



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Geografía

Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática 16.ª promoción

“Evaluación de Degradación Ambiental en el municipio de Zinacantepec”

TRABAJO TERMINAL DE GRADO

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN ANÁLISIS ESPACIAL Y GEOINFORMÁTICA

Presenta:

LIC. GEOG. ROCIO ENDAÑU SEGUNDO

Tutor académico:

Dr. Yered Gybram Canchola Pantoja

Tutores adjuntos:

Dr. Clarita Rodríguez Soto

Dr. Néstor Corona Morales

Toluca, Estado de México, 2024.



Contenido

Contenido.....	3
Dedicatorias.....	7
Agradecimientos.....	8
Resumen.....	9
Introducción.....	10
Planteamiento del Problema.....	11
Justificación.....	12
Objetivos.....	14
Hipótesis.....	14
Capítulo 1 Marco Referencial.....	15
1.1 Antecedentes.....	16
1.1.1 Nivel Internacional.....	16
1.1.2 Nivel Nacional.....	16
1.2 Marco Conceptual.....	19
1.2.1 Paisaje.....	19
1.2.1.1 Conceptualización científica del paisaje.....	21
1.2.1.2 La geografía del paisaje.....	25
1.2.1.3 Ecología del paisaje y Geoecología.....	28
1.2.2 Degradación Ambiental.....	33
1.2.2.1 Degradación geoecológica del paisaje.....	34
1.2.3 Indicadores Ambientales.....	37
1.2.3.1 Antecedentes de Indicadores Ambientales a nivel Internacional.....	38
1.2.3.2 Indicadores Ambientales en México.....	41
1.2.4 Marco Jurídico Ambiental.....	46
1.2.4.1 Nivel Federal.....	46
1.2.4.2 Nivel Estatal.....	52
1.2.4.3 Nivel Municipal.....	54
Capítulo 2 Marco Metodológico.....	57
2.1 Fase 1: Elaboración y procesamiento de datos.....	59
2.1.1 Búsqueda y generación de información.....	59
2.2 Fase 2: Generación de cartografía temática especializada.....	61
2.2.1 Integración de variables para creación de mapa de Unidad de Paisaje.....	61



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

2.1.2 Creación de Mapa de Unidades de Paisaje	63
2.3 Fase 3: Cálculo de Evaluación de Degradación Ambiental	67
2.3.1 Identificación de problemáticas territoriales	67
2.3.2 Evaluación de degradación ambiental	69
2.4 Fase 4: Creación de tablero de indicadores	74
2.4.1 Monitoreo de Evaluación de Degradación ambiental	74
Capítulo 3 Caracterización de la Estructura del Paisaje	76
3.1 Localización Geográfica	77
3.2 Estructura Vertical del Paisaje	78
3.2.1 Elementos Físico-Geográficos	78
3.2.1.1 Geología	78
3.2.1.2 Geomorfología	83
3.2.1.3 Edafología	90
3.2.1.4 Climatología	96
3.2.2 Elementos Bióticos y Antrópicos	101
3.2.2.1 Uso de suelo y vegetación	101
3.2.2.2 Áreas Naturales Protegidas	107
3.2.3 Elementos Sociodemográficos	111
3.2.3.1 Dinámica Demográfica	111
3.2.3.2 Distribución Poblacional	112
3.2.3.3 Densidad Poblacional	117
3.2.3.4 Marginación	120
3.2.3.5 Pobreza	125
3.3 Estructura Horizontal del Paisaje	128
3.3.1 Variables abióticas	131
3.3.1.1 Variables abióticas	131
3.3.1.2 Variables bióticas y antrópicas	133
3.3.1.3 Variables morfodinámicas	134
3.3.2 Unidades del Paisaje	156
Capítulo 4 Evaluación de Degradación Ambiental del Paisaje	168
4.1 Identificación de Problemáticas Territoriales	169
4.1.1 Análisis de involucrados	169
4.1.2 Análisis del problema	170
4.1.4 Árbol de problemas	171



4.2 Evaluación de Degradación Ambiental	173
4.3 Tablero de Monitoreo ambiental	197
Discusión de Resultados	203
Conclusiones	204
Referencias	205

Índice de Figuras

Figura 1. Modelo General de Interacciones en el Paisaje.....	19
Figura 2. Enfoque Presión-Estado-Respuesta.....	42
Figura 3. Modelo Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta.....	44
Figura 4. Esquema Metodológico.....	58
Figura 5. Variables de Integración para Mapa de Unidades Ambientales.....	63
Figura 6. Formato General para Validación de la Estructura del Paisaje.....	65
Figura 7. Gráfica Pluviométrica de la Estación Climatológica 15229 en Zinacantepec.....	97
Figura 8. Gráfica Pluviométrica de la Estación Climatológica 15207 en Zinacantepec.....	98
Figura 9. Gráfica Pluviométrica de la Estación Climatológica 15062 en Zinacantepec.....	99
Figura 10. Dinámica Demográfica de Zinacantepec.....	111
Figura 11. Porcentaje por Grado de Marginación a Nivel Localidad Urbana y Rural 2020.....	121
Figura 12. Diagrama de Involucrados.....	169
Figura 13. Árbol de Efectos y Causas de la Degradación Ambiental en Zinacantepec.....	172

Índice de Tablas

Tabla 1. Obtención de Información.....	59
Tabla 2. Nivel de Degradación Geoecológica.....	69
Tabla 3. Nivel de Degradación Ecológica de los Paisajes.....	69
Tabla 4. Valores y Ponderaciones para la Asignación de Pesos en las Variables.....	70
Tabla 5. Subniveles de Degradación Geoecológica.....	71
Tabla 6. Pesos por Unidad de Paisaje.....	73
Tabla 7. Tablero de Seguimiento y Monitoreo Ambiental.....	75
Tabla 8. Tipos de Litología.....	80
Tabla 9. Tipos de Geoformas.....	84
Tabla 10. Tipos de Suelos.....	90
Tabla 11. Tipos de Clima.....	96
Tabla 12. Temperaturas y Precipitaciones Medias de la Estación 15229.....	96
Tabla 13. Temperaturas y Precipitaciones Medias de la Estación 15207.....	98
Tabla 14. Temperaturas y Precipitaciones Medias de la Estación 15062.....	99
Tabla 15. Superficie de Usos de Suelo y Vegetación.....	101
Tabla 16. Superficie de Áreas Naturales Protegidas.....	107
Tabla 17. Población Total por Localidad.....	114



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

Tabla 18. Porcentaje por Grado de Marginación a Nivel Localidad Urbana 2020	122
Tabla 19. Porcentaje por Grado de Marginación a Nivel Localidad Rural 2020.....	123
Tabla 20. Porcentaje de Pobreza por Localidad Urbana 2020	126
Tabla 21. Uso del Modelo Digital de Elevación	129
Tabla 22. Uso de Cartografía Geológica	131
Tabla 23. Uso de Cartografía Geomorfológica	132
Tabla 24. Uso de Cartografía Edafológica	132
Tabla 25. Uso de Cartografía Climática	133
Tabla 26. Uso de Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación	134
Tabla 27. Uso de Cartografía Altimétrica	134
Tabla 28. Principales Elevaciones de Zinacantepec	135
Tabla 29. Uso de Cartografía de Pendiente del Terreno.....	138
Tabla 30. Clases de pendiente, procesos esperados y la condición del terreno.....	139
Tabla 31. Uso de Cartografía de Orden de Drenaje	142
Tabla 32. Uso de Cartografía de Energía del Relieve	145
Tabla 33. Uso de Cartografía de Densidad de Disección.....	147
Tabla 34. Uso de Cartografía de Procesos Gravitacionales.....	150
Tabla 35. Uso de Cartografía de Procesos Fluviales.....	153
Tabla 36. Superficie de Unidades de Paisaje.....	156
Tabla 37. Nivel de Degradación Ambiental	173
Tabla 38. Tablero de Seguimiento y Monitoreo.....	201

Índice de Mapas

Mapa 1. Localización Geográfica de Zinacantepec	77
Mapa 2. Geomorfología de Zinacantepec.....	89
Mapa 3. Edafología de Zinacantepec	95
Mapa 4. Clima de Zinacantepec	100
Mapa 5. Uso de Suelo y Vegetación en Zinacantepec	106
Mapa 6. Áreas Naturales Protegidas de Zinacantepec	110
Mapa 7. Distribución Poblacional de Zinacantepec	116
Mapa 8. Densidad Poblacional de Zinacantepec	119
Mapa 9. Marginación por Localidad Urbana y Rural.....	124
Mapa 10. Mapa de Pobreza por Localidad Urbana.....	127
Mapa 11. Modelo Digital de Elevación	130
Mapa 12. Altimétrico	137
Mapa 13. Pendiente del Terreno	141
Mapa 14. Orden de Drenaje.....	144
Mapa 15. Energía del Relieve.....	146
Mapa 16. Densidad de Disección	149
Mapa 17. Procesos Gravitacionales	152
Mapa 18. Procesos Fluviales	155
Mapa 19. Unidades de Paisaje en Zinacantepec.....	167
Mapa 20. Evaluación de Degradación Ambiental en Zinacantepec.....	196



Resumen

Desde la perspectiva geoecológica la degradación ambiental estudia los impactos de las actividades antropogénicas sobre los sistemas naturales y cómo estos alteran la estructura, funcionamiento y dinámica del paisaje provocando una reducción en la capacidad para regenerarse tras la alteración ecológica. Siguiendo este enfoque la presente investigación evaluó la degradación ambiental del municipio de Zinacantepec, mediante el grado de antropización que tiene el paisaje para identificar zonas prioritarias de atención y conservación a recursos naturales.

El 60.22 por ciento del territorio se sitúa sobre un Área Natural Protegida (ANP), donde el crecimiento y desarrollo de actividades económicas en áreas inadecuadas ha alterado la configuración del paisaje, convirtiéndolas en entornos afectados con problemáticas ambientales.

Por lo que el generar información integral del estado ambiental actual, a través de las características naturales y sociales del paisaje, permite conocer la interacción que se tiene con el ambiente y las causas directas que generan problemáticas ambientales, ayudando a proponer acciones concretas que permitan reducir los impactos y proteger aquellas áreas con altos niveles de degradación, siendo la base para que los tomadores de decisión actúen de manera informada en beneficio de la conservación ambiental.

Para ello se caracterizó la estructura vertical del paisaje, incluyendo componentes sociales, generándose el mapa de unidades de paisaje para conocer los elementos de interacción, posteriormente se calculó el nivel de degradación ambiental a través del porcentaje de antropización sobre el medio natural para cada unidad de paisaje, identificando las problemáticas ambientales y creando un tablero de indicadores de presión estado y respuesta que permita el monitoreo de la degradación ambiental.

Palabras clave: Degradación ambiental, paisaje, antropización, impacto ambiental, problemáticas ambientales, indicadores.



Introducción

La degradación ambiental es un proceso que implica la disminución o deterioro progresivo de la calidad del ambiente, afectando negativamente sus componentes naturales y en muchos casos, comprometiendo la eficiencia del ecosistema para mantener sus funciones y servicios, manifestándose por el desgaste de los recursos naturales como la reducción de calidad del aire, la contaminación del agua y suelo, la deforestación, la pérdida de biodiversidad, entre otros; contribuyendo a la devastación de los entornos naturales, la extinción de la vida silvestre, afectando la calidad de vida de la población (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2015, como se citó en Pérez, *et al.*, 2020, p. 104).

El informe de la Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas señala como principales factores de degradación global de la naturaleza, a la modificación del uso de suelo, seguido del aprovechamiento acelerado de los recursos, el cambio climático, la contaminación y la presencia de especies invasoras. Estos factores de degradación son mayormente atribuibles a la actividad humana en el entorno natural y son considerados como consecuencias negativas asociadas al crecimiento económico y demográfico con respecto a los recursos naturales (Dirección General de Medio Ambiente, 2019, p. 6).

El principal desafío en la gestión de los recursos además del agotamiento, son las consecuencias ambientales acumuladas resultado de las actividades humanas que están afectando los diversos procesos del paisaje y su limitada capacidad que tiene para absorber los impactos que el sistema produce (Nadal y Aguayo, 2020, p. 30). La tendencia actual de degradación ambiental hace necesario establecer un monitoreo de los recursos naturales con el fin de identificar las áreas que presentan diferentes niveles de deterioro, siendo el análisis geoespacial, la mejor opción para conocer los cambios e impactos en el tiempo y en el espacio, al igual que desarrollar estrategias y acciones para mitigar y revertir el deterioro ambiental.

Derivado a lo anterior, esta investigación tiene como objetivo principal la realización de un estudio de degradación ambiental, a través del grado de antropización que tiene el paisaje, identificando zonas prioritarias de atención a recursos naturales, estableciendo un tablero de indicadores para su monitoreo, teniendo como base el método geográfico para un análisis espacial integrado, utilizando herramientas geotecnológicas.



Planteamiento del Problema

El sexto informe sobre Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO-6) Planeta saludable, gente saludable; destaca que un entorno saludable constituye la base óptima para el crecimiento económico, la salud y el bienestar humano. A lo largo de la historia, las acciones humanas han generado diversos impactos en la biodiversidad, la atmósfera, los océanos, el agua y la tierra, dando lugar a una degradación ambiental que va de grave y puede llegar a ser irreversible (United Nations Environment, 2019, p. 4).

A nivel global, al igual que en México se establecieron en septiembre de 2015 los objetivos de desarrollo sostenible, de los cuales al menos seis están directamente vinculados con el medio ambiente y los ecosistemas naturales. En este escenario, nuestro país se enfrenta al desafío de abordar diversas cuestiones ambientales que podrían representar serios desafíos para lograr la sustentabilidad a futuro. El cambio climático, la destrucción de los ecosistemas terrestres y acuáticos junto con su diversidad biológica, la insuficiencia y el deterioro de los recursos hídricos, así como los problemas relacionados con la calidad del aire, destacan como algunos de los retos más significativos (Semarnat, 2015, p. 21).

Zinacantepec posee una diversidad biológica, derivado de la relación que existe entre el Nevado de Toluca, así como de sus características geográficas, lo que proporcionan una gama de servicios ambientales como los de regulación del clima y control de erosión; servicios de soporte que ayudan a la formación del suelo y reciclado de nutrientes; servicios culturales, que representan espiritualidad y aportan a la recreación e investigación, así como servicios de provisión y suministro de alimentos, agua y materias primas, siendo imprescindible la conservación de estas áreas para la permanencia y desarrollo económico de la población (Semarnat, 2016, p. 12) y evolución de los seres vivos.

Aproximadamente el 60% de Zinacantepec se encuentra sobre un Área Natural Protegida (ANP), donde la expansión de actividades económicas ha cambiado la configuración de las áreas naturales transformándolas en ambientes con problemáticas y degradación ambiental. Para ello es importante que se realicen estudios de evaluación ambiental para saber cómo se encuentra el municipio y que los tomadores de decisiones ejecuten acciones para mitigar y revertir los impactos de la degradación ambiental, logrando una planeación enfocada a la protección y cuidado del ambiente.



Justificación

La realización de estudios ambientales que permita conocer la dinámica ambiental actual del territorio es importante para tomar medidas de acción y autocorrección hacia un desarrollo sostenible como respuesta. Zinacantepec posee un alto potencial de crecimiento y desarrollo económico, debido a las características físico-geográficas que posee, sin embargo, el aprovechamiento hacia los recursos naturales ha sido de forma desmedida, sin control exceptuando sus características de potencialidad del suelo, lo que ha originado la modificación a través del tiempo de espacios naturales y causado deterioro a los ecosistemas.

El tipo de relieve de Zinacantepec desempeña un papel importante en la configuración del clima y esta a su vez en características físicas y naturales del territorio, siendo esta una región donde predominan condiciones climáticas que van de subhúmedas a frías, con relieves de tipo endógenos y exógenos, siendo la estructura del Nevado de Toluca la principal estructura por la que se configura el relieve, constituida por una diferenciación de estructuras geológicas desde basaltos, brechas volcánicas y materiales aluviales, dando origen a tipos de suelos como vertisoles, feozem y andosoles en las partes más altas, haciendo que la ocupación y uso de la tierra sea variado, teniendo zonas agrícolas con una diversidad de cultivos y el desarrollo de coberturas vegetales de bosques de coníferas.

Estas características naturales hacen del municipio uno de los más importantes no sólo por su belleza escénica, sino la diversidad de recursos y servicios ecosistémicos, siendo fuente básica de materias primas y atracción de mercados e inversiones. Sin embargo, durante los últimos años, ha lidiado con importantes desafíos ambientales, destacando la alteración de sus usos de suelo y la pérdida de sus bosques, donde las causas directas son la explotación forestal no autorizada, incendios forestales, pastoreo extensivo, ampliación de áreas cultivables, la explotación de recursos forestales y no forestales, así como el crecimiento poblacional, todos estos factores antrópicos han provocado la disminución de su biodiversidad.

Registrándose cambios principalmente por la habilitación de zonas para asentamientos humanos, presentando para 1990 una superficie de 856.08 has y en 2016, 2683.44 has, dando una ganancia de 1827.36 has (Castillo, 2018, p. 71). Esto se puede comprobar con el aumento de la población, para el año de 1990 era 83,197 personas y en 2020 de



acuerdo con el censo de población y vivienda, este alcanza 203,872 habitantes (INEGI, 2020).

En cuanto a la pérdida de coberturas arbóreas, los bosques de pino en 1990 tenían una cobertura de 7820.64 has y en 2016 abarcaron solamente 7533 has, perdiendo 287.64 has (Castillo, 2018, p. 71), actualmente las campañas de reforestación juegan un papel importante, ya que se ha ido frenando la pérdida de bosques, sin embargo la fragmentación de bosques aún sigue siendo un problema, ya que existen problemas de plaga por descortezador y muérdago, estos fenómenos destruye y fragmentan los hábitats de especies silvestres y conllevan a cambios en la utilización del suelo, como la erosión y pérdida de su capacidad productiva. Además, propician la desertificación y la formación de cárcavas, limitando la captación de agua de lluvia, contribuyen al azolvamiento de los cauces de los ríos, alteran el clima, deteriorando el paisaje natural.

Actualmente existe una absoluta necesidad de generar datos que no solo proporcionen un entendimiento detallado de la dimensión y las implicaciones de los efectos acumulativos de las actividades humanas sobre el ambiente (Semarnat, 2015, p. 39), sino que también posibiliten la evaluación y las actividades para poder mitigar, revertir y evitar los procesos de degradación. Por ello la trascendencia de realizar estudios que evalúen el estado actual de los municipios e identifiquen los niveles de degradación ambiental por unidades de paisaje considerando como factor principal de cambio y degradación, los procesos de antropización.

Considerando lo anterior, es necesario contar con información integral que permita conocer el estado ambiental actual, a través de las características naturales y sociales del paisaje para conocer la interacción que se tiene con el ambiente y obtener un diagnóstico integral del paisaje identificando las causas directas del problema y las acciones concretas que permitan reducir los impactos y proteger aquellas áreas con altos niveles de degradación, siendo la base para que los tomadores de decisiones puedan actuar y conservar el ambiente.

Para ello esta investigación busca evaluar los niveles de degradación que tiene el municipio considerando el porcentaje de antropización que tiene el paisaje y además el diseño e identificación de un tablero de indicadores que facilite a los responsables de la toma de decisiones monitorear los niveles de degradación.



Objetivos

Objetivo General:

- Evaluar la degradación ambiental del municipio de Zinacantepec, mediante el grado de antropización que tiene el paisaje para identificar zonas prioritarias de atención y conservación a recursos naturales.

Objetivos específicos:

- Caracterizar la estructura vertical del paisaje y componentes naturales y sociales para reconocer la distribución espacial de los elementos que integran el territorio.
- Generar mapa de unidades de paisaje para conocer los elementos de interacción entre la estructura vertical y horizontal.
- Determinar el nivel de degradación ambiental a través del cálculo de perturbación antrópica por unidad de paisaje.
- Creación de tablero de indicadores de presión estado y respuesta por unidad de paisaje, como línea de trabajo para monitoreo de degradación ambiental.

Hipótesis

La presencia de mayores elementos antrópicos sobre elementos naturales en el paisaje dará como resultado un mayor nivel de degradación ambiental, por el contrario, si existen mayores elementos naturales en el territorio a diferencia de elementos antrópicos, este será igual a una menor degradación, haciendo que la funcionalidad del paisaje sea más natural o prístina.



Capítulo 1

Marco

Referencial



1.1 Antecedentes

1.1.1 Nivel Internacional

El aumento de la población ha sido una de las fuerzas más frecuentemente citadas para explicar la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental (Ehrlich, *et al.*, 1983) ya que, durante el siglo XX ha sido determinante la condición ambiental global.

Conceptualizando a la degradación desde la perspectiva del paisaje y con un enfoque geocológico, este es la disminución de características y propiedades del sistema que aseguran el desempeño de funciones socioeconómicas, así como el potencial, la autorregulación, la regeneración y la capacidad productiva del paisaje, debido a la aparición o intensificación de procesos geocológicos. (Mateo y Ortiz, 2001).

Existen enfoques utilizados a nivel mundial para realizar diagnósticos ambientales, los cuales están relacionados con la ecología del paisaje y la geocología. Según Bastián (2001), existen dos perspectivas diferentes en relación con la ecología del paisaje. Por un lado, se encuentra un enfoque más biológico, desarrollado en Norteamérica y en algunas escuelas europeas (Forman y Godron, 1986; Naveh y Lieberman, 1984; Naveh, 2000, 2001). Por otro lado, hay un enfoque más geográfico, desarrollado en Europa Central y del Este (Neef, 1967, 1984; Hasse, 1990, 2002; Richling, 1983, 1994; Preobrazhenskiy, 1983; Zonneveld, 1989; Rougiere y Beroutchachvili, 1991; Moss, 2001), el cual también ha sido adoptado en Latinoamérica (Mateo, 1984; Salinas, 2001; como se citó en Bollo y Méndez, 2018, p. 119).

Trabajos de investigación como el de Mateo y Ortiz, (2001) proponen una concepción teórica-metodológica para la degradación de los paisajes, a través de un sistema de clasificación del paisaje con cuatro indicadores que consideran las funciones socioeconómicas y el potencial de recursos; así como procesos de equilibrio interno y recuperación; incluidas la eficiencia productiva de los paisajes y procesos geocológicos negativos, donde se distinguen 4 niveles de degradación: sin degradación, baja, media y alta degradación; a partir de este enfoque teórico-conceptual se conoce cuál es el grado de transformación del paisaje (Mateo y Ortiz, 2001).

1.1.2 Nivel Nacional

Sin embargo, a nivel nacional en México la primera discusión sobre deterioro ambiental



fue por el Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, conocido en la actualidad como el Instituto Nacional de Ecología (INE), el cual desarrolló en 1995 un conjunto de indicadores ambientales basado en los criterios metodológicos establecidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), con un enfoque metodológico de Presión-Estado-Respuesta, para la evaluación del ambiente (Quiroga, 2007).

Asimismo, la propuesta que plantearon en un principio Mateo y Ortiz, (2001) ha sido tomada como base y adaptada para diversos estudios ambientales como en México, tal es el caso de la propuesta hecha por Canchola (2017) partiendo del análisis y valoración geocológica del paisaje, el cual realiza un análisis de degradación geocológica del paisaje, utilizando variables de carácter natural y antrópico para identificar la etapa de transformación y nivel de degradación geocológica del paisaje. Tomando en cuenta las unidades de paisaje y adaptando el Teorema de Moebius (1895), propone la ecuación de desarrollo evolutivo de transformación del paisaje expresada en su estructura y funcionamiento, correlacionándolo con el nivel de degradación geocológica del paisaje (Balderas *et al.*, 2015, p. 89).

Por su parte Bollo y Velasco (2018) realizan estudios de diagnóstico ambiental utilizando el mismo enfoque geocológico, fundamentado en la Geoecología del paisaje, para conocer su estado ambiental, identificando el grado de conservación de los recursos naturales (Mateo, 2011 como se citó en Bollo y Velasco, 2018, p. 120). A través del cálculo del estado del medio ambiente (EMA), considerando de base las unidades de análisis físico-geográficas del territorio y utilizando dos índices de modificación antropogénica: el índice de antropización de la cobertura vegetal (IACV) y el índice de antropización por elementos antrópicos al paisaje (IAEA), un indicador biofísico (degradación de suelo), y tres índices de carácter socioeconómico (Tasa bruta de actividad económica, índice de rezago social e índice de rezago educativo).

Para establecer la relevancia de los indicadores utilizó el método de evaluación y decisión multicriterio (AHP), clasificando en 5 niveles de degradación de cada paisaje utilizando el método natural breaks en ArcGIS 10.0, obteniendo como resultado un mapa para cada indicador, los cuales son ocupados para el cálculo del índice sintético que define el EMA, a través de matrices de doble entrada, multiplicando los valores ponderados por indicador y por el valor calculado para cada índice, obteniéndose 5 categorías que representan el



estado ambiental del paisaje: estable, estable a inestable, inestable, inestable a crítico y crítico.

Por su parte Morales y otros autores (2019) proponen analizar los niveles de transformación antropogénica de la cobertura vegetal de los paisajes, utilizando como variables el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal (IACV) propuesto por Shishenko (1988), el cual ha sido implementado en diversas regiones de Latinoamérica (Priego Santander et al., 2004; Mathews, 2011; Aguirre et al., 2017; Cruz Paz et al., 2018; Bollo Manent y Velasco Méndez, 2018 como se citó en Morales *et al.*, 2019, p. 142).

El estudio se realizó en el estado de Chiapas, México y para la aplicación del índice se utilizó el mapa de paisajes físico-geográficos e información sobre usos de suelo y vegetación, a los cuales se les asignó un valor calculado según los grados de transformación contenidos en la unidad de paisaje. Se realizaron operaciones matemáticas con ArcGIS Desktop, donde los valores de ponderación de cada tipo de vegetación o uso de suelo fueron multiplicados por el área que ocupan; para después realizarse la sumatoria de los productos obtenidos y los resultados fueron divididos entre el área total que ocupa cada unidad del paisaje; representada en un mapa con 5 niveles de antropización en la cobertura vegetal (muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo (Priego Santander et al., 2004 como se citó en Morales *et al.*, 2019, p. 142).

Hoy día la comunidad global ha estado buscando con la aprobación de la Agenda 2030; establecer y adoptar un modelo de desarrollo que permita un crecimiento económico sostenible, a través de sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) abordados en tres dimensiones: económica, social y ambiental con 17 objetivos que comprenden 169 metas, donde México ha participado activamente (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2024) incluyéndolas en los planes de desarrollo urbano municipal y diversos proyectos de planeación.



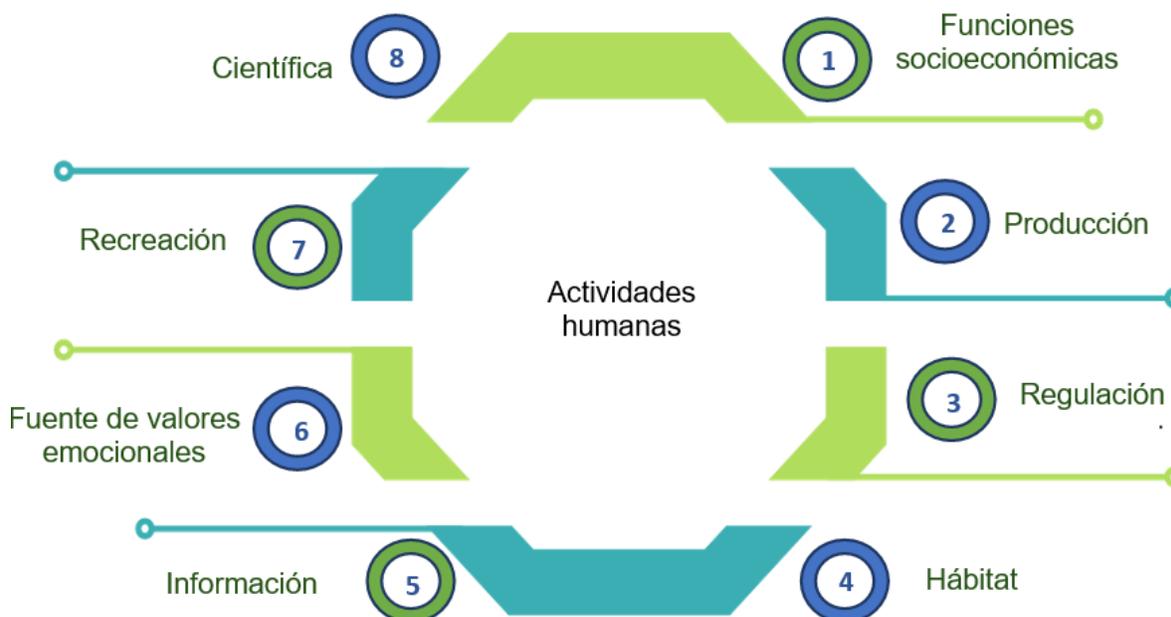
1.2 Marco Conceptual

1.2.1 Paisaje

El primero en utilizar el término “ciencia del paisaje” fue Passarge (1920), refiriéndose cómo el conjunto complejo constituido por clima, agua, tierra, plantas y fenómenos culturales, cuya combinación genera unidades jerarquizadas de diferentes órdenes de paisaje (Bollo, 2018, p. 128).

Mateo (2001) lo define como la conjunción de elementos naturales, sociales y culturales, siendo el paisaje natural el espacio terrestre que interactúa con la parte social y cultural, que de forma interrelacionada permiten la articulación de lo socio natural (Figura 1) y desde una perspectiva regional se consideran como una de las unidades taxonómicas en la regionalización geoecológica y/o físico-geográfica; representando tipologías dentro del territorio (trazos o rasgos comunes) producto de la interrelación de elementos naturales que se destaca por su similitud y repetitividad (Mateo, 2001; 2007).

Figura 1. Modelo General de Interacciones en el Paisaje



Fuente. Zonneveld, 1986 como se citó en Mateo, 2007.

Sin embargo, existen paisajes con formación antro-po-natural, conformados por un sistema territorial con elementos naturales y antro-po-tecnogénicos condicionados por el hombre,



modificando y transformando la naturalidad del paisaje a partir de la interacción e interdependencia que se tiene con los componentes naturales, formando paisajes de distintos niveles taxonómicos. Los paisajes pueden estar constituidos por *paisajes naturales*, *paisajes antro-po-naturales* (modificados por el hombre, pero conservando ciertos rasgos naturales) y *paisajes antrópicos o antropogénicos* (transformados) entre todos constituyendo una conexión funcional entre la naturaleza y sociedad (Passos, 2000 como se citó en Mateo, 2007).

Los paisajes como un sistema económico-social son el espacio donde vive la población, caracterizado por un patrón específico de relaciones espaciales y capacidad funcional para el desarrollo de actividades socioeconómicas, formando un concepto análogo entre espacio social, sistema antropogeoecológico o complejo territorial productivo, ya que constituyen los sistemas territoriales de las fuerzas productivas, como lo son sistemas de asentamientos humanos, energéticos y de transporte, ciudades, industrias, complejos agroproductivos y regiones económicas. (Volskii *et.al.*, 1998 en Mateo, 2000).

