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.



**Fuente:** Censo de población y vivienda, 2020.

**Tabla 26.** Población ocupada y su distribución porcentual según división ocupacional.

Sexo	Población ocupada	División ocupacional <sup>1</sup>				
		Profesionistas, técnicos y administrativos <sup>2</sup>	Trabajadores agropecuarios	Trabajadores en la industria <sup>3</sup>	Comerciantes y trabajadores en servicios diversos <sup>4</sup>	No especificado
Total	17,095	21.57	2.71	33.84	39.16	2.73
Hombres	10,326	17.6	4.25	43.77	31.68	2.69
Mujeres	6,769	27.63	0.35	18.73	50.56	2.78

Nota: Los límites de confianza se calculan al 90%.

<sup>1</sup>Corresponde a las ocupaciones agrupadas del Sistema Nacional de Clasificación de Ocupaciones (SINCO, 2019).

<sup>2</sup>Comprende: funcionarios, directores y jefes: profesionistas y técnicos; así como trabajadores auxiliares en actividades administrativas.

<sup>3</sup>Comprende: trabajadores artesanales: así como operadores de maquinaria industrial, ensambladores, choferes y conductores de transporte.

<sup>4</sup>Comprende: comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas: trabajadores en servicios personales y vigilancia: así como trabajadores en actividades elementales y de apoyo.

**Fuente:** SINCO, 2019

## 4.4 Equipamiento

La infraestructura con la que cuenta el municipio está compuesta por servicios públicos; entre los que destacan: tianguis (1), oficinas postales (1); infraestructura educativa (46); bibliotecas públicas (1); infraestructura de salud compuesta (6 unidades médicas), finalmente la infraestructura deportiva consta de unidades deportivas (3) campos de fútbol (1) y alberca (1).

## 4.5 Reserva territorial

La reserva territorial para la vivienda tiene como finalidad frenar el crecimiento urbano desordenado y regular el crecimiento de los desarrollos habitacionales. De acuerdo con el Registro Nacional de Reservas Territoriales (RENARET) de la Comisión Nacional de Vivienda el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero no cuenta con hectáreas para la construcción de complejos habitacionales.

# **CAPÍTULO V. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN NATURAL**

## **5.1 Fenómenos de Origen Geológico**

### **5.1.1 Vulcanismo**

Un volcán es una estructura en la superficie terrestre que expulsa material fundido, sólido y volátil procedente del interior de la tierra. Entre los materiales extravasados se encuentra la lava, el material piroclástico (ej. ceniza), dióxido de azufre, dióxido de los volátiles. De esta manera, los volcanes tienen morfologías diversas además de la cónica tradicional y son

representaciones en la superficie de las condiciones del interior del planeta, evolución tectónica, etc.

#### **5.1.1.1 Tipos de estructuras volcánicas**

Dependiendo de diversos factores (ej. temperatura, viscosidad y composición magmática) los volcanes pueden adoptar diferentes morfologías. A continuación se presenta una de las clasificaciones más comunes de acuerdo con Espíndola-Castro, 1996):

**Volcanes en escudo:** la emisión del material volcánico tiene lugar a partir de uno o más centros de erupción, donde las propiedades de fluidez, temperatura y composición, permiten que las lavas se extiendan más allá del cráter (es), formando relieves suaves con una base de, a veces, más de 100 km. La clasificación de estos volcanes hace alusión a que su extensión longitudinal es mucho mayor que su altura y, por lo tanto, hacen recordar un escudo ancho de guerrero. Las erupciones de estas estructuras suelen ser de baja explosividad y baja peligrosidad de tipo hawaiano.

**Estratovolcanes:** se originan por la intercalación de erupciones de materiales piroclásticos seguidas de flujos de lava en diferentes episodios efusivos en un solo cráter. A diferencia de los volcanes en escudo, suelen tener formas cónicas con un cráter central y sus lavas pueden tener diferentes temperaturas y composiciones, por lo tanto pueden originar erupciones violentas seguidas de efusiones tranquilas. Estos volcanes se forman por la subducción generalmente de una placa oceánica bajo una continental y en México son comunes (ej. Popocatepetl, Pico de Orizaba, etc.).

**Conos de escoria:** Se generan por el apilamiento de cenizas durante las erupciones basálticas de tipo estrombolianas, donde los materiales piroclásticos se acumulan alrededor del centro emisor. Como su nombre lo dice, resultan por la acumulación de ceniza y escoria que forman colinas cónicas con elevaciones que no superan 250 m de altura y 500 m de diámetro. Así mismo, están asociados a centros eruptivos de mayor envergadura como los volcanes en escudo y estratovolcanes.

**Domos de lava:** Son estructuras mucho más pequeñas de forma bulbosa que se caracterizan por presentar pendientes muy abruptas. Se generan por lavas muy viscosas y de baja temperatura que cuando llegan a la superficie o cerca de ella, se acumulan en lugar de fluir.

**Calderas:** resultan de erupciones explosivas, violentas y masivas, las cuales provocan el colapso de la parte central de todo el edificio volcánico, dejando una gran depresión volcánica

cuyo tamaño oscila entre 5 y 15 km de diámetro. En México, la Sierra Madre Occidental contiene un gran número de calderas que originaron los grandes volúmenes de las rocas piroclásticas de la región. En Hidalgo, podemos citar las Calderas de Huichapan, Acoculco y Tulancingo. La formación de estas estructuras volcánicas puede representar un gran riesgo debido a la rapidez con que se originan.

### 5.1.1.2 Tipos de erupciones volcánicas

Las erupciones consisten en la emisión de materiales de diferente naturaleza hacia la superficie, de acuerdo a la composición de los materiales predominantes, resultara la forma en la que se manifiesta el estilo eruptivo de cada volcán. Siendo estos los siguientes:

**Hawaiano:** es un vulcanismo tranquilo caracterizado por la emisión de lavas muy fluidas, pobre en gases y de composición máfica (basáltica). Las lavas pueden alcanzar grandes distancias debido a la formación de conductos subterráneos donde ésta puede mantenerse caliente.

**Estromboliano:** los magmas que originan este tipo de erupción son muy fluidos, pero tienen un alto contenido de gases que favorece la actividad explosiva en episodios intermitentes, alternando con períodos de emisión tranquila. La lava es acompañada de bombas sólidas que adquieren formas aerodinámicas (tipo pera) debido a su trayectoria parabólica, además de cenizas interstratificadas con la lava que se desmoronan y permiten la acumulación de piedra pómez.

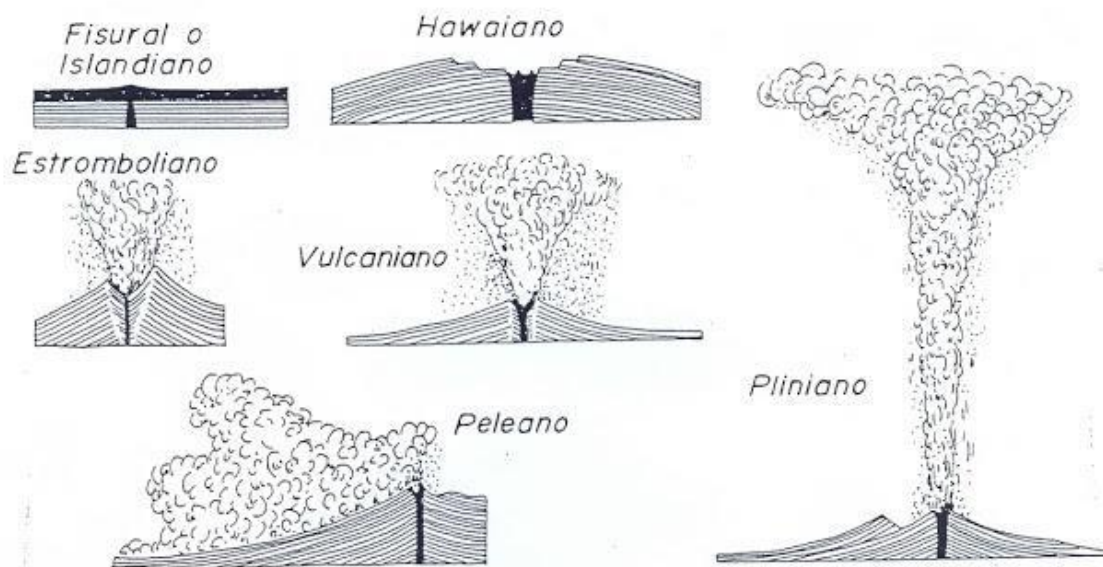
**Vulcaniano:** se presentan porque la lava emitida es muy espesa, poco fluida, de baja temperatura y se solidifica con rapidez, taponando el conducto volcánico. Este tipo de erupciones son muy violentas y un riesgo latente, pues desencadenan nubes piroclásticas muy densas y oscuras que viajan a velocidades cercanas a 350 km/h por la ladera del volcán. Los productos volcánicos son porosos (pómez) y vitrificados como la obsidiana.

**Peleano:** La erupción se presenta en dirección horizontal y acompañada de una fuerte emisión de gases asfixiantes, como monóxido de carbono y dióxido de azufre. En este caso se emite lava viscosa que llega a formar pitones (agujas) que ascienden por la presión de lava ascendente, el rompimiento y colapso de estos pitones permite la salida violenta de nubes piroclásticas a muy altas temperaturas.

**Pliniano:** ocurren a partir de magmas viscosos y ricos en gases que producen erupciones muy violentas (flujos piroclásticos) que forman depósitos de ignimbritas. Se definen por su alto

grado de explosividad, con manifestaciones que expulsan grandes volúmenes de gases, fragmentos incandescentes y cenizas. La expulsión a gran velocidad de estos materiales, junto con su rápida ascensión, forma columnas eruptivas que pueden superar los 30 km de altura. Asimismo, provoca emisión de grandes cantidades de pumita e intensas expulsiones de ráfagas de gases tóxicos. Es frecuente que un episodio volcánico de estas características conlleve a la formación de una caldera volcánica de colapso.

**Freatomagmático o hidromagmático:** las erupciones son consecuencia de la interacción entre el magma y un acuífero. Esto produce un choque térmico que genera gran presión por la formación de vapor de agua en el interior de la tierra y una explosión repentina y violenta que origina “maares”. Estas estructuras suelen estar rodeadas por un anillo de tobas con presencia de esferulitas de vidrio volcánico. En México, a los maares que albergan un lago en su interior se les conoce como “axalapascos” y a los que no los tienen “xalapascos”.



[Figura 11. Tipos de erupciones volcánicas (Holmes, 1980)]

### 5.1.2 Vulcanismo en el estado de Hidalgo

El estado de Hidalgo se encuentra entre dos grandes provincias geológicas, por un lado, en su porción sur ocupando una parte de la Faja Volcánica Trans-mexicana (FVTM), y en su porción norte, por la Sierra Madre Oriental. La FVTM consiste en un arco magmático continental, cuyo vulcanismo se asocia con la subducción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera por debajo de la placa de Norte América, a lo largo de la llamada Trinchera Mesoamericana. Este arco volcánico está constituido por más de 8,000 estructuras volcánicas que incluyen grandes

estratovolcanes, calderas, domos, campos de conos monogenéticos y algunos cuerpos intrusivos (Demant, 1978; Gómez-Tuena et al., 2005). La provincia tiene una longitud de ~1,000 Km y un ancho que varía entre 80 y 230 Km (Gómez-Tuena et al., 2005). En Hidalgo existen estructuras volcánicas importantes como la Caldera de Chichicuautila (Ledezma-Guerrero, 1987), la Caldera de Huichapan-Don Guinyó (Aguirre-Díaz y López-Martínez, 2009), la Caldera de Acoculco (Ledezma-Guerrero, 1987; López-Hernández, 2009); la Caldera de Tulancingo (De la Cruz y Castillo, 1986; López-Hernández, 2009); la Caldera Mezquital (Hernández-Avelino, 2008); el complejo dómico de los Pitos (Zamorano-Orozco et al., 2005); los complejos dómicos de El Yolo y Napateco (Solana-López, 2010); el volcán las Navajas (Nelson y Lighthart, 1997); el complejo volcánico Xiguingo-La Paila (Valadez-Cabrera, 2012), el campo volcánico Apan-Tecocomulco (García-Tovar et al., 2015), además de más de 200 estructuras menores tales como domos aislados, conos cineríticos y derrames de lavas de riolita y basalto. Todas estas estructuras se formaron a partir del Mioceno medio (ca. 13 Millones de años (Ma)) y algunas tuvieron actividad hace menos de 50 mil años (ka) (Xihuingo-La Paila; Ferrari et al., 2009; Martínez-Serrano, et al., 2022).

**Caldera Mezquital:** se ubica entre los municipios de Actopan e Ixmiquilpan y corresponde con una antigua superficie de colapso y erosión asentada en rocas del Cretácico (Formaciones El Abra y Soyatal), semicubierta por derrames y domos de rocas volcánicas del Paleógeno (andesitas y dacitas), rocas detríticas fluviolacustres del Eoceno-Oligoceno (Fm. El Morro) y Plioceno (Fm. Tarango), así como derrames fisurales de composición basáltica de edad plio-cuaternarios. Esta región ha sido levantada (500 a 600 m), por efecto de la resurgencia de una caldera que estuvo activa en el Oligoceno tardío ( $24.2 \pm 1.4$  Millones de años (Ma); Hernández-Avelino, 2008).

**Caldera de Huichapan:** es una estructura de forma semicircular de aproximadamente 8.5 km de diámetro y un volumen aproximado de  $65 \text{ km}^3$  ubicada entre los municipios de Huichapan y Nopala (Milán y Carrasco-Núñez, 1988). Esta puede distinguirse fácilmente mediante imágenes satelitales y fotografías aéreas y se caracteriza por la geomorfología que adoptan los depósitos de ignimbrita y lava que la circunscriben. Cuenta con amplias mesetas de formas lobulares, cuyos bordes se presentan como paredes verticales donde se exponen secuencias de ignimbrita, donde las capas de toba soldada son resistentes a la erosión. La estructura central se encuentra bordeada por un alto topográfico constituido por la acumulación de derrames andesíticos emitidos desde el anillo de colapso; al interior de la caldera se levanta el domo Hualtepec, de 3000 m.s.n.m. La caldera de Huichapan se formó por la erupción de diversos

flujos de ignimbrita (San Francisco y Don Guinyó), hace aproximadamente 4.2 Ma. El basamento se encuentra conformado por calizas del cretácico; una secuencia volcánica precedente de basaltos y riolitas del Grupo San Juan; la secuencia calderica constituida por las ignimbrita de San Francisco y Don Guinyó; y por último una secuencia posterior de andesitas, dacitas y basaltos (Milán et al., 1993).

**Caldera Panales:** La caldera panales se localiza al este de Ixmiquilpan ( $\pm 7$  km de diámetro), a unos pocos km al NW de la caldera mezquital, muestra altos topográficos que van de los 2300 a 2400 m.s.n.m. En esta caldera se tiene la exposición de la cámara magmática, representada por un afloramiento de un intrusivo de diorita al NE del cerro Siete Minas, que provoca metamorfismo de contacto en la roca caliza encajonante (Ortiz-Hernández et al., 2008).

**Caldera La Paila:** se ubica entre los municipios de Singuilucan-Tepeapulco y es una estructura tipo escudo. Está conformada por diversos flujos de lava de composición predominantemente andesítico-basáltica, los cuales se extienden radialmente cubriendo un área de aproximadamente  $83 \text{ Km}^2$  con un volumen de  $28 \text{ Km}^3$ . La estructura tiene una base casi circular con un diámetro de  $\sim 10.5$  km y su cima está coronada por un pequeño cráter ( $\sim 1$  km de diámetro) en forma de herradura abierto hacia el SW. Su elevación es de 3,175 m.s.n.m., y tiene una altura máxima de 625 m sobre el nivel del terreno circundante (Valadez-Cabrera, 2012). Las lavas emitidas por este volcán fueron muy fluidas como lo indican su amplia extensión y morfología de pendientes suaves. Esto sugiere que la actividad del volcán La Paila fue principalmente de tipo efusiva. El espesor de los flujos de lava es variable, entre los 5 y 8 metros. López-Hernández (2009) reporta una edad por el método radiométrico K-Ar de 800 mil años en las lavas del franco suroccidental, lo cual indica una actividad geológica reciente.

**Volcán Las Navajas:** descansando discordantemente sobre las rocas del Grupo Pachuca se encuentra el Complejo Volcánico Sierra de Las Navajas, cuyas evidencias geomorfológicas indican un colapso sectorial muy marcado hacia el noreste del volcán Las Navajas, formado hace dos millones de años en el Pleistoceno temprano (Lighthart, 2004; SGM, 2007). Este volcán produjo un depósito de avalancha de escombros que se extiende a más de 48 km de la fuente, cubriendo un área aproximada de  $510 \text{ km}^2$  y con un volumen aproximado de  $30 \text{ km}^2$ , que se encuentra bien expuesto en las paredes del cañón del río Grande de Tulancingo ubicado al norte de la zona de estudio. Las Navajas es un estratovolcán que tiene diferentes unidades litológicas de composición principalmente félsica (riolitas) con gran cantidad de ceniza y materiales vítreos. Su evento volcánico más reciente ocurrió hace poco más de 10 mil años y

emplazó la Traquita El Guajolote en Epazoyucan además de flujos piroclásticos con vidrio volcánico de donde se extrae obsidiana desde la época prehispánica, como uno de los depósitos más extensos del mundo (Cruz-Pérez et al., 2021).

**Caldera de Chichicautla:** se localiza a 5 km al oriente de Singuilucan y es considerada como parte de las Andesitas Apan por García-Palomo et al. (2002); se trata de un antiguo estratovolcán de 250 m de altura con forma de media luna y aproximadamente 6 km de diámetro, colapsado en su sector norte. Fue denominado caldera de Chichicautla por Ledesma-Guerrero (1987), con una antigüedad determinada por el método radiométrico K-Ar de 13.4 Ma. Está formada por una secuencia de brechas y lapilli en matriz de cenizas (Castro-García y Córdoba-Méndez, 1994). Dentro de la caldera se encuentra un pequeño cono volcánico denominado Tío Lolo, de 50 m de altura. La porción septentrional de esta caldera se encuentra cortada por una falla normal con rumbo N05°W.

**Caldera de Tulancingo:** está ubicada entre los municipios de Tulancingo, Cuautepec de Hinojosa y Santiago Tulantepec, tiene un diámetro aproximado de 32 km y una edad ca. 3 millones de años (López-Hernández, 2009). En esta caldera se encuentran depósitos piroclásticos potentes e intensamente silicificados que sobreyacen a la ignimbrita Alcholoaya que descansan directamente sobre rocas sedimentarias del Cretácico. En la actualidad estas secuencias se encuentran cubiertas por rocas volcánicas más recientes lo cual dificulta su identificación.

**Caldera de Acoculco:** relacionada se encuentra inmersa en la caldera de Tulancingo (con extensión mayor), es del tipo “anidado” y consiste en una estructura volcánica plio-plestocénica de 18 km de diámetro (López-Hernández et al., 2000). Se correlaciona con domos riolíticos anulares e ignimbritas de dos ciclos volcánicos principales, datados en 2.6-3 Ma y 1.3-1.8 Ma (López-Hernández et al., 2000). Esta estructura está cubierta por derrames lávicos que impiden su buena caracterización y permiten su identificación únicamente haciendo uso de imágenes satelitales.

**Calderas de Xhithi y Santa María Macua:** se encuentra en las inmediaciones de los municipios de Mixquiahuala de Juárez y Chilcuaula en el Valle del Mezquital, ha sido reportada, pero no hay estudios a detalle (Aguirre-Díaz et al., 2009) . Se presenta como una caldera de colapso hacia el E, donde se observan estructuras tipo “hummock” posiblemente asociadas a avalanchas de escombros.

[MAPA CLAVE ARST 05.1.1 – PÁGINA COMPLETA]

### **5.1.2.1 Campo volcánico Apan-Tecocomulco**

Se localiza entre los municipios de Apan y Tepeapulco en el suroeste del estado de Hidalgo, en la Altiplanicie pulquera, en los límites con Tlaxcala. En su parte basal, este campo volcánico (CVAT), presenta episodios volcánicos del Plio-Pleistoceno asociados con el domo Yehuelica, asentado sobre la falla Apan (NE-SW) (García-Tovar *et al.*, 2015). Este domo se encuentra cubierto por los depósitos piroclásticos del volcán Tlaloc y se manifiesta como grandes bloques de lava con edades pleistocénicas de 1 Millón de años (Ma). Otra estructura basal está conformada por un domo relativamente erosionado en las inmediaciones del poblado El Tepozán llamado Cerro Blanco. Este domo de aproximadamente 1.4 km y una altura de 350 m sobre el nivel regional tiene una edad de aproximadamente 3 Ma (Plioceno medio) y presenta en su cima afloramientos en forma de peñascos y bloques de lava de entre 4 y 5 m de espesor de composición dacítica. Hacia la porción NE del CVAT, afloran flujos masivos de obsidiana de color gris oscuro a negro, denominados Obsidiana Acoculco (García-Tovar *et al.*, 2015), datados en  $1.271 \pm 0.027$  Ma.

Cerca de la ciudad de Apan se hallan flujos de lava en los cerros El Toronjil, Cuautlatilpan y Avilés, los cuales se ubican sobre la falla NE-SW Apan-Tlálloc. Estas lavas de ca. 2.5 Ma cubren discordantemente andesitas, dacitas y riolitas del Mioceno (García-Palomo *et al.*, 2002; López, Hernández, 2009).

En el CVAT se han identificado 27 conos de escoria de composición basáltica a andesita basáltica, algunos de los cuales coronan a volcanes en escudo, y que de acuerdo con edades disponibles en literatura y fechamientos por el método K-Ar se formaron en un periodo inferior a 2 Ma. Los rangos de edad de estas estructuras oscilan entre los 600 mil y 188 mil años, lo cual representa un vulcanismo relativamente reciente. En 11 conos de escoria se encontró una asociación directa con flujos de lava que alcanzan hasta 8 km de longitud. Estos flujos de lava presentan espesores de entre 3 a 5 m de espesor y se distribuyen de manera radial con respecto al cono o en una sola dirección, siguiendo la topografía de la zona. La distribución de los conos de escoria monogénicos del CVAT parece seguir un patrón relacionado con la presencia de un sistema de fallas NE-SW.

En el CVAT existen tres volcanes escudo de composición de andesita basáltica, los cuales son Santa Ana, La Lagunilla y el Viejo de Tultengo, que se encuentran alineados en una dirección NE-SW, dentro del semigraben de Apan (García-Palomo *et al.*, 2002). El volcán Coyote se

ubica de manera aislada hacia la parte norte del CVAT. Las lavas de los volcanes se disponen radiales y presentan espesores de alrededor de 5 m. El emplazamiento de estas estructuras ocurrió en un tiempo relativamente corto, ya que comprenden edades entre los  $0.625 \pm 0.014$  Ma y  $0.538 \pm 0.014$  Ma. En el caso de las lavas del volcán Coyote, se sugiere que éstas tienen una edad relativamente similar a los otros volcanes escudo, ya que se encuentran sobre yacidas discordantemente por las lavas del cono de escoria de San José Coliuca, cuya edad es de 188 mil años. La porción SW del CVAT se encuentra cubierta parcialmente por depósitos piroclásticos del estratovolcán Tláloc, los cuales tienen una edad comprendida entre 31-37 mil años.

Finalmente, las planicies y subcuencas que circundan a las estructuras volcánicas plio-cuaternarias y miocénicas se encuentran rellenas por depósitos piroclásticos, fluviales y lacustres cuyos tamaños de partículas varían de bloques-gravas a arcillas y espesores alcanzan 400 m en promedio (Huizar-Álvarez 1997).

#### **5.1.2.2 Volcán Jocotitlán (Xocotépetl)**

El volcán Jocotitlán se compone de lavas andesíticas-dacíticas y se encuentra ubicado en la porción central de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) al norte de la cuenca de Toluca (Cuenca Ixtapantongo), a unos 60 km al noroeste de la Ciudad de México. Su cumbre actual alcanza unos 3950 m.s.n.m. Al norte del volcán Jocotitlán se encuentra el graben de Acambay, que tiene una dirección preferencial NNW-SSE (Dufresne *et al.*, 2010). El volcán Jocotitlán conserva un impresionante depósito de avalancha de escombros; el flanco norte del volcán se colapsó hace aproximadamente 9690 años, resultando en un depósito clasto-soportado carente de matriz y de material fino, que cubre unos 80 km<sup>2</sup> y que se encuentra alterado hidrotermalmente. Los eventos de colapso volcánico son una característica común de los estratovolcanes en todo el mundo y han producido grandes depósitos voluminosos de avalancha de escombros que alteran la forma del edificio volcánico y su paisaje circundante. Los depósitos tienen volúmenes de decenas de km<sup>3</sup>, y solo en ciertos casos han sido reportados depósitos de cientos de km<sup>3</sup>. Las áreas devastadas generalmente varían de unos pocos kilómetros a la redonda hasta extensiones de hasta 1000 km<sup>2</sup>, con distancias desde la fuente volcánica que van de 10 a 100 km; superior a 100 km las avalanchas se convierten en flujos de detritos muy móviles. En México, el 48% de los edificios volcánicos han producido uno o más depósitos debido a avalanchas de escombros (30 depósitos reconocidos en 21 volcanes; datos de Dufresne *et al.*, 2008).

### 5.1.2.3 Vulcanismo de la Sierra Nevada

La Sierra Nevada se conforma por los volcanes Tláloc, Telapón, Téyotl, Iztaccíhuatl y Popocatepetl (Macías, 2005).

**Popocatepetl:** es un estratovolcán (Aguilera y Ordóñez, 1895; Robin, 1984; Carrasco, 1985) ubicado en la región central de la FVTM, a aproximadamente 65 km de la Ciudad de México y a unos 45 km de la ciudad de Puebla. Ciclos eruptivos anteriores al edificio del Popocatepetl, dieron lugar a la formación y destrucción de otros volcanes conocidos como el Nexpayantla, el Ventorrillo y el Fraile (Macías, 2005; Espinasa, 2014). El cono del Popocatepetl está compuesto por la alternancia de depósitos piroclásticos y coladas de lava de composición andesítica-dacítica. Desde su reactivación en diciembre de 1994 después de 70 años de inactividad, el volcán Popocatepetl ha tenido etapas explosivas caracterizadas por la formación de domos de lava al interior del cráter (Delgado-Granados et al., 2001). Las cenizas producto de erupciones han alcanzado poblaciones como México y Puebla (Muñoz-Salinas, 2007). En dos ocasiones varios lahares han llegado a la Población de Santiago Xalitzintla producto de la actividad de este volcán (Sheridan *et al.*, 2001; Espinasa, 2014).

Desde 1895 se identificó al Popocatepetl como un estratovolcán con un cráter truncado, compuesto por una alternancia de depósitos piroclásticos y lavas de composición andesítica – dacítica (Aguilera y Ordoñez, 1895). En 1896 se reportó la emisión de siete fumarolas emitidas desde el cráter del Popocatepetl con temperaturas inferiores a 100 °C y la formación de un lago, de color azul verdoso, conformado por agua procedente de los deshielos y con una temperatura variable entre 28 y 52 °C. Durante los últimos 20 mil años, la actividad explosiva del Popocatepetl ha sido caracterizada por cuatro eventos mayores, con producción de pómez de caída y flujos de ceniza (14 mil, 5 mil, 2 mil 150 y mil 100 años) y cuatro menos expuestos, ocurridos hace 11 mil, 9 mil, 7 mil y mil 800 años. Las erupciones y la evolución del cráter cesaron en 1927 y se mantuvo tranquilo durante 67 años para reactivarse el 21 de diciembre de 1994. Los eventos eruptivos ocurridos hace 5 mil y mil 100 años, tuvieron una evolución muy similar; iniciaron con erupciones freatomagmáticas bastante violentas que dispersaron nubes turbulentas húmedas tipo surge a distancias mínimas de 20 km. Estos eventos permitieron la apertura del conducto volcánico y provocaron que el magma fuera emitido a grandes velocidades para formar una columna pliniana que alcanzó alturas mínimas de 25 km, para después ser transportada por los vientos estratosféricos en dirección N-NE-E (Macías, 2005).

El volcán Popocatepetl es monitoreado las 24 horas del día por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) mediante una red de 15 estaciones localizadas en diferentes altitudes hasta de 4300 msnm (Guevara et al., 2003). La distancia del volcán al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero es de ~ 114.53 km por lo que representa un muy bajo nivel de riesgo volcánico.

**Iztaccíhuatl:** el complejo volcánico Iztaccíhuatl se localiza en la parte central de la Sierra Nevada, a una distancia de aproximadamente 60 km de la ciudad de México y 45 km al noroeste de la ciudad de Puebla. Su máxima elevación es de 5,286 m.s.n.m y constituye el tercer pico más alto de México, después de los volcanes Pico de Orizaba y Popocatepetl. El Iztaccíhuatl presenta dos formaciones: Llano Grande e Iztaccíhuatl, con edades que varían del Pleistoceno temprano al Holoceno (García-Tenorio, 2002). La formación Llano Grande está conformada por la superposición de tres unidades volcánicas: Pulpito del Diablo, la caldera de Llano Grande y el volcán ancestral de Los Pies, así como domos periféricos y flujos de lava fisurales. La composición de las rocas de la Formación Llano Grande varía de andesítica-riolítica-dacítica, con edades entre 580 mil y 900 mil años y 1.09 Ma (Nixon, 1989; Cadoux *et al.*, 2011). La Formación Iztaccíhuatl incluye los más recientes depósitos de la actividad de cinco edificios volcánicos alineados en dirección NW-SE, que son de sur a norte: Los Pies, Rodillas, Pecho, Cabeza y Téyotl, así como flujos de lava fisural (andesita basáltica La Joya y la dacita Buena Vista) (Nixon 1989, García-Tenorio, 2002). Las rocas de esta formación varían de andesita a dacita y tienen edades entre 80, 270, 340, 410 y 580 mil años (Nixon, 1989). Además, en el límite sur del complejo volcánico Iztaccíhuatl ocurrió uno de los mayores eventos eruptivos durante el Holoceno, que fue el colapso de una parte del cono Los Pies, el cual conformó una gran avalancha de escombros hacia la porción SE del volcán (Siebe *et al.*, 1995; García-Tenorio, 2008). El cráter de esta avalancha es conocido como Amacuilecatl, que en la lengua náhuatl significa “lugar de los cinco vientos”. Su pared escarpada tiene una altitud máxima de 4,700 m.s.n.m. El colapso del cono reciente de los Pies ocurrió en el sureste del campo volcánico Iztaccíhuatl y consiste en depósito de avalancha de detritos asociado a depósitos piroclásticos. Esta avalancha se extiende en las laderas del cono Los Pies hasta 45 km de la fuente. De acuerdo a su distribución y morfología ésta avalancha se divide en dos facies: la proximal (desde los 13 a 16 km desde la cumbre); y la distal desde los 29 a los 45 km. Cubre un área aproximada de 550 km<sup>2</sup> de la cuenca de Puebla y la subcuenca del río Nexapa.

**Volcán Tláloc:** este se incluye dentro de la Formación Tláloc, con una edad estimada entre los 600 y 700 mil años (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). Sin embargo, los productos volcánicos más antiguos tienen edades entre 1.5 y 1.8 millones de años y pertenecen a bloques de lava embebidos en depósitos de flujos piroclásticos más recientes al noreste del Tláloc (Cadoux *et al.*, 2011). Alrededor del primer edificio volcánico fueron emplazados algunos domos (ca. 1.4 Ma) que hoy están cubiertos por depósitos volcánicos más jóvenes, pero que generaron cenizas y flujos de lava que empezaron a construir el edificio moderno. La construcción del Telapón inició con la emisión de lavas dacíticas al norte del volcán con edades pleistocénicas (940-840, 680 mil años) (Cadoux *et al.*, 2011). Posteriormente, reanudó su actividad hace 129 mil años con la emisión de domos y lavas riolíticas, distribuidas al este del domo de la cumbre. Durante el Pleistoceno tardío, se produjeron cinco eventos explosivos en el volcán Tláloc entre 43 y 18 mil años (Rueda *et al.*, 2006).

**Volcán Telapón:** se ubica al este del estado de México, en el municipio de Ixtapaluca, al este de la Ciudad de México a una elevación máxima de 4080 m.s.n.m. Este edificio volcánico está constituido por una serie de flujos de lava dacítica que se elevan desde altitudes de ~ 2400 m.s.n.m hasta su cima, teniendo una altitud aparente de ~ 1,660 m. El cono presenta una morfología suave debido a la superposición de emisiones de flujos de lava desde el cráter central que en su mayor extensión alcanzan hasta 4 km hacia el sur. El Telapón se puede considerar un complejo volcánico que se formó a partir de dos eventos: el Evento volcánico Inferior de composición andesítica-dacítica fechado entre 1.03 y 0.65 millones de años y el Evento Volcánico Superior de afinidad dacítica-riolítica con edades de entre 650 y 35 mil años cuando se formó la cima del volcán (274 mil años) (García-Tovar y Martínez-Serrano, 2011; Cadoux *et al.*, 2011).

#### **5.1.2.4 Nevado de Toluca**

El Nevado de Toluca es un estratovolcán que se levanta 2,100 m sobre el altiplano de la cuenca del Alto Lerma, y 3,100 m sobre la región de Ixtapan de la Sal y de Tonatico. Su cráter fue destruido por la erupción que tuvo lugar hace aproximadamente 10 mil años. El volcán se encuentra asentado sobre la intersección de tres sistemas de fallas: Taxco-Querétaro (NNW–SSE), San Antonio (NE–SW) y Tenango (E–W) (García-Palomo *et al.*, 2002).

El volcán Nevado de Toluca se ha caracterizado por erupciones muy explosivas con períodos largos de descanso. La actividad se puede dividir en dos etapas: durante la primera, entre 1.2 y

1.6 Ma, se formó el volcán primitivo compuesto de lavas andesíticas sobre un basamento compuesto por secuencias metamórficas y sedimentarias (Cantagrel *et al.*, 1981).

Entre la primera y segunda etapa de actividad volcánica, la actividad tectónica y la erosión (gravitacional y fluvial) formaron los valles de los ríos San Jerónimo y Chontalcuatlán, así como algunos menores como los de los arroyos Merua, Los Tizantes, El Jabalí, Calderón, Santa María, Arroyo Grande, Tlacapa, La Fábrica y La Ciervita. Los lahares transformados por la actividad fluvial se han encontrado río abajo, como depósitos de conglomerados, dentro de la cueva de Cacahuamilpa (Cserna y Fries, 1981; Capra, 2000).

La segunda etapa (hace 100 mil años) se inicia con dos colapsos gravitacionales que produjeron grandes avalanchas de escombros (Macías *et al.*, 1997). Una erupción pliniana que ocurrió hace 43 mil años produjo el Flujo de Pómez Rosado (Macías *et al.*, 1997). Después de este evento eruptivo se presentan dos eventos de destrucción de domos que producen el depósito de los flujos de bloques y ceniza Zacango (37 mil años) y El Capulín (28 mil años) (Bloomfield y Valastro, 1977; Macías *et al.*, 1997). Entre estas dos erupciones se emplazó el domo parásito del Cerro Gordo. Posterior a estos eventos el Nevado de Toluca presenta una erupción vulcaniana hace 26 mil años que deposita el Flujo de Pómez Blanco. A continuación, se presenta una erupción pliniana, que deposita la Pómez Toluca fechada por Bloomfield *et al.* (1977) en más de 24 mil años. Posteriormente, el volcán presenta cinco erupciones vulcanianas, de las cuales se han fechado el flujo de pómez La Ciervita (24 mil años); ceniza Las Huertas (15 mil años; Newton y Metcalf, 1999) y el flujo de pómez MF2 (13 mil años). Una nueva erupción pliniana, ocurrida hace 12 mil años, deposita la Pómez Blanca Intermedia (Cervantes de la Cruz, 2001). Finalmente, en la cumbre del Nevado de Toluca se depositaron extensas capas de pómez de caída, la Pómez Toluca Superior, producto de una erupción ultraplina ocurrida hace 10 mil años (Arce, 1999), la cual produjo una columna eruptiva de más de 35 km. La actividad volcánica concluye con el emplazamiento del domo El Ombligo. Probablemente la última erupción del Nevado de Toluca está representada por los depósitos piroclásticos de hace aproximadamente 3 mil años (Macías *et al.*, 1997).

### **5.1.3 Análisis de la peligrosidad volcánica**

La amenaza volcánica se determina con base en el conjunto de eventos que ocurren durante una erupción volcánica (e.g. coladas de lava, flujos piroclásticos, caída de cenizas y lahares), los cuales pueden provocar daños significativos a los habitantes o a la infraestructura local. Mientras que, el peligro volcánico se define como la expectación de la incidencia de un

fenómeno ligado a la actividad volcánica (Ortiz, 1996), y se expresa como la probabilidad de que ocurra el fenómeno en un determinado período de tiempo. Así, el peligro volcánico se analiza con base en los eventos evolutivos del volcán (IGE, 2002) y se representan cartográficamente con base en la extensión susceptible de afectación por los materiales que produce un volcán durante el desarrollo de su actividad.

Martínez et al., (2006) estima conveniente el trazado de una circunferencia de un mínimo de 35 km a un máximo de 100 km de diámetro (la distancia establecida es arbitraria), tomando como centro el área de interés, e identificar los volcanes dentro del círculo. Sin embargo, el Instituto Smithsonian (2013) utiliza distancias preestablecidas 5, 10, 30 y 100 km para identificar las zonas vulnerables considerando como punto de origen la cima del volcán de interés. El establecimiento de un área “*buffer*” se encuentra en función a la distancia de afectación principalmente por flujos de lava, lahares (flujos de detritos), flujos piroclásticos, flujos de colapso como avalanchas de escombros y depósitos de bloques y ceniza, y cenizas (caída de ceniza y dispersión, ésta última que afecta directamente el tráfico aéreo), respectivamente. Además, el radio de afectación puede variar según factores tales como diferencias en elevación entre el volcán y las áreas amenazadas, la pendiente, la morfología de los canales fluviales, y los vientos predominantes. Existen evidencias de que algunos productos volcánicos como la caída de cenizas alcanzan distancias mayores a los 800 km, lahares de hasta 300 km y flujos de lava mayores a 100 km (Tabla 27).

**Tabla 27.** Propiedades físicas de los procesos volcánicos.

Amenaza	Alcance máximo (km)		Área afectada (km <sup>2</sup> )		Velocidad (ms <sup>-1</sup> )		Temperatura (°C)
	P	M	P	M	P	M	
Caída de ceniza	20-30	>800	100	>100,000	15	30	Ambiente
Proyectiles balísticos	2	15	10	80	10-50	100	1,000
Flujos piroclásticos y avalanchas de escombros	10	100	5-20	10,000	20-30	100	600-800

Lahares	10	300	5-20	200-300	3-10	>30	100
Flujos de lava	3-4	>100	2	>1,000	5	30	700-1150
Lluvia ácida y gases	20-30	>2,000	100	20,000	15	30	Ambiente
Ondas de Choque	10-15	>800	1,00	>100,000	300	500	Ambiente
Rayos	10	>100	300	3,000	12X10 <sup>6</sup>	12x10 <sup>5</sup>	Por encima del punto de incandescencia

**P=** Promedio, **M =** Máximo. **Fuente:** Martínez *et al.*, 2006.

En función de esto, Aceves (2006) menciona que los flujos piroclásticos son los productos volcánicos más peligrosos debido a su alta capacidad de destrucción y porque al presentarse es imposible realizar alguna acción de defensa con la finalidad de mitigar los daños o para escapar de sus efectos (p. ej. la erupción del Volcán de Fuego de 2018 en Guatemala). En orden de importancia descendente, las amenazas volcánicas con mayor capacidad destructiva son los flujos piroclásticos, seguidas de las avalanchas de escombros y lahares (su alta capacidad destructiva se define por el entramado fluvial de la zona de influencia del volcán) y, finalmente la caída de cenizas.

### 5.1.3.1 Amenaza volcánica para Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero

Los radios de afectación de los volcanes activos más cercanos al municipio se cartografiaron respecto a una distancia “*buffer*” con cinco niveles de amenaza con base en los eventos volcánicos que presentan y de acuerdo con el tipo de erupción recurrente del volcán en cuestión (distancias a 5, 10, 30, 60 y 100 km). Además, se estableció un radio de posible impacto volcánico de aproximadamente 50 km desde los límites geopolíticos del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. A pesar de que el estado de Hidalgo cuenta con una gran proporción de estructuras volcánicas, las edades de sus últimas erupciones superan los 2 Ma y no hay evidencias que hagan pensar en una posible actividad próxima, por lo tanto se descarta una amenaza volcánica local. A pesar de ello, se realiza un análisis del panorama por riesgo volcánico para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

La fuente más cercana de vulcanismo en el pasado geológico reciente es el Campo Volcánico Apan – Tecocomulco (CVAT), que se encuentra ubicado a una distancia de ~ 27.10 km. También se encuentra el Cerro de las Navajas (21.32 km) y la caldera de Acoculco (19.2 km), sin embargo, debido a la inactividad de estos cuerpos volcánicos durante todo el Holoceno (últimos 11.5 ka) se considera un riesgo de bajo a muy bajo.

La distancia del volcán Jocotitlán al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero es de ~147 km, mientras que para los volcanes Telapón y Tlaloc es de aproximadamente 82 km, por esto se considera que el riesgo por afectación volcánica es muy bajo. El mismo escenario se presenta para los volcanes Iztaccíhuatl, Popocatepetl y Nevado de Toluca (~ 98, 115, 176 km de distancia, respectivamente), este último con riesgo extremadamente bajo.

El único volcán activo de este sistema montañoso es el Popocatepetl, que a finales de 1994 inició una nueva etapa de actividad, expulsando ceniza y óxidos de azufre sumamente tóxicos. Entre las consecuencias a la salud en las comunidades aledañas, las personas manifestaron molestias en la garganta (ardor y sequedad), tos, disnea, expectoración, constricción del tracto respiratorio y alteración de la función pulmonar. Dichas molestias fueron más recurrentes en la cercanía del volcán (<15 km del cráter) y disminuyeron con la distancia. De igual forma en el mes de mayo del 2023 el mismo volcán emitió derrames piroclásticos sobre localidades cercanas, además de gran cantidad de ceniza que se dispersó en los estados vecinos y causó problemas menores a la infraestructura. En el caso de la dispersión de ceniza, CENAPRED señala que esta puede alcanzar distancias de hasta 80 km del cráter, pero debido a la dirección de los vientos, esta dispersión de ceniza sucede preferentemente en dirección al SE. Por lo anterior, el riesgo que representa el Popocatepetl es muy bajo para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Por otra parte, el análisis de vulnerabilidad se realizó con base en una Cuestionario Participativo, donde autoridades y representantes de la sociedad llenaron encuestas a informantes de calidad y registros de Protección Civil, del cual se obtuvo que la percepción local de la amenaza (para los eventos volcánicos más comunes, p. ej. flujo de lava, lahares, flujos pirotécnicos y cenizas) es inapreciable; por tanto se concluye que el riesgo de exposición a procesos volcánicos para el Municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero es muy bajo.

Sin embargo, es preciso que se dé seguimiento a la actividad volcánica y se confeccionen mapas de acción y mitigación que sean útiles a la dirección de Protección Civil.

**Tabla 28.** Ubicación relativa del vulcanismo respecto al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

<b>Vulcanismo dentro del Estado de Hidalgo</b>					
<b>Volcán</b>	<b>Tipo</b>	<b>Rocas</b>	<b>Distancia al municipio (km)</b>	<b>IEV</b>	<b>Última erupción</b>
Mezquital	Caldera	Andesita	79	Desconocido	24 Ma
Huichapan-Don Guinyó	Caldera resurgente	Riolita, Andesita, Dacita	140	Desconocido	4.2 Ma
La Paila	Escudo	Andesita, Basalto	86	Desconocido	0.8 Ma
Las Navajas	Estratovolcán	Riolita	21	3	2 Ma
Chichicuautla	Caldera	Andesita	14	Desconocido	13.4 Ma
Tulancingo	Caldera	Riolita	36	Desconocido	3 Ma
Acoculco	Caldera anidada	Riolita	36	Desconocido	1.3 Ma
Apan-Tecocomulco	Campo volcánico	Basalto, Riolita	35	Desconocido	0.2 Ma
<b>Vulcanismo fuera del Estado de Hidalgo</b>					
<b>Volcán</b>	<b>Tipo</b>	<b>Rocas</b>	<b>Distancia al municipio (km)</b>	<b>IEV</b>	<b>Última erupción</b>

Jocotitlán	Estratovolcán	Dacita	198	4	12 mil años
Popocatepetl	Estratovolcán	Andesita	120	4	Desde hace 26 años
Iztaccíhuatl	Complejo volcánico	Andesita	104	Desconocido	80 mil años
Telapón	Estratovolcán	Andesita, Dacita	82	Desconocido	0.34 Ma
Tláloc	Campo volcánico	Dacita	78	Desconocido	18 mil años
Nevado de Toluca	Estratovolcán	Riolita	184	3	3 mil años

**IEV**=Índice de explosividad volcánica

[MAPA CLAVE ARST 05.1.2 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.1.3 – PÁGINA COMPLETA]

## 5.1.2 Sismos

Los sismos son movimientos bruscos producidos en el interior de la Tierra debido a la interacción entre las placas tectónicas. Estas placas son unidades de corteza discontinua que se encuentran en movimiento continuo a causa de las corrientes de convección del manto terrestre que las empujan en diferentes direcciones. La interacción entre placas genera tres límites (convergentes, divergentes y transformantes) donde se presentan sismos que son monitoreados a nivel mundial y nacional (ej. Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS; Servicio Sismológico Nacional, SSM). Si bien los sismos se generan en todos los límites de placas, en México son de gran importancia los que ocurren por la convergencia/subducción de la placa de Cocos/Rivera por debajo de la Norteamericana frente a las costas desde Nayarit hasta Chiapas, además de los sismos en el límite transformante entre la placa del Pacífico y Norteamericana en el Golfo de California que afectan a los estados del noroeste del país.

Ambos sistemas tectónicos controlan la gran mayoría de sismos en el territorio nacional y también desencadenan los de mayor magnitud.

Por otra parte, la dispersión de las ondas sísmicas depende de las propiedades del terreno y la distancia en que se transmiten. Un subsuelo sólido/denso tiende a aumentar la aceleración de las ondas, por lo tanto, al dispersarse rápidamente por el terreno no deberían causar grandes daños. En el caso contrario, donde el suelo es poco sólido y presenta un alto contenido de agua, las ondas disminuirán su aceleración y se “estacionaran” por un lapso mayor, interactuando intensamente con la infraestructura y causando daños. Así mismo, entre más cercanía exista con el epicentro del sismo (lugar en la superficie donde se genera) los daños serán mayores, aunque esto también depende de las propiedades e infraestructura existente.



[Figura 12. Placas tectónicas de México]

fa

El análisis del peligro sísmico se realizó con base en la ubicación geográfica del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero con respecto a la Regionalización Sísmica del CFE, (2015). De esta manera, el municipio recae en la Zona B donde la amenaza sísmica está condicionada a sismos de menor frecuencia y aceleración del terreno menor a 70%, y por lo tanto el peligro es bajo a muy bajo. Con interpolaciones de datos sísmicos de estaciones del Servicio Sismológico Nacional (SSN) se ha determinado que la aceleración máxima del terreno esperada para periodos de retorno de 10, 100 y 500 años es de 44, 71 y 133  $\text{cm/s}^2$ ,

respectivamente. A pesar de ello, es necesario reglamentar las construcciones civiles y gubernamentales con base en estándares internacionales de construcción sismo-resistente, ya que se pueden presentar sismos atípicos como el del 19 de septiembre de 2017, que afectó grandes extensiones del centro-sur del país e incluso daño estructuras inmuebles en Hidalgo.

Posteriormente, se analizaron los datos históricos de epicentros de la base de datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN), lo cual nos permite confirmar que Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se ubica en una zona de peligro sísmico sumamente bajo. Cabe destacar que el epicentro más cercano al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero con mayor intensidad ocurrió el 25 de febrero de 1994 se ubicó al suroeste, en el municipio de Singuilucan a alrededor de 18 km de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, y tuvo 3.8 grados en la escala de momento sísmico (Mw). A pesar de la cercanía, el sismo apenas fue sentido en las inmediaciones y no causó daños cuantificables. A pesar de ello, no se puede descartar del todo la amenaza sísmica, pues los movimientos telúricos son impredecibles en su magnitud, epicentro y ocurrencia.

[MAPA CLAVE ARST 05.2.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.3.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.3.2 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.3.3 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.3.4 – PÁGINA COMPLETA]

### **5.1.3 Tsunamis**

El término tsunami es un vocablo de origen japonés; internacionalmente se ha usado para designar el fenómeno que en español se denomina maremoto. Consiste en una secuencia de olas que se generan cuando cerca o en el fondo del océano ocurre un terremoto, debido a una ruptura de la corteza oceánica, por deslizamientos submarinos o por la fricción que se genera en las zonas de subducción (tectónicas). Estas olas tienen la particularidad de arribar a la costa a gran altura y debido a ello pueden provocar efectos destructivos en la infraestructura costera, pérdida de viviendas y la muerte de personas.

Cabe mencionar que los tsunamis de origen sísmico se clasifican en locales, regionales y lejanos o transoceánicos. Los tsunamis locales provocan una inundación que generalmente queda confinada a lo largo de la costa y es cercana el área afectada por el terremoto que lo

genera, a veces puede alcanzar distancias de hasta 100 km afectando zonas aledañas al área cercana al epicentro. Los tsunamis regionales son capaces de causar destrucción a distancias de hasta más de 1000 km desde el epicentro, tardando en arribar a las costas un lapso de tiempo de entre 2 a 3 horas desde su origen. Finalmente, los tsunamis lejanos o transoceánicos son los que se originan en la margen occidental del Océano Pacífico y tardan entre 8 y 12 horas para llegar a las costas de Pacífico mexicano. Los tsunamis de origen lejano para México pueden causar daños considerables en a lo largo de toda la costa del Pacífico (desde Baja California hasta Chiapas), cuando el terremoto que los origina es de gran magnitud (9 a 9.5 de magnitud).

Núñez-Cornú *et al.* (2008) señalan que se han registrado al menos 60 tsunamis en las costas mexicanas durante los últimos 250 años. Los tsunamis de origen lejano han presentado olas de 2.5 m de altura, y los de origen local han tenido olas de aproximadamente 5 m y excepcionalmente hasta 10 m de altura, causando pérdida de vidas y bienes con la consecuente destrucción de comunidades. De acuerdo con el Centro de Alerta de Tsunami de la Secretaría de Marina, el último tsunami registrado en el Pacífico mexicano fue el 21 de enero de 2003, en las costas de Cuyutlán, en el municipio de Armería del estado de Colima, el cual se originó 12 minutos después de un sismo, dicho tsunami no tuvo graves consecuencias, mientras que uno de los más devastadores se registró en la misma localidad el 3 de Junio de 1932 después de un gran terremoto de magnitud 8.2 en la escala de Richter (Okal y Borrero, 2011).