Existen paisajes culturales que son resultado de la acción cultural a través del tiempo a partir de un paisaje natural, representado como una representación sensorial, afectiva, simbólica y material de los territorios (Beringuier, 1991 en Mateo, 2000). Estudiar el paisaje cultural, implica Entender cómo y en qué medida las sociedades alteran la naturaleza según los distintos tipos de uso, apoyándose de un análisis integrador del territorio.

El estudio del paisaje implica el entendimiento de fenómenos y procesos ambientales, sociales, económicos e históricos; resultado de la interacción del medio físico y natural con lo social. En la actualidad el paisaje ha sido interpretado desde diferentes enfoques y concepciones científicas; este es visto como un área y/o territorio, espacio natural, geo complejo o geosistema natural que representa distintas cualidades derivadas de diversas percepciones (Mateo, 2007).

Desde la perspectiva geocológica, el paisaje contribuye a una visión más integradora y sistémica de los elementos que lo componen, identificando una interacción e interdependencia entre los fenómenos naturales con los sociales; mientras que desde la geografía, aporta no solo un conocimiento sobre el medio natural, sino como es la interacción con distintas esferas que involucran el desarrollo antrópico, por lo que cuando se habla de estudios de planificación y gestión ambiental es importante la consideración



de estudios a partir del paisaje que incorporen una visión holística, dialéctica así como sistémica, partiendo de la formulación y análisis del potencial de los recursos (servicios ecosistémicos) incluyendo las circunstancias naturales en las que se encuentran, para que a través del diagnóstico y el pronóstico geoecológico, así como de la percepción y valoración de los paisajes por parte de grupos sociales, sea posible desarrollar planes para optimizar el uso, tanto como el manejo de cada unidad paisajística (Mateo, 2007).

1.2.1.1 Conceptualización científica del paisaje

De acuerdo con la Unión Geográfica Internacional (IGU) el área científica que estudia el paisaje ha tenido las siguientes etapas (Rougerie y Beroutchtchvili, 1991, como se citó en Mateo, 2007).

- Génesis (1850 - 1920)

Surgen las primeras definiciones del término paisaje como concepto científico y las principales aproximaciones de interacción entre los elementos físico-geográficos con fenómenos naturales.

- Desarrollo biogeomorfológico (1920-1930)

Se establece una relación directa entre la geología y la biología, lo que facilita la comprensión de la interacción entre los componentes del paisaje, como el relieve y la vegetación.

- Creación de la concepción físico-geográfica (1930-1955):

Se establecieron conceptos para comprender la diferenciación a pequeña escala de los paisajes, el análisis de la esfera geográfica como un sistema planetario y la identificación de leyes geoecológicas generales.

- Evaluación estructuro-morfológico (1955-1970)

Se enfocó en el análisis de unidades locales y regionales, particularmente en la taxonomía, clasificación y cartografía de las unidades de paisaje.

- Análisis funcional (1970-hasta la actualidad)

Se utilizan métodos sistémicos y cuantitativos en el estudio del paisaje, para analizar el funcionamiento, interacción, evolución y análisis informacional que ayuden a comprender situaciones complejas, identificar tendencias y conexiones.

- Integración geoecológica (1985-2000)

Centrada en el análisis de la interrelación entre los elementos estructuro-espacial y dinámico-funcional de los paisajes, unificando las concepciones biológicas y geográficas



en una dirección científica única (geoecología o eco-geografía).

- Perspectiva socio-geoecológica (1990-hasta la actualidad)

Enfocada en la relación entre las categorías analíticas de la geografía (paisaje natural, espacio geográfico y paisaje cultural) y la manera en cómo los grupos sociales utilizan, reconfiguran y reconocen los paisajes naturales.

Sin embargo, desde hace algunos años y especialmente a inicios del siglo XXI, los estudios de paisaje han cobrado una gran importancia en el ámbito internacional y han comenzado a ser integrados en las políticas de protección de distintos países principalmente europeos. La revalorización del paisaje ha llevado a una ampliación de su concepción tradicional destacando sus funciones tanto como su importancia, no sólo se habla de su aspecto estético, sino de las relaciones directas que se tiene con el medio ambiente y el efecto de las actividades humanas en el ambiente, incluidas la calidad de vida, el bienestar humano, el patrimonio cultural y la conexión con el territorio, todo ello asociado a lo que empieza a considerarse un derecho (Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p. 21).

Hace ya más de una década en países europeos se han logrado establecer marcos legales específicos para la defensa y protección del paisaje, desde la aprobación del Convenio Europeo del Paisaje en el año 2000. Aunque en México, la consideración y defensa del paisaje aún se encuentra en proceso de construcción, no obstante esta ausencia en la jurisprudencia no ha impedido que en los últimos años hayan surgido colectivos ciudadanos que compartan el esfuerzo por la valorización y protección de paisajes específicamente culturales, reflejando un territorio ya sea urbano o natural, que preserva la memoria y la identidad de los habitantes, promoviendo un modelo de desarrollo económico sostenible vinculado al territorio (Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p.12).

La UNESCO en 1962 reconoce la preocupación por los paisajes, al ser una forma de patrimonio heredado y el medio que permite la vida de las comunidades (física, económica, social, espiritualmente etc.) al poseer un valor no sólo estético, cultural, sino de bienes y servicios ecosistémicos de vital importancia para la vida. Por lo que es alarmante la pérdida de paisajes por la acción humana, especialmente por la expansión de la población, la industrialización y las actividades comerciales que implican su desarrollo; tanto que a través de la Recommendation concerning the safeguarding of the



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

beauty and character of landscapes and sites, la UNESCO señala la urgente necesidad de salvaguardar los territorios reflejados en los paisajes y promover su regeneración en beneficio de la humanidad, sin distinguir paisajes culturales o naturales (UNESCO, 1962, p. 142 como se citó en Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p. 23).

Pero no fue hasta 1977 con el informe *Man-made Landscapes* (IFLA) en colaboración con la Federación Internacional de Arquitectos Paisajistas donde se volvió a emitir un llamado para la protección de los paisajes, tocándose puntos como las consecuencias de la acción humana en el ambiente y los efectos devastadores que estos traían consigo al paisaje. Se expresaba admiración por los paisajes heredados y se evidenciaba preocupación por la acción destructiva del ser humano sobre el paisaje. Por lo que años posteriores a la *Conferencia Internacional sobre el Medio Humano de Estocolmo* (Suecia, 1972), se consideró a los paisajes como "un indicador frágil y sensible" de las alteraciones que el ser humano había estado causando en el territorio, preguntándose si la verdadera preocupación por los paisajes era por la condición del entorno o por el prosperidad que implicaba para el hombre (UNESCO, IFLA, 1977, p. 30 como se citó en Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p. 24).

Para 1992 el concepto de paisajes culturales comienza a tomar más fuerza y para Mayor Zaragoza se tenía que incluir la idea de sostenibilidad que había sido planteada en la Cumbre Internacional sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la Ciudad de Río de Janeiro (junio de 1992) donde se hablaba de desarrollo sostenible, abordándose los problemas ambientales con un enfoque ecológico, mencionando que el modelo económico que seguía la sociedad era altamente depredador del sistema, por lo que se buscaban soluciones a los problemas ambientales considerando la incorporación de paisajes culturales como una categoría de patrimonio a la humanidad que permitieran la conexión de paisajes naturales con los culturales, considerando que aquello que es representativo como identidad cultural de cada comunidad en cuanto a su diversidad, es importante conjuntamente para toda la población, por ello debe de mantenerse para generaciones actuales y venideras (Mayor, 1992 como se citó en Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p. 27).

En los años 2000 ya se ponía en sobre aviso los cambios en la economía global y la necesidad de proteger los paisajes ante posibles transformaciones futuras, reflexionando sobre la importancia de su protección en el Convenio Europeo del Paisaje (Consejo de



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

Europa, Florencia, 20 de octubre de 2000) reconociendo el valor ambiental, económico, social y cultural del paisaje. Teniendo como antecedente en los 80's en Francia la obra colectiva: "La mort du paysage?" (Dagognet, 1982) y otras publicaciones de esa época, donde se revelaba una seria preocupación por la "crisis del paisaje". Esta crisis se debía al cambio de la agricultura tradicional y su sustitución por una mecanizada, la migración de la población rural hacia las zonas urbanas, la pérdida de los bosques y la ampliación de la población, entre otros muchos problemas (Sgard, 2011 como se citó en Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p. 30).

Con este convenio se formularon normas jurídicas de tipo regulatorio y sancionador, con ello se amplió la conceptualización que se tenía del paisaje, definiéndolo como: cualquier área del territorio tal como la concibe la población, cuya representación es resultado de la interrelación entre elementos y factores naturales y humanos. Por ello la importancia de atender tanto a los paisajes que puedan considerarse excepcionales como a los degradados (Consejo de Europa, 2000).

En el año 2012 en Florencia se celebró el 40º aniversario de la Convención del Patrimonio de la Humanidad, titulado "La protección internacional de los paisajes" ampliando la conceptualización de espacios dignos de protección, no sólo a los que tuvieran valores universales excepcionales. Definiendo como paisaje a aquellos elementos culturales, conocimientos, tradiciones y categorías simbólicas que configuraran el mundo en el que vivimos. Donde los seres humanos formamos, transformamos el paisaje y a la vez somos moldeados por él; lo interpretamos y valoramos cuando nos identificamos con él, al mismo tiempo que somos parte de él. Sin el paisaje, carecemos de identidad, perdemos los lazos con la realidad y los medios para interpretarla (Lureano, 2012).

Por lo que cuidar los paisajes implica ampliar esa protección al territorio y a la sociedad que los ha creado, incluyendo a su cultura y tradiciones. El paisaje debe ser visto como el resultado de un proceso de "gran duración", según lo plantea Fernand Braudel, y su conservación y gestión requiere un arduo esfuerzo de sensibilización de la sociedad (Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p. 35).

En México aún no se ha concretado un marco jurídico específicamente para paisajes con una perspectiva ambiental y cultural (Checa-Artasu 2014, p. 401), debido a la construcción y relación entre la ley, el derecho, la naturaleza y el medio ambiente, estos dos últimos conceptos se han valorado como dependientes a la acción del hombre y del



estado, sin ser tomados como sujetos con características jurídicas propias (Guerra, 2015: 48).

Pesé a ello se han tenido intentos de concientizar la importancia que tiene el paisaje como un marco cultural como lo es la Carta Mexicana del Paisaje elaborada en 2011 por la Sociedad de Arquitectos Paisajistas de México y en distintos congresos, jornadas y seminarios por distintas universidades del país entre ellas la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, la Universidad de Guadalajara, la Universidad Autónoma del Estado de México entre otras; han tocado y profundizado estudios teniendo como elemento principal al paisaje, además se tienen varias leyes y normas en pro de la protección del ambiente Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p. 54).

1.2.1.2 La geografía del paisaje

El enfoque paisajístico en geografía, particularmente desde una perspectiva físico-geográfica o geocológica, es un recurso fundamental para organizar y fortalecer la estructura territorial. Este enfoque es clave para definir objetivos y estrategias que permitan asignar funciones a las unidades de paisaje, respetando tanto las funciones naturales como sociales del geosistema, fundamentales para el diseño de paisajes sostenibles (Martínez y Bollo, 2023).

En el siglo XVIII, la geografía era una ciencia espacial y descriptiva enfocada en la superficie terrestre. En el siglo XIX, se dividió en dos ramas principales: como ciencia natural y como ciencia social humanística, cada una desarrollando sus propias subdisciplinas (Mateo, 2011). Esta división dio lugar a dos enfoques para estudiar el paisaje: como ciencia social humanística (siendo sujeto de percepción) y desde las ciencias naturales (considerado como un objeto de la realidad espacial), este último enfoque surge de una visión naturalista, influenciada por Alexander Von Humboldt, formulando el concepto de paisaje al que llamo landschaft, proponiendo que la naturaleza se comprende a través del estudio de las conexiones e interdependencias entre sus componentes, destacando su carácter sintético, utilizando perfiles geográficos complejos para explicar la geografía de distintos territorios (Martínez y Bollo, 2023).

Algunos científicos continuaron las ideas de Humboldt sobre el paisaje, como el geógrafo y edafólogo ruso V. V. Dokucháiev, definiendo al suelo como el producto de la interacción de varios factores naturales (clima, roca, relieve, agua, organismos vivos y tiempo)



afirmando que el suelo es el reflejo del paisaje y este a su vez un cuerpo natural que incluye el suelo con otros componentes naturales. Su teoría sobre la formación del suelo a partir de la interacción de componentes naturales sentó las bases para las primeras ideas sobre complejos naturales en geografía, que posteriormente a principios del siglo XX teniendo como antecedente la geografía alemana Siegfried Passarge formuló el término *landschaftgeographie* o geografía del paisaje, surgiendo como una ciencia geográfica (Martínez y Bollo 2023, p. 15).

Más adelante Alfred Hettner la plantea con una concepción corológica en la geografía regional definiéndola en función de tres aspectos clave: describir las características de zonas homogéneas, identificar rasgos comunes dentro de ellas y comparar la similitud de una región con el resto para marcar sus diferencias (Claval, 1981, p. 320). Aunque la geografía regional se enfocaba en las diferencias, también estaba influida por la búsqueda de unidad, un interés predominante durante su desarrollo (Ramírez, 2003, 2007), considerándose a la naturaleza y al hombre como parte inseparable de las regiones (Hettner, 1921).

Mientras que Lev Berg (1873-1950) define el paisaje y su morfología como objeto integrador en la naturaleza, por su parte Dimitri Anuchin (1843-1923), lo plantea como una ciencia sintética; que estudia las distintas esferas geográficas del planeta (biosfera, pedosfera y litosfera) en interacción e interrelación, proponiendo el término de *geoesfera* (o *envoltura geográfica*) como resultado de dichos procesos y que representa el paisaje a nivel planetario, siendo el principal enfoque de investigación de la geografía. En las décadas siguientes, la geografía del paisaje desarrolló la idea de la diferenciación espacial de la esfera geográfica, además se avanzó en el estudio del sistema planetario y se identificaron las regularidades geográficas generales, como la zonalidad y azonalidad geográfica (Riabchikov, 1972 como se citó en Martínez y Bollo, 2023, p. 16).

Ya en los 1950 y 1970 se comenzaron a realizar numerosas investigaciones relacionadas a la geografía de los paisajes, su clasificación físico-geográfica de nivel regional y local, considerando a la geografía del paisaje como sinónimo de geografía física aplicada particularmente en la geografía soviética de posguerra, debido a los avances tecnológicos implementados como lo era la fotografía aérea y el uso de imágenes satelitales, consolidándose en países de Europa del este y en Latinoamérica (Richling, 1983 como se citó en Martínez y Bollo, 2023).



El análisis de los paisajes a nivel regional está delimitado por la diferenciación geográfica (escalas de estudio) y regularidades del cambio de naturaleza que se expresan en formas de paisaje natural, cuya diferencia espacial tiene que ver con la zonalidad y azonalidad geográfica. La primera es originada por la diferencia de radiación solar a la tierra, debido a la inclinación del eje terrestre y el desplazamiento del planeta alrededor del sol, expresado en zonalidad latitudinal, altitudinal y meridional, mostrando diferencias de paisajes que se representan en fajas (unidad taxonómica superior de diferenciación territorial) y zonas geográficas, mientras que la azonalidad es la diferenciación geólogo-geomorfológica (variación altitudinal) resultado de las estructuras geológicas por la diferenciación litológica (Martínez y Bollo, 2023).

Existen 2 formas de clasificar los paisajes a nivel regional: la regionalización físico-geográfica (RFG) y la tipología físico-geográfica (TPF), la primera está basada en las ideas de Alfred Hettner, sobre la concepción corológica del paisaje se centra en la individualidad y homogeneidad determinando los paisajes según rasgos particulares que los delimitan, en contraste, la TPF esta influenciada por Humboldt y Dokucháiev, distingue los paisajes por la similitud y repetibilidad de sus características en un espacio determinado, ambos son métodos universales para identificar paisajes en la superficie terrestre (Isachenko, 1973; Bocco *et al.*, 2009; Bollo, 2018, como se citó en Martínez y Bollo, 2023).

Su identificación está dada por un sistema de categorías taxonómicas jerárquicas, sustentados en índices de diagnóstico (variables o índices observados que sirven de ayuda para delimitar a que categoría taxonómica pertenecen) que permiten establecer límites físicos del paisaje, como lo hizo el geógrafo ruso V. N. Solntzev (1902-1991) quien realizó una clasificación tipológica denominada morfología del paisaje (Mateo, 2011) y durante la década de 1970 los mapas de paisajes dentro de la geografía del paisaje se constituyeron como una herramienta importante en estudios físico-geográficos, sociales y de interrelaciones entre naturaleza-sociedad. De esta manera los mapas de paisajes físico-geográficos son la base en las investigaciones de la geografía del paisaje y para el análisis espacial del territorio (Checa-Artasu y Sunyer, 2017, p. 128).

La idea del paisaje como geosistema existió en la geografía muchísimo antes de la formulación de la teoría general del sistema, pero fue hasta 1960 que se comenzó a trabajar con métodos sistémicos y el paisaje físico-geográfico se estudió como un



geosistema, al cual Víctor Sochava (geógrafo y biólogo ruso 1905-1978) la definió como una formación geográfica de diferentes escalas, resultado de la interrelación de los componentes naturales y humanos con un enfoque teórico-metodológico y una visión sistémica que permitía aproximarla a otras ciencias (Martínez y Bollo, 2023, p. 20).

Y es a través de cinco atributos básicos: estructura, funcionamiento, dinámica, desarrollo e información, que se permite establecer estructuras y relaciones entre los componentes del sistema facilitando su funcionamiento a través de la interacción de energía, materia e información entre estos componentes y otros sistemas (Preobrazhenskii, 1983 como se citó en Martínez y Bollo, 2023).

1.2.1.3 Ecología del paisaje y Geoecología

Desde la década de 1980, los avances tecnológicos, el desarrollo de sistemas de información geográfica y la percepción remota han dado a la geografía una mayor relevancia en el análisis espacial, algunas escuelas consideraron a la geografía como una disciplina integradora la cual tiene como objeto de estudio los procesos de interrelación entre la naturaleza y la sociedad, la manera de como el espacio natural se transforma en territorio a medida que la sociedad se va apropiando durante su proceso de ocupación y uso, con ello surgen nuevos paradigmas en la geografía desarrollándose la geoecología que tiene como antecedente la geografía del paisaje (Martínez y Bollo, 2023, p. 21).

El científico ruso Dokuchaev estableció los fundamentos de la Geoecología a finales del siglo XIX, utilizando un enfoque ecólogo-paisajístico para analizar el uso de la naturaleza, considerando siempre la influencia del ser humano y la sociedad; al evaluar el problema de la sequía en las tierras de Rusia que provocaban malas cosechas y hambrunas, Dokuchaev destacó la importancia del paisaje en la supervivencia humana y en las actividades productivas (Diakonov y Mamai, 2008, como se citó en Mateo *et al.*, 2012, p. 243).

Por su parte el geógrafo alemán Karl Troll propuso la creación de una ciencia enfocada en los complejos naturales, considerados como paisajes resultantes de las interacciones entre los seres vivos y su entorno. Inicialmente llamó a esta disciplina "ecología del paisaje" en 1939, pero la renombró como "geoecología" en 1966. Troll la veía como una ciencia que combina dos enfoques: el paisajístico, (analiza la diferenciación espacial de la superficie terrestre y las interacciones entre fenómenos naturales), así como el biológico-ecológico, (explora las interrelaciones funcionales de los fenómenos y complejos



naturales como sistemas ecológicos), considerando a la geoecología una "eco ciencia" compleja sobre la tierra y la vida que en ella se desarrolla (Mateo *et al.*, 2012).

A partir de los años 1960, la geoecología comenzó a precisarse como la ciencia del paisaje que analiza los complejos territoriales naturales, natural-antropogénicos y antropogénicos de la tierra a nivel global, regional y local. Se enfoca en estos complejos como medios de vida para organismos y humanos como el entorno de la actividad socioeconómica (Golubev, 2006)

La geoecología se ha consolidado como una disciplina interdisciplinaria que integra enfoques antropológicos y ecológicos. Se centra en el estudio de los paisajes, tanto naturales como modificados por la acción humana, con el objetivo de diseñar entornos de vida y trabajo que sean sostenibles y adecuados para las poblaciones humanas. Esta disciplina está orientada a la resolución de conflictos ambientales, como la recuperación y mejora de paisajes degradados, el uso sostenible de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y la geodiversidad, y la preservación de los valores culturales, estéticos y funcionales de los ecosistemas. Asimismo, la geoecología aborda la resolución de problemas derivados de catástrofes y crisis ecológicas, ya sean de origen natural o antropogénico, tanto a nivel local como global. Su principal objetivo es promover el desarrollo sostenible y la armonía entre las actividades humanas y el medio ambiente (Mateo *et al.*, 2012, p. 244).

Un rasgo distintivo de la geoecología es el sociocentrismo (es un enfoque en la que se priorizan los intereses antropológicos, por encima de otros elementos), donde el ser humano ocupa una posición privilegiada en los geosistemas como un elemento fundamental, debido a que este es una especie biológica y ser racional, además de un componente biosocial que juega un papel primordial en la transformación del medio geográfico. De acuerdo con Golubev y Timashev (2006; 2008) el hombre es un actor central en los sistemas paisajísticos y en la actividad socio-histórica y cultural (Mateo *et al.*, 2012).

Desde la década de 1990, la geoecología ha experimentado una notable evolución, enriquecida por la aplicación del pensamiento dialéctico al análisis espacial y ambiental (Mateo y Silva, 2006). La irrupción de los sistemas de información geográfica ha impulsado a la geografía a redefinir su rol en el análisis espacial, vinculándolo cada vez más estrechamente al análisis geográfico. Paralelamente, la creciente relevancia de las



problemáticas ambientales ha obligado a la disciplina a centrar su atención en la naturaleza como punto de partida, considerando la relación entre sociedad y naturaleza desde una perspectiva dialéctica (Buzai y Baxendale, 2006).

Las bases filosóficas de la geoecología del paisaje constituyen el fundamento teórico de la planificación del paisaje. Estas se originan en corrientes filosóficas clave como la metafísica de la naturaleza de Kant, la filosofía de la naturaleza de Schelling y el materialismo dialéctico de Marx y Engels. Dichas corrientes fueron las bases para concebir la naturaleza como un todo de forma orgánica, una idea que fue desarrollada en profundidad por Alexander von Humboldt en el siglo XIX. Sus trabajos fueron fundamentales para la formulación del concepto de paisaje, especialmente desde la perspectiva de las ciencias geográficas. Este concepto fue posteriormente enriquecido y desarrollado por diversas escuelas de pensamiento, entre las que destacan la escuela geográfico-paisajística alemana y rusa del siglo XIX, la concepción geosistémica soviética, la visión de Karl Troll en la intersección de geografía, biología y ecología y las ideas sobre espacio geográfico y territorio de las escuelas francesa, brasileña y la escuela de paisaje cultural de Carl Sauer.

Actualmente, la geoecología del paisaje se fundamenta en una concepción tradicional de las categorías analíticas geográficas, centrándose en la relación entre los conceptos de espacio natural, paisaje geográfico y paisaje cultural. La definición precisa de estos conceptos resulta fundamental para una comprensión de la región, el territorio y el medio geográfico (Golubev, 2006).

- Espacio o paisaje natural

Es un sistema dinámico que abarca el espacio y el tiempo, formado por la interacción de elementos naturales. Este sistema puede ser alterado por las acciones humanas y permite entender la naturaleza como un conjunto interconectado.

- Espacio geográfico

Constituye el escenario de las actividades humanas y su interacción con el medio ambiente. Su estudio debe abordar la compleja relación entre los diferentes componentes del paisaje a diferentes escalas y espacios (natural, productivo, social y hábitat), formando un sistema geográfico integrado (Mateo y Silva, 2006).

- Paisaje cultural

Constituye la forma y la expresión visible del espacio, producto de la interacción entre los



elementos naturales y la acción humana. Es una construcción multifacética, que involucra aspectos ecológicos, psicológicos y sociales, y representa la imagen que tenemos de un lugar. (Beringuier, 1991; Rua *et al.*, 2007).

- Territorio

Conjunto de espacios delimitados y gestionados, compuestos por una variedad de elementos naturales y sociales. En este espacio, la actividad humana y las fuerzas políticas y económicas ejercen un control significativo (Saquet, 2006).

De acuerdo con Mateo (2011), el paisaje, en su estado original, es un producto de la evolución geológica y la interacción de elementos naturales. Sin embargo, la intervención humana a través de objetos y tecnologías ha modificado significativamente estos paisajes, creando sistemas espacio-territoriales complejos. Estos nuevos paisajes, denominados antroponaturales, presentan una combinación de elementos naturales y artificiales, y su grado de transformación varía según la intensidad de la actividad humana (Martínez y Bollo, 2023, p. 23).

Desde el punto de vista sistémico, el geosistema natural se vuelve más complejo con la intervención humana, surgiendo los sistemas de tipo antroponatural (modificados) y antrópicos (transformados) resultado del proceso de antropogenización (Bollo, 2018). Surgen así los conceptos de geosistemas integrales o geoeosistemas, sistemas más complejos directamente relacionados con los paisajes antrópicos o culturales. A partir de la teoría de paisajes antroponaturales, la geoeología del paisaje se consolida como ciencia a finales del siglo XX, especialmente en Alemania y Rusia, basándose en la geografía de los paisajes y la ecología del paisaje (Martínez y Bollo, 2023).

La geoeología del paisaje enfoca su atención en el estudio de paisajes antrópicos o culturales, identificados como sistemas ambientales y denominados unidades geoeológicas o unidades ambientales. El geógrafo y biólogo alemán Carl Troll introdujo el concepto de geoeología del paisaje a finales de la década de 1960. Esta disciplina, que combina elementos de la geografía y la ecología, experimentó un notable desarrollo y consolidación durante la década de 1980.

Primeramente, fue denominada como ecogeografía y a diferencia de la ecología del paisaje que considera como unidad espacial de estudio al ecosistema, la geoeología tiene como unidad de estudio al geosistema (es la configuración del espacio geográfico a partir de factores bióticos y abióticos) combinando elementos paisajísticos (espaciales) y



ecológicos (funcionalidad), teniendo como objeto de estudio los procesos y consecuencias de las interrelaciones e interacciones de la naturaleza y sociedad sobre los espacios naturales y territorios originados (González, 2012).

La geoecología del paisaje adopta una perspectiva holística para estudiar los paisajes como sistemas complejos e interconectados. Esta ciencia integra conocimientos de diversas disciplinas para analizar las relaciones entre los componentes naturales y sociales del paisaje. Esta disciplina se enfoca en los paisajes como el entorno donde el ser humano vive y desarrolla sus actividades. Su objetivo es establecer principios teóricos y prácticos para gestionar los recursos naturales y promover un desarrollo sostenible (Andreiev, 2012).

Golubev (2006) la define como la ciencia que analiza los cambios provocados por el ser humano en el medio ambiente y las respuestas de los ecosistemas a estos cambios, tanto a nivel general como a nivel de sus componentes individuales (Martínez y Bollo, 2023).

Clasificar y cartografiar los paisajes permite comprender mejor la estructura, función y dinámica de los sistemas paisajísticos, tanto naturales como modificados por el ser humano. De acuerdo con Mateo (2011) los paisajes antropogénicos son sistemas organizados de manera jerárquica y de gran complejidad, debido a que sus rasgos naturales originales han sido transformados en cierto grado, modificando su estado actual el cual es influenciado de forma directa por los impactos antropogénicos que se desarrollan sobre el paisaje, siendo los procesos de antropogenización los que frecuentemente conducen a procesos de degradación del paisaje, provocando la pérdida de la capacidad de autorregulación y del potencial productivo del paisaje. Por lo que los sistemas degradados necesitan períodos largos para recuperarse, sin embargo, existen sistemas que han sido agotados por completo y que de forma natural es prácticamente irreversible su recuperación.

El medio ambiente, en el marco de la geoecología del paisaje, es un sistema dinámico y complejo, moldeado por la constante interacción entre procesos naturales y actividades humanas. La geoecología tiene un enfoque antropocéntrico, estudiando las regularidades de la interacción entre naturaleza y sociedad, basándose en el análisis espacial, temporal y estructuro-funcional de diferentes unidades espaciales y territoriales, como paisajes físico-geográficos, unidades geoecológicas y paisajes antropogénicos, que se diferencian de manera sistémica y jerárquica (Andreiev, 2012 como se citó en Bollo, 2018).



Por lo que la geoecología de los paisajes es una ciencia geográfica con múltiples aplicaciones, especialmente en investigaciones relacionadas con la planeación y gestión ambiental, ordenamientos ecológicos y territoriales, así como diagnósticos integrados; siendo una herramienta clave en el manejo integrado del paisaje (MIP), debido a su carácter multidisciplinario entre distintas ciencias naturales sociales y técnicas (Izakovicová *et al.*, 2019).

De esta manera el Manejo Integrado del Paisaje (MIP) es utilizado como una herramienta metodológica que busca aplicar el conocimiento geoecológico del paisaje a la gestión práctica y la toma de decisiones en planificación, basándose en fundamentos científicos. Este proceso interdisciplinario es complejo y requiere una profunda comprensión de la geoecología del paisaje, así como la capacidad de generar métodos aplicados para evaluar el sistema paisajístico (Martínez y Bollo, 2023).

1.2.2 Degradación Ambiental

De acuerdo con Herzer, (1996) la degradación se refiere a una "disminución en calidad a un nivel inferior" presentando "alteraciones en la homeostasis de un sistema", lo que provoca una reducción en su productividad y capacidad del sistema para mantener un equilibrio dinámico entre sus componentes (especies, recursos y procesos) frente a perturbaciones externas, como cambios en el clima o actividades humanas.

La degradación ambiental, según Fernández (1996), trasciende los límites de los ecosistemas naturales. Implica la alteración y deterioro de sistemas socioecológicos complejos, resultado de la interacción entre elementos naturales y construidos socialmente. Esta degradación no solo afecta los componentes físicos y biológicos del medio ambiente, sino también los aspectos sociales, culturales y económicos. Los procesos de urbanización, industrialización y consumo excesivo, entre otros, contribuyen a la degradación ambiental, generando impactos negativos en la calidad de vida de las poblaciones y en la salud de los ecosistemas.

Según Herzer y Gurevich (1996), es un proceso social que resulta de la interacción entre la sociedad y la naturaleza. El ser humano, a través de sus actividades, transforma los sistemas naturales, alterando su equilibrio y generando un ambiente degradado y vulnerable. Esta transformación, lejos de ser un proceso pasivo, es el resultado de decisiones sociales, económicas y políticas que priorizan ciertos intereses por encima de la conservación ambiental.



Desde una perspectiva ambientalista radical y purista, cualquier alteración de los elementos naturales se considera una forma de degradación. Sin embargo, la transformación de la naturaleza es, en cierta medida, inevitable debido al crecimiento poblacional y al desarrollo humano. Por ello es fundamental evaluar los impactos ambientales de las actividades humanas, asegurando que no se comprometa la capacidad de los ecosistemas para sostener la vida y los procesos ecológicos. Sin embargo, la expansión de la población, los cambios en el uso del suelo y el desarrollo económico a menudo conducen a una degradación ambiental considerable (Fernández, 1996).

La degradación ambiental es un proceso gradual y acumulativo, resultado de una serie de pequeños daños y transformaciones que afectan la capacidad del sistema natural para responder a perturbaciones. Este deterioro progresivo compromete el funcionamiento del ecosistema, reduciendo su resiliencia, diversidad y capacidad para proporcionar servicios ambientales esenciales (PNUMA, 2000).

La degradación implica la disminución en cantidad y calidad de cualquier conjunto, ya sea de naturaleza biológica, suelo, ambiental, hídrica etc., teniendo como principal factor las actividades humanas, aunque también puede deberse a fenómenos naturales, como las erupciones volcánicas e incendios (Aguilera *et al.*, 1991, como se citó en Amestoy, 2001). El potencial de un paisaje está determinado por las interrelaciones entre sus componentes y su interacción con otros paisajes. Sin embargo, este potencial se encuentra limitado por la capacidad de los sistemas naturales para mantener un equilibrio dinámico. El uso inadecuado o irracional de los recursos puede superar la capacidad de asimilación del paisaje, generando desequilibrios que deterioran sus componentes y reducen su capacidad de regulación (Delgado *et al.*, 2011).

Cuando un paisaje tiene un alto potencial, puede sostener diversas actividades humanas y ecológicas sin grandes afectaciones. Sin embargo, si ese paisaje es explotado más allá de su capacidad o mal gestionado, se produce la degradación ambiental, que reduce el valor y la funcionalidad del paisaje, afectando su productividad, biodiversidad y capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos.

1.2.2.1 Degradación geoecológica del paisaje

La crisis ambiental actual es resultado de la compleja interacción entre procesos naturales y, principalmente, actividades humanas. Estas transformaciones del ambiente generan



procesos de degradación y deterioro que afectan múltiples dimensiones. Según Mateo y Ortiz (2001), estas dimensiones pueden clasificarse en tres categorías:

- Degradación socioambiental: Relacionada con el deterioro de las condiciones de vida de las personas.
- Degradación económico-ambiental: Asociada al estado de los recursos naturales y su impacto en la actividad productiva.
- Degradación geoambiental o geocológica: Alteración del espacio físico y los procesos naturales.

La degradación de los paisajes es un componente fundamental de la degradación geocológica. Su estudio nos permite analizar la magnitud y las tendencias de las crisis ambientales.

Tricart y Kiewiet (1992) realizaron intentos para conceptualizar la degradación geocológica, explicando la interrelación que existen entre los procesos degradantes hacia los elementos o componentes naturales, generando mayores problemáticas en cadena.

Por su parte Ortiz y Oropeza (1992) hacen un análisis enfocado a riesgos destructivos, analizando la formación y distribución de hechos o fenómenos en relación con patrones de organización espacial, vínculos funcionales, procesos territoriales e interrelación entre sistemas de tipo perturbadores-perturbados para entender el análisis de procesos degradantes como inundaciones, hundimientos, movimientos de ladera etc.

Algunos autores, como Marinov (1979) y Widacki (1986) citados por Mateo y Ortiz (2001), proponen entender la degradación geocológica desde una perspectiva sistémica, analizando los flujos de energía, materia e información a través del tiempo y evaluando el estado funcional de los ecosistemas.

Existe otro criterio que se creó para caracterizar la degradación geocológica en Rusia, basado en el criterio de peligrosidad ecológica, considera a los factores de peligro que contribuyen a la creación de amenazas y que estas a su vez empeoran la situación ambiental a nivel regional y global y el estado de los sistemas naturales, enfocado en los afectos hacia la sociedad (Runova *et al.*, 1994).

Se propone una nueva perspectiva, la "situación ecológico-paisajista", que complementa los abordajes tradicionales. Esta perspectiva, basada en el enfoque de "situación geográfica ambiental", analiza a lo largo del tiempo el conjunto de impactos de los



factores bióticos y abióticos que interactúan en el geosistema, con el objetivo de comprender las crisis y el estado ambientales actuales (Sdasiuk y Shestakov, 1994; Kotliakov *et al.*, 1995).

Glunchko y Ermakov, (1998) mencionan que la degradación geoecológica es el análisis del estado y/o calidad del geosistema en un momento determinado, centrado su análisis en la relación que existe con el hombre, los sistemas biológicos y vegetación. Sin embargo, todos los autores mencionados anteriormente consideran que los estudios de degradación geoecológica son de tipo sistémico, que tienen una biocéntrica enfocada en sistemas biológicos, ecobiológicos o bio-antropocéntrica, cuando se trata de entender el estado de los ecosistemas sobre las poblaciones humanas (Mateo y Ortiz, 2001, p. 259).

El paisaje es el objeto de estudio central en el análisis de la degradación. Para comprender este fenómeno, Mateo y Ortiz (2001) definen la degradación geoecológica como:

Es la pérdida de atributos y propiedades sistémicas que garantizan el cumplimiento de determinadas funciones, incluidas las socioeconómicas, y el potencial, los mecanismos de autorregulación y regeneración, así como de la capacidad productiva de los paisajes, por medio de la aparición y/o intensificación de los procesos geoecológicos. (p. 13)

El paisaje es concebido como un sistema de alta complejidad, compuesto por una diversidad de subsistemas. Para poder entender su fundamento geoecológico es necesario conjugar el paisaje natural (geología, relieve, suelos, vegetación, fauna que forman parte de los elementos verticales del paisaje) así como el antropo-natural, social y cultural, donde se tiene implícita una interacción, concibiendo al paisaje como un espacio físico, sistema de recursos naturales, medio de vida, conformado como un binomio inseparable sociedad-naturaleza (Mateo, 2004).

El estado de los elementos naturales dentro de un paisaje está fuertemente influenciado por los sistemas de producción económica y cultural de las sociedades humanas (Bertrand y Bertrand, 1992). Al analizar el paisaje como un sistema total, donde cada elemento y el conjunto interactúan de manera armónica, se observa que estos geosistemas son dinámicos, abiertos y poseen una unidad genética. Las partes que componen estos sistemas, denominadas "unidades horizontales", se encuentran interrelacionadas con otros sistemas.



1.2.3 Indicadores Ambientales

Un indicador es una medida o valor que permite describir y cuantificar un fenómeno, condición o proceso específico. Su principal función es facilitar la comprensión y evaluación de una situación, proporcionando información objetiva y relevante para la toma de decisiones. En diversos campos, como la economía, la salud y el medio ambiente, los indicadores se utilizan para analizar tendencias, medir el progreso y comparar diferentes escenarios. En el ámbito ambiental, por ejemplo, se emplean para evaluar fenómenos como el clima, la pérdida de suelos y el riesgo para las especies entre otros elementos (Semarnat, 2005).

El Ministerio de Medio Ambiente de Canadá define los indicadores ambientales como estadísticas clave que reflejan el estado ambiental, la sostenibilidad de los recursos naturales y su relación con las actividades humanas (Environment Canadá, 1995). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ofrece una definición similar, describiéndolos como parámetros o valores que proporcionan información sobre el estado del ambiente (Semarnat, 2005).

El Ministerio de Medio Ambiente de Canadá define los indicadores ambientales como estadísticas clave que reflejan el estado ambiental, la sostenibilidad de los recursos naturales y su relación con las actividades humanas (Environment Canadá, 1995). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ofrece una definición similar, describiéndolos como parámetros o valores que proporcionan información sobre el estado del ambiente (Semarnat, 2005). Por su parte, el Florida Center for Public Management los define como componentes que describen, analizan y presentan información científica sobre las condiciones y tendencias ambientales (Florida Center for Public Management, 1998).

A través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se ha reconocido a nivel mundial la importancia de monitorear la dimensión ambiental, donde se requiere de una recolección regularización y estandarización de datos, utilizando estadísticas e indicadores temporales (UN Environment, 2019, p. 93) creando datos geoespaciales y utilizando las ciencias geotecnológicas para la espacialización de la información. Los cuales ayudan a dar seguimiento al impacto antropogénico que se tiene al medio ambiente, por ello es importante contar con indicadores que puedan medir el estado ambiental para garantizar el desarrollo a nivel regional y local, así como las



consecuencias de una buena o mala instrumentación de políticas y efectividad de programas que se han aplicado, con el objetivo de garantizar la sustentabilidad en el uso de los recursos (López y Rodríguez, 2009).

Los indicadores desempeñan un papel crucial en el monitoreo y evaluación de procesos sociales y naturales. Al proporcionar una visión cuantitativa y contextualizada de la realidad, estos indicadores permiten identificar tendencias, evaluar el impacto de las intervenciones y tomar decisiones más efectivas. Tanto en el ámbito ambiental como en el económico y social, los indicadores son herramientas esenciales para generar evidencias científicas que sustenten la toma de decisiones, especialmente en contextos caracterizados por la incertidumbre y la complejidad (Quiroga, 2009).

Los avances en la recopilación de estadísticas relacionadas con el ambiente, los datos geoespaciales y la utilización de los sistemas de información geoespacial contribuyen al monitoreo del ambiente. Sin embargo, existen aún brechas metodológicas en la medición de ciertos temas ambientales, ya que la información es limitada, la mayoría se encuentra desactualizada o es de diferente escala (UN Environment, 2019, p. 92).

Afortunadamente los sistemas de información ambiental, como bases de datos, estadísticas e indicadores están siendo cada vez más elaborados y difundidos, aunque su desarrollo varía según el avance de cada país. Las instituciones reconocen la importancia de estos sistemas y la necesidad de cooperación interinstitucional; por lo que el progreso en estadísticas e indicadores ambientales dependerá principalmente de la voluntad política para asignar los recursos necesarios, más que de avances conceptuales y metodológicos. Aunque ha habido avances significativos en la última década, la información ambiental disponible en los países de América Latina y el Caribe sigue siendo heterogénea, dispersa y discontinua en muchos casos, por lo que hace falta una integración de manera sistemática para que impacte en la toma de decisiones a nivel central y regional (Quiroga, 2009, p. 13).

1.2.3.1 Antecedentes de Indicadores Ambientales a nivel Internacional

A nivel internacional, se han desarrollado numerosos indicadores ambientales a través de diversas organizaciones y en diferentes escalas. Algunos trabajos destacados y recopilados por Gao (2010), enfocados en indicadores de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) son:

- Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable: Elaboró una lista



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

de 134 indicadores de desarrollo sustentable vinculados a la Agenda 21 incluyendo características económicas, sociales, institucionales y ambientales en 1996, y posteriormente un sistema de 57 indicadores en 2001.

- Organización Mundial de la Salud: Propuso indicadores ambientales y de salud, incluyendo un sistema para monitorear la salud en países de la Unión Europea en 2003 y una propuesta piloto con 45 indicadores en 2004.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE): En 1991, desarrollaron indicadores clave en áreas como agricultura, energía, transporte y consumo sustentable y han liderado el desarrollo de indicadores ambientales, estableciendo un enfoque que conecta los retos y oportunidades ambientales con los procesos económicos.
- Agencia Europea de Medio Ambiente: Implementó indicadores comunes para Europa, incluyendo un sistema de 10 indicadores locales de sustentabilidad.
- Eurostat: Creó un sistema de indicadores de desarrollo sustentable que se relaciona con la estrategia de la Unión Europea.

Desde la década de los noventa, cuando se gestaron las primeras metodologías para crear indicadores ambientales, se ha observado un creciente interés a nivel internacional por su desarrollo y aplicación. Organizaciones como la OCDE y la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (CDS) han desempeñado un papel fundamental en este proceso, promoviendo enfoques distintos. La OCDE se ha centrado en indicadores sectoriales y ambientales, mientras que la CDS ha adoptado una perspectiva más amplia, abarcando las dimensiones social, económica, ambiental e institucional del desarrollo sostenible. Algunos autores han denominado a estos enfoques como 'indicadores de primera generación' y 'indicadores de segunda generación', respectivamente (Semarnat, 2005).

A pesar de dos décadas de desarrollo de indicadores ambientales, se ha evidenciado que no es necesario contar con un gran número de ellos para realizar un diagnóstico preciso y evaluar el impacto ambiental de un área específica. La clave reside en seleccionar cuidadosamente un conjunto reducido de indicadores, elaborados y validados rigurosamente, que proporcionen la información esencial (Perevochtchikova, 2013, p. 295).

Los indicadores ambientales suelen ser más efectivos cuando se combinan con otros



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

indicadores. Por ejemplo, para obtener una visión completa de la biodiversidad nacional, ya que no es suficiente con enumerar las especies en peligro; también se debe considerar la extensión de la vegetación remanente, así como aspectos relacionados al crecimiento de la población y la calidad del agua entre otros elementos. Para superar las limitaciones que generan los indicadores aislados, se han creado índices ambientales que integran varios parámetros en una única métrica, como el Índice del Planeta Viviente (Living Planet Index), la Huella Ecológica (Ecological Footprint) y el Índice de Sostenibilidad Ambiental (Environmental Sustainability Index). No obstante, los índices han recibido críticas debido a la selección de variables, los métodos de cálculo y la validez de sus comparaciones (López y Rodríguez, 2009), por lo que el uso de indicadores ambientales depende de los objetivos planteados, alcances y limitantes.

En América Latina, se han realizado diversos estudios para evaluar el estado ambiental en distintos países, como los trabajos de Espinosa y Alzina (2001), BID (2002), Soares y Meneses (2002). Estos estudios abarcan una amplia gama de temas, desde el crecimiento demográfico y la urbanización hasta aspectos socioeconómicos como ingresos, pobreza, educación y salud. Asimismo, analizan cuestiones ambientales como la disponibilidad y calidad del agua, la gestión de residuos, la calidad del aire, la biodiversidad y el estado del suelo. Además, exploran los desafíos del cambio climático, incluyendo emisiones de contaminantes, consumo energético, desastres naturales, prácticas agrícolas y cambios en el uso del suelo (Perevochtchikova, 2013, p. 29).

Desde mediados de la década de 1990, la comunidad internacional ha reconocido la necesidad de contar con información confiable para evaluar los avances hacia el desarrollo sostenible. En este contexto, el CIAT y el PNUMA emprendieron en 1995 una iniciativa pionera en América Latina y el Caribe, con el objetivo de desarrollar un sistema de indicadores que permitiera monitorear el estado del medio ambiente y los progresos hacia el desarrollo sostenible. Este proyecto, conocido como "Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad: Una Visión para América Latina y el Caribe" (Winograd *et al.*, 1995), marcó un hito en la construcción de capacidades para la gestión ambiental en la región.

Los indicadores desempeñan un papel fundamental en la evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe. La CEPAL, a través de sus proyectos de evaluación, busca proporcionar herramientas para medir la intensidad y eficiencia de las actividades humanas en el contexto de los ecosistemas. Estos indicadores, basados en experiencias



internacionales y adaptados a las realidades regionales, permiten comprender las interrelaciones entre los subsistemas ecológico, económico, social e institucional, y orientar la formulación de políticas públicas hacia un desarrollo sostenible (Semarnat, 2005).

1.2.3.2 Indicadores Ambientales en México

La incorporación de indicadores ambientales en México se remonta a 1993, cuando el INE participó en un taller regional en colaboración con Canadá y Estados Unidos. Este evento fue fundamental, ya que el estudio resultante, "An Approach towards Environmental Indicators for Mexico 1994", sirvió como punto de partida para la construcción de sistemas de indicadores ambientales en el país, inspirándose en experiencias internacionales (Rodríguez, 2008; López y Rodríguez, 2008).

México adoptó el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) de la OCDE para desarrollar su sistema de indicadores ambientales a partir de 1997. La publicación de 'Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México' marcó el inicio de este proceso. Posteriormente, el 'Reporte 2000' amplió la cobertura temática del sistema, incorporando aspectos como agua, bosques, suelos y pesca, y adoptando un enfoque de sostenibilidad en los sectores productivos (Perevochtchikova, 2013, p. 297).

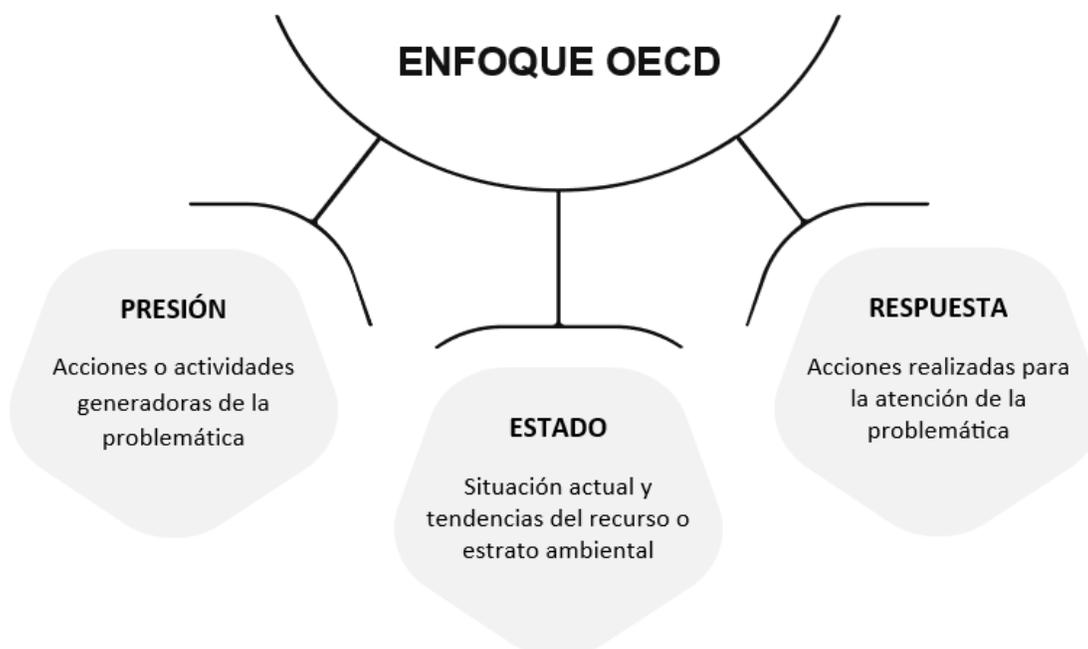
El Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER): propuesto por Friend y Rapport (Pino, 2001) y posteriormente promovido por la OCDE, establece una relación causal entre las actividades humanas y el estado del medio ambiente. Las actividades humanas generan presiones sobre el entorno natural, lo que a su vez afecta la calidad y cantidad de los recursos naturales. La sociedad responde a estas presiones implementando políticas y medidas ambientales. Este modelo se articula en torno a preguntas básicas como: ¿Qué está impactando al ambiente? ¿Cómo está cambiando su estado? ¿Qué acciones se están tomando al respecto?

El modelo resulta de gran ayuda para visualizar las relaciones complejas que se llevan a cabo en el ecosistema entre la sociedad y la economía con el ambiente y los impactos que esto generaría (OECD, 2002).

En torno a ello se muestra un esquema (Figura 2) que muestra la relación entre presiones, estado y respuesta que engloba la interacción humana-ambiente, mostrando lo complejo que pueden resultar este tipo de interacciones.



Figura 2. Enfoque Presión-Estado-Respuesta



Fuente: Semarnat, 2005.

La perspectiva sistémica y ecosistémica ha influido significativamente en la evolución del modelo PER en las últimas décadas. Este modelo, al reconocer la complejidad de las interacciones entre los componentes ambientales, permite una adaptación a diferentes contextos. La consideración de las interrelaciones entre variables es fundamental para comprender la dinámica de los sistemas ambientales (Polanco, 2006). Algunas características de los indicadores que utiliza el modelo PER son:

Indicadores de presión: miden las fuerzas directas o indirectas que ejercen un impacto sobre el medio ambiente. Estas fuerzas, relacionadas con los patrones de producción y consumo, se manifiestan a través de actividades específicas y tendencias ambientales significativas. Reflejan la intensidad con la que se utilizan los recursos naturales y se generan emisiones contaminantes, así como los cambios que experimentan estos indicadores a lo largo del tiempo.

Indicadores de estado: ofrecen una fotografía de la salud ambiental, evaluando la calidad y cantidad de los recursos naturales. Estos indicadores reflejan los objetivos finales de las políticas ambientales y permiten conocer el estado general del medio ambiente en un momento dado, así como su evolución a lo largo del tiempo. Abarcan una amplia gama de aspectos, desde las concentraciones de contaminantes en el aire y el agua hasta la



diversidad biológica y la disponibilidad de recursos naturales.

Indicadores de respuesta: Estos indicadores reflejan la manera en que la sociedad responde a los desafíos ambientales, tanto a nivel individual como colectivo. Abarcan desde esfuerzos para prevenir y mitigar los impactos negativos de las actividades humanas hasta acciones para reparar los daños ya causados y conservar los recursos naturales. Algunos ejemplos incluyen las inversiones en protección ambiental, los incentivos fiscales, el desarrollo de mercados para bienes y servicios ambientales, y las reducciones en las emisiones contaminantes. En conjunto, estos indicadores ofrecen una visión general de las respuestas sociales ante los problemas ambientales.

Modelo Fuerza Motriz – Presión – Estado – Impacto - Respuesta (FPEIR):

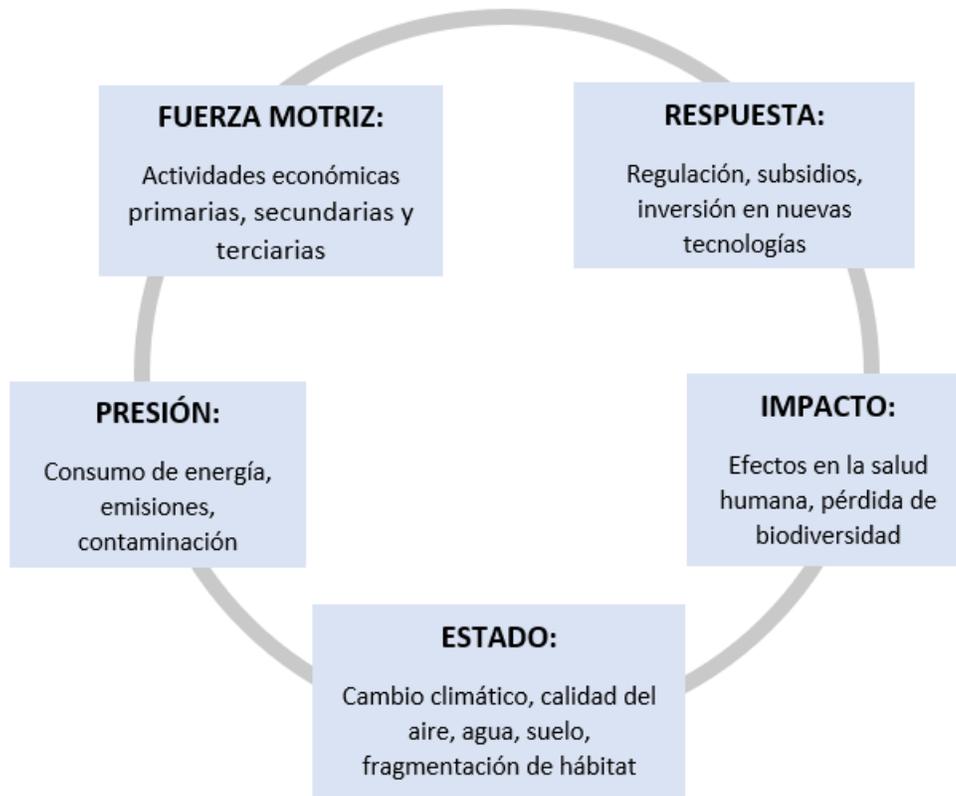
Otro modelo de gran relevancia es el de Fuerza Motriz – Presión – Estado – Impacto – Respuesta (FPEIR), ampliamente utilizado en el monitoreo y evaluación ambiental (Semarnat, 2005). Este modelo destaca cómo las fuerzas motrices, muchas veces de origen social, generan presiones sobre el medio ambiente, lo que a su vez provoca cambios en su estado y genera impactos. Es importante reconocer que los desafíos ambientales están estrechamente vinculados a las desigualdades sociales, como las relacionadas con el género, la raza, la etnia y los ingresos (UN Environment, 2019, p. 93). Este marco conceptual fue desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente a finales de los años 90. Este modelo amplía el modelo PER al incluir el concepto de "impacto", lo que permite evaluar las consecuencias de las presiones sobre el estado del medio ambiente. El objetivo principal del modelo FPEIR es facilitar la identificación de las causas de los problemas ambientales y establecer prioridades para las acciones de gestión, a través de la formulación de indicadores relevantes (Polanco, 2006).

El modelo DPSIR describe la compleja relación entre la humanidad y su entorno. Tendencias sectoriales, o fuerzas motrices, ejercen presiones sobre el medio ambiente, alterando su estado. La sociedad, a su vez, reacciona implementando medidas para revertir o mitigar estos cambios, actuando tanto sobre las causas directas (presiones) como sobre las indirectas (fuerzas motrices). La interacción entre las fuerzas motrices económicas y las presiones ambientales es dinámica y multifacética, influyéndose mutuamente y siendo modulada por las respuestas sociales (Polanco, 2006).

La Figura 3 ilustra gráficamente estas interrelaciones (Semarnat, 2005).



Figura 3. Modelo Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta



Fuente: Center for Sustainable Transportation, IBI Group and Metropole Consultants. Sustainable Transportation Performance Indicators Project. USA. 2002, como se citó en Semarnat, 2005.

Inicialmente fue diseñado como un marco para la presentación de información ambiental, sin embargo, es entendido como una cadena causal que describe las relaciones entre sociedad y ambiente, proporcionando una visión integral de la problemática ambiental y las políticas correspondientes.

Los informes ambientales de México han evolucionado significativamente. En 2003 se presentó una actualización de las estadísticas ambientales, mientras que en 2008 la SEMARNAT profundizó en el análisis con la publicación de los “Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México”. Este último documento ofreció una visión más detallada del estado ambiental del país, abarcando temas como agua, atmósfera, biodiversidad y residuos a través de 140 indicadores y 450 variables adicionales (Rodríguez Ortega, 2008; Vidal y Franco, 2009).

A pesar de estos progresos, la selección de indicadores para la Evaluación de Impacto



Ambiental (EIA) puede variar dependiendo de las características específicas de cada lugar. Por ello se recomienda adaptar los indicadores a las condiciones locales, basándose en lineamientos generales ajustados a las experiencias y necesidades particulares de cada región (Gómez Orea, 2003; Donnelly *et al.*, 2006 en Perevochtchikova, 2013).

Para gestionar la gran cantidad y diversidad de información utilizada en la construcción de indicadores ambientales, es fundamental contar con un marco conceptual sólido. Este marco permite organizar y facilitar la interpretación de dicha información (OCDE, 2003 como se citó en Quiroga, 2001). En este sentido, la SEMARNAT, a través de la Dirección General de Estadística e Información Ambiental, ha desarrollado el **Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA)**, el cual forma parte del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN).

El Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) fue creado con el propósito de integrar y difundir información confiable y oportuna sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales de México. Esta información resulta fundamental para la toma de decisiones informadas tanto en el ámbito gubernamental como en la sociedad en general. El SNIA se basa en el modelo presión-estado-respuesta (PER), que establece una relación entre las actividades humanas, sus impactos ambientales y las respuestas de la sociedad. Se organiza en una estructura piramidal compuesta por tres conjuntos de indicadores: básico, intermedio y clave. Cada conjunto ofrece un nivel de detalle distinto, abarcando desde más de 100 indicadores en el conjunto básico hasta 15 indicadores clave. Estos indicadores, que pueden ser exclusivos o compartidos, se nutren de los datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), permitiendo así una visión integral del estado ambiental del país (López y Rodríguez, 2009).

Los indicadores ambientales, junto con otras herramientas de evaluación, son elementos clave en la gestión ambiental. Su desarrollo es un proceso continuo que evoluciona en respuesta a las necesidades emergentes. En un contexto social cada vez más participativo, la demanda de información objetiva y confiable sobre el estado del medio ambiente ha incrementado la relevancia de estos indicadores. Además, su construcción ha contribuido de manera significativa a la organización y sistematización de la información ambiental, requiriendo de un esfuerzo sostenido en la recopilación y análisis



de datos (Semarnat, 2005).

1.2.4 Marco Jurídico Ambiental

El marco jurídico en materia ambiental y protección contra la degradación ambiental en México es extenso y complejo, abarcando una serie de leyes, normas y regulaciones que operan tanto a nivel federal como estatal y municipal. Estas leyes buscan preservar los recursos naturales, proteger la biodiversidad, y mitigar los efectos adversos del cambio climático, entre otros objetivos. A continuación, se ofrece un análisis de este marco legal.

1.2.4.1 Nivel Federal

- **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

A nivel federal, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece las bases para la protección del medio ambiente, en sus artículos 4, 25, 27 y 73. De acuerdo con su última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 22 de marzo de 2024.

Artículo 4: en su párrafo quinto, establece el derecho de toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, otorgando a las autoridades la obligación de garantizar el respeto a este derecho. Por lo que el daño y deterioro ambiental generarán responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley. Este precepto constitucional es la base legal para la protección ambiental en México, subrayando la importancia del medio ambiente no solo para la calidad de vida, sino también para el desarrollo integral de la persona.

La inclusión de este derecho en la Constitución implica que cualquier acto que atente contra la salud del entorno puede ser considerado una violación a los derechos humanos, lo que eleva la relevancia de la protección ambiental en el orden jurídico mexicano.

Artículo 25: en el párrafo cuarto, se refiere al desarrollo económico sustentable y establece que el Estado debe planear, conducir, coordinar y orientar la actividad económica nacional para el desarrollo sustentable, de forma que se proteja el medio ambiente y se aseguren los recursos naturales para las futuras generaciones.

Artículo que es crucial, ya que vincula directamente el desarrollo económico con la protección del entorno natural, afirmando que el crecimiento económico no debe ocurrir a expensas del medio ambiente. La idea de desarrollo sustentable implica que se deben considerar las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad



de las futuras para satisfacer las suyas, un principio que está en el núcleo de las políticas ambientales contemporáneas.

Artículo 27: en sus párrafos tercero y cuarto, establecen la propiedad de la nación sobre los recursos naturales y dispone que las expropiaciones solo podrán hacerse por causa de utilidad pública, según lo establecido por las leyes y mediante indemnización. Además, este artículo contiene disposiciones sobre la protección y conservación de los recursos naturales, y el uso del suelo, agua y bosques, siempre orientados al bien común y al desarrollo sustentable.

Este artículo es particularmente significativo en un país con una gran riqueza natural como México, ya que establece que los recursos naturales deben ser utilizados de manera que favorezca a toda la sociedad y no solo a intereses privados. Además, subraya la responsabilidad del Estado en la conservación y manejo adecuado de estos recursos, asegurando que su explotación no resulte en la degradación ambiental.

Artículo 73: fracción XXIX-G, otorga al Congreso de la Unión la facultad de expedir leyes en materia de protección al ambiente y preservación del equilibrio ecológico. Este artículo es esencial porque proporciona la base legal para la creación de un marco normativo que aborde los diversos desafíos ambientales que enfrenta el país.