**Tabla 29.** Sismos más fuertes que han afectado al Océano Pacífico y producido tsunamis.

Lugar	Fecha	Escala de Magnitud	Altura del oleaje	Efectos en las costas mexicanas
Chile	22/05/1960	9.5	8 metros	Escaso
Indonesia	27/12/2004	9.3	30 metros	Escaso
Chile	27/02/2010	8.8	5 metros	Escaso
Japón	11/03/2011	9.2	4 metros	Moderado
Indonesia	28/09/2018	7.5	11 metros	Escaso

La mayoría de los tsunamis se originan por los terremotos que suceden en el Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, a lo largo de las zonas de subducción de los bordes de las placas tectónicas, aunque históricamente se han presentado escasos sismos que produjeran tsunamis lejanos (Tabla 29). En México, el mayor riesgo son los tsunamis locales generados por terremotos en la Fosa Mesoamericana, que es la zona de hundimiento de las placas de Cocos y de Rivera bajo la placa de Norteamérica, adyacente a la costa occidental de México frente a la costa, y que se extiende desde Jalisco hasta Chiapas (Centro de Alerta de Tsunami SEMAR, 2012).

Los estados que pudieran ser afectados directamente por tsunamis son: Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, los cuales se encuentran expuestos a tsunamis locales y lejanos, mientras que Baja California, Sonora y Sinaloa, están expuestos a tsunamis lejanos y regionales (Centro de Alerta de Tsunami SEMAR, 2012). En el caso del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, la amenaza por tsunamis es nula debido a que se encuentra a una gran distancia en línea recta a las costas del Pacífico mexicano (ca. 385.19 km), además de una altura de más de 2100 metros sobre el nivel del mar.

[MAPA CLAVE ARST 05.4.1 – PÁGINA COMPLETA]

## **5.1.4 Inestabilidad de laderas**

La inestabilidad de laderas, movimientos en masa o procesos gravitacionales son parte de la dinámica natural de la superficie terrestre y junto con la erosión y el intemperismo constituyen los procesos que contribuyen a la formación del relieve y sus geoformas (Rubiano-Vargas y Ramírez-Cortés, 2009). Su origen obedece a procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la superficie terrestre y en la interfase con la hidrósfera y la atmósfera. Cruden (1991) los define como el movimiento de una masa de roca, detritos o tierra a lo largo de una ladera por efecto de la gravedad. Varnes (1978) los clasifica en: caídas o desprendimiento, volcaduras, deslizamientos, desprendimientos o extensiones laterales, flujos y movimientos complejos.

En esta clase de riesgo se hace referencia al movimiento que existe en una porción del terreno o talud pendiente abajo, donde los fragmentos de roca y vegetación que se encuentra dentro de una masa terrosa se desplazan de manera violenta, de manera que el flujo siempre estará influenciado por la gravedad, variando la velocidad del mismo, pudiendo ser rápido o lento, así

como seco o húmedo. Generalmente estos son más comunes en los flancos de una montaña, barranca o a lo largo de una superficie de contacto de falla.

La estabilidad de una ladera depende de factores internos o factores condicionantes (litología, hidrología, estructuras, discontinuidades, uso de suelo, etc.) y los factores externos o detonantes (lluvias, sismos, actividad volcánica y actividad antrópica), y estos dos factores se encuentran relacionados directamente con las propiedades físicas del terreno (Terzaghi, 1950; Selby, 1993; Hauser, 1993; Rubiano-Vargas y Ramírez-Cortés, 2009). Las causas externas son aquellas que producen un incremento en la tensión o esfuerzos dentro del subsuelo, pero no en la resistencia de los materiales que lo componen, mientras las causas internas disminuyen la resistencia de los materiales sin modificar la tensión o esfuerzos. Entre los cambios de tipo externo más importantes se encuentran los cambios geométricos o de carga que sufren las laderas (como resultado de erosión, socavamiento, incisión de un río, excavaciones artificiales, cargas y descargas), las tensiones transitorias naturales y artificiales a las que son expuestas (sismos, vibraciones por explosiones o uso de maquinaria pesada) y los cambios en el régimen hidrológico (intensidad y duración de las precipitaciones, entre otros). Los principales cambios de tipo interno se relacionan con la transformación de los materiales a través de movimientos progresivos (por expansión lateral, fracturas, entre otros), procesos de intemperismo y erosión. Highland y Bobrowsky (2008) agrupan los factores condicionantes y detonantes en geológicos, físicos (detonantes), morfológicos y antrópicos (Tabla 30).

**Tabla 30.** Causas y mecanismos que desencadenan los procesos gravitacionales.

Geológico	Físico	Geomorfológico	Antrópico
Materiales débiles	Precipitación intensa	Levantamientos tectónicos o volcánicos	Excavación de la ladera o al pie de la ladera
Materiales sensibles	Derretimiento rápido de nieve o hielo	Erosión glacial	Incremento de peso en la ladera
Materiales intemperizados	Eventos de precipitación extraordinarios	Erosión fluvial a pie de ladera	Desecación de cuerpos de agua (presas)
Materiales cizallados	Actividad sísmica	Erosión marina en litoral rocoso y arenoso	Deforestación

Materiales fisurados con diaclasas	Erupciones volcánicas	Erosión glacial	Irrigación
Discontinuidades orientadas (esquistosidad, estratificación)	Gelifracción	Erosión subterránea (karsticidad)	Actividad minera
Discontinuidades estructurales (fallas, fracturas, discordancias, contactos)	Expansión e hidratación de arcillas (expansión-contracción)	Remoción de la vegetación	Vibraciones artificiales
Permeabilidad (nivel freático)	Inundaciones		Perforaciones
Contraste en la competencia de materiales (diferente plasticidad)			Fugas en el servicio de abastecimiento de agua potable

**Fuente:** Brundsen, 1984; Crozier 1986; Cruden y Varnes, 1996, Highland y Bobrowsky, 2008.

**Fallas y fracturas:** de acuerdo con los datos consultados en el INEGI, dentro del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero no se encuentran fallas geológicas de importancia ni fracturas.

#### **5.1.4.1 Análisis de los factores que influyen en la susceptibilidad a movimientos de ladera**

Con base en la selección de los factores condicionantes que producen un movimiento gravitacional se asignan pesos o ponderaciones en función de su influencia relativa en la inestabilidad. Posteriormente, se determina analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de Saaty (1980). Con este método se crea primero una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido en este caso por el número de factores de inestabilidad, a cada elemento de la matriz se le asigna un peso que es un valor en el cual se representa la importancia relativa del factor de su fila con respecto al de su columna en cuanto a una posible inestabilidad. Los

factores y/o variables que se consideraron para determinar la susceptibilidad por movimientos en masa fueron el uso de suelo y vegetación, pendiente, geología (tipo de roca) y edafología.

**Inclinación de la pendiente:** la pendiente constituye un factor muy importante en la evaluación para el análisis de susceptibilidad a los movimientos gravitacionales. Para llevar a cabo el análisis de susceptibilidad, se consideraron cinco rangos o grados de pendiente: llanuras ( $< 1^\circ$ ), laderas con suave pendiente (1 a  $5^\circ$ ), pendientes moderadas (5 a  $15^\circ$ ), pendientes fuertes (15 a  $25^\circ$ ), y el último corresponde a pendientes escarpadas ( $25$  a  $45^\circ$ ) y pendientes muy escarpadas ( $>45^\circ$ ). Además, en términos de susceptibilidad, las pendientes que son muy escarpadas y escarpadas es donde mayoritariamente ocurren los procesos de remoción en masa, deslizamientos, caída de rocas y erosión tanto hídrica como eólica.

**Tabla 31.** Susceptibilidad a movimientos en masa por la inclinación de la pendiente.

Pendiente	Susceptibilidad		Descripción
	Grados	Índice	
$< 1^\circ$	1	Muy bajo a nulo	Poco susceptible a movimientos en masa, pero es afectado por eventos originados en las zonas de mayor pendiente.
$1^\circ$ a $5^\circ$	2	Bajo	Afectados por acumulación de material transportado por flujos de detritos.
$15^\circ$ a $25^\circ$	3	Medio	Susceptible a reptación y agrietamientos.
$25^\circ$ a $45^\circ$	4	Alto	Susceptible a movimientos rotacionales y traslacionales, caída de roca, avalancha y flujo de detritos, erosión hídrica y eólica.
$>45^\circ$	5	Muy alto	Susceptible a avalancha de rocas, caída de roca, deslizamientos rotacionales, asociados a sismos o taludes en carretera.

**Geomorfología:** La disección vertical es un parámetro geomorfológico que representa la amplitud del relieve (altura relativa) por unidad de área y se expresa en  $m/km^2$ . Sirve

principalmente para definir algunos tipos de relieves (tales como montañas, lomeríos, planicies, planicies onduladas y planicies subhorizontales), además de que ofrece información sobre la energía del relieve. Con base en esto, para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se definieron dos topoformas primarias: 1) Lomerío de tobas con llanuras y 2) Valle de ladera tendida.

**Uso de suelo y vegetación:** Con base en la cobertura del suelo se determinó que las áreas deforestada, las áreas sin vegetación aparente, pastizales y agricultura de temporal son las más susceptibles a sufrir procesos gravitacionales, mientras que los bosques de encino y los bosques de pino y coníferas son los menos susceptibles.

**Distancia del drenaje:** La ubicación de la red de drenaje superficial considera la susceptibilidad de acumulación de humedad en el suelo y se determina con base en la dirección y acumulación de flujos.

**Forma de la pendiente:** En términos de susceptibilidad, la forma de la pendiente permite definir áreas de captación específica lo cual condiciona, junto a la dirección y acumulación de flujos, el grado de humedad del suelo, sin considerar la capacidad de retención de humedad, permeabilidad y percolación del suelo.

**Tipos de roca:** La determinación de la susceptibilidad de las rocas es sumamente compleja y está se define con base en la agrupación de diferentes tipos de rocas en formaciones geológicas, las cuales condicionan su competencia geomecánica (discontinuidades) y resistencia (meteorización). En ése sentido, se evaluó el tipo de material presente en el territorio municipal, el tipo de material dominante, tipo de estructuras o discontinuidades presentes (además se consideró la descripción de los macizos rocosos).

**Distancia de fallas:** se consideró la ubicación relativa de las fallas activas dentro del municipio. Las distancias *buffer* que condicionan la susceptibilidad es de 100 a 20 m. Donde 20 m representa la mayor susceptibilidad y 100 m la menor susceptibilidad. Para el caso de municipio este criterio no es requerido debido a la ausencia de fallas en el territorio.

Una vez obtenidos las ponderaciones de los factores se realiza la suma lineal ponderada de pesos de variables y clases, empleando la siguiente ecuación:

$$I = \sum_{j=1}^n W_j * X_{ij}$$

Donde:

I= Índice de susceptibilidad

Wj= Peso del factor j

Xij=Peso de la clase i del factor j (Valores normalizados de cada mapa)

N= Número de factores

**Tabla 32.** Matriz de susceptibilidad de las rocas y resistencia al corte.

Susceptibilidad		Litología
Índice	Grado	
1	Muy bajo	Material aluvial, permeable, compacto y presencia de nivel freático bajo, caliza permeable, intrusivos poco fracturados y bajo nivel freático, basaltos, andesitas, ignimbrita y otras rocas sanas, permeables y poco fisuradas; rocas metamórficas sanas, poco fisuradas y bajo nivel freático. Con las siguientes características mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización apreciable, elevada resistencia al corte, fisuras poco alteradas y sin relleno.
2	Bajo	Rocas sedimentarias poco o nada alteradas, macizos rocosos pocos fisurados y nivel freático bajo, rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbrita, sedimentos aluviales poco compactado con matriz fina, drenaje moderado y nivel freático a profundidades intermedias. Estas rocas presentan alta resistencia al corte y cizalla.
3	Medio	Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, lavas, ignimbrita, tobas poco soldadas, rocas metamórficas como gneises y esquistos, coluvión, lahar, arena, suelos residuales levemente compactados con drenaje poco desarrollado y niveles freáticos relativamente altos. Estas rocas presentan de moderada a media resistencia al corte y fracturas importantes.
4	Alto	Sedimentos aluviales, fluvio-lacustres, piroclásticos poco compactados y sectores con alteración hidrotermal; rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente y con rellenos arcillosos y niveles freáticos someros: Las rocas presentan resistencia al corte moderado con presencia frecuente de arcillas.

5

Muy  
alto

Materiales aluviales, coluviales y residuales de muy baja calidad mecánica, rocas muy alteradas, drenajes muy pobres. La resistencia de las rocas al corte resulta muy baja, se presenta matriz en gran cantidad.

#### 5.1.4.2 Clasificación de los deslizamientos de ladera

Se usan diferentes criterios para poder clasificar distintos eventos que se basan en el mecanismo de ruptura y propagación de un deslizamiento.

**Deslizamiento:** se produce sobre una o varias superficies de ruptura que se encuentren bien definidas, donde la masa de roca se desplaza en conjunto, comportándose como un todo y prácticamente sin adoptar deformaciones internas durante su recorrido. La velocidad con que este evento ocurre dependerá del volumen o la cantidad de material que éste transporte.



**Figura 13.** Deslizamiento producto de escorrentías de agua, afectando la infraestructura de la localidad Rancho El Mirador

**Flujo:** Dentro de este criterio, existen distintos movimientos que se pueden agrupar de acuerdo a la deformación interna y a la ausencia de total de una superficie de desplazamiento, este proceso se asemeja a una franja de deformación y sus rasgos más marcados se encuentran influenciados por el contenido de agua y la velocidad con la que el fenómeno se desarrolla.

Los sitios que dan origen a estos movimientos están representados por lugares que contengan laderas cubiertas, material no consolidado (arcilloso) y el motor principal que desencadena el proceso casi siempre será la saturación del material con agua. Los más comunes llegan a ser el movimiento de los suelos, algunas coladas de tierra o barro, flujos de derrubios o bloques rocosos.



**Figura 14.** Evidencia de flujos de detritos en la localidad de Tilhuacán, producto de la erosión hídrica que presenta la zona.

**Desprendimiento:** Es el movimiento de masas rocosas de cualquier tamaño de roca o suelo que se presentan en forma de bloques masivos aislados. El movimiento de este fenómeno gravitacional se produce principalmente en sentido vertical, debido a la caída libre de

fragmentos desde el macizo rocoso afectado por discontinuidades (fallas, fracturas, diaclasas). La topografía necesaria para que se presente un desprendimiento es de escarpes, acantilados y pendientes fuertes.

**Movimientos Complejos:** Estos resultan de la combinación de dos o más movimientos que normalmente alcanzan grandes tamaños que afectan parcial o totalmente a laderas completas y se conforman por un tipo de movimiento traslacional en la cabecera del derrumbe y un flujo al pie del mismo.

**Extensiones Laterales o Derivas:** Se trata de bloques de material rocoso que se desplaza lentamente de manera lateral sobre un material blando y deformable, a consecuencia de la diferencia de densidades. Estos no suelen ser movimientos frecuentes, pero cuando ocurren pueden ocupar y afectar grandes extensiones.

**Tabla 33.** Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad de deslizamientos.

Matriz	Pendiente	Geología	Uso de suelo	Edafología	Eigenvector	Peso
Pendiente	0.3855	0.3895	0.3376	0.3811	1.4936	0.37
Geología	0.2471	0.2540	0.2819	0.2673	1.0504	0.26
Uso de suelo	0.1695	0.1339	0.1500	0.1529	0.6063	0.15
Edafología	0.1979	0.2226	0.2305	0.1987	0.8498	0.21
					4.0000	1.00

**Tabla 34.** Nivel de riesgo de deslizamientos por localidad para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Agrícola Oriental	3	Medio	Rancho Colorado	1	Muy bajo

Altepemila	3	Medio	Rancho el Mirador	3	Medio
Colonia Felipe Ángeles	2	Medio	Rinconada de las Aves	3	Medio
El Charco	1	Muy bajo	San Luis Buena Vista	2	Bajo
El Pedregal de San José	2	Bajo	San Miguel Huatengo	1	Muy bajo
El Salado	1	Muy bajo	San Pedro Huatengo	2	Bajo
Emiliano Zapata	2	Bajo	Sangre de Cristo	2	Bajo
La Joya	2	Bajo	Santiago Tulantepec	2	Bajo
La Joya 2da. Sección	3	Medio	Sayola	2	Bajo
Las Camelinas	2	Bajo	Tilhuacán	2	Bajo
Las Lajas	1	Muy bajo	Ud. Magisterial San José	2	Bajo
Los Romeros	2	Bajo	Unidades Habitacionales	2	Bajo
Paxtepec	2	Bajo	Ventoquipa	3	Medio

### 5.1.4.3 Caída de rocas

Los caídos son movimientos en caída libre de distintos materiales tales como rocas, detritos o suelos. Este tipo de movimiento se origina por el desprendimiento del material de una superficie inclinada, el cual puede rebotar, rodar, deslizarse o fluir posteriormente cuesta abajo

en la ladera. El material considerado no incluye las partículas de granulometría más pequeñas, resultado de la meteorización (Corominas *et al.*, 2004).

Estos movimientos son definidos con base a las características del material involucrado, por lo que se clasifican de manera general en caídas o desprendimientos de roca, caídas o desprendimientos de detritos y caídas o desprendimientos de suelo. La velocidad de estos movimientos gravitacionales puede ser rápida o extremadamente rápida, a excepción de cuando la masa desplazada sufre socavamiento o incisión, y el desprendimiento o caída es precedido por deslizamientos o vuelcos que separan el material desplazado de la masa intacta (Cruden y Varnes, 1996). Estos movimientos ocurren en laderas con una pendiente extremadamente pronunciada, tanto de tipo natural como artificial.



**Figura 15.** Bloques de roca posiblemente producto de volcadura y/o desprendimiento en la localidad de Paxtepec.

**Tabla 35.** Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad a caída de rocas.

Matriz	Pendiente	Geología	Uso de suelo	Edafología	Eigenvector	Peso
Pendiente	0.2873	0.3162	0.2395	0.3070	1.1501	0.29
Geología	0.3364	0.3647	0.3689	0.3331	1.4031	0.35

Uso de suelo	0.2291	0.1573	0.1610	0.2019	0.7493	0.19
Edafología	0.1471	0.1617	0.2306	0.1579	0.6974	0.17
					4	1

**Tabla 36.** Nivel de riesgo de caída de rocas por localidad para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Agrícola Oriental	3	Medio	Rancho Colorado	1	Muy bajo
Altepemila	3	Medio	Rancho el Mirador	4	Alto
Colonia Felipe Ángeles	3	Medio	Rinconada de las Aves	3	Medio
El Charco	2	Bajo	San Luis Buena Vista	2	Bajo
El Pedregal de San José	2	Bajo	San Miguel Huatengo	2	Bajo
El Salado	2	Bajo	San Pedro Huatengo	2	Bajo
Emiliano Zapata	2	Bajo	Sangre de Cristo	2	Bajo
La Joya	2	Bajo	Santiago Tulantepec	3	Medio
La Joya 2da. Sección	3	Medio	Sayola	2	Bajo
Las Camelinas	3	Medio	Tilhuacán	3	Medio

Las Lajas	1	Muy bajo	Ud. Magisterial San José	2	Bajo
Los Romeros	2	Bajo	Unidades Habitacionales	3	Medio
Paxtepec	3	Medio	Ventoquipa	4	Alto

#### 5.1.4.4 Hundimiento y Subsistencia

Se considera un proceso gravitacional que afecta a la superficie terrestre donde predominan los movimientos en sentido vertical descendente del terreno, este ocurre predominantemente en lugares con baja o nula pendiente. El fenómeno es ocasionado por diversos factores y este puede ocurrir de manera muy rápida o muy lenta dependiendo el mecanismo que provoque la inestabilidad del sitio.

La ocurrencia de este fenómeno se debe a diversas causas (Ibáñez, 2019). Uno de los principales factores es la geología del terreno, además esta es influenciada por diferentes esfuerzos de tensión que pueden favorecer el colapso. Otro aspecto importante lo representa la hidrología del lugar, pues los cambios en el nivel freático producen que la humedad del suelo sea variable, lo que genera inestabilidad y que la susceptibilidad del terreno a un hundimiento sea más alta.

Las causas de estos colapsos son múltiples, pueden implicar fallas estructurales por cavidades en el subsuelo debido a la disolución de las rocas (ej. ambientes kársticos); otra causa relevante es la sobreexplotación de acuíferos y en general por el intemperismo físico/químico de una estructura que alberga una cavidad subterránea, lo que provoca que la estructura se debilite y finalmente genera hundimientos. La sufusión también es un proceso relacionado con subsidencias y colapsos; se produce cuando los sedimentos más finos del subsuelo son removidos de la matriz del suelo por acción del flujo de agua, disminuyendo la cohesión de los sedimentos que pueden colapsar por el peso sobreyacente. La actividad minera también puede explicar los colapsos, pues el abandono de las minas subterráneas conllevan a inestabilidad en el terreno.

Las deformaciones geomorfológicas que producen los hundimientos en el terreno pueden ser impresionantes debido a que la tierra se mantiene usualmente intacta por cierto tiempo, hasta

que los espacios subterráneos se hacen demasiado grandes para proporcionar suficiente apoyo a la superficie, por tanto, colapsan formando estructuras denominadas “dolinas”. Aquellos hundimientos que alcanzan grandes extensiones se les denomina “poljes”.



**Figura 16.** Evidencia de sumideros en la localidad Sangre de Cristo

**Tabla 37.** Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad de hundimiento y subsidencia.

Matriz	Edafología	Litología	Eigenvector	Peso
Edafología	0.6172	0.6172	1.2345	0.6172
Litología	0.3828	0.3828	0.7656	0.3828
			2	1

En México, se han presentado hundimientos en Querétaro, Celaya, Irapuato, Torreón, Aguascalientes, Toluca, Puebla y la Ciudad de México (Waltham, 1989). Por ejemplo, debido a que se efectúa la extracción de agua subterránea mediante el bombeo profundo en la Ciudad

de México, es común observar procesos de hundimiento (subsistencia) de la infraestructura civil, en diversas alcaldías, sobre todo en las que forman parte de la planicie lacustre del antiguo lago de Texcoco (Hernández-Vergara, 1988). El fenómeno de subsistencia o hundimiento diferencial del terreno se asocia principalmente a la extracción de materiales en minas, de agua subterránea (en acuíferos someros y profundos) y de fluidos geotérmicos. Si se genera un abatimiento del nivel piezométrico en el material permeable de la zona drenada, el suelo experimentará la pérdida del efecto estabilizador del agua sobre los sólidos, lo que se traduce en un aumento del esfuerzo efectivo que variará de cero en la superficie a un valor máximo a la profundidad del nuevo nivel piezométrico. En el caso de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero por sus características geológicas, hidrogeológicas, uso de suelo y donde se concentra la mayor parte de los pozos de extracción de agua, la susceptibilidad más alta por subsistencia se presenta en la parte noroeste del municipio en las localidades de Unidades Habitacionales, El Pedregal de San José, Colonia Felipe Ángeles, Los Romeros, Paxtepec, Unidad Magisterial San José, Sayola, San Miguel Huatengo y Emiliano Zapata.

**Tabla 38.** Nivel de riesgo de hundimiento subsistencia por localidad para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Agrícola Oriental	4	Alto	Rancho Colorado	4	Alto
Altepemila	4	Alto	Rancho el Mirador	2	Bajo
Colonia Felipe Ángeles	4	Alto	Rinconada de las Aves	2	Bajo
El Charco	4	Alto	San Luis Buena Vista	4	Alto
El Pedregal de San José	4	Alto	San Miguel Huatengo	4	Alto

El Salado	1	Muy bajo	San Pedro Huatengo	4	Alto
Emiliano Zapata	4	Alto	Sangre de Cristo	4	Alto
La Joya	4	Alto	Santiago Tulantepec	2	Bajo
La Joya 2da. Sección	2	Bajo	Sayola	4	Alto
Las Camelinas	4	Alto	Tilhuacán	1	Muy bajo
Las Lajas	4	Alto	Ud. Magisterial San José	4	Alto
Los Romeros	4	Alto	Unidades Habitacionales	4	Alto
Paxtepec	4	Alto	Ventoquipa	2	Bajo

#### 5.1.4.5 Agrietamientos

Los agrietamientos presentes en la superficie de la tierra son una manifestación del desplazamiento vertical y horizontal del subsuelo por amplias zonas, que resulta del hundimiento regional por la extracción excesiva mediante bombeo profundo de agua subterránea. Las irregularidades del subsuelo pueden favorecer rupturas del paquete arcilloso formando grietas. Desde el punto de vista de la geomorfología, los hundimientos son un proceso que ha sido escasamente descrito en la literatura y resulta importante su análisis por el riesgo que representa para las construcciones y las superficies destinadas al cultivo, ya que las grietas pueden convertirse en agentes que propician la erosión del suelo. Sin embargo, se considera que los factores principales para el desarrollo de los agrietamientos son:

**Litología:** El cambio en las propiedades mecánicas del suelo, la presencia de arcillas que cambian sustancialmente en los estados húmedo y seco, se puede traducir en hundimientos y agrietamientos. Las irregularidades del subsuelo pueden favorecer rupturas de los depósitos arcillosos.

**Geología Estructural:** Las grietas pueden verse favorecidas por contactos litológicos que ante un hundimiento diferencial del material menos denso (arcilla) pueda provocar una ruptura.

**Fallas geológicas o fracturas de origen profundo:** Se caracterizan por la formación de escarpes.

Las fases de formación de grietas se presentan en dos etapas bien diferenciadas, la primera etapa del proceso consiste en fisuras delgadas y muy pequeñas de entre 1 a 2 mm dentro del material arcilloso; estas fisuras pueden crecer gradualmente al captar el escurrimiento laminar de agua. La segunda etapa se produce con la presencia de lluvias extraordinarias que provocan la formación repentina de grietas anchas debidas a la saturación del suelo. La presión da lugar a la ruptura de la capa arcillosa en un plano vertical, por tanto, la masa de tierra se desmorona y buena parte de ésta es removida por el flujo de agua (DGCOH, 1992). Posteriormente, el agua circula de manera vertical a través de la grieta con velocidad considerable hacia la capa subyacente altamente porosa. Debido a este flujo constante, el agua continuará transportando material fino, retroalimentando el proceso. Se trata de un fenómeno típico de la sufusión: que consiste en la remoción de partículas finas (limos y arcillas) por el flujo superficial. Este fenómeno se presenta durante ambas etapas de formación de la grieta y no se trata del proceso generador sino, muy probablemente, del proceso que contribuye a su desarrollo (Alberro y Hernández, 1990).

Cabe destacar que éste fenómeno se interrelaciona de manera importante con el proceso de hundimiento-subsidencia, por lo tanto, el monitoreo de dicho fenómeno implica obviamente el estudio y monitoreo de los agrietamientos. En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se encontraron evidencias del desarrollo de agrietamientos ligados a procesos naturales en algunas de las localidades. De acuerdo con el análisis realizado existe mayor susceptibilidad en las comunidades de Unidades Habitacionales, El Pedregal de San José, Colonia Felipe Ángeles, Los Romeros, Paxtepec, Unidad Magisterial San José, Sayola, San Miguel Huatengo y Emiliano Zapata por sus características geomorfológicas y geológicas.

[MAPA CLAVE ARST 05.5.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.5.2 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.5.3 – PÁGINA COMPLETA]

## 5.1.5 Erosión

### 5.1.5.1 Erosión Hídrica

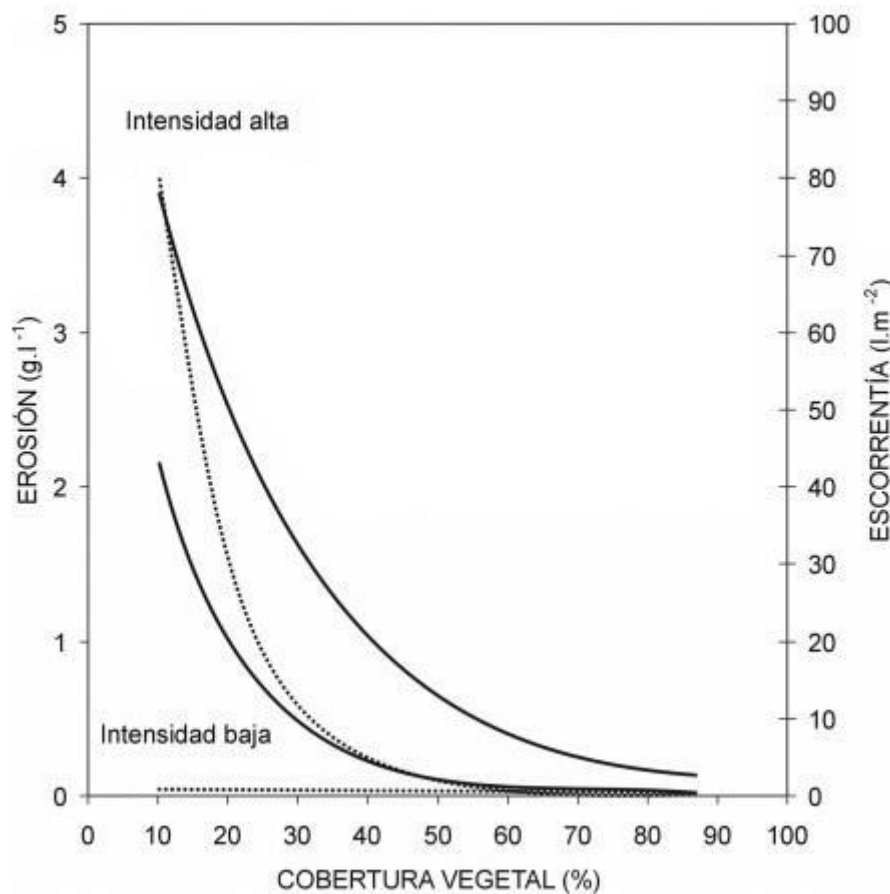
La erosión es un proceso exógeno natural controlado por diferentes factores como la gravedad, características del terreno y actividad antrópica a través del cual los relieves e irregularidades de la corteza terrestre se equilibran. Cuando el relieve sobrepasa un valor crítico del ángulo de la pendiente (característico para cada tipo de roca, regolito o suelo), la presión ejercida por la gravedad es tal, que supera a la fuerza de cohesión, consecuentemente se producen derrumbes o los materiales caen pendiente abajo. Conforme la pendiente disminuye también lo hace la presión, por lo tanto los materiales son mayormente removidos por el arrastre del agua. En esta última fase, si los materiales aumentan su cohesión superficial o adquieren protección por la cobertura vegetal, el proceso de rebajamiento del ángulo de la pendiente disminuye drásticamente. Posteriormente, cualquier desequilibrio de este perfil ya sea por una elevación del terreno derivada de la actividad tectónica, por el encajamiento de la red fluvial o por cortes en las laderas (taludes) producidas por la actividad del ser humano, tenderá de nuevo al equilibrio convirtiéndose en una superficie de erosión activa.

La erosión producida por la lluvia y la circulación del agua a través de laderas, pequeños cauces y ríos constituyen los procesos erosivos más importantes y mejor estudiados (Sala *et al.*, 1991; Grove y Rackham, 2001). Todos estos procesos pueden estar ligados entre sí, aunque no siempre. Así, cuando se produce escurrimiento de agua por los cauces fluviales también se está generando transporte de sedimentos erosionados aguas arriba, al tiempo que existe erosión y sedimentación en el cauce, aguas abajo o en el mar. En otras ocasiones se producen precipitaciones intensas que causan erosión en las laderas, pero gran parte del agua y de los sedimentos quedan retenidos por la vegetación antes de circular por los cauces o son depositados en el propio cauce fluvial. La capacidad de las aguas fluviales de modelar el paisaje es intensa y puede modificar geomorfologías mayores (ej. barrancos, ríos, cárcavas y llanuras de inundación).

La pérdida de suelo de las laderas por acción de la lluvia y la escorrentía, proceso también referido como “Erosión hídrica” es materia de este apartado y su importancia radica en su impacto en el suelo, un recurso de muy baja tasa de renovación que sustenta la actividad de los ecosistemas.

Para la construcción de la matriz de riesgo de la erosión hídrica se consideraron variables como pendiente, uso de suelo, edafología y precipitación máxima. De la experiencia acumulada se

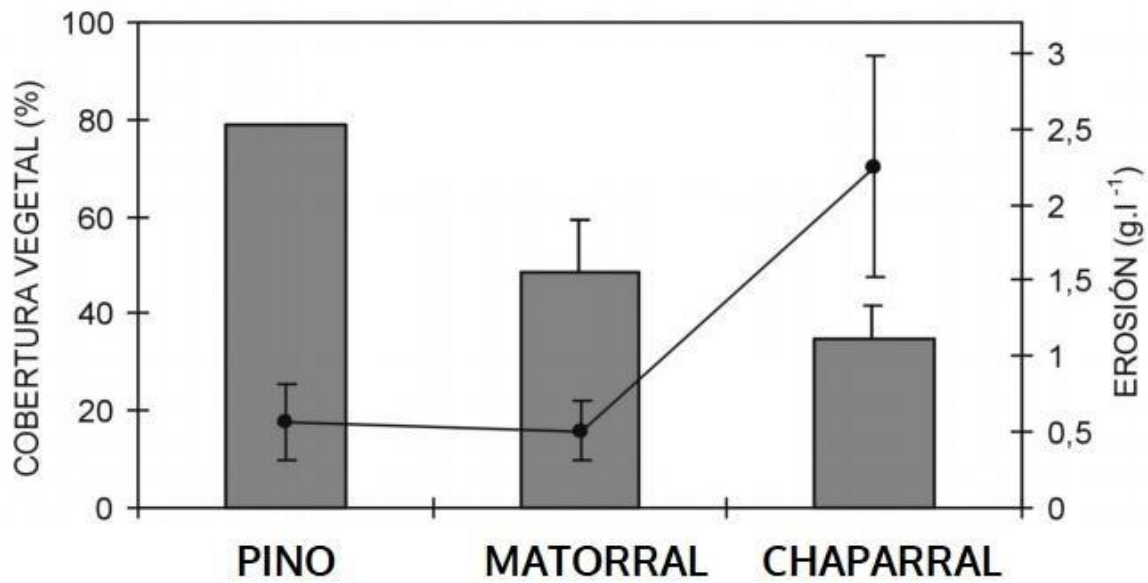
ha podido establecer para una gran amplitud de escalas espaciales, tipos de suelo, climas y vegetación que la relación entre la cobertura vegetal y la tasa de erosión hídrica se ajusta a una curva exponencial negativa (Gyssels *et al.*, 2005). Así, para un valor de intensidad de lluvia dado, la tasa de erosión disminuye muy rápidamente con pequeños incrementos de la cobertura vegetal hasta alcanzar un punto de inflexión. A partir de este punto de inflexión la reducción de las tasas de erosión es cada vez menor, aunque los incrementos de la cobertura vegetal sean grandes. Ahora bien, si la intensidad de la lluvia se modifica, la relación entre ambas variables también cambia, indicando que, al menos cuando se calcula en función de la cobertura vegetal o la biomasa, el papel de la vegetación en el control de la erosión es mayor a bajas intensidades de precipitación que a altas.



**Figura 17.** Relación entre la cobertura vegetal y la pérdida de suelo (línea continua) y con la escorrentía (línea discontinua). Modificado de Francis y Thornes 1990)

Por otra parte, la resistencia del suelo a los efectos sobre el agente erosivo, es decir la escorrentía, se cierce en la capacidad de las plantas para interceptar y redistribuir la humedad,

así como infiltrarla en el suelo. Sin embargo, estas variables estarán sujetas al tipo de vegetación existente y el uso de suelo de cada área.



**Figura 18.** Valores de erosión (líneas) en función de la cobertura vegetal (barras) (media  $\pm$  desviación estándar) para distintos tipos de vegetación obtenidos a partir de simulaciones de lluvia de intensidad elevada ( $>100$  mm/h). Modificado de Francis y Thornes 1990)



**Figura 19.** Formación de cárcavas producto de la fuerte erosión hídrica que presenta la localidad de San Luis Buena Vista

**Tabla 39.** Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad por erosión hídrica.

Matriz	Pendiente	Edafología	Uso de suelo	Precipitación	Eigenvector	Peso
Pendiente	0.2282	0.2317	0.2534	0.2175	0.9307	0.23
Edafología	0.2879	0.2843	0.2788	0.2877	1.1387	0.28
Uso de suelo	0.1403	0.1529	0.1560	0.1649	0.6141	0.15
Precipitación	0.3436	0.3311	0.3119	0.3299	1.3165	0.33
					4	1

El cambio de uso de suelo es una de las principales causas de la degradación de esta importante interfaz ambiental, pues al quitar la cobertura vegetal original, la capacidad de tolerar la erosión disminuye. El suelo sin sustento ni “esqueleto” por ausencia de raíces y plantas sufre el impacto

de las lluvias y la escorrentía y comienza su pérdida, originando problemas de desertificación al no poder mantener una cobertura vegetal importante. Cada tipo de suelo (edafología), posee un umbral crítico de equilibrio entre la erosión que soporta y la vegetación que puede mantener. Si este umbral se sobrepasa, el sistema entra en una espiral de disminución de la cobertura vegetal y aumento de la erosión que puede ser irreversible.

De esta manera, la erosión hídrica se puede considerar una fuerza ecológica que influye en las comunidades vegetales y puede modificar las propiedades del suelo, pues afecta la cobertura vegetal y su diversidad.



**Figura 20.** Evidencia de alteración por erosión hídrica en la localidad de Los Romeros.



**Figura 21.** Evidencia de erosión hídrica en la localidad de Altepemila

**Tabla 40.** Nivel de riesgo de erosión hídrica por localidad para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Agrícola Oriental	1	Muy bajo	Rancho Colorado	3	Medio
Altepemila	5	Muy alto	Rancho el Mirador	5	Muy alto
Colonia Felipe Ángeles	4	Alto	Rinconada de las Aves	3	Medio

El Charco	2	Bajo	San Luis Buena Vista	4	Alto
El Pedregal de San José	3	Medio	San Miguel Huatengo	2	Bajo
El Salado	3	Medio	San Pedro Huatengo	4	Alto
Emiliano Zapata	3	Medio	Sangre de Cristo	5	Muy alto
La Joya	1	Muy Bajo	Santiago Tulantepec	1	Muy bajo
La Joya 2da. Sección	3	Medio	Sayola	1	Muy Bajo
Las Camelinas	4	Alto	Tilhuacán	5	Muy alto
Las Lajas	5	Muy alto	Ud. Magisterial San José	2	Bajo
Los Romeros	4	Alto	Unidades Habitacionales	4	Alto
Paxtepec	4	Alto	Ventoquipa	1	Muy bajo

[MAPA CLAVE ARST 05.6.1 – PÁGINA COMPLETA]

### 5.1.5.2 Erosión eólica

La erosión eólica es el proceso por el cual los materiales superficiales del suelo son removidos y transportados por el viento y representa un problema ambiental serio en muchas regiones del mundo. La acumulación del material removido puede ocurrir a distancias variables de la fuente de origen, dependiendo de la erosividad del viento, así como del tamaño de las partículas que son removidas y es un fenómeno que se ha presentado en toda la historia de la Tierra de manera recurrente.

La erosión eólica ocurre en una gran variedad de ambientes (principalmente áridos), que tienen en común la presencia de material fino, suelto y seco, extensas áreas con una superficie poco rugosa, desprovista de cobertura vegetal y donde predominan fuertes vientos (FAO, 1979).

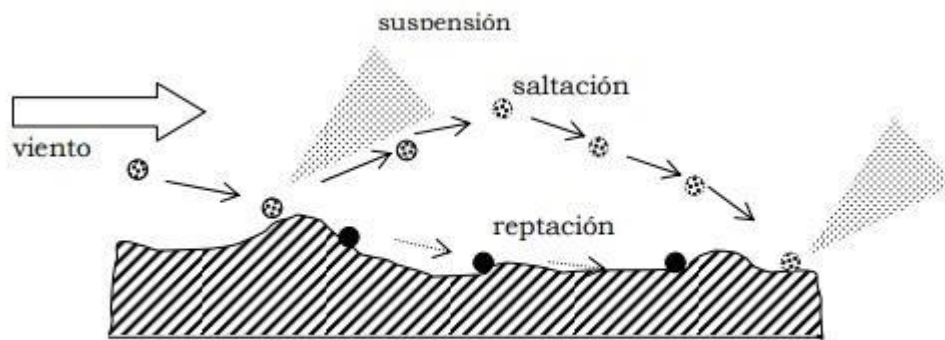
Este tipo de erosión, al igual que la hídrica, involucra tres procesos principales: desprendimiento, transporte y depósito que se explican a continuación. El flujo de aire produce el desprendimiento de las partículas más pequeñas (limos y arcillas) del material rocoso y del suelo, estos desprendimientos impactan (colisionan) otros materiales produciendo su disgregación y aumentando las partículas en movimiento. Estas pueden tener un movimiento por saltación, reptación y suspensión (Figura 22). El modo en que son transportadas las partículas dependerá de sus propiedades aerodinámicas (tamaño, forma y densidad) y de la capacidad de transporte del viento según su turbulencia, viscosidad y densidad.

**Saltación:** es el modo de transporte más dominante, donde las partículas (arenas muy finas a medias) que se mueven permanecen relativamente cerca de la superficie del suelo “saltando”, generalmente a menos de 30 cm. La velocidad crítica del viento necesaria para el desprendimiento de partículas varía con el tamaño de las mismas, siendo mínima de 0.15 m/s que aumenta para las partículas de mayor tamaño (Savat, 1982). Según las condiciones de viento y el tipo de suelo, el proceso puede involucrar el movimiento de entre 50 y 90% del transporte de sedimentos de una región dada.

**Reptación:** se refiere al proceso por el cual el viento mueve partículas arenosas (medias gruesas) por rodamiento/deslizamiento sobre la superficie del suelo. Este fenómeno es favorecido por el impacto de los sedimentos en saltación y puede originar entre el 5 y 25 % de los sedimentos removidos de un área determinada. Así mismo, el área afectada puede ser sumamente erosionada por este proceso a ras de suelo.

**Suspensión:** es el proceso de transporte más visible y describe el movimiento de las partículas más pequeñas (limos arcillas), hasta grandes alturas y desplazamientos durante largos periodos. La mayor expresión del proceso de suspensión lo representan las tormentas de polvo, las cuales pueden representar grandes pérdidas de suelo, aunque generalmente no superan el 15% de las pérdidas totales de suelo por erosión eólica.

La intensidad de la erosión eólica depende de la erodabilidad de los suelos (susceptibilidad o facilidad de desprendimiento y transporte de partículas por el viento) y del grado de erosividad del viento. Por lo tanto, es importante considerar estas variables durante la caracterización de la vulnerabilidad y riesgo por erosión eólica.



**Figura 22.** Formas de movilidad de las partículas del suelo a causa del transporte eólico.

Si bien la resistencia a la erosión depende en parte de la cobertura vegetal del suelo y los niveles de alteración creado por el uso de suelo, las propiedades edafológicas son las determinantes más importantes. La erodabilidad varía en gran medida con la textura y la estabilidad de los agregados, pues la facilidad con que los granos individuales son desprendidos o transportados depende de su diámetro, densidad y forma.

En la mayoría de los suelos, las partículas individuales forman terrones o agregados cementados por distintas sustancias (generalmente orgánicas). La estabilidad de estas unidades estructurales o agregados determina en gran medida la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Si un suelo tiene una buena estructura y los agregados son estables, el número de partículas lo suficientemente pequeñas para ser removidas será muy baja y la abrasión resultante puede ser mínima debido al limitado aporte de partículas abrasivas y a la resistencia mecánica de los agregados. Como resultado de ello, la erosión eólica es baja. Por el contrario, los suelos con una débil estructura y material deleznable pueden erosionarse rápidamente (Chepil y Woodruff, 1963).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1980) propuso una ecuación para estimar la erosión eólica potencial, que se basa en la ecuación desarrollada por Woodruff y Siddoway (1965). El modelo paramétrico para el cálculo de la erosión actual, se expresa de la siguiente forma:

$$E_o = f (C * S * T * V)$$

Donde:

$E_o$  = erosión eólica

C= factor de agresividad climática (**ráfaga de viento**)

S=factor suelo (**edafología**)

T= factor topográfico (**pendiente**)

V=factor vegetación (**uso de suelo**)

**Factor de agresividad climática (C):** Se puede calcular usando los datos de velocidad promedio del viento (km/h), reportadas por las estaciones climáticas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP 2006-2020), las cuales están provistas de sensores para el registro de variables a 2 m sobre el suelo, se realizó el cálculo de este factor mediante una forma modificada del índice eólico de Chepil *et al.* (1962), propuesto por la FAO (1980):

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} V^3 \left( \frac{PET - P}{P} * n \right)$$

Donde:

V= Velocidad media del suelo a 2 m de altura (m/s)

P= Precipitación (mm)

PET = Evapotranspiración

n= número de días al mes

**Tabla 41.** Estaciones climáticas utilizadas para el cálculo del factor de agresividad climática.

Estación	Municipio	Velocidad del viento (m/s) Máxima	P (mm) Promedio	EP (mm)	C1	Clasificación
Santiago Tulantepec	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	2.05	49.21	143.05	164.85	Muy alta
Acatlán	Acatlán	2.05	43.59	130.58	209.47	Muy alta
Presa La Esperanza	Tulancingo de Bravo	2.05	45.97	165.73	143.99	Muy alta
Tulancingo	Tulancingo de Bravo	2.05	49.91	124.83	369.56	Muy alta

Presa Tezoyo	Almoloya	0.03	55.18	131.28	0.00	Muy alta
San Jeronimo	Tepeapulco	10.64	53.27	152.66	23847.81	Muy alta
San Miguel Allende	Tepeapulco	10.64	53.11	130.11	18169.23	Muy alta

Fuente: INIFAP, 2023. Periodo de 2006-2020, Datos del año 2020. P=precipitación; EP= evapotranspiración potencial; C1= factor de agresividad climática (adimensional).

**Factor suelo (S):** Este factor se asignó a las diferentes capas vectoriales de uso de suelo y vegetación presentes en el municipio.

**Tabla 42.** Valoración del factor suelo (S) para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Superficie				
Clave	Asociación de suelo	Km2	%	Factor suelo (S)
Bh	Cambisol Húmico	7.64	11.90	2
Hh	Feozem Háptico	0.02	0.02	5
Hl	Feozem Lúvico	5.69	8.85	5
I	Leptosol	1.13	1.77	4
Lc	Luvisol Crómico	33.1	51.53	4

**Factor vegetación (V):** Este factor se asignó a las diferentes capas vectoriales de uso de suelo y vegetación presentes en el municipio.

**Tabla 43.** Factor vegetación (V) para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Superficie			
Uso de Suelo y vegetación	km <sup>2</sup>	%	Factor vegetación (V)
Agricultura de riego anual y semipermanente	7.76	12.07	3
Agricultura de temporal anual	30.89	48.08	3
Agricultura de temporal anual y permanente	7.14	11.11	3

Asentamientos humanos	7.61	11.84	1
Bosque de Encino	2.91	4.53	1
Bosque de Encino-Pino	2.05	3.19	1
Bosque de Pino	2.63	4.09	1
Pastizal inducido	0.22	0.34	3
Vegetación secundaria arbustiva de Bosque de Pino	0.02	0.69	1
Vegetación secundaria arbustiva de Bosque de Tascate	0.91	1.42	1
Vegetación secundaria arbustiva de Matorral Crasicaule	1.06	1.06	3
Vegetación secundaria arbórea de Bosque de Encino	0.45	0.45	1
Vegetación secundaria arbórea de bosque de tascate	0.61	0.95	1
	64.26	99.28	

**Tabla 44.** Matriz de comparación de factores para determinar la susceptibilidad por erosión eólica.

Matriz	Pendiente	Edafología	Uso de suelo	Agresividad climática	Eigenvector	Peso
Pendiente	0.1563	0.1742	0.1473	0.1377	0.6155	0.15
Edafología	0.2945	0.3293	0.3336	0.3581	1.3156	0.33
Uso de suelo	0.2936	0.2892	0.2861	0.2789	1.1478	0.29
Agresividad climática	0.2556	0.2073	0.2330	0.2253	0.9211	0.23
					4.0000	1.00

**Tabla 45.** Nivel de riesgo de erosión eólica por localidad para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
-----------	----------	-----------------	-----------	----------	-----------------

Agrícola Oriental	2	Bajo	Rancho Colorado	3	Medio
Altepemila	4	Alto	Rancho el Mirador	4	Alto
Colonia Felipe Ángeles	2	Bajo	Rinconada de las Aves	4	Alto
El Charco	2	Bajo	San Luis Buena Vista	4	Alto
El Pedregal de San José	2	Bajo	San Miguel Huatengo	2	Bajo
El Salado	4	Alto	San Pedro Huatengo	4	Alto
Emiliano Zapata	2	Bajo	Sangre de Cristo	4	Alto
La Joya	1	Muy bajo	Santiago Tulantepec	2	Bajo
La Joya 2da. Sección	3	Medio	Sayola	1	Muy bajo
Las Camelinas	2	Bajo	Tilhuacán	5	Muy alto
Las Lajas	3	Medio	Ud. Magisterial San José	2	Bajo
Los Romeros	4	Alto	Unidades Habitacionales	2	Bajo
Paxtepec	2	Bajo	Ventoquipa	2	Bajo

[MAPA CLAVE ARST 05.7.1 – PÁGINA COMPLETA]

### **5.1.5.3 Erosión kárstica**

La erosión kárstica hace referencia a las estructuras del paisaje relacionadas con la disolución de las rocas carbonatadas por su interacción con fluidos con pH ácidos como las aguas meteóricas y/o subterráneas. De esta manera, este tipo de erosión está restringido a lugares donde existen rocas sedimentarias de origen químico como calizas, dolomías y margas y ocurre en la superficie y profundidad. De esta forma, en largos periodos se pueden generar cuevas de diferentes tamaños que debilitan el terreno y pueden desencadenar hundimientos graduales o repentinos a nivel local o regional.

Las estructuras típicas del paisaje kárstico son galerías, cavernas, grutas, dolinas y representan un riesgo latente de hundimientos y colapsos para la infraestructura carretera, eléctrica, de agua potable y en general civil.

Debido a la geología superficial del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, donde las rocas sedimentarias de origen químico están ausentes, el nivel de riesgo por este tipo de erosión es sumamente bajo.

### **5.1.5.4 Erosión marina**

La erosión marina se define como un proceso mediante el cual las rocas y la arena son sujetos a abrasión, alteración y transporte debido a la acción de las olas del mar sobre los litorales. Las formas resultantes son los litorales rocosos como los acantilados y las dunas costeras. Se lleva a cabo cuando hay una dirección de oleaje predominante, el flujo costero desplaza los sedimentos en un sentido determinado, dando lugar a una componente neta de transporte a lo largo de la costa que se conoce como deriva litoral, también ocurren fuertes corrientes litorales perpendiculares a la línea de la costa, llamadas corrientes de resaca las cuales erosionan la playa y extraen sedimentos del sistema litoral emergido para transportarlas hacia la plataforma continental (UCC, 2014).

El municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se ubica a una distancia de aproximada de 142 km en línea recta en dirección este de la costa del Golfo de México y a 408 km en línea recta en dirección sur y 734 km en dirección oeste hacia la costa del Océano Pacífico, por lo que la incidencia de erosión marina es nula.

## **5.2 Fenómenos de origen hidro-meteorológico**

Los fenómenos de carácter hidrometeorológico son aquellos que se generan por la acción del agua siguiendo los fenómenos involucran la meteorología, climatología y el ciclo hidrológico. Engloba a los agentes perturbadores que son producto de la condensación o sublimación de vapor de agua atmosférica, como son depresiones y ciclones tropicales, lluvias torrenciales, inundaciones, heladas, nevadas, granizadas, mareas de tempestad, ondas cálidas, ondas gélidas etc. El territorio nacional se encuentra rodeado de dos masas de agua, el Océano Pacífico y Atlántico (Golfo de México) y por su situación geográfica constantemente es afectado por fenómenos hidro-meteorológicos, a veces de manera intensa y severa. Estos fenómenos pueden ser adversos y/o benéficos al mismo tiempo, pues si bien en la costas pueden dejar pérdidas millonarias a su paso, también producen recarga de los cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos, presas) y del subsuelo (acuíferos), incentivan la agricultura-ganadería, entre otras cosas.

## **5.2.1 Ondas gélidas y cálidas**

### **5.2.1.1 Ondas gélidas**

Las ondas gélidas son fenómenos atmosféricos que se caracterizan por un descenso brusco de la temperatura (generalmente en un lapso de 24 horas). Consisten en grandes masas de aire con bajas temperaturas que provocan daños en la población y en sectores productivos vulnerables como la agricultura y ganadería. Estos fenómenos también se conocen como frentes fríos, y se originan cuando una masa de aire de baja temperatura avanza a menores latitudes e interactúa con masas de aire con mayores temperaturas. El choque entre ambas masas de aire permite que la de menor temperatura forme una especie de cuña atmosférica en su frente por debajo de la de mayor temperatura. El choque entre ambas masas de aire con diferente densidad también se traduce en un frente de nubes que pueden ser de amplio desarrollo vertical (ej. cumulonimbos) y acarrear precipitación con diferentes intensidades y características (ej. nieve). El periodo de actividad de las ondas gélidas tiene lugar principalmente en la época fría del año (invierno-primavera), aunque también son comunes a finales de otoño y las de mayor extensión y alcance ocurren por procesos a macroescala como sistemas de alta presión regionales (Medina, 1996; Rodríguez, 2011; 2014). Estos fenómenos (frentes fríos) son diferentes en escala y origen a las heladas y enfriamientos, que responden a fenómenos radiativos, es decir por la incidencia de la radiación solar en un lugar dado. En el territorio nacional, las masas de aire frío pueden migrar desde altas latitudes tanto del Pacífico como Atlántico y Golfo de México.

Si bien también existen los llamados Frentes Cálidos, los fríos son más notables. Tienen el doble de inclinación, es decir una pendiente del orden de 1:100; la rapidez promedio de un

frente frío es alrededor de 35 km/h en comparación con los 25 km/h de un frente cálido, debido a la mayor densidad del aire del aire con baja temperatura. Además, la diferencia entre la inclinación de la pendiente frontal y la rapidez de su movimiento, tienen como consecuencia una naturaleza más violenta del tiempo meteorológico de un frente frío comparado con el tiempo que normalmente acompaña a un frente cálido. La llegada de una onda gélida marca un sensible cambio de las condiciones atmosféricas. Sin embargo, su franja de nubes es más estrecha que la de una onda cálida, ya que el aire frío de la cuña se calienta adiabáticamente y disminuye su humedad relativa; por lo que suele tardar poco en llegar desde que se observan las primeras nubes.

En el estado de Hidalgo, la llegada de frentes fríos es una constante entre noviembre y marzo, por lo que la estimación de su riesgo asociado en la época fría del año es necesaria.

Para la estimación del riesgo de ondas gélidas, se integró una base de datos de temperaturas mínimas diarias de las estaciones de la red climatológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que inciden o se encuentran cercanas al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero (Tabla 46).

**Tabla 46.** Relación de estaciones meteorológicas con datos históricos de temperaturas mínimas.

No. estación	Nombre de la estación	Municipio	Edo	Temperatura mínima °C	Latitud	Longitud	Periodo	Altitud
13028	San Miguel de Allende	Tepeapulco	Hgo	-9	19.85	-98.30	1961-2021	2550
13029	San Lorenzo Sayula	Cuautepec de Hinojosa	Hgo	-8	19.87	-98.40	1961-2020	2768
13031	Santiago Tulantepec	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	Hgo	-8	19.95	-98.32	1966-2020	2179
13033	Singuilucan	Singuilucan	Hgo	-8	19.96	-98.51	1961-2020	2650
13041	Tulancingo (OBS)	Tulancingo de Bravo	Hgo	-10.6	19.98	-98.29	1942-2020	2207

13059	Acatlán	Acatlán	Hgo	-12	20.04	-98.36	1973-1986	2812
13082	Presa la Esperanza	Tulancingo de Bravo	Hgo	-9	20.05	-98.33	1956-2021	2218
13085	Presa Tezoyo	Almoloya	Hgo	-14	20.08	-98.35	1953-2015	2611
13094	Acaxochitlán	Acaxochitlán	Hgo	-6	20.14	-98.44	1974-1990	2240
13116	El Zembo	Huasca de Ocampo	Hgo	-10	20.15	-98.27	1980-2020	2311
13127	El Aserradero	Cuautepec de Hinojosa	Hgo	-11	20.15	-98.20	1981-2020	2610
13130	Santa María Asunción	Tulancingo de Bravo	Hgo	-7	20.15	-98.55	1979-2021	2190

### Memoria de cálculo para la determinación del peligro por ondas gélidas

Una vez integrada la base de datos por estación meteorológica, se realizan los siguientes procedimientos:

- Rellenado de datos faltantes.
- Filtrado de datos que afectan a la muestra.
- Obtención de valores mínimos diarios anuales históricos de temperaturas mínimas.
- Ajuste de función de probabilidad
- Estimación de temperaturas mínimas asociadas a diferentes periodos de retorno.

Para poder determinar con precisión las temperaturas mínimas asociadas a los periodos de retorno de las ondas gélidas (5, 10, 25 y 50 años), se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad de norma, logarítmica normal, exponencial, Gumbel y doble Gumbel que tiene la siguiente forma:

$$F(X_T) = P(X \leq X_T) = \exp \left[ -\exp \left( \frac{X_T}{\alpha} u \right) \right]$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} Sx}{\pi}$$

$Sx =$  desviación estándar

$$u = \underline{X} - 0.5272 \cdot \alpha$$

$$\underline{X} = \text{media muestral}$$

Se obtendrá el valor de temperatura mínima para el periodo de retorno T

$$\frac{1}{T} = P(X \geq X_T) = 1 - P(X < X_t) = 1 - P(X_T) \rightarrow P(X_t) = \frac{T-1}{T}$$

Si hacemos

$$y_T = \frac{X_t - u}{\alpha} \rightarrow P(X_T) = \exp[-\exp(-y_T)] \rightarrow y_T = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

Como

$$y_T = \frac{X_t - u}{\alpha} \rightarrow X_T = \alpha \cdot y_T + u$$

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de periodo de retorno para ondas gélidas de estaciones climatológicas para temperaturas mínimas que tienen influencia en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

**Tabla 47.** Temperaturas mínimas (°C) asociadas a diferentes periodos de retorno (años).

No. Estación	Nombre de la estación	Tr (Tiempo de retorno)			
		5	10	25	50
13028	San Miguel de Allende	-4.52	-3.45	-2.09	-1.09
13029	San Lorenzo Sayula	-2.61	-1.28	0.40	1.65
13031	Santiago Tulantepec	-0.40	0.77	2.25	3.34
13033	Singuilucan	-1.50	-0.05	1.79	3.15
13041	Tulancingo (OBS)	0.99	3.16	5.89	7.92
13059	Acatlán	2.98	-1.34	0.74	2.27
13082	Presa la Esperanza	-2.04	-0.86	0.64	1.74
13085	Presa Tezoyo	-7.06	-5.94	-4.53	-3.48

13094	Acaxochitlán	-0.86	0.16	1.45	2.41
13116	El Zembo	-4.15	-2.66	-0.79	0.60
13127	El Aserradero	-33.03	-1.57	0.26	1.63
13130	Santa María Asunción	-1.94	-1.06	0.05	0.88

El territorio Mexicano posee una gran diversidad de climas que van desde los cálidos a fríos y de los húmedos a los secos. Esta variabilidad climática tiene su origen en su posición geográfica, el relieve y ecología. El país es alimentado por humedad procedente del océano Atlántico y Pacífico debido al posicionamiento estacional de la Zona Intertropical de Convergencia, las corrientes de chorro, la interacción de celdas de alta y baja presión, la entrada de humedad por ciclones tropicales, además de frentes fríos y nortes que condicionan una época de lluvias en verano-otoño y una de sequía en invierno-primavera en la mayor parte del territorio. Dichas características permiten rangos de temperaturas y precipitaciones muy variables que pueden poner en riesgo la salud de la población, pues el ser humano es vulnerable a los cambios ambientales bruscos.

El ser humano es vulnerable a ciertas temperaturas, por encima de un umbral cálido o por debajo de uno frío. Este documento muestra las zonas del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero donde las temperaturas han logrado alcanzar o superar el umbral de  $-2^{\circ}\text{C}$  y por lo tanto representan un riesgo latente para la población. Por otro lado, es de interés analizar aquellos eventos extremos, es decir, poco frecuentes, que pueden perjudicar, de manera excepcional a la población, y no el evento normal del descenso de la temperatura que se presenta cada mañana antes del amanecer. Adicionalmente es un hecho que junto con la presencia de bajas temperaturas debe analizarse su duración. Las enfermedades que pueden presentarse en la población durante la época invernal son las siguientes:

El frío provoca dolores de cabeza intensos debido a que los músculos craneales se contraen. Esto ocurre principalmente cuando hay viento. El dolor se presenta al reír, al toser, al estornudar, al levantar objetos pesados o por realizar grandes esfuerzos y puede ser corto e intenso; el otro grupo lo conforman las enfermedades de las vías respiratorias: en general, el mayor número de casos se registra durante las semanas de más bajas temperaturas y donde los cambios bruscos de temperatura influyen mucho. Por ello, a partir de los primeros descensos de temperatura, recrudecen otras infecciones de las vías respiratorias que no son virales, como

el asma. Infecciones bacterianas que producen bronquitis, neumonía, y rinitis, entre otras como las infecciones virales como la influenza estacional, AH1N1 y el recientemente descubierto SARS-Cov-2 que causa la Covid-19, forman parte de este tipo de dolencias que afectan alguna parte del sistema respiratorio de manera muy drástica. Además, el aire frío que se respira en el invierno es peligroso para los pulmones, los bronquios y la garganta. Si éste aire es seco, provoca que las mucosas pierdan humedad. Por esta razón es conveniente fortalecer el sistema inmune durante el invierno y realizar campañas de vacunación.

Cabe hacer notar que en Santiago Tulantepec cerca del 40 % de las comunidades experimentan riesgo alto a muy alto por ondas gélidas, sobresaliendo las comunidades de El Charco, La Joya, Sayola y la cabecera municipal donde las temperaturas suelen descender por debajo de los cero grados centígrados cada año (Tabla 48).

**Tabla 48.** Nivel de riesgo de ondas gélidas por localidad para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Agrícola Oriental	3	Medio	Rancho Colorado	4	Alto
Altepemila	3	Medio	Rancho el Mirador	4	Alto
Colonia Felipe Ángeles	2	Bajo	Rinconada de las Aves	4	Alto
El Charco	5	Muy alto	San Luis Buena Vista	3	Medio
El Pedregal de San José	1	Muy bajo	San Miguel Huatengo	4	Alto
El Salado	3	Medio	San Pedro Huatengo	2	Bajo
Emiliano Zapata	1	Muy bajo	Sangre de Cristo	1	Muy bajo

La Joya	5	Muy Alto	Santiago Tulantepec	5	Muy alto
La Joya 2da. Sección	5	Muy Alto	Sayola	5	Muy alto
Las Camelinas	1	Muy bajo	Tilhuacán	4	Alto
Las Lajas	2	Bajo	Ud. Magisterial San José	2	Bajo
Los Romeros	2	Bajo	Unidades Habitacionales	1	Muy bajo
Paxtepec	1	Muy bajo	Ventoquipa	3	Medio

[MAPA CLAVE ARST 05.8.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.8.2 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.8.3 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.8.4 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.8.5 – PÁGINA COMPLETA]

### 5.2.1.2 Ondas cálidas

Las ondas de calor son períodos inusualmente cálidos que afectan considerablemente la salud de la población. La Organización Meteorológica Mundial no ha establecido una definición única debido a que las ondas cálidas varía n tanto en frecuencia, intensidad y extensión (Robinson, 2001; García-Cueto *et al.*, 2008). Una onda cálida incluye altas temperaturas en el área de interés y un componente temporal de duración (García-Cueto *et al.*, 2010). Estos fenómenos no solo afectan a la salud de la población, también se ha notado que tienen una incidencia notable en las sequías, la desertificación y probablemente en los incendios forestales (Yagüe *et al.*, 2006). Este fenómeno también es conocido como frente cálido caracterizándose por ser una zona de transición entre dos masas de aire de distinta presión y temperatura, una cálida y la otra con menor temperatura, con la particularidad de que la cálida se desplaza a mayor velocidad que la de aire con menor temperatura. El aire cálido avanza sobre el aire frío,

pero al ser este último más pesado, avanza al nivel del suelo de manera que el aire cálido asciende suavemente por la superficie frontal que hace de rampa, provocando la formación de nubosidad y precipitaciones. Las precipitaciones que se presentan son menos intensas que las que provoca un frente frío. Derivado de que este fenómeno es de carácter regional, puede cubrir extensiones territoriales muy grandes (abarcando dos o tres estados a la vez), la escala de representación del mismo a nivel municipal es difícil, por lo anterior se opta por desarrollar el tema con el apoyo de registros máximos de temperaturas en el municipio. El dato de temperatura máxima es el que se registra cada día en una estación meteorológica entre las 2:00 y las 3:00 pm, los cálculos de temperatura máxima promedio pueden realizarse para periodos de un mes, un año o cualquier otro del que se dispongan datos. De acuerdo con las bases de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU, 2014), la vulnerabilidad física y social respecto a las temperaturas elevadas, es más frecuente durante las estaciones de primavera y verano, por este motivo se analizó el comportamiento de las temperaturas máximas extremas en el periodo señalado en las estaciones meteorológicas más cercanas al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero (Tabla 50). Para determinar cuál es el riesgo que implica para la población de acuerdo con los planteamientos brevemente mencionados en la siguiente tabla:

**Tabla 49.** Vulnerabilidad por altas temperaturas.

Rango de temperatura	Designación	Vulnerabilidad
28 - 31°C	Incomodidad	La evapotranspiración de los seres vivos se incrementa, aumenta el dolor de cabeza en los humanos.
31.1 - 33° C	Incomodidad extrema	La deshidratación se torna evidente, las tolveneras y la contaminación por partículas pesadas se incrementa en las zonas urbanas.
33.1 – 35°C	Condición de estrés	Las plantas comienzan a evapotranspirar en exceso y se marchitan, los incendios forestales se ven favorecidos.

>35°C	Límite de tolerancia	Se produce el golpe de calor, se puede producir inconsciencia en las personas, las enfermedades aumentan,
-------	----------------------	---

**Fuente:** Secretaría de Desarrollo Social, 2009

Conforme a la tabla anterior, se puede considerar que las temperaturas máximas extremas implican situaciones de incomodidad y estrés en la población, así como afectaciones en los cultivos, además de que se incrementan las condiciones favorables para que se produzcan incendios forestales. Para proyectar las isotermas de temperatura máxima se realizó un cálculo del promedio histórico de las temperaturas máximas medias de los meses marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre (primavera y verano) en un periodo de 50 años de 14 estaciones meteorológicas que rodean al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, los datos se obtuvieron de la base de datos del Sistema de Información Climatológica CLICOM, desarrollada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2023).

Para valorar el nivel de peligro que presenta la población ante la presencia de ondas cálidas en la región, se realiza una simulación de las isotermas de temperaturas máximas por medio de un modelo matemático de interpolación de tipo IDW (*Inverse Distance Weighting*), los datos que se obtienen de cada estación y que serán interpolados, son los siguientes:

**Tabla 50.** Relación de estaciones meteorológicas con datos promedio anuales de temperaturas máximas.

No. estación	Nombre de la estación	Municipio	Edo.	Temperatura máxima °C	Latitud	Longitud	Periodo	Altitud
13028	San Miguel de Allende	Tepeapulco	Hgo	34.5	19.85	-98.30	1961-2021	2550
13029	San Lorenzo Sayula	Cuautepec de Hinojosa	Hgo	33	19.87	-98.40	1961-2021	2768
13031	Santiago Tulantepec	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	Hgo	40	19.95	-98.32	1966-2020	2179
13033	Singuilucan	Singuilucan	Hgo	36	19.96	-98.51	1961-2020	2650

13041	Tulancingo (OBS)	Tulancingo de Bravo	Hgo	34.2	19.98	-98.29	1942-2020	2207
13059	Acatlán	Acatlán	Hgo	35	20.04	-98.36	1973-1986	2812
13082	Presa la Esperanza	Tulancingo de Bravo	Hgo	37	20.05	-98.33	1956-2021	2218
13085	Presa Tezoyo	Almoloya	Hgo	47	20.08	-98.35	1953-2015	2611
13094	Acaxochitlán	Acaxochitlán	Hgo	39	20.14	-98.44	1974-1990	2240
13116	El Zembo	Huasca de Ocampo	Hgo	37	20.15	-98.27	1980-2020	2311
13127	El Aserradero	Cuautepec de Hinojosa	Hgo	37.5	20.15	-98.20	1981-2020	2610
13130	Santa María Asunción	Tulancingo de Bravo	Hgo	32.5	20.15	-98.55	1979-2021	2190

Las temperaturas máximas en las estaciones analizadas presentan valores de 32.5°C a 47°C. Como se puede observar en la tabla 51, en alrededor del 35 % de las poblaciones del territorio municipal el riesgo por ondas cálidas es alto a muy alto, especialmente en El Charco, La Joya, Sayola y Santiago Tulantepec, mientras que el 65 % restante presenta riesgo medio a muy bajo.

[MAPA CLAVE ARST 05.9.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.9.2 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.9.3 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.9.4 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.9.5 – PÁGINA COMPLETA]

**Tabla 51.** Nivel de riesgo de ondas cálidas por localidad para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
-----------	----------	-----------------	-----------	----------	-----------------

Agrícola Oriental	3	Medio	Rancho Colorado	4	Alto
Altepemila	3	Medio	Rancho el Mirador	4	Alto
Colonia Felipe Ángeles	1	Muy bajo	Rinconada de las Aves	4	Alto
El Charco	5	Muy alto	San Luis Buena Vista	3	Medio
El Pedregal de San José	1	Muy bajo	San Miguel Huatengo	4	Alto
El Salado	3	Medio	San Pedro Huatengo	2	Bajo
Emiliano Zapata	1	Muy bajo	Sangre de Cristo	1	Muy bajo
La Joya	5	Muy alto	Santiago Tulantepec	5	Muy alto
La Joya 2da. Sección	5	Muy alto	Sayola	5	Muy alto
Las Camelinas	1	Muy bajo	Tilhuacán	3	Medio
Las Lajas	1	Muy bajo	Ud. Magisterial San José	2	Bajo
Los Romeros	2	Bajo	Unidades Habitacionales	1	Muy bajo
Paxtepec	1	Muy bajo	Ventoquipa	2	Bajo

La contaminación ambiental y el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) por parte del ser humano, representan un factor determinante en la

frecuencia y la intensidad de las temperaturas extremas. Es importante tomar medidas de precaución ante este fenómeno y cuidar principalmente de niños y adultos mayores, los cuales son más propensos a enfermedades asociadas a estas ondas de calor.

**Efectos en la salud por exposición a temperaturas extremas:** la exposición del ser humano a temperaturas ambientales elevadas puede provocar una respuesta insuficiente del sistema termorregulador. El calor excesivo puede alterar funciones vitales si el cuerpo humano no es capaz de compensar las variaciones de la temperatura corporal. Una temperatura muy elevada produce deshidratación y pérdida de electrolitos que son necesarios para el funcionamiento normal del organismo. En personas con enfermedades crónicas, sometidas a tratamientos médicos y con discapacidades que limitan su autonomía, estos mecanismos de termorregulación pueden verse comprometidos. La exposición a temperaturas excesivas puede provocar problemas de salud como calambres, deshidratación, insolación, golpe de calor (con problemas multiorgánicos que pueden incluir síntomas tales como inestabilidad en la marcha, convulsiones e incluso coma). El impacto que tiene la exposición al calor excesivo está determinado por el envejecimiento fisiológico y las enfermedades subyacentes. Normalmente un individuo sano tolera una variación de su temperatura interna de aproximadamente 3 °C, sin que sus condiciones físicas y mentales se alteren de forma importante. A partir de 37 °C se produce una reacción fisiológica de defensa. Los adultos mayores y los niños muy pequeños son más sensibles a los cambios bruscos de temperatura. La exposición excesiva a un ambiente caluroso puede ocasionar diferentes afecciones, por lo que es sumamente importante detectar precozmente los primeros síntomas.

**Golpe de calor:** se produce cuando el sistema que controla la temperatura del cuerpo falla y la transpiración (única manera eficaz que tiene el cuerpo de eliminar el exceso de calor) se hace inadecuada. La piel de los afectados se encontrará muy caliente y, normalmente, seca, roja, o con manchas. Así mismo, podría presentar confusión, desorientación e incluso perder el conocimiento o sufrir convulsiones. Ante la sospecha de un golpe de calor es imprescindible ofrecer asistencia médica inmediata al afectado. Los primeros auxilios incluyen el traslado del afectado a un área fresca, humedecer su ropa con agua fría y abanicar intensamente a la víctima.

**Agotamiento por calor y deshidratación:** resulta de la pérdida de grandes cantidades de líquido por la transpiración, acompañada, en ocasiones, de una pérdida excesiva de electrolitos. La piel del afectado estará húmeda y presentará un aspecto pálido o enrojecido. El afectado

continuará sudando y presentará cansancio extremo, mareos, náuseas y dolor de cabeza, pudiendo llegar en los casos más graves, a la pérdida de la consciencia.

### Memoria de cálculo para la determinación del peligro por ondas cálidas

Una vez integrada la base de datos por estación meteorológica, se realizan los siguientes procedimientos:

- Rellenado de datos faltantes.
- Filtrado de datos que afectan a la muestra.
- Obtención de valores mínimos diarios anuales históricos de temperaturas máximas.
- Ajuste de función de probabilidad
- Estimación de temperaturas mínimas asociadas a diferentes periodos de retorno.

Para poder determinar con precisión las temperaturas mínimas asociadas a los periodos de retorno de las ondas cálidas (5, 10, 25 y 50 años), se recurrió a un ajuste de funciones de probabilidad de norma, logarítmica normal, exponencial, Gumbel y doble Gumbel que tiene la siguiente forma:

$$F(X_T) = P(X \leq X_T) = \exp \left[ -\exp \left( \frac{X_T}{\alpha} u \right) \right]$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} Sx}{\pi}$$

$Sx =$  desviación estándar

$$u = \underline{X} - 0.5272 \cdot \alpha$$

$\underline{X} =$  media muestral

Se obtendrá el valor de temperatura mínima para el periodo de retorno T

$$\frac{1}{T} = P(X \geq X_T) = 1 - P(X < X_t) = 1 - P(X_T) \rightarrow P(X_t) = \frac{T-1}{T}$$

Si hacemos

$$y_T = \frac{X_t - u}{\alpha} \rightarrow P(X_T) = \exp[-\exp(-y_T)] \rightarrow y_T = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

Como

$$y_T = \frac{X_t - u}{\alpha} \rightarrow X_T = \alpha \cdot y_T + u$$

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de periodo de retorno para ondas cálidas de estaciones climatológicas para temperaturas máximas que tienen influencia en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

**Tabla 52.** Temperaturas máximas (°C) asociadas a diferentes periodos de retorno (años).

No. Estación	Nombre de la estación	Tr (tiempo de retorno)			
		5	10	25	50
13028	San Miguel de Allende	30.73	31.82	33.21	34.24
13029	San Lorenzo Sayula	32.80	34.54	36.75	38.38
13031	Santiago Tulantepec	33.89	35.01	36.44	37.50
13033	Singuilucan	31.72	32.54	33.57	34.33
13041	Tulancingo (OBS)	33.56	34.94	36.70	38
13059	Acatlán	32.44	33.77	35.46	36.72
13082	Presa la Esperanza	33.44	34.35	35.50	36.35
13085	Presa Tezoyo	31.73	34.40	37.77	40.27
13094	Acaxochitlán	34.56	36.62	39.22	41.15
13116	El Zembo	33.16	34.40	35.95	37.10
13127	El Aserradero	31.03	32.46	34.27	35.62
13130	Santa María Asunción	31.71	32.90	34.40	35.52

### Factores de riesgo

Los principales factores de riesgo asociados con la exposición a olas de calor son:

### Factores personales

- Adultos mayores, especialmente en el grupo de edad mayor de 65 años.
- Lactantes y menores de 4 años.
- Personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y mentales (Demencias, Parkinson).
- Personas con enfermedades crónicas (diabetes mellitus), obesidad mórbida.
- Personas en tratamientos médicos (diuréticos, neurolépticos, anticolinérgicos y tranquilizantes).
- Trastornos de la memoria, dificultades de comprensión o de orientación o poca autonomía en la vida cotidiana.
- Dificultades en la adaptación al calor.
- Enfermedades agudas durante los episodios de temperaturas excesivas.
- Consumo de alcohol y otras drogas.

#### **Factores ambientales, laborales o sociales**

- Personas que viven solas, en la calle y/o en condiciones sociales y económicas desfavorables.
- Ausencia de climatización y viviendas difíciles de ventilar.
- Exposición excesiva al calor por razones laborales (trabajo manual en el exterior o que exigen un elevado contacto con ambientes calurosos), deportivas (deportes de gran intensidad física) o de ocio.
- Contaminación ambiental.
- Ambiente muy urbanizado.
- Exposición continua durante varios días a temperaturas elevadas que se mantienen incluso por la noche.

### **5.2.2 Sequía**

La sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando las precipitaciones de un período de tiempo son menores que el promedio esperado, y cuando esta deficiencia de agua es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas. De esta

manera, la prevalencia de condiciones secas son cada vez más comunes y se espera que sean recurrentes en los años venideros debido al cambio climático actual. Bajo este escenario las actividades económicas (especialmente las primarias) resultan afectadas, pues año con año se generan procesos de desertificación que hacen perder millones de hectáreas de tierras cultivables y de ganado en el mundo. A pesar de que las sequías se clasifican normalmente como meteorológicas, agrícolas, hidrológicas o socioeconómicas, todas implican una deficiencia de precipitación y escasez de agua, destinada para alguna actividad o algún grupo humano. La sequía debe ser considerada una condición relativa y no absoluta.

La deficiencia de precipitaciones resulta en impactos económicos y ambientales significativos. La sequía, a diferencia de otros fenómenos naturales, es de evolución lenta, es decir, es una amenaza natural progresiva, sus efectos se acumulan durante periodos de tiempo considerables y pueden persistir incluso años después de la merma del tiempo seco; es por esta razón que resulta un problema definir el inicio y final de estos eventos. El riesgo asociado a la sequía tiene tanto un componente natural como un componente social, pues están interrelacionados. Los fenómenos climáticos asociados a la sequía son las altas temperaturas, fuertes vientos, baja humedad relativa, tolvaneras y tormentas de polvo.

**Características y severidad:** Se pueden distinguir tres características principales que definen una sequía, éstas son su intensidad, duración y cobertura espacial (territorial). La intensidad se refiere al grado de déficit de la precipitación y/o severidad de los impactos asociados. En cuanto a duración, las sequías requieren un mínimo de dos a tres meses de bajas precipitaciones para poder definirse y pueden continuar durante meses o incluso años. La magnitud de los impactos de las sequías se encuentra estrechamente ligados al momento de la aparición de la escasez de precipitación, su intensidad y la duración del evento. En cuanto a sus características espaciales, las zonas afectadas que desarrollan sequía la presentan gradualmente.

Las principales causas de las sequías se encuentran relacionadas con: cambios en las dinámicas atmosféricas y alteraciones en la circulación general de la atmósfera a largo plazo, así como modificaciones en la cantidad de luz solar reflejada en la superficie de la Tierra, cambios en la temperatura de la superficie de los océanos e inclusive el incremento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, que al interactuar al mismo tiempo ocasionan variaciones espacio-temporales de las precipitaciones (CENAPRED, 2021).

**Impactos de la sequía:** se pueden clasificar en económicos, ambientales y sociales que se describen a continuación. Los impactos económicos van desde pérdidas directas en los sectores

agrícolas y pecuarios, hasta en las actividades de recreación, transporte y sector energético. Los ambientales son el resultado del daño a las especies vegetales y animales, hábitat, degradación de la calidad del paisaje y erosión del suelo. Los impactos sociales se refieren a la seguridad pública, la salud, los conflictos entre usuarios del agua y las desigualdades generadas. Algunos daños secundarios a causa de las sequías son los incendios forestales y la desertificación. Cuando la capa vegetal se pierde por el fuego, el suelo queda desprotegido ante los agentes erosivos como son el viento o la lluvia, acelerando el proceso de erosión del suelo (CENAPRED, 2021).

En México, la ocurrencia de sequías es una constante y en el siglo XX se registraron cuatro periodos anómalamente secos significativos entre 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996. No obstante, posterior a estos intervalos también se han presentado sequías severas, por ejemplo en 1997-1998. En este periodo la mayor parte del territorio nacional experimentó un ambiente seco con altas temperaturas y escasez de lluvias prolongado que tan solo el estado de Hidalgo desencadenaron cerca de 400 incendios forestales y la pérdida de 13000 hectáreas de bosque (CONAFOR, 2023).

La recurrencia de este fenómeno hidrometeorológico permitió que en el año 2023 se creara el Monitor de Sequía de América del Norte (North American Drought Monitor, NA-DM), que es un programa de cooperación internacional entre expertos de México, Canadá y Estados Unidos enfocado a monitorear la sequía en América del Norte. En este sistema, se genera información cartográfica a escala continental donde se señalan las zonas que han sufrido algún grado de sequía según la clasificación que se explica a continuación:

**Anormalmente seco:** se trata de una condición de escasez de humedad, no es un tipo de sequía. Se presenta al inicio o al fin de un período de sequía. Durante el inicio de la sequía, debido a la falta de precipitaciones de corto plazo, se retrasa la siembra de cultivos anuales y se limita el crecimiento de los cultivos o pastos, además, aumenta el riesgo de incendios por arriba del promedio. Al final de la sequía, el déficit persistente de agua, los cultivos se pierden o no se recuperan completamente.

**Sequía moderada:** se producen daños a los cultivos y pastos; existe un alto riesgo de incendios forestales; niveles bajos en arroyos, embalses, presas y pozos; se presenta una escasez generalizada de agua, y se requiere que se restrinja su uso de manera voluntaria.

**Sequía severa:** son probables las pérdidas en cultivos; existe muy alto riesgo de incendios forestales (de tipo horizontal); la escasez de agua es común y por tanto, se deben imponer restricciones al uso del agua.

**Sequía extrema:** las pérdidas en los cultivos son generalizadas; el peligro de la generación de incendios forestales es extremo; la escasez de agua o las restricciones de su uso se generalizan.

**Sequía excepcional:** se producen pérdidas excepcionales y generalizadas de los cultivos, además de que se originan incendios forestales masivos (tipo copa); la escasez de agua en los embalses, arroyos y pozos es sumamente alta y se crean situaciones de emergencia debido a la ausencia de agua por un largo periodo de tiempo.

Haciendo uso de la cartografía generada por el NA-DM, se determinaron los años y meses en que el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero ha presentado algún grado de sequía (Tabla 53).

**Tabla 53.** Registro mensual de presencia de sequía en el territorio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo (2014-2023).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2014												
2015								D0	D0			
2016												
2017						D0	D0					
2018					D0	D0	D0	D0	D1	D0		
2019	D0	D1	D1	D1	D1	D0	D0	D0	D1	D0	D0	D0
2020	D0	D0	D0	D0	D0	D0	D0	D0	D0	D0	D0	D0
2021	D0	D0	D0	D0	D0							
2022			D0	D0	D1	D1	D1	D1	D1	D2	D2	D2
2023	D3	D3	D3	D2		D0	D0	D0				

**Tipo de sequía**

D0	Anormalmente seco
D1	Sequía moderada

D2	Sequía severa
D3	Sequía intensa

**Fuente:** Monitor de Sequía de México, Servicio Meteorológico Nacional

Con base en la cartografía del NA-DM del período de enero 2014 a junio de 2023, el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero es afectado por los siguientes tipos de sequías: periodos anormalmente secos, sequía moderada, sequía severa y sequía intensa. Tomando en consideración el intervalo estudiado, se puede observar que los periodos anormalmente secos son una constante en el municipio y vivió dos años consecutivos de sequía, 2019 (D0-D1) y 2020 (D0). Así mismo, se puede observar que desde marzo de 2022 hasta abril de 2023 la sequía se recrudeció, pasando de moderada (D1) hasta intensa (D3). El panorama de Santiago Tulantepec para este fenómeno no es alentador, pues se espera que a nivel nacional los años de sequía se conviertan en una constante debido al cambio climático actual y se recrudezcan por la mayor incidencia del fenómeno de El Niño a corto, mediano y largo plazo y la deforestación creciente (Cai et al., 2014; IPCC, 2021).

[MAPA CLAVE ARST 05.10.1 – PÁGINA COMPLETA]

### 5.2.3 Heladas

Una helada o escarcha es un fenómeno caracterizado por temperaturas inferiores a 0 °C a nivel del suelo (1.5 m) que propician el congelamiento del vapor de agua circundante sin pasar por el estado líquido y precipitándose en forma de cristales de hielo. Estos fenómenos son de origen radiativo, suelen ser locales y se producen desde finales de otoño hasta invierno, cuando son más comunes.

Las principales condiciones meteorológicas que influyen en la formación de las heladas son el viento, la nubosidad, la humedad atmosférica y la radiación solar.

**Nubosidad:** las nubes son extensos conjuntos de pequeñas gotas de agua y cristales de hielo suspendidos en el aire que se forman cuando el vapor de agua del aire llega a los niveles altos de la atmósfera y se condensa alrededor de núcleos higroscópicos debido al enfriamiento adiabático. Cuando la nubosidad es extensa y gruesa, impide el paso de la radiación a la superficie mientras la refleja al exterior de la Tierra con lo cual el suelo pierde calor y se enfría.

**Humedad atmosférica:** cuando la temperatura disminuye a 0° C o menos, y el viento es escaso, el vapor de agua contenido en el aire, se condensa; si la humedad es abundante, ésta

producirá niebla y cuando tiene poco contenido de humedad, se conformará una helada. Por ello una gran cantidad de humedad atmosférica reduce la probabilidad de ocurrencia de heladas. Cuando se presenta una helada, en los cuerpos de agua de la zona circundante y en objetos sobre el terreno se pueden formar capas de hielo.

**Radiación solar:** una proporción importante de la radiación solar es absorbida por la superficie de la Tierra y otra es devuelta desde la superficie hacia el espacio (radiación reflejada). Durante el día, el suelo retiene calor y durante la noche lo pierde; estos procesos dependen de la nubosidad y del viento. Cuando los días son más cortos y las noches más largas, aumenta la ocurrencia de heladas; aunque exista una menor acumulación de calor en el suelo, habrá un mayor tiempo para que se produzca la radiación del calor hacia el aire.

**Clasificación de las heladas:** Las heladas se pueden agrupar en varias categorías de acuerdo a criterios distintos, en lo que respecta al efecto visual en los cultivos, se tienen dos tipos de heladas, la blanca y la negra. Las heladas blancas se forman cuando el punto de congelación es menor al punto de rocío, con estas condiciones el vapor atmosférico se congela y forman cristales que se agrupan en las plantas y objetos expuestos, dando una tonalidad blanca. Las heladas negras ocurren cuando la temperatura del punto de rocío es menor que la de congelación y hay poca humedad en el ambiente; con estas condiciones el agua que se congela procede del interior de las plantas.

Los relieves donde se presentan con mayor frecuencia las heladas son los valles y depresiones. En México, la ocurrencia de heladas es por lo general en el centro y norte del país durante los meses fríos del año (noviembre-febrero) y se presentan en la madrugada o justo antes del amanecer, cuando se alcanzan las temperaturas mínimas. Por otra parte, la severidad de una helada depende de la disminución de la temperatura del aire y de la resistencia de los seres vivos a ella, por lo cual su impacto está en función del contexto regional.

De acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional (2008), las heladas por sus cualidades gélidas ambientales, pueden presentar los siguientes efectos ambientales (Tabla 54):

**Tabla 54.** Efectos ambientales de las heladas.

Temperatura	Designación	Vulnerabilidad
-------------	-------------	----------------

0 a -3.5°C	Ligera	El agua comienza a congelarse; daños pequeños a las hojas y tallos de la vegetación; si hay humedad el ambiente se torna blanco por la escarcha.
-3.6 a -6.5°C	Moderada	Los pastos, las hierbas, y hojas de plantas se marchitan y aparece un color marrón o negruzco en su follaje; aparecen enfermedades respiratorias en los humanos, se comienzan a utilizar mecanismos de calefacción.
-6.6 a -11.5°C	Severa	Daños severos en las hojas y frutos; se rompen algunas tuberías de agua por congelamiento; se incrementan las enfermedades respiratorias; existen algunos decesos producto de hipotermia.
>-11.6°C	Muy severa	Las plantas mueren, algunos frutos no protegidos se dañan totalmente; los daños son elevados sobre todo en las zonas tropicales.

**Periodo libre de heladas:** muestra la cantidad de días que han transcurrido desde la última helada de la temporada invernal hasta la primera helada de la siguiente temporada y se determinó con la aplicación en Excel “FriskS\_NH” (Snyder y Paulo, 2008). Este programa calcula las probabilidades de que ocurra una temperatura mínima por debajo de la temperatura crítica en una fecha más tardía en primavera. De forma similar, se calculan las probabilidades de que ocurra una temperatura mínima por debajo de la temperatura crítica en una fecha más temprana en otoño. FriskS.xls primero determina, para cada año, la fecha del último día de primavera en que la temperatura mínima cae por debajo de la temperatura crítica introducida, después calcula la media ( $\mu_d$ ) y la desviación típica ( $\sigma_d$ ) de la última fecha en primavera durante los años registrados. La probabilidad para la última fecha de helada en primavera se calculan utilizando:

$$P(T_n < T) = 100 \left\{ 1 - \exp \left[ -\exp \left( \frac{d - \beta_d}{\alpha_d} \right) \right] \right\}$$

Donde ‘d’ es el día del año,  $\alpha_d = \sigma_d / 1,283$  y  $\beta_d = \mu_d + 0.45\sigma_d$

La precisión de los cálculos de probabilidad de los datos de temperatura se encuentra limitada por los datos meteorológicos de diferentes años disponibles, por ello, un número mayor de datos proporciona una estimación más precisa. Para utilizar la aplicación FriskS\_NH.xls, se introducen un mínimo de 20 años de datos de temperatura mínima diaria. No obstante, se utilizan más años de datos si están disponibles.

**Tabla 55.** Periodo libre de heladas para las estaciones meteorológicas cercanas al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

No. Estación	Estación	Fin	Inicio	Periodo (días)
13031	Santiago Tulantepec	15 de febrero	28 de octubre	256
13082	Presa la Esperanza	05 de marzo	30 de septiembre	209
13085	Presa Tezoyo	30 de mayo	02 de agosto	64
13027	San Jerónimo	25 de mayo	11 de agosto	78
13028	San Miguel Allende	10 de abril	02 de septiembre	145
13029	San Lorenzo Sayula	20 de abril	01 de agosto	103
13033	Singuilucan	11 de marzo	26 de octubre	229
13130	Santa Maria Asunción	07 de abril	20 de septiembre	166
13094	Acaxochitlán	04 de marzo	13 de diciembre	284
13127	El Aserradero	15 de abril	01 de agosto	108

De igual manera, se estimaron aquellas fechas que presentan 50% de certidumbre en que se registran temperaturas por debajo de 0°C. Con este valor, se calcula la fecha en que se puede presentar una helada fuera del periodo normal de heladas. En este contexto, en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se pueden presentar heladas muy tempranas durante los meses veraniegos de agosto-septiembre y heladas muy tardías en primavera durante el mes de abril e incluso mayo. Según el Atlas Nacional de Riesgos se presentan de 61 a 120 días con heladas

en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, por lo tanto representan un riesgo latente para la salud de la población e infraestructura municipal (ej. congelamiento de tuberías). En la tabla 56 para cada estación se presenta el período anual en el que la temperatura no desciende por debajo de los 0°C, es decir, el total de días que se encuentran libres de heladas.

**Tabla 56.** Certidumbre de que la temperatura normal no descienda por debajo de los 0°C.

No. Estación	Estación	Tardías	Tempranas	Periodo (días)
13031	Santiago Tulantepec	12 de marzo	31 de agosto	172
13082	Presa la Esperanza	10 de abril	15 de agosto	127
13085	Presa Tezoyo	31 de mayo	01 de agosto	62
13027	San Jerónimo	31 de mayo	01 de agosto	62
13028	San Miguel Allende	31 de mayo	01 de agosto	62
13029	San Lorenzo Sayula	28 de abril	01 de agosto	95
13033	Singuilucan	05 de abril	26 de agosto	143
13130	Santa Maria Asunción	30 de mayo	01 de agosto	63
13094	Acaxochitlán	29 de marzo	20 de octubre	205
13127	El Aserradero	18 de mayo	01 de agosto	75

[MAPA CLAVE ARST 05.11.1 – PÁGINA COMPLETA]

## 5.2.4 Tormentas de granizo

El granizo es un tipo de precipitación sólida (partículas o grumos de hielo de forma irregular) y se forma en las tormentas severas cuando las gotas de agua o los copos de nieve formados en el interior de nubes cumulonimbos son arrastrados por corrientes ascendentes de aire que sobre-enfrían el agua produciendo su congelamiento, este hielo formado desciende por gravedad pero

es devuelto en altura por las mismas fuertes corrientes convectivas. Cuando el grano de hielo es lo suficientemente pesado para las corrientes, entonces se precipitan a la superficie. Si la atmósfera baja es relativamente cálida el hielo se derretirá y precipitará lluvia, si por el contrario la atmósfera baja es fría se presentará granizo.

El tamaño de las partículas de granizo se encuentra entre los 5 milímetros de diámetro hasta pedruscos del tamaño de una pelota de golf, mientras las primeras suelen ser inofensivas como unidades, las segundas pueden acarrear grandes daños al transporte público e incluso a los individuos. Sin embargo, el mayor daño del granizo, independientemente de su tamaño individual es a los cultivos.

El depósito del granizo puede mantear la superficie terrestre pero también exhibir un patrón angosto y largo a manera de un corredor. La mayoría de las tormentas de granizo ocurren durante el verano entre los paralelos 20° y 50° (la zona intertropical), tanto en el hemisferio norte como en el sur y pueden formarse por convección del continental (humedad no oceánica).

En cuanto a su forma el granizo puede ser irregular o regular; estas partículas generalmente constan de un núcleo congelado envuelto en varias capas de hielo uniforme, las capas pueden ser opacas o transparentes y son indicativas del tipo de masa de aire y del proceso de crecimiento del núcleo de granizo, sin son opacas es porque el crecimiento ha sido rápido y quedó atrapado aire en la capa. Y si la capa es transparente el crecimiento ha sido lento y las burbujas de aire tuvieron tiempo de escapar.

En México, los daños más importantes por granizadas se presentan principalmente en las zonas agrícolas rurales, ya que se destruyen los cultivos y plantíos, causando en ocasiones, la pérdida de animales de cría. En las regiones urbanas afectan a las viviendas, construcciones, alcantarillas, áreas verdes, y pueden llegar a colapsar el transporte vial. Cuando se acumula en cantidades lo suficientemente significativas puede obstruir el paso del agua pluvial en coladeras y desagües, generando inundaciones o encharcamientos importantes durante algunas horas. La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño. Sin embargo, la distribución de la frecuencia del granizo se determina con base en el Índice de Peligro por Tormentas de Granizo (IPTG), para el análisis de peligro de este fenómeno se utilizó el número de días con granizo del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2023).

**Tabla 57.** Peligro por tormentas de granizo.

Número de días con granizo	Valor	Índice	Grado
>5	7.5	1.00	Muy alto
2-5	3.5	0.47	Alto
1-2	1.5	0.20	Medio
0-1	0.5	0.07	Bajo
Sin granizo	0	0.00	Muy bajo

**Fuente:** Vidal y García, 2007

Para estimar el grado de peligro por granizo se asignó un valor a cada uno de los intervalos de la tabla anterior, el cual se calculó a partir de las diferencias de los límites superiores de los intervalos de los números de días con granizo. El valor del índice se realizó a partir de cada valor dividido entre el dato más alto (Espinosa, et al., 2012).

Las zonas más afectadas de México por tormentas de granizo se encuentran en el altiplano de México y algunas regiones de Chiapas, Guanajuato, Durango y Sonora. Según los registros de 1979-1988, pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua, los estados que sufrieron más daños en la agricultura fueron: Guanajuato (109, 767 ha), Chihuahua (56,355 ha), Tlaxcala (51,616 ha), Nuevo León (37,837 ha) y Durango, (35,393 ha). Además, se estima que una población mayor a los 6 millones de habitantes se encuentra expuesta a granizadas severas. Las ciudades más afectadas con mayor frecuencia son Puebla, Pachuca, Tlaxcala, Zacatecas y la Ciudad de México, donde se tiene la mayor incidencia de granizadas durante los meses de mayo, julio y agosto (CENAPRED, 2010). En el estado de Hidalgo se ha reportado la incidencia de tormentas de granizo en diversos municipios, en los que ha dejado pérdidas de cultivos y daños estructurales en las viviendas. Por ejemplo, de acuerdo con la Base de Datos sobre Declaratorias de Emergencia, Desastre y Contingencia climatológica, en 2006 se emitieron declaratorias de contingencia climatológica en los municipios de la Altiplanicie Pulquera (Emiliano Zapata, Apan, Almoloya) y Tepatitlán (CENAPRED, 2013).

De acuerdo con las bases de datos del Centro Nacional para la Prevención de Desastres, en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se presentan tormentas de granizo de baja

intensidad y un índice de 0-1 días con granizo al año, por lo que el riesgo es muy bajo, aunque debe ser considerado como un riesgo latente en función del clima cambiante.

[MAPA CLAVE ARST 05.12.1 – PÁGINA COMPLETA]

## **5.2.5 Tormentas de nieve**

Las nevadas, también conocidas como tormentas de nieve, son una forma de precipitación sólida en forma de copos que se forma en el aire por congelación de gotas de agua sobreenfriadas a temperaturas de -12 a -16 °C (Dickerson-Lange et al., 2017). Cuando la temperatura del suelo es mayor que a 0°C, los cristales de hielo que se forman en la atmósfera se funden y se convierten en lluvia. Cuando la trayectoria de precipitación del agua atraviesa una capa de aire cálido, a pesar de que la temperatura del suelo se halla por debajo del punto de fusión, las gotas de lluvia se vuelven líquidas y se congelan nuevamente en medida que atraviesan la capa más fría para alcanzar el suelo en forma de aguanieve. Si la temperatura del suelo es inferior a la de fusión, y no existe una capa de aire caliente, el conglomerado de cristales de hielo alcanza la superficie terrestre en forma de nieve (SENAMHI, 2004).

Los fenómenos meteorológicos que provocan las nevadas ocurren principalmente durante el invierno, debido al avance de las masas de aire polar y los frentes fríos, que en algunas ocasiones llegan a interactuar con corrientes en chorro, líneas de vaguadas, y entrada de humedad de los océanos hacia tierra. Estos fenómenos provocan la formación de nubes estratiformes, principalmente del tipo nimbo-estratos que durante las tormentas invernales producen la precipitación en forma de lluvia, aguanieve o nieve, (CENAPRED, 2010; De Fina y Ravelo, 1979).

Debido a la situación geográfica de nuestro país son pocas las regiones que padecen de nevadas, siendo más acentuado este fenómeno en regiones altas como montañas o sierras, principalmente, durante el invierno. Un caso extraordinario ocurrió en el invierno de 1967, donde aproximadamente el 50% del territorio nacional resultó afectado por una nevada, incluso en el Valle de México.

En las ciudades, los efectos negativos de las nevadas se manifiestan de distintas maneras, como fallas en el servicio de suministro de energía eléctrica, obstrucción del drenaje con nieve, daños a infraestructura carretera, colapso de techos, entre otros, además de que puede causar decesos en la población. En las zonas rurales las tormentas de nieve pueden tener efectos considerables sobre el cultivo de acuerdo a su tipo y la etapa de crecimiento en la que se encuentre. Las

nevadas principalmente ocurren en el norte del país y en las regiones altas, y rara vez se presentan en las regiones del sur y sureste. Durante la estación invernal en las sierras del estado de Chihuahua suceden en promedio más de seis nevadas al año, mientras que, en algunas regiones al norte de Durango Sonora, las nevadas tienen una frecuencia de tres veces al año. También se han registrado nevadas que han afectado a las ciudades del centro del país, como Toluca, Ciudad de México, Puebla, Tlaxcala y San Luis Potosí. Eventualmente pueden formarse nevadas en el altiplano de México por la influencia de las corrientes frías provenientes del norte del país. Históricamente las zonas donde su ocurrencia es más frecuente son los volcanes de la Faja Volcánica Trans-mexicana, que superan los 4,500 m.s.n.m, como el Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca; también en las sierras de Chihuahua, Durango, Sonora, Coahuila, Baja California y Nuevo León y, en menor frecuencia, en la zona del Bajío (Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Jalisco), así como en las partes altas del Valle de México, como es la Sierra de Chichinautzin.

El Atlas Nacional de Riesgos muestra que el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero presenta un índice de frecuencia de nevadas menor a 0.03, lo cual representa una probabilidad muy baja de ocurrencia, y, aunque es muy poco probable de llegarse a presentar se daría en las localidades en la zona sur y oeste donde se encuentran montañas con las mayores elevaciones sobre el nivel del mar (Tabla 58).

**Tabla 58.** Localidades con mayor altitud en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo.

Localidad	Altura sobre el nivel del mar	Población
Las Lajas	2,460	352
Sangre de Cristo	2,396	115
Altepemila	2,340	331
Los Romeros	2,300	2,047
Paxtepec	2,300	1,521
San Luis Buena Vista	2,272	2,272

## 5.2.6 Huracanes

**Ondas tropicales:** son ondas tropicales o tipos de vaguadas (áreas alargadas de baja presión) que acarrean nubosidad y lluvias por lo general detrás de su eje de onda. Estas son impulsadas por los vientos alisios y pueden ser precursoras de ciclones tropicales más intensos. La velocidad promedio con la que se mueven las ondas tropicales oscila entre los 20 a 30 km/h, teniendo un período entre cada onda de 3 a 5 días.