A través de este precepto, el Congreso puede legislar en cuestiones críticas como la protección de la biodiversidad, la regulación de emisiones contaminantes, la gestión de residuos y la ordenación territorial, entre otras. De esta manera, el artículo 73 asegura que el Estado pueda adaptarse a las nuevas realidades ambientales mediante la creación de leyes actualizadas y pertinentes.

- **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)**

La LGEEPA establece los principios generales para la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como para la protección del ambiente en todo el país. Esta ley abarca diversos aspectos, incluyendo la evaluación del impacto ambiental, la ordenación ecológica del territorio, la regulación de emisiones contaminantes, y la protección de áreas naturales. A través de sus artículos 1, 2, 15, 28, 45 y 78, la ley establece un marco integral que busca garantizar un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación del entorno natural (H. Congreso de la Unión, 2024b).

Artículo 1: de la LGEEPA establece los objetivos generales de la ley, que incluyen la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente.



Este artículo subraya que la ley tiene como fin principal prevenir la contaminación aire, agua y suelo, para garantizar que el uso y aprovechamiento de los recursos naturales se realicen de manera sustentable.

Artículo 2: menciona al ordenamiento ecológico del territorio como un instrumento de política ambiental de gran utilidad pública, así como el establecimiento, protección y preservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) incluidas las zonas de restauración ecológica, para la ejecución de acciones de protección y preservación de la biodiversidad, como lo son las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

Artículo 15: este artículo establece los principios rectores que establecen la formulación y conducción de la política ambiental en México, así como la creación de normas oficiales, se basan en una serie de principios fundamentales. Primero, se reconoce que los ecosistemas son un patrimonio común de la sociedad, esencial para la vida y la productividad del país. Por lo tanto, su aprovechamiento debe garantizar una productividad sostenida que respete su equilibrio e integridad. Tanto las autoridades como los particulares tienen la responsabilidad de proteger este equilibrio ecológico.

Quienes realicen actividades que impacten el ambiente están obligados a prevenir, minimizar o reparar los daños, asumiendo los costos correspondientes, y deben ser incentivados a proteger el ambiente y a mitigar los efectos del cambio climático, por lo que la prevención es clave para evitar desequilibrios ecológicos, ya que toda persona tiene derecho a un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar, por lo que las autoridades deben tomar medidas para garantizar este derecho.

Artículo 28: regula la evaluación del impacto ambiental (EIA), siendo un instrumento clave para la protección del medio ambiente. Este artículo establece que las obras y actividades que puedan causar un desequilibrio ecológico significativo o que generen contaminación deben someterse a una EIA antes de su realización; por lo que esta es una herramienta preventiva que permite identificar, predecir y mitigar los impactos ambientales negativos de proyectos de desarrollo, asegurando que se tomen las medidas necesarias para evitar la degradación ambiental.

Artículo 45: habla de la importancia de establecer ANP para preservar los ambientes naturales representativos de distintas regiones biogeográficas y ecológicas, así como los ecosistemas más frágiles y sus funciones, para mantener el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos. Las ANP buscan salvaguardar la diversidad genética



de las especies silvestres, asegurando la protección y el uso sustentable de la biodiversidad nacional, en especial de las especies en peligro de extinción, amenazadas, endémicas, raras y con protección especial, ya que se garantiza la preservación y el uso sustentable de los ecosistemas, sus elementos y funciones. Para fomentar la conservación, las autoridades ofrecerán estímulos fiscales y compensaciones económicas a los propietarios y titulares de derechos sobre tierras, aguas y bosques en estas áreas protegidas.

Artículo 78: en áreas afectadas por degradación, desertificación o desequilibrios ecológicos graves, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, deberá crear y ejecutar programas de restauración ecológica para recuperar las condiciones naturales. Estos programas deben involucrar a propietarios, comunidades, organizaciones y gobiernos locales. Si se enfrentan procesos de degradación severa, la Secretaría puede solicitar al Ejecutivo Federal la declaración de zonas para restauración ecológica, previa elaboración de estudios justificativos. Las declaratorias se publicarán en el Diario Oficial de la Federación y se registrarán en el Registro Público de la Propiedad. Estas declaratorias deben especificar la delimitación de la zona, las acciones necesarias para la restauración, las condiciones de uso del suelo y recursos naturales, los lineamientos para la elaboración y ejecución del programa, y los plazos para su implementación.

Estos artículos representan algunos aspectos fundamentales de la LGEEPA en relación con la protección y la conservación del ambiente en México, abarcando desde la regulación de actividades contaminantes hasta la creación y manejo de áreas naturales protegidas.

- **Ley General de Cambio Climático**

La Ley General de Cambio Climático (LGCC), publicada originalmente en 2012 y con su última reforma en abril de 2024, establece un marco legal integral para enfrentar los desafíos del cambio climático en el país. La ley establece políticas y estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al cambio climático. Esto incluye la promoción de energías renovables, la eficiencia energética y la implementación de prácticas sustentables en sectores como la agricultura, la industria y el transporte. La mitigación de emisiones está directamente relacionada con la protección del ambiente, ya que busca minimizar los impactos negativos que las actividades humanas tienen sobre el clima y sobre los ecosistemas.



La ley también pone un fuerte énfasis en la adaptación de los ecosistemas y las comunidades al cambio climático, considerando la protección de áreas vulnerables, la restauración de ecosistemas degradados, la conservación de la biodiversidad y la implementación de medidas para reducir la vulnerabilidad de las comunidades ante fenómenos climáticos extremos. Estas acciones buscan asegurar la resiliencia de los ecosistemas y la continuidad de los servicios ambientales que brindan.

Reconociendo la importancia de los ecosistemas y los recursos naturales como parte esencial en la lucha contra el cambio climático. Por ejemplo, la conservación de bosques y selvas es una prioridad debido a su capacidad para capturar y almacenar carbono, lo que contribuye a mitigar el cambio climático. Además, la ley promueve la gestión sustentable de los recursos naturales para evitar su degradación y asegurar su disponibilidad para futuras generaciones (H. Congreso de la Unión, 2024c).

- **Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable**

Esta ley promueve la conservación de los recursos forestales, la restauración de áreas degradadas y la prevención de actividades que perjudican el ambiente como la tala ilegal y los incendios forestales, a través de un marco legal para la conservación, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales de manera que se garantice su sustentabilidad sin comprometer la regeneración natural de los bosques y los servicios ambientales que estos proporcionan.

La ley promueve el aprovechamiento de los recursos forestales de manera sustentable, para continuar proporcionando servicios ambientales, como la captura de carbono, regulación del ciclo hidrológico y la conservación de la biodiversidad. Esta ley acentúa la importancia de restaurar los ecosistemas forestales que han sido degradados por actividades humanas o desastres naturales, para restablecer la salud y la funcionalidad de los ecosistemas forestales.

La LGDFS reconoce la importancia de la participación de las comunidades locales, incluyendo los pueblos indígenas, en la protección y manejo de los recursos forestales. Fomenta la participación social en la toma de decisiones relacionadas con la conservación y el aprovechamiento de los recursos forestales, asegurando que las prácticas sean culturalmente apropiadas y ambientalmente responsables (H. Congreso de la Unión, 2024d).



- **Ley Federal de Responsabilidad Ambiental**

Establece un marco legal para garantizar que quienes causen daños al ambiente asuman la responsabilidad de prevenir, reparar, y, en su caso, compensar dichos daños. La ley se enfoca en la protección del medio ambiente al establecer mecanismos legales que obligan a las personas físicas o morales que realicen actividades que puedan causar daños ecológicos a tomar medidas preventivas y a responder por las afectaciones que generen.

La ley regula tanto las acciones preventivas como las de reparación, estableciendo que cualquier persona que cause daño al ambiente está obligada a restaurar el entorno a su estado original, si es posible, o a compensar el daño causado cuando la restauración no sea factible. Además, establece que las autoridades tienen el poder de imponer sanciones y exigir la reparación del daño, así como de iniciar acciones legales en caso de incumplimiento.

También se contempla la participación de la sociedad civil, permitiendo que cualquier persona, organización, o entidad pueda denunciar daños ambientales y exigir la responsabilidad correspondiente, promoviendo la justicia ambiental y asegurando que los costos de la degradación ambiental no recaigan sobre la sociedad en general, sino sobre quienes causan el daño. En resumen, esta ley es una herramienta clave para la protección ambiental en México, ya que asegura que las actividades humanas sean responsables y sostenibles, protegiendo así los recursos naturales y la calidad de vida de la población (H. Congreso de la Unión 2021).

- **Reglamentos Federales**

En México, existen varios reglamentos a nivel federal que se enfocan en la protección al ambiente, estableciendo normas y procedimientos para asegurar el cumplimiento de las leyes ambientales. A continuación, se mencionan algunos de los reglamentos más relevantes en materia ambiental:

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental: este reglamento desarrolla las disposiciones de la LGEEPA, estableciendo las normas para la preservación y restauración del equilibrio ecológico, la protección al ambiente, y el manejo de recursos naturales. Incluye regulaciones sobre evaluación de impacto ambiental, áreas naturales protegidas, y prevención y control de la contaminación (H. Congreso de la Unión, 2014c).

Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable: regula la



conservación, protección, y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales, estableciendo los requisitos para la elaboración de planes de manejo forestal, la certificación de prácticas forestales sustentables y la restauración de áreas degradadas (H. Congreso de la Unión, 2020).

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos: regula la gestión integral de los residuos, desde su generación hasta su disposición final, promoviendo prácticas que minimicen su impacto ambiental. Incluye disposiciones sobre la separación, recolección, transporte, tratamiento, y disposición de residuos sólidos y peligrosos (H. Congreso de la Unión, 2014d).

Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre: establece las disposiciones para la conservación y uso sustentable de la vida silvestre en México, regulando actividades como la caza, captura, y comercio de especies silvestres, así como la conservación de hábitats y la protección de especies en peligro de extinción (H. Congreso de la Unión, 2014b).

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales: regula el uso, conservación, y protección de las aguas nacionales, estableciendo las bases para su aprovechamiento sustentable. Incluye disposiciones sobre la gestión de cuencas, la prevención de la contaminación, y la protección de ecosistemas acuáticos (H. Congreso de la Unión, 2014a).

1.2.4.2 Nivel Estatal

La **Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México** incluye varias disposiciones que abordan el cuidado y protección al medio ambiente (Baró *et al.*, 2023)

Artículo 18: es responsabilidad del Estado de promover el desarrollo integral de los pueblos y las personas, fortaleciendo la soberanía y el régimen democrático, a través del fomento de la competitividad, el crecimiento económico, y una política estatal de desarrollo industrial que abarque diversas áreas. Este desarrollo busca garantizar la libertad y dignidad de todos los individuos, asegurando una distribución justa del ingreso y la riqueza.

El desarrollo debe basarse en el uso sustentable de los recursos naturales, protegiendo la integridad de los ecosistemas y buscando un equilibrio entre factores sociales y económicos, sin comprometer las necesidades de futuras generaciones. Las autoridades deben implementar programas para conservar, proteger y mejorar los recursos naturales, evitar su deterioro, y prevenir la contaminación ambiental. En el Estado de México, la



naturaleza, la biodiversidad, y las especies endémicas son reconocidas como sujetos de derechos, los cuales son protegidos y promovidos por la Constitución.

Asimismo, cada persona tiene derecho a un ambiente sano y el acceso al recurso agua, estableciendo la obligación de los ciudadanos de cuidar y usar racionalmente este recurso. Además, se reconoce a los animales como seres sintientes, con derecho a un trato digno, por lo que las autoridades deben garantizar su protección y bienestar, fomentar una cultura de cuidado responsable y diseñar estrategias para atender estas problemáticas.

Artículo 139: el desarrollo de la entidad se basa en el Sistema Estatal de Planeación Democrática, donde se incluye planes y programas creados por autoridades estatales y municipales, que se basan en un análisis objetivo de la realidad, indicadores de desarrollo social y humano, y objetivos generales. Los planes y acciones de los ayuntamientos deben ser coherentes con los planes a nivel federal, estatal, regional, y metropolitano. Los ciudadanos pueden participar en la planeación democrática.

En áreas metropolitanas, el gobierno estatal y los ayuntamientos deben coordinarse con la Federación y entidades federativas vecinas en temas como abasto, empleo, agua, drenaje, asentamientos humanos, desarrollo económico, protección al ambiente, seguridad pública, y transporte, entre otros.

Estos artículos reflejan el compromiso del Estado de México con la protección del medio ambiente, garantizando un desarrollo que no comprometa la integridad de los ecosistemas y promueva el bienestar de las generaciones presentes y futuras (Poder Legislativo del Estado de México, 2024b).

El **Código Administrativo del Estado de México**, en su artículo 19 indica que se permite a los municipios dentro de su ámbito de competencia elaborar, aprobar y modificar sus planes municipales de desarrollo urbano cuando lo consideren necesario, debido a que son importantes para el crecimiento y desarrollo de los centros de población dentro de un municipio. A través de la regulación del uso del suelo, la densidad de población, la infraestructura, y los servicios públicos, de manera que se promueva un desarrollo ordenado, sustentable y equilibrado. Con ello se pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes, garantizar el acceso a servicios básicos y proteger el medio ambiente, al tiempo que se fomenta el desarrollo económico y social del municipio.



Asimismo, en el libro quinto del mismo Código Administrativo se establecen las disposiciones reglamentarias que se refieren a la planeación, ordenación, regulación, control, vigilancia y fomento del ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y del desarrollo urbano en los centros de población de la entidad. Este reglamento también define normas claras para implementar el sistema estatal de planeación del desarrollo urbano, regular los conjuntos urbanos, subdivisiones de predios y condominios, estableciendo las reglas básicas de funcionamiento de la Comisión Estatal de Desarrollo Urbano y Vivienda, así como la estructura y funcionamiento del Registro Estatal de Desarrollo Urbano y Vivienda (Poder Legislativo del Estado de México, 2024a).

1.2.4.3 Nivel Municipal

- **Ley Orgánica Municipal del Estado de México**

En el ámbito municipal, la Ley Orgánica Municipal del Estado de México otorga a los ayuntamientos la facultad de presentar ante la Legislatura Local propuestas de leyes o decretos en temas municipales; así como finalizar las obras iniciadas por administraciones anteriores y mantener la infraestructura y servicios públicos municipales; desarrollar programas de organización y participación social para fomentar una mayor colaboración entre las autoridades y los habitantes del municipio; además de establecer mecanismos de financiamiento para mejorar la cobertura y eficiencia de los servicios públicos municipales. En sus artículos 11 y 12, establece que los municipios tienen la autoridad para aprobar y gestionar la zonificación de su territorio, participar en la creación y administración de sus reservas territoriales y ecológicas, así como controlar y supervisar, en coordinación con el gobierno estatal, el uso del suelo en su jurisdicción, conforme a la legislación vigente y los planes de desarrollo urbano correspondientes.

- **Bando Municipal de Zinacantepec**

Es un documento normativo que tiene un carácter público y obligatorio. Su propósito es regular tanto política como administrativamente al municipio, estableciendo claramente los derechos y obligaciones de los residentes.

En su **artículo 17**: menciona que los habitantes del municipio de Zinacantepec tienen el derecho de un ambiente adecuado para el desarrollo y bienestar de las personas, promoviendo su dignidad a través del respeto y observancia de los derechos humanos. A su vez, se busca satisfacer las necesidades colectivas de la población municipal, asegurando la igualdad de acceso y oportunidades.



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

Artículo 18: los habitantes de Zinacantepec tienen la obligación de contribuir y colaborar con las autoridades municipales en la preservación del medio ambiente, así como en el cuidado de áreas públicas, monumentos históricos, edificios y servicios municipales. Cooperar en la creación, conservación y mantenimiento de viveros y zonas verdes municipales y en el cuidado de los árboles cercanos a sus domicilios. Es importante no tirar residuos sólidos, líquidos inflamables o grasas en alcantarillas u otras instalaciones de agua y drenaje, ni quemar o desechar basura en lugares públicos o privados, así como reportar cualquier irregularidad en la recolección de basura. Se debe cercar o limpiar predios baldíos, especialmente en zonas urbanas, para evitar la proliferación de fauna o la emisión de contaminantes. Además, es esencial respetar el uso del suelo según las normas establecidas y depositar la basura separada en orgánica e inorgánica en los sistemas designados, evitando dejarla en la vía pública.

En el Capítulo II. Del medio ambiente, **artículo 93:** se considera de interés público y social asegurar que todas las personas en el territorio municipal tengan el derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar. Además, se establece la organización y definición de las actividades de protección ambiental, el ordenamiento ambiental dentro del municipio según lo previsto en el Bando y otras normas aplicables y la promoción del desarrollo sustentable. Se busca preservar, restaurar y mejorar el medio ambiente, a través de la implementación de medidas para el control de la contaminación, fomentar la educación ambiental y crear parques urbanos y zonas de conservación ecológica. Promoviéndose además el manejo adecuado de residuos y el reciclaje, así como la reducción gradual del uso de plásticos.

Artículo 94: Para proteger y mantener el equilibrio ecológico en el municipio, el Ayuntamiento tendrá varias responsabilidades. Deberá formular, dirigir y evaluar la política ambiental municipal, asegurando que esté en armonía con las políticas federal y estatal. Además, promoverá y fomentará la educación, conciencia e investigación ecológica, colaborando con las autoridades educativas, la ciudadanía y los representantes locales para mejorar y conservar las condiciones ambientales del municipio.

Se encargará de crear, promover y ejecutar el programa municipal de protección ambiental, alineado con los programas federal y estatal. Las cuestiones relacionadas con la implementación de políticas ambientales, las facultades, normas técnicas, criterios ecológicos, y la preservación del equilibrio ecológico, así como la protección ambiental en



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

zonas de jurisdicción municipal y los derechos y obligaciones de la Dirección del Medio Ambiente, estarán reguladas por las normativas municipales y estatales pertinentes.

(Gaceta Municipal del Ayuntamiento de Zinacantepec, 2024).

En la Sección I. Del desarrollo agropecuario y forestal, **artículo 97**: el ayuntamiento se encargará de implementar y promover programas y políticas para mejorar la producción en los sectores agropecuario y forestal, atendiendo las necesidades de diversos tipos de productores (Gaceta Municipal del Ayuntamiento de Zinacantepec, 2024).

El marco jurídico mexicano en materia ambiental es amplio y abarca diversos niveles de gobierno y ámbitos de acción, desde el federal, estatal y municipal. Aunque existen desafíos significativos para su efectiva implementación, este marco proporciona las bases legales necesarias para la protección y conservación del medio ambiente en México. El fortalecimiento de las instituciones, la mejora en la aplicación de la ley y la participación de la sociedad civil son elementos clave para avanzar hacia un desarrollo sostenible y la protección efectiva contra la degradación ambiental en el país.



Capítulo 2

Marco

Metodológico

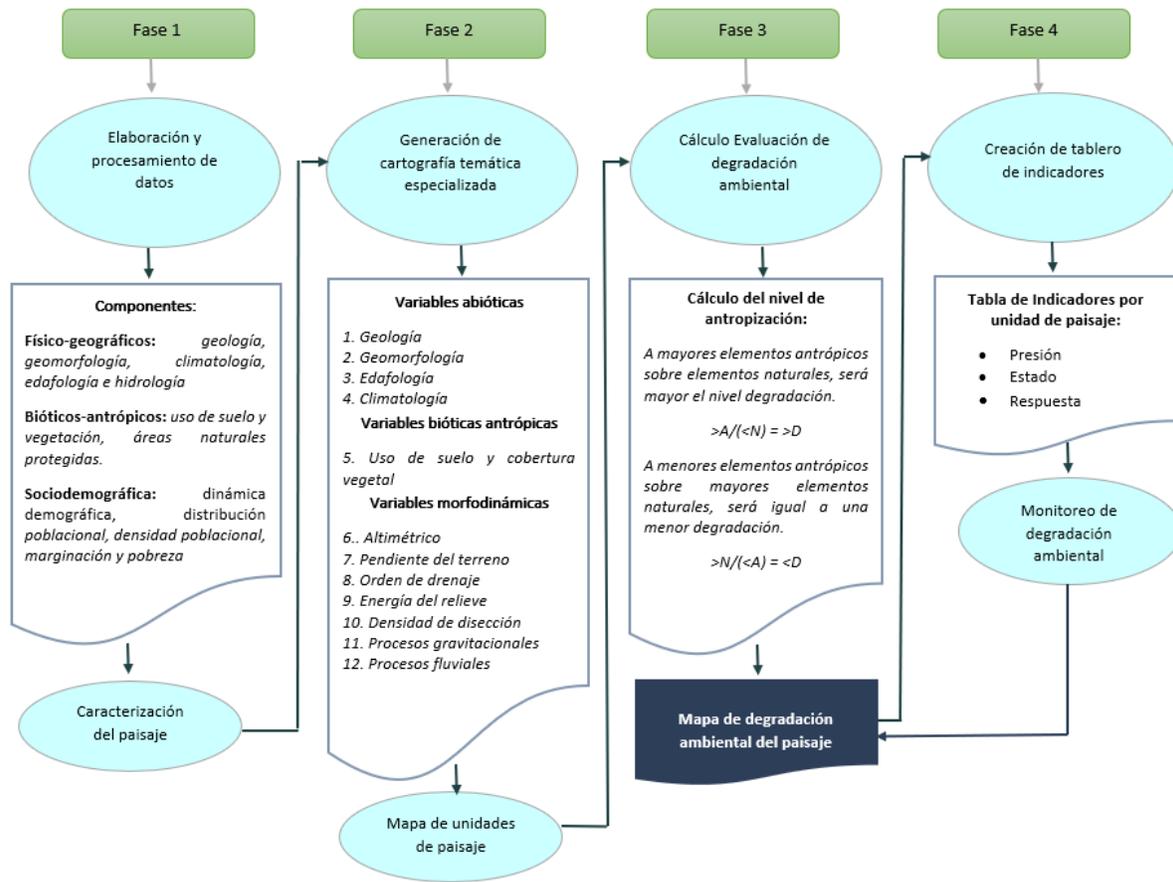


Metodología

Para poder realizar la evaluación del estado de degradación ambiental primero se llevó a cabo el proceso de búsqueda, descarga y elaboración de datos geográficos, que permitió la identificación y análisis espacial de la estructura vertical y horizontal del paisaje.

Conformando unidades paisajísticas homogéneas, delimitadas con base a cartografía temática especializada (Canchola, 2017). El uso de estas unidades de paisaje fue la base para evaluar la degradación ambiental, ya que permitió entender cómo interactúan los componentes del medio ambiente en un espacio determinado y cómo las actividades humanas impactan sobre el paisaje, a través del nivel de antropización en cada unidad, lo que permitió crear un tablero de indicadores como línea de trabajo para el monitoreo de degradación ambiental. En la Figura 4, se muestra el esquema metodológico que se siguió durante el proceso de investigación.

Figura 4. Esquema Metodológico



Fuente: Elaboración propia



A continuación, se detallará el proceso llevado a cabo en cada una de las 4 fases.

2.1 Fase 1: Elaboración y procesamiento de datos

2.1.1 Búsqueda y generación de información

Esta primera etapa permite la obtención de la mayor parte de información en formato vector y ráster, así como estadística y bibliográfica, la cual se utilizó como base para la generación de mapas topográficos, temáticos, de unidades de paisaje y degradación ambiental.

Para poder realizar la evaluación del estado de degradación ambiental es necesario primero conocer las dinámicas de presión y estado por las que se encuentra la zona de estudio. Por tal motivo se requirió como antecedente un estudio y análisis espacial del territorio que incluyó la caracterización de la estructura vertical del paisaje para conocer la interacción y composición de elementos espaciales como la geología, geomorfología, suelo, clima e hidrología, el componente abiótico, siendo componentes que constituyen la base para delimitar, clasificar y establecer más adelante las unidades de paisaje (Mateo, 2002).

Asimismo, se describieron los componentes físico-geográficos, bióticos-antrópicos, sociodemográficos y económicos, con el objetivo de conocer ¿Qué hay?, ¿Dónde está? y ¿Cuánto hay? de cada elemento que integra el paisaje (Tabla 1).

Tabla 1. Obtención de Información

Tipo de información	Variable	Materiales y métodos
Elementos Topográficos	Límites políticos administrativos	La información se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024).
	Localidades	Esta sirvió para conformar la información topográfica de los mapas base.
	Modelo Digital de Elevación	Se descargó una imagen de la zona de estudio de ALOS PALSAR, con resolución de 12.5 metros con fecha de 2010. Y del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), con resolución de 15 metros del año 2013. Haciendo una integración de curvas de nivel para elegir el DEM con mayor detalle.
	Curvas de nivel	
	Corrientes y	Se obtuvieron del portal de geoinformación (INEGI,



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL
EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

	cuerpos de agua	2022).
	Vialidades y caminos	La información se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024).
Elementos físico-geográficos	Geología	Datos del Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México (IFOMEGEM), información cartografiada por K. Bloomfield durante 1973 y publicados por Sánchez-Rubio (1978).
	Geomorfología	Elaboración propia en base al manual del Sistema ITC para levantamientos geomorfológicos (Verstappen and Van Zuidam, 1991).
	Clima	Los tipos de climas se descargaron del portal de CONABIO (2024). Y la información de temperatura y precipitación, se retomaron de las estaciones meteorológicas obtenidas del software ERIC, 2008.
	Hidrología	Se obtuvieron del portal de geoinformación (INEGI, 2019).
	Edafología	La información se digitalizó a partir de la carta edafológica de la zona de estudio con datos de CETENAL, 1976.
Elementos bióticos-antrópicos	Uso de Suelo y Vegetación	Para la generación de esta capa se utilizó la imagen Sentinel 2A, del día 27 de enero de 2022, se descargó de la página de Copernicus Open Access Hub, posteriormente se procesó y se clasificó en el software ArcMap 10.2 (Copernicus Open Access Hub, 2022).
	Áreas Naturales Protegidas	El límite del APFF “Nevado de Toluca” se obtuvo del portal de geoinformación (CONANP, 2022).
	Flora y fauna	Los datos muestran registros de ejemplares desde 1700-2023 obtenidos de bases desarrolladas o financiadas por la CONABIO, 2024 así como aquellas donadas o de acceso abierto.
Elementos Sociodemográficos	Dinámica demográfica	Se descargaron datos del Censo de Población y vivienda de INEGI 2020.
	Distribución poblacional	
	Densidad	



	poblacional	
	Marginación	Los datos se obtuvieron del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2020) y del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2020).
	Pobreza	

Fuente: Elaboración propia

La escala a la que se trabajó la información es 1:50,000 y el programa que se ocupó para realizar los procesos y edición de mapas fue del software libre QGIS Desktop 3.34.1.

La integración de información contribuyó a completar el capítulo 3. "Caracterización de la estructura del paisaje", donde se muestran tablas con porcentajes y superficies totales de cada elemento del paisaje de Zinacantepec.

2.2 Fase 2: Generación de cartografía temática especializada

2.2.1 Integración de variables para creación de mapa de Unidad de Paisaje

El siguiente paso fue la creación del mapa de la estructura horizontal del paisaje, o también conocido como morfológica, genético o planar, este mapa hace referencia a cómo se organizan espacialmente las diferentes unidades de paisaje. Estas configuraciones específicas producen varios tipos de interacciones entre las unidades, debido a las variaciones en sus componentes, dando lugar a mosaicos territoriales complejos, que hacen referencia a cómo se organizan espacialmente las diversas unidades dentro de un territorio, debido a las variaciones en sus componentes (Mateo, 2002).

Para poder identificar las unidades del paisaje de la zona de estudio se retomó la propuesta que realiza Canchola, (2017) él autor considera 15 variables que permiten delimitar unidades paisajísticas a través de sobreposición de mapas. Sin embargo, para propósitos de esta investigación se han retomado 12 variables, excluyéndose dentro de la metodología 3 variables que son:

1. Mapa base, está capa se encuentra incluida como cartografía básica representando la localización de la zona de estudio, que identifica los límites



políticos administrativos y no como una variable abiótica, biótica o morfodinámica.

2. Mapa con ortofoto, es el conjunto de fotografías aéreas que al autor le permitieron identificar diferentes componentes del paisaje principalmente para la interpretación de usos de suelo y vegetación, en el caso de la metodología se excluyó esta variable, ya que se encuentra contenida en el apartado biótico-antrópico que corresponde al uso del suelo, donde se utilizaron Imágenes Sentinel 2A, con resolución de 10 metros (Copernicus Open Access Hub, 2022) para realizar fotointerpretación.
3. Modelo Digital de Elevación, esta variable se ha considerado como atributo topográfico y una variable de apoyo para delimitar geoformas del terreno, por lo que no es considerada como variable de integración de acuerdo con la clasificación propuesta.

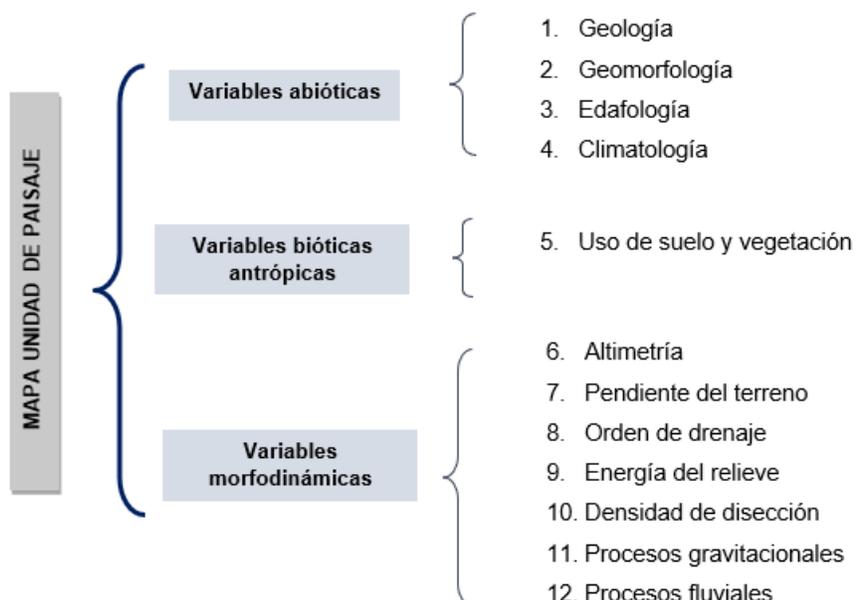
Por lo anterior, aquellas variables no forman parte de la estructura vertical del paisaje ni de las variables morfodinámicas que influyen en la dinámica y evolución del relieve, pero si se han considerado a lo largo del trabajo.

A continuación, se muestran las 12 variables consideradas en la Figura 5, con el objetivo de identificar áreas homogéneas y generar el mapa base de unidades de paisaje para el análisis de degradación ambiental.

integrándose 6 variables relacionadas a la estructura vertical del paisaje y 6 de tipo morfodinámicas. Para generar las variables morfodinámicas se ocupó el Modelo Digital de Elevación (DEM), este no se incluyó como una variable dentro de la estructura del paisaje, sino como una capa ráster y parte de un elemento topográfico del paisaje, pero se ha descrito su importancia para identificar estructuras del paisaje.



Figura 5. Variables de Integración para Mapa de Unidades Ambientales



Fuente: Elaboración propia en base a Canchola, 2017.