**Ciclones tropicales:** se forman sobre el mar por perturbaciones atmosféricas precedidas de ondas tropicales (Lobato, 2009). Estos fenómenos se desplazan de este a oeste y se intensifican en función de las temperaturas superficiales del océano, la presión y humedad atmosférica entre los trópicos (capricornio y sagitario). Estos fenómenos se organizan alrededor de un centro de baja presión atmosférica y giran en sentido antihorario en el hemisferio norte, mientras en el sur tienen un movimiento horario. Estos eventos meteorológicos se manifiestan por intensos vientos con dirección cambiante, oleaje fuerte, marea alta y lluvias torrenciales. Así mismo, dependiendo de la región donde se forman, los ciclones pueden adoptar diferentes denominaciones como Tifón (Pacífico noroeste), Baguio (China, Filipinas), Willy-Willy (Australia).

De acuerdo con la velocidad de sus vientos un ciclón será clasificado siguiendo la escala Saffir-Simpson (Tabla 59).

Esta escala categoriza a los huracanes en el intervalo de 1 a 5 según la velocidad sostenida del viento que alcanza un huracán. Los huracanes que llegan a alcanzar la categoría 3 y superiores, se consideran huracanes mayores debido a su potencial destructivo (NOAA, 2023).

**Tabla 59.** Escala de Saffir-Simpson

Categoría	Velocidad del viento (km/h)	Velocidad del viento (mph)	Energía liberada (kt)
1	119-153	74-95	64-82
2	154-177	96-110	83-95
3	178-208	111-129	96-112

4	209-251	130-156	113-136
5	>252	>157	>137

Si los ciclones superan los 119 km/h se les asignará un nombre propio, definido por el Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos de América y si el viento tiene velocidades inferiores a 119 km/h, entonces se le conocerá como depresión tropical.

Para la formación de un ciclón tropical deben estar presentes los siguientes elementos atmosféricos:

**Temperatura superior a 30 °C:** a partir de este umbral. el agua del océano se evapora lo suficientemente rápido para que se forme el sistema ciclónico. Es ese proceso de evaporación-condensación el que conforma las bandas de nubes y proporciona la energía térmica que le da la fuerza al sistema para generar vientos fuertes y lluvia. Debido a que en las zonas tropicales la temperatura es normalmente alta, constantemente originan el segundo elemento necesario.

**Humedad:** un ciclón tropical usa la evaporación como combustible, por ello se forman sobre el mar donde son favorecidos. Por el contrario, cuando esta fuente de humedad deja de ser suficiente, entonces se debilitan, como sucede al tocar tierra firme.

**Viento:** el viento cálido cerca de la superficie del mar causa alta evaporación y baja presión que arrastra al aire húmedo en forma de espiral hacia adentro y arriba, formando un sistema de retroalimentación y permitiendo que el proceso de evaporación siga en curso. Además, en los altos niveles de la atmósfera no debe existir presencia de cizalladura (vientos fuertes) para que la estructura se mantenga intacta y no se interrumpa este ciclo.

**Giro o “Spin”:** la rotación de la Tierra genera el efecto coriolis y el desplazamiento de los vientos; conforme el sistema de baja presión avanza a latitudes mayores, el viento comenzará a girar y conformará el ciclón tropical.

En el periodo de 1944 a 2009, se registraron un total de 723 ciclones tropicales, de los cuales el 53 % evolucionaron a la categoría de huracán. Del total de ciclones generados en el Pacífico sólo el 28% llegan a tener influencia en las costas de México, mientras que la proporción de ciclones tropicales que se forman en el Atlántico y que llegan a tocar costas mexicanas es del 12%.

México es uno de los principales países a nivel mundial con más características ciclogénicas, tanto en el pacífico como en el atlántico. Aun cuando los huracanes pueden formarse desde principios de mayo en el Mar Caribe o en el Golfo de México, la temporada oficial de huracanes comienza el 1 de junio y termina el 30 de noviembre. En la zona este del Pacífico Oriental, la temporada comienza oficialmente el 15 de mayo y termina el 30 de noviembre.

Para definir el riesgo por ciclones tropicales del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, se realizó una revisión histórica del número de estos fenómenos y su categoría que han afectado la demarcación, tanto los generados en el Atlántico como en el Pacífico.

Aunque los efectos directos de los huracanes son oleaje, vientos fuertes y marea de tormenta, éstos son prácticamente imperceptibles en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, ya que se encuentra a 142 km de las costas del Golfo de México y a 385 km de la costa del Océano Pacífico. Sin embargo, las lluvias de tormenta han tenido efectos indeseables en el municipio de Santiago Tulantepec, como inundaciones, deslaves, caídas de roca y hundimientos. A continuación se hace una reseña de los huracanes que por su trayectoria e intensidad han afectado al municipio.

### **Huracanes del Océano Pacífico**

**Huracán Cosme:** tocó tierra en el suroeste de México el 21 de junio de 1989. Fue la tercera tormenta tropical y el segundo huracán de la temporada de huracanes 1989 del Pacífico. Cosme se formó a partir de una onda tropical que surgió en la costa oeste de África y atravesó el océano Atlántico, finalmente cruzó hacia el Pacífico donde varios centros de circulación se asociaron con el sistema convirtiéndose en depresión tropical el 18 de junio, la tormenta se movió hacia el oeste y para el 20 de junio se intensificó en la tormenta tropical Cosme. Tocó tierra cerca de Acapulco durante la noche del 21 de junio debilitándose rápidamente sobre tierra. Muchas zonas montañosas recibieron precipitación de hasta 180 mm. Los fuertes vientos producidos por la tormenta dañaron numerosos árboles y líneas eléctricas a lo largo de las zonas afectadas.

### **Huracanes del Océano Atlántico (Golfo de México)**

**Huracán Dora:** se formó como una depresión tropical sobre la Bahía de Campeche el 10 de septiembre de 1956, más tarde se clasificó como una tormenta tropical con vientos de hasta 65 km/h. El 12 de septiembre alcanzó vientos de hasta 95 km/h poco antes de que tocara tierra cerca de Tuxpan, Veracruz y se disipará al día siguiente. Si bien se produjeron fuertes lluvias

en la región los daños se consideran menores, causó inundaciones y deslizamientos en algunas zonas. El estado que se vio más afectado fue Puebla, pues debido a un accidente carretero 20 personas resultaron heridas y hubo 13 muertes. (Dunn G., Davis W. & Moore P., 1956).

**Huracán Debby:** fue la octava depresión tropical, cuarta tormenta, y primer huracán de la temporada de huracanes en el Atlántico de 1988. Una fuerte onda tropical se formó cerca de la costa noroeste de África el 15 de agosto, al moverse en dirección norte se convirtió en la depresión tropical No. 7 cerca de las Antillas Menores. Ese sistema se movió al oeste convirtiéndose en la tormenta tropical Chris días después. Los remanentes de este ciclón tropical continuaron en dirección oeste y entraron al mar Caribe como un centro desorganizado de chubascos. Durante la noche del 29 de agosto, alguna convección se unió y un centro de baja presión de nivel inferior apareció sobre la península de Yucatán. El centro se desplazó hacia la bahía de Campeche y el 30 de agosto se convirtió en la depresión tropical No. 8. Las bandas nubosas se unieron y se organizaron el 1 de septiembre. La depresión tropical se movió en dirección oeste con un incremento en su desarrollo, transformándose en la tormenta tropical Debby el 2 de septiembre. Los mayores daños se presentaron en Tuxpan y Poza Rica, en el estado de Veracruz.

**Huracán Diana:** fue la cuarta tormenta y el segundo huracán de la temporada de huracanes en el Atlántico de 1990. Se formó como onda tropical cerca de las costas de África el 27 de julio, viajando hacia el oeste a través del Atlántico y permaneció desorganizada hasta que alcanzó el Mar Caribe, donde las condiciones se volvieron muy favorables para su desarrollo, intensificándose a depresión tropical el 4 de agosto frente a las costas de Nicaragua. El día 5 de agosto se convirtió en tormenta tropical al noreste de Honduras, siendo nombrado Diana. Cambió rápidamente de dirección hacia el noroeste y arremetió contra las costas de Quintana Roo, al sur de la isla de Cozumel, con vientos de más de 100 km/h. La tormenta se debilitó un poco en su paso sobre la península de Yucatán y emergió a la Bahía de Campeche el 6 de agosto con vientos de 80 km/h. En el Golfo de México la tormenta encontró condiciones favorables en su desplazamiento al oeste, tomando fuerza en mar abierto y convirtiéndose en huracán categoría 2 el 7 de agosto. Esa misma noche, el huracán alcanzó vientos máximos de 160 km/h, antes de tocar tierra en Tampico, Tamaulipas. En tierra causó lluvias en su desplazamiento a través de México, causando graves daños en los estados de Veracruz, Hidalgo y Puebla, siendo este estado el más afectado con 75,000 damnificados.

**Huracán Gert:** se formó el 14 de septiembre de 1993 y fue el tercer huracán de la temporada. Se originó como depresión a partir de una onda tropical sobre el suroeste del Mar Caribe. Alcanzó su máxima intensidad el 20 de septiembre en la Bahía de Campeche donde adquirió la categoría 2. Tocó tierra en la costa del Golfo de México cerca de Tuxpan, Veracruz, con vientos máximos de 155 km/h. Gert ingresó al Océano Pacífico el 21 de septiembre como una depresión cerca del estado de Nayarit donde volvió a desarrollar algunas tormentas eléctricas fuertes antes de disiparse en el mar cinco días después. Las fuertes lluvias provocaron inundaciones y deslizamientos, en México dejó 45 muertos y daños materiales de 156 millones de dólares. En el estado de Hidalgo las inundaciones y deslizamientos dañaron carreteras y puentes, además de cortar los servicios de energía, teléfono y agua. (Weather Prediction Center, s.f.).

**Huracán Dolly:** se formó el 9 de agosto de 1996 frente a la costa de África occidental, atravesando el Atlántico y el Caribe el 18 de agosto, en el que pasó a ser una depresión tropical para más tarde volverse una tormenta tropical. Dolly golpeó el noreste de México en Chetumal como huracán menor, se debilitó y volvió a recuperar fuerza de tormenta tropical el 21 de agosto para evolucionar a huracán el día 23 de agosto cuando tocó tierra entre Tampico y Tuxpan. Este ciclón rápidamente se convirtió en depresión tropical, y se disipó en el Pacífico el día 27 de agosto. (Weather Prediction Center, s.f.).

**Huracán Bret:** se originó el 27 de junio como una onda tropical entre América Central y la Península de Yucatán. El día 28 de junio, se encontraba sobre la Bahía de Campeche y se convirtió en depresión tropical un día después, aproximadamente a 90 km al Nor-Noroeste del Puerto de Veracruz, en el que más tarde se intensificó a tormenta tropical. Después se desplazó al oeste-noroeste e impactó en Tuxpan, Veracruz el día 29 de junio con vientos máximos sostenidos de 65 km/h. Finalmente se disipó sobre la Sierra Madre Oriental el mismo día. Bret dio lugar a lluvias intensas, con una acumulación de hasta 266 mm, lo que generó inundaciones en el norte de los estados de Veracruz y Puebla. (Hernández Uzón, 2007).

**Huracán Dean:** fue la cuarta tormenta en recibir nombre, la tercera tormenta y el primer huracán de la temporada de 2007. Así mismo, fue el huracán más intenso registrado en la cuenca del océano Atlántico desde el huracán Wilma en 2005. Se denominó huracán tipo “Cabo Verde” y se movió en sentido este-oeste a través del mar Caribe después de haber pasado sobre las Antillas Menores, donde dejó un saldo de tres muertos, uno en la República Dominicana, y finalmente devastaciones en México, donde causó el fallecimiento de catorce personas.

El huracán Dean se originó como una poderosa onda tropical que se alejaba de la costa occidental de África el 11 de agosto, que producía tormentas eléctricas y chubascos desorganizados en alta mar. La onda tropical encontró las condiciones meteorológicas que favorecieron su desarrollo gradual; el 13 de agosto se organizó lo suficiente para poder ser categorizada como depresión tropical, aunque en días previos fuertes vientos del este de gran altura (cizalladura) limitaron durante un tiempo su desarrollo. Posteriormente, la depresión tropical fue elevada a la categoría de tormenta tropical el 14 de agosto, recibiendo el nombre de Dean. El 16 de agosto se forma un ojo identificado por imágenes de satélite y es elevado a la categoría de huracán categoría 1, aunque poco después vuelve a ser tormenta tropical. El día 17, el huracán Dean llegó al mar Caribe con una velocidad de desplazamientos de 32 km/h. Finalmente, para el 21 de agosto de 2007 vuelve a intensificarse a huracán tocando tierra en la península de Yucatán. Al salir a aguas más cálidas en la Bahía de Campeche el huracán se fortalece en categoría 2, tocando tierra en Tecolutla al norte del estado de Veracruz la tarde del 22 de agosto. Tras su penetración en tierra, continuó su desplazamiento al oeste propiciando una gran zona de inestabilidad y lluvias intensas en los estados de Puebla, Hidalgo, Michoacán, Estado de México y Jalisco, para posteriormente internarse en el océano Pacífico y afectar finalmente a Baja California Sur con fuerza de tormenta tropical hasta su disipación. En el municipio de Apan se originaron lluvias muy fuertes, tormentas eléctricas y vientos fuertes. (Hernández Uzón, 2007)

**Huracán Lorenzo:** fue la duodécima tormenta en recibir dicho nombre, cuarto huracán y décimo tercer ciclón tropical de la temporada de 2007. Lorenzo se formó a partir de la depresión tropical No. 13 el día 25 de septiembre en aguas del Golfo de México a 290 kilómetros al este de Tampico. El 27 de septiembre se intensificó a tormenta tropical, localizándose a 160 km al noreste del Puerto de Veracruz y a 140 km al este de Barra de Nautla. Posteriormente, Lorenzo se intensificó a huracán categoría 1 con vientos sostenidos de 120 km/h y tocó tierra al noreste de Barra de Nautla con vientos de 130 km/h y rachas de 155 km/h. (Hernández Uzón & Bravo Lujano, 2007).

**Huracán Arlene:** se formó el día 28 de junio de 2011 en el Suroeste del Golfo de México siendo el primer ciclón de la temporada. Se formó a partir de una baja presión que cruzó la península de Yucatán. Cambió a tormenta tropical a 440 km al Este-Sureste de Tampico, Tamaulipas con vientos máximos sostenidos de 65 km/h. El día 29 alcanzó vientos máximos sostenidos de 85 km/h a una distancia de 180 km al Este de Tuxpan, Veracruz. El día 30 de junio, cuando alcanzó la que sería su mayor fuerza con vientos máximos sostenidos de 100

km/h a 55 km al Norte de Tuxpan, Veracruz, tocó tierra el mismo día a las 04:00 horas en Cabo Rojo, Veracruz, comenzó a perder fuerza al encontrarse con la Sierra Madre Oriental, finalmente el mismo día cercano a Orizatlán, Hidalgo se degradó a una depresión tropical, con vientos máximos sostenidos 55 km/h.

Arlene generó daños en áreas de cultivos de 100 hectáreas en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, el municipio fue uno de los que tuvo las menores afectaciones en el estado de Hidalgo. (Robles Moreno, 2013).

**Huracán Nate:** se generó el día 7 de septiembre de 2011 por la tarde en el Golfo de México; con vientos máximos sostenidos de 75 km/h. El día 8 tuvo vientos máximos sostenidos de 110 km/h, siendo la mayor fuerza que alcanzó, manteniéndose así hasta la mañana del día 9 en el que comenzó a perder fuerza; el mismo día a las 22:00 horas, definió su rumbo hacia la costa de Veracruz. En el día 10 se ubicó a 155 km al Noreste de Veracruz, con vientos máximos sostenidos de 100 km/h, manteniéndose así hasta el día 11, momento en el que comenzó a perder fuerza, al final del mismo día se ubicó en el estado de Hidalgo, a 7 km al Noroeste de la población de Zacualpan, Veracruz y a 45 km al Norte de Tulancingo, Hidalgo, con vientos máximos sostenidos de 45 km/h. (Hernández Uzón & Bravo Lujano, 2007).

**Huracán Fernand:** se formó el día 25 de agosto de 2013 por la tarde como una depresión tropical a partir de una zona de inestabilidad en el suroeste del Golfo de México, siendo la número seis de la temporada en el Océano Atlántico. Se ubicó a 80 km al este-noreste de la ciudad de Veracruz, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, el mismo día cuando se encontraba a 45 km al este de Veracruz, Fernand evolucionó a tormenta tropical con vientos máximos sostenidos de 75 km/h. En las últimas horas del día 25 de agosto, tocó tierra a 5 km al norte de Zempoala, Veracruz, con vientos máximos sostenidos de 85 km/h y empezó a debilitarse. El día 26 a las 10:00 horas, cuando se encontraba a 7 km al este-noreste de Coyutla, Veracruz se degradó a depresión tropical con vientos máximos sostenidos de 55 km/h. Finalmente, el mismo día por la tarde, mientras se desplazaba sobre territorio del estado de Hidalgo, Fernand se debilitó a una distancia de 60 km al nor-noreste de la ciudad de Pachuca, Hidalgo. (Bravo Lujano, 2013)

**Huracán Dolly:** inició el 1 de septiembre como un sistema de baja presión que se intensificó en depresión tropical para después alcanzar la categoría de Tormenta tropical, el día 3 de septiembre a 48 km al sur de Tampico, Tamaulipas, con una presión de 1009 milibares, con vientos sostenidos de 46 km/hr. El día 2 de septiembre, pasó a ser una tormenta tropical

encontrándose cercano a Tuxpan, Veracruz, esta vez con vientos de hasta 75 km/hr. Para el 3 de septiembre se degradó a depresión tropical, localizado a 144 km al suroeste de Tampico, Tamaulipas; y para este mismo día más tarde entró en disipación. (Secretaria de Marina, 2014)

**Huracán Danielle:** el día 19 de junio de 2016 a las 16:00 horas se formó como una depresión tropical la número 4 del Océano Atlántico, se ubicó a 170 km al este-noreste del Puerto de Veracruz y a 305 km al este-sureste de Tuxpan. Con vientos máximos sostenidos de 55 km/h y presión mínima de 1009 ha. El día 20 de junio a las 7:00 horas se volvió una tormenta tropical cerca de la costa norte de Veracruz, a 105 km al nor-noreste de Laguna Verde, Veracruz y a 140 km al este-sureste de Tuxpan, Veracruz, con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y presión mínima de 1008 ha. El mismo día a las 19:00 horas tocó tierra a 10 km al sur-sureste de Tamiahua, Veracruz y a 15 km al norte de Tuxpan, Veracruz., con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y presión de 1009 hPa. A las 22:00 horas, tiempo local se degradó a depresión tropical, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h. El día 21 de junio ubicándose a 15 km al nor-noroeste de Ixmiquilpan, Hidalgo y a 60 km al norte de Tula, Hidalgo se debilitó con vientos máximos sostenidos de 35 km/h. (Lara García, 2016)

**Huracán Franklin:** se formó el 7 de agosto de 2017, tocó tierra en la Península de Yucatán como tormenta tropical el día 8 de agosto al norte de Belice. Se debilitó una vez cruzó la Península de Yucatán, más tarde ese mismo día se fortaleció cercano a Campeche categorizándose como huracán. El 10 de agosto como un huracán de categoría 1, cerca de Vega de la Torre, Veracruz, para después pasar por Misantla, Veracruz, debilitándose al tocar terreno montañoso el 10 de agosto. . (Conagua, 2017)

**Huracán Katia:** se formó el día 5 de septiembre de 2017 a las 16:00 horas como una depresión tropical en el Océano Atlántico, a 125 km al este de Tampico, Tamaulipas y a 115 km al noreste de Cabo Rojo, Veracruz con vientos máximos sostenidos de 55 km/h. El día 6 de septiembre a las 04:00 horas se intensificó volviéndose una tormenta tropical localizándose aproximadamente a 165 km al este de Tampico, Tamaulipas y a 120 km al este noreste de Cabo Rojo, Veracruz con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y presión mínima central de 1006 ha. El mismo día 6 de septiembre a las 16:00 horas, Katia evolucionó a Huracán categoría 1, encontrándose a 295 km al este de Tampico, Tamaulipas y a 300 km al nor-noreste de Veracruz, Veracruz, con vientos máximos sostenidos de 120 km/h y presión mínima central de 992 hPa, manteniéndose así el día 7 de septiembre.

El día 8 de la categoría del huracán cambia a 2 debido a 130 km al noreste de Barra de Nautla, Veracruz y a 205 km al nor-noreste de Veracruz, Veracruz con vientos máximos sostenidos de 155 km/h y presión mínima central de 975 ha. El mismo día tocó tierra, degradándose a huracán categoría 1 a 20 km al noroeste de Tecolutla, Veracruz con vientos máximos sostenidos de 120 km/h y presión mínima de 988 hPa.

El día 9 de septiembre Katia se debilitó a Tormenta Tropical localizada en el Estado de Veracruz, aproximadamente a 20 km al sur-suroeste de Papantla y a 25 km al sur-sureste de Poza Rica con vientos máximos sostenidos de 70 km/h y presión de 998 ha. El mismo día se debilitó a tormenta tropical encontrándose en el Estado de Puebla, aproximadamente a 20 km al oeste-noroeste de Cuetzalan, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h y presión de 1004 hPa. El mismo día se disipó a 20 km al noroeste de Chignahuapan, Puebla y a 50 km al este-sureste de Tulancingo, Hidalgo. . (Montiel López, 2017) En Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero causó derrumbes de rocas que obstruyeron caminos y dificultaron la movilidad de los autos. (Gaceta del Senado, 2017).

**Huracán Grace:** fue la séptima tormenta nombrada, el segundo huracán y el primer gran huracán de la temporada de huracanes en el Atlántico de 2021, se originó por una onda tropical y se convirtió en depresión tropical el 14 de agosto. Se fortaleció hasta convertirse en la tormenta tropical Grace ese mismo día, pero se debilitó nuevamente a una depresión tropical. Se convirtió en huracán el 18 de agosto después de pasar cerca de Haití, alcanzando una intensidad máxima inicial con vientos máximos sostenidos de 130 km/h. Se debilitó nuevamente volviéndose una tormenta tropical después de tocar tierra en la Península de Yucatán y después el mismo día se intensificó en la Bahía de Campeche, convirtiéndose en un huracán de categoría 3 con vientos de 195 km/h. Finalmente tocó tierra en el estado de Veracruz en su máxima intensidad en la barra de Cazes, arrasando de manera feroz todo a su paso, pasando por Poza Rica en dirección a la sierra y fue ahí donde rápidamente perdió energía sobre el territorio continental de México el 21 de agosto. (Trejo Vázquez, 2021).

A partir de los datos analizados, con base en la información del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), debido a su distancia con respecto a las fuentes de humedad, el municipio de Santiago Tulantepec se ve afectado de manera indirecta por los ciclones tropicales. Sin embargo, los efectos negativos que tienen estos fenómenos hidrometeorológicos en el territorio municipal son considerables. Huracanes como Arlene, Nate, Danielle y Katia en 2011, 2013, 2016 y 2018, respectivamente,

causaron inundaciones, afectaciones a la agricultura, caídas de bloques y daños a la infraestructura. Cabe señalar que los huracanes también tienen efectos positivos en el estado, pues acarrearán humedad que permite la recarga de los cuerpos de agua superficiales (presas, lagos, ríos), de acuíferos y sustenta la agricultura de temporal (cuando las lluvias no son excesivas).

[MAPA CLAVE ARST 05.14.1 – PÁGINA COMPLETA]

## **5.2.7 Tornados**

Los tornados son fenómenos meteorológicos que se producen a raíz de una rotación de aire de gran intensidad y de poca extensión horizontal, que se prolonga desde la base de una nube cumulonimbo tipo súper-celda o mesociclón. La base de esta nube se encuentra a altitudes por debajo de los 2 km y se caracteriza por su gran desarrollo vertical, en donde su tope alcanza aproximadamente los 10 km de altura hasta la superficie de la tierra o cerca de ella.

Su duración es muy variable, entre algunos segundos y algunas horas. En el centro del tornado la presión atmosférica es muy baja, pudiendo alcanzar unos 100 milibares menos que en el ambiente alrededor del tornado. Los vientos máximos son muy difíciles de medir, estimándose que en los casos más intensos pueden superar los 650 km/h. Debido a esto, el tornado es el fenómeno atmosférico que tiene la mayor capacidad destructora a nivel local.

Los tornados son los fenómenos con mayor capacidad destructiva local y se asocian con nubes cumulonimbus. Este fenómeno se manifiesta en la base de la nube, donde forma una “nube pared” debido a la fuerte rotación de la tormenta, y posteriormente se extiende hasta alcanzar el suelo en forma de embudo. Generalmente, van acompañados por lluvia, granizo, relámpagos, rayos, ráfagas de viento intenso y de la oscuridad propia de las nubes. También se registran bajas presiones atmosféricas (de hasta 840 mbar) en el centro de la tormenta, lo que produce las veloces ráfagas de viento. Las afectaciones de un tornado resultan mayores que las de un huracán, debido a que la energía liberada se concentra sobre una superficie más reducida, además de que el efecto de la velocidad del viento y la baja presión (efecto vacío) producen el estallamiento de ventanas y el colapso de edificaciones. Los tornados se desplazan aproximadamente a velocidades de 50km/h, sin embargo, algunos se mueven lentamente pareciendo estar estacionarios, mientras que otros pueden alcanzar velocidades de 100km/h o más; así mismo, se estima que la velocidad interna del fenómeno puede alcanzar hasta 650

km/h. La trayectoria promedio de un tornado puede ser de unos pocos cientos de metros hasta cientos de kilómetros, dependiendo de las características de la tormenta que les dio origen; mientras que la anchura promedio es de unos pocos metros, aunque algunos pueden alcanzar tallas máximas de hasta 4 km (Tornado El Reno en 2013). En su mayoría adoptan la forma de embudo, con una nube de desechos cerca del suelo, cuando quedan oscurecidos completamente por lluvia o polvo son particularmente peligrosos porque lo que solo pueden ser identificados mediante imágenes de satélite que miden el efecto Doppler producido por el diferencial de velocidades de los vientos dentro del sistema de tormentas.

Los tornados pueden presentarse de muchas formas y tamaños, además de que pueden ser nombrados de distinta manera dependiendo de su lugar de formación o por la región donde se presentan. Las condiciones de iluminación son un factor determinante en su apariencia, un tornado visto con el sol detrás de él se ve muy oscuro, cuando el sol está a espaldas del observador su apreciación es gris o blanco brillante. Cuando el tornado se forma durante el ocaso se pueden apreciar tonos de amarillo, anaranjado y rosa, o a veces adquieren diversas coloraciones dependiendo de las características del terreno por donde pasa su trayectoria. La tabla 60 muestra la clasificación más común de los tornados con base en sus características.

**Tabla 60.** Tipos de tornados y sus características.

Tipo	Características
“Dust devil” o Diablos de polvo	Pequeños y débiles, se ven como un torbellino de polvo sobre el suelo. A pesar de que no adquieren la forma de embudo, la nube de polvo indica una fuerte rotación del viento en la superficie.
Tornado de cuerda o Serpiente de agua	Evento de forma casi cilíndrica y de altura relativamente baja.
Tornado de cuña	Tornado de un solo vórtice, que se aprecia como una enorme cuña enterrada en la tierra. Son de grandes dimensiones y muy destructivos.

Tornado de múltiples vórtices. Se aprecian como una familia de tornados que giran alrededor de un centro común, pueden llegar a quedar oscurecidos por la condensación, polvo y desechos aparentando ser un solo embudo.

Tromba Tornado que se forma sobre el mar o un cuerpo de agua lacustre.

Si bien la mayoría de los tornados, particularmente los más fuertes, se derivan de tormentas tipo súper-celdas, también algunos se pueden formar a partir de otras condiciones atmosféricas, y por lo tanto son denominados tornados no súper-celda. Estos tipos suelen ser de menor intensidad.

Existen varias escalas para medir la intensidad de un tornado, pero la aceptada universalmente es la Escala de Fujita (también llamada *Fujita-Pearson Tornado Intensity Scale*), la cual fue elaborada por Tetsuya Fujita y Allan Pearson de la Universidad de Chicago en 1971. Esta escala se basa en la destrucción ocasionada a las estructuras realizadas por el hombre y no al tamaño, diámetro o velocidad del tornado. Por lo tanto, no se puede calcular su intensidad a partir de la observación directa; se deben evaluar los daños causados por el meteoro. Existen seis grados (del 0 al 5) y se antepone una F en honor del autor (Tabla 61).

A diferencia de los Estados Unidos de América, en la República Mexicana no existe sistema alguno que permita alertar la presencia de este fenómeno hidro-meteorológico; sin embargo, ya existe instrumentación capaz de detectar tormentas súper-celda y tal vez tornados, como el radar "Doppler Mozotal" que recientemente fue instalado en el estado de Chiapas, bajo la operación del Servicio Meteorológico Nacional, y cuya información puede ser consultada en la página web de Cenapred.

**Tabla 61.** Escala Fujita-Pearson para tornados, basada en los daños causados (1971).

Escala	Tipo	Velocidad del viento (km/h)	Daños
--------	------	-----------------------------	-------

F0	Vendaval	60-100	Daños en chimeneas, ruptura de ramas, caída de árboles pequeños, daños, señalización pública y rótulos.
F1	Tornado moderado	100-180	Desprendimiento de tejados, coches ligeramente movilizados, algunos árboles arrancados del suelo.
F2	Tornado importante	180-250	Daños considerables en tejados y techos, árboles arrancados de raíz, casas débiles destruidas y objetos ligeros que son lanzados a gran velocidad.
F3	Tornado severo	250-320	Daños en construcciones sólidas, trenes afectados, la mayoría de los árboles son arrancados del suelo.
F4	Tornado devastador	320-340	Edificios y bardas severamente dañados, estructuras con cimientos débiles son arrancadas y movilizadas, coches y objetos pesados son arrastrados.
F5	Tornado increíble	420-550	Edificios grandes seriamente dañados o colapsados, coches lanzados a grandes distancias, las estructuras de acero sufren daños considerables.

**Fuente:** CENAPRED

Si bien los tornados pueden producirse a lo largo de casi todo el año, se observa una marcada variación estacional que difiere entre distintas latitudes, siendo su máxima ocurrencia durante verano en las latitudes medias. Pueden originarse a cualquier hora del día, aunque con mayor frecuencia durante las horas de la tarde entre las 2:00 p.m. y 8:00 p.m., esta situación se relaciona con el máximo calentamiento diurno de la superficie terrestre, ya que las altas temperaturas contribuyen a la inestabilidad atmosférica y a la formación de tormentas, que generalmente conducen a la generación de tornados.

En 1998, la National Geographic Society representó el riesgo por tornados para Norteamérica. Para México se obtuvo un riesgo medio sobre estrechas franjas de los estados de Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, mientras que el resto del país es catalogado como de bajo riesgo de ocurrencia. Cabe mencionar que en nuestro país se presentan las condiciones meteorológicas necesarias para la formación de los tornados súper-celdas y no-súper-celdas. En algunos lugares se presentan estacionalmente y en otros esporádicamente.

En la actualidad, se cuenta con una base de datos muy pequeña de estos fenómenos remitiéndose exclusivamente a una recopilación de información existente entre testimonios históricos, notas periodísticas, así como de registros orales.

Al analizar los 126 registros de tornados ocurridos en el territorio nacional entre los años 2000 a 2012, el riesgo de ocurrencia de tornado difiere para cada región del país, donde 29 de los 32 estados han presenciado este fenómeno natural, solo San Luis Potosí, Querétaro y Morelos permanecen sin incidencia. El mayor número de tornados registrados lo ocupa el Estado de México, la mayoría de ellos en las cercanías del Valle de México, Veracruz cuya posición geográfica se sitúa en gran parte de la costa del Golfo de México, ostenta el segundo lugar con 12 registros, seguido de Tlaxcala con 11. El estado de Coahuila que cuenta con solo 5 registros vivió en 2007 el tornado más desastroso registrado dentro del territorio nacional acontecido en el municipio de Piedras Negras.

Tanto el mapa de National Geographic Society en 1998 y los datos presentados por el boletín de Investigaciones Geográficas de la UNAM de 2013, colocan al estado de Hidalgo con muy bajo peligro de ocurrencia de tornados. En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero no se cuenta con registro de la presencia de dicho meteoro y con base en la información del mapa de presencia de tornados en municipios de México, elaborado por el CENAPRED, tampoco se le considera como zona con presencia de Tornados. A pesar de esto, diferentes municipios del estado (algunos aledaños-cercanos) sí han sido afectados por estos fenómenos (no-super-celda), causando daños leves a graves, por lo tanto no se descarta que en el entorno cambiante actual y futuro se pudiesen presentar estos fenómenos en escala menor (Tabla 62).

**Tabla 62.** Algunos registros de tornados en el Estado de Hidalgo durante los últimos 5 años.

Municipio	N	Y	Localidad	Fecha	Escala (estimada)	Afectaciones
-----------	---	---	-----------	-------	----------------------	--------------

El Arenal	98°55'45.9 3"O	20°14'46. 87"N	El Jiadi	13/03/ 2023	F1	Se reportaron daños pequeños a algunos comercios
Tulancingo	98°22'8.78 "O	20° 5'23.38" N	Tulancingo	30/08/ 2021	F0	Sin afectaciones
Zempoala	98°36'19.5 4"O	19°57'16. 10"N	Santa María	14/04/ 2023	F0	Sin afectaciones
Atotonilco de Tula	99°13'13.0 6"O	20° 0'32.53" N	Atotonilco de Tula	13/03/ 2023	F0	Sin afectaciones
Nopala de Villagrán	99°38'48.3 6"O	20°14'56. 88"N	Nopala de Villagrán	09/07/ 2020	F0	Sin afectaciones
Pachuca- Zapotlán de Juárez	98°50'19.1 5"O	20° 2'21.95" N	Entre Pachuca y Zapotlán de Juárez	18/04/ 2020	F1	Se reportaron daños en dos techumbres en el municipio de Zapotlán
Zempoala	98°37'39.4 9"O	19°54'1.9 5"N	San Gabriel Azteca	14/04/ 2023	F0	Sin afectaciones
Límites entre Tlaxcala y Hidalgo	98°20'29.7 2"O	19°39'30. 77"N	Unión Ejidal y libertad	16/05/ 2021	F2	Algunas casas y campos de cultivo
Apan	98°27'14.2 6"O	19°42'38. 94"N	Lomas de Pedregal	06/04/ 2021	F3	Laminas y techos derrumbados, bardas derrumbadas y árboles arrancados desde raíz

Ixmiquilpan	99°10'44.0 0"O	20°33'13. 92"N	Espino	29/04/ 2023	F3	Laminas y techos derrumbados, árboles arrancado de raíz y postes de luz derrumbados
-------------	-------------------	-------------------	--------	----------------	----	--

[MAPA CLAVE ARST 05.15.1 – PÁGINA COMPLETA]

## 5.2.8 Tormentas de polvo y vientos fuertes

Las tormentas de polvo son un fenómeno meteorológico muy común en las zonas áridas y semiáridas del planeta. Se forman cuando una ráfaga de viento es lo suficientemente fuerte como para elevar las partículas de polvo o arena que se encuentran en el suelo.

El calentamiento diferencial de la superficie de la Tierra crea una zona local de baja presión que induce que el aire de mayor presión circundante se desplace a esta región, generando vientos. Entre más diferencia de presión exista, la velocidad será mayor, al igual que la cantidad de polvo levantado, lo cual reduce significativamente la visibilidad y puede generar problemas mayores. Por ejemplo, cuando una tormenta de polvo intensa se produce en el desierto, la luz del sol se ve bloqueada parcialmente, la temperatura puede descender más de 15 °C e incluso la visibilidad podría reducirse a cero.

Algunos factores que contribuyen a la formación de tormentas de polvo son la desertificación, el cambio de uso de suelo, la sequía y cambio climático que en conjunto afectan las actividades productivas de las regiones donde se presentan. Sin embargo, estos fenómenos también pueden ser de escala hemisférica. El polvo del desierto del Sahara en África septentrional se puede desplazar por todo el Atlántico tropical hasta llegar a México y Centroamérica, trayendo consigo beneficios en la productividad oceánica y variaciones en la dinámica atmosférica. Es así como la presencia de polvo en la atmósfera puede alterar los patrones de precipitación, inhibiendo la formación de nubes de tormenta y generando condiciones de aridez.

Los grupos más vulnerables a las tormentas de polvo son amplios, desde infantes y adolescentes con problemas respiratorios (ej. asma, bronquitis, enfisema) hasta adultos mayores, personas con problemas cardíacos y mujeres embarazadas; incluso adultos sanos con labores en el exterior.

En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero no se presentan factores generadores de tormentas de polvo mayores, por lo tanto no existen registros de su ocurrencia. Tampoco se cuenta con indicios de afectación por este tipo de fenómeno para el municipio, por lo que la amenaza se considera nula. Sin embargo, sí pueden presentarse remolinos de menor escala que pueden levantar polvo y generar afectaciones menores a las personas a su alrededor (ej. ojos rojos) (ver sección 5.2.7).

### 5.2.8.1 Vientos

El viento tiene su origen en los gradientes de presión atmosférica y la interacción de volúmenes de aire con diferentes propiedades (temperatura, presión) y de acuerdo con el modelo general de circulación atmosférica, es afectado por el efecto Coriolis. Los cambios de presión impulsados por la temperatura, permiten que el aire adquiera diferente densidad y una inestabilidad que propiciará su movimiento. De esta manera, el aire más denso (con mayor presión) se desplazará a regiones donde el aire es menos denso (con menor presión) y ocupará el lugar del aire ascendente. Ejemplo de ello ocurre en una región montañosa que interactúa con un valle. Las menores temperaturas de la zona montañosa generan un aire denso y frío que se desplazará hacia el valle, donde el aire será más cálido y menos denso. De esta manera, entre mayor sea el gradiente de presión y la diferencia entre las propiedades físicas de las masas de aire, la velocidad del viento resultante será mayor.

La velocidad del viento se mide usando una escala de 0 a 12 con base en claves visuales desarrolladas originalmente en 1806 por Sir Francis Beaufort. Él desarrolló un sistema de intensidad para determinar en forma precisa la velocidad del viento, dicho sistema fue desarrollado por marineros, pero fue modificado por el Servicio Meteorológico Nacional (NWS), de Estados Unidos de América, para usarlo en zonas continentales (Tabla 63). Cabe mencionar que el índice de riesgo según la zonificación eólica de la Comisión Federal de Electricidad en el municipio de Santiago Tulantepec es bajo. Es decir, 39,561 habitantes se encuentran expuestos a un nivel bajo de ocurrencia de vientos fuertes.

**Tabla 63.** Escala de viento de Beaufort usada en masas continentales.

Escala	Velocidad del viento (km/h)	Denominación	Efectos en tierra
--------	-----------------------------	--------------	-------------------

0	0 a 1	Calma	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	Ventolina	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	Brisa débil	Se caen las hojas de los árboles, se mueven los molinos de los campos.
3	12 a 19	Brisa ligera	Se agitan las hojas, ondulan las banderas.
4	20 a 28	Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles.
5	29 a 38	Brisa fresca	Pequeños movimientos de los árboles, la superficie de los lagos se ondula.
6	39 a 49	Brisa fuerte	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas.
7	50 a 61	Viento fuerte	Se mueven los grandes árboles, dificultad para caminar contra el viento.
8	62 a 74	Temporal	Se quiebran las copas de los árboles, la circulación de las personas resulta difícil.
9	75 a 88	Temporal fuerte	Daños en árboles, imposible andar contra el viento.
10	89 a 102	Temporal duro	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones.
11	103 a 117	Borrasca	Destrucción generalizada, lluvias intensas y presencia de inundaciones.

12

&gt;118

Huracán

Volcadura de autos. Árboles, techos, casas y personas arrastradas. Vientos característicos de un huracán.

[MAPA CLAVE ARST 05.16.1 – PÁGINA COMPLETA]

## 5.2.9 Tormentas eléctricas

El concepto de tormenta se utiliza para identificar una perturbación producida a nivel atmosférico, que se desarrolla de manera violenta y que conjuga vientos y precipitaciones intensas. Su origen está en el choque de masas de aire con temperaturas distintas, lo que provoca la formación de nubes y rompe la estabilidad atmosférica. Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Una tormenta eléctrica se forma por una combinación de humedad entre el aire caliente que sube con rapidez y una fuerza capaz de levantar a éste, como un frente frío, una brisa marina o una montaña. Todas las tormentas eléctricas vienen acompañadas de fenómenos eléctricos: rayos, relámpagos y truenos. La atmósfera contiene iones, pero durante una tormenta se favorece la formación de los mismos que tienden a ordenarse. Los cationes se sitúan en la parte alta y los aniones en la parte baja de la nube. Además, la tierra también se carga de iones positivos. Todo ello genera una diferencia de potencial de millones de voltios que acaban originando fuertes descargas eléctricas entre distintos puntos de una misma nube, entre nubes distintas o entre la nube y la tierra: a dicha descarga eléctrica la denominamos rayo. El relámpago es el fenómeno luminoso asociado a un rayo, aunque también suele darse este nombre a las descargas eléctricas producidas entre las nubes. Las tormentas se asocian a grandes sistemas de nubes de amplio desarrollo vertical (cumulonimbus) con carácter local, que suelen acompañarse de chubascos, granizo, hielo y nieve (OMM, 1993).

En lo que respecta a la energía de los rayos, éstos pueden alcanzar temperaturas del aire de hasta 30,000 °C en una fracción de segundo, es decir temperaturas mayores a las de la superficie del sol CENAPRED (2010). El aire caliente provoca una rápida expansión, produciendo una onda de choque (sonido) que viaja en todas las direcciones a partir del rayo. Los rayos pueden tener trayectorias nube-aire: donde la electricidad se desplaza desde la nube hacia una masa de aire con carga opuesta; trayectorias nube-nube, donde el rayo puede producirse dentro de una nube

con zonas cargadas de signo contrario y trayectoria nube-suelo, en el que las cargas negativas de las nubes son atraídas por las cargas positivas del suelo.

En las tormentas eléctricas, el riesgo se asocia principalmente con los rayos, especialmente aquéllos que pueden producir heridos y decesos, pues pueden producir parálisis, quemaduras, dolores de cabeza, pérdida de audición y de la memoria, e incluso la muerte.

Las tormentas individuales suelen afectar a áreas pequeñas, pero pueden relacionarse con inundaciones locales repentinas, ráfagas de vientos fuertes, tornados y rayos. Por lo tanto, la prevención y mitigación es sumamente importante. Por su parte, las tormentas eléctricas pueden causar decesos directos o indirectos en la población, dañar la infraestructura eléctrica y afectar dispositivos electrónicos (radio, televisión, computadoras, refrigeradores, etc.). En ocasiones las descargas eléctricas pueden provocar la muerte del ganado y son una causa común para el retraso de aeronaves y algunos accidentes aéreos.

En México se registraron 7300 muertes por impactos de rayos entre 1979 y 2011, lo que da un promedio de 230 defunciones al año. De estas pérdidas humanas, más de la mitad (60 %) se concentraron en 7 estados con la mayor incidencia en el Estado de México (24 %). Así mismo, la población masculina fue la más afectada, principalmente niños y hombres jóvenes que concentraron el 45 % de los datos y una mínima proporción de mujeres. Es importante hacer notar que las muertes por descargas eléctricas atmosféricas no se relacionan directamente con la densidad de población ni ubicación geográfica, sino con la vulnerabilidad, por lo tanto es indispensable adoptar medidas de prevención en localidades con gran incidencia de rayos que además tienen población vulnerable (Raga et al., 2014).

Las tormentas eléctricas en México ocurren entre mayo y octubre. Se presentan con mayor frecuencia durante horas de la tarde o de la noche. Además, su ámbito es local o regional y son intermitentes como resultado de la topografía del país (CENAPRED, 2023). Así, el promedio anual de días con tormenta es de 30 y el máximo es de 100 sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental, Madre del Sur, Madre de Chiapas, Montañas del Norte de Chiapas y la Faja Volcánica Trans-mexicana.

Para la determinación de las zonas de posible caída de rayos a la superficie terrestre dentro de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, se utilizó como base la información del número de días con presencia de tormentas eléctricas (CENAPRED, 2015). De esta manera, entre 20 y 29 días al año se presentan tormentas eléctricas en el municipio, con un índice de peligro entre 0.5 y

0.75. Estos parámetros se traducen como de “alto” riesgo y deben considerarse como una amenaza latente.

[MAPA CLAVE ARST 05.17.1 – PÁGINA COMPLETA]

## 5.2.10 Lluvias extremas

La precipitación es una parte muy importante del ciclo hidrológico porque es responsable de depositar agua sobre la superficie continental. Esta es generada cuando las nubes alcanzan un punto de saturación en que las gotas de agua (líquida o sólida) caen a la superficie por gravedad. Si bien este proceso es natural, también se puede producir artificialmente inyectando polvo fino o químicos (ej. nitrato de plata) que actúa como núcleos higroscópicos que permiten la condensación. Estos procedimientos se emplean desde hace más de tres décadas, pero sus consecuencias pueden ser impredecibles y no necesariamente pueden inducir la lluvia, por lo tanto la siembra de nubes sigue siendo un método polémico y no comprobado. En la tabla 64 se presentan los tipos de precipitación y sus características.

**Tabla 64.** Clasificación de la precipitación.

Tipo de Precipitación	Característica
Gotas de llovizna	Gotas de lluvia con peso suficiente para caer, las cuales tienen entre 0.2 y 0.5 mm de diámetro.
Gotas de lluvia	Gotas de lluvia de 0.5 mm de diámetro.
Lluvia torrencial	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, mayor a 150 mm
Lluvia intensa	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 70 a 150 mm
Lluvia fuerte	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 20 a 70 mm
Lluvia moderada	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 5 a 20 mm
Lluvia ligera	Lluvia máxima en mm acumulada en 24 horas, de 0.1 a 5 mm
Lluvia congelada y llovizna congelada	Gotas de lluvia súper-enfriadas y gotas de llovizna que se congelan cuando llegan a una superficie con temperaturas menores a 0 °C

Aguanieve	Mezcla de lluvia y nieve, pequeñas bolitas de hielo transparente, o copos de nieve que se han fundido y vuelto a helar
Granos de nieve	Partículas de hielo, pequeñas, opacas, aplanadas y alargadas, que tienen un peso suficiente para caer al piso, pero que no se rompen o rebotan cuando golpean el suelo; con un diámetro de 1 mm
Nieve	Cristales de hielo agrupados en patrones intrincados de formas geométricas
Nieve muy ligera	Superficie cubierta mojada parcialmente por la nieve
Nieve moderada	La visibilidad > 1 km
Nieve fuerte	La visibilidad entre 500 y 1 km
Nieve húmeda	Nieve que a causa de los rayos directos del sol se vuelve más pesada.
Granos de hielo	Las gotas de agua o los copos de nieve derretidos que caen a través de una capa de aire frío (temperatura menor a 0 °C) y se congelan antes de llegar al suelo. Generalmente rebotan y hacen un sonido audible cuando golpean el suelo
Granizo	Granos de hielo que tienen un diámetro de 5 mm
Granizo “blando”	Partículas de hielo opacas de un diámetro entre 2 y 5 mm; a menudo se rompen cuando llegan al suelo; se comprimen fácilmente cuando se aplastan

**Fuente:**  
CENAPRED(2021)

Por su parte, la precipitación intensa es uno de los eventos hidro-meteorológicos más extremos y de mayor fuerza. Aunque de baja frecuencia temporal y distribución espacial irregular, provocan peligros naturales de tipo geomorfológico y gravitacional, como erosión superficial, movimientos de masa, inundaciones, flujos torrenciales y cambios en los cauces de llanuras aluviales, que pueden desencadenar desastres que afectan a la población, vivienda e infraestructura (Beguería y Lorente, 1999).

Episodios hidro-meteorológicos de intensidad superior a la media pueden causar daños catastróficos al medio ambiente, y tener efectos socio-económicos sumamente adversos. Las

lluvias intensas pueden deteriorar la infraestructura civil (ej. canales, puentes, carreteras), inducir inundaciones catastróficas que impacten a las actividades agroalimentaria, contaminar los suministros de agua dulce y aislar a las comunidades si se producen deslaves y derrumbes de rocas.

La cantidad de precipitación que cae sobre un lugar determinado de la superficie de la Tierra se mide con base en el acumulado de lluvia en milímetros en un metro cuadrado de superficie (equivalente a un litro) y su monitoreo suele ser mensual, al final del año se suman los acumulados mensuales. Cuando en un mapa se monitorea la precipitación, se pueden dibujar líneas que conecten puntos con precipitaciones similares, a estas líneas se les llama “Isoyetas”. Así se puede generar información cartográfica regional y local de utilidad en los atlas de riesgos.

La distribución de la lluvia en la República Mexicana presenta una amplia variabilidad espacio-temporal debido a las características de elevación, vegetación, ubicación geográfica, del territorio nacional. Con excepción del norte de la península de Baja California que presenta lluvias en los meses fríos del año, en la mayor parte del país ocurren entre verano y otoño en la llamada “temporada de lluvias” que dan paso a una época de estiaje en invierno y primavera, cuando son comunes los frentes fríos y nortes (con lluvias menores). Cabe hacer mención del periodo comprendido entre mediados de julio y principios de agosto llamado canícula, donde la precipitación suele disminuir (no se ausenta) mientras la temperatura se eleva. Esto es marcado en los estados del sur de México y en menor medida en los del centro. En el Valle de Tulancingo, donde se encuentra Santiago Tulantepec, el fenómeno de canícula tiene un efecto mínimo (ver climograma, capítulo III).

Para identificar el grado de peligro de este fenómeno en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero fueron considerados los datos promedio de precipitación máxima mensual de 12 estaciones que rodean al municipio, conforme a la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional para el periodo de registro de 1942-2019. De esta forma, las lluvias que superaron en 24 hrs los valores máximos promedio se consideraron como extremas. Las mismas estaciones meteorológicas fueron usadas para generar información de periodos de retorno a 50 años. En la siguiente tabla se muestran los datos de dichas estaciones meteorológicas:

**Tabla 65.** Relación de estaciones meteorológicas con datos promedios de máxima precipitación.

No. estación	Nombre de la estación	Municipio	Edo	Precipitación máxima (mm)	Latitud	Longitud	Período	Altitud
13028	San Miguel de Allende	Tepeapulco	Hgo	60	19.85	-98.3	1961-1988	2550
13029	San Lorenzo Sayula	Cuatepec de Hinojosa	Hgo	140	19.87	-98.4	1961-2017	2768
13031	Santiago Tulantepec	Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero	Hgo	291	19.95	-98.32	1966-2016	2179
13033	Singuilucan	Singuilucan	Hgo	111	19.96	-98.51	1961-2017	2650
13041	Tulancingo (OBS)	Tulancingo de Bravo	Hgo	143.7	19.98	-98.29	1942-2019	2207
13059	Acatlán	Acatlán	Hgo	70.5	20.04	-98.36	1973-1986	2812
13082	Presa la Esperanza	Tulancingo de Bravo	Hgo	200	20.05	-98.33	1956-2019	2218
13085	Presa Tezoyo	Almoloya	Hgo	230	20.08	-98.35	1953-2015	2611
13094	Acaxochitlán	Acaxochitlán	Hgo	90.9	20.14	-98.44	1974-1990	2240
13116	El Zembo	Huasca de Ocampo	Hgo	125	20.15	-98.27	1980-2019	2311
13127	El Aserradero	Cuatepec de Hinojosa	Hgo	80	20.15	-98.2	1981-2017	2610
13130	Santa María Asunción	Tulancingo de Bravo	Hgo	140	20.15	-98.55	1979-2017	2190

Los datos de precipitación máxima extraídos de las estaciones meteorológicas se ajustaron a un modelo de distribución de probabilidades Gumbel, para obtener precipitación máxima para periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años. Se llevó a cabo la interpolación de los datos con el método IDW lo que permitió tener mapas de precipitación máxima para diferentes periodos de retorno.

Considerando un periodo de retorno de 5, 10, 25 y 50 años, se determinó que en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, el peligro por el fenómeno de lluvias extremas es

de nivel medio-alto principalmente en las zonas cercanas a la cabecera municipal independientemente del período de retorno.



**Figura 23.** Evidencia de la afectación a la infraestructura a causa de fuertes lluvias en la localidad de Unidades Habitacionales

**Tabla 66.** Precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno (°C).

No. Estación	Nombre de la estación	Pmax (mm)			
		5 años	10 años	25 años	50 años
13028	San Miguel de Allende	51.04	58.25	67.36	74.12
13029	San Lorenzo Sayula	66.79	81.41	99.87	113.57
13031	Santiago Tulantepec	192.27	222.41	260.50	288.75
13033	Singuilucan	47.80	57.04	68.72	77.39
13041	Tulancingo (OBS)	35.05	49.82	68.48	82.33
13059	Acatlán	54.82	62.77	72.80	80.25
13082	Presa la Esperanza	70.83	89.76	113.67	131.41

13085	Presa Tezoyo	72.24	90.12	112.71	129.46
13094	Acaxochitlán	61.76	73.69	88.76	99.94
13116	El Zembo	79.69	90.33	103.78	113.75
13127	El Aserradero	54.92	63.53	74.41	82.48
13130	Santa María Asunción	76.90	97.25	122.96	142.03

[MAPA CLAVE ARST 05.18.1 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.18.2 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.18.3 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.18.4 – PÁGINA COMPLETA]

[MAPA CLAVE ARST 05.18.5 – PÁGINA COMPLETA]

## 5.2.11 Inundaciones

Una inundación es el evento que debido a la precipitación (lluvia, nieve o granizo extremo), oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED, 2019).

Existen dos tipos de inundaciones con base en el tiempo de respuesta hidrológica de la cuenca de drenaje: inundaciones súbitas (avenidas) e inundaciones lentas. Las primeras son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas en general con alta pendiente; pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños. Las segundas ocurren cuando la precipitación satura un terreno relativamente plano y el suelo no puede seguir absorbiendo agua. A partir de este punto el agua escurre por laderas, ríos y arroyos, convergiendo en topografías bajas donde el agua se acumula.



**Figura 24.** Zona de escorrentías que afectan a la población de la localidad de Unidades Habitacionales.

Para determinar la amenaza por inundaciones, se implementó la metodología de lógica difusa cuya elección se encuentra fundamentada en la cantidad y calidad de información disponible. Específicamente se usó la técnica de combinación cualitativa de diferentes niveles de información geográfica de los cuales se generó el mapa de riesgo a inundaciones. A continuación se describe la metodología empleada y la variables consideradas:

**Metodología de Lógica Difusa:** La lógica difusa se aplica a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total. Conviene recalcar que lo difuso, borroso, impreciso o vago no es la lógica en sí, sino el objeto que se estudia. La lógica difusa permite tratar información imprecisa, como estatura media o temperatura baja, en términos de conjuntos difusos que se combinan entre sí para definir acciones. La Lógica Difusa es una herramienta que proporciona una manera simple de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. Esta herramienta está basada en proposiciones que no cumplen con la ley de la media excluida de la lógica clásica, es decir, una

proposición difusa no necesariamente es completamente falsa o completamente verdadera, sino que puede tener valores intermedios.

El concepto clave para entender cómo trabaja la lógica difusa es el de conjuntos difusos, definida como la agrupación de varios elementos que poseen una característica común, pero que, a diferencia de la lógica clásica, éstos no exigen la pertenencia absoluta de un elemento, sino que reconocen que no todos sus elementos poseen la característica en la misma magnitud. Un elemento puede pertenecer simultáneamente a varios conjuntos en diferente proporción siempre y cuando la suma de sus grados de pertenencia sea igual a la unidad. Para llevar a cabo este análisis se identificaron los factores involucrados en la incidencia de las inundaciones (pendiente del terreno, edafología, uso de suelo y vegetación y precipitación máxima), para cada factor se realizó una capa vectorial temática con información geográfica en formato raster. Posteriormente, se le asignó un conjunto difuso a través de un SIG, una vez obtenidos los conjuntos difusos se realizó la unión de éstos para determinar zonas susceptibles a inundaciones. Para integrar la información en un SIG se definen los conjuntos difusos para cada uno de los mapas temáticos utilizados en la zona de estudio. De esta manera, las capas temáticas se reclasifican y se realiza su análisis de pertenencia.

**Pendiente del terreno:** con el modelo de elevación digital con resolución de 50 m se generó el mapa de pendientes y se reclasificó en intervalos. Para aplicar los conjuntos difusos, es necesario transformar usando la clasificación de Jenks, los datos en la escala de 1 a 5, por lo cual, mediante la herramienta raster calculador. Después de generar las capas con los valores correspondientes, se define el grado de pertenencia de los conjuntos difusos, lo que representa que el valor 1 y 2 son las áreas menos susceptibles a inundaciones y el valor entre 4 y 5 las áreas susceptibles a sufrir inundaciones.

**Tabla 67.** Susceptibilidad a inundaciones y la pendiente del terreno.

Pendiente (°Grados)	Índice de susceptibilidad	Riesgo
0-15	1	Muy alto
15-30	2	Alto
30-45	3	Medio
45-60	4	Bajo

>60

5

Muy bajo

**Uso de suelo y vegetación:** con base en la cobertura del suelo se determinó que las áreas deforestadas, sin vegetación aparente, pastizales y agricultura de temporal son las más susceptibles a no retener agua (escurrimientos) o a favorecer el flujo laminar o turbulento, mientras que los bosques de encino y los bosques de pino y coníferas son los menos susceptibles, pues retienen grandes cantidades de agua, tanto en las copas como entre sus raíces.

**Tabla 68.** Susceptibilidad a inundaciones dependiendo del uso de suelo y vegetación.

Uso de Suelo y vegetación	Índice de susceptibilidad	Nivel de riesgo
Bosque de Encino	1	Muy bajo
Bosque de Mezquite	2	Bajo
Matorral Crasicaule	2	Bajo
Matorral Rosetófilo	2	Bajo
Vegetación arbustiva	3	Medio
Vegetación secundaria	4	Alto
Pastizal Inducido	4	Alto
Agricultura de riego	5	Muy alto
Agricultura de temporal	5	Muy alto
Agricultura de temporal anual	5	Muy alto
Zona Urbana	5	Muy alto

**Fuente:** INEGI, 2013

**Precipitación:** para determinar los tipos de lluvia que han ocurrido en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas. Dicha información es captada y procesada de 12 estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. Los datos de las estaciones cuentan con datos suficientes para generar la capa

vectorial de precipitación máxima usando la herramienta IDW (Tabla 65). En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, el registro de precipitación máxima en 24 horas es de 291 mm. Considerando que una lluvia torrencial ocurre cuando se tienen valores superiores 150 mm, el municipio es susceptible a este fenómeno. De los datos de precipitación máxima extraídos de las estaciones meteorológicas, se ajustaron a un modelo de distribución de probabilidades de Gumbal para obtener periodos de retorno para diferentes años y con los valores de precipitación se determinó la susceptibilidad a inundaciones.



**Figura 25.** Puente de Ahíla en la cabecera municipal. En este punto desembocan la mayoría de las escorrentías en temporada de lluvias.

**Tabla 69.** Matriz de comparación de factores para determinar el riesgo por inundaciones.

Matriz	Pendiente	Edafología	Uso de suelo	Precipitación	Eigenvector	Peso
Pendiente	0.2938	0.2879	0.2918	0.2974	1.1709	0.29
Edafología	0.1388	0.1435	0.1240	0.1553	0.5617	0.14

Uso de suelo	0.2168	0.2434	0.2093	0.1968	0.8662	0.22
Precipitación	0.3506	0.3252	0.37	0.3505	1.4011	0.35
					4	1

**Tabla 70.** Nivel de riesgo por inundaciones por localidad para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Agrícola Oriental	3	Medio	Rancho Colorado	4	Alto
Altepemila	3	Medio	Rancho el Mirador	4	Alto
Colonia Felipe Ángeles	5	Muy alto	Rinconada de las Aves	4	Alto
El Charco	5	Muy alto	San Luis Buena Vista	3	Medio
El Pedregal de San José	5	Muy alto	San Miguel Huatengo	5	Muy alto
El Salado	3	Medio	San Pedro Huatengo	4	Alto
Emiliano Zapata	5	Muy alto	Sangre de Cristo	4	Alto
La Joya	5	Muy alto	Santiago Tulantepec	4	Alto
La Joya 2da. Sección	5	Muy alto	Sayola	5	Muy alto
Las Camelinas	5	Muy alto	Tilhuacán	4	Alto

Las Lajas	4	Alto	Ud. Magisterial San José	5	Muy alto
Los Romeros	3	Medio	Unidades Habitacionales	5	Muy alto
Paxtepec	4	Alto	Ventoquipa	2	Bajo

Así mismo, el índice de peligro municipal por inundaciones del Atlas Nacional de Riesgos indica que para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero es bajo, mientras que el índice de vulnerabilidad por inundaciones es medio. Derivado del análisis realizado en este documento, se concluye que la mayor parte del municipio tiene riesgo alto a muy alto por inundaciones.

[MAPA CLAVE ARST 05.19.1 – PÁGINA COMPLETA]

Las localidades con mayor riesgo (alto-muy alto) por inundaciones corresponden a las situadas en las partes bajas del municipio (20 localidades de 26 ) (Tabla 70). Durante la época de lluvias, la escorrentía afecta la parte montañosa del municipio en colindancia con Singuilucan, y genera flujos considerables que convergen y generan un caudal mayor que pasa a través de la cabecera municipal. Este comienza en la Calle 1ro de abril Sur, llega a la altura de la Calle Corregidora, continúa por Avenida México, el puente de Ahila, y finalmente desemboca y afecta el fraccionamiento Jardines del Sur perteneciente al municipio de Tulancingo. En su trayectoria este caudal es susceptible al desbordamiento y ha ocasionado inundaciones en el centro histórico de Santiago Tulantepec y sus alrededores, lo que ha orillado al mejoramiento y mantenimiento vital de la infraestructura hidráulica por parte de las autoridades municipales.



**Figura 26.** Zona con riesgo de inundación dentro de la cabecera municipal a la altura de la Calle Corregidora.



**Figura 27.** Escorrentías a la altura de la biblioteca municipal

# **CAPÍTULO VI**

## **IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS, PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS ANTE FENÓMENOS PERTURBADORES DE ORIGEN ANTRÓPICO**

Los riesgos antrópicos, también nombrados riesgos sociales, son aquellos cuyo origen está relacionado con las acciones de la actividad humana. Algunos prefieren llamarlos tecnológicos; sin embargo, se considera que este concepto no es suficientemente amplio, pues existen otros peligros provocados por acciones humanas que no tienen que ver con las actividades tecnológicas, por ejemplo: la pobreza, la delincuencia, la drogadicción y las enfermedades. Si bien es evidente, por los trabajos y la bibliografía existente, históricamente se ha dado más importancia al estudio de los peligros naturales pero hoy, los peligros antrópicos o sociales se consideran tan importantes como aquellos. Es por ello que para la realización del Atlas de Riesgos de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se realizó un foro de participación ciudadana, donde a través de cartografía se determinaron las zonas de riesgo municipales de acuerdo con la experiencia y conocimiento empírico de los pobladores. A continuación se describen las etapas del ejercicio social:

A partir de mesas de trabajo, el foro se dividió en tres etapas:

1. Discusión en mesas de trabajo, sobre los principales riesgos antrópicos y socio-organizativos del municipio.
2. Aplicación de cuestionarios y ubicación de zonas de riesgo a través de mapas impresos:
3. Conclusiones por mesa de trabajo

Los temas de las mesas de trabajo fueron:

1. Derrames químicos y envenenamientos
2. Incendios industriales, incendios forestales y explosiones.
3. Plagas
4. Contaminación
5. Epidemias

6. Desertificación y erosión del suelo
7. Terrorismo, sabotaje e interrupción de servicios
8. Accidentes carreteros
9. Concentraciones masivas de población

Gracias a los datos obtenidos fue posible complementar la información consultada en fuentes oficiales.

### **6.1 El uso de los SIG en la caracterización espacial de los riesgos antrópicos**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la cartografía de riesgos antrópicos permiten caracterizar de forma muy precisa la zona expuesta a los mismos, al definir puntual o regionalmente la forma de la afectación y precisar la gradación de la intensidad del riesgo en términos de la distancia y la probabilidad de sufrir las consecuencias de un accidente como resultado de la realización de actividades humanas peligrosas en el territorio.

En este apartado sobre los peligros de origen humano perteneciente al Atlas de Riesgos y Peligros del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, pretende definir mediante un SIG el área expuesta a los riesgos a partir de dos supuestos: el primero es establecer las características geométricas de las instalaciones que se consideran fuentes de riesgo (lineales, puntuales o zonales). El segundo es la definición convencional de dos conceptos: la forma del buffer y el alcance espacial. a) La forma se establece a modo de “zona de influencia” o buffers en torno a las instalaciones; la forma del buffer en concreto dependerá de si se trata de instalaciones puntuales (fábricas, rellenos sanitarios, etc.), lineales (ductos de Pemex, gasoductos) o zonales (aeropuerto, localidades). b) El alcance espacial se refiere a lo que se puede considerar el umbral máximo hasta donde podrían expandir los efectos peligrosos.

Para determinar la intensidad de la posible exposición al riesgo en cada punto del área de influencia, se asume que hay una gradación a partir de la distancia entre la periferia del área de influencia y el lugar donde se inicia el riesgo de origen antrópico. También es posible representar la probabilidad espacial del riesgo, es decir, la menor o mayor probabilidad de que un lugar cualquiera sea afectado por un accidente de origen humano de consecuencias graves. Podemos suponer que cuantas más instalaciones peligrosas se sitúen en las inmediaciones de un punto del territorio, más probable es que ese lugar se pueda ver afectado por peligros de esta naturaleza (riesgo concatenado).

En atención a que son estos los aspectos que se pretende explorar en este apartado y también a la pequeña escala del análisis, se ha considerado para este caso un medio físico uniforme, de manera que no se tendrá en cuenta la influencia de la topografía, la litología o la red hidrográfica en la delimitación territorial de la exposición a los riesgos antrópicos. Tampoco se han tomado en consideración los diferentes patrones espaciales derivados del tipo de accidentes (explosión, incendio, escape, etcétera).

El estudio descriptivo trata de reconocer los patrones generales de los riesgos antrópicos en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Se considera que puede tener un cierto valor orientado al ordenamiento territorial en la actual fase de crecimiento expansivo urbanístico que está afectando a su territorio por ser conurbado al municipio de Tulancingo de Bravo, lo cual puede conducir, de manera inadvertida, a que la población se aproxime a las actividades humanas consideradas peligrosas (como es el caso de los recientes desarrollos urbanísticos en el municipio vecino y en el propio).

En el análisis de riesgos, un componente fundamental es la probabilidad de accidentes. En el caso de los riesgos naturales, la cuestión se resuelve más o menos satisfactoriamente con los registros históricos y la misma caracterización geológica, tectónica y/o meteorológica de la zona. Hay que considerar que el modelo de exposición al riesgo propuesto en este trabajo podría ser calificado como determinista y, en ese sentido, alarmista, porque supone un mismo nivel de accidentabilidad para instalaciones muy dispares. Se señala, al respecto, que el modelo que se presenta puede constituir una herramienta útil para aquellos expertos que si puedan matizar los niveles de peligrosidad de las actividades e instalaciones que aquí se analizan. La necesidad de una aproximación multidisciplinar a este tipo de problemas ambientales debe ser atendida de manera puntual.

## **6.2 Los riesgos químico-tecnológicos**

El peligro se puede definir como cualquier situación que tenga el potencial de causar lesiones a la vida o daños a la propiedad y al ambiente. En la identificación de peligros a nivel municipal o local se determinan las actividades y la infraestructura con riesgo existente, tales como instalaciones industriales que manejan y/o almacenan sustancias peligrosas en grandes volúmenes, carreteras, vías férreas y ductos por donde se transporten materiales o productos peligrosos. En especial, se subrayan los sitios donde se localizan, el tipo de accidente o evento que pueden ocasionar y las posibles consecuencias a la población, sobre todo si pueden generar una acción violenta derivada de su interacción y/o por su composición molecular. Se incluyen

los fenómenos considerados como desastres, pudiendo abarcar incendios de diversos tipos, como explosiones, fugas, liberaciones o derrames tóxicos, radiaciones y contaminación (Implan, 2017).

Estos riesgos se encuentran íntimamente ligados a las actividades humanas de desarrollo industrial y tecnológico, así como al uso de diversas formas de energía; su acción es sinérgica y las afectaciones se dan en mayor escala, impactando concentraciones humanas e industriales, principalmente. En este grupo se enlistan algunas plantas de la industria maquiladora, industrias de la transformación, estaciones expendedoras de gasolina, empresas expendedoras de gas, plantas tratadoras de aguas residuales, sistemas de bombeo y equipos de cloración para la distribución de agua potable, así como todas aquellas actividades que utilicen materiales y sustancias peligrosas o que generen residuos peligrosos cuyas características explosivas, inflamables, reactivas, corrosivas o tóxicas, puedan crear una contingencia química dentro del territorio municipal. Esta contingencia podrá ser atendida de acuerdo con la capacidad de respuesta del municipio, fincada en planes de contingencia, medida de prevención, infraestructura y equipamiento urbano y personal calificado.

Los accidentes relacionados con sustancias químicas pueden ocurrir por diversas causas, entre las que se encuentran: fenómenos naturales (sismos, huracanes, inundación, erupción volcánica, etc.), fallas operativas en los procesos industriales, fallas mecánicas, errores humanos y acciones premeditadas. En el manejo y transporte de sustancias químicas pueden presentarse diversos eventos como consecuencia de un accidente: liberación a la atmósfera de gases tóxicos o corrosivos, aerosoles o partículas, o la liberación de líquidos o sólidos peligrosos. El peligro que una sustancia puede representar para una localidad depende no solo de sus propiedades, sino también del volumen o cantidad presente y de su ubicación. Una manera de diferenciar a las empresas que manejan sustancias y materiales peligrosos es en términos del volumen o cantidad existente en sus instalaciones.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Gobernación elaboraron y publicaron en el Diario Oficial de la Federación dos listados de actividades altamente riesgosas (28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992). Ahí se establecen como actividades altamente riesgosas aquellas en las cuales se maneje alguna de las sustancias incluidas en los listados en una cantidad igual o superior a la cantidad de reporte, definida esta como: la cantidad mínima de sustancia peligrosa durante la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una

instalación o medio de transporte dados, que, al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

El diagnóstico del peligro de los fenómenos químicos se expresa de acuerdo con la concentración de la sustancia que se fugó o derramó. El peligro de incendios o explosión depende de la cantidad de calor disipada y la fuerza con la que se disemina en una unidad de tiempo. De acuerdo con la información obtenida del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Implan, 2017), dependiente de la Secretaría de Gobernación (SEGOB), los riesgos que implica una actividad industrial pueden ser clasificados de la siguiente manera:

**Riesgos convencionales:** aquellos ligados a actividades laborales, por ejemplo, riesgo de caídas desde escaleras, accidentes por descargas eléctricas, riesgos derivados de maquinaria, etcétera.

**Riesgos específicos:** los relacionados con la utilización de determinadas sustancias y productos químicos que, por su naturaleza, pueden producir daños de corto y largo alcance a las personas, a las cosas y al ambiente.

**Grandes riesgos potenciales:** los ligados a accidentes anómalos que pueden implicar explosiones o escapes de sustancias peligrosas (venenosas, inflamables, etc.) que llegan a afectar vastas áreas en el interior y el exterior de la planta. El riesgo total que presenta una instalación industrial se determina en función de dos factores (Sedesol, 1994): uno es el riesgo intrínseco del proceso industrial, que depende de la naturaleza de los materiales que se manejen, de las modalidades energéticas utilizadas y la vulnerabilidad de los diversos equipos que integran el proceso, así como la distribución y el transporte de los materiales peligrosos. El otro es el riesgo de instalación, el cual depende de las características del sitio en que se encuentra ubicada, pues ahí puede haber factores que magnifiquen los riesgos que puedan derivar en accidentes (condiciones meteorológicas, vulnerabilidad de la población aledaña, ecosistemas frágiles, infraestructura para responder a accidentes, entre otros).

Los insumos que se desarrollan hoy en día para elevar la calidad de vida de la sociedad, involucran operaciones de obtención, almacenamiento, manejo y transformación de diversas materias primas, como madera, petróleo, minerales, vegetales, etc. Desde el inicio de la posguerra, se ha acelerado en el mundo el desarrollo industrial y tecnológico. Tocado por este fenómeno, México ha aumentado el uso de una creciente variedad de sustancias químicas,

necesarias para la elaboración de nuevos productos para uso doméstico, comercial, agrícola e industrial, con la consecuente generación de residuos de muy diversos tipos, incluidos los tóxicos, que luego se vierten o transfieren al suelo, al agua y al aire, ocasionando la ya consabida contaminación del ambiente. A continuación, se definen los términos relativos a los principales accidentes que representan un riesgo antrópico de tipo químico-tecnológico:

**Derrame químico:** Es el escape de cualquier sustancia líquida o sólida, en partículas o en mezcla de ambas, de cualquier recipiente o instalación que lo contenga, como tuberías, equipos, tanques, camiones cisterna, tanque y furgones, entre otros.

**Fuga (envenenamiento):** se presenta cuando hay un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que contenga el material o en la tubería que lo conduzca. El gas LP puede escapar y provocar fuertes intoxicaciones. Otras sustancias químicas peligrosas pueden ser inhaladas por trabajadores durante lapsos prolongados.

**Incendio (forestal y urbano):** es la combustión de materiales. En el caso del incendio forestal, constituye la quema de zonas boscosas o de matorral con fines de pastoreo. Los incendios pueden ser causados por la presencia de residuos inflamables y/o por fallas en la instalación eléctrica.

**Explosión:** es la liberación de una cantidad considerable de energía en un lapso muy corto (pocos segundos), debido a un impacto fuerte o por reacción química de ciertas sustancias inflamables.

**Radiación:** el riesgo por la exposición a la radiación electromagnética está presente en las instalaciones de transmisión de radio/televisión y telefonía móvil, en las líneas de conducción de alta tensión, así como en estaciones eléctricas. Durante el transporte de sustancias radiactivas a través de vías de comunicación terrestres de alto tránsito está presente el riesgo de accidente por volcadura o fuga.

### **6.2.1 Derrame químico**

El riesgo de derrame químico puede presentarse como producto de accidentes en el desarrollo de actividades industriales que impliquen la presencia de:

- Sustancias peligrosas.
- Gases licuados a bajas temperaturas.
- Ductos de gas natural.

- Ductos de combustibles.
- Plantas de Pemex.
- Estaciones de servicio y/o gasolineras.
- Líneas de transporte.
- Transporte por vía terrestre de combustibles.
- Transporte por vía terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- Industria maquiladora.
- Generación de monóxido de carbono en procesos de combustión.
- Laboratorios experimentales o clínicos en comercios, industrias e instituciones médicas y de enseñanza.
- Red de drenaje y alcantarillado.

Cuando nos referimos a los accidentes que involucran sustancias o productos químicos, debemos tener en cuenta que su presencia puede obedecer a muy diversos factores entre los que se han de considerar fenómenos naturales (sismos, huracanes, inundación, erupción volcánica, etc.), o bien, aquellos de origen antropogénico, como son: a) fallas operativas en los procesos industriales dentro del área sujeta a estudio; b) fallas mecánicas y errores humanos; y c) causas premeditadas, siendo estas uno de los factores más graves. En las comunidades también estamos expuestos, en las operaciones cotidianas de transporte y manejo de sustancias químicas, a accidentes causados por eventos como: a) liberación a la atmósfera de gases tóxicos o corrosivos, ya sea como aerosoles o partículas; b) liberación de líquidos o sólidos peligrosos; y c) incendios o explosiones.

En términos generales, es posible afirmar que los accidentes pueden provocar daños al ambiente, a las propiedades y a la salud de los trabajadores y/o de las personas que habitan en los alrededores de las industrias, de las vías de comunicación o de los ductos que conducen fluidos. Por otro lado, de acuerdo con los registros en la base de datos Acarmex, las causas de los accidentes en el transporte de sustancias químicas son muy variadas y pueden ser clasificadas como: a) imputables al conductor; b) condiciones físico-mecánicas del vehículo; c) condiciones del camino; y d) condiciones climáticas que prevalecen en el momento del evento. En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, la carretera federal México 130 en el tramo correspondiente a Pachuca-Tuxpan, es la zona con mayor riesgo de derrames químicos por transporte carretero, siendo los nodos de Encinos, Los Romeros y La Joya 2da sección, las zonas donde ocurre la mayor cantidad de accidentes vehiculares.

A nivel mundial, los registros indican que el mayor número de accidentes son imputables al conductor, debido a una amplia variedad de condiciones que incluyen desde cansancio, somnolencia, conducción imprudente (exceso de velocidad, rebase indebido, desacato de las señales de precaución...), hasta presentar diversos grados de intoxicación (por alcohol, drogas o medicamentos), entre otras. Para modelar concretamente el área de exposición derivada del vertido de grandes cantidades de líquidos, parece factible emplear el camino de máxima pendiente a partir de la instalación donde se presenta la fuga en función de la topografía (Unamuno, 2001). Este camino se prolonga hasta alcanzar un mínimo relativo de la topografía. En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, la carretera estatal 130 en el tramo Pachuca-Tuxpan que se encuentra en los límites de los municipios de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y Tulancingo de Bravo, no presenta una pendiente pronunciada, sin embargo, al ser una de las más transitadas por autotransportes de material químico la posibilidad de algún incidente carretero es latente debido al exceso de velocidad, volcaduras, choques por alcance, colisiones en cruces (especialmente en temporada de lluvias).

Una vez determinado el camino de máxima pendiente, parece lógico calcular a su alrededor un corredor de influencia que tenga en cuenta la mayor acción posible de un derrame de grandes proporciones. En el modelado hay que considerar la posibilidad de que el vertido circule, además, por una hipotética red de alcantarillado y la posible incidencia de que, en su recorrido, los líquidos derramados se permean al sustrato. Para incluir esta incidencia en el proceso, sería necesario disponer de un mapa de permeabilidades del sustrato para disminuir el peligro con la distancia, ponderándola con la permeabilidad del terreno por donde discurre el derrame líquido.

El riesgo por derrame químico se concentra en los tres núcleos poblacionales más importantes de Santiago Tulantepec, siendo la cabecera municipal donde se concentra la mayor parte de la actividad productiva del municipio. En el Pedregal de San José y Unidades Habitacionales, el principal riesgo es el derrame de sustancias nocivas, mismos que pueden llegar a contaminar los afluentes derivado de accidentes que involucren a vehículos que transporten sustancias tóxicas a través de la carretera federal Pachuca-Tuxpan. Aunado a esto, los ductos de PEMEX atraviesan zonas agrícolas y algunas localidades del municipio como Ventoquipa, Sangre de Cristo, La Joya 2da sección y Santiago Tulantepec.

**Tabla 71.** Actividades económicas.

Tipo de instalación	Número	Tipo de instalación	Número
---------------------	--------	---------------------	--------

Comercio y transporte	992	Servicios financieros e inmobiliarios	7
Explotación de Recursos	2	Servicios profesionales	356
Gobierno	18	Servicios recreativos	42
Manufactureras	230	Otros	71
Minería	1		

Con la finalidad de ofrecer medidas de mitigación y prevención de accidentes que puedan provocar derrames químicos en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, se enlistan las siguientes Normas Oficiales Mexicanas, que deberán tener estricta observancia en actividades que impliquen el manejo de sustancias químicas peligrosas:

**NOM-005-STPS-1998:** relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. Establece las condiciones de seguridad e higiene para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, para prevenir y proteger la salud de los trabajadores y evitar daños al centro de trabajo.

**NOM-028-STPS-2012:** relativa al sistema para la administración del trabajo-seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas. Establece los elementos de un sistema de administración para organizar la seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas, a fin de prevenir accidentes mayores y proteger de daños a las personas, a los centros de trabajo y a su entorno. Para la clasificación, manejo, transporte y confinamiento de sustancias químicas peligrosas, se dispone de las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

**NOM-052-SEMARNAT-2005:** establece el procedimiento de identificación y clasificación de los residuos peligrosos. Esto incluye los listados de los residuos peligrosos y las características que llevan a considerarlos como tales.

**NOM-058-SEMARNAT-1993:** establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

**NOM-055-SEMARNAT-2003:** establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos (excepto los líquidos, los semisólidos, los bifenilos policlorados y los radiactivos), previamente estabilizados, de acuerdo con características geológicas, hidrogeológicas, hidrológicas, climatológicas y sísmicas. Para los vehículos que transportan sustancias químicas peligrosas por vía terrestre se dispone de las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

**NOM-004-SCT-2008:** relativa al sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. Establece las características y dimensiones de los carteles que deben portar las unidades vehiculares, camiones, unidades de arrastre, autotanques, carrotanques, contenedores, contenedores cisterna, tanques portátiles y recipientes intermedios para granel y demás unidades de autotransporte y ferrocarril, a fin de identificar la clase de riesgo de las sustancias, materiales o residuos peligrosos que se transportan.

**NOM-002-SCT-2011:** listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados. Tiene como objetivo identificar y clasificar las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados, de acuerdo con su clase, división de riesgo, riesgo secundario, número asignado por la Organización de las Naciones Unidas, las disposiciones especiales a que deberá sujetarse su transporte, cantidades limitadas y cantidades exceptuadas permitidas, así como las correspondientes instrucciones de envase y embalaje, métodos de envase y embalaje e instrucciones para el uso de unidades de transporte, recipientes intermedios a granel y cisternas portátiles y sus disposiciones especiales.

**NOM-010-STPS-2014:** relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral. Establece medidas para prevenir daños a la salud de los trabajadores expuestos a las sustancias químicas contaminantes del medio ambiente laboral y fija los límites máximos permisibles de exposición en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas que, por sus propiedades, niveles de concentración y tiempo de exposición, sean capaces de contaminar el medio ambiente laboral y alterar la salud de los trabajadores.

**NOM-018-STPS-2015:** relativa al sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Establece los requisitos mínimos de un sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por

sustancias químicas peligrosas que, de acuerdo con sus características físicas, químicas, de toxicidad, concentración y tiempo de exposición, puedan afectar la salud de los trabajadores o dañar el centro de trabajo.

**Tabla 72.** Sustancias químicas usadas en la industria que representan riesgo para la salud por derrame químico.

Nombre	Fórmula química	Efectos en la salud
Potasa	KOH	La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales (aluminio, estaño, plomo, zinc), formando un gas combustible (hidrógeno). Al reaccionar con sales de amonio, produce amoníaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o el agua puede generar calor (IPCS, 2010).
Metanol	CH <sub>3</sub> OH	En caso de inhalación, irrita las mucosas nasales y oculares. Produce asfixia, vértigo, tos, dolor de cabeza, náuseas, vómito, trastornos oculares, convulsiones e inconsciencia. En caso de ingestión, causa, disturbios visuales, dolor abdominal, diarrea, vómito, inconsciencia. En casos graves: coma, paro respiratorio, ceguera, convulsiones, acidosis metabólica severa y muerte (COFEPRIS, 2020)
Glicerina	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	Producto poco peligroso; sin embargo puede causar irritaciones en la piel y puede resultar ser inflamable si se alcanza una temperatura de 160° C (Corquiven, 2007)
Sulfato de sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Este producto puede generar irritación por contacto dérmico u ocular, además de irritación de la nariz, la garganta y de los pulmones, en caso de inhalación; así como irritación gastrointestinal y diarrea por el ion sulfato disuelto en los intestinos en caso de ingesta (Heredia, 2016)
Sílice (Silica)	SiO <sub>2</sub>	Al ser inhaladas, las partículas pequeñas de sílice que se encuentran en el aire (principalmente el polvo de cuarzo), pueden penetrar profundamente en los pulmones. La exposición a la sílice cristalina respirable está relacionada con índices elevados de cáncer de pulmón (NIH, 2015).
Sulfato de calcio	CaSO <sub>4</sub>	El contacto prolongado con la piel puede desgrasar y producir dermatitis e irritación. Si se inhala, puede producir irritación en ojos, nariz y garganta. La exposición repetida o prolongada provoca dolores de garganta, sangrado de la nariz y bronquitis crónica. Su ingestión

puede ocasionar irritación gastrointestinal, náusea, vómito y diarrea (Heredia, 2016)

Bentonita	$(\text{Na,Ca})_{0,3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	La sustancia irrita levemente los ojos y la piel. Puede afectar al pulmón, dando lugar a fibrosis si la exposición es prolongada. (IPCS, 2010)
Dinamita (TNT)	$(\text{C}_6\text{H}_2(\text{CH}_3)(\text{NO}_2)_3)$	Explosivo. Riesgo de incendio y explosión por calentamiento rápido o choque violento. Si se inhala causa calambres abdominales, labios o uñas azulados, piel azulada, tos, dolor de cabeza, dificultad respiratoria y vómitos. El contacto cutáneo, causa enrojecimiento y dolor (IPCS, 2010)

MAPA ARST – 06.1.1

MAPA ARST – 06.1.2

MAPA ARST – 06.1.3

MAPA ARST – 06.1.4

MAPA ARST – 06.1.5

MAPA ARST – 06.1.6

## 6.2.2 Incendios industriales y explosiones

El riesgo de incendio y explosión se presenta en los lugares de trabajo con un potencial intrínseco de pérdidas humanas y económicas importantes. A pesar de que también es un riesgo para la población en general, no siempre se adoptan las medidas necesarias para prevenirlos o protegerse contra ellos. Nos referimos a las previsiones que deben tomarse durante la fase de ejecución de todo proyecto de obra en las instalaciones de cualquier empresa. En este sentido, subrayamos la necesidad de actuar de forma preventiva. Las medidas apropiadas para evitar el riesgo de incendios o explosiones pueden variar según las circunstancias en que se presente el riesgo, pero en el caso del incendio y/o la explosión admiten un tratamiento común. De acuerdo con ciertas estadísticas, aproximadamente el 90 por ciento de todos los incendios y explosiones industriales son causados por 11 fuentes de ignición.

**Tabla 73.** Principales causas de los incendios y las explosiones industriales.

Causa	Porcentaje
Chispas eléctricas	19
Roces y fricciones	14

Chispas mecánicas	12
Fumar y fósforos	8
Ignición espontánea	7
Superficies a alta temperatura	7
Chispas de combustión	6
Llamas abiertas	5
Soldadura y corte	4
Materiales sobrecalentados	3
Electricidad estática	2

**Fuente:** Secretaría del Trabajo y Previsión Social

Evitar los incendios, conocer los principios básicos de su detección y extinción, así como la evacuación de los edificios, son prácticas de la cultura de la prevención y su ejecución depende de la actitud de cada individuo que integra la comunidad. La intervención de las autoridades municipales, a través de Protección Civil, es necesaria para la elaboración de planes en materia de prevención de incendios y explosiones.

Para que se produzca el fuego o una explosión se requieren los siguientes elementos: combustible, comburente (oxígeno) y energía de activación (calor). Estos tres elementos forman el llamado “triángulo del fuego”, pues cada uno de sus lados está siempre en contacto con los otros dos. La eliminación de cualquiera de sus lados o del contacto entre los vértices impedirá la producción de fuego y, por tanto, de incendios y explosiones.

Una vez producido el fuego, debe tomarse en cuenta un cuarto elemento: la reacción de los gases de la combustión entre sí y con el propio oxígeno del aire (reacción en cadena). De esta forma, como resultado de la misma combustión, el triángulo del fuego se transforma en un tetraedro del fuego que permite su propagación. Si falta alguna de sus cuatro caras, la combustión no tiene lugar o se extingue rápidamente.



**Figura 28.** Triángulo del fuego (combustible, comburente y energía de activación).

Los tres tipos de combustible presentan diferentes características al incendiarse:

**Sólidos:** su combustión se caracteriza por la aparición de llamas, brasas y gran cantidad de calor. Para que llegue a arder, el material ha de calentarse hasta desprender vapores lo suficientemente calientes para que puedan inflamarse y arder en forma de llamas.

**Líquidos:** no es el líquido el que arde propiamente, sino los vapores que emite bajo la acción del aumento de la temperatura. Dependiendo de la naturaleza de cada líquido inflamable, pueden definirse tres puntos característicos: 1) el punto de *ignición* es la temperatura mínima a la que emite suficientes vapores para arder; 2) el punto de *inflamación* es la temperatura a la cual emite suficientes vapores para que el líquido se mantenga en combustión hasta su total consumo; y 3) el punto de *autoinflamación* es la temperatura a la que los vapores se inflaman espontáneamente sin contacto con el fuego, pudiendo formar mezclas explosivas con el aire.

**Gases:** los gases combustibles presentan dos concentraciones en volumen de aire (límite inferior y límite superior) entre las cuales se produce la inflamación. El producto más peligroso de la combustión son los humos, dado que limitan en gran medida la visión, la respiración y, consecuentemente, la extinción del incendio y la evacuación del personal que se encuentre en las instalaciones en riesgo. Los humos están constituidos por partículas de carbono en suspensión, dióxido de carbono, vapor de agua y, sobre todo, gases tóxicos como el monóxido de carbono. En algunos casos son corrosivos y muy peligrosos para las personas. Los humos y gases son los responsables de la mayoría de las muertes por incendios, ya sea directamente por su inhalación o debido al pánico y gran desorientación que producen.

Por otro lado, una explosión es una combustión muy rápida en la que se libera un gran volumen de gases que, al expandirse, provocan una liberación violenta de energía, produciendo un rápido

incremento de la presión con desprendimiento de calor, luz y gases. La explosión está íntimamente ligada a los incendios industriales.

Uno de los peligros inherentes a las explosiones son las ondas de choque, también conocidas como ondas expansivas. El fluido que rodea a la explosión (aire inflamado) es empujado, dejando un vacío que de inmediato se llena con más fluido. Al viajar tan rápido, al fluido no le da tiempo de rellenar el vacío y adaptarse a la perturbación, que es la onda que ha creado el empuje, como si fuera una ola. Al llegar esta onda, el aire se adapta de inmediato, aumentando la presión y la temperatura de manera muy brusca. Este cambio repentino puede percibirse mediante un sonido muy fuerte.

Una explosión también puede generar agentes de daño. Entre ellos están los proyectiles primarios, que son parte del contenedor, recipiente o ambiente confinado donde se produjo la explosión; por ejemplo, partes del tanque de almacenamiento. Otro agente de daño son los efectos del gas que se escapa, que en algunos recipientes puede ser inocuo y en otros inflamable, corrosivo, tóxico, etc. También existen los proyectiles secundarios, que son elementos o cosas desplazados por la onda de presión o los proyectiles primarios en su movimiento. En las instalaciones, los efectos pueden ser variados: escapes de gases, incendios, derrumbes u otras explosiones derivadas o secundarias. De acuerdo con el tipo de explosión que se produzca, la capacidad de dañar de los distintos agentes tiende a cambiar; por ejemplo, los efectos secundarios de la explosión pueden resultar más destructivos que la propia onda de presión.

**Tabla 74.** Diámetro de las ondas expansivas (gas LP).

<b>Presión de la onda expansiva para el caso de daño máximo posible (psi)</b>									
Diámetro	30	20	10	7	5	3	2	1	0.5
Pies	88	110	150	180	210	290	350	590	860
Metros	27	33.5	33.5	55	64	88.5	106.75	180	262
<b>Presión de la onda expansiva para el caso de daño catastrófico posible (psi)</b>									
Diámetro	30	20	10	7	5	3	2	1	0.5
Pies	150	200	240	300	300	490	690	980	1700
Metros	45.75	61	73.2	91.5	109.8	149.5	189	299	518.5

**Fuente:** Comisión Nacional de Prevención de Desastres, 2001.

La magnitud de las consecuencias de una explosión, la difusión de nubes tóxicas o inflamables e incendios se expresa en términos del número de muertos, lesionados o evacuados, daños a las instalaciones y al medio ambiente, así como, en algunos casos, pronósticos a largo plazo sobre efectos predecibles, como daños por radiación, quemaduras o efectos crónicos por intoxicación.

**Tabla 75.** Gravedad y consecuencias para la vida y la salud por explosión.

Clase	Características
Poco importante	Incomodidad temporal
Limitada	Pocos lesionados, incomodidades por mucho tiempo
Grave	Lesionados e incomodidades graves
Muy Grave	5-20 decesos, 20-100 heridos graves y hasta 500 personas evacuadas
Catastrófico	Más de 20 decesos, cientos de heridos graves y más de 500 personas evacuadas.

Fuente: Zagal, 1996.

Cualquier liberación de sustancias tóxicas donde la cantidad liberada sea suficiente para alcanzar una concentración mayor o igual al nivel que se haya fijado como umbral, representa un peligro inmediato para la vida o la salud humana en las áreas aledañas a la fuente de la emisión.

Los daños que se producen por exposición a la explosión de un combustible son:

**Epidérmico:** también conocida como quemadura de primer grado; afecta únicamente la capa externa de la piel (epidermis), tarda en curarse entre 4 y 5 días y es muy dolorosa. La piel se enrojece y a los pocos días de la lesión puede haber un leve desprendimiento que cicatriza con el tiempo.

**Dérmico superficial:** este tipo de quemadura es de segundo grado. Abarca toda la epidermis y una parte de la dermis. El daño es mayor y puede provocar ampollas e inflamación de la piel.

**Subdérmico:** esta quemadura es también conocida como de tercer grado; prácticamente provoca la destrucción de la piel. De apariencia blanca o carbonizada, regularmente no deja marcas ni cicatrices.

Otros daños a la salud pueden presentar como primeros síntomas tos, incapacidad para respirar, mareos, dolor de cabeza y, en ocasiones, vómitos, los cuales podrían aliviarse en un par de horas; el problema se agrava cuando las vías respiratorias se ven afectadas. Cuando la gente respira cualquier tipo de gas, lo que ocurre es un cambio en la contracción de oxígeno a nivel pulmonar. Al reducirse la cantidad de oxígeno y regular la cantidad de hidrocarburos, se provoca hipoxia, que son niveles bajos de oxigenación. El mayor riesgo en estas circunstancias es la intoxicación a nivel pulmonar.

En caso de gas LP, los efectos por respirarlo son dolor de cabeza, náuseas, vómito, tos, dificultad al respirar, mareo, somnolencia, desorientación y, en casos extremos, convulsiones, inconsciencia e incluso la muerte. Si el gas entra en contacto con los ojos, provoca congelamiento, hinchazón y daño ocular. Si hay contacto con la piel, puede ocasionar quemaduras frías. En caso de combustión, se pueden generar quemaduras graves o, peor aún, la muerte.

Un accidente mayor es un acontecimiento repentino como vertido, emisión, incendio o explosión de gran magnitud en el curso de una actividad dentro de una instalación expuesta a riesgo de accidente mayor, en el que están implicadas una o varias sustancias químicas peligrosas que expongan a los trabajadores, a la población y/o al medio ambiente a un peligro grave, inmediato y/o diferido, real o potencial (IADC).

Existen tres tipos de categorías para los accidentes mayores:

**Categoría 1:** aquellos accidentes en los que se prevé que habrá como única consecuencia daños materiales en la instalación industrial accidentada. Los daños asociados a la emisión, el escape, el vertido y la explosión quedan circunscritos a los límites de la propiedad de la instalación industrial; no se producen víctimas ni heridos.

**Categoría 2:** aquellos accidentes en los que se prevé que habrá como consecuencia posibles víctimas y daños materiales en la instalación industrial. Las repercusiones en el exterior se reducen a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente, en zonas limitadas.

**Categoría 3:** aquellos accidentes en los que se prevé que habrá posibles víctimas, daños materiales o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas, en el exterior de la instalación industrial.

Los accidentes de las categorías 2 y 3 son considerados accidentes mayores (Casal et al., 2009).

La cabecera municipal de Santiago Tulantepec y el núcleo poblacional de El Pedregal de San José y Unidades Habitacionales, concentran la mayor parte de la actividad económica municipal. Dentro de las principales causas de incendios en el municipio se encuentra la falta de regulación de las instalaciones de la industria textil y de las gaseras existentes en el municipio. Las sustancias más utilizadas en las actividades económicas se nombran a continuación:

**Tabla 76.** Tipo de sustancias utilizadas en la actividad económica.

Instalación	Sustancia	Instalación	Sustancia
Bancos	Papel	Paleterías	Saborizantes, líquidos refrigerantes
Carpinterías	Madera, combustible	Panaderías	Gas LP, lubricantes industriales
Administración Pública	Papel	Pastelerías	Gas LP, lubricantes industriales
Despachos contables	Papel	Purificadoras	Cloro, resinas, carbón activado
Ladrilleras	Gas LP, llantas, otros combustibles	Tiendas	Mercancías
Herrerías	Catalizadores, gas LP	Tortillerías	Gas LP
Manufactureras	Catalizadores, gas LP	Veterinaria	Medicamentos
Maquiladoras	Catalizadores, gas LP	Foto estudio	Productos químicos
Molinos	Gas LP, lubricantes industriales		

**Fuente:** Denué, 2021.

MAPA ARST 06.2.1

MAPA ARST 06.2.2

MAPA ARST 06.2.3

MAPA ARST 06.2.4

### **6.2.3 Incendios forestales**

Las zonas forestales son fundamentales para los ciclos de producción y distribución del agua, además nos brindan oxígeno al realizar fotosíntesis, también regulan la temperatura y la humedad ambiental, nos proporcionan alimento, medicina, son refugio para los seres vivos y materia prima para distintas actividades humanas. Los servicios ambientales del bosque se ven amenazados por el cambio de uso del suelo, su degradación, deforestación, tala inmoderada e incendios no controlados debido a la agricultura, ganadería y desarrollo humano.

Un incendio forestal ocurre cuando el fuego se extiende de manera descontrolada y afecta los bosques, las selvas o la vegetación de zonas áridas y semiáridas (CONAFOR, 2018).

De acuerdo con el promedio de los últimos años, alrededor del 50 % de los incendios forestales se producen por actividades agropecuarias y de urbanización, así como por acciones mal intencionadas y los descuidos de las personas.

**Tabla 77.** Principales causas y consecuencias de los incendios forestales.

Causa	Consecuencias
Accidentales	Rupturas de líneas eléctricas, accidentes automovilísticos, ferroviarios y aéreos.
Negligencias	Quemas agropecuarias no controladas, fogatas de excursionistas, fumadores, quema de basura, limpieza de vías en carreteras y uso del fuego en otras actividades productivas dentro de áreas forestales.
Intencionales	Quemas por conflictos entre personas o comunidades, tala ilegal o litigios.
Naturales	Caída de rayos o erupciones volcánicas

Fuente: Comisión Nacional Forestal, 2010.

Los tipos de incendio, según su origen y características, son:

**Incendio superficial:** el fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno y alcanza hasta metro y medio de altura. Afecta pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural o plantación, troncos, humus, entre otros.

**Incendio subterráneo:** un incendio superficial se propaga bajo el suelo. En este caso, llegan a quemarse la materia orgánica acumulada y las raíces (turba), e incluso puede alcanzar los afloramientos rocosos. Generalmente, no produce llamas y emite poco humo. Dependen de las características geológicas del entorno.

**Incendio aéreo o de copa:** es el más destructivo, peligroso y difícil de controlar. Comienza de forma superficial, pero las llamas avanzan a nivel del suelo y se propagan por continuidad vertical en vegetación que sirve de combustible en escalera hacia las copas de los árboles.

Las condiciones que influyen sobre la forma y la velocidad en que el fuego se propaga se dividen en dos grupos de variables importantes: el primero se refiere a las condiciones permanentes, como la composición de los combustibles (elemento principal que determina las características del incendio), las especies vegetales dominantes en la zona y, finalmente, la topografía. El otro grupo de variables son las condiciones transitorias (de tipo meteorológico), como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento y precipitación pluvial (lluvias).

Otro elemento a considerar para los incendios forestales es la fuente de calor. En el bosque siempre se requiere de una fuente de incandescencia externa mayor a 200 °C para que ocurra un incendio. Generalmente, ésta proviene de alguna fogata, un cerillo o la quema de material vegetal con fines agrícolas y de pastoreo.

Si bien los incendios forestales pueden ocurrir en cualquier momento, en México hay dos temporadas con mayor incidencia. La primera entre enero y junio, afecta las zonas centro, norte, noreste, sur y sureste del país. La segunda temporada entre mayo y septiembre se registra en el noroeste del país (Baja California). Ambas son condicionadas por la climatología regional, donde existen dos épocas de estiaje bien definidas.

**Tabla 78.** Daños causados por los incendios forestales.

### **Daños causados por los incendios forestales**

Suelos expuestos y susceptibles a la erosión.

No hay plantas que retengan el agua para filtrarla al subsuelo y que formen o recuperen los mantos freáticos.

Desaparece el hábitat de la fauna silvestre, se desequilibran las cadenas alimenticias y muchos procesos de la vida se ven truncados (por ejemplo, la destrucción de hongos, bacterias y protozoarios cuya función es desintegrar la materia orgánica).

El clima se ve alterado al haber menos plantas que generen oxígeno. Se incrementa el efecto invernadero en la atmósfera terrestre. El clima se ve alterado al haber menos plantas que generen oxígeno. Se incrementa el efecto invernadero en la atmósfera terrestre.

El humo, producto de la combustión, contiene carbono y otros elementos que, en grandes cantidades, son nocivos al medio ambiente.

Destrucción de volúmenes de madera con el consecuente impacto en la economía de los propietarios.

Fuente: Comisión Nacional Forestal, 2010.

El mapa de riesgos de incendios forestales del municipio de Santiago Tulantepec , sigue un modelo conceptual de usos del suelo jerarquizados y toma en cuenta datos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) sobre la distribución de los incendios en este municipio. La base de datos abiertos del año 2021 se compone de una serie de campos descriptores del uso de suelo, distribución poblacional y pozos. La jerarquía del riesgo se presenta en un rango de muy alto a muy bajo, dependiendo de las características del uso de suelo y la vegetación.