2.1.2 Creación de Mapa de Unidades de Paisaje

La propuesta de clasificación del paisaje se fundamenta en la diferenciación paisajística a través de las estructuras verticales y morfodinámicas, agregando criterios y variables de diferenciación en los geocomponentes, basados en la cartografía temática especializada, con el objetivo de obtener una mejor clasificación y diferenciación entre homogeneidades de la estructura horizontal, se realizó una fotoidentificación para agrupar las formas de relieve con los procesos ya sea endógenos o exógenos y la interacción que se tiene entre ambos, apoyados del Modelo Digital de Elevación.

La diferenciación de unidades de paisaje se da bajo el siguiente axioma paisajístico basado en Canchola (2017).

$$UP = (VAb+VBAn+VM)$$

Donde:

- UP = Unidad de Paisaje
- VAb = Variables Abióticas (geología, geomorfología, edafología y climatología)
- VBAn = Variables Bióticas y Antrópicas (uso de suelo y vegetación)



- VM = Variables Morfodinámicas (altimetría, pendiente del terreno, orden de drenaje, energía del relieve, densidad de disección, procesos gravitacionales y procesos fluviales)

Se procesaron todas las variables en el software QGIS a escala 1:50,000. Mediante la superposición de mapas y la identificación de patrones espaciales homogéneos, se generó un mapa de 18 Unidades de Paisaje (UP). Cada UP se caracteriza por una combinación única de atributos geomorfológicos, geológicos, climáticos, edáficos, de uso del suelo y de vegetación. Se incluyeron variables morfométricas y morfológicas como altimetría, energía del relieve, densidad de disección, pendiente, orden de drenaje, procesos fluviales y gravitacionales, esenciales para comprender la génesis, evolución y distribución del relieve.

La base bibliográfica que sustenta este trabajo de investigación parte de estudios geomorfológicos, morfométricos y morfológicos, así como de paisaje establecidos por Strahler (1952), Lugo (1980-1988), Bocco (1983), Ortiz (1997), Espinoza y Arroyo (2011) y Canchola (2017).

En un ambiente donde interactúan diversas funciones sistémicas es importante considerar condiciones visibles de naturalidad, funciones socioeconómicas del entorno para cubrir necesidades humanas, los procesos ambientales negativos, y los mecanismos de autorregulación y mitigación tanto naturales como humanos (Mateo y Ortiz, 2001).

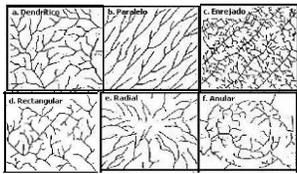
El trabajo de campo complementó la investigación en gabinete, con el propósito de corroborar la información obtenida, se verificó la estructura vertical de las unidades de paisaje como la litología, vegetación, suelos, relieve y usos del suelo, comparándolos con los mapas elaborados. También se identificaron y verificaron las unidades de paisaje y sus límites. Además, se recopilaron datos sobre procesos que contribuyen a la degradación del paisaje, ayudando a seleccionar los indicadores ambientales para el tablero de indicadores ambientales. Y se obtuvieron criterios para asignarlos a los valores de ponderación de la evaluación de degradación ambiental

Se tomó como referencia la Antología comentada de un Manual para trabajo de campo de geografía ambiental (Canchola, 2021). A continuación, se muestra de forma resumida las variables consideradas para la validación de información en campo (Figura 6).



**EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL
EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC**

Figura 6. Formato General para Validación de la Estructura del Paisaje

<p style="text-align: center;">Información general</p> <p>Nombre del lugar: _____</p> <p>Fecha: _____</p> <p>Ubicación geográfica: _____</p> <p>Altitud: _____</p> <p>Localidad: _____</p>	<p style="text-align: center;">Características del paisaje</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="font-size: small;">Condiciones visuales generales</td> <td style="font-size: x-small;">Homogénea</td> <td style="font-size: x-small;">Heterogénea</td> <td style="font-size: x-small;">Compleja</td> <td style="font-size: x-small;">Mixta</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">Percepción espacial</td> <td style="font-size: x-small;">Panorámico</td> <td style="font-size: x-small;">Encajado</td> <td style="font-size: x-small;">Bidimensional</td> <td style="font-size: x-small;">Tridimensional</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">Posición en el terreno</td> <td style="font-size: x-small;">Sobre Planicie</td> <td style="font-size: x-small;">Fondo de valle</td> <td style="font-size: x-small;">Sobre laderas</td> <td style="font-size: x-small;">Cima de montaña</td> </tr> </table> <p style="font-size: x-small;">Fuente: adaptación a partir de criterios de Bolós (1982) y Harvey (1983).</p>	Condiciones visuales generales	Homogénea	Heterogénea	Compleja	Mixta	Percepción espacial	Panorámico	Encajado	Bidimensional	Tridimensional	Posición en el terreno	Sobre Planicie	Fondo de valle	Sobre laderas	Cima de montaña
Condiciones visuales generales	Homogénea	Heterogénea	Compleja	Mixta												
Percepción espacial	Panorámico	Encajado	Bidimensional	Tridimensional												
Posición en el terreno	Sobre Planicie	Fondo de valle	Sobre laderas	Cima de montaña												
<p style="text-align: center;">Análisis de elementos antroponaturales</p> <p style="text-align: center;">1. Geomorfología</p> <p>Tipo de geoformas: _____</p> <p>Procesos: <input type="checkbox"/> erosión <input type="checkbox"/> acumulación <input type="checkbox"/> disección</p> <p>Complejidad topográfica: _____</p> <p>Pendiente: _____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>															
<p style="text-align: center;">2. Geología</p> <p>Litología: _____</p> <p>Fallas y fracturas: _____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>															
<p style="text-align: center;">3. Edafología</p> <p>Tipos de suelo: _____</p> <p>Características: _____</p> <p>Textura: _____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>															
<p style="text-align: center;">4. Clima</p> <p>Condiciones al momento de la observación: _____</p> <p>Tipo de clima: _____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>															
<p style="text-align: center;">5. Hidrología</p> <p>Cuenca y subcuenca: _____</p> <p>Microcuencas y nanocuencas: _____</p> <p>Tipo de drenaje: _____</p> <p>Cuerpos de agua: _____</p>																
<p style="text-align: center;">6. Vegetación</p> <p>Tipo de vegetación: _____</p> <p>Estratos dominantes: _____</p> <p>Estado de conservación: _____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>															
<p style="text-align: center;">7. Fauna</p> <p>Tipo de especies encontradas: _____</p> <p>Excretas: _____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>															



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL
EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

<p>Análisis de elementos antropo-naturales 8. Uso de suelo</p> <p>Tipo de uso dominante: _____</p> <p>Características de uso (extensión, estacionalidad): _____</p> <p>Tipo de sistema de uso: _____</p> <p>Productividad: _____</p> <p>Aprovechamiento potencial: _____</p> <p>Limitantes para el uso: _____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>
<p>Condiciones del paisaje</p>	
<p>Grado de naturalidad: _____</p> <p>Consecuencias ambientales: _____</p> <p>Estado de degradación ambiental: 1 <input type="checkbox"/> Sin degradación 2 <input type="checkbox"/> Baja 3 <input type="checkbox"/> Media 4 <input type="checkbox"/> Alta</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>
<p>Condiciones del paisaje</p>	
<p>Condiciones y representatividad espacial (red de carreteras, veredas, brechas, caminos, cosechas etc.): _____</p> <p>Obras de ingeniería (presas, bordos, depósitos de agua): _____</p> <p>Tipo de población: _____</p> <p>Infraestructuras agrícolas, pecuarias, avícolas, piscícolas, rastros etc. _____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>
<p>Otros elementos antropo-naturales detectados:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Dibujo/Fotografía</p>

Fuente: Adaptación a partir de criterios de Bolós (1982), Harvey (1983), Mateo (2002), Canchola (2017) y Espinosa y Oliva (2019).



2.3 Fase 3: Cálculo de Evaluación de Degradación Ambiental

Una vez generado el mapa de Unidades de Paisaje, se evaluó la degradación ambiental a cada unidad. En una primera etapa, se identificaron las problemáticas territoriales predominantes en el municipio a través de un trabajo de campo exhaustivo. Este trabajo no solo permitió validar la delimitación de las Unidades de Paisaje, sino también recopilar información detallada sobre las diferentes problemáticas ambientales presentes.

2.3.1 Identificación de problemáticas territoriales

La Metodología de Marco Lógico (MML) es una herramienta de gestión de proyectos que facilita la planificación, el seguimiento y la evaluación. Su principal objetivo es proporcionar una estructura lógica y sistemática para el diseño, implementación y evaluación de iniciativas. Mediante el uso del árbol de problemas, la MML permite identificar las causas raíz de una problemática y establecer objetivos claros y medibles para su solución.

En este análisis de degradación ambiental, se ha seleccionado y adaptado una parte de la Metodología de Marco Lógico (MML) para identificar las problemáticas ambientales actuales del municipio. A través del árbol de problemas, se han analizado las causas raíz y los efectos derivados de estas problemáticas en el área de estudio. Si bien la MML consta de diez pasos, para los objetivos de esta investigación se han considerado únicamente los necesarios para alcanzar el análisis de las problemáticas ambientales y sus causas subyacentes (Ortegón, *et al.*, 2005).

1. Análisis de involucrados

Lo primero que se realizó fue el diagrama de involucrados, para identificar los grupos y organizaciones implicadas, tanto directa como indirectamente, lo que ayuda a mejorar la planificación y a fomentar acuerdos, considerando diferentes perspectivas y promoviendo un sentido de pertenencia entre los beneficiarios. El análisis de involucrados influye en la selección de estrategias y en el monitoreo por lo que utilizar un listado o diagrama de actores facilita este análisis.

2. Análisis del problema

El segundo paso fue la realización del análisis de la problemática, para realizar un análisis adecuado, es fundamental comprender el problema a profundidad. Esto requiere una



identificación precisa, que permita proponer soluciones efectivas. La correcta definición del problema es crucial, ya que sobre ella se construye toda la estrategia de planificación.

Los pasos que se siguieron para generar el árbol de problemas son:

1. Definición del problema central

No se puede abordar una solución eficaz sin un conocimiento detallado del problema, por ello, es imprescindible identificar y expresar claramente el problema principal en este caso es el de “degradación ambiental en Zinacantepec”.

2. Graficar el árbol de efectos

Es fundamental identificar los efectos más relevantes del problema para poder analizar y verificar su importancia. En otras palabras, en este paso se buscó comprender el nivel de impacto y gravedad de las consecuencias del problema detectado, lo que justifica la necesidad de encontrar soluciones.

Tras identificar el problema central, es necesario representar los efectos hacia arriba siguiendo un orden causal ascendente. Algunos de estos efectos pueden estar interrelacionados y dar lugar a otros. Si los efectos resultan relevantes y justifican la búsqueda de una solución, se procede al análisis de las causas que los generan.

3. Graficar árbol de causas

Partiendo del problema central, es indispensable realizar un análisis descendente para identificar todas sus causas. Es crucial establecer las relaciones causales y llegar a las causas primarias e independientes que originan el problema. A mayor profundidad en el análisis, más cerca se estará de encontrar soluciones efectivas.

4. Graficar el árbol de problemas

A partir de la identificación de las causas y efectos del problema central, se elaboró un diagrama de causa-efecto que sintetiza la situación problemática. Las propuestas de solución generadas en esta etapa inicial se plantean como hipótesis que requieren ser contrastadas mediante investigaciones adicionales y consultas con los actores relevantes.

En resumen, el árbol de problemas es una herramienta integral para entender, analizar y abordar problemas ambientales de manera efectiva, permitiendo la identificación de intervenciones estratégicas y la colaboración entre los diversos actores involucrados.

Proporcionando un análisis más profundo de las causas de los problemas ambientales, esencial para desarrollar soluciones efectivas y sostenibles y proporcionar una base para el monitoreo y la evaluación del impacto de las intervenciones.



2.3.2 Evaluación de degradación ambiental

En la Tabla 2 se estima el nivel de degradación en base a la metodología que proponen Mateo y Ortiz (2001); donde ambos autores proponen una categorización para evaluar el nivel de degradación geocológica en 4 niveles, 1 indica sin degradación y 4 degradación alta.

Tabla 2. Nivel de Degradación Geocológica

Nivel de degradación geocológica del paisaje	Estado de degradación geocológica del paisaje
1	Sin degradación
2	Baja
3	Media
4	Alta

Fuente: Mateo y Ortiz, 2001, p. 21.

En la Tabla 3 se definen las características de cada nivel de degradación en función de la pérdida de potencialidades naturales, productividad y mecanismos que sostienen el sistema ambiental (Mateo y Ortiz, 2001, p. 267).

Tabla 3. Nivel de Degradación Ecológica de los Paisajes

NIVELES DE DEGRADACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Sin Degradación 1	Mantiene los potenciales naturales y la productividad original (que puede acrecentarse en dependencia del ingreso de energía externa), los mecanismos que garantizan el funcionamiento y la regulación, y la regeneración al igual que las bases del aseguramiento vital, la estructura, coherencia e integridad del sistema. No se manifiestan procesos geológicos destructivos.
Baja 2	Pequeña pérdida de los potenciales naturales y de la productividad original, la cual puede mantenerse similar e incluso acrecentarse gracias al ingreso de energía externa. Los mecanismos que garantizan el funcionamiento y la autorregulación han experimentado algunas alteraciones, pero aún garantizan las bases de aseguramiento vital. Ocurren cambios notables en la estructura vertical, iniciando transformaciones en la estructura horizontal, manteniéndose aún la coherencia e integridad del sistema. Se manifiestan



**EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL
EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC**

	algunos procesos geotecnológicos destructivos de intensidad baja a media.
Media 3	Apreciable pérdida de potenciales naturales originales y significativo decremento de la productividad. Fuerte alteración de los mecanismos que garantizan el funcionamiento, la autorregulación y la regeneración de los sistemas, poniendo en peligro la coherencia, la integridad y las bases de aseguramiento vital. Se manifiestan varios tipos de procesos geotecnológicos de intensidad mediana a alta.
Alta 4	Pérdida total de los potenciales naturales. Decrecimiento completo de la productividad. Alteración total de los mecanismos que garantizan el funcionamiento, la autorregulación y la regeneración del sistema; la completa alteración de la estructura vertical y horizontal de las bases de aseguramiento vital. Se manifiesta una combinación de procesos geotecnológicos de diverso tipo de alta intensidad.

Fuente: Mateo y Ortiz, 2002.

Sin embargo, Canchola (2017), propone una tipificación de unidades de paisaje basado en los 4 niveles de degradación que en un inicio planteo Mateo y Ortiz (2001), como se muestra en la tabla 4, calculando y ponderando variables geoambientales, asignándole a cada mapa valores entre 1 y 4 (p. 147).

Tabla 4. Valores y Ponderaciones para la Asignación de Pesos en las Variables

Variables Naturales		Porcentaje ponderado para cada variable	Variables Antropogénicas
Procesos de la Geoforma	Peso Asignado	Rango (%)	Peso Asignado
Muy intensos, dinámicos y pronunciados	4	76-100	4
Intensos y dinámicos	3	51-75	3
Moderados débiles	2	26-50	2
Insipientes, difusos, irrepitibles	1	0- 25	1

Fuente: Canchola, 2017.

Canchola, (2017) a esta nueva tipificación agrega el factor de espacialidad, representatividad y criterio antropogénico para asignar los valores de ponderación. Asimismo, se hicieron ajustes a dicha metodología y se agregó el nivel de antropización para la asignación de pesos donde se estableció el siguiente postulado:



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

A mayores elementos antrópicos sobre elementos naturales, será mayor el nivel degradación.

$$>A/(<N) = >D$$

A menores elementos antrópicos sobre mayores elementos naturales, será igual a una menor degradación.

$$>N/(<A) = <D$$

Y se estableció que 1 es el valor más bajo, el cual hace alusión a aquellas características o variables naturales que tienen una representatividad en el territorio de forma difusa, intermitente y dispersa, por lo que las variables antropogénicas que se desarrollan en el territorio son nulas o de muy bajo impacto (0 a 25%).

El nivel 2 se refiere a características de mayor presencia en cuanto al porcentaje de representatividad espacial, donde existe un impacto constante de actividades antrópicas cubriendo de 26 a 50% del territorio, en el nivel 3 se habla ya de condiciones muy dinámicas, incisivas, con atributos de permanencia, donde el desarrollo de actividades antropogénicas cubre el 5 a 75% y por último el nivel 4, esta tipificación hace referencia a aquellas variables naturales que causan procesos muy intensos, dinámicos y son pronunciados, donde las variables antropogénicas presentes en el territorio abarcan de 76 a 100 de superficie, por lo que la actividad antropogénica es alta y por ende el impacto a las unidades de paisaje es mayor, a diferencia de áreas con menor grado de antropización.

Asimismo, se ha hecho un ajuste a los valores establecidos por Mateo y Ortiz (2001), en Canchola (2017) quien propuso subniveles de degradación ambiental, sin embargo, con base a los resultados obtenidos en esta investigación, se han hecho modificaciones a esos subniveles con el objetivo de tener un análisis más específico que se acerque a la realidad de la investigación. En la Tabla 5, se muestran los subniveles considerados en la Evaluación de Degradación.

Tabla 5. Subniveles de Degradación Geoecológica

VALOR	NIVEL DE DEGRADACIÓN	COLOR
1	Sin degradación (naturalidad prístina)	
>1 - <1.5	Pérdida de naturalidad alta prístina	
>1.5 - <2	Principios de degradación baja	
2	Degradación baja	
>2 - <2.5	Degradación baja creciente a media	



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

>2.5 - <3	Principios de degradación media
3	Degradación media
>3 - <3.5	Degradación media creciente a alta
>3.5 - <4	Principios de degradación alta
4	Degradación alta (antropización irreversible)



Fuente: Elaboración propia con base a Mateo y Ortiz, 2001; Canchola, 2017.

Por otra parte, la asignación de pesos se realizó en base a una investigación científica colegiada y a un análisis del territorio a través de una sobreposición de mapas y correlación de variables (Tabla 6), se utilizó el Software QGIS para el procesamiento y generación del mapa final de degradación ambiental a una escala 1:50,000.



Tabla 6. Pesos por Unidad de Paisaje

TIPO VARIABLES	ABIÓTICAS				BIÓTICAS Y ANTRÓPICAS			MORFODINÁMICAS					PUNTUACIÓN
	UP/Variables	Geología	Geomorfología	Edafología	Clima	Usos y vegetación	Altimetría	Pendiente	Orden drenaje	Energía del Relieve	Densidad de disección	P. Gravitacionales	
UP-1	2.5	2	3	3	3.5	2	3	2	2	3.5	2.8	2.8	2.68
UP-2	3	1.5	2.8	3	4	2	1.2	3.3	2	3.8	1.2	3.8	2.63
UP-3	3.5	2.5	3	3.5	3.8	2	2.5	3.3	2	3.5	2	3.8	2.95
UP-4	3.5	3	3.5	3.5	3.8	2.5	3.5	3.5	2.5	4	2	4	3.28
UP-5	2	4	2.5	3	1	4	3.8	3.5	3	3	3	3	2.98
UP-6	2	3.5	2.5	3	1	3.8	3.8	3.3	3	3.3	3.5	3.3	3.00
UP-7	2.2	2.5	2	3	1	2.8	3	3	2.8	3	3	3	2.61
UP-8	2	3.5	3	3	2.5	3.8	4	2.5	3.7	3.8	3.6	3	3.20
UP-9	3	4	2.8	3	2	3	3.8	4	3.2	4	2	4	3.23
UP-10	2.2	3.5	2.8	2.8	2.5	3	3.7	2.5	3.2	3.9	3	3.5	3.05
UP-11	2.5	3	2.8	3	3.3	2.8	3	2.8	3.5	3.5	2.8	3	3.00
UP-12	2.2	3.5	2.8	3	3.5	2.8	4	3	3	3.2	2.3	3	3.03
UP-13	1	3	2	2.2	1	3	3.5	2.8	3	2.8	2.7	2.8	2.48
UP-14	2.5	3.3	3	2.5	3.9	2	3.3	3.8	2.5	3.8	1.5	3.5	2.97
UP-15	1.5	2.5	2.5	2.5	1.5	3	3.8	3.8	3.5	3.6	3.6	3.7	2.96
UP-16	4	3	3.5	3.2	4	4	4	3.8	3.5	4	3.5	4	3.71
UP-17	4	3	3.8	3.2	4	3.5	4	4	3.2	4	3.3	4	3.67
UP-18	3.5	2	3	3	4	2	1.5	4	1	3	1	4	2.67

Fuente: Elaboración propia.



2.4 Fase 4: Creación de tablero de indicadores

Un tablero de indicadores ambientales es una herramienta de gestión que permite monitorear, evaluar y visualizar de manera integral el estado de los componentes ambientales. Facilita a tomadores de decisiones, investigadores y al público en general el seguimiento del desempeño ambiental de un municipio, al evaluar la evolución de indicadores clave a lo largo del tiempo.

Asimismo, facilita la toma de decisiones informadas, ya que al proporcionar datos claros y relevantes sobre el estado del medio ambiente se facilita la planificación y gestión de políticas públicas.

Además, ayuda a la identificación de problemas, detectando áreas críticas o preocupantes que requieren atención o intervención inmediata de manera específica, lo que contribuye al cumplimiento de metas ambientales y sostenibles, como las relacionadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Su creación facilita la comprensión del estado ambiental a distintos actores, desde instituciones hasta la ciudadanía, mediante una representación estratégica para el cuidado y protección ambiental.

2.4.1 Monitoreo de Evaluación de Degradación ambiental

En el campo ambiental, se han creado indicadores para estudiar aspectos como el clima, la erosión del suelo y el peligro que enfrentan ciertas especies. Aunque su aplicación es amplia, no hay una definición única, ya que ésta depende de las instituciones y los fines específicos. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) proporciona un marco conceptual sólido al definir un indicador ambiental como un parámetro que refleja el estado de un fenómeno o área. Siendo herramientas esenciales para la gestión ambiental, ya que facilitan la comprensión de las complejas interacciones entre los componentes ambientales y respaldan la toma de decisiones basadas en evidencia.

De acuerdo con la OCDE (1998), los indicadores ambientales cumplen dos funciones primordiales: simplificar la presentación de datos ambientales y facilitar la comunicación de información ambiental. Esta dualidad los convierte en herramientas esenciales para proporcionar información precisa y científicamente respaldada (SEMARNAT (2005).

Con el fin de realizar un seguimiento efectivo del estado ambiental, se desarrolló un



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

tablero de monitoreo basado en los indicadores de Presión, Estado y Respuesta (PER) de la SEMARNAT y en los indicadores del Atlas Internacional de Indicadores de Sustentabilidad. En la Tabla 7 se muestra la tabla que se tomó como base para su llenado.

Tabla 7. Tablero de Seguimiento y Monitoreo Ambiental

Unidad de Paisaje	Indicadores	Fuente de Información
UP-1		
UP-2		
UP-3...18		

Fuente: Elaboración propia

La selección de indicadores ambientales sirvió como línea de trabajo para el seguimiento y monitoreo de la degradación ambiental por parte de las autoridades municipales.



Capítulo 3

Caracterización de la Estructura del Paisaje



3.1 Localización Geográfica

Situado en la región central del Estado de México, el municipio de Zinacantepec comparte límites municipales con Toluca al norte y este; con Tenango del Valle, Coatepec Harinas, Temascaltepec al sur, y con Amanalco, Almoloya de Juárez al oeste (Mapa 1).

Las coordenadas geográficas que delimitan el municipio son:

- Latitud norte

Latitud máxima: 19° 20' 10.40"

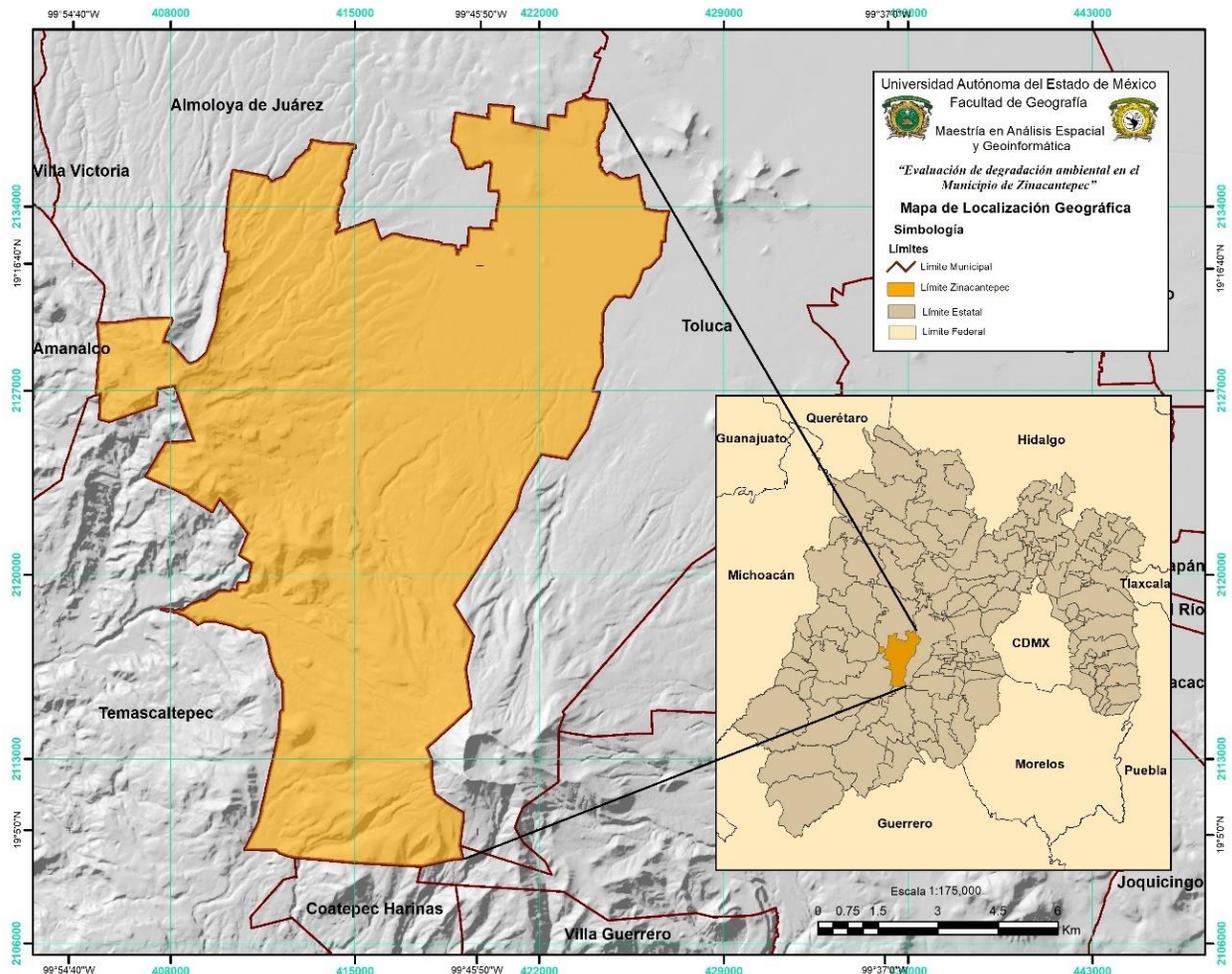
Latitud mínima: 19° 04' 15.44"

- Longitud oeste

Longitud máxima: 99° 54' 10.60"

Longitud mínima: 99° 41' 45.36"

Mapa 1. Localización Geográfica de Zinacantepec





El municipio de Zinacantepec abarca una superficie de 310.15 km², lo que representa el 1.38% del territorio estatal, según datos del INEGI (2024). Su altitud oscila entre los 2,680 y los 4,300 metros sobre el nivel del mar, alcanzando su punto más elevado en los límites del cráter del Nevado de Toluca. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020, Zinacantepec cuenta con una población de 203,872 habitantes, de los cuales el 48.8% son hombres y el 51.2% son mujeres, lo que representa un incremento del 21.5% en comparación con el censo de 2010.

3.2 Estructura Vertical del Paisaje

3.2.1 Elementos Físico-Geográficos

3.2.1.1 Geología

Zinacantepec se encuentra ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal. Esta región, que abarca aproximadamente 23,040 km² del territorio mexicano (Servicio Geológico Mexicano, 2002), limita parcialmente con los estados de Tlaxcala, Morelos, Hidalgo, Puebla y México.

El Sistema Volcánico Transversal es el resultado de procesos de subducción originados por la colisión entre la antigua cresta del Pacífico y la modificación en la dirección de la placa de Cocos respecto a la Norteamericana. Este fenómeno tectónico influyó significativamente en la porción occidental del Estado de México. Adicionalmente, el sistema de fallas Polochic-Motagua contribuyó a generar un campo de esfuerzos tensional único, facilitando el ascenso de magma a través de zonas de debilidad y dando lugar a una diversidad litológica caracterizada por variaciones en espesor, densidad, edad, distancia, ángulo de subducción y composición de las rocas (Servicio Geológico Mexicano, 2002).

Según Mooser y Alabama (1974), la actividad volcánica en la parte central del Sistema Volcánico Transversal comenzó hace 30 millones de años (Ma) y al este, la actividad se inició hace aproximadamente 20 Ma, según Cantagrel y Robin (1979). Estudios estratigráficos posteriores (Pasquaré *et al.*, 1991) indicaron que, al oeste del sistema, las unidades más antiguas se formaron a partir de flujos masivos de lava con fisuras de ventilación, predominando la composición de rocas andesíticas a lo largo del arco continental (como se citó en García-Palomo *et al.*, 2002).

Caracterizándose la parte central del Sistema Volcánico Trasversal por la dispersión de



estratovolcanes de tipo andesítico-dacítico, calderas y volcanes monogenéticos. Bajo este esquema, el Nevado de Toluca y el volcán San Antonio se encuentran ubicados a lo largo del límite entre los segmentos central y oriental (García-Palomo *et al.*, 2002), por lo que analizar la geología del municipio de Zinacantepec, es necesario reconocer la historia de formación de ambos conjuntos volcánicos.

Las unidades geológicas que constituyen al municipio se encuentran conformadas por rocas del período Terciario y del Cuaternario, por lo que la deposición de material volcánico es el resultado de los procesos eruptivos del campo volcánico San Antonio y el Nevado de Toluca.

El primer conjunto volcánico, San Antonio, está compuesto por dos unidades volcánicas principales: una secuencia de derrames de lava andesítico-basáltica (Tm_{pv}) que abarca el 15.39% de la superficie municipal (47.73 km²) en su porción noroeste, y una secuencia de derrames de lava andesítica (Q_{hv}) que se distribuye en un área de 3.05 km² al norte (Tabla 8).

Mientras que la segunda unidad está constituida por un conjunto de Lahares y Tobas Andesíticas (T_{plLh-TA1}) del período Terciario, esto de acuerdo con información descrita en la Carta Geológica- Minera E14-2 de la Ciudad de México, (Servicio Geológico Mexicano, 2002). Sin embargo, de acuerdo con datos geológicos del CETENAL (1975) y el Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México (IFOMEGEM) se registran también materiales de sedimentos lacustres tipo toba (Q_{pla}), que se extienden en las partes bajas del volcán, cubriendo una superficie de 13.36% del territorio de Zinacantepec. La actividad de este conjunto volcánico comenzó aproximadamente en el Mioceno medio, generando erupciones de tipo efusivas y explosivas que depositaron voluminosos bloques y depósitos de ceniza (García-Palomo *et al.*, 2002, p. 23).