**Tabla 79.** Nivel de riesgo de incendio asignado por tipo de vegetación.

Tipo de vegetación	Nivel
Bosque de Encino	Muy alto
Bosque de Encino-Pino	Muy alto
Bosque de Pino	Muy alto
Vegetación secundaria arbustiva de Bosque de Pino	Muy alto
Vegetación secundaria arbustiva de Bosque de Tascate	Muy alto
Vegetación secundaria arbórea de Bosque de Encino	Muy alto
Pastizal Inducido	Alto
Agricultura de riego anual y semipermanente	Muy bajo

Agricultura de temporal anual	Muy bajo
-------------------------------	----------

Agricultura de temporal anual y permanente	Muy bajo
--	----------

Asentamientos urbanos	Muy bajo
-----------------------	----------

Vegetación secundaria arbustiva de Matorral Crasicaule Muy bajo

El nivel de riesgo se asigna dependiendo del tipo de vegetación (la composición de los combustibles). El bosque es más propenso a sufrir incendios aéreos o de copa, lo cual lo convierte en el mejor combustible para la propagación del incendio posicionándolo en un nivel de riesgo muy alto. La vegetación a nivel del suelo es más susceptible a sufrir incendios superficiales y su nivel de riesgo va de los rangos medio a alto, mientras que los pastizales y el matorral sarcocrasicaule son más susceptibles a incendios subterráneos, por lo que se les asigna un valor de riesgo bajo.

De acuerdo con la información procesada y analizada de CONAFOR (2021), la mayor fuente y/o causa de los incendios ocurridos en el municipio de Santiago Tulantepec es la influencia humana. La primera causa de los incendios forestales es la quema con fines agropecuarios, la segunda son los fumadores y la tercera es la quema de basureros. En el territorio municipal existe de forma general un bajo nivel de riesgo de presentar incendios forestales, siendo las zonas cercanas a las localidades de Altepemila, Paxtepec y Sangre de Cristo las más susceptibles, pues en ellos se presenta vegetación acorde.

Las acciones preventivas de incendios forestales pueden consistir en: a) obras de ingeniería para reducir la acumulación de material combustible o modificar su continuidad, tanto en forma horizontal como vertical, tales como brechas cortafuego, líneas negras, podas, chaponeos, aclareos y quemas prescritas, entre otras; b) actividades educativas, como campañas de difusión e información, capacitación y asistencia técnica para el uso del fuego en poblaciones rurales y urbanas, para que las personas valoren la importancia de los recursos naturales y adquieran hábitos de cuidado de las zonas forestales; y, finalmente, c) la supervisión legal para verificar que se cumplan las leyes, reglamentos y normas relativas al uso del fuego en el territorio nacional.

**Tabla 80.** Resumen histórico de incendios forestales (2015-2020).

Paraje	Causa	Causa específica	Fecha de inicio	Tipo de vegetación	Tipo de impacto	Tipo de incendio
Col. Raul Lozano	Quema basureros	de Ninguna / No aplica	07/02/2016	Bosque de Pino - BP	Impacto mínimo	Superficial
P.p. de Familia Curiel	Actividades Agrícolas	Quema para preparación de siembra	11/02/2016	Matorral Crasicaule - MC	Impacto mínimo	Superficial
P.p. Carmen Soto	Actividades Pecuarias	Quema para pastoreo	12/02/2016	Matorral Crasicaule - MC	Impacto mínimo	Superficial
Sangre de Cristo	Quema basureros	de Ninguna / No aplica	17/02/2016	Bosque de Pino - BP	Impacto mínimo	Superficial
P.P Mario Ceron	Actividades Agrícolas	Quema para preparación de siembra	06/04/2016	Bosque de Pino - BP	Impacto mínimo	Superficial
P.P Matias Hernandez	Actividades Agrícolas	Quema para desmontar	06/04/2016	Bosque de Pino - BP	Impacto mínimo	Superficial
El Bisnaguero	Actividades Agrícolas	Quema para preparación de siembra	22/02/2017	Matorral Crasicaule - MC	Impacto mínimo	Superficial
Piedra Agujerada	Actividades ilícitas	Cambio de uso de suelo	25/02/2017	Bosque de Táscate - BQ	Impacto mínimo	Superficial
Colonia San Carlos	Quema basureros	de Ninguna / No aplica	28/02/2017	Matorral Crasicaule - MC	Impacto mínimo	Superficial
Rancho Colorado	Fogatas	Fogatas de paseantes	01/03/2017	Bosque de Encino - BQ	Impacto mínimo	Mixto
Ejido de Sabanetas	Actividades Agrícolas	Quema para preparación de siembra	07/03/2017	Bosque de Encino- Pino - BQP	Impacto mínimo	Superficial

Ejido Romeros	Fumadores	Ninguna / No aplica	02/04/2017	Bosque de Táscate - BJ	Impacto mínimo	Superficial
Los Coyotes	Actividades Pecuarias	Quema para pastoreo	14/04/2017	Bosque de Pino - BP	Impacto mínimo	Superficial
La Ladrillera	Actividades Agrícolas	Quema para preparación de siembra	16/04/2017	Matorral Crasicaule - MC	Impacto mínimo	Superficial
P.P. de Dante Vallejo	Actividades Agrícolas	Quema para preparación de siembra	05/05/2017	Bosque de Encino - BQ	Impacto mínimo	Superficial
P.P. Ciro Barranza	Actividades Agrícolas	Quema para desmontar	07/05/2017	Bosque de Táscate - BJ	Impacto mínimo	Superficial
Ejido Emiliano Zapata	Actividades Agrícolas	Quema para desmontar	20/05/2017	Bosque de Táscate - BJ	Impacto mínimo	Superficial
Ejido Romeros, P.P. Javier Peña Aguilera	Actividades Agrícolas	Quema para desmontar	23/05/2017	Bosque de Pino - BP	Impacto mínimo	Superficial
Ejido Romeros- Poza Puerca	Actividades Agrícolas	Quema para preparación de siembra	23/05/2017	Bosque de Pino - BP	Impacto mínimo	Superficial
Los Venados	Fogatas	Fogatas de paseantes	03/01/2018	Bosque de Encino- Pino - BQP	Impacto mínimo	Superficial
Los Venados	Actividades ilícitas	Rencillas	04/01/2018	Bosque de Encino - BQ	Impacto mínimo	Superficial
El Puente	Fumadores	Ninguna / No aplica	02/04/2018	Bosque de Encino - BQ	Impacto mínimo	Superficial

P.P.	Luis	Residuos de aprovechamiento forestal	Ninguna / No aplica	21/04/2018	Bosque de Encino - Impacto BQ	mínimo	Superficial
	Ponce	Actividades Agrícolas	Quema para preparación de siembra	05/06/2018	Bosque de Encino - Impacto BQ	mínimo	Superficial

**Fuente:** Comisión Nacional Forestal, 2020.

Dependiendo de las características y el tamaño de los incendios forestales, estos se categorizan para su temprana atención de la siguiente manera:

**Nivel 1:** incendios de pequeña dimensión. Para ser controlados, requieren solo de la participación de las brigadas de las instituciones oficiales responsables en el estado (CONAFOR y Gobierno de Hidalgo) y de personal voluntario de las comunidades.

**Nivel 2:** incendios de proporción mediana. Para ser controlados, requieren de la participación de otras instituciones, como Protección Civil, la Secretaría de la Defensa Nacional, el gobierno municipal y otras instancias del Gobierno estatal, así como voluntarios de la sociedad.

**Nivel 3:** incendio de magnitud. Su control requiere la participación y los recursos de otras instituciones del Gobierno federal (SEDENA, Protección Civil, SCT, Comisión Nacional del Agua, Semarnat), e incluso se llega a requerir ayuda internacional para contar con brigadas, equipo especializado y aéreo (estado de emergencia internacional) y personal voluntario de organizaciones de los sectores social y privado.

La Norma Oficial Mexicana para los métodos de uso de fuego es la siguiente:

**NOM-015-SEMARNAT-SAGARPA-2007:** establece las especificaciones técnicas de los métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario. Su propósito es prevenir y disminuir los incendios forestales. Es de observancia general y obligatoria en todo el territorio nacional para los propietarios y poseedores de terrenos forestales y colindantes; para quienes realicen el aprovechamiento de recursos forestales, la forestación o plantaciones forestales comerciales y reforestación; así como para los prestadores de servicios técnicos forestales responsables de los mismos, para los encargados de la

administración de las áreas naturales protegidas y para los propietarios de terrenos de uso agropecuario que pretendan hacer uso de fuego.

Además, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable establece lo siguiente en su capítulo II, “De la Prevención, Combate y Control de Incendios Forestales” (DOF, 2003):

**Artículo 117:** La Secretaría dictará las Normas Oficiales Mexicanas que regirán el manejo del fuego, y permitan una gestión integrada del fuego, para evaluar los daños, restaurar el área afectada por incendio y establecer los métodos de manejo del fuego en los terrenos forestales, temporalmente forestales, agropecuarios y colindantes, así como los procedimientos para establecer el Sistema de Calificación para el manejo del fuego y el Sistema de Comando de Incidentes para el manejo del fuego en ecosistemas forestales. Quienes hagan uso del fuego en contravención de las disposiciones de las normas mencionadas, recibirán las sanciones que prevé la presente ley, sin perjuicio de las establecidas en las leyes penales.

**Artículo 119:** . La Comisión coordinará el Programa de Manejo del Fuego y coadyuvará con las Entidades Federativas, Municipios y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México a través del combate ampliado de incendios forestales y promoverá la asistencia de las demás dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, conforme a los términos de la distribución de competencias y de los acuerdos o convenios que, para tal efecto, se celebren.

La autoridad municipal o de la Demarcación Territorial de la Ciudad de México deberá atender el combate inicial de incendios forestales; y en el caso de que éstos superen su capacidad operativa de respuesta, acudirá a la instancia estatal. Si ésta resultase insuficiente, se procederá a informar a la Comisión, la cual actuará de acuerdo con los programas y procedimientos respectivos. La Comisión definirá los mecanismos de coordinación pertinentes con el Sistema Nacional de Protección Civil.

La Comisión, los gobiernos de las Entidades Federativas, de los Municipios y de las Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México, procurarán la participación de los sectores social y privado, para los efectos señalados en el párrafo que antecede y organizarán programas permanentes de manejo del fuego.

Sin perjuicio de lo anterior, las legislaciones locales establecerán los mecanismos de coordinación entre la Entidad Federativa, Municipios y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México en la materia a que se refiere este capítulo.

**Artículo 124:** los propietarios y poseedores de los terrenos forestales y preferentemente forestales y sus colindantes, quienes realicen el aprovechamiento de recursos forestales, la forestación o plantaciones forestales comerciales y reforestación, así como los prestadores de servicios técnicos forestales responsables de los mismos y los encargados de la administración de las áreas naturales protegidas, estarán obligados a ejecutar trabajos para prevenir, combatir y controlar incendios forestales, en los términos de las Normas Oficiales Mexicanas aplicables. Asimismo, todas las autoridades y las 48 empresas o personas relacionadas con la extracción, transporte y transformación están obligadas a reportar a la Comisión la existencia de los conatos o incendios forestales que detecten.

**Artículo 121:** Los propietarios y legítimos poseedores de terrenos forestales están obligados a llevar a cabo, en caso de incendio, la restauración de la superficie afectada en el plazo máximo de dos años, debiendo ser restaurada la cubierta vegetal afectada; cuando la regeneración natural no sea posible, la restauración se hará mediante la reforestación, poniendo especial atención a la prevención, control y combate de plagas y enfermedades. Cuando los propietarios y legítimos poseedores de los predios dañados demuestren su imposibilidad para cumplir directamente, podrán solicitar fundadamente a las autoridades municipales, de las Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México, de las Entidades Federativas o de la Federación, el apoyo para realizar dichos trabajos. De igual manera, los titulares o poseedores de los predios afectados que no hayan sido responsables del incendio, podrán solicitar el apoyo para los trabajos de restauración, en los términos que se establezcan como instrumentos económicos o se prevean en el Reglamento. Transcurrido el plazo de dos años sin que el propietario o legítimo poseedor hubiera procedido a la restauración, la Comisión realizará los trabajos correspondientes con cargo a ellos, quienes deberán pagar la contraprestación respectiva en los términos de las disposiciones aplicables, que tendrá el carácter de crédito fiscal y su recuperación será mediante el procedimiento económico coactivo correspondiente. Cuando los propietarios y legítimos poseedores de terrenos forestales que hayan sido afectados por incendio, comprueben fehacientemente que los daños sean de una magnitud tal que requieran de un proceso de restauración mayor a los dos años, podrán acudir ante la Comisión para solicitar la ampliación de plazo a que se refieren los primeros párrafos de este artículo, así como la gestión de apoyos mediante los programas federales y de las Entidades Federativas, aplicables.

**Tabla 81.** Medidas de prevención de incendios.

### **Para paseantes:**

No dejar encendidas fogatas, cigarros, cerillos o brasas en los bosques y selvas.

Evitar dejar fragmentos de vidrio, cristales, espejos o botellas que, por la acción de los rayos solares, pudieran convertirse en una fuente de calor y provocar un incendio.

Siempre que se detecte un incendio forestal, por pequeño que parezca, dar aviso a las autoridades municipales o locales.

No intervenir ni actuar por cuenta propia para combatir un incendio forestal. Lo más importante es la seguridad personal, por lo que se debe alertar a las autoridades sobre la presencia del fuego.

### **Para el campesino, agricultor y dueño de terrenos forestales:**

Vigilar que en sus predios no haya acumulación de materiales que pudieran servir como combustible para la generación de incendios.

Cuando se vayan a realizar quemas, hacerlo muy temprano, en las primeras horas de la mañana y sólo cuando no haya viento ni sol muy fuerte.

Antes de iniciar la quema, abrir brechas cortafuego para controlar el desarrollo del proceso.

La quema de terrenos para preparar la tierra para la siembra es un proceso muy peligroso que puede contribuir a la generación de incendios. Siempre que se cuente con otras opciones para la preparación de sus predios, evite usar estas quemas.

Sólo realizar quemas si va a trabajar la tierra en los días siguientes.

Si va a realizar estas quemas, asegúrese de contar con el apoyo de otros miembros de la comunidad, para mantener la vigilancia total sobre el proceso y poder detectar, denunciar y/o combatir cualquier conato de incendio.

Es importante que se informe al usuario sobre los procedimientos y técnicas para llevar a cabo una quema agropecuaria según lo establecido en la NOM-015, acudir a las oficinas de la Semarnat, Sagarpa o la Comisión Nacional Forestal de su entidad para que le sea proporcionada dicha asesoría.

Fuente: Comisión Nacional Forestal, 2010.

## 6.2.4 Radiación

La radiación es la energía en movimiento pues se define como la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o en un medio material, lo cual implica un intercambio de energía y materia.

Según su poder de ionizar la materia, puede dividirse en ionizante y no ionizante. La primera tiene la energía suficiente para producir la ionización de átomos y así, se pueden recombinar o formar nuevos compuestos químicos cuyo cambio puede ser permanente o de larga duración. La segunda, puede provocar movimientos colectivos de los electrones del material pero sus cambios no son permanentes porque no cuenta con la energía suficiente para romper enlaces atómicos o ionizar. En la radiación no ionizante se incluye la infrarroja, las radiofrecuencias, los campos de microondas, los campos eléctricos y magnetostáticos. La radiación ultravioleta y la luz visible también se incluyen en este tipo de radiación, aunque algunos de sus efectos en ocasiones pueden parecerse a los producidos por la radiación ionizante.

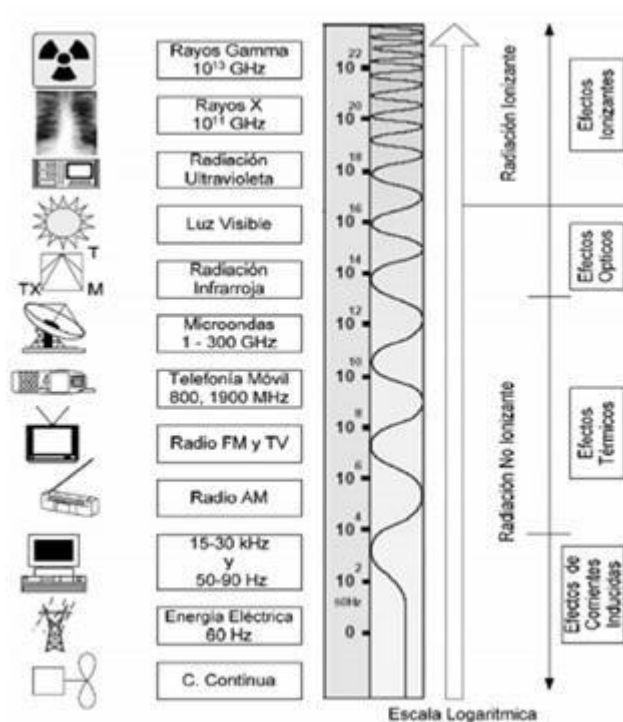
La radiación ionizante tiene algunas variedades que se clasifican a continuación :

**Tabla 82.** Tipos de radiaciones ionizantes (González-Sprinberg y Rabin-Lerma, 2011).

Tipo de radiación
Radiación $\alpha$ (alfa): un núcleo inestable emite un núcleo de helio (formado por dos protones y dos neutrones); el núcleo original se transforma en otro.
Radiación $\beta$ (beta): si un núcleo inestable emite un electrón, se llama beta negativo ( $\beta^-$ ), y si emite un positrón se llama beta positivo ( $\beta^+$ ); el núcleo original se transforma en otro.
Radiación $\gamma$ (gamma): son fotones usualmente de muy alta energía, emitidos por núcleos inestables u otros procesos. El núcleo no cambia su identidad, sino que únicamente pierde energía.
Radiación neutrónica: es la emisión de neutrones en procesos nucleares.
Rayos X: son fotones de alta energía que se producen cuando los electrones atómicos cambian de órbita o cuando los electrones inciden sobre un material y son frenados.

El riesgo por afectaciones de este tipo de radiación en el municipio de Santiago se relaciona con el derrame o transporte de sustancias radiactivas a través de la carretera Los Romeros-Santiago y la carretera México 130 en el tramo Pachuca-Tuxpan, en los límites del municipio de Tulancingo y Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, afectando las áreas urbanas de Unidades Habitacionales y El Pedregal de San José. Es importante mencionar que las carreteras principales del municipio están expuestas al riesgo de radiación, únicamente si existe movilidad de transporte de materiales radiactivos.

Cuando la radiación interactúa con el tejido vivo, ioniza el material celular y modifica sus condiciones naturales. Las células están constituidas en un 80 por ciento por moléculas de agua. Ante la radiación, estas moléculas son susceptibles de asociarse y generar radicales libres (compuestos químicos muy reactivos) capaces de alterarlas de manera irreversible, junto con el ADN, lo que tiene importantes efectos en la salud. Cuando el ADN ha sido modificado y la célula no lo repara o lo hace incorrectamente, se pueden producir daños permanentes. Estos daños pueden interferir en los procesos celulares, impedir su reproducción o provocar una división celular sin control que podría derivar en las enfermedades que llamamos cáncer. Además, si un número importante de células son afectadas o aniquiladas en un órgano en particular, este puede dejar de funcionar normalmente, o bien, puede seguir cumpliendo sus funciones si esas células no son cruciales para el órgano al que pertenecen.



**Figura 29.** Tipos de radiación electromagnética (modificado a partir de García, s.f.).

Las consecuencias de la exposición a la radiación dependen de: la dosis recibida, si fue en etapas o en una sola vez, el tiempo de exposición, si fue aplicada en todo el cuerpo o en una parte de él (interna o externamente). También dependerán de los factores genéticos de cada persona y la etapa del crecimiento en que se fue expuesto, pues sus efectos son diferentes en la etapa embrionaria, fetal, la infancia y adultez.

Las consecuencias de la radiación pueden dividirse en dos clases: los determinísticos y los estocásticos. Los determinísticos son aquellos que se producirán siempre que la dosis recibida supere cierto valor mínimo; en este caso los efectos se producen a la brevedad después de la exposición y suelen no ser fatales, dependiendo siempre de la dosis recibida. Los estocásticos son de tipo probabilístico o aleatorio; por lo tanto, su probabilidad de su aparición –no su gravedad– depende de la dosis recibida sin una mínima. Los efectos estocásticos se vinculan con la acumulación de dosis en el tiempo; de esta manera, pueden pasar lapsos largos sin detección, incluso generaciones (González-Sprinberg y Rabin-Lerma, 2011).

El término “aguda” hace referencia a los problemas médicos que ocurren inmediatamente después de la exposición, en contraste con los que se desarrollan tras un tiempo prolongado. Sin embargo, las víctimas pueden sobrevivir en primera instancia y morir por daño gastrointestinal una o dos semanas después. Las dosis bajas pueden no ocasionar lesiones intestinales, pero incluso así causar la muerte después de algunos meses, principalmente por daño en la médula ósea. Las dosis aún más bajas pueden retrasar el inicio de la enfermedad y producir síntomas menos severos. Aproximadamente la mitad de aquellos que recibieron dosis de 2 Gray sufren vómitos después de unas tres horas, pero es inusual que esto ocurra para dosis menores a 1 Gray (PNUMA, 2016).

El mayor riesgo de exposición a radiación ionizante se da por las líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión, las cuales son un conjunto de cables aéreos empleados para conducir energía eléctrica. Estas líneas de transmisión generalmente pasan por zonas rurales del municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y son: a) línea en posteroío sencillo; b) línea en torres de acero; y c) línea en posteroío doble. Del mismo modo, la estación terrena de Tulancingo que se encuentra al norte del municipio y las líneas de comunicación que pasan sobre la parte noroeste del mismo, se consideraron como una fuente al riesgo de exposición de radiación ionizante para los habitantes. A continuación, se enlistan las localidades por riesgo de exposición.



**Figura 30.** Línea de transmisión en la localidad de Sangre de Cristo.

**Tabla 83.** Rangos de riesgo para radiación ionizante en las diferentes comunidades.

Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo	Localidad	Gridcode	Nivel de riesgo
Agrícola Oriental	1	Muy bajo	Rancho Colorado	4	Alto
Altepemila	5	Muy alto	Rancho el Mirador	5	Muy alto
Colonia Felipe Ángeles	3	Medio	Rinconada de las Aves	2	Bajo
El Charco	2	Bajo	San Luis Buena Vista	4	Alto

El Pedregal de San José	2	Bajo	San Miguel Huatengo	3	Medio
El Salado	2	Bajo	San Pedro Huatengo	5	Alto
Emiliano Zapata	1	Muy bajo	Sangre de Cristo	5	Muy Alto
La Joya	3	Medio	Santiago Tulantepec	2	Bajo
La Joya 2da. Sección	5	Muy alto	Sayola	1	Muy bajo
Las Camelinas	3	Medio	Tilhuacán	4	Alto
Las Lajas	5	Muy alto	Ud. Magisterial San José	4	Alto
Los Romeros	5	Muy alto	Unidades Habitacionales	4	Alto
Paxtepec	5	Muy alto	Ventoquipa	1	Muy bajo

#### MAPA ARST 06.4.1

### 6.2.5 Envenenamiento

El envenenamiento –también llamado intoxicación (CUN, 2019)– es la enfermedad provocada por el ingreso al organismo, por cualquier vía, de una sustancia química, un veneno o un tóxico, que da lugar a alteraciones, mayores o menores, de la fisiología de la víctima, pudiendo causarle la muerte. El envenenamiento puede ser agudo o crónico. Desde el punto de vista de la medicina legal, son posibles las tres etiologías clásicas: accidental, homicida o suicida.

Entre las sustancias que pueden causar envenenamiento (AAFP, 2019):

**Tabla 84.** Sustancias que pueden causar envenenamiento o intoxicación se encuentran a continuación:

## Sustancias

Productos para el hogar y productos para el cuidado personal, como el removedor de esmalte de uñas y enjuague bucal que es perjudicial para los niños.

Productos de limpieza y detergentes

Diluyente de pintura.

Plaguicidas y repelentes de insectos.

Productos químicos para el césped, como herbicidas, fertilizantes y fungicidas.  
Metales de plomo

Mercurio, que se puede encontrar en termómetros y pilas antiguas

Medicamentos recetados y de venta libre cuando se combinan o se toman de forma incorrecta.

Drogas ilícitas.

Monóxido de carbono.

Alimentos en mal estado

Plantas como la hiedra venenosa o el roble venenoso.

Veneno de ciertas especies de insectos y serpientes.

Fuente: Academia Americana de Médicos de Familia, 2019.

La toxicología es la parte de la medicina que estudia los efectos adversos o la toxicidad de las sustancias y los productos químicos sobre los organismos vivos, así como los mecanismos de acción, diagnóstico, prevención y tratamiento de las intoxicaciones. Los tóxicos son sustancias capaces de producir en un órgano o sistema de órganos lesiones estructurales o funcionales e incluso provocar la muerte. Sin embargo, potencialmente, casi todas las sustancias conocidas pueden provocar daño y/o causar la muerte si están presentes en el organismo en una cantidad

suficiente (García, s.f.). En función de su naturaleza, se pueden clasificar en tóxicos químicos y físicos. Los tóxicos químicos pueden ser de origen animal, mineral, vegetal y sintético. Casi siempre se tiende a limitar el concepto de tóxico al efecto de sustancias químicas, sin tener en cuenta los efectos tóxicos de elementos físicos, tales como los rayos X y ultravioleta, el efecto nocivo del ruido, etcétera.

Los efectos sistémicos de las sustancias tóxicas requieren que estas se absorban y se distribuyan por el organismo hasta los lugares donde ejercerán su acción. Para que ello ocurra, la sustancia química habrá de pasar por varias fases: deberá absorberse, distribuirse, fijarse y eliminarse.

Las principales vías de absorción del tóxico pueden ser:

*Por ingestión:* a través del tracto gastrointestinal. En la mayoría de las intoxicaciones agudas, es la principal vía de absorción.

*Por inhalación:* a través de la vía respiratoria. Esta vía es la principal en las intoxicaciones por gases.

*Por vía tópica:* a través de la piel. Esta vía, junto con la inhalatoria, son las que con más frecuencia se presentan en intoxicaciones industriales, mientras que las intoxicaciones accidentales y suicidas suceden con mayor frecuencia por la vía oral.

El riesgo de intoxicación y/o envenenamiento en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero se analizó a nivel AGEB debido a que la identificación del peligro puede tratarse más de una cuestión local y no municipal, es decir, al tratarse de las zonas donde se concentra la mayor cantidad de dinámica económica, es más probable que el problema se concentre en las mismas inmediaciones de esa demarcación, pudiéndose tratar de un riesgo concatenado dependiendo el sector involucrado. En el caso de riesgo por envenenamiento e intoxicación por gases tóxicos y gases de combustión se tomó en cuenta la zona de influencia (buffer de 50 m) en torno a los basureros clandestinos y a los puntos de venta de gasolina y diesel en el municipio. De esta manera las zonas con mayor riesgo de envenenamiento se focalizan en las zonas urbanas en la cabecera municipal y aledañas a Tulancingo.

A continuación se mencionan algunas de las actividades económicas que se consideraron para cada uno de los diferentes tipos de intoxicación y envenenamiento que pueden llegar a suscitarse en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Tabla. Actividades económicas relacionadas al riesgo de intoxicación y envenenamiento en el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Gases industriales	Fabricación de cemento, concreto, tubos, bloques y otros materiales para construcción Fabricación de explosivos Fabricación de componentes electrónicos Fabricación de productos textiles Fabricación de utensilios, artículos y otros productos de madera Fabricación de autopartes Fabricación de juguetes, entre otros.
Gases de combustión	Comercio de gas L.P. en cilindros y para tanques estacionarios. Comercio de gasolina y diesel
Gases tóxicos	Basureros clandestinos
Fármacos	Consultorios dentales del sector privado. Consultorios de medicina general públicos y privados. Consultorios de quiropractica Consultorios de optometría Consultorios de medicina especializada Consultorios de nutriólogos y dietistas Servicios veterinarios Comercio al mayor y por menor de medicamento veterinario Farmacias sin minisúper Farmacias con minisúper
Drogas/Sustancias alcohólicas	Billares Centros nocturnos Discotecas Bares Cantinas
Ingesta de alimentos	Restaurantes Marisquerías Cafeterías Cocinas económicas y loncherías Puestos ambulantes de comida Tortillerías Panificadoras y pastelerías, entre otros.

Cabe destacar que

MAPA ARST - 06.5.1

MAPA ARST - 06.5.1.1

MAPA ARST - 06.5.1.2

### **6.3 Los riesgos sanitario-ecológicos**

Los riesgos de origen sanitario agrupan eventos relacionados con la contaminación del aire, el agua y los suelos, los que son propios del área de salud —esencialmente las epidemias— y los ligados a la actividad agrícola.

Con base en lo que establece el Sistema Nacional de Protección Civil, se determinaron los fenómenos de origen sanitario-ecológico en la contaminación del aire, suelo y agua, la desertificación, las epidemias y zoonosis, las plagas y la lluvia ácida.

Los agentes perturbadores de origen sanitario son producto del crecimiento desmedido y sin equilibrio de la población y del desarrollo industrial. Algunas de las zonas más expuestas son los centros urbanos que concentran grandes industrias y fuerte densidad de población. A menudo, un riesgo sanitario es efecto de otros agentes perturbadores, como un sismo o inundación, que al afectar los servicios básicos y la infraestructura de la comunidad (agua, drenaje, hospitales, distribución de alimentos y otros), provocan enfermedades por epidemias y plagas.

Muchas alteraciones a la salud son provocadas por contaminantes potencialmente dañinos, por lo tanto las enfermedades relacionadas dependen en gran medida de la concentración del contaminante, el tiempo de exposición y de la susceptibilidad de cada individuo a ciertas sustancias.

Las redes de servicios básicos (agua, alcantarillado y energía eléctrica) y transporte, han crecido paulatinamente hasta volverse convergentes en múltiples puntos. Ante problemas sanitarios, tales como epidemias, plagas y contaminantes industriales, el tamaño de esa red convergente se vuelve un riesgo, dado que las probabilidades de contagio aumentan en los puntos de convergencia. Su atención y corrección mediante políticas limpias es imprescindible para abatir los niveles de riesgo que repercuten en el ambiente y en el bienestar humano. Los riesgos originados en fenómenos sanitarios tienen claras repercusiones en variables que reflejan el nivel de salud de la población, como son la morbilidad y la mortalidad.

Muy frecuentemente, estos riesgos se derivan de la presencia de condiciones ambientales adversas y de niveles de contaminación en grados en que la naturaleza queda incapacitada para reciclar los elementos extraños que en ella son depositados y que inciden, a su vez, en el uso inadecuado del medio.

Por otra parte, y en forma similar a otros procesos en los que interviene la acción del hombre, como los procesos sociales y económicos no planificados, el crecimiento desordenado de los centros urbanos y las zonas industriales tiene consecuencias en los perfiles de salud al omitir una distribución equitativa de los recursos y los servicios básicos. La identificación de estos agentes perturbadores también está sujeta a las grandes concentraciones vehiculares y al crecimiento de la población y la industria.

### 6.3.1 Plagas

En el ámbito global, se estima que el 35% de los cultivos se pierden a causa de las plagas, a pesar del uso de pesticidas y otros programas de control, los insectos son el principal factor. El pronóstico de las plagas permite un mejor control y uso de los pesticidas, también determina cuándo debe evaluarse el “nivel de perjuicio económico” de la plaga. Este procedimiento documenta la densidad de la pérdida inaceptable que la plaga causará en el cultivo y requiere la siguiente información (Tabla 85):

**Tabla 85.** Proliferación de plagas.

Factores a considerar en la proliferación de plagas
Densidad de la plaga, sus parásitos y depredadores.
Factores ecológicos que afectan el crecimiento del cultivo.
Cantidad de daño y pérdida relacionada con diferentes densidades de la plaga.
Valor monetario de la pérdida del cultivo a diferentes niveles
Valor monetario del daño derivado de las medidas de control.
Costo de las medidas de control.

Determinación de los “revelos del umbral económico” o densidad de la plaga donde deberían aplicarse medidas de control para evitar el nivel de perjuicio económico.

Las principales plagas presentes en las zonas forestales de Hidalgo son: heno motita, escarabajo descortezador, muérdago y avispa agalladora.

**Heno motita (*Tillandsia recurvata*):** esta plaga se desarrolla en verano, presenta su floración en otoño y se propaga en invierno, cuando los árboles pierden las hojas; gracias a que las semillas están encapsuladas, se dispersan con el viento y, con ayuda de las aves, germinan en cortezas rugosas.

**Escarabajos descortezadores:** son insectos coleópteros herbívoros de tamaño muy pequeño (0.1 y 0.6 cm). Son endófitos y cavan galerías por debajo de la corteza de los árboles para alimentarse. Hay dos grandes grupos: la subfamilia Scolytinae y la subfamilia Paltipodinae. Es importante señalar que si bien ambos grupos viven dentro de los árboles, los Scolytinae se alimentan directamente del floema, mientras que los Paltipodinae se alimentan de los hongos que cultivan; entre estos últimos se encuentran los escarabajos ambrosiales, que perforan la corteza y cultivan en su interior los hongos ambrosiales con los que se alimentan (Farrel et al., 2001).

En ambos casos, los escarabajos adultos (generalmente hembras) cavan un túnel en la corteza de los árboles para depositar sus huevecillos, guardando cierta distancia entre cada uno, para que cuando emerjan las larvas no interfieran entre sí al momento de alimentarse. Las larvas cavan túneles longitudinales, alejándose del túnel parental, y comen hasta adquirir la talla adecuada para llevar a cabo la metamorfosis, salir del árbol como adultas y completar su ciclo de vida.

La mayoría de las especies de escarabajos descortezadores atacan por lo general árboles debilitados por la edad, la sequía, el fuego, enfermedades o daño mecánico; sin embargo, hay especies agresivas como *Dendroctonus frontalis* y *Dendroctonus ponderosae* que, cuando sus poblaciones son muy grandes, pueden infestar árboles sanos al atacarlos masivamente en superficies extensas (Billings et al., 2004).

El gusano soldado (*Spodoptera frugiperda*) es una plaga de lepidópteros que se alimenta en gran número en las hojas y tallos de más de 80 especies de plantas, causando grandes daños al

cultivo de hierbas económicamente importantes (ej. maíz, arroz, sorgo, caña de azúcar) y también a otros cultivos como las hortalizas.

Las plagas de insectos no han constituido un problema severo para los cultivos en el Valle de Tulancingo, región sociocultural del estado de Hidalgo, región donde se encuentra el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Sin embargo, pueden presentarse algunas plagas del suelo que de no contar con las medidas para su control generarían problemas económicos y sociales.

Las plagas en el municipio se pueden clasificar en:

- a) **Arácnidos:** son artrópodos que tienen cuatro pares de patas, artejos (extremidades articuladas) denominados quelíceros y pedipalpos (que están modificados según el orden). Los arácnidos no poseen alas, ni antenas ni mandíbulas. Son una de las plagas agrícolas más comunes a nivel mundial y afectan alrededor de 150 cultivos como tomate, pimiento, fresa, maíz, pepino, manzano, y soya. (Alzugaray, 2000) Los principales arácnidos que afectan a Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero son las arañas y los alacranes.
- b) **Insectos:** Son una clase de invertebrados, del filo de los artrópodos, tienen tres pares de patas, un par de antenas, y dos pares de alas. Se caracterizan por tener una gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales. (Foundation, 2022) En el territorio municipal los bosques se ven afectados por insectos barrenadores de brotes, descortezadores y pulgones; mientras que los cultivos agrícolas pueden presentar plagas por pulgones, mosca blanca, picudo rojo y gallina ciega.
- c) **Maleza:** son plantas que afectan a los cultivos, sistemas de riego, campos naturales, bosques, caminos y afectan directamente al sector económico. En el municipio la maleza se presenta generalmente en la vegetación secundaria, principalmente como muérdago.
- d) **Mamíferos:** pertenecen a la clase mammalia, son vertebrados, con pelaje, nacen del vientre y amamantan con glándulas mamarias. (IDEOMORFO, 2023) La principal problemática asociada a estos organismos es la transmisión de enfermedades y afectación de cultivos. Los mamíferos que suelen afectar el territorio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero son los roedores y perros callejeros, siendo los asentamientos humanos los principales afectados.

### 6.3.1.1 Medidas de control de las plagas

Los métodos de control de plagas consisten en realizar un control adecuado y relativamente eficaz de especies; implica el conocimiento de las zonas productoras, la identificación acertada de los insectos dañinos y beneficiosos presentes en el cultivo (así como de cada una de sus fases), la fisiología y el desarrollo de las plantas hospedantes, la distribución y dinámica de las poblaciones, las épocas críticas del daño y su relación con agentes externos (principalmente climáticos), etc. A partir de esta información se puede decidir el método o métodos de control más adecuados para reducir la presencia dañina.

El manejo y control de plagas que afectan los diferentes cultivos implica dos acciones indispensables: a) detectar cuándo existe una población que puede ocasionar un daño considerable en el cultivo (daño económico); y b) utilizar una estrategia de control efectiva que permita minimizar las pérdidas.

Los principales métodos de control son el cultural, el biológico y el químico.

**Control cultural:** no hay muchas acciones culturales que resulten efectivas en el manejo de los insectos.

**Control biológico:** se ha descrito una gran cantidad de enemigos naturales de las diferentes especies de plagas, desde parasitoides de huevos hasta depredadores de ninfas y adultos, pero su impacto en los ataques de las plagas no está bien definido.

**Control químico:** se pueden utilizar algunos insecticidas indicados para combatir estas plagas. A medida que el cultivo tiene más follaje, especialmente cuando se cierra el surco con hojas de las plantas de ambos lados, se limita la efectividad de las aplicaciones de los productos de contacto; esto empeora por el hecho de que las ninfas tienden a permanecer en el envés de las hojas.

Las plagas de suelo se controlan comúnmente con insecticidas granulados al suelo. Si hay presencia de estas, se puede usar Furadan granulado a razón de 20 kilogramos por hectárea. Los principales insectos que se presentan en los cultivos son los pulgones, los cuales se controlan, cuando su incidencia es alta, con Pirimor o Lannate, a razón de 0.3 y 0.2 kilogramos por hectárea, respectivamente.

Las enfermedades más comunes en los cultivos son roya de la hoja, roya del tallo y manchas foliares, las cuales se controlan principalmente por resistencia genética o con fungicidas de

contacto o preventivos a base de cobre, que son más económicos, como Manzate y Flonex (Mancozeb).

**Tabla 86.** Control químico de plagas.

Plaga	Tipo de control				Dosis/ha*
	Natural	Cultural	Biologico	Quimico	
Gallina ciega	-	-	-	Volatón 2.5 G Furadán 2.5 G	40–50 kg 20 kg
Gusano del alambre	-	-	-	Volatón 2.5 G Furadán 2.5 G	40–50 kg 20 kg
Pulgón del follaje	Lluvia	-	Catarinitas, avispidas	Pirimor Lannate 90 Diazinón 25	0.2 kg 0.3 kg 0.75 L
Pulgón ruso	Lluvia	Eliminar plantas infestadas en el invierno	Catarinitas, avispidas	Pirimor Lannate 90 Diazinón 25	0.2 kg 0.3 kg 0.75 L
Gusano soldado	-	-	Catarinitas	Acefato 75 Lannate 90 Foley	0.2 kg 0.3 kg 0.75 L

Fuente: Agenda técnica agrícola Hidalgo (Inifap, 2017).

MAPA ARST 06.6.1

### 6.3.2 Contaminación

Se denomina contaminación a la presencia de componentes nocivos (químicos, físicos o biológicos) en el medio ambiente (entorno natural y artificial), que supongan un perjuicio para los seres vivos que lo habitan, incluidos los seres humanos. Si bien la contaminación puede ser natural, normalmente está originada por la actividad humana (ej. emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero o la explotación desmedida de los recursos naturales).

Las fuentes antropogénicas que generan mayor contaminación ambiental son;

- Tala excesiva de árboles.

- Emisiones y vertidos industriales a la atmósfera e hidrósfera.
- Extracción, procesamiento y refinamiento de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural).
- Producción de energía con combustibles fósiles y otras fuentes no renovables.
- Uso excesivo de automóviles y otros medios de transporte impulsados por gasolina o diésel.
- Uso - liberación indiscriminada de plásticos, objetos no biodegradables y derivados del petróleo en espacios naturales.

La contaminación ambiental supone un riesgo para la salud de los seres vivos que habitan los ecosistemas contaminados, incluidos los seres humanos. La tala indiscriminada, la explotación excesiva de los recursos naturales y la emisión de contaminantes al medio ambiente provoca la destrucción de ecosistemas. Además, la emisión descontrolada de gases de efecto invernadero están cambiando el clima y alterando los ecosistemas impulsando su adaptación o extinción. De esta forma, muchos organismos ven cómo su hábitat natural se va reduciendo cada vez más, lo que incluso podría llegar a provocar su extinción.

### 6.3.2.1 Contaminación del agua

Las fuentes de contaminación antropogénica de los diferentes cuerpos de agua en el país, de acuerdo con las estadísticas del Medio Ambiente de INEGI-SEMARNAT son producto de las diversas industrias que operan a lo largo de toda la geografía de la República Mexicana; entre ellas, destacan las siguientes:

**Tabla 87.** Principales contaminantes del agua.

Fuentes de contaminación		
Descargas	Industria	Sustancia
Descargas industriales y residuales	Industria textil	Detergentes y cloros
Descargas municipales	Industria química y petroquímica	Fertilizantes
Rastros	Industria agrícola y azucarera	Hidrocarburos

## Industria minera

Estas fuentes no sólo han sido la causa de la contaminación de los cuerpos de agua, sino que también han provocado contaminación atmosférica, la cual repercute directamente sobre los ecosistemas y la salud humana.

En la cabecera municipal de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero los mayores focos de contaminación hídrica se concentran en los arroyos de Sayola, Agrícola Oriental, El Pedregal San José, El Charco, Unidades Habitacionales y Rinconada de las Aves. Estos cauces que atraviesan la zona urbana, son vulnerables a las descargas de agua residual que se hacen todos los días en el municipio, misma agua que no cuenta con un sistema de tratamiento adecuado para su manejo y control.

Cabe resaltar que en la actualidad, el municipio cuenta con volúmenes de agua suficientes para satisfacer las demandas de abastecimiento de todos los sectores; sin embargo, la calidad de sus recursos hídricos se deteriora gradualmente debido a la mala gestión de las descargas residuales limitando así su uso, al mismo tiempo que se incrementa el riesgo a la salud pública y ambiente.

La contaminación del agua también abarca los mantos acuíferos; sin embargo, no se cuenta con datos suficientes de análisis bacteriológicos de contaminantes químicos, ni de aguas residuales para el acuífero de Valle de Tulancingo, que abarca todo el territorio municipal.

Algunas de las consecuencias de consumir aguas contaminadas son las enfermedades gastrointestinales agudas (diarreas), además del incremento de enfermedades altamente infecciosas y letales. Por ejemplo, los desechos tóxicos de los productos químicos usados en la agricultura (fertilizantes y plaguicidas), aún en bajas concentraciones, pueden causar enfermedades como el cáncer.

Otras enfermedades asociadas al consumo de aguas contaminadas son:

**Disentería:** provocada por bacterias; causa diarrea. En adultos es rara vez mortal, pero en niños tiene alta mortalidad.

**Cólera:** es una infección bacteriana (*Vibrio cholerae*) aguda del intestino que provoca numerosos episodios de diarrea y vómitos intensos, lo que a su vez puede generar deshidratación aguda y provocar la muerte.

**Paludismo:** provocado por un parásito (Plasmodium) transmitido por la picadura de ciertos tipos de mosquitos (Anopheles) que habitan y se reproducen en zonas de aguas estancadas.

**Tifus:** enfermedad provocada por bacterias; causa fiebres, diarreas, vómitos e inflamación del bazo y el intestino.

**Tracoma:** infección de los ojos provocada por bacterias (Chlamydia trachomatis). La infección suele ocurrir por las deficientes prácticas higiénicas debido a la falta de agua o la existencia de condiciones insalubres. Los niños y las niñas son especialmente vulnerables a ella.

**Fiebre tifoidea:** es una infección bacteriana (Salmonella entérica) causada por la ingesta de agua contaminada. Los pacientes sufren dolor de cabeza, náuseas y pérdida de apetito.

Las Normas Oficiales Mexicanas que regulan la calidad del agua son:

**NOM-001-SEMARNAT-2021:** Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales. Es de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales en cualquier tipo de cuerpo receptor propiedad de la nación. Esta norma no aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes destinados exclusivamente para aguas pluviales ni a descargas que se vierten directamente a sistemas de drenaje y alcantarillado municipales.

**NOM-002-SEMARNAT-1996:** establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas. Es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales ni a las generadas por la industria que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

**NOM-003-SEMARNAT-1997:** establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población. Es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso. En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, estos serán responsables del cumplimiento de la presente norma, desde la

producción del agua tratada hasta su reúso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de esta.

MAPA ARST 06.7.1

MAPA ARST 06.7.2

MAPA ARST 06.7.3

### **6.3.2.2 Contaminación del agua subterránea**

La mala calidad del agua subterránea puede deberse a causas naturales o a la actividad humana, pero en general incumple con la normativa para consumo humano. A menudo, distinguir si la causa es natural o antrópica no es fácil, pues una actividad humana no contaminante (en general, los bombeos) altera un equilibrio y provoca el deterioro de la calidad del agua subterránea. Así mismo, los materiales del acuífero pueden tener contaminantes naturales (ej. arsénico, cobre).

Hay grandes diferencias entre la contaminación de las aguas superficiales y la de las aguas subterráneas, siendo esta última la más grave. Algunas de ellas son:

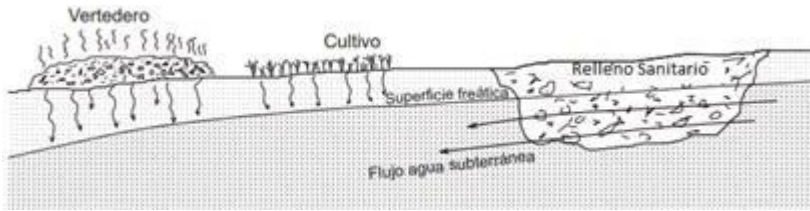
1) *Detección*: la contaminación de aguas superficiales puede ser evidente y las medidas de corrección pueden implementarse de manera inmediata. En las aguas subterráneas el problema a menudo se detecta cuando ya han transcurrido meses o años y ha generado afectaciones.

2) *Solución*. Las aguas de un río se renuevan con la rapidez de su flujo, de modo que, anulado el origen de la contaminación, en un lapso breve, la calidad del agua vuelve a la normalidad. En los acuíferos, como su flujo es lento y los volúmenes son grandes, se necesita mucho tiempo para que el agua que contiene se renueve varias veces, e incluso entonces el problema persiste por las sustancias que quedaron adsorbidas en el acuífero. La limpieza de las aguas subterráneas por medios artificiales es costosa y normalmente solo es aplicable en acuíferos superficiales no muy extensos.

Por otra parte, las aguas subterráneas no están directamente expuestas a los efectos de las actividades humanas desarrolladas normalmente en superficie, pero las sustancias contaminantes pueden llegar a los acuíferos de diversos modos como (Sánchez-San Román, 2022):

a. Infiltración de sustancias depositadas en superficie o de la lluvia.

b. Filtración de sustancias almacenadas bajo tierra o disolución de estas por el flujo natural del agua subterránea (Figura 31).



**Figura 31.** Se aprecia el caso de un relleno sanitario y un vertedero que filtran sustancias contaminantes al acuífero. Estos contaminantes pueden ser transportados por las aguas y/o acumulados y pueden afectar la salud de los cultivos o población.

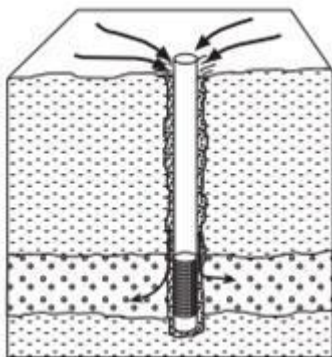
c. Filtración desde un río influente (Figura 32).



**Figura 32.** Un río puede acarrear contaminación que afecta la calidad del agua subterránea.

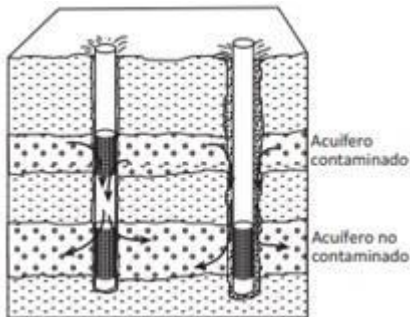
d. Derrames accidentales de depósitos o ductos, superficiales o enterrados.

e. Desde la superficie, a través de captaciones abandonadas o mal construidas (Figura 33).



**Figura 33.** La entrada de contaminantes desde la superficie a través de pozos y manantiales puede alterar la calidad del agua.

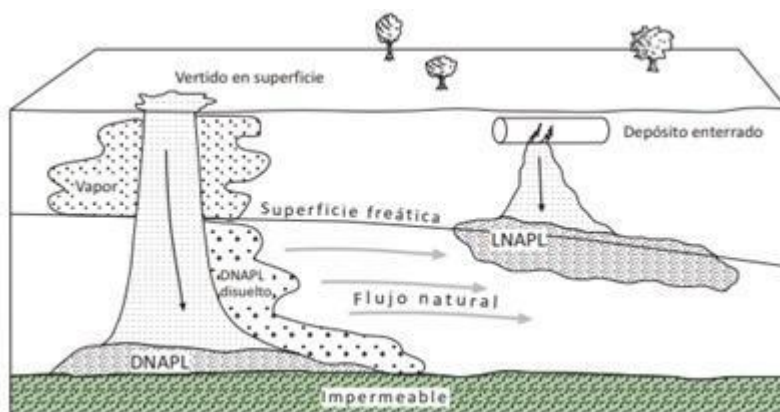
f. Desde otro acuífero, a través de captaciones que comuniquen ambos acuíferos. Aunque no se haya colocado rejilla en el acuífero contaminado, la comunicación puede producirse a través del empaque si existen gravas (Figura 34).



**Figura 34.** Un acuífero contaminado puede afectar a otro no contaminado al confluir sus aguas.

g. Inyección en pozos.

Las principales fuentes de contaminación de los acuíferos son los residuos sólidos urbanos, las aguas residuales, las actividades agrícolas, la ganadería y las actividades mineras e industriales. Mención especial merecen los derivados del petróleo (gas, gasolina, turbosina) que llegan a los acuíferos por infiltración de vertidos accidentales o roturas de ductos. Algunos de estos hidrocarburos son menos densos que el agua, por lo que se mantienen en la superficie del acuífero libre superficial y solo una parte se disuelve. Otros son más densos que el agua y acaban en la parte baja del acuífero, aunque una parte puede llegar a disolverse.



**Figura 35.** Contaminación por líquidos no acuosos más o menos densos que el agua

La reacción de los acuíferos a la contaminación que reciben puede ser efectiva al principio, pero no es indefinida y en muchas ocasiones es reversible; las sustancias precipitadas o

retenidas son después disueltas de nuevo o liberadas. Los procesos fisicoquímicos que pueden ocurrir son los siguientes (Fetter, 1999):

**Dilución:** la dilución del relativamente pequeño volumen de contaminante en el enorme volumen del acuífero generalmente no soluciona el problema. A escala local, las concentraciones seguirán siendo un problema.

**Filtración mecánica:** los materiales granulares finos pueden retener partículas en suspensión y microorganismos, mientras que en arenas gruesas, gravas o acuíferos fracturados, la filtración es casi inexistente. Además, la capacidad de cualquier filtro es limitada.

**Precipitación:** se pueden precipitar diversas sustancias según los cambios en el pH o el eh (oxidación-reducción) del medio. Al igual que la filtración, puede disminuir fuertemente la permeabilidad del medio.

**Procesos de oxidación-reducción:** en la zona no saturada del subsuelo, el agua no contaminada es oxidante, transformando compuestos de nitrógeno (N) en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) que pueden ser absorbidos por la plantas. Sin embargo, el excedente de nitratos pasa directamente al agua y contamina los acuíferos, donde al perder su carácter oxidante (si encuentra sustancias reductoras como materia orgánica), se reduce por reacción química produciendo desnitrificación con gases inocuos ( $\text{NO}_3^- \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$ ). Existe otra vía de reducción de los nitratos, que son los procesos bacterianos que producen nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ). La normativa admite hasta 50 mg/l de  $\text{NO}_3^-$  y solamente 0.1 miligramo por litro de  $\text{NO}_2^-$ .

Otra implicación importante de los procesos de oxidación-reducción en la calidad del agua subterránea es la reducción de sulfatos a sulfuros. El sulfato,  $\text{SO}_4$ , pasa a  $\text{SH}_2$  (o  $\text{SH}^- + \text{H}^+$ ). Este proceso confiere al agua un característico olor desagradable parecido al huevo podrido; no es muy común porque requiere unas condiciones más reductoras que los procesos anteriores de reducción de nitratos. En el caso de la reducción del sulfato,  $\text{SO}_4$  pasa a  $\text{SH}_2$ , el agua adquiere un olor que la hace no apta para el consumo.

**Adsorción:** diversas partículas quedan adsorbidas (adheridas electrostáticamente a las partículas del suelo), especialmente en las arcillas. En estas partículas puede producirse un intercambio iónico: otros iones o moléculas sustituyen a  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , que estaban previamente adsorbidos en las arcillas. La capacidad de retención por este concepto tiene un límite, de modo que, si la sustancia no se descompone, el terreno agotará su capacidad de

retención. En ocasiones es sólo una adsorción temporal, pero cuando supone un mayor tiempo de permanencia del contaminante, proporciona mayor plazo de actuación a otros procesos.

**Desintegración o descomposición:** los elementos radiactivos y algunos productos químicos, desaparecen con el paso del tiempo; en el caso de los pesticidas, se habla de desintegración radiactiva o de descomposición. En ambos casos, el factor crucial es la vida media (tiempo en el que la concentración de la sustancia se reduce a la mitad). Esto será efectivo en elementos cuya vida media sea corta en relación con el tiempo de tránsito del agua en el acuífero. La vida media de algunos pesticidas es de unos pocos días, mientras que la de ciertos elementos radiactivos es de miles de años.

En el municipio las zonas más susceptibles a sufrir contaminación en aguas subterráneas pertenecientes al acuífero Valle de Tulancingo, son el área urbana correspondiente a la cabecera municipal, así como las localidades de Las Lajas y Sangre de Cristo, debido al mal manejo de residuos sólidos urbanos y aguas residuales.



**Figura 36.** Relleno sanitario del municipio y aledaños, ubicado en la localidad de Las Lajas.

Las Normas Oficiales Mexicanas que buscan la protección de los acuíferos son:

**NOM-003-CNA-1996:** establece los requisitos que se deben cumplir durante la construcción de pozos de extracción de agua y durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y trabajos asociados, en ambos casos con objeto de evitar la contaminación de los acuíferos (DOF, 1997).

**NOM-004-Conagua-1996:** establece los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Su objetivo es proteger la calidad del agua en los acuíferos durante los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos, sea en forma temporal o definitiva (DOF, 1996).

MAPA ARST 06.7.4

### **6.3.2.3 Contaminación atmosférica**

La contaminación del aire es un problema ambiental que se ha agravado con el paso de los años y tiene múltiples causas, aunque la mayor es la actividad industrial global. Se trata de una contaminación debido a la alteración de los gases suspendidos en la atmósfera. Cada uno de los problemas que involucran a la atmósfera va dejando secuelas no sólo en el ambiente, sino también en todos sus habitantes, seres humanos, flora y fauna.

Las sustancias que contaminan la atmósfera se incrementan a partir de las fuentes de contaminación (ej. zonas industriales) lo cual representa un problema de gravedad, pues afecta la calidad de vida de todos los seres vivos y altera el equilibrio climático-meteorológico del planeta.

Una de las máximas fuentes de contaminación atmosférica es la industria eléctrica, que quema una gran cantidad de combustibles fósiles (ej. carbón) para proveer energía, generando partículas finas en suspensión, además de gases de efecto invernadero que han desencadenado el cambio climático actual. Otras fuentes contaminantes son el transporte, la industria manufacturera, la ganadería, etc., y han permitido que las concentraciones de dióxido de carbono superen las 418 partes por millón (27 de septiembre 2023), lo cual repercute directamente en el calentamiento global.

Lamentablemente, la mala calidad del aire continúa siendo una amenaza real para la porción sur del estado de Hidalgo y, en este caso, para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. Por primera vez en la historia, el 14 de mayo de 2019 se presentaron valores superiores a los 75  $\mu\text{g}$  por metro cúbico de material particulado (PM10), superando los límites establecidos por el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas para la Zona Metropolitana de Pachuca. Además, este material se presentó en condiciones de alta radiación y altas temperaturas.

Dado que los escasos vientos impidieron la dispersión de contaminantes, las estaciones de monitoreo instaladas en Pachuca registraron mala calidad del aire y el Comité Técnico de Contingencias Ambientales del Gobierno del Estado decretó Contingencia Ambiental Fase 1. Debido a la gran cantidad de incendios forestales que hubo en esos días, estos contaminantes se concentraron masivamente desde los municipios de Acaxochitlán, Atotonilco el Grande y Cuautepec, afectando directamente al Valle de Tulancingo y al municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Muchos residentes del Valle de Tulancingo y Santiago Tulantepec experimentaron algún síntoma relacionado con la contaminación del aire, como ojos llorosos, tos o ruido al respirar. Aún en las personas sanas, el aire contaminado produjo irritaciones o dificultades respiratorias durante el ejercicio o las actividades en espacios abiertos. El riesgo real depende directamente del estado de salud de la persona, el tipo y la concentración del contaminante y el tiempo de exposición al aire contaminado. Sin embargo, en general, durante el año, las condiciones atmosféricas de Santiago Tulantepec son óptimas para la dispersión de los contaminantes, debido a los vientos que se encuentran presentes en el municipio, por lo que se puede considerar que la calidad del aire es buena.

Esmog es el término general utilizado para describir una variedad de contaminantes del aire, incluido el ozono a nivel del suelo, la materia particulada, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. El término se refiere a la contaminación del aire que se forma cuando los gases provenientes de muchas fuentes se liberan al aire y reaccionan químicamente entre ellos a la luz solar.

El ozono que se encuentra a nivel del suelo ( $\text{O}_3$ ) es un contaminante incoloro e inodoro que se forma por una reacción química entre los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en presencia de luz solar. La fuente principal de COV y  $\text{NO}_x$  son las fuentes móviles, que incluyen automóviles, camiones y autobuses, equipo agrícola y equipo

para la construcción. En contraste, el ozono estratosférico de la capa más alta de nuestra atmósfera, mejor conocido como la capa de ozono, protege a la Tierra de los rayos ultravioletas dañinos del Sol.

**Materia particulada (PM):** es el término utilizado para una mezcla de partículas sólidas y líquidas que se encuentran en el aire. Proviene de una variedad de fuentes que incluyen automóviles, plantas de energía, actividades de la construcción, polvo del suelo, hollín y procedimientos industriales. Las partículas gruesas (PM10) generalmente son emitidas por fuentes como el polvo que el viento sopla, los vehículos que viajan por caminos no pavimentados y las operaciones de aplastado y trituración. A su vez, las partículas finas (PM 2.5) pueden provenir de la combustión de combustibles (automóviles, generación de energía, plantas industriales) y del polvo fugitivo; se forman principalmente en la atmósfera a partir de gases como los óxidos de azufre, NOx y COV.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro, subproducto de la combustión producida principalmente por los automóviles. La madera quemada y el carbón también emiten monóxido de carbono.

Las personas que son más propensas a sufrir problemas graves de salud debido a la contaminación del aire son:

- Personas con enfermedades cardíacas o pulmonares.
- Personas con problemas respiratorios como asma o enfisema.
- Mujeres embarazadas.
- Personas que trabajan al aire libre.
- Niños menores de 14 años cuyos pulmones todavía se están desarrollando.
- Personas adultas mayores cuyos sistemas inmunes son más débiles.
- Atletas que se ejercitan enérgicamente al aire libre.

Los altos niveles de contaminación del aire pueden causar problemas de salud inmediatos como:

- Agravar enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

- Producir estrés adicional para el corazón y los pulmones, que deben trabajar más para suministrar oxígeno al cuerpo.
- Dañar las células del sistema respiratorio.
- La exposición prolongada al aire contaminado puede tener efectos permanentes sobre la salud, tales como:
  - Envejecimiento acelerado de los pulmones.
  - Pérdida de capacidad y función pulmonar.
  - Desarrollo de enfermedades como asma, bronquitis, enfisema e incluso cáncer.
  - Acortamiento de la vida.

Las Normas Oficiales Mexicanas que regulan la calidad del aire son las siguientes:

**NOM-025-SSA1-2021** establece los valores límites permisibles de concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y los criterios para su evaluación, con la finalidad de proteger la salud de la población.

**NOM-020-SSA1-2021:** establece los valores límite permisibles de concentración de ozono (O3) en el aire ambiente para la protección de la salud humana, así como los criterios para su evaluación. Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y sirve como referencia para las autoridades federales y locales que tengan a su cargo la vigilancia y evaluación de la calidad del aire, con fines de protección de la salud de la población.

**NOM-022-SSA1-2019:** establece los valores límites permisibles de concentración de dióxido de azufre (SO2) en el aire ambiente como medida para la protección de la salud humana; así como los criterios para su evaluación.

**NOM-021-SSA1-2021:** establece los valores límites permisibles de concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida para la protección a la salud humana; así como los criterios para su evaluación.

**NOM-026-SSA1-2021:** establece el valor límite de plomo en el aire ambiente, como medida de protección a la salud humana; así como el criterio para su evaluación.

**NOM-098-SEMARNAT-2002:** establece las especificaciones de operación, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos.

MAPA ARST 06.7.5

MAPA ARST 06.7.6

MAPA ARST 06.7.7

MAPA ARST 06.7.8

MAPA ARST 06.7.9

### **6.3.3 Epidemias**

Una epidemia se produce cuando una enfermedad contagiosa se propaga rápidamente en una población determinada, afectando simultáneamente a un gran número de personas durante un periodo de tiempo concreto. Si el brote afecta a regiones geográficas extensas, por ejemplo, varios continentes, se cataloga como pandemia. Debido a la falta de datos concretos para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, se han retomado las enfermedades infecciosas más comunes en el estado de Hidalgo, según el Programa de Atención a Urgencias Epidemiológicas y Desastres 2017 (Subsecretaría de Salud Pública).

**Cólera:** es una infección intestinal aguda causada por la ingestión de *Vibrio cholerae*, una bacteria presente en aguas y alimentos contaminados por heces. Está relacionado principalmente con un acceso insuficiente al agua salubre y a un saneamiento adecuado; su impacto puede ser aún mayor en zonas donde las infraestructuras medioambientales básicas se encuentran dañadas o han sido destruidas. La preparación contra el cólera y su prevención requieren un enfoque multidisciplinario coordinado. Si no se trata, esta enfermedad puede producir rápidamente deshidratación grave y muerte.

**Salmonela:** la salmonelosis, causada por bacterias del género *Salmonella*, es una de las enfermedades de transmisión alimentaria más comunes y ampliamente extendidas. Se estima que afecta anualmente a decenas de millones de personas en todo el mundo y provoca más de

100 mil defunciones. La enfermedad dura entre 2 y 7 días. Los síntomas son relativamente leves y comienzan a manifestarse entre 6 y 72 horas (generalmente de 12 a 36 horas) después de la ingesta de la bacteria. Los pacientes se recuperan sin tratamiento específico, pero la deshidratación causada por la enfermedad puede ser grave y poner en peligro la vida.

**Rabia:** enfermedad muy contagiosa, aguda y mortal que afecta al sistema nervioso central. Es una zoonosis de los mamíferos causada por un virus (Lyssavirus) de la familia Rhabdoviridae, presente en los fluidos de personas o animales. Se transmite al hombre principalmente por la saliva de animales infectados (perros, gatos, murciélagos, zorrillos) a partir de una mordedura, rasguño o lamedura sobre mucosa o piel (Diario Oficial de la Federación, 2011).

**Disentería:** es producida por brotes de Escherichia coli, una bacteria frecuentemente presente en el intestino de los organismos de sangre caliente y que produce la toxina shiga. La mayoría de las cepas de esta bacteria son inocuas, pero algunas pueden causar graves intoxicaciones alimentarias. El principal origen de los brotes de Escherichia coli son los productos de carne cruda o poco cocinada, la leche cruda y las hortalizas contaminadas por materia fecal. Aunque en la mayoría de los casos remite espontáneamente, la enfermedad puede llegar a poner en peligro la vida, por ejemplo, cuando da lugar al síndrome hemolítico urémico, especialmente en niños pequeños y en ancianos (OMS, 2018).

**Hepatitis:** inflamación del hígado. La afección puede remitir espontáneamente o evolucionar hacia una fibrosis (cicatrización), una cirrosis o un cáncer de hígado. Los virus son la causa más frecuente de las hepatitis, que también pueden deberse a otras infecciones, sustancias tóxicas (como el alcohol o determinadas drogas) o enfermedades autoinmunitarias. La hepatitis A y la E son causadas generalmente por la ingestión de agua o alimentos contaminados. La mayoría de los habitantes de zonas del mundo en desarrollo con saneamiento deficiente se han infectado con este virus.

Los puntos de riesgo de salud pública son aquellos sitios donde los alimentos son expendidos por vendedores ambulantes o en establecimientos que no cumplen con las normas de sanidad en su totalidad. En el municipio Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero algunos puntos críticos son los puestos ambulantes que se instalan en los tianguis municipales.

Las Normas Oficiales Mexicanas que regulan la vigilancia epidemiológica son:

**NOM-251-SSA1-2009:** establece los requisitos mínimos de buenas prácticas de higiene que deben observarse en el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios y sus materias

primas a fin de evitar su contaminación. Es de observancia obligatoria para las personas físicas o morales que se dedican al proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios destinados a los consumidores en territorio nacional.

**NOM-017-SSA2-2012:** establece los criterios, especificaciones y directrices de operación del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica para la recolección sistemática, continua, oportuna y confiable de información relevante y necesaria sobre las condiciones de salud de la población y sus determinantes. Es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y su ejecución involucra a los sectores público, social y privado que integran el Sistema Nacional de Salud.

### **6.3.3.1 Enfermedad por coronavirus (Covid-19).**

El brote de la nueva enfermedad por coronavirus (COVID-19) ha afectado a casi 770 millones de personas en el mundo y ha causado cerca de 7 millones de muertes en más de 230 países, afectando bruscamente el desarrollo normal de las actividades económicas y sociales (OMS, 2023; Worldometers, 2023).

El 28 de febrero de 2020, el secretario general de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) hizo un llamado a todos los gobiernos a realizar todo lo que se encuentre a su alcance para controlar la pandemia del COVID-19. El 23 de marzo de 2020, el gobierno de México instaló la Jornada Nacional de Sana Distancia, con la finalidad de reducir la transmisión del SARS-CoV-2 y el 31 de marzo se hizo la declaratoria oficial de emergencia nacional por la pandemia. Esta emergencia sanitaria amenaza directamente los logros alcanzados por los sistemas de salud, además de afectar las metas del desarrollo social y económico (Zhou et al., 2020). En el contexto de los cambios ambientales globales, las características implícitas en la transmisión del COVID-19 aún no son suficientemente reconocidas (CDC, 2020). Adicionalmente, la aceleración de la urbanización, el incremento de la concentración de la población en áreas pequeñas, las complejas interacciones de las personas, así como una escasa cobertura en salud, sobre todo en los países en vías de desarrollo, dificultan la prevención y el control del Covid-19. Características como una alta infectividad y transmisividad, el largo periodo de incubación y la insuficiente detección del virus, combinadas con antecedentes como el flujo poblacional a gran escala, etc., hacen urgente el apoyo científico y tecnológico para controlar y prevenir la propagación de la pandemia. Para enfrentar la situación, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el manejo de bases de datos espaciales han jugado –y seguirá jugando– un papel muy importante para identificar la transmisión espacial del virus, la

prevención y el control de la enfermedad, la localización de recursos estratégicos y el establecimiento de estrategias para el distanciamiento social, entre otras cosas.

La Zona Metropolitana de Pachuca pertenece a la megalópolis de la Ciudad de México, una de las regiones más densamente pobladas del país (López-Rangel, 2010), y ha sido una de las regiones más afectadas por la pandemia dentro del estado de Hidalgo. El 18 de marzo de 2020, se registraron los primeros casos confirmados de Covid-19 en la capital hidalguense; se les consideró casos de importación porque las personas adquirieron el virus en países europeos. Sin embargo, tras la declaración de la fase 3 de la epidemia, la gran movilidad de población flotante hacia y desde el epicentro nacional de la epidemia (Ciudad de México) puede resultar en brotes regionales a través de contagio comunitario en los municipios conurbados y cercanos a la Zona Metropolitana de Pachuca. Además, la dinámica demográfica observada en la región centro de México muestra una tendencia al crecimiento. Hasta el 27 de septiembre de 2023, el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero reportaba 2014 casos positivos de Covid-19, 1772 negativos, 132 sospechosos y 103 defunciones.

MAPA ARST 06.8.2

### 6.3.4 Desertificación y erosión del suelo

Se entiende por desertificación a la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado de diversos factores, los cuales se pueden agrupar en las variaciones climáticas y las actividades humanas (INCD, 1994). El cambio climático, la baja humedad del suelo (aridificación), los patrones de precipitación cambiantes y la elevada evaporación se pueden considerar como factores naturales del cambio del uso de suelo y la desertificación. Entre las actividades humanas que aceleran el proceso, se encuentra la sobreexplotación del suelo por la actividad agrícola, el sobrepastoreo, la deforestación, el uso de sistemas de irrigación inadecuados, el manejo forestal inapropiado, las tendencias del mercado e incluso las dinámicas sociopolíticas en las cuales la pobreza puede funcionar como causa y consecuencia de la desertificación.

**Tabla 88.** Tipos de degradación de suelo presentes en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Tipo de degradación del suelo	Superficie (ha)	Causa	Grado
-------------------------------	-----------------	-------	-------

Degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica	1083.98	Actividades agrícolas	Ligero
Degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica	447.54	Actividades agrícolas / Deforestación y remoción de la vegetación	Moderado

**Fuente:** Conabio, 2004.

En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero la degradación del suelo se presenta como degradación química por declinación de la fertilidad y reducción de materia orgánica a raíz de dos diferentes causas: actividades agrícolas y deforestación/ remoción de la vegetación.

La degradación del suelo por causa de actividades agrícolas ocurre en grado ligero en una superficie de 1083.98 ha, en la porción norte en localidades Santiago Tulantepec, Emiliano Zapata, Sayola, San Miguel Huatengo, El Charco, Agrícola Oriental; mientras que la degradación del suelo con fines de deforestación y remoción de la vegetación ocurre en grado moderado en una superficie de 447.54 ha, dentro de la porción sur en zonas cercanas a las localidades de Los Romeros y Altepemila.

**Tabla 89.** Tipos de degradación de suelo presentes en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero por localidad.

Localidad	Tipo de degradación	Causas	Grado	Grado de marginación
-----------	---------------------	--------	-------	----------------------

Agrícola Oriental	Degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligera	Bajo
Altepemila	Sin datos			Alto
Colonia Felipe Ángeles	Sin datos			Alto
El Charco	Degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligera	Sin datos
El Pedregal de San José	Sin datos			Bajo
El Salado	Sin datos			Sin datos
Emiliano Zapata	Degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligera	Bajo
La Joya	Sin datos			Alto
La Joya 2da. Sección	Sin datos			Sin datos
Las Camelinas	Sin datos			Sin datos
Las Lajas	Sin datos			Medio
Los Romeros	Sin datos			Alto
Paxtepec	Sin datos			Alto

Rancho Colorado	Sin datos			Sin datos
Rancho el Mirador	Sin datos			Sin datos
Rinconada de las Aves	Sin datos			Sin datos
San Luis Buena Vista	Sin datos			Muy alto
San Miguel Huatengo	Degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligera	Alto
San Pedro Huatengo	Sin datos			Alto
Sangre de Cristo	Sin datos			Alto
Santiago Tulantepec	Degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligera	Bajo
Sayola	Degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica	Actividades agrícolas	Ligera	Alto
Tilhuacán	Sin datos			Alto
Ud. Magisterial San José	Sin datos			Sin datos

Unidades Habitacionales	Sin datos	Muy bajo
Ventoquipa	Sin datos	Bajo

Fuente: Conabio 2004

Las consecuencias de la desertificación y la pérdida de suelos son las siguientes:

**Afectaciones humanas:** tales como la insuficiencia alimentaria, ya que la pérdida de suelos provoca la infertilidad del mismo y que el rendimiento de los cultivos sea menor que en años anteriores. Esto, a su vez, tiene como consecuencia inmediata el aumento de la pobreza, el agravamiento de problemas de salud debido a las partículas transportadas por el viento (por ejemplo, infecciones oculares, enfermedades respiratorias y alergias) o por alimentación insuficiente, lo cual genera costos adicionales a los servicios de salud municipales.

**Afectaciones al ecosistema:** baja producción agrícola debido a la poca fertilidad del suelo, mayor salinización y erosión, reducción de la capacidad de resiliencia del suelo, incremento de las inundaciones en las partes bajas de las cuencas por la afectación del ciclo hidrológico, escasez de agua, desecación y sedimentación de cuerpos de agua y la alteración de los ciclos biológicos. Las acciones que pueden llevarse a cabo para mitigar los efectos de la desertificación son:

- Reforestar y regenerar las especies arbóreas.
- Mejorar la gestión del agua; en este caso, la cultura del cuidado del agua debe estar a cargo de las autoridades de la Comisión de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero (CAASST), mediante el ahorro, la reutilización de las aguas negras y grises, el almacenamiento del agua de lluvia, la desalinización o, en su caso, el tratamiento de las aguas residuales.
- Mantener el suelo mediante el uso de vallas para frenar el avance de las dunas y del polvo, crear barreras arbóreas como protección frente a la erosión eólica, etcétera.
- Enriquecer y fertilizar el suelo a través de la regeneración de la cubierta vegetal.

Las Normas Oficiales Mexicanas en materia del uso y cuidado del suelo son las siguientes:

**NOM-020-SEMARNAT-2001:** establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales en los que se realicen actividades de pastoreo, para coadyuvar en el restablecimiento, mantenimiento e incremento de los recursos naturales y la capacidad productiva de la biodiversidad de los ecosistemas.

### **6.3.5 Lluvia ácida**

El término de lluvia ácida se refiere principalmente al pH de la lluvia. El pH es un indicador que va de 0 a 14 e indica de qué tan ácida (0-6.9) o alcalina (7.1-14) es una solución. Teóricamente, la lluvia debería tener un pH neutro (7); sin embargo la absorción de gases en la atmósfera (ej. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) por parte de la lluvia permite que el agua adopte un pH menor. Cuando estos valores son iguales o menores a 5.6, entonces se considera como lluvia ácida.

Los ácidos sulfúrico y nítrico formados precipitan sobre construcciones, monumentos, vegetación, suelo y cuerpos de agua alterándolos. Los precursores de la lluvia ácida provienen tanto de fuentes naturales (incendios forestales, emisiones volcánicas y materia orgánica en descomposición), como de fuentes antropogénicas relacionadas con la agricultura y la quema de combustibles fósiles en la industria, la generación de energía y el sector de transporte.

Algunas afectaciones de la lluvia ácida se citan a continuación. El agua se puede ver afectada por el aumento de la acidez en los ríos y lagos, provocando perturbaciones importantes en el medio. El aumento de la acidez y de los niveles de aluminio pueden ser mortales para la vida acuática silvestre y mientras algunos organismos consiguen adaptarse a las nuevas condiciones para sobrevivir, otros no lo logran. Algunas especies de peces ven impedida su reproducción por el aumento de acidez, lo que provoca pérdidas en zonas pesqueras. Dentro del ciclo hidrológico, este fenómeno penetra las reservas de aguas subterráneas, aumentando los niveles de metales tóxicos. Actualmente, más de 18 mil lagos están acidificados, lo que ha generado daños en los ecosistemas.

El suelo también aumenta su acidez, lo que causa cambios en su composición, lixiviación de nutrientes para las plantas y filtración de metales tóxicos, tales como cadmio, níquel, manganeso, plomo y mercurio; esto último provoca la intoxicación de las especies. Algunas de las consecuencias se pueden percibir en la afectación en los ecosistemas boscosos; por ejemplo, el agua que cae al suelo puede disolver los minerales y nutrientes que los árboles necesitan para mantenerse sanos.

La acidificación de los cuerpos de agua tiene diversas consecuencias en los ecosistemas y, en particular, en las redes tróficas. Por ejemplo, se ha observado la disminución de las poblaciones de invertebrados acuáticos, así como del peso y talla de los peces. La lluvia ácida también daña la roca caliza de edificios y monumentos históricos.

En el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero hay un **riesgo bajo a moderado** para lluvia ácida, a pesar de su cercanía con la ciudad de Pachuca de Soto, la región industrial de Tula-Tepeji y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. La dirección preferencial de los vientos (norte-sur) dispersa los contaminantes concentrados en la atmósfera superior, manteniendo bajos niveles de CO<sub>2</sub> en el aire en la mayor parte del territorio municipal. De igual modo, la baja cantidad de días lluviosos al año en el municipio hace que el riesgo disminuya aún más. Si bien la contaminación atmosférica en el municipio se ha incrementado y hasta se han decretado alertas, esto ha ocurrido en la época de estiaje donde la humedad en la atmósfera es baja. Por lo tanto, aunque se presentan algunos ingredientes necesarios (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>), la falta de agua previene la formación de lluvia ácida.

#### **6.4 los riesgos socio-organizativos**

Los riesgos de este tipo de fenómenos se derivan de diversas actividades o manifestaciones del quehacer humano asociadas a procesos del desarrollo económico, político, social y cultural . De manera directa o indirecta, estos procesos se relacionan con el transporte aéreo o terrestre, con accidentes en el sector industrial no asociados a productos o sustancias químicas –pero que se presentan como un subproducto de energía de la población que, al interactuar en la realización de variadas actividades cotidianas, derivan en el comportamiento desordenado de concentraciones de la población– y con aquellas que concentran ciertas cantidades de población, como los sectores de educación y salud, entre otros (Implan, 2017).

Para el estudio se consideran únicamente:

- Problemas generados por concentraciones masivas de población.
- Interrupción o desperfecto en el suministro o en la operación de servicios públicos y sistemas vitales.
- Vialidades potencialmente conflictivas.
- Accidentes terrestres y aéreos.
- Actos de sabotaje y terrorismo.

En México, las acciones que se desarrollan en materia de protección civil para atender fenómenos socio-organizativos se diferencian de las diseñadas para mitigar y/o evitar la presencia de fenómenos naturales e industriales, pues dependen de manera directa de la condición política y el grado de conflicto del país.

Al margen del grado de conflicto que actualmente vive el país, deben adoptarse ciertas normas de seguridad ante la inminente presencia de estos eventos, dando un énfasis mayor al impacto social que representan las manifestaciones de la población para reclamar y/o exigir la solución a los problemas sociales o económicos que se viven con más frecuencia.

#### **6.4.1 Terrorismo**

El terrorismo abarca una serie de complejas amenazas como el terrorismo organizado en zonas de conflicto, combatientes terroristas extranjeros, “lobos solitarios” radicalizados y atentados con materiales químicos, biológicos, radiológicos, nucleares y explosivos (Interpol, 2019). Se ha reconocido el efecto destructivo del terrorismo sobre los derechos humanos y la seguridad en el más alto nivel de las Naciones Unidas, en especial el Consejo de Seguridad, la Asamblea General, la antigua Comisión de Derechos Humanos y el nuevo Consejo de Derechos Humanos. Concretamente, los Estados miembros han determinado que el terrorismo tiene diversas consecuencias, tales como (OHCHR, 2008):

- Amenaza la dignidad y la seguridad de los seres humanos en todas partes, pone en peligro o cobra vidas inocentes, crea un entorno que destruye el derecho de la población a vivir sin temor, pone en peligro los derechos y libertades fundamentales y tiene por objeto destruir los derechos humanos.
- Tiene un efecto negativo sobre el establecimiento de la ley, socava la sociedad civil plural, procura la destrucción de las bases democráticas de la sociedad y desestabiliza gobiernos legítimamente constituidos.
- Tiene vínculos con la delincuencia organizada internacional, el tráfico de drogas, el lavado de dinero y el tráfico de armas, así como con el transporte ilegal de material nuclear, químico o biológico; también está relacionado con la posterior comisión de delitos graves como asesinatos, extorsiones, secuestros, agresiones, tomas de rehenes y robos.

- Tiene un impacto negativo en el desarrollo económico y social de los Estados; pone en peligro las relaciones de amistad entre estos y tiene efectos perniciosos sobre sus relaciones de cooperación, incluida la cooperación para el desarrollo.
- Amenaza la integridad territorial y la seguridad de los Estados; constituye una violación grave de los propósitos y principios de las Naciones Unidas; es una amenaza a la paz y la seguridad internacionales y su represión es un elemento esencial para el mantenimiento de la paz y la seguridad.

Históricamente, México no ha sido un país con problemas de terrorismo. El Estado de Hidalgo es la quinta entidad en el país con menor índice delictivo, de acuerdo con el Índice de Paz México 2019 del Instituto para la Economía y la Paz. Por tal razón, el terrorismo se puede descartar como un problema endémico para el país y, consecuentemente, para el municipio de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

Sin embargo, en el presente trabajo se enmarcan las principales acciones de terrorismo y sus medidas de mitigación:

**Explosiones:** los terroristas han utilizado dispositivos explosivos como una de sus armas más comunes. Estos individuos no tienen que esforzarse demasiado para averiguar cómo se fabrican los dispositivos explosivos, pues la información puede conseguirse fácilmente en libros y otras fuentes (FEMA, 2004). Las medidas de protección contra una explosión son las siguientes:

- a. Si hay escombros cayendo alrededor, meterse debajo de una mesa o escritorio fuerte. Cuando dejen de caer, salir rápidamente y tener cuidado con los pisos y escaleras que se ven debilitados.
- b. Salir del edificio tan pronto como sea posible. No detenerse para recoger objetos personales ni realizar llamadas telefónicas.
- c. No usar los ascensores.
- d. No quedarse frente a ventanas, puertas de vidrio u otras áreas potencialmente peligrosas.
- e. Apartarse de las aceras o calles que usarán los cuerpos de emergencia y otras personas que siguen saliendo del edificio.

**Amenazas biológicas:** los agentes biológicos son organismos, virus o toxinas que pueden ser utilizados como armas para matar o incapacitar a la gente, el ganado y las cosechas. Muchos

se descomponen con rapidez cuando se exponen a la luz solar y otros factores ambientales, mientras que otros, como las esporas de ántrax, viven mucho tiempo.

Los agentes biológicos pueden dispersarse rociándolos en el aire, infectando a los animales que transmiten la enfermedad al hombre y contaminando los alimentos y el agua. Los métodos de dispersión son: aerosoles, animales, contaminación de alimentos y agua, de persona a persona (FEMA, 2004). La preparación para una amenaza biológica incluye verificar con un médico que todas las vacunas requeridas o recomendadas para una situación de este tipo se encuentren al día. Los niños y los adultos mayores son especialmente vulnerables a los agentes biológicos.

**Amenazas químicas:** los agentes químicos son vapores, aerosoles, líquidos o sólidos venenosos que tienen efectos tóxicos en la gente, los animales o las plantas. Pueden emitirse por medio de bombas, rociarse desde aeronaves, embarcaciones o vehículos, o utilizarse como un líquido para crear un riesgo para la gente y el medio ambiente. Algunos agentes químicos no tienen olor ni sabor y pueden tener un efecto inmediato o un efecto retardado (de 2 a 48 horas). Aunque son potencialmente dañinos, resulta difícil emitirlos en concentraciones letales. A la intemperie, los agentes químicos suelen dispersarse rápidamente. También es difícil producirlos (FEMA, 2004).

A continuación, se enlistan los lineamientos para prepararse para una amenaza química:

a. Revisar el equipo de suministros para desastre y asegurarse de que incluya;

- Un rollo de cinta adhesiva para tubos y tijeras.
- Plástico para colocar en las puertas, ventanas y salidas de ventilación de la habitación que se usará como refugio. Para ahorrar tiempo crucial durante una emergencia, es conveniente medir y cortar con anticipación el recubrimiento de plástico de cada abertura.

b. Seleccionar una habitación interior para refugiarse, de preferencia una que no tenga ventanas y se encuentre en el piso más alto.

**Explosiones nucleares:** ocurre por la liberación repentina de energía debido a una reacción nuclear. Ésta desprende luz y calor intensos, produce una onda de presión nociva y esparce material radiactivo que contamina el aire, el agua y la superficie terrestre en muchos kilómetros a la redonda. Todos los dispositivos nucleares producen efectos mortales cuando explotan,

incluyendo radiación nuclear inicial, radiación térmica, explosión e incendios debido a la onda de calor y la destrucción inicial (FEMA, 2004).

#### **6.4.2 Sabotaje e interrupción de servicios**

El sabotaje consiste en el daño o la destrucción intencional en un servicio, una instalación o un proceso industrial o municipal. Los servicios públicos de suministro (agua, electricidad y gas) desempeñan un papel esencial en el desarrollo económico y social. Su buena calidad es esencial para la erradicación efectiva de la pobreza (OIT, 2019).

Las causas de la interrupción de servicios públicos pueden ser:

**Naturales:** tormentas eléctricas, huracanes, terremotos o cualquier fenómeno natural involucrado en la interrupción o pérdida temporal de algún servicio de orden público.

**Sociales:** por demora en el pago del recibo de agua, electricidad u otro; por manipular los medidores, acometidas o conexiones; o por efectuar reparaciones, modificaciones o mejoras en estos sistemas. En el caso de redes de servicios como las líneas de transmisión y alta tensión o las tuberías de distribución de agua potable, el sabotaje también causa la interrupción del servicio.

Las consecuencias de la interrupción de servicios pueden ser:

- a. Incremento de actos delictivos por motivo de la ausencia de servicios públicos.
- b. Accidentes viales, en el caso de la falta del servicio de alumbrado público.
- c. Enfermedades o epidemias debido a conexiones irregulares y muy precarias de agua y energía eléctrica, entre otros servicios básicos. Por ejemplo, el consumo de agua no potable o la falta de saneamiento matan a más personas que cualquier tipo de violencia, incluida la guerra.

En el territorio municipal las principales problemáticas en cuestión de sabotaje corresponden al robo y distribución de combustible de los ductos de PEMEX, al robo de cobre en las líneas de transmisión y subestación eléctrica, a la toma de agua potable de las tuberías del municipio, e incluso al robo y asaltos tanto a transeúntes, como a comerciantes y a quienes acuden a realizar compras a los eventos importantes como lo es el día de plaza. Estas problemáticas hacen que se incrementen los problemas de inseguridad a nivel municipal.

En cuanto a la interrupción de servicios, se consideraron los de electricidad, agua, internet y comunicación. También se tomó en cuenta el cierre de carreteras importantes a causa del mantenimiento de la infraestructura. Al ser todos estos parte de los servicios básicos, entonces la interrupción puede afectar de forma general a todos los habitantes de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

El riesgo por exposición a explosiones o impacto por derrames a causa de sabotaje industrial a instalaciones nucleares es sumamente bajo, ya que hay una distancia aproximada de 207 km lineales entre Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero y la planta nuclear más cercana (Laguna Verde, Veracruz), además de relieve montañoso.

MAPA ARST 06.11.1

MAPA ARST 06.11.2

MAPA ARST 06.11.3

### 6.4.3 Accidentes carreteros

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero cuenta con carreteras de nivel federal y estatal. Una de las más importantes es la Carretera Federal México 130, en los límites municipales con Tulancingo. Por esta transitan miles de automovilistas de otros municipios y estados en todo tipo de unidades automotoras, incluidas aquellas que transportan sustancias peligrosas. Los principales accidentes, en orden de mayor a menor incidencia, son: salidas de camino, volcaduras, atropellamientos y choques por alcance.

Los accidentes automovilísticos se atribuyen en gran medida a la falta de precaución y a la ingesta de bebidas alcohólicas. Estos se registran a todas horas del día pero son más comunes por la tarde-noche, los fines de semana, días festivos y de quincena (Protección Civil, 2019).

**Tabla 90.** Lugares de alta incidencia de accidentes.

Punto crítico de alta incidencia de accidentes	Coordenadas		Localidad
	Latitud	Longitud	
Curva peligrosa	20° 1'16.81"	98°23'0.35"	Rancho el Mirador
Curva peligrosa	20° 0'47.99"	98°21'50.65"	Tilhuacán

Curva peligrosa	20° 0'53.76"	98°21'52.91"	Tilhuacán
Curva peligrosa	20° 0'52.53"	98°21'49.35"	Tilhuacán
Curva peligrosa	20° 2'30.51"	98°23'53.53"	San Pedro Huatengo
Crucero	20° 2'10.50"	98°20'36.99"	Ventoquipa
Curva peligrosa	20° 3'11.62"	98°26'24.97"	Paxtepec
Crucero	20° 3'42.98"	98°26'30.35"	Unidades Habitacionales
Crucero	20° 3'59.09"	98°25'34.52"	Unidades Habitacionales
Crucero	20° 3'50.64"	98°25'21.26"	Unidades Habitacionales
Carretera	20° 4'5.77"	98°24'42.06"	Unidades Habitacionales
Carretera	20° 3'54.47"	98°26'3.47"	Unidades Habitacionales
Crucero	20° 2'12.42"	98°21'22.28"	Santiago Tulantepec
Crucero	20° 2'15.06"	98°21'14.60"	Santiago Tulantepec
Crucero	20° 1'57.00"	98°21'14.20"	Santiago Tulantepec
Crucero	20° 2'2.87"	98°21'33.12"	Santiago Tulantepec
Crucero	20° 1'55.33"	98°21'32.53"	Santiago Tulantepec
Crucero	20° 2'18.82"	98°21'7.10"	Santiago Tulantepec

ARST-06.12.1

ARST-06.12.2

ARST-06.12.3

#### **6.4.4 Concentraciones masivas de población**

Los eventos religiosos, culturales, deportivos, artísticos y políticos pueden reunir a muchas personas y, al mismo tiempo, coincidir con otras situaciones que generen condiciones de riesgo en las diferentes localidades del municipio de Santiago Tulantepec de Guerrero.

De esta manera, en los riesgos antrópicos socio-organizativos, se analizan concentraciones en festividades anuales, ferias, montas, entre otras celebraciones que se realizan en las localidades de Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero.

**Tabla 91.** Principales celebraciones que dan lugar a concentraciones masivas de población.

Localidad	Fecha	Nombre	Breve descripción
Santiago Tulantepec	21 de julio al 25 de julio	Feria de Santiago Tulantepec	Fiesta religiosa
La Palma	8 de febrero	Fiesta en honor de la Virgen de Fátima	Fiesta religiosa
Ventoquipa	3 de mayo	Día del albañil	Fiesta tradicional
Paxtepec	12 de diciembre	La Villita de San José	Fiesta religiosa
Santiago Tulantepec	Primeros días de abril	Semana santa	Fiesta municipal
Santiago Tulantepec	25 de julio	La pamplonada	Fiesta tradicional
Santiago Tulantepec	15 de septiembre	Grito de independencia	Fiesta nacional
Santiago Tulantepec	16 de septiembre	Aniversario de la independencia de México	Fiesta nacional
Santiago Tulantepec	20 de noviembre	Aniversario de la revolución mexicana	Fiesta nacional
Santiago Tulantepec	Primeros días de diciembre	Encendido del árbol de navidad	Fiesta municipal

En caso de asistir a un evento de estas características, el Sistema Nacional de Protección Civil (SNPC) recomienda:

- a. Usar ropa cómoda. En caso de concentraciones al aire libre, llevar lo necesario para protegerse del calor, la lluvia o el frío.
- b. Usar calzado apropiado, generalmente cerrado. En los accidentes ocurridos durante concentraciones masivas de personas, el mayor número de heridas se produce en los pies.
- c. Si se asiste en grupo, acordar con los demás integrantes un punto de encuentro interno y otro externo del lugar del evento, a una distancia mayor a 200 m, por si se dispersan o extravían.
- d. En caso de tener menores a cargo, no separarse de ellos. Llevar en brazos o de la mano a los más pequeños.
- e. No portar objetos peligrosos como envases de vidrio, recipientes metálicos, bengalas u otros.
- f. No exhibir símbolos o emblemas que impliquen, por su significado, una incitación a la violencia.
- g. Al llegar al lugar del evento, averiguar la ubicación de las salidas de emergencia o las vías de evacuación previstas por la organización.
- h. Ubicarse en un lugar seguro. No permanecer sobre barandas u otros sitios peligrosos.
- i. No descuidar los objetos personales.
- j. Prestar atención a las indicaciones del personal de seguridad y de la organización.
- k. Una vez finalizado el evento, abandonar el lugar de forma ordenada siguiendo los itinerarios señalados. Dejar libres las puertas y evitar detenerse en las inmediaciones.
- l. En caso de una evacuación de emergencia, dirigirse con calma a la salida más próxima. Procurar no retroceder, empujar, correr ni gritar.

Todo ello puede provocar alarma y reacciones peligrosas. Atender las indicaciones de los Servicios de Emergencia, sin interferir en las tareas de socorro.

Al encontrarse en una zona segura, confirmar que los demás integrantes del grupo se encuentren bien. En caso contrario, informar sobre las personas que faltan, su descripción y el lugar donde fueron vistas por última vez.

## 6.5 Evaluación de la vulnerabilidad

El análisis geoespacial constituye una tarea compleja que involucra el uso intensivo de bases de datos geográficos de grandes extensiones de superficie (uso de suelo, red de carreteras, asentamientos humanos, topografía, clima), datos temporales (velocidad y patrones del viento, variación de la densidad de población, pobreza, marginación, etc.) que proceden de diversas fuentes (El Morjani et al., 2007; Biass et al., 2013).

Las principales limitaciones de la aplicación de la geoinformática son: (1) la alta demanda y el costo de los datos; (2) la necesidad de análisis multivariable/multiformato; (3) la necesidad de actualizaciones frecuentes de dichos datos; y (4) las dificultades de mapear las bases de datos y los parámetros relevantes para la evaluación de la vulnerabilidad social (Ebert et al., 2009). Por estas razones, en este estudio, el análisis SIG usará un conjunto de datos abiertos, de fácil acceso y gratuitos, que pueden ser combinados con datos más detallados y precisos de estar disponibles. La obtención de mapas se hará mediante herramientas de SIG, dada su capacidad para ingresar, administrar, manipular, analizar y procesar datos georreferenciados (Aronoff, 1989). Por tanto, el primer paso será la creación de una base de datos espaciales en SIG, donde se recopilarán datos temáticos relevantes. La realización y el alcance de esta base de datos dependerán directamente de la problemática del área de estudio y de las restricciones presupuestarias. A continuación, se describen los conjuntos de datos abiertos utilizados en este estudio:

**Caminos y localidades:** Los caminos se han de deducir de la base de datos de OneStreetMap (Open-StreetMap, 2010). Las localidades urbanas y rurales se encuentran ya georreferenciadas y proceden del Censo de Población y Vivienda 2020 (Inegi, 2020), cuyo shapefile tiene como uno de sus atributos el total de población por localidad, así como otros datos sociodemográficos relevantes.

**Software de Sistemas de Información Geográfica:** El SIG seleccionado para el análisis espacial es el sistema informático ArcView™ 10.4 desarrollado por ESRI® (con la extensión Spatial Analyst) debido a que su uso se encuentra ampliamente difundido.

**Modelos Digitales de Elevación:** Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) son una representación de la superficie que se constituye como un objeto ráster que combina información geoespacial con valores de elevación. Los MDE serán elaborados con el método

de triangulación de Delaunay (Legrá-Lobaina et al., 2014) mediante la herramienta Triangle Irregular Network (TIN), con la triangulación de un conjunto de vértices (puntos).

En este apartado se realizará un compendio de los elementos que representan el medio físico de la zona de estudio a partir de sus características naturales y atendiendo los siguientes tópicos:

**Elementos del medio físico:** (1) fisiografía, elementos formadores del entorno físico, provincias y subprovincias fisiográficas; (2) geomorfología, principales formas del relieve; (3) geología, litología (geología superficial), secciones geológicas, minas, rasgos estructurales; (4) edafología, descripción de los tipos de suelo, propiedades físicas y químicas; (5) hidrografía, patrones de drenaje, recursos hídricos superficiales y subterráneos, zonas de recarga; cuencas y subcuencas, datos vectoriales y de áreas de captación hídrica en el estado de Hidalgo y región geocultural; los escurrimientos emplearán la clasificación Horton-Strahler (Horton, 1945; Strahler, 1957); (6) elementos del clima, temperatura, humedad, presión, viento, etc.; fenómenos climatológicos regionales y locales que inciden en la zona; (7) uso de suelo y vegetación; y (8) áreas naturales protegidas (en caso de presentarse).

**Datos socioeconómicos:** La principal fuente de datos socioeconómicos es el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020). Se integrará una caracterización general de la situación demográfica, social y económica de la zona de estudio con indicadores básicos que revelen las condiciones generales del estado que guarda la región, municipio y/o ciudad, describiendo lo siguiente:

**(1) Dinámica demográfica:** análisis comparativo (valores absolutos y porcentajes) de la población de la entidad con respecto al municipio y una proyección a 2010-2030 (por municipio y por localidad según Conapo), así como la densidad y la distribución de la población (por localidad).

**(2) Características sociales:** de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, definir el porcentaje de analfabetismo, población de 14 años y más que asiste a la escuela y grado promedio de escolaridad; población con discapacidad (población con limitación en la actividad) por localidad y manzana, población que habla alguna lengua indígena y población que no habla español; acceso a la salud (población sin derechohabiencia, médicos por cada mil habitantes y tasa de mortalidad); índice de pobreza; hacinamiento (promedio de ocupantes por cuarto) por manzana; marginación por localidad y las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) en zonas urbanas.

**(3) Características de la vivienda:** tipología (se recomienda realizar la caracterización de la vivienda siguiendo la propuesta de la guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos del CENAPRED), pisos de tierra, servicios (agua, luz, drenaje), déficit de vivienda, empleo e ingresos, sectores de ocupación, porcentaje de ingresos de la población económicamente activa, razón de dependencia y tasa de desempleo abierto.

**(4) Equipamiento e infraestructura:** caracterizar centros de salud y educativos, zonas recreativas y/o de esparcimiento (plazas, centros comerciales, teatros, cines, auditorios, etc.); estación de bomberos, seguridad pública y militares; albergues, rutas de evacuación; presas, líneas de conducción de gas y combustible; plantas de tratamiento de aguas residuales; estaciones eléctricas; identificar reserva territorial y, si es parte de una zona metropolitana, mencionar las conurbaciones principales.

Algunos datos sociales y económicos deberán ser solicitados vía administrativa a dependencias de los municipios estudiados, así como del gobierno estatal. También se utilizarán encuestas a población y dinámicas de grupos focales usando instrumentos como cuestionarios, guías de entrevista o registro de observaciones para recopilar esta información.

### **6.5.1 Determinación del peligro**

Para identificar los fenómenos perturbadores que afectan al estado de Hidalgo, se debe recurrir a diferentes fuentes de información, tales como fuentes bibliográficas, hemerográficas y/o comunicación verbal. Esta etapa también incluye la búsqueda de referencias bibliográficas para desarrollar el trabajo técnico (libros, artículos científicos, tesis, revistas científicas, etc.), sobre temas relacionados a la geología, vulcanología, limnología y tectónica del estado de Hidalgo. Posteriormente, se realizarán consultas a archivos fotográficos, periodísticos, crónicas locales, así como entrevistas a pobladores o funcionarios municipales para recabar la mayor evidencia histórica relacionada con eventos catastróficos causados por una contingencia natural. La información histórica puede ser representada en mapas temáticos que las autoridades de Protección Civil pueden aprovechar para tener conocimiento de los sitios que son susceptibles de ser afectados por un fenómeno determinado; asimismo, es la base para estimar la frecuencia con que un fenómeno afecta una zona.

Se realizarán encuestas digitales a los gobiernos municipales y a Protección Civil para conocer el estatus de sus atlas de riesgo, sus avances en materia de prevención y planes de contingencia, y si estos están contemplados en sus planes de desarrollo municipal. Tomando como base los

antecedentes y conceptos fundamentales expresados en las secciones anteriores, el proyecto de investigación contempla nuevos análisis geológicos, espaciales y estadísticos de zonas no estudiadas previamente, para poder cumplir con los objetivos de trabajo trazados.

Se advierte que la base fundamental para un diagnóstico de riesgo adecuado es el conocimiento científico de los fenómenos perturbadores (peligros o amenazas) que afectan al territorio del estado de Hidalgo, además de una estimación de las posibles consecuencias de estos fenómenos, que dependerán de las características físicas de la infraestructura existente, así como de las características socioeconómicas de los asentamientos humanos. La metodología a emplear para la identificación de los riesgos es la propuesta por Guevara-Ortiz et al. (2006), que consiste en: (1) identificar los fenómenos naturales y antrópicos perturbadores que pueden afectar la zona de estudio; (2) determinar el peligro asociado a los fenómenos identificados; (3) identificar los sistemas expuestos y su vulnerabilidad; (4) evaluar los diferentes niveles de riesgo asociados a cada tipo de fenómeno, tanto natural como antropogénico; (4) integrar sistemáticamente la información sobre los fenómenos naturales y antropogénicos, peligro, vulnerabilidad y riesgo, considerando los recursos técnicos y humanos disponibles.

**Periodos de retorno.** Para poder determinar con precisión los periodos de retorno de fenómenos de origen geológico e hidrometeorológico (5, 10, 25 y 50 años), se recurrirá a un ajuste de funciones de probabilidad, logarítmica normal, exponencial, Gumbel y doble Gumbel.