Tabla 8. Tipos de Litología

Tipo de roca	Clave	Superficie km ²	Porcentaje %
Aluvión	Qal	51.39	16.57
Derrame de lava andesítica	Qhv	3.05	0.98
Derrame de lava basáltica	Qpv	56.76	18.30
Derrames de lava andesítico - basáltica	Tmpv	47.73	15.39
Lahar y depósitos volcanoclásticos	Qpvc	109.31	35.24
Sedimentos lacustres: Toba	Qpla	41.44	13.36

Fuente: IFOMEGEM.

El conjunto volcánico del Nevado de Toluca está emplazado sobre un basamento compuesto por rocas volcano-sedimentarias metamorizadas de edad Jurásico-Cretácico (Bonet, 1971; Bloomfield et al., 1977; Campa et al., 1974; Demant, 1981), así como por ignimbritas riolíticas del Eoceno y derrames andesíticos del Mioceno (García-Palomo *et al.*, 2002, como se citó en Macías, 2005, p. 389).

Sobre esta unidad se encuentran las formaciones litológicas Chontalcoatlán y Zinacantépetl. Conformando el aparato principal del Nevado, se encuentra la Formación Chontalcoatlán, (De Cserna y Fries, 1981a), conformada por derrames de lava basáltica (Qpv), ubicadas hacia el sureste de Zinacantepec, cubriendo las laderas oeste del Nevado de Toluca, abarcando una superficie de 56.76 km², que representa el 18.30% de superficie municipal (Mapa 2). Según su posición estratigráfica y los reportes mencionados por Bonet (1971), se formaron en la edad del Plioceno superior y Pleistoceno inferior (De Cserna, Z Fries y C. Jr, 1981a).

En lo que refiere a la Formación Zinacantépetl se describen los "conjuntos laháricos más antiguos", "lahares de valle más jóvenes" y "lahares pumicíticos tardíos". De acuerdo a De Cserna y Fries, (1981b) esta formación, está constituida por lahares y depósitos volcanoclásticos (Qpvc) producto de erupciones explosivas formando rocas de fragmentos de dacita porfídica gris azulosa con pómez, entremezclados con arenas y gravas fluviales; localizada en porciones aisladas en la parte central, al norte y sur del municipio, cubriendo una superficie de 109.31 km², que corresponden al 35.24%, así como lahares líticos y pumíticos de composición dacítico, gravas y arenas fluviales, horizontes de paleosuelo, pómez, capas de ceniza lítica y lapilli lítico (De la Teja-Segura *et al.*, 2000 como se citó en De Cserna y Fries, 1981b).



Los depósitos de esta unidad se extienden al sur del Nevado de Toluca, incluyendo como parte de la litología a la unidad Chontalcoatlán, en la que el material clástico es derivado por la erosión del macizo volcánico, Nevado de Toluca (De Cserna y Fries, 1981b).

A partir de la década de 1970 se iniciaron los primeros estudios detallados sobre la geología y evolución vulcanológica del Nevado de Toluca (Bloomfield y Valastro, 1974; 1977; Bloomfield *et al.*, 1977; Whitford y Bloomfield, 1977, citado en García-Palomo *et al.*, 2002, p. 10). Estos trabajos permitieron identificar y caracterizar dos erupciones plinianas de gran magnitud, responsables de la formación de los conocidos depósitos de Pómez Toluca Inferior y Pómez Toluca Superior.

Por su parte, los depósitos Pómez Toluca Inferior tienen una edad de 24,500 años, y corresponden a una serie de lava andesítica porfídico gris claro, que fluyó construyendo el edificio principal del volcán (García-Palomo *et al.* 2002, p. 10), asociado con las rocas dacita-andesita. Según Bloomfield *et al.* (1977), estos depósitos contienen aproximadamente el 62% de pómez, 27% de clastos líticos, y el 11% de cristales. (García-Palomo *et al.* 2002, p. 15).

Asimismo, otra erupción de tipo pliniano, generada hace 11,600 años, originó los depósitos de Pómez Toluca Superior, (Bloomfield y Valastro 1974, 1977 como se citó en Reyes, *et al.*, s/f). Los tipos de roca que la conforman son de tipo volcanoclásticos, compuestas por brechas volcánicas, (Macías, José Luis, 2005, p. 391). El resultado de este vulcanismo tiene cubierto de material la cuenca del Lerma y áreas específicas de la Ciudad de México, como lo es el municipio de Zinacantepec.

Con lo que respecta al período de formación de las rocas basálticas y material poco consolidados de tipo aluvión, se ubican dentro del período Holoceno o reciente. Debido a los últimos eventos volcánicos presentados en menos de 10, 000 años, (Cotler, Helena, 2006, p. 11).

Mientras que los materiales de tipo aluvión (Qal) cubren 51.39 km², que representa 16.57% de superficie, los cuales se derivaron de las rocas preexistentes de la geología del sitio, depositados a través de corrientes fluviales y cauces de ríos, situando al material en valles adyacentes a los cauces (Tarbuck y Lutgens, 2005). Tal es el caso del material que rellena la planicie de Zinacantepec, esta se encuentra conformada por gravas, arenas, cenizas y arcillas, el espesor varía de 30 a 300 m (Servicio Geológico Mexicano, 2002).



3.2.1.2 Geomorfología

El relieve de Zinacantepec es producto de procesos geológicos internos (endógenos) y externos (exógenos), estrechamente vinculados a la actividad volcánica de la región. Esta actividad, resultado de la formación del Sistema Volcánico Transversal, ha influido notablemente en la tectónica de la porción occidental del Estado de México (Servicio Geológico Mexicano, 2002). Como consecuencia, se ha desarrollado una serie de estructuras volcánicas, entre las que destacan los estratovolcanes andesítico-dacíticos, calderas y volcanes monogenéticos (García-Palomo *et al.*, 2002).

El Nevado de Toluca, ubicado al suroeste y noroeste de Zinacantepec y que abarca el 60.22% del territorio municipal, es el resultado de la actividad volcánica del Sistema Volcánico Transversal. La geomorfología de la región ha sido fuertemente influenciada por los múltiples eventos eruptivos del volcán, dando lugar a una diversidad de depósitos volcánicos que, a través de procesos de intemperismo y erosión, han configurado el paisaje actual (Espinosa, 2014, p. 7).

La primera fase de deformación que influyó para la forma actual del Nevado ocurrió entre el Oligoceno Tardío y Mioceno Temprano-Medio, según Szykarunk (1999), (García-Palomo, 1998 como se citó en Reyes *et al.*, s/f). Mientras que la segunda fase sucedió en el Mioceno Medio (García-Palomo *et al.*, 2002, p. 23), con erupciones de tipo efusivas y explosivas, que constituyeron estructuras de domos y conos volcánicos, conformados por derrames de lava andesítico-basáltica, que corresponden al período Terciario y Cuaternario.

Estos eventos formaron la primera estructura volcánica dentro del municipio, conocida como el volcán San Antonio. Esta es la geoforma más antigua, que con el tiempo ha sido moldeada por procesos fluviales debido a la alta concentración de cauces y cabeceras escarpadas que se originan en la parte más alta y recorren sus laderas, favorecidas por la presencia de fracturas (Espinosa, 2014, p. 10). Sobre esta estructura afloran rocas volcánicas intermedias del Mioceno, que conforman el edificio principal del volcán San Antonio.

En el Plioceno la constitución de Domos y Conos volcánicos de composición intermedia, fue lo que más tarde en el Cuaternario dio forma a lo que actualmente se le conoce como el Nevado de Toluca (Reyes, *et al.*, s/f) y a la serie de estructuras geomorfológicas creadas a partir de su origen.



El relieve endógeno de la zona está caracterizado por la presencia de domos volcánicos, estructuras geomorfológicas de forma convexa y simétrica, producto de la lenta extrusión de magma viscoso. Estos domos alcanzan alturas de entre 700 y 800 metros, con pendientes superiores a los 35 grados, y suelen presentar una depresión en su cima, conocida como caldera, originada por el asentamiento del material enfriado o por la disminución del nivel de lava en el conducto volcánico (Lugo, 2011, p. 138).

La distribución espacial de estas geoformas abarca las direcciones noroeste, oeste, suroeste y este del área de estudio, extendiéndose sobre una superficie de 24.19 km², equivalente al 7.80% del territorio municipal (Tabla 9).

Tabla 9. Tipos de Geoformas

Tipo de geomorfología	Superficie	Porcentaje
Cono volcánico de andesita-dacita	0.49	0.16
Cráter volcánico de andesita-dacita	1.29	0.42
Domo volcánico de andesita-dacita	24.19	7.80
Ladera de brecha volcánica	42.34	13.65
Ladera volcánica de andesita-dacita	67.88	21.89
Piedemonte conformado por material aluvial	27.94	9.01
Piedemonte de brecha volcánica	62.83	20.26
Piedemonte de toba riolítica	49.07	15.82
Planicie conformada por material aluvial	26.41	8.52
Valle fluvial acumulativo	1.83	0.59
Valle fluvial vertical	5.88	1.90

Fuente: Elaboración propia en base al ITC (Verstappen and Van Zuidam,1991).

Hacia el noroeste se encuentran cubriendo parte de lo que constituyen la estructura del volcán San Antonio, domos como el Cerro el Calvario, Cerro San Antonio y el Cerro Jabalí (Mapa 3), mientras que al oeste destacan los domos: el Cerro la Calera y la Ciervita, desarrollados en el Pleistoceno de composición ácida e intermedia, de rocas dacitas y andesitas con una configuración de drenaje poco desarrollada (Reyes, *et al.*, s/f), cercanos a las localidades de La puerta, Cruz Colorada y Loma Alta (Endañu, 2020).

De la misma secuencia se ubican al suroeste limitando con el municipio de Temascaltepec el Volcán Gordo y el Cerro Gordo y al noreste se localiza parte de la estructura de lo que forma el domo Cerro Prieto, que yace sobre el cráter del Nevado de Toluca, compuesto por un derrame brechado de dacita, conocido como "ombligo", dentro de esta unidad se desarrolla un escarpe activo con desprendimiento de lajas de roca y



una mesa volcánica (Espinosa, 2014, p. 11).

Al Norte de Zinacantepec se encuentran 2 domos que comparten límite con el municipio de Almoloya de Juárez, que son el Cerro del Molcajete y la Loma el Conejo, ambos cercanos al Conjunto Urbano La Loma II. En dirección a San Luis Mextepec se encuentra el Cerro de San Lorenzo Cuauhtenco, los tres de composición andesítica

En el límite sureste del municipio se localiza una porción del cráter del Nevado de Toluca, una depresión de forma cónica originada por la violenta expulsión de material volcánico a través de la chimenea. Esta estructura geomorfológica, asociada a los procesos eruptivos del volcán, ocupa tan solo el 0.42% del territorio municipal, equivalente a 1.29 km² (Lugo, 2011, p. 103).

Su composición está dada por derrames de lava basáltica con pendientes mayores a 40°. Su formación se originó en el Cuaternario, aproximadamente hace 60, 000 años (Aceves, 1997), tiene una forma de herradura producto de la última fase de erupción pliniana hace 11, 500 años, el cuál ha sido modelado por procesos de exaración (erosión producida por hielo de glaciares) formando valles glaciares con disección fluvial en forma de "U", debido a la corriente de los ríos (Espinosa, 2014, p. 11).

Al poniente de Zinacantepec se localizan dos conos volcánicos, formados por la acumulación de material piroclástico y escorias alrededor de una chimenea volcánica. Estas estructuras presentan pendientes pronunciadas, que oscilan entre 30° y 35° para materiales finos y 40° para materiales más gruesos. Con el paso del tiempo, los procesos exógenos han modificado el perfil de sus laderas (Lugo, 2011, p. 85). Ambos conos cubren una superficie total de 0.49 km², equivalente al 0.16% del territorio municipal, y se encuentran a poco más de 2 kilómetros de la localidad de Buenavista. Estas geoformas se asocian al sistema de fracturas de San Antonio (Reyes, *et al.*, s/f).

La extrusión de magmas de composición intermedia a ácida hacia la superficie originó la formación de domos y conos volcánicos, caracterizados por laderas con pendientes de entre 35° y 40°. Estas estructuras están compuestas principalmente por rocas dacíticas, andesíticas y brechas volcánicas (Espinosa, 2014, p. 10-11), y ocupan un área de 110.22 km² dentro del municipio.

Esta geomorfología se caracteriza por superficies inclinadas que delimitan formas del relieve cóncavas, convexas o mixtas. Su morfología resulta de la interacción de diversos factores, como el grado de evolución del relieve, la estructura geológica, las condiciones



climáticas, la vegetación y la exposición a la insolación y los vientos dominantes (Lugo, 2011, p. 235).

Su formación parte de derrames de lava basáltica de materiales de tipo dacita-andesita, que cubren el 21.89% del territorio, lo que representa una extensión de 67.88 km², siendo esta la estructura geomorfológica que mayor superficie abarca en Zinacantepec; cubriendo la parte sur y este del municipio y rodeando parte del aparato principal de la estructura del volcán Nevado de Toluca.

Su morfología muestra un predominio de pendientes convexas, que ha sido modeladas por procesos de intemperismo, dando como resultado la presencia de valles glaciares y fluviales profundos, con un drenaje controlado estructuralmente (Reyes, *et al.*, s/f, p. 10).

Mientras que las laderas constituidas por brecha volcánica se localizan en la parte central y al este del municipio, cubriendo 42.34 km², lo que equivale al 13.65% de extensión territorial, con pendientes mayores a 15°. Debido a la fragilidad de los materiales, estos son fuertemente disectados por los ríos, configurando inicialmente un sistema radial que posteriormente cambia a paralelo, por la baja resistencia a la erosión de los materiales (Reyes, *et al.*, s/f, p. 12). El tipo de material del que se conforman este tipo de laderas tiene que ver con las dos últimas erupciones que presentó el Nevado, que corresponden a la formación Toluca Pómez Inferior y Toluca Pómez Superior.

Localidades como; Raíces, Loma Alta, Cruz Colorada y La Puerta, se encuentran asentadas sobre este tipo de geoformas, albergando un total de 1, 656 habitantes, basado en datos de población de INEGI, 2020.

El relieve exógeno de Zinacantepec está conformado por piedemontes, planicies y valles fluviales. Estas geoformas son producto de la continua acción de procesos exógenos como la meteorización, la erosión y la sedimentación, que modelan la superficie terrestre (Endañu, 2020).

Los piedemontes son superficies inclinadas con una pendiente promedio de 6°, que se extienden desde la base de las laderas hacia zonas más bajas. Su altitud es significativamente menor que la de las elevaciones adyacentes. La morfología y la estructura interna de los piedemontes son variables, presentando un sustrato rocoso cubierto por una delgada capa de material no consolidado (Lugo, 2011, p. 314).

De forma general este tipo de geoformas abarca una superficie de 139.85 km², que corresponde al 45.09 por ciento de superficie, divididos en tres tipos, de acuerdo con el



material por el que se encuentran conformados que son, brecha volcánica, toba riolítica y material aluvial.

Los piedemontes compuestos por brecha volcánica constituyen la segunda unidad geomorfológica más extensa del territorio, ocupando el 20.26% del área total. Estas geoformas se localizan predominantemente en la zona noroeste, donde se asientan localidades como Barrio de la Rosa, Loma de San Francisco y el Kiosco. Hacia el oeste, se encuentran las poblaciones de Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas), Recibitas (El Molino), Ojo de Agua, Dos Caminos (Crucero de la Puerta) y Buenavista. Al suroeste, las localidades de La Peñuela, Cerro Gordo (El Gachupin) y Agua Blanca (Ejido de Santa María del Monte) se ubican sobre estos piedemontes, los cuales han experimentado procesos de erosión e intemperismo debido a la fragilidad del material y la falta de cobertura vegetal (Endañu, 2020).

El 15.82 por ciento lo conforman los piedemontes de toba riolítica, este tipo de estructuras cubren 49.07 km² de superficie municipal, ubicándose al norte de Zinacantepec, intercalando con material de tipo brecha volcánica. Sobre estas unidades se forman terrazas aluviales que se encuentran perpendiculares al cauce principal, que se forma por el descenso de dos corrientes provenientes del volcán San Antonio, el Arroyo Paso de Vázquez y la Garrapata (Reyes, *et al.*, s/f, p. 15).

Sobre este tipo de geoformas se encuentran asentadas cuatro localidades urbanas: Santa María del Monte, Barrio de México y El Cópore, ubicadas al noroeste, y el Conjunto Urbano la Loma I y II, al noreste. Asimismo, diversas localidades rurales como San Bartolo del Llano (San Isidro), San Bartolo el Viejo, San Miguel Hojas Anchas, El Curtidor y, hacia el noreste, San Pedro Tejalpa y Colonia Cuauhtémoc, se establecen sobre estas formaciones.

Los piedemontes conformados por material aluvial se localizan al noreste de Zinacantepec, los cuales están formados por capas de sedimentos a manera de un manto de perfil (Lugo, 2011, p. 314). Este tipo de material surge a partir de rocas preexistentes que conforman la geología de Zinacantepec y que han sido transportados y depositados en las partes bajas de la cuenca, debido a procesos de erosión fluvial.

Localidades urbanas como San Antonio Acahualco, Tejalpa, San Juan de las Huertas, San Cristóbal Técolit y Santa Cruz Cuauhtenco se encuentran asentadas sobre este tipo de piedemonte. Su distribución abarca 27.94 km² de superficie, lo que equivale al 9.01%



del total de territorio municipal.

El 8.52% de superficie se encuentra conformado por una planicie, este tipo de geoformas posee una superficie de poca inclinación equivalente a un plano horizontal, que ha sido formada por depósitos exógenos. Su morfología depende fundamentalmente del tipo de sedimentos, en el caso de las constituidas por materiales aluviales, presentan una inclinación baja (Lugo, 2011, p. 321).

Su distribución en la zona de estudio abarca una superficie de 26.41 kilómetros cuadrados, con una pendiente menor a 3°, constituyéndose de gravas, arenas, cenizas y arcillas, el espesor varía de 30 a 300 m (Servicio Geológico Mexicano, 2002). Este tipo de geoformas ha sido formado por procesos de acumulación de sedimentos por la acción del viento y el agua, que han sido depositadas en las zonas con menor pendiente.

La cabecera municipal se encuentra asentada sobre este tipo de geomorfología, incluyendo el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, San Luis Mextepec, la Colonia Nueva Serratón, El Porvenir I, Conjunto Urbano Privadas de la Hacienda entre otras.

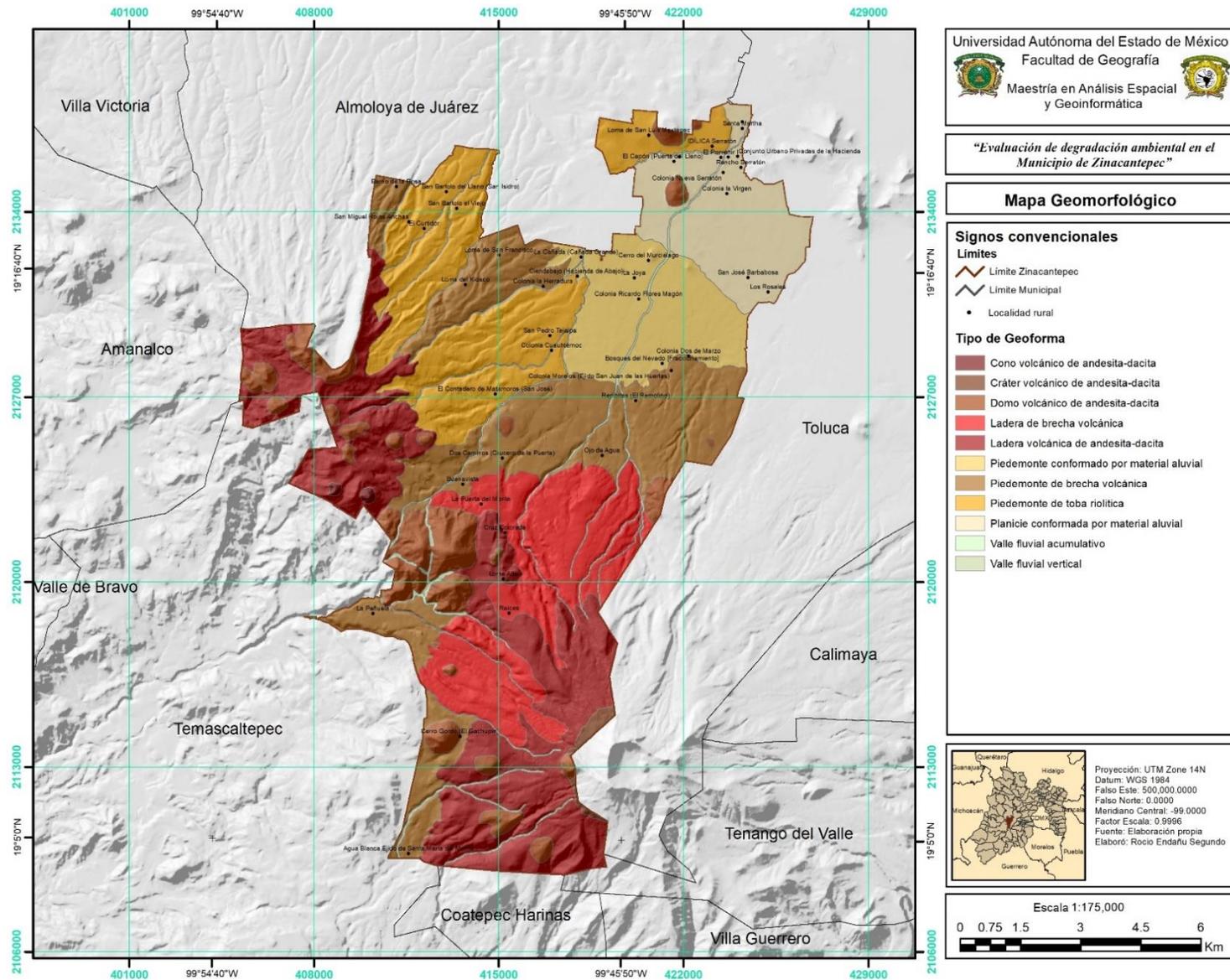
En cuanto a los valles fluviales, estos se forman a partir de la acción erosiva de las corrientes fluviales en la superficie terrestre, las cuales son influenciadas por los sistemas de fallas, formando sobre el terreno una sección transversal, con un perfil de fondo (Lugo y Martínez, 1980, como se citó en Lugo, 2011, p. 410). El porcentaje de este tipo de geoformas es el tercero menos representativo, en comparación con el resto de la geomorfología del municipio, abarcando una superficie de 1.83 km² (0.59 %) en los valles fluviales acumulativos; mientras que en los valles fluviales verticales alcanzan una extensión de 5.88 km² (1.90 %).

Este tipo de relieve representa un agente erosivo de transporte y acumulación, por efecto de las principales corrientes fluviales que recorren al municipio, situando al material en valles adyacentes a los cauces, además de los ubicados en la desembocadura de las corrientes (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 456).

Uno de los ríos más representativos es el Tejalpa, parte de su cauce atraviesa las localidades urbanas de Tejalpa, San Juan de las Huertas, San Cristóbal Técolit, San Miguel Zinacantepec y San Luis Mextepec, las cuales en los últimos años han sufrido daños considerables a causa de su desbordamiento, ya que al margen del río existen asentamientos humanos asentados de forma irregular, provocando inundaciones severas.



Mapa 2. Geomorfología de Zinacantepec





3.2.1.3 Edafología

La clasificación de suelos en el municipio se basa en el sistema de la Unión Internacional de Ciencias del Suelo IUSS (2015). Se han identificado siete tipos de suelos: andosoles, cambisoles, feozem, litosoles, planosoles, regosoles y vertisoles, cada tipo se distingue por un horizonte diagnóstico específico, lo que permite su identificación y estudio. La Tabla 10 presenta la distribución porcentual de estos suelos en el territorio municipal.

Tabla 10. Tipos de Suelos

Tipo de suelo	Clave	Superficie	Porcentaje
Andosol húmico	Th+Be/2	178.46	57.54
Andosol mólico	Tm+Hh/2	4.47	1.44
Andosol ócrico	To+Hh/2	7.88	2.54
Cambisol crómico	Bc+Th/2	4.76	1.54
Feozem háplico	Hh/2	100.85	32.52
Feozem lúvico	HI+Hh/2	3.06	0.99
Litosol	I+Hh/2	0.68	0.22
Planosol mólico	Wm+Wh/2	0.40	0.13
Regosol eútrico	Re+I/1	0.34	0.11
Vertisol pélico	Vp/2	9.13	2.94

Fuente: Elaboración propia en base a INEGI.

Los suelos andosoles cubre la mayor superficie municipal abarcando 190.81 km², representando 61.52% del territorio municipal, estos se desarrollan a partir de depósitos volcánicos, resultado de factores y elementos físicos que se originan en el territorio. Su formación deriva de la combinación del material parental de rocas tipo dacita-andesita y brechas volcánicas; así como de materiales piroclásticos como la toba, del período Terciario y Cuaternario, producto de la erupción de los conjuntos volcánicos San Antonio y el Nevado de Toluca (Mapa 4). Los horizontes de desarrollo son el andosol húmico, mólico y ócrico cada uno con un diferente grado de desarrollo.

Para el caso del andosol húmico, este contiene una capa superficial de color oscura, rica en materia orgánica debido a la alta concentración de humus que lo integran, considerándoseles suelos fértiles que pueden resultar muy aptos para cualquier uso (INEGI, 2004, p. 11, 23); su desarrollo se da en climas semifrío subhúmedo con lluvias en verano, sobre pendientes que van de bajas a altas, sobre las laderas noreste del volcán San Antonio y del Nevado.

Estos suelos son de tipo franco, lo que significa que tienen una mezcla perfecta de



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

diferentes tipos de partículas. Esto hace que el agua pueda pasar a través de ellos sin encharcarse, pero al mismo tiempo retienen suficiente agua y nutrientes para que las plantas puedan crecer bien. Por eso, son ideales para la agricultura.

Este horizonte se desarrolla al norte del municipio, cerca de localidades como Santa María del Monte, el Barrio de la Rosa, Colonia Cuauhtémoc, Contadero de Matamoros, Dos Caminos, La Puerta del Monte, entre otras y al sur, entre las localidades de Raíces, La Peñuela y Agua Blanca, ocupando una superficie de 178.46 km² de territorio, lo que corresponde al 57.54% de los tipos de suelo.

Los andosoles mólicos se caracterizan por presentar un horizonte superficial grueso, desarrollándose en pendientes de hasta 10°. Su estructura, generalmente granular o en bloques subangulares finos, está bien desarrollada y presenta una alta saturación de bases y un contenido de materia orgánica moderado a alto (IUSS, 2007, p. 25). Estas características confieren a estos suelos una alta fertilidad, apta para diversos cultivos. Se localizan principalmente en el piedemonte bajo de las laderas noroeste del Nevado de Toluca, abarcando el 1.44% del territorio municipal.

Por su parte el andosol ócrico se caracteriza por tener la capa de suelo más clara y pobre en materia orgánica debido a que presenta un menor desarrollo, conteniendo en el subsuelo gran cantidad de material original sin transformar (IUSS, 2007) de tipo brecha volcánica, conformando por rocas de fragmentos de dacita con pómez, entremezclados con arenas y gravas fluviales del período Terciario, por lo que su textura es más gruesa. Su desarrollo se ubica en la parte central del municipio de Zinacantepec y en menores proporciones al norte del territorio, cubriendo 7.88km² de extensión municipal.

El siguiente tipo de suelo que se encuentra en la superficie del municipio es el cambisol, estos suelos están poco desarrollados debido a su formación reciente y contienen un horizonte subsuperficial originado del material base, representando el tipo de roca subyacente. Su desarrollo se debe a una serie de derrames de rocas dacita-andesita, resultado de la actividad volcánica de la región.

El horizonte que se forma a partir del desarrollo del material parental es el cambisol crómico, estos suelos se localizan sobre el piedemonte del volcán San Antonio al noreste, donde se desarrolla un clima semifrío subhúmedo, con temperaturas medias anuales de entre 5°C y 12°C y lluvias de verano. La extensión territorial que abarca este tipo de suelo es de 4.76%, lo que representa el 1.54% del territorio.



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

Su coloración, que oscila entre tonos pardos y rojizos, con ocasionales matices amarillentos, junto con su textura media y acumulaciones de arcilla, confieren a este suelo propiedades físicas y químicas excepcionales. Destaca su alta estabilidad estructural, su elevada porosidad, su excelente capacidad de retención de humedad y drenaje interno, así como su notable capacidad para retener nutrientes (INEGI, 2004, p. 22).

Sus usos pueden ser amplios, sin embargo, estos en ocasiones se encuentran condicionados por limitantes asociadas a la topografía, ya que su desarrollo se da en pendientes medias y altas, que van de los 15° a 62° de inclinación, por lo que la susceptibilidad a erosionarse es de moderada a alta, quedando su uso reducido al forestal preferentemente.

El suelo de tipo feozem es el segundo que cubre una mayor extensión territorial en el municipio. Sus horizontes de diagnóstico que se forman son: el feozem háplico y el lúvico. El feozem háplico se distribuye al noreste del municipio, en el piedemonte bajo del Nevado de Toluca, sobre pendientes de 10°, el tipo de roca del que es subsecuente es la brecha volcánica. Mientras más se extiende al norte las pendientes son más bajas y su formación parte del material transportado y depositado en la planicie de tipo aluvión, constituido por arenas, gravas, cenizas y arcillas.

Su localización abarca la cabecera municipal de Zinacantepec, se caracterizan por ser suelos oscuros ricos en materia orgánica (Ibáñez y Martínez, 2015), se desarrolla en pendientes menores a los 5°, por lo que la diversidad de usos agrícolas es amplia, con rendimientos altos por el tipo de terreno donde se forman.

Hacia el noroeste, en las laderas del volcán San Antonio, el horizonte háplico se desarrolla a partir de materiales volcánicos finos, como las tobas, en pendientes de hasta 26°. Esta característica hace que los suelos sean menos profundos y poco desarrollados, con menores rendimientos, pero no impide que puedan ser aprovechados.

Este horizonte se localiza sobre las localidades de Santa María del monte, San Bartolo del Llano (San Isidro), San Bartolo el viejo, El Curtidor, La Loma de San Francisco, La cañada, Ciendabajo entre otras, cubriendo una extensión de 32.52% de superficie.

En cuanto al suelo de tipo feozem lúvico se localización al norte, cubriendo pequeñas y aisladas áreas del municipio de Zinacantepec; localidades como El Capón (Puerta del Llano), la Colonia Praztitlán, y la Loma de San Luis Mextepec están ubicadas sobre estos suelos, que abarcan una superficie menos del 1%, lo que representa 3.06 km².