**Metodología de Lógica Difusa.** La lógica difusa se aplica a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total. Conviene recalcar que lo difuso, borroso, impreciso o vago no es la lógica en sí, sino el objeto que se estudia. La lógica difusa permite tratar información imprecisa –como estatura media o temperatura baja– en términos de conjuntos difusos que se combinan entre sí para definir acciones. Esta herramienta proporciona una manera simple de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. La lógica difusa está basada en proposiciones que no cumplen con la ley de la media excluida de la lógica clásica; es decir, una proposición difusa no necesariamente es completamente falsa o completamente verdadera, sino que puede tener valores intermedios. El concepto clave para entender cómo trabaja la lógica difusa es el de conjuntos difusos, definidos como la agrupación de varios elementos que poseen una característica común, pero que, a diferencia de la lógica clásica, no exigen la pertenencia

absoluta de un elemento, sino que reconocen que no todos sus elementos poseen la característica en la misma magnitud.

Un elemento puede pertenecer simultáneamente a varios conjuntos en diferente proporción, siempre y cuando la suma de sus grados de pertenencia sea igual a la unidad. Para llevar a cabo este análisis, se identificaron los factores involucrados en la incidencia de algún peligro natural; para cada factor que tenga influencia directa o indirecta (factor condicionante o desencadenante) se elaborará una capa vectorial temática con información geográfica en formato ráster. Posteriormente, se le asignará un conjunto difuso a través de un SIG; una vez obtenidos los conjuntos difusos, se realizará la unión algebraica de estos para determinar zonas susceptibles a sufrir las consecuencias de un peligro natural. Para integrar la información en un SIG se definirán los conjuntos difusos para cada uno de los mapas temáticos utilizados en la zona de estudio. De esta manera, las capas temáticas se podrán reclasificar y se realizará su análisis de pertenencia.

### **6.5.2 Evaluación de la vulnerabilidad**

Las evaluaciones de vulnerabilidad generalmente se logran mediante: (1) la definición de “temas” de vulnerabilidad; (2) la definición de indicadores de peligro para cada tema; y, finalmente, (3) la ponderación de cada parámetro para compilar mapas finales de peligro global (Torrieri, 2002; Aceves-Quesada et al., 2007; El Morjani et al., 2007). Dado que la principal limitación de este estudio es la disponibilidad y la precisión de la gran variedad de datos requeridos para el análisis, se tuvieron que definir indicadores de vulnerabilidad basados en los conjuntos de datos gratuitos y globales descritos anteriormente. Consideramos cinco temas para la región de estudio: (1) vulnerabilidad social, (2) vulnerabilidad económica, (3) vulnerabilidad ambiental, (4) vulnerabilidad física y (5) vulnerabilidad territorial, que se describen en detalle en la siguiente sección. Los niveles de clasificación para cada indicador de vulnerabilidad fueron definidos a partir de los métodos de optimización de Jenks (1967). Cada tema de vulnerabilidad se clasificó en cinco clases (muy baja, baja, media, alta y muy alta), utilizando el método de optimización de Jenks (1967); este método persigue el doble propósito de obtener clases de gran homogeneidad interna, con máximas diferencias entre las clases para el número de intervalos que se haya especificado anteriormente.

**Vulnerabilidad social.** Los aspectos sociales de la vulnerabilidad fueron ignorados durante mucho tiempo, principalmente debido a la dificultad de cuantificar los indicadores requeridos para tal análisis (Cutter et al., 2003). Wisner et al. (2004) definen vulnerabilidad social como

las características de una persona o grupo y su situación que influyen su capacidad para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de un peligro natural. En el presente estudio, la evaluación de la vulnerabilidad social se basa en el indicador de población total por manzana del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020).

$$IVs = (R1 + 0.5) + (R2 + 0.25) + (R3 + 0.25)$$

Dónde:

IVs = Índice de vulnerabilidad social.

R1 = Índice de aspectos socioeconómicos.

R2 = Índice de capacidad de prevención y respuesta.

R3 = Índice de percepción del riesgo.

**Vulnerabilidad económica.** Los primeros estudios de vulnerabilidad tienden a combinar los aspectos económicos y ambientales, aunque posteriormente se hizo evidente que estos dos indicadores debían ser analizados por separado (Guillaumont, 2008); este autor define la vulnerabilidad económica como la susceptibilidad a daños causados por desastres naturales. Debido a la ausencia de datos económicos, en este estudio hemos asumido que la principal fuente de actividad económica es la agricultura.

**Vulnerabilidad ambiental.** Williams y Kapustka (2000) definen el concepto de vulnerabilidad ambiental como una estimación de la incapacidad de un ecosistema para tolerar el estrés en el tiempo y el espacio. A partir de esta definición tan generalista resulta difícil separar el concepto vulnerabilidad de un conjunto de indicadores (Villa y McLeod, 2002). Un caso especial es el de las erupciones volcánicas, que tienen el poder de alterar el medio ambiente en todas las escalas. Las áreas proximales quedan bajo la influencia directa de los flujos piroclásticos, lahares, flujos de lava y bombas volcánicas, todos ellos caracterizados por poseer un alto poder destructivo (Annen y Wagner, 2003). Las áreas distales (>10 km) se encuentran dominadas por acumulaciones de ceniza que tienen la capacidad de contaminar el agua e impactar a la vegetación (Inbar et al., 1995; Wilson et al., 2011a). Las emisiones de gases pueden ocasionar la formación de agujeros en la capa de ozono, lo que puede ocurrir a escala continental debido a las emisiones de halógenos (Millard et al., 2006), mientras que, a escala global, se pueden producir efectos climáticos debido a los aerosoles de ácido sulfúrico (Robock, 2000). La vulnerabilidad ambiental utiliza dos indicadores, que se centran principalmente en aspectos de

la vegetación: uno es el área cubierta por bosques intactos y los diferentes tipos de vegetación (Potapov et al., 2008) y el segundo es la superficie de áreas naturales protegidas (WDPA, 2019).

**Vulnerabilidad física.** La vulnerabilidad física describe la susceptibilidad de la infraestructura urbana (casas, edificios, carreteras, puentes, etc.) a ser dañada por un peligro natural (Ebert et al., 2009).

$$IVf = \frac{I1 + I2 + I3 + I4 + I5 + I6}{In}$$

Dónde:

IVf = Índice de vulnerabilidad física.

I1 = Valor de ubicación con respecto al fenómeno natural.

I2 = Valor de altitud.

I3 = Valor de material de construcción con techo flexible.

I4 = Valor de material de construcción de pared flexible.

I5 = Valor de piso de tierra.

I6 = Valor de agua entubada en la vivienda.

In = Número de indicadores

**Vulnerabilidad territorial.** El dominio de la vulnerabilidad territorial abarca el estudio de la infraestructura crítica, así como de su interconectividad dentro de un sistema (Hellström, 2007). Las infraestructuras críticas son definidas (1) por Moteff et al. (2003) como aquellas cuya interrupción de sus funciones por un tiempo prolongado podrían causar zozobra militar y económica significativa; y (2) por la Oficina Federal para la Seguridad de la Información alemana (BSI, 2004) como aquellas organizaciones o instalaciones de importancia clave para el interés público cuyo fracaso o deterioro podría dar lugar a una escasez de suministros perjudiciales, una perturbación sustancial del orden público o un impacto dramático similar (Hellström, 2007). El objetivo de tal evaluación no es sólo la determinación de la vulnerabilidad de todas las instalaciones críticas, sino también la evaluación de la vulnerabilidad que surge del hecho de que se encuentran interconectadas. Dado que cualquier peligro natural tiene la capacidad de interrumpir el funcionamiento de los sistemas interconectados (por ejemplo, la red de carreteras, líneas eléctricas), en este estudio se pretende hacer un primer intento de evaluar las posibles consecuencias de tal amenaza en un sistema a gran escala. Resulta

sumamente complejo realizar un análisis global de tales sistemas, ya que requeriría de una enorme cantidad de datos georreferenciados de manera precisa (Biass et al., 2013). En este estudio, se consideran (1) la red de carreteras, (2) la posición geográfica de los aeropuertos y (3) el número de instalaciones militares y hospitales promediados para cada unidad administrativa (en este caso, el municipio). La evaluación de vulnerabilidad territorial se basó en dos indicadores: el primero es el análisis del costo-distancia del número de zonas militares y hospitales por municipio y el segundo es el análisis costo-distancia del aeropuerto más cercano a través de la red de carreteras, incluyendo el efecto de la topografía. El mapa de costo-distancia es una herramienta GIS que permite cartografiar el acceso más eficiente entre dos puntos, donde el bajo costo representa un acceso más fácil. Para ello se creó un ráster de la red de carreteras, asignando un costo de viaje más alto a los caminos rurales (terracerías) que a las carreteras primarias y autopistas. A fin de poder restringir el modelo para calcular rutas de acceso a través de la red de carreteras, un recorrido muy alto fue asignado a cualquier terreno que no sea un camino. El proceso consiste en calcular la distancia del costo desde cualquier punto de la cuadrícula de cálculo para alcanzar los hospitales, zonas militares y aeropuertos más cercanos. El valor final muestra una aproximación del costo del viaje, donde un alto valor significa dificultad para viajar. Los municipios que comprenden centros urbanos importantes (Pachuca y Tulancingo) muestran los niveles más bajos de vulnerabilidad territorial; este resultado se debe a que existen discrepancias importantes entre la exactitud de los datos geográficos de las zonas urbanas frente a los de las zonas rurales. La vulnerabilidad territorial dependerá de la ubicuidad de las infraestructuras críticas y de la densidad de población en función de estas infraestructuras principales. El número de personas que dependen de estas infraestructuras críticas no se incluye, ya que esto puede aumentar de manera significativa los índices de vulnerabilidad en los principales centros urbanos (Biass et al., 2013).

Finalmente, para llegar a la comprensión geoespacial de los peligros naturales en la zona de estudio, se usará el análisis multivariable. No obstante, la selección, evaluación y asignación de pesos de las variables puede presentar un cierto nivel de subjetividad por parte de los expertos involucrados, puesto que deben realizar la ponderación simultánea de los factores para construir la matriz de comparación que requiere el análisis multivariable (Saaty, 1980). Sin embargo, este método puede resultar útil si se requieren evaluar todos los factores simultáneamente sin necesidad de realizar una serie de operaciones de sobreposición cartográfica digital, la modificación de los atributos de los valores por un valor constante, o

bien, una reclasificación final del mapa resultante del proceso de combinación de todas las capas de información, como es el caso del presente estudio.

## **Referencias:**

Aceves-Quesada, F., López-Blanco, J., & Pozzo, A. L. M. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del nevado de Toluca, centro de México. *Revista Mexicana De Ciencias Geologicas*, 23(2), 113-124. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1026-87742006000200001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742006000200001)

Aguilera, J., Ordóñez, E., 1895. Expedición científica al Popocatepetl: México, Oficina de la Secretaría de fomento, Comisión Geológica Mexicana, México, p 48.

Aguirre-Díaz, G.J., López-Martínez, M., 2009. “Geologic evolution of the Donguinyó-Huichapan caldera complex, central Mexican Volcanic Belt, Mexico”, en *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 179(1-2), pp. 133-148.

Alberro, J., y Hernández, R., 1990. “En el Subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su relación con la Ingeniería de cimentaciones a 5 años del sismo”, en Ovando, E. y González, F. (eds.), *Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, AC.*, Ciudad de México, pp. 95-108.

Alzugaray, R., & Ribeiro, A. D. E. L. A. (2000). Insectos en pasturas. Manejo de plagas en pasturas y cultivos. INIA. La Estanzuela. Serie Técnica, 112, 13-30.

American Academy of Family Physicians, (2019). <https://es.familydoctor.org/condicion/envenenamiento/>.

Annen, C., Wagner, J.J., 2003. "The impact of volcanic eruptions during the 1990s", en *Natural Hazards Review*, 4, pp. 169-175

Arce, J.L., 1999, Reinterpretación de la erupción pliniana que dio origen a la Pómez Toluca Superior, Volcán Nevado de Toluca: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 99 p.

Arellano-Gil, J., Velasco-de León, P., Silva-Pineda, A., Salvador-Flores, R., Beltrán-Romero, F., 2005. "Origen y características geológicas del paleo-lago de Amajac, Hidalgo", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(2), pp. 199-211

Ayala-Garay, A. V., Schwentesius-Rindermann, R., Preciado-Rangel, P., Almaguer-Vargas, G., Rivas-Valencia, P. (2013). Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(4), 381-395.

Berguería, S., Lorente, A., 1999. "Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo aragonés occidental", en *Geographicalia*, 37, pp. 17-36.

Biass, S., Frischknecht, C., Bonadonna, C., 2013. "A fast GIS-based risk assessment for tephra fallout: The example of Cotopaxi volcano, Ecuador!", en *Natural Hazards*, 65, pp. 497-521

Billings, R. F., Clarke, R. S., Espino Mendoza, V., Córdón-Cabrera, P., Meléndez Figueroa, J. R., Campos, J. R. & Baeza, G. (2004). Bark beetle outbreaks and fire: a devastating combination for Central America's pine forests. *Unasylva* 55:15-21.

Bitrán-Bitrán D. (2001). Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-1999, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F.

Bloofield, K. y Valastro, S. 1974 «Late Pleistocene Eruptive History of Nevado de Toluca Volcano, Central México», en *Geological Society of American Bulletin*, 85, pp. 901-906.

Bloofield, K., Sanchez, G. R. y Wilson, L. 1977 «Plinian eruptions of Nevado de Toluca volcano, México», en *Geologische Rundschau*, 66, pp. 120-146.

Bravo Lujano C. (2013) Reseña de la tormenta tropical "Fernand" del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional.  
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2013-Fernand.pdf>

Cadoux, A., Missenard, Y., Martínez-Serrano, R.G., Guillou, H., 2011. "Trenchward Plio-Quaternary volcanism migration in the Trans-Mexican Volcanic Belt: the case of the Sierra Nevada range", en *Geological Magazine*, v. 148, pp. 492-506.

Cantagrel, J. M., Robin, C., & Vincent, P. (1981). Les grandes étapes d'évolution d'un volcan andésitique composite: exemple du nevado de Toluca (Mexique). *Bulletin of Volcanology*, 44(2), 177-188. <https://doi.org/10.1007/bf02597703>

Capra, L., y Macías, J. L. 2000 «Pleistocene cohesive debris flows at Nevado de Toluca volcano, central México», en *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102(1-2), pp. 149-167

Cardona O.D (1996). Variables involucradas en el manejo de riesgos, *Revista Desastres y Sociedad*, v. 6(4).

Carrasco, G., 1985. Estudio geológico del Volcán Popocatepetl: México D.F., tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, p. 41

Casal, J., Montiel, H., Planas, E., Vílchez, J, 2009. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Edicions UPC-Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

Casas-Castillo, M.C., Alarcón-Jordán, M., 1999. Meteorología y clima, Ediciones Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, p. 155.

Castro-García, A., Córdoba-Méndez, D.A., 1994. Estratigrafía del área volcánica de Tulancingo, Hidalgo, México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pancromo 23, vol. 1(1), pp. 26-39.

Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2012) Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos. [Archivo PDF]. <http://www.atlalnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Methodologias/Hidrometeorologico.pdf>

Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2019) Inundaciones. [Archivo PDF]. [https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/Folleto\\_de\\_Inundaciones.pdf](https://pcivil.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2018/02/Folleto_de_Inundaciones.pdf)

Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2021). Identificación de peligros y riesgos a nivel municipal que permita contar con información básica para el desarrollo posterior de atlas municipales en todo el país. Sistema Nacional de Protección Civil. [https://www1.cenapred.unam.mx/DIR\\_INVESTIGACION/2021/1er\\_Trimestre/FRACCION\\_XLI/DSyPG/2020\\_Identificacion\\_de\\_Peligros\\_y\\_Riesgos\\_a\\_Nivel.pdf](https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_INVESTIGACION/2021/1er_Trimestre/FRACCION_XLI/DSyPG/2020_Identificacion_de_Peligros_y_Riesgos_a_Nivel.pdf)

Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2021). Sequías Serie de Fascículos. [Archivo PDF]. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/8-FASCCULOSEQUAS.PDF>

Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2021). Tormentas Severas Serie de Fascículos. [Archivo PDF]. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/189-FASCCULOTORMENTASSEVERAS.PDF>

Cervantes de la Cruz, K.E., 2001, La Pómez Blanca Intermedia; depósito producido por una erupción pliniana–subpliniana del Volcán Nevado de Toluca hace 12,100 años: Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, tesis de maestría, 86 p.

Chepil, W. S., Siddoway, F. H., Armbrust, D. V. 1962. Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields. *J Soil Water Conserv.* 17: 162-165 pp.

Chepil, W.S., Woddruff, N.P., 1963. The physics of wind erosion and its control: Advances in Agronomy, 15, pp. 211-302

Cibrián Tovar, S. García D., B. Don Juan M. (2008). Manual Identificación y manejo de plagas y enfermedades en viveros forestales. Pp 144-144, Comisión Nacional Forestal (Conafor), Zapopan, Jal., México, Disponible en <http://www.conafor.gob.mx/...0PLANTA%20SANIDAD.pdf>

CK-12 Foundation. (2022) (s. f.). CK-12 Foundation. <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-vida-grados-6-8-enespanol/section/9.16/primary/lesson/ar%C3%A1cnidos/>

Clínica Universidad de Navarra (CUN), (2019). Envenenamiento. Disponible en: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/envenenamiento>.

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios COFEPRIS (2020) LA COFEPRIS INFORMA SOBRE LA COMERCIALIZACIÓN ILEGAL DE ALCOHOL ETÍLICO (ETANOL) ADULTERADO CON ALCOHOL METILICO (METANOL) PARA CONSUMO HUMANO <https://www.gob.mx/cofepris/es/articulos/comunicado-a-la-poblacion?idiom=esFichasTecnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nspn0357.pdf>.

Comisión Nacional de Agua CONAGUA. (2023). Sistema de Información Climatológica CLICOM. <http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>

Comisión Nacional de Agua CONAGUA. (2023). Registro Público de Derechos de Agua REPDA. <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>

Comisión Nacional Forestal (2018). Incendio forestal: fuego descontrolado que destruye. <https://www.gob.mx/conafor/articulos/incendio-forestal-fuego-descontrolado-que-destruye#:~:text=Un%20incendio%20forestal%20ocurre%20cuando,agropecuarias%20no%20son%20incendios%20forestales>.

Comisión Nacional Forestal CONAFOR (2010). Guía práctica para comunicadores - Incendios Forestales. [Archivo PDF] <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

Comisión Nacional Forestal CONAFOR. (2021) Descortezadores, enemigos de los bosques templados. <https://www.gob.mx/conafor/articulos/descortezadores-enemigos-de-los-bosques-templados>

CONAGUA Comisión Nacional de Agua. (2017). La tormenta tropical Franklin tocó tierra a las 22:45 horas cerca del poblado de Pulticub, Quintana Roo. Ciudad de México, México: Servicio Meteorológico Nacional. <https://www.gob.mx/conagua/prensa/la-tormenta-tropical-franklin-toco-tierra-a-las-22-45-horas-cerca-del-poblado-de-pulticub-quintana-roo?idiom=es>

Coordinación Nacional de Protección Civil CNPC (2022). Fenómenos Hidrometeorológicos Tormentas Severas. [Archivo PDF].

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/719296/TEMA\\_3.\\_FENOMENOS\\_HIDROMETEOROLOGICOS.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/719296/TEMA_3._FENOMENOS_HIDROMETEOROLOGICOS.pdf)

Corominas, J., Moya, J., Masachs, I., Baeza, C., Hürlimann, M., 2004. "Identificación de episodios de reactivación en grandes deslizamientos pirenaicos mediante técnicas dendrocronológicas. VIII Reunión Nacional de Geomorfología", en Riesgos naturales y antrópicos en geomorfología, G. Benito y A. Díez-Herrero (eds), Sociedad Española de Geomorfología, pp. 403-411.

Cruden D.M., D.J. Varnes, 1996. "Landslides types and processes, in Turner, A. K. y R. L. Schuster (eds.), Landslides", en Investigation and Mitigation. Transportation Research Board. Special report 247, Natibnal Academy Press, Washington D.C., pp. 36-75

Cruden, D.M., 1991. "A simple definition of a landslide", en Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43, pp. 27-29.

De Cserna, Z. Fries, C., 1981, Hoja Taxco 14Q-h (7) con resumen de la geología de la hoja Taxco, Edos de Gro., México, y Mich.: Universidad Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas de México serie 1: 100,000, 1 mapa con texto, 47 p.

De Fina, A.L., Ravelo, A.C., 1979. Climatología y fenología agrícolas, tercera edición, Editorial Eudeba, Buenos Aires, p. 372.

De la Cruz, M.V., Castillo-Hernández, D., 1986. "Estudio geológico de la zona geotérmica de la caldera de Acoculco, Puebla", en Reporte interno, Comisión Federal de Electricidad-GPG 36/86, p. 23.

De Lira-Ramos K. V., Gónzalez-Gaon E. a, Cossio-Bayugar R., Pérez-Panduro A. y Miranda-Miranda E. 2023. Manual para el manejo de moscas sierra en bosques de coníferas en México. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), México. 80 p.

Delgado-Granados, H., Piedad, N., Cárdenas, L., 2001. "Sulfur dioxide emissions from Popocatepetl volcano (Mexico): Case study of a high-flux passively-degassing erupting volcano" en Journal of Volcanology and Geothermal Research, 108, pp. 107-120.

Demant, A., 1978. "Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación", en Revista del Instituto de Geología, 2, pp. 172-187

Diario Oficial de la Federación (DOF), (2011). NORMA Oficial Mexicana NOM-011-SSA2-2011, Para la prevención y control de la rabia humana y en los perros y gatos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2011, 08 de Diciembre).

Diario Oficial de la Federación (DOF), (2021). Ley General de Protección Civil (LGPC). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2021, 08 de Mayo).

Diario Oficial de la Federación (DOF), (2021). Ley General de Protección Civil. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2021, 20 de Mayo).

Diario Oficial de la Federación (DOF), (2022). Ley General de Cambio Climático (LGCC). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2022, 11 de Mayo).

Diario Oficial de la Federación (DOF), (2023). Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2023, 08 de Mayo).

Diario Oficial de la Federación (DOF), (2023). Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2023, 03 de Mayo).

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2013) ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales del acuífero Valle de Tulancingo, clave 1317, en el Estado de Hidalgo, Región Hidrológico Administrativa Golfo Norte, y se dan a conocer los estudios técnicos del mismo acuífero. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión (2013, 4 de noviembre)

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2015) ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del Acuífero Acaxochitlán, clave 1318, en el Estado de Hidalgo, Región Hidrológico-Administrativa Golfo Centro. Camara de diputados del H. Congreso de la Unión (2015, 6 de enero)

Dickerson-Lange, S.E., Gersonde, F., Hubbart, J.A., Link, T.E., Nolin, A.W., Perry, G.H., Roth, T.R., Wayand, N.E., Lundquist, J.D., 2017. "Snow disappearance timing is dominated by forest effects on snow accumulation in warm winter climates of the Pacific Northwest, United States", en *Hydrological Processes*, 31(1), pp. 1846-1862.

Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Departamento del Distrito Federal, 1992. Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua, cuarta edición, Secretaría General de Obras, México D.F.

Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DENU. (2019). <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/477>

Donato, P., Barba, L., De Rosa, R., Niceforo, G., Pastrana, A., Donato, S., Lanzafame, G., Mancini, L., Crisci, G.M., 2018. "Green, gray, and black: A comparative study of Sierra de las Navajas (Mexico) and Lipari (Italy) obsidians", en *Quaternary International*, 467, pp. 369-390.

Dufresne, A., Siebert, L., Bernard, B., Sparks, R.S.J., Takarada, J., Clavero, J., Belousov, A., Belousova, M., 2008. "Volcanic debris avalanche deposit database — a progress report", resumen P09, IAVCEI General Assembly, Reikiavik, Islandia

Ebert, A., Kerle, N., Stein, A., 2009. "Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air-and spaceborne imagery and GIS data", en *Natural Hazards*, 48(2), pp. 275-294.

El Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), (2017). Programa de Atención a Urgencias Epidemiológicas y Desastres, Hidalgo.

- Elorza, M. G. (2008). Geomorfología. Madrid, España: Pearson Madrid.
- Espinasa, R., 2014. Historia de la actividad del volcán Popocatepetl - 17 años de erupciones, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, [www.cenapred.gob.mx](http://www.cenapred.gob.mx) [Consultado el 23 de enero de 2020].
- Espíndola-Castro, J. M., 1996. "El vulcanismo", en Ciencias, pp. 131-132.
- FAO (1979), A provisional methodology for soil degradation assessment, Roma, Italia.
- FAO, 1980. A Provisional Methodology for Soil Degradation Assessment, Food and Agriculture, Naciones Unidas, Roma.
- Farrel, A.S., Squeira, B.C., ÓMeara, B.B. Normark, J.H., Chung, B.H., Jordal, 2001. "The evolution of agriculture in beetles (Curculionidae: Scolytinae adn Platypodinae)", en Evolution, 55, pp. 2011-2020
- Fetter, C. W., 1999. Contaminant Hydrogeology, segunda edición, reimpresión: 2008, Prentice-Hall, 500 pp..
- García, E. V., s.f. Toxicología clínica <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/fhtomo1/cap213.pdf>
- García-Cueto, O.R., Tejada, M.A., Jáuregui, E., 2010. "Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of Mexico: current trends and in climate change scenarios": International Journal of Biometeorology, 54(4), pp. 36-46.
- García-Cueto, R., Tejada-Martínez, A., Jáuregui-Ostos, E., 2008. Downscaling estadístico aplicado a las ondas de calor en una ciudad árida del noroeste de México y estimación del efecto del cambio climático global, Repositorio de la Agencia Estatal de Meteorología, España, pp. 531-541.
- García-Palomo, A., Macías, J.L., Tolson, G., Valdéz, G., Mora, J.C., 2002. "Volcanic stratigraphy and geologic evolution of the Apan region, east-central sector of the Trans-Mexican Volcanic Belt", en Geofísica Internacional, vol.41, pp. 133-150.
- García-Tenorio, F., 2002. Estratigrafía y petrografía del complejo volcánico Iztaccíhuatl tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México, p. 149.
- García-Tenorio, F., 2008, Avalancha de Escombros del Pleistoceno Tardío Del Cono Los Pies, Complejo Volcánico Iztaccíhuatl, tesis de maestría, Posgrado en Geología, ESIA- IPN, p 147.
- García-Tovar, G.P., and Martínez-Serrano, R.G., 2011. "Geología y geoquímica de las lavas pleistocénicas del estratovolcán Telapón, Sierra Nevada", en Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 28, pp. 301-322.
- García-Tovar, G.P., Martínez-Serrano, R.G., Solé, J., Correa-Tello, J.C., Núñez-Castillo, E.Y., Monroy Rodríguez, E., 2015. "Geología, Geocronología y geoquímica del vulcanismo

Plio-Cuaternario del Campo Volcánico Apan-Tecocomulco, Faja Volcánica Trans-Mexicana”, en Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 32(2), pp. 100-122.

Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, T., Ferrari, L., 2005. “Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana”, en Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, LVII (3), pp. 227-283.

González-Sprinberg, G., Rabin-Lema, C., 2011. Para entender las radiaciones. DIRAC, Facultad de Ciencias, [http://divnuclear.fisica.edu.uy/libro/ Para\\_entender\\_las\\_radiaciones.pdf](http://divnuclear.fisica.edu.uy/libro/Para_entender_las_radiaciones.pdf)

Grove, A.T., Rackham, O, 2001. The nature of Mediterranean Europe: an ecological history. Yale University Press, New Haven

Guevara, E., Quaas, R., Castelán, G., Ortiz, J., Vázquez, J., Morquecho, C., Alarcón, A., Martínez, A., Gómez, A., Espitia, G., Alonso, P., Cárdenas, L., 2003. “Instrumentación y monitoreo del volcán Popocatepetl”, en Informes técnicos, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, p. 102

Guevara-Ortíz, E., Quass-Weppen, R., Fernández-Villagómez, G., (2006). Lineamientos generales para la elaboración de Atlas de Riesgos, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F., 87p.

Guillaumont Patrick, 2008. "An Economic Vulnerability Index: Its Design and Use for International Development Policy," WIDER Working Paper Series RP2008-99, World Institute for Development Economic Research (UNU-WIDER).

Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y., 2005. “Impact of plant roots on the resistance of soil to erosion by water. A review”, en Progress in Physical Geography, 29(2), pp. 189-217.

Hauser, A., 1993, “Remociones en Masa en Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería”, en Boletín 45, Santiago de Chile.

Hellström, T., 2007. “Critical infrastructure and systemic vulnerability: towards a planning framework”, en Safety Science, 45(3), 415-430.

Heredia, U.N., 2016. Escuela de Química. Hoja de seguridad Sulfato de Sodio, <http://www.quimica.una.ac.cr/index.php/documentos-electronicos/category/13-hojas-de-seguridad?download=340:sulfato-de-sodio&start=240>

Hernández Uzón A. & Bravo Lujano C. (2007) Reseña de la tormenta tropical “Lorenzo” del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2007-Lorenzo.pdf>

Hernández Uzón A. & Bravo Lujano C. (2011) Reseña de la tormenta tropical “Arlene” del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2011-Arlene.pdf>

Hernández Uzón A. & Bravo Lujano C. (2011) Reseña de la tormenta tropical “Nate” del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional.  
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2011-Nate.pdf>

Hernández Uzón A. (2005) Reseña de la tormenta tropical “Bret” del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional.  
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2005-Bret.pdf>

Hernández Uzón A. (2007) Reseña de la tormenta tropical “Dean” del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional.  
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2007-Dean.pdf>

Hernández-Avelino, I., 2008. Caracterización geológica y petrológica de la estructura circular mezquital (Estado de Hidalgo) y su posible riesgo geológico, tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, México, p. 177.

Hernández-Vergara, R., 1988. Mapas y planos de México Siglos XVI al XIX. INEGI-INAH, Aguascalientes

Highland, L., Bobrowsky, P., 2008. “The Landslide Handbook – A guide to understanding landslides”, en Circular 1325, United States Geological Survey, p. 129

Huizar-Álvarez, R. (1999). Hidrogeología de la subcuenca de Apan-Tóchac, Estados de Hidalgo y Tlaxcala México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 16(2), p. 217-229.

Ibáñez, J.J., 28 de enero de 2019. Madrid Blogs, <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2019/01/28/149255>.

IDEOMORDO. (2023). PEST-CTRL. Obtenido de: <https://pest-ctrl.com/index.html>

Inbar, M., Oстера, H.A., Parica, C.A., Remesal, M.B., Salani, F.M., 1995. “Environmental assessment of 1991 Hudson volcano eruption ashfall effects on southern Patagonia region, Argentina”, en Environmental Geology, 25(2), 119-125

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI(2010). Compendio de información geográfica municipal 2010, Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.  
[http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/13/13056.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13056.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, 2017. Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo 2017. INEGI. 21 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. (2008) Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas.  
<https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/#Descargas>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. (2016). Anexo Catálogo de Tipos de Vegetación Natural e Inducida de México. SNIIEG. Recuperada el 17 de enero del 2023 de

[https://www.snieg.mx/Documentos/Normatividad/Vigente/cat\\_tem\\_gen\\_tipos\\_veg\\_oct2016.pdf](https://www.snieg.mx/Documentos/Normatividad/Vigente/cat_tem_gen_tipos_veg_oct2016.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. (2016). Catálogo de Tipos de Vegetación Natural e Inducida de México con fines estadísticos y geográficos. SNIEG. Recuperada el 17 de enero del 2023 de

[https://www.snieg.mx/Documentos/Geografico/sesiones/doc\\_12016/5\\_Catalogo\\_de\\_Tipos\\_de\\_VegetacionNatural\\_e\\_Inducida\\_de\\_Mex.pdf](https://www.snieg.mx/Documentos/Geografico/sesiones/doc_12016/5_Catalogo_de_Tipos_de_VegetacionNatural_e_Inducida_de_Mex.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI. (2021). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Retrieved 06 21, 2023, from:

[http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/usv/inegi/usv250s7gw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s7gw)

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP (2017). [Archivo PDF]

[https://vun.inifap.gob.mx/VUN\\_MEDIA/BibliotecaWeb/\\_media/\\_agendas/4131\\_4828\\_Agenda\\_T%C3%A9cnica\\_Hidalgo\\_2017.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_agendas/4131_4828_Agenda_T%C3%A9cnica_Hidalgo_2017.pdf)

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP (2023). Mapa de Estaciones. <https://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Estaciones/Mapa>

Instituto Nacional de Planeación IMPLAN. (2017). X. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS ANTROPOGÉNICOS. [Archivo

PDF][https://www.municipiochihuahua.gob.mx/transparenciaarchivos/1er%20Trimestre%202017/Art%2079%20fracc.%20VI/inciso%20A/PDU%202040%20\(2009\)/Atlas%20de%20Riesgos/Documento%20completo/X.%20Identificacion%20de%20Peligros%20Antropogenicos.pdf](https://www.municipiochihuahua.gob.mx/transparenciaarchivos/1er%20Trimestre%202017/Art%2079%20fracc.%20VI/inciso%20A/PDU%202040%20(2009)/Atlas%20de%20Riesgos/Documento%20completo/X.%20Identificacion%20de%20Peligros%20Antropogenicos.pdf)

Instituto Nacional del Cáncer NIH (2015). Sílice Cristalina.

<https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/silice-cristalina>

International Association of Drilling Contractors IADC. Accidente mayor.

<https://iadclexicon.org/accidente-mayor/>

IPCS, 2010. Fichas Internacionales de Seguridad Química. Hidróxido de Potasio

<https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/>

IUSS Working Group WRB (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

IUSS Working Group WRB (2022). World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

Krasilnikov, P., del Carmen Gutiérrez-Castorena, M., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E. (2013). The soils of Mexico. Springer Science & Business Media.

Labrada, R., & Parker, C. (1996). Capítulo 1. El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas. Labrada, R.

Lara García F. (2016) Tormenta Tropical “Danielle” del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional.

Ledezma-Guerrero, O., 1987. “Hoja Calpulalpan 14Q-h (3). Resumen de la geología de la hoja Calpulalpan, Estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo”, en Cartas Geológicas de México serie 1:50,000, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 1 mapa con texto.

Lighthart, A., 2004. “The Pachuca obsidian source, Hidalgo, Mexico: A Geoarchaeological perspective”: *Geoarchaeology: An International Journey*, 19, pp. 71-91.

López, J. S. (2010). Geología regional y petrogénesis del vulcanismo silícico de la región circundante al municipio de Tulancingo, Hidalgo., (pág. 99). México, D.F. Recuperado el 26 de junio de 2023.

López-Hernández A., Aguirre-Díaz G. y López-Martínez M., 2000. Evolución volcánica de la caldera de Acoculco, Puebla, sector oriental del Cinturón Volcánico Mexicano. Simposio Regional Sobre el Centro de México. Segunda Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra 2000. Geos, Boletín de la Unión Geofísica Mexicana, A. C., vol. 20, No. 3. Época II. 309 pp.

López-Hernández, A., 2009. Evolución volcánica del Complejo Tulancingo-Acoculco y su sistema hidrotermal, estados de Hidalgo y Puebla, México, Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 170.

López-Pizaña, J., F, 2012. Estudio vulcanológico de los depósitos de flujos de Bloques y Cenizas “San Francisco” y “Chicoloapan” del sector Sur-Oeste del Complejo Volcánico Tláloc-Telapón, tesis de licenciatura, IPN-ESIA, Ticomán.

Lyles, L., 1977. “Wind erosion: Processes and Effect on Soil productivity”, en *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 20 (5), pp. 880-884.

Macías, J. L., García-Palomo, A., Arce, J. L., Siebe, C., Espíndola, J. M., Komorowski, J. C. y Scott, K. 1997 «Late Pleistocene-Holocene cataclysmic eruptions at Nevado de Toluca and Jocotitlan volcanoes, Central México», en *Proterozoic to recent stratigraphy, tectonics, and volcanology, Utah, Nevada, southern Idaho and Central México* (Link, K. P. y Kowallis, B. J., coord.), *Geology Studies*, Brigham Young University, 42 (1), pp. 493-528.

Macías, J., 2005. “Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México”, en *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario*, 57(3), pp. 379-424.

Martínez R., L. M., Ramírez R., J. M. (Julio de 1998). Unidades fisiográficas de la reserva de la biosfera Sierra de Manantlán bajo un sistema de información geográfica. *Terra Latinoamericana*, 16(3), 195-203.

- Medrano, M., & Avendaño García, A. (2013). Climatología de tornados en México. *Investigaciones Geográficas*, (83). <https://doi.org/10.14350/rig.35726>
- Milán, M., Yáñez, C., Navarro, I., Verma, S.P., Carrasco-Núñez, G., 1993. “Geología y geoquímica de elementos mayores de la caldera de Huichapan, Hidalgo, México”, en *Geofísica Internacional*, vol. 32(2), pp. 261-276.
- Millard, G.A., Mather, T.A., Pyle, D.M., Rose, W.I., Thornton, B., 2006. “Halogen emissions from a small volcanic eruption: modeling the peak concentrations, dispersion, and volcanically induced ozone loss in the stratosphere”, en *Geophysical Research Letters*, 33, pp. 33-34.
- Montiel López J.M. (2017) Huracán “Katia” del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional.
- Mooser, F. 1957. Los ciclos de Vulcanismo que formaron la Cuenca de México. 20th International Geological Congress, Section 1.
- Moteff, J., Copeland, C., Fischer, J., 2003. “Critical infrastructures: what makes an infrastructure critical?”, en Report for Congress RL31556, Congressional Research Service, Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos, Washington, D.C. [Acceso el 19 de Abril de 2019.]
- Muñoz-Salinas, E. (2007). Los lahares del Popocatepetl: obtención y tratamiento de la información para la prevención de riesgos. [Tesis de doctorado]. Universidad Complutense de Madrid
- National Geographic Society. Cartographic Division (1998) Natural hazards of North America (mapa). National Geographic Society
- National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA. (2023). Huracanes Preguntas frecuentes. <https://www.aoml.noaa.gov/es/hrd-faq/>
- Nelson, S.A., Lighthart, A., 1997. “Field excursion to the Sierra Las Navajas, Hidalgo, México, a Pleistocene peralkaline rhyolite complex with a large debris avalanche deposit”, en *Guía de las excursiones geológicas, mayo-junio de 1997: II Convención sobre la Evolución Geológica de México y Recursos Asociados*, Pachuca, Hgo., Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra de la UAEH e Instituto de Geología de la UNAM Pachuca, Hgo. excursión 4, 84-86.
- Newton, A.J., Metcalfe, S.E., 1999, Tephrochronology of the Toluca Basin, Central Mexico: *Quaternary Sciences Reviews*, 18, 1039-1059
- Nixon, G.T., 1989. “The geology of Iztaccíhuatl volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of Mexico”, en *Special Paper 219, Geological Society of America* p. 58.
- Núñez-Cornú, F. J., Ortíz, M., Sánchez, J.J., Suárez-Plascencia, C., 2008. “El terremoto de San Sixto y el grantsunami de 1787 en la costa sur de México”, en *Memorias de la Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, GEOS*, 28 (2), pp. 204-205.

Okal, E.A., Borrero, J.C., 2011. “The ‘tsunami earthquake’ of 22 June 1932 in Manzanillo, Mexico: seismological study and tsunami simulations”, en *Geophysical Journal International*, 187, pp. 1443-1459.

Ordaz M. (1996). Algunos conceptos del análisis de riesgos, *Revista Prevención*, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F.

Organización Meteorológica Mundial OMM. (1993). *Vocabulario Meteorológico*. Organización Meteorológica Mundial.

Organización Mundial de la Salud (2018). E. coli. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>

Ortiz, R. (Ed.). (1996). *Riesgo volcánico*. Servicio de Publicaciones, Excmo. Cabildo de Lanzarote.

Ortiz-Hernández, L. E., Guerrero, S. B., & Avelino, I. H. (2008). Petrología y geoquímica del intrusivo y domo resurgente de la Caldera Panales: su importancia en el estado de Hidalgo. *Actas INAGEQ*, 18(1), 39-42

Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, (2023). *Ley Orgánica Municipal del Estado de Hidalgo*. H. Congreso Constitucional del Estado Libre y Soberano de Hidalgo. (2023, 15 de Junio).

Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, (2001). *Ley de Protección Civil para el Estado de Hidalgo*. H. Congreso Constitucional del Estado Libre y Soberano de Hidalgo. (2001, 17 de Septiembre ).

Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, (2020). *Plan Municipal de Desarrollo (2020-2024)*. H. Congreso Constitucional del Estado Libre y Soberano de Hidalgo.

Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, (2021). *Ley Orgánica de la Administración Pública para el Estado de Hidalgo*. H. Congreso Constitucional del Estado Libre y Soberano de Hidalgo.(2021, 27 de Diciembre).

Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, (2023). *Ley de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático para el Estado de Hidalgo*. H. Congreso Constitucional del Estado Libre y Soberano de Hidalgo.(2023, 12 de Junio ).

Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, (2023). *Ley Orgánica Municipal del Estado de Hidalgo*. H. Congreso Constitucional del Estado Libre y Soberano de Hidalgo. (2023, 15 de Junio).

Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, (2023). *Ley para la Protección del Ambiente del Estado de Hidalgo*. H. Congreso Constitucional del Estado Libre y Soberano de Hidalgo.(2023, 30 de Junio ).

Periódico Oficial del Estado de Hidalgo, (2023). *Plan Estatal de Desarrollo 2022-2028*. H. Congreso Constitucional del Estado Libre y Soberano de Hidalgo. (2023, 01 de Enero).

Potapov, P., Yaroshenko, A., Turubanova, S., Dubinin, M., Laestadius, L., Thies, C., Aksenov, D., Egorov, A., Yesipova, Y., Glushkov, I., Karpachevskiy, M., Kostikova, A., Manisha, A., Tsybikova, E., Zhuravleva, I., 2008. "Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing", en *Ecology and Society*, 13(2), p. 51

Program de Naciones Unidas para el medio Ambiente PNUMA. (2016). Radiación Efectos y Fuentes. [Archivo PDF]. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/-Radiation\\_Effects\\_and\\_sources-2016Radiation\\_-\\_Effects\\_and\\_Sources\\_SP.pdg.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/-Radiation_Effects_and_sources-2016Radiation_-_Effects_and_Sources_SP.pdg.pdf?sequence=7&isAllowed=y)

Robin, C., 1984. "Le Volcan Popocatepetl (Mexique): structure, evolution pétrologiquemet risques" en *Bulletin volcanologique*, 47 (1), pp. 1-23

Robinson, P.J., 2001. "On the definition of a Heat Wave", en *Journal of Applied Meteorology*, 40, pp. 762-775.

Robock, A., 2000. "Volcanic eruptions and climate", en *Reviews of Geophysics*, 38(2), pp. 191-219

Rubiano, D. y Ramírez, F., 2009. Incorporando la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión territorial. Guía técnica para la interpretación y aplicación del análisis de amenazas y riesgos. San Isidro-Perú: Predecán, Secretaría General de la Comunidad Andina.

Rueda, H., Arce, J.L., Macías, J.L., García-Palomo, A., 2006. "~31 ka Plinian subplinian eruption at Tlaloc Volcano, Sierra Nevada, México", en *Fall Meeting Supplement, Abstract, Eos Transactions, American Geophysical Union*, V33B-0668, v. 87 (52).

Saaty, T. H., 1980. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting*, McGraw-Hill, New York.

Sabat, J., 1982. "Common and uncommon selectivity in the process of fluid transportation: field observations and laboratory experiments on bare surfaces", en *Catena Supplement*, 1, pp. 139-610.

Sala, M., Rubio, J.L., García-Ruiz, J.M., 1991. *Soil erosion studies in Spain*. Geoforma Ediciones, Logroño, España

Salvador-Flores, R., 2001. Origen, sedimentología y estratigrafía del paleolago de Amajac, Hidalgo, tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 94

Sánchez-Rojas, E., Osorio-Pérez, M., 2008. "Geología y petrogénesis de los Prismas Basálticos, Santa María Regla, Hgo" en *GeoCiencia, Revista del Servicio Geológico Mexicano*, 3, pp. 5-24

Sánchez-San Román, Javier. (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Departamento de Geología Universidad de Salamanca

Secretaría de Marina SEMAR. (2022). Centro de Alerta de Tsunami. Historia de los Tsunamis en México. <https://digaohm.semar.gob.mx/cat/Historia.html>

Secretaría de Marina SEMAR. (2023). Centro de Alerta de Tsunami ¿Qué hacer en caso de un tsunami? <https://digaohm.semar.gob.mx/cat/Tsunami.html>

Secretaría de Salud “Número de decesos por alcance de rayos en México durante 1985 al 2006”. Sistema Nacional de Información de la Salud. Archivo interno, 2007

Selby. M. J., 1993. Hillslope materials and processes, Oxford University Press, Oxford

SEMAR Secretaria de Marina. (2014) Tormenta Tropical “Dolly. SEMAR Secretaria de Marina. <https://meteorologia.semar.gob.mx/ciclones/dolly.pdf>

SEMARNAT. (2008). CAPÍTULO 3. SUELOS. 03/08/2022, de SEMARNAT Disponible en: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_2008/03\\_suelos/cap3\\_1.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/03_suelos/cap3_1.html)

Servicio Geológico Mexicano SGM, 2007. Carta Geológico-Minera Pachuca F14-D8, 1:50,000, SGM, Pachuca, Hidalgo

Servicio Geológico Mexicano SGM. (22 de marzo de 2017). Vulcanismo. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Vulcanismo.html>

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria SENASA. (2015) Barrenador del brote (Epinotia aporema). <http://www.senasa.gob.ar/senasa-comunica/noticias/barrenador-del-brote-epinotia-aporema>

Servicio Sismológico Nacional. (2023) Mapas de Intensidades. <http://www2.ssn.unam.mx:8080/mapas-de-intensidades/>

Sheridan, M., Hubbard, B., Bursik, M., Abrams, M., Siebe, C., Macías, J., Delgado, H., 2001. Gauging short-term volcanic hazards at Popocatepetl: EOS, Transactions American Geophysical Union, 82(16), pp. 185-189.

Siebe, C., Macías, J.L., Abrams, M., Rodríguez, S., Castro, R., Delgado, H., 1995. “Quaternary explosive volcanism and pyroclastic deposits in east central Mexico: Implications for future hazards”, en Field Trip Guide Book #1, Geological Society of America Annual Meeting 1995, Nueva Orleans, Luisiana, , pp. 1-48.

Solana-López, J., 2010. Geología regional y petrogénesis del vulcanismo silíceo de la región circundante a la región de Tulancingo, estado de Hidalgo, tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 108

Stephen, N., Alyson, L., 1997. “Field excursion to the Sierra Las Navajas, Mexico a Pleistocene peralkaline rhyolite with debris avalanche deposit”, en Libro guía de las excursiones geológicas, II Convención sobre la evolución geológica de México.

Terzaghi. K., 1950. Mechanisms of landslides: Geological Society of America, Berkeley Volume, pp. 83-123.

Trejo Vázquez R. (2021) Huracán “Grace” del Océano Atlántico. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2021-Grace.pdf>

Unamuno Gandiaga, A. (2001): Determinación de vertidos líquidos a partir de modelos digitales del terreno. Trabajo fin de carrera de Ingeniería en Geodesia y Cartografía. Escuela Politécnica. Universidad de Alcalá (inédito).

Universidad de Nebraska-Lincoln.(2023). North American Drought Monitor (NADM). <https://droughtmonitor.unl.edu/nadm/Home.aspx#:~:text=The%20NADM%20is%20a%20cooperative,the%20North%20American%20Drought%20Monitor.>

Valadez-Cabrera, S., 2012. “Caracterización petrológica del campo volcánico, Xihuingo-La Paila, Estado de Hidalgo”: tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 139

Valadez-Cabrera, S., 2012. “Caracterización petrológica del campo volcánico, Xihuingo-La Paila, Estado de Hidalgo”: tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, p. 139.

Van Schoonhoven, A., L. A. Gómez y A. Avalos. 1978. The influence of leafhopper (*Empoasca kraemeri*) attack during various bean (*Phaseolus vulgaris*) plant growth stages on seed yield. *Ent. Exp. Appl.* 23(2): 115-120. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1978.tb03013.x>

Varnes, D.J., 1978. “Slope movement types and processes. In Special Report 176: Landslides”, en *Analysis and control*, Schuster, R.L., Krizek, R.J (eds.), Transportation and Road research board, National Academy of Science, Washington D.C. pp. 11-33.

Vázquez-Sánchez, E., Jaimes-Palomera, L.R., 1989. “Geología de la cuenca de México”, en *Geofísica Internacional*, 28, pp. 133-190.

Velázquez, M. V. (2018). Volcán Las Navajas, Estado de Hidalgo: Características geoquímicas e isotópicas del magmatismo per alcalino en la Faja Volcánica Tran-smexicana. (pág. 129). CDMX: UNAM.

Villa, F., McLeod, H., 2002. “Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decisionmaking: guidelines and applications”, en *Environmental Management*, 29(3), pp. 335-348.

Waltham, T., 1989. *Ground Subsidence*, Blackie Editorial, Michigan University, p. 202

WDPA, 2019. World database on protected areas. <http://www.protectedplanet.net>

Weather Prediction Center (s.f.). Hurricane Dolly - August 19-27, 1996. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/tropical/rain/dolly1996.html>

Weather Prediction Center (s.f.). Hurricane Gert/T.D. #14E - September 14-28, 1993. National Oceanic and Atmospheric Administration.  
<https://www.wpc.ncep.noaa.gov/tropical/rain/gert1993.html>

Williams, L.R.R., Kapustka, L.A., 2000. "Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components", en *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19 (4), pp. 1055-1058.

Wilson, T., Cole, J., Cronin, S., Stewart, C., Johnston, D., 2011. "Impacts on agriculture following the 1991 eruption of Vulcan Hudson, Patagonia: lessons for recovery", en *Natural Hazards*, 57, pp. 185-212.

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., 2004. *At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters*, Editorial Routledge, Londres, RU, pp. 464

Wood, L., 1982. "The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph", en *Great Basin Natural Memories*, 6, 1-135.

Woodruff, N. P., Siddoway, F.H., 1965. "A Wind Erosion Equation" en *Soil Science Society of America Proceedings*, 29, 602-608.

Yagüe, C., Martija, M., Torres, J., Maldonado, A.I., Zurita, E., 2006. "Análisis estadístico de las ondas de calor y frío en España", en *XXIX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*, Asociación Meteorológica Española, pp. 1-6

Zagal, J., 1996. "Método de evaluación de riesgos en accidentes químicos", en *Memorias del Simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos: Un resto para el siglo xxi*, OPS/OMS, División de Salud y Ambiente, Programa de preparativos para situaciones de emergencia y coordinación de socorro en casos de desastre, México.

Zamorano-Orozco, J.J., Tanarro-García, L.M., Lugo-Hubp, J., Sánchez-Rubio, G., 2005. "Evolución geológica y geomorfológica del complejo dómico de Los Pitos, norte de la cuenca de México", en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19(1), pp. 66-79