Su textura es lítica profunda, son pedregosos y muy permeables, su desarrollo se origina en pendientes de 26°, formados por brechas volcánicas donde la roca continua va de los 50 y 100 cm de profundidad. Mientras que en pendientes de 4° en el piedemonte bajo de la Loma de San Luis Mextepec, presentan acumulación de arcilla en el subsuelo, esto dificulta el drenaje, teniendo una elevada retención de agua y de nutrientes.

Son generalmente de color rojizo o pardo oscuro, su desarrollo depende del tipo de roca, el relieve y principalmente el tipo de clima que converge en la zona, este es de tipo templado subhúmedo C(w2), caracterizado por presentar un excedente en las precipitaciones anuales registradas.

Especialmente los suelos feozem, litosol, planosol y regosol cubren aproximadamente el mismo porcentaje de superficie en el municipio. Los litosoles representan el 0.22% del territorio, el Cerro Gordo está conformado por este tipo de material, son suelos someros sin desarrollo de perfil, su profundidad es menor a 10 centímetros de espesor (INEGI, 2004, p. 16), característica importante para el enraizamiento de las coberturas arbóreas y el contenido en nutrientes.

Se encuentran limitados por la presencia de materiales rocosos de tipo dacita-andesita de distintos tamaños, por lo que su uso es destinado a la vegetación arbórea. Este suelo se encuentra en combinación con suelos feozem háplico y planosol al norte.

Los planosoles, en su mayoría, presentan una profundidad media que oscila entre 50 y 100 centímetros. Se caracterizan por una capa subsuperficial relativamente delgada e infértil, con un menor contenido de arcilla en comparación con las capas inferiores.

Los suelos de esta zona se caracterizan por un subsuelo arcilloso e impermeable. En la superficie, presentan un horizonte oscuro y rico en materia orgánica, propio de los planosoles mólicos. A pesar de su alta fertilidad, su susceptibilidad a inundaciones y su limitada extensión (0.13% del territorio municipal), los sitúa en las proximidades de la Loma de San Francisco, al extremo norte del municipio.

El desarrollo del suelo regosol eútrico, se ubica cerca del cráter del Nevado de Toluca al noreste; su principal característica es que son suelos someros, poco desarrollados por lo que no representa capas muy diferenciadas entre sí (INEGI, 2004, p. 18). El material del que están conformados es de rocas dacita-andesita, del período Neógeno, asociado a los productos de los depósitos de Pómez Toluca Inferior, que representan un conjunto de lavas andesíticas porfídico con una edad de 24,500 años,



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

En general son de color claro, debido al tipo de roca que lo conforman y a la poca presencia de materia orgánica, por su poco desarrollo. Su fertilidad es variable esta depende de la sinuosidad del terreno (INEGI, 2004, p. 18), la pendiente sobre la que se desarrollan son 62° , por lo que sus usos se encuentran limitados y condicionados al forestal, para evitar problemas de erosión. La distribución superficial que abarcan es 0.34 km^2 , representado el 0.11% de superficie.

Por último, los suelos vertisol, están constituidos por materiales de aluvión y tobas, se localizan al extremo noreste del municipio, representando 9.13 km^2 de superficie que equivalen al 2.94% del territorio.

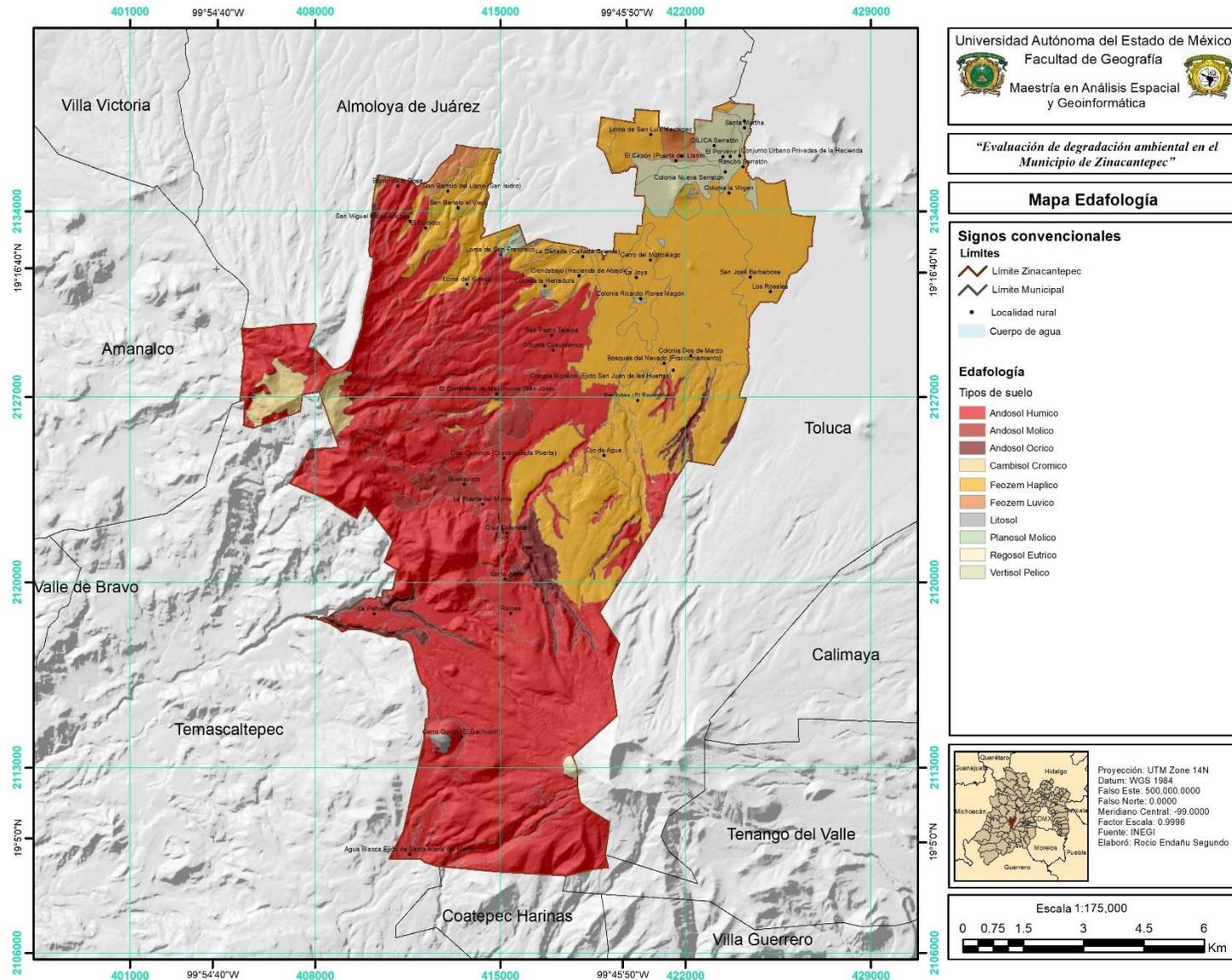
El horizonte desarrollado corresponde a un Vertisol pélico, típico de climas templados húmedos (INEGI, 2004, p. 20). Estos suelos se originan a partir de sedimentos arcillosos que, debido a su capacidad de expansión en condiciones de humedad y contracción en períodos secos, generan grietas superficiales o profundas (Ibáñez, 2011a).

Presentan una coloración oscura, entre negra y gris, y su uso agrícola es amplio y productivo. No obstante, a pesar de su fertilidad, su labranza se ve dificultada por su dureza. Por debajo de los 20 cm, estos suelos exhiben un contenido de arcilla no inferior al 30%, extendiéndose al menos hasta los 100 cm de profundidad (Ibáñez, 2011b).

Desarrollados en pendientes inferiores a 5° , estos suelos arcillosos presentan un comportamiento hidrológico particular. Una vez saturada la superficie y cerradas las grietas, la infiltración de agua se vuelve prácticamente nula, incrementando significativamente el riesgo de inundaciones.



Mapa 3. Edafología de Zinacantepec





3.2.1.4 Climatología

Según la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García, los tipos de clima presentes en el municipio de Zinacantepec son: Semifrío Cb'(w2), Templado subhúmedo C(w2) y Frío E(T) CHw (Tabla 11).

Tabla 11. Tipos de Clima

Tipo de clima	Clave	Superficie	Porcentaje
Templado subhúmedo	C(w2)	80.767	26.04
Semifrío subhúmedo	Cb'(w2)	226.38	72.99
Frío	E(T)CHw	3.01	0.97

Fuente: Elaboración propia en base a Casa A. y CONABIO, 1997.

El clima Semifrío subhúmedo Cb'(w2) con verano fresco largo, se encuentra distribuido de sur a norte, abarcando una superficie de 226.38 km², lo que representa el 72.99% del territorio municipal (Mapa 5). Uno de los factores principales que incide en este tipo de clima es el relieve, ya que se ubica al este el volcán Nevado de Toluca y hacia el oeste el volcán San Antonio.

La altitud a la que se desarrolla este clima en el municipio es a partir de los 2900 a 3900 msnm, dando como resultado distintos tipos de vegetación. La temperatura media anual se encuentra entre 5°C y 12°C; mientras que la temperatura del mes más frío oscila entre los -3°C y 18°C y la del mes más caliente se encuentra bajo 22°C. Las lluvias durante el mes más seco son menores a 40 mm, por lo que el mayor porcentaje se distribuye durante el verano y las precipitaciones en invierno tienen un porcentaje del 5 al 10.2% del total anual.

De acuerdo con información recabada por la estación climatológica 15229, ubicada en la localidad de Loma Alta, se tienen datos registrados de temperaturas y precipitaciones promedio durante los últimos casi 30 años en el municipio (Tabla 12).

Tabla 12. Temperaturas y Precipitaciones Medias de la Estación 15229

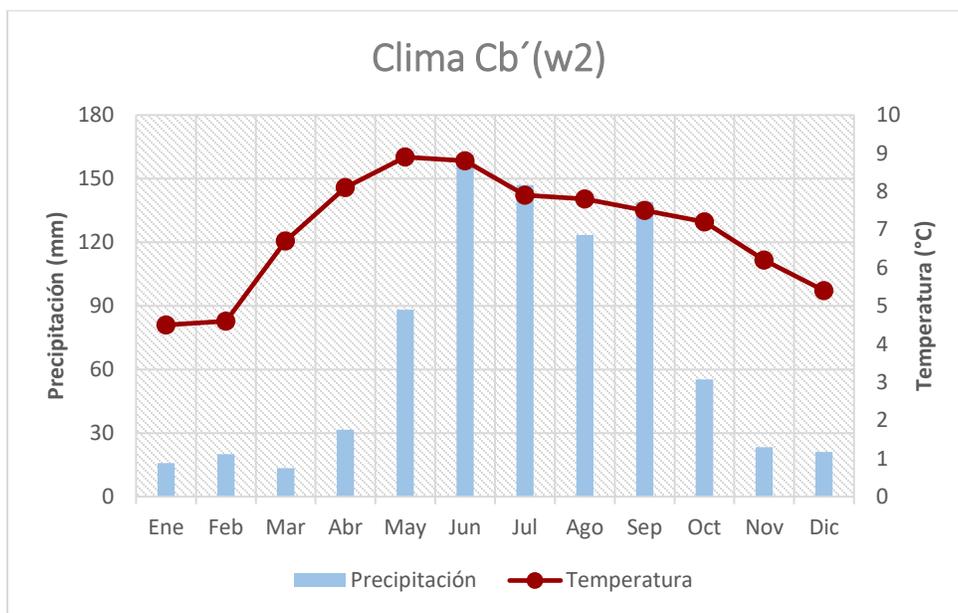
Clave de Estación 15229												
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura	4.5	4.6	6.7	8.1	8.9	8.8	7.9	7.8	7.5	7.2	6.2	5.4
Precipitación	15.9	20	13.4	31.6	88.2	161.4	147	123.5	139.1	55.3	23.4	21.1



Fuente: ERIC Extractor Rápido de Información Climatológica, 2008.

En esta zona, las temperaturas máximas promedio se registran en abril, mayo y junio (Figura 7), siendo mayo el mes más caluroso, con una temperatura promedio de 8.9°C. En contraste, el período más frío ocurre en diciembre, enero y febrero, con enero siendo el mes más frío, presentando una temperatura mínima de 4.5°C. En general, la temperatura promedio observada en esta área para este tipo de clima es de 7°C.

Figura 7. Gráfica Pluviométrica de la Estación Climatológica 15229 en Zinacantepec



Fuente: ERIC Extractor Rápido de Información Climatológica, (2008)

Mientras que los niveles más altos de precipitación se encuentran en los meses de junio a septiembre, donde junio es la época del año con mayor cantidad de precipitación, con un total de 161.4 mm y marzo el mes donde se registra la menor cantidad de precipitaciones, la equivalente a 13.4 mm; teniendo una lluvia promedio de 839.9 mm registrada para esta zona.

Hacia el norte, en la zona plana donde se ubica la cabecera municipal de Zinacantepec, el tipo de clima es Templado subhúmedo C(w2), el cual cubre una superficie de 80.76 km², que abarca el 26% del total de la superficie municipal.

Este clima presenta temperaturas medias anuales entre 12°C y 18°C, con valores de temperaturas del mes más frío entre -3°C y 18°C y la del mes más caliente bajo 22°C. Las precipitaciones durante el mes más seco son menores a 40 mm, con presencia de lluvias



en verano; se tiene un porcentaje de lluvia invernal de 5 al 10.2% del total anual.

Para el caso de Zinacantepec, los datos registrados por la estación 15207 ubicada al noreste de la localidad Ricardo Flores Magón (Tabla 13), señalan en los últimos años una temperatura promedio de 8.5 °C, con temperaturas máximas de 11.9°C en el mes de junio y mínimas de 4.2°C en enero.

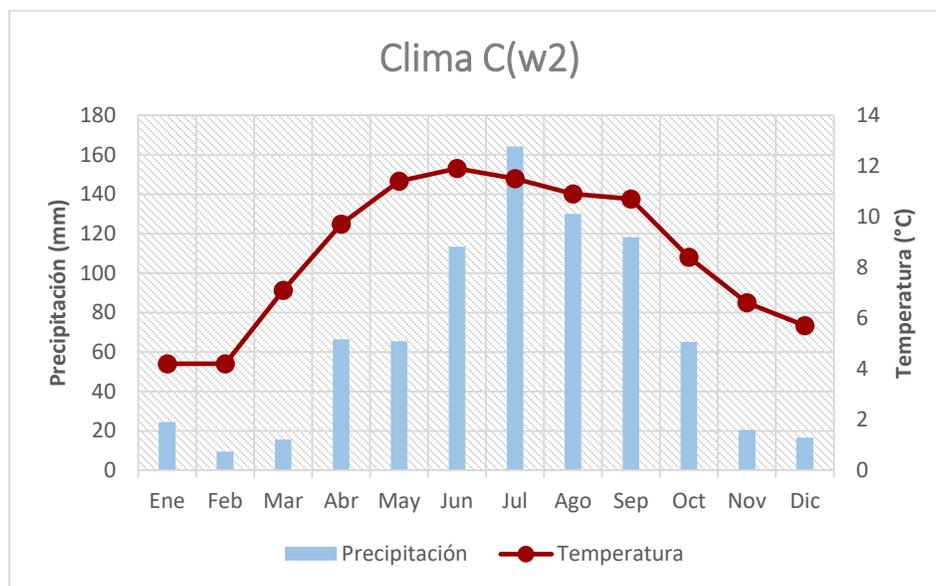
Tabla 13. Temperaturas y Precipitaciones Medias de la Estación 15207

Clave de Estación 15207												
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura	4.2	4.2	7.1	9.7	11.4	11.9	11.5	10.9	10.7	8.4	6.6	5.7
Precipitación	24.4	9.5	15.6	66.4	65.4	113.4	164.2	130	118.2	65.1	20.4	16.5

Fuente: ERIC Extractor Rápido de Información Climatológica, 2008.

Los niveles máximos de precipitación se distribuyen en los meses de junio a septiembre (Figura 8), siendo julio el mes con mayor nivel de precipitación, equivalente a 164.2 mm y febrero el mes con menor cantidad de lluvias, igual a 9.5°C, obteniendo un promedio de precipitaciones de 809.1 mm para esta zona.

Figura 8. Gráfica Pluviométrica de la Estación Climatológica 15207 en Zinacantepec



Fuente: ERIC Extractor Rápido de Información Climatológica, 2008.

El clima Frío E(T)CHw predomina en la cima del Nevado de Toluca, a más de 4000 msnm, abarcando el 1% del territorio municipal. Se caracteriza por temperaturas medias anuales entre -2°C y 5°C. Dada la altitud, las temperaturas son considerablemente más



bajas que en otros climas, con 0°C en los meses más fríos y entre 0°C y 6.5°C en los más cálidos. Las precipitaciones se concentran principalmente en verano (Tabla 14).

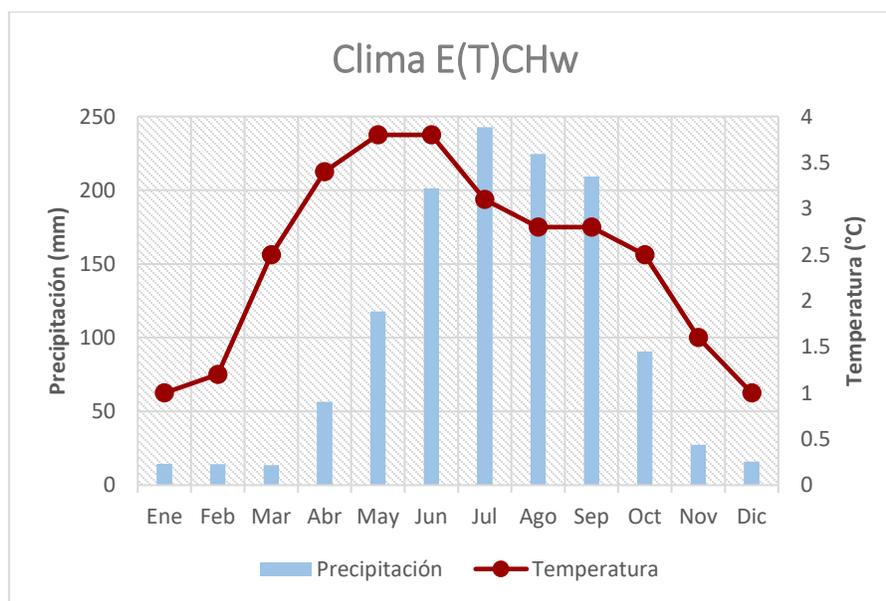
Tabla 14. Temperaturas y Precipitaciones Medias de la Estación 15062

Clave Estación 15062												
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura	1	1.2	2.5	3.4	3.8	3.8	3.1	2.8	2.8	2.5	1.6	1
Precipitación	14.5	14.3	13.5	56.5	117.7	201.3	242.7	224.6	209.2	90.7	27.3	15.9

Fuente: ERIC Extractor Rápido de Información Climatológica, 2008.

En la Figura 9, se muestran datos de temperaturas y precipitaciones en la estación 15062 ubicada en el Nevado de Toluca, los meses con mayor grado de temperatura son de abril a junio con valores superiores a 3°C, mientras que los meses más fríos se registran de noviembre a enero, con condiciones de temperaturas igual o menor a 1°C, llegando a registrar nevadas en esta parte del municipio.

Figura 9. Gráfica Pluviométrica de la Estación Climatológica 15062 en Zinacantepec

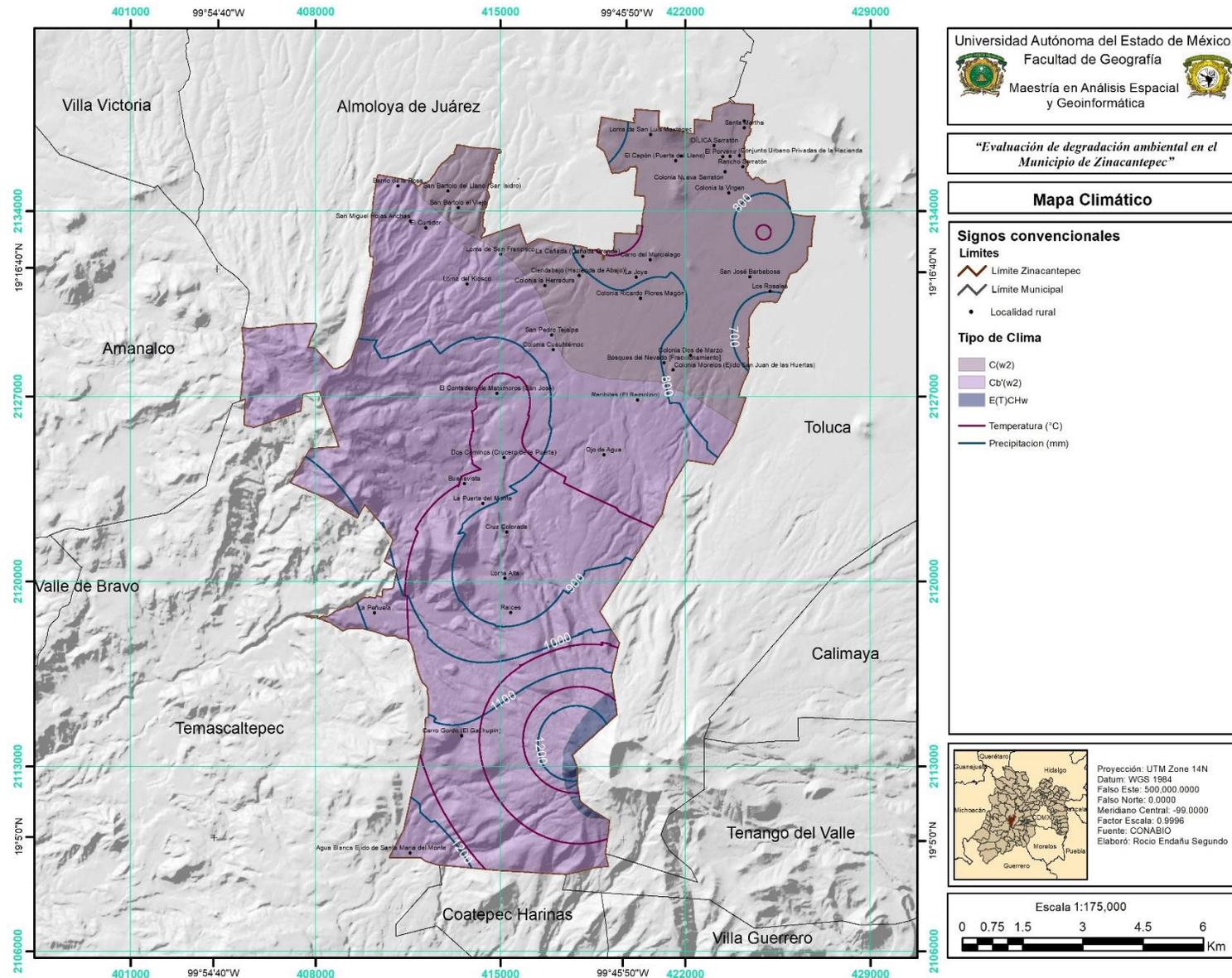


Fuente: ERIC Extractor Rápido de Información Climatológica, 2008.

Las precipitaciones en esta zona son mayores a diferencia de otras partes del municipio, debido al tipo de relieve y a la altitud del terreno, los meses más lluviosos se distribuyen a partir de junio a septiembre superando los 200 mm y los meses donde las precipitaciones son escasas, son de enero a marzo con niveles de precipitación menores a 20 mm.



Mapa 4. Clima de Zinacantepec





3.2.2 Elementos Bióticos y Antrópicos

3.2.2.1 Uso de suelo y vegetación

La biodiversidad de Zinacantepec se debe a su ubicación geográfica, el tipo de relieve y las características físicas del territorio, determinadas por su litología, tipo de suelo y clima. Estas características están influenciadas por la estructura volcánica del Nevado de Toluca, lo que ha llevado a la formación de diversos tipos de vegetación en la zona de estudio (Tabla 15).

En el área de estudio, la vegetación predominante son los bosques templados, principalmente con comunidades de pino y oyamel. Los bosques de pino abarcan 57.46 km² del territorio municipal, lo que representa el 18.53% de la superficie (Mapa 6). Dentro de estos bosques se distinguen dos tipos de comunidades: *Pinus hartwegii* y *Pinus montezumae*.

Tabla 15. Superficie de Usos de Suelo y Vegetación

Tipo de uso de suelo y vegetación	Superficie	Porcentaje
Agricultura de riego	19.75	6.37
Agricultura de temporal anual	103.71	33.44
Asentamientos humanos	39.51	12.74
Bosque de cedro	0.79	0.25
Bosque de oyamel	54.95	17.72
Bosque de oyamel-pino	4.17	1.35
Bosque de pino	57.46	18.53
Desprovisto de vegetación	0.40	0.13
Explotación minera	0.79	0.25
Pastizal inducido	5.98	1.93
Pradera de alta montaña	1.28	0.41
Vegetación secundaria arbustiva de encino-pino	1.56	0.50
Vegetación secundaria arbustiva de oyamel	0.92	0.30
Vegetación secundaria arbustiva de pino	18.32	5.91

Fuente: Elaboración propia en base a imágenes SENTINEL 2A.

Las características de cada tipo de pino, están condicionadas principalmente por el clima que se genera a diferentes altitudes, ya que el *Pinus hartwegii*, se ubica a una altitud de 3500 a 4000 msnm y en condiciones de mayor altitud y menor temperatura muestra una disminución en su altura; caso contrario a lo que pasa con las especies de *Pinus montezumae*, este se forma a partir de los 3000 a 3200 msnm, siendo más denso que el anterior tipo de pino, sin embargo su distribución tiende a ser más fragmentada, debido a



que han sido especies muy explotadas (Endara, 2007, como se citó en Semarnat, 2016, p. 19 y 20).

Ambos tipos de comunidades forman los bosques de pino, ubicados al sur y sureste del municipio. Estos bosques cubren partes de las laderas suroeste del volcán Nevado de Toluca, así como las laderas del Volcán y Cerro Gordo. También hay comunidades de pinos a lo largo de la carretera que conduce al Crucero la Puerta y de manera dispersa al oeste, en la parte más alta del Cerro la Calera. Además, se encuentran al noroeste, en la estructura volcánica de San Antonio, a partir de los 3300 msnm (Endañu, 2020).

En general, las comunidades de bosque de pino se encuentran en todo el municipio, aunque al norte de Zinacantepec su concentración es menor y en porciones muy pequeñas. Esto se debe a los elementos y factores propios de la zona de estudio que permiten su desarrollo, además de los procesos sociales, como diversas actividades antropogénicas.

Por otro lado, las comunidades de bosque de oyamel (*Abies religiosa*) se extienden de este a oeste en la zona de estudio, con mayor presencia al oeste. Estas comunidades conforman la vegetación de las laderas orientales del volcán San Antonio, así como las del Cerro la Calera y las laderas sureste del Nevado de Toluca. Con estratos bien definidos, abarcan una superficie de 54.95 kilómetros cuadrados, lo que equivale al 17.72% del total de la superficie municipal.

La distribución de ambos tipos de bosques se encuentra condicionada por el clima semifrío subhúmedo Cb'(w2) de la región, caracterizado por temperaturas medias anuales entre 5°C y 12°C y precipitaciones anuales que oscilan entre 600 y 1400 mm. Adicionalmente, las características edáficas y litológicas, influenciadas por la actividad volcánica y la geomorfología, propician el desarrollo de estas comunidades forestales (Endañu, 2020).

La diversidad forestal se enriquece con la presencia de asociaciones de oyamel y pino, propias de zonas de transición. Estas comunidades se distribuyen principalmente en las laderas y el piedemonte oeste del Nevado de Toluca, caracterizando la vegetación de localidades como Raíces y La Peñuela. Estos bosques mixtos representan el 1.35% (4.17 km²) del territorio municipal.

Los bosques de pino y oyamel están constituidos por comunidades de vegetación secundaria. El desarrollo de esta vegetación está relacionado con el grado de alteración



que ha sufrido el área (INEGI, 2014b), lo que ha modificado sustancialmente el medio original.

Desarrollándose vegetación secundaria de bosques de pino, en las porciones más altas de las laderas del volcán Nevado de Toluca, ocupando 18.32 km² del total del territorio, lo que representa el 5.91%. por su parte la vegetación secundaria arbustiva de oyamel se desarrolla en menor proporción y de forma aislada al norte de las laderas del Nevado y al oeste, en la parte más alta del cerro la Calera, como zona de transición entre el bosque de oyamel y bosque de pino, esta comunidad arbustiva apenas cubre 0.92 km² de superficie de la zona de estudio, lo que equivale al 0.30% del territorio.

En la parte más alta del municipio, se desarrolla la pradera de alta montaña, debido a las condiciones de altitud, clima y geomorfología de la zona. Este tipo de vegetación está constituido por plantas herbáceas, principalmente pastos amacollados o zacatonales, que se encuentran distribuidos entre los 4000 y 4400 msnm en todas las laderas del volcán y el cráter (Semarnat, 2016, p. 23). Esta vegetación cubre una superficie de 1.28 km², lo que equivale al 0.41% del total de los tipos de vegetación.

En las zonas de mayor altitud e inaccesibilidad del volcán, como el domo Cerro Prieto ubicado al oeste del cráter, la vegetación es prácticamente nula. Esta ausencia se atribuye a factores abióticos como el clima extremo, la elevada altitud, las pendientes pronunciadas y la carencia de suelo desarrollado. Esta área desprovista de cobertura vegetal abarca 0.40 km², representando solo el 0.13% del territorio total.

Al norte del municipio se encuentra vegetación de bosque de cedro y vegetación secundaria arbustiva de encino-pino. El bosque de cedro ocupa una superficie de solo 0.25%, cubriendo 0.79 km², y se encuentra de forma aislada en áreas pequeñas. Principalmente, se ubica al pie de la carretera que conduce al Crucero de la Puerta y, más al norte, cubre porciones pequeñas del piedemonte del volcán San Antonio, cerca de la presa del Monte y las laderas que forman los valles cercanos al poblado de Santa María del Monte.

El 0.50% de superficie municipal está constituido por vegetación secundaria arbustiva de encino-pino, esta se encuentra distribuida sobre las laderas, valles y piedemonte de la estructura volcánica del San Antonio, al noreste donde se asientan localidades como Santa María del Monte, San Bartolo el viejo, entre otras. De forma general este tipo de vegetación arbustiva cubre una superficie de 1.56 km², desarrollada en climas templado



subhúmedo, característico de este tipo de vegetación.

En cuanto a los usos del suelo por la población, Zinacantepec se enfoca principalmente en actividades agrícolas, ocupando 123.46 km², que equivalen al 39.81% del territorio. Estas actividades se dividen en dos tipos: agricultura de temporal anual y agricultura de riego. Ambas se caracterizan por tener un ciclo vegetativo de menos de un año y por contar con cierta cantidad de agua durante períodos sin precipitaciones.

Zinacantepec cuenta con una mayor superficie dedicada a la agricultura de temporal anual, que abarca el 33.44% del territorio, equivalente a 103.71 km². Esta agricultura se distribuye en las laderas y el piedemonte norte del Nevado de Toluca, tanto dentro como fuera de sus límites, así como en el extremo norte del municipio. Al oeste, incluye porciones del piedemonte donde se encuentra la localidad de La Peñuela.

En localidades como Loma Alta, Cruz Colorada, Dos Caminos, Agua Blanca, Buenavista y Raíces, los principales cultivos de temporal anual son la papa y la avena (Semarnat, 2016, p. 41). Estos cultivos se adaptan a las bajas temperaturas del clima semifrío de la zona y a las características de los suelos, que son de tipo andosol húmico y feozem háplico. Ambos tipos de suelos tienen alta fertilidad debido a la concentración de materia orgánica (INEGI, 2004, p. 11, 23), lo que permite una amplia diversidad agrícola. A medida que se descende, los cultivos cambian, predominando la siembra de avena, haba y maíz, siendo este último más dominante en las zonas de piedemonte y planicies.

En cuanto a la práctica de agricultura de riego, su distribución delimita superficies al norte donde se ubican localidades como San Miguel, Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, San Antonio Acahualco, San Pedro Tejalpa, el Contadero de Matamoros, San Cristóbal Técolit, Ojo de Agua, La Puerta del Monte y al suroeste a la localidad de la Peñuela, entre otras, abarcando un área total de 19.75 km².

Estos cultivos se benefician de la disponibilidad de agua para riego durante todo su ciclo vegetativo (INEGI, 2014, p.15), lo que permite una diversidad en la plantación de hortalizas, además, los cultivos de maíz prevalecen en este tipo de agricultura.

En el sur y oeste del municipio, en las laderas sureste del Nevado de Toluca y el Cerro Gordo, así como al oeste de las laderas del San Antonio, se concentran áreas de pastizales inducidos. Estas áreas abarcan 5.98 km², lo que representa el 1.93% del territorio. Su origen está relacionado con el alto grado de impacto que han sufrido los bosques de pino y oyamel a lo largo del tiempo debido a actividades antrópicas como la



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

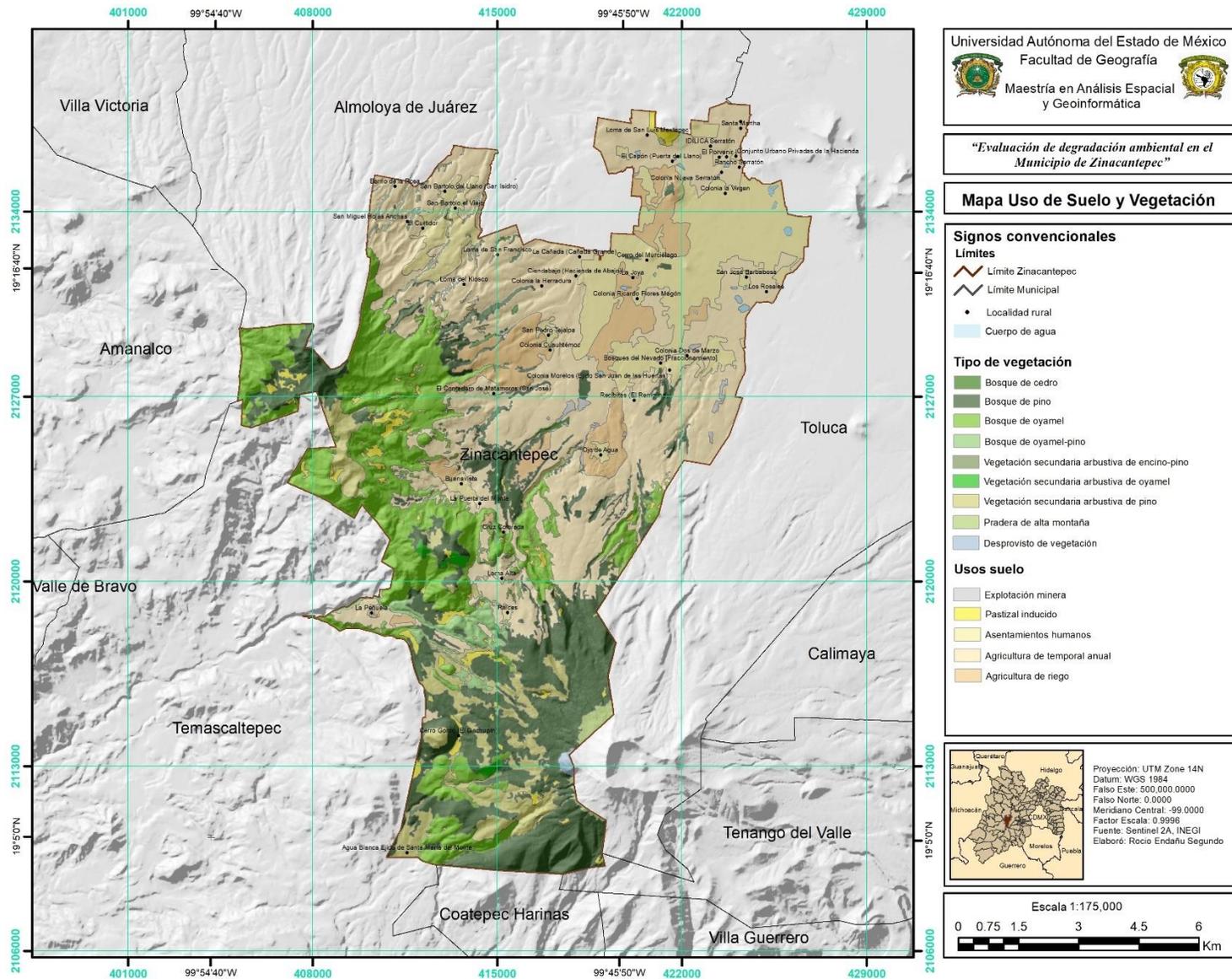
agricultura y la ganadería (Madrigal y González, 1991; Regil, 2005, citado en Semarnat, 2016, p. 22), provocando condiciones de perturbación.

La minería es otra actividad económica relevante en el municipio, ocupando una superficie de 0.79 km² (0.25% del territorio). Esta actividad se concentra principalmente en los piedemontes del Nevado de Toluca, donde afloran brechas volcánicas producto de antiguas erupciones explosivas.

La distribución de los asentamientos humanos en el municipio presenta una marcada asimetría. El 39.51% del territorio está ocupado por zonas urbanas, concentradas principalmente en el noreste, donde predominan los piedemontes y la planicie. Al sur, la densidad poblacional es menor, con predominio de asentamientos rurales en las laderas del Nevado de Toluca, localidades como La Peñuela, Raíces, Loma Alta y Buenavista, se ubican en esta zona.



Mapa 5. Uso de Suelo y Vegetación en Zinacantepec





3.2.2.2 Áreas Naturales Protegidas

Según el Decreto que modifica las disposiciones del Parque Nacional "Nevado de Toluca", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de enero de 1936 y nuevamente modificado el 19 de febrero de 1937 en su artículo primero, los límites de protección del parque abarcan superficies municipales de Almoloya de Juárez, Amanalco, Calimaya, Coatepec Harinas, Temascaltepec, Tenango del Valle, Toluca, Villa Guerrero, Villa Victoria y Zinacantepec en el Estado de México. La superficie total del parque es de 535.8988 km² (Semarnat, 2016).

Dentro de los límites de Zinacantepec, el Nevado de Toluca cubre el 60.22% del territorio municipal, abarcando áreas en las partes sur, centro y noroeste del área de estudio (Tabla 16).

Tabla 16. Superficie de Áreas Naturales Protegidas

Área Natural Protegida	Superficie total del ANP (km ²)	Superficie municipal del ANP (km ²)	Porcentaje
Nevado de Toluca	535.89	186.78	60.22
Sierra Morelos	12.55	0.24	0.079

Fuente: Elaboración propia en base a CONABIO.

Dentro del Área Natural Protegida Nevado de Toluca se encuentran localidades como Dos Caminos, Crucero de la Puerta, Buenavista, La Puerta del Monte, Cruz Colorada, Loma Alta y Raíces, asentadas principalmente en el piedemonte volcánico (Mapa 7). Si bien esta área fue inicialmente designada como Parque Nacional con el fin de conservar la flora y fauna, la presencia de asentamientos humanos establecidos posteriormente, producto de dotaciones agrarias, ha exigido la implementación de esquemas de manejo que concilien los objetivos de conservación con las necesidades socioeconómicas de las comunidades tanto internas como externas al área protegida.

Por lo que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), conforme al artículo 58 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEEPA), llevó a cabo un estudio previo justificativo para modificar el Decreto y cambiar la categoría de Parque Nacional a Área de Protección de Flora y Fauna "Nevado de Toluca". Esta modificación legal permite la conservación de los hábitats críticos para la existencia, transformación y desarrollo de especies de flora y fauna silvestres, mientras se autoriza el



aprovechamiento de recursos naturales bajo esquemas que preserven los ecosistemas naturales y los servicios ambientales que proporcionan (H. Congreso de la Unión, 2014c, p. 41).

El Área Natural Protegida alberga una notable diversidad biológica, con un registro de 1,127 especies, entre las que se incluyen plantas, hongos y animales (SEMARNAT, 2016). De este total, 41 especies se encuentran enlistadas en alguna categoría de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010. Desde una perspectiva hidrológica, el Nevado de Toluca constituye una fuente hídrica fundamental, abasteciendo el acuífero del Valle de Toluca y contribuyendo a la formación de dos importantes Regiones Hidrológicas: Lerma-Santiago y Balsas. Estas regiones son vitales para el suministro de agua al Valle de México.

La zonificación del APFF Nevado de Toluca establece un área núcleo de 1,941 hectáreas, denominada "Cráter", destinada a la conservación estricta, y una zona de amortiguamiento de 51,649 hectáreas que permite un manejo más flexible, siempre y cuando se respeten los objetivos de conservación. Esta zonificación busca garantizar la protección de los ecosistemas más frágiles y, al mismo tiempo, permitir un uso sustentable de los recursos naturales en beneficio de las comunidades locales.

El Programa de Manejo del APFF Nevado de Toluca constituye un instrumento de planificación que orienta las acciones de protección, manejo, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del área, integrando los aspectos ecológicos, sociales y culturales.

El Programa de Manejo tiene como objetivo primordial planificar y regular las actividades, acciones y lineamientos fundamentales para la gestión y administración del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Concretamente, se establecen objetivos específicos orientados a la protección, manejo, restauración, conocimiento, valoración cultural y gestión integral de los recursos naturales del área. A continuación, se detallarán cada uno de estos objetivos.

Protección: Promover la conservación y preservación de la diversidad biológica mediante la implementación de políticas y medidas que contribuyan a mejorar las condiciones ambientales y a mitigar la degradación de los ecosistemas.

Manejo: Implementar políticas, estrategias y programas que definan las actividades y acciones necesarias para alcanzar los objetivos de conservación, protección,



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

restauración, capacitación, educación y recreación del Área de Protección de Flora y Fauna.

Restauración: Revertir los efectos negativos de las perturbaciones humanas o naturales sobre los ecosistemas, mediante la recuperación y el restablecimiento de sus condiciones ecológicas anteriores, con el objetivo de garantizar la continuidad de los procesos naturales.

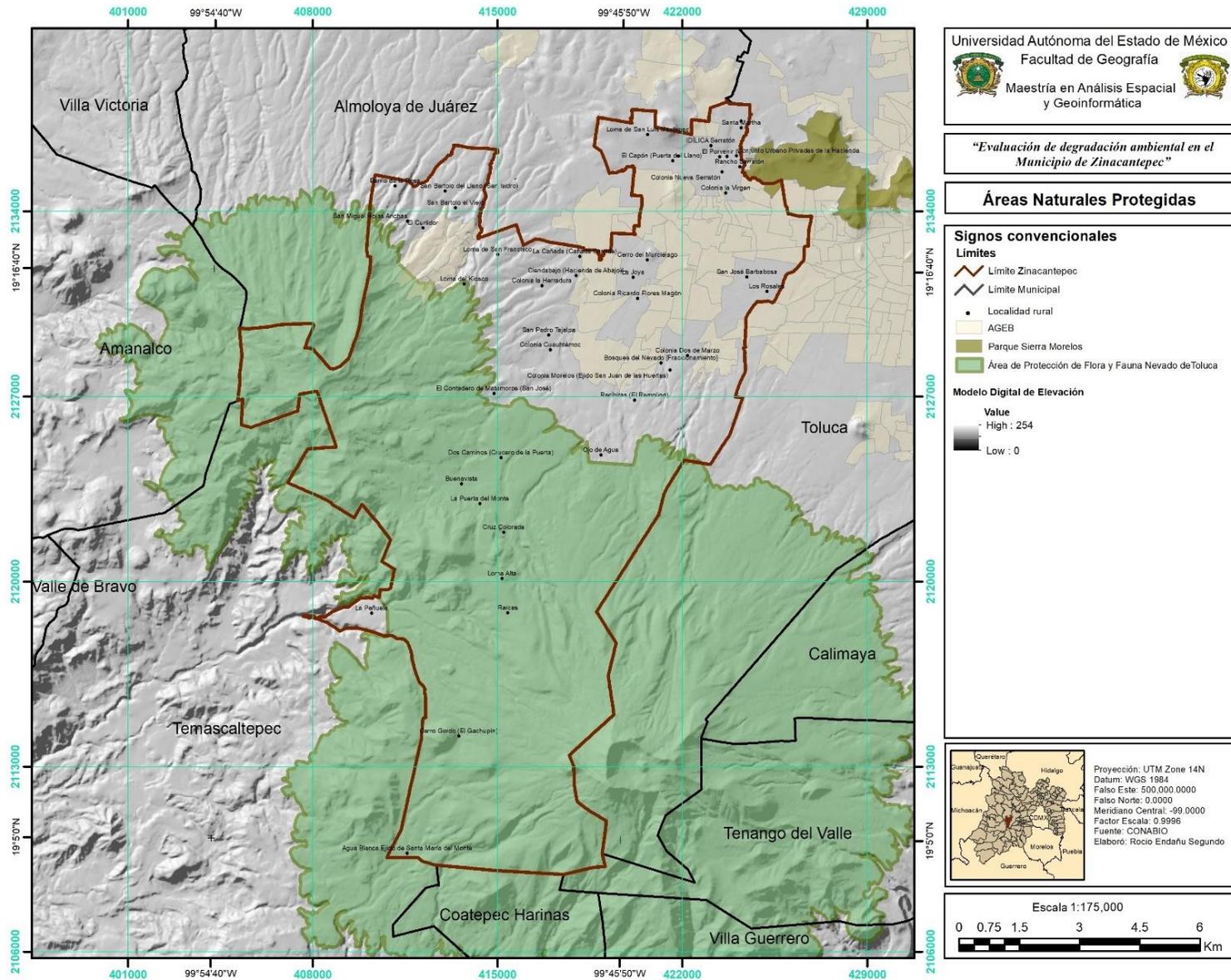
Conocimiento: Generar, rescatar y difundir conocimientos, prácticas y tecnologías, tanto tradicionales como innovadoras, que faciliten la conservación y la toma de decisiones informadas dentro del Área Natural Protegida.

Cultura: Promover acciones de conservación y fomentar la valoración de los servicios ecosistémicos a través de la difusión y educación ambiental para la preservación de la biodiversidad.

Gestión: Implementar un sistema de gestión eficiente que asegure la óptima administración de los recursos humanos, financieros, materiales e infraestructura disponibles, así como la profesionalización continua del personal (Semarnat, 2016, p. 11-24).



Mapa 6. Áreas Naturales Protegidas de Zinacantepec



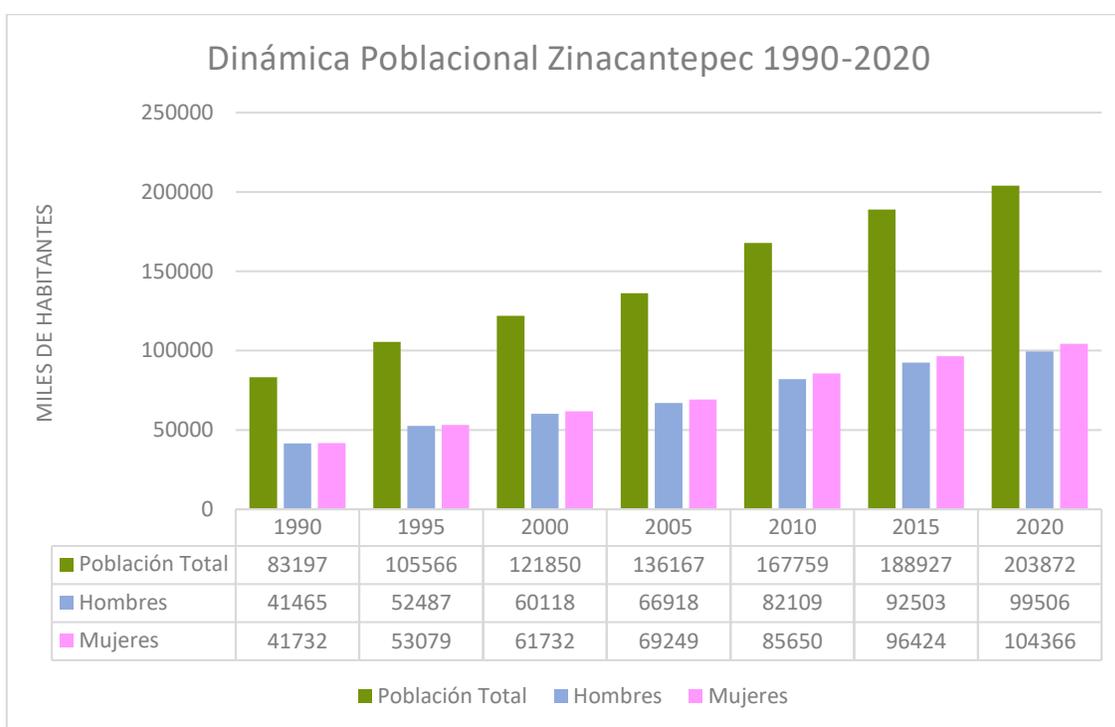


3.2.3 Elementos Sociodemográficos

3.2.3.1 Dinámica Demográfica

El crecimiento natural y social del municipio de Zinacantepec ha sido constante y ha aumentado en los últimos años. En 1990, la población total era de 83,197 habitantes, de los cuales 41,465 eran hombres (49.84%) y 41,732 eran mujeres (50.16%). Comparando esta cifra con la población de 2020, el número de habitantes en los años 90 representaba apenas el 40.80% de la población actual del municipio (Figura 10).

Figura 10. Dinámica Demográfica de Zinacantepec



Fuente: Elaboración propia en base a INEGI, 2020.

En 1995, la población total estimada de Zinacantepec era de aproximadamente 105,566 habitantes, con 52,487 hombres y 53,079 mujeres. Según los datos de los censos y conteos de población y vivienda, se observa que el mayor incremento poblacional ocurrió entre la década de los 90 y 1995, con un aumento del 21% sobre el total registrado en 1995.

En el año 2000, el municipio de Zinacantepec contaba con un total de 121,850 habitantes, de los cuales 60,118 eran hombres, representando el 49.34% de la población, y 61,732 eran mujeres, lo que equivale al 50.66% del total.



Entre el año 2000 y 2005, la población de Zinacantepec aumentó en 14,317 personas, alcanzando un total de 136,167 habitantes, con 66,918 hombres y 69,249 mujeres. El segundo período de notable crecimiento poblacional fue de 2005 a 2010, durante el cual la población del municipio se duplicó en comparación con la de los años 90, alcanzando un total de 167,759 habitantes, de los cuales 82,109 eran hombres (48.94%) y 85,650 eran mujeres (51.06%).

Según los resultados de la encuesta intercensal de 2015, la población total se estima en 188,927 habitantes, lo que representa un aumento de 21,168 personas entre 2010 y 2015. La población femenina comprende más de la mitad (51.04%) del total, en comparación con la masculina (48.96%).

Para 2020 esta cifra aumento a 203,872 habitantes, teniendo un incremento de 2015 a 2020 de 14,945 habitantes. Este incremento poblacional se puede atribuir a la relación y proximidad con la Zona Metropolitana de Toluca, lo que hace de Zinacantepec sea un lugar atractivo debido a los servicios y empleos generados en la zona metropolitana.

3.2.3.2 Distribución Poblacional

La población del municipio de Zinacantepec está integrada por 12 localidades urbanas y 43 localidades rurales (Tabla 17), con información reportada por el último censo de población y vivienda de INEGI en 2020 integrando un total de 203,872 habitantes. El mayor número de habitantes se ubica en las zonas urbanas, donde alberga el 76.77% de la población, mientras que el 23.23% se localiza en zonas rurales.

Las localidades urbanas se encuentran distribuidas hacia el norte del municipio, en las zonas planas, cerca de la Zona Metropolitana de Toluca, la localidad que alberga el mayor número de habitantes en el municipio, es la cabecera municipal de San Miguel de Zinacantepec, concentrando el 16.06% de la población, estimándose un total de 32,738 habitantes, le sigue la localidad de San Luis Mextepec con 29,788 pobladores representando el 14.61%, posteriormente se encuentra San Antonio Acahualco con 17,709 habitantes, le sigue San Juan de las Huertas con 14,230 pobladores y San Cristóbal Técolit con 12,404 habitantes (Mapa 8).

El resto de las localidades urbanas tienen menos de diez mil habitantes y se distribuyen cerca de la periferia de la cabecera municipal las cuales son, Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco con 7,859 pobladores y Santa Cruz Cuauhtenco con 8,875 personas.

Hacia el norte de San Miguel Zinacantepec, se localiza el conjunto urbano la Loma I,



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

donde viven 9,200 pobladores, que representa al 4.51% de habitantes. Y en la parte noroeste del municipio, entre los 2800 y 3100 msnm se ubican las localidades urbanas del Barrio de México, El Cópore y Santa María del Monte, al pie de monte del volcán San Antonio con 8,269; 7,518 y 4320 habitantes. La menor concentración de población urbana se localiza hacia el sur con 3,610 personas en la localidad Tejalpa, cercana a donde inicia el límite del APFF Nevado de Toluca, al sur de San Antonio Acahualco.

A diferencia de la población urbana, las localidades rurales se ubican de forma dispersa sobre el territorio, con mayor concentración hacia el norte, cerca de la cabecera municipal, las más representativas según el tamaño de su población son: La Joya con 5,289 habitantes y Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas) con 3100 habitantes. La localidad la Joya se ubica a casi 1 km de la cabecera municipal y Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas) se localiza al noreste del municipio, hacia el sur de la cabecera municipal.

Las localidades que tienen menos de 3000 habitantes a 1000 son 14, algunas son Ojo de Agua, San Bartolo el Viejo, San Bartolo del Llano (San Isidro), San Pedro Tejalpa, El Curtidor, El Contadero de Matamoros (San José), Colonia Virgen, Colonia Ricardo Flores Magón entre otras, la mayoría distribuida próximas a localidades urbanas.

El resto de las localidades tienen una población menor a 1000 habitantes, que se encuentra distribuidas en 27 localidades, asentamientos como La Peñuela, Raíces, Buenavista que se ubican al sur del municipio cuentan con menos de 1000 y mayor a 600 pobladores, mientras que al norte localidades como Recibitas (El Remolino), Loma de San Francisco, La Cañada (Cañada Grande) y Bosques del Nevado [Fraccionamiento] también se sitúan en este rango de distribución poblacional.

De forma homogénea se sitúan 12 localidades que albergan entre 200 y 600 pobladores, estas se ubican principalmente al norte del municipio, algunas son: Santa Martha, Santa María Nativitas, próximas al municipio de Almoloya de Juárez, más hacia el noroeste se ubican asentamientos como Barrio de la Rosa y San Miguel Hojas Anchas con 285 y 200 habitantes. Al sur de la zona de estudio se ubican poblaciones como La Puerta del Monte (271 pobladores) y Loma Alta (564 habitantes).

El resto de las localidades con menos de 200 habitantes son 8, como lo es Rancho Serratón (4 pobladores), Dos Caminos (Crucero de la Puerta) con 33 personas registradas y Cruz Colorada registrando 53 habitantes por mencionar algunas.



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL
EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

Tabla 17. Población Total por Localidad

Clave	Nombre de localidad	Población total	Población femenina	Población masculina
Localidades rurales				
151180000	Población total del municipio	203872	104366	99506
151180120	Agua Blanca Ejido de Santa María del Monte	120	63	57
151180124	Barrio de la Rosa	285	145	140
151180138	Bosques del Nevado [Fraccionamiento]	882	431	451
151180006	Buenavista	828	380	448
151180037	Cerro del Murciélago	1240	629	611
151180114	Ciendabajo (Hacienda de Abajo)	1143	579	564
151180130	Colonia Cuauhtémoc	1816	946	870
151180128	Colonia Dos de Marzo	550	272	278
151180113	Colonia la Herradura	182	92	90
151180129	Colonia la Virgen	2102	1079	1023
151180025	Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas)	3100	1526	1574
151180104	Colonia Nueva Serratón	119	69	50
151180117	Colonia Praztitlán (Colonia de los Ingenieros)	71	38	33
151180079	Colonia Ricardo Flores Magón	2067	1045	1022
151180135	Conjunto Urbano Privadas de la Hacienda	588	300	288
151180090	Cruz Colorada	53	26	27
151180119	Dos Caminos (Crucero de la Puerta)	33	15	18
151180118	El Capón (Puerta del Llano)	275	134	141
151180013	El Contadero de Matamoros (San José)	2128	1063	1065
151180017	El Curtidor	2358	1186	1172
151180136	El Porvenir I	2054	1074	980
151180139	IDÍLICA Serratón	264	128	136
151180112	La Cañada (Cañada Grande)	954	508	446
151180115	La Joya	5289	2616	2673
151180042	La Peñuela	626	302	324
151180047	La Puerta del Monte	271	141	130
151180030	Loma Alta	564	273	291
151180031	Loma de San Francisco	974	497	477
151180123	Loma de San Luis Mextepec	282	131	151
151180132	Loma del Kiosco	347	172	175
151180133	Los Rosales	1042	520	522
151180039	Ojo de Agua	2634	1347	1287
151180096	Raíces	768	409	359
151180073	Rancho Serratón	4	*	*



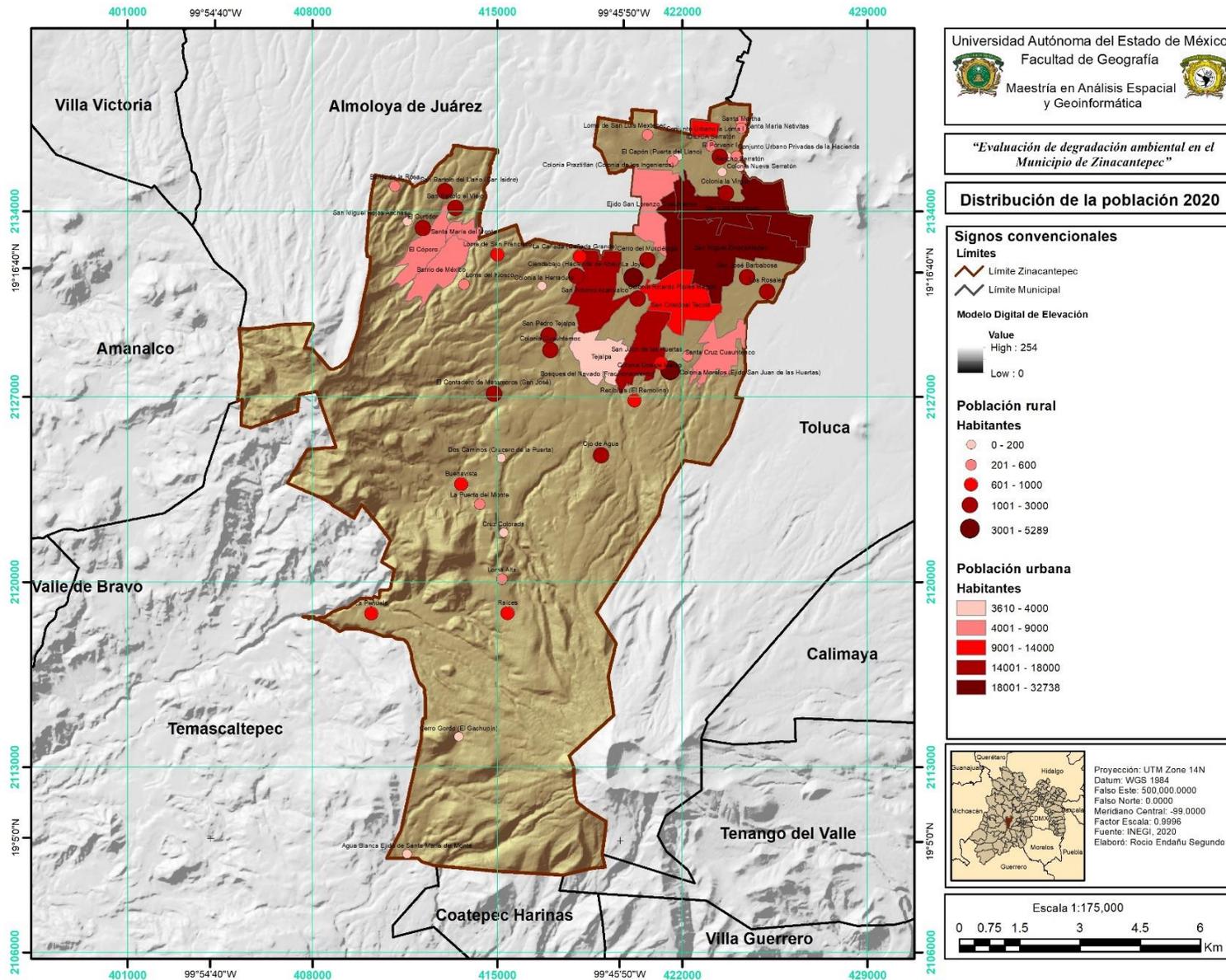
EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

151180081	Recibitas (El Remolino)	996	534	462
151180107	Rinconada de Tecaxic	134	64	70
151180082	San Bartolo del Llano (San Isidro)	2493	1299	1194
151180085	San Bartolo el Viejo	2588	1338	1250
151180097	San José Barbabosa	1952	1005	947
151180125	San Miguel Hojas Anchas	200	102	98
151180062	San Pedro Tejalpa	2484	1271	1213
151180068	Santa María Nativitas	212	113	99
151180137	Santa Martha	280	144	136
Localidades Urbanas				
151180087	Barrio de México	8269	4146	4123
151180134	Conjunto Urbano la Loma I	9200	4725	4475
151180059	Ejido San Lorenzo Cuauhtenco	7859	4074	3785
151180014	El Cóporo	7518	3808	3710
151180053	San Antonio Acahualco	17709	9078	8631
151180054	San Cristóbal Tecolit	12404	6378	6026
151180058	San Juan de las Huertas	14230	7321	6909
151180060	San Luis Mextepec	29788	15274	14514
151180001	San Miguel Zinacantepec	32738	16941	15797
151180064	Santa Cruz Cuauhtenco	8875	4557	4318
151180067	Santa María del Monte	4320	2189	2131
151180075	Tejalpa	3610	1866	1744

Fuente: Elaboración propia en base a INEGI, 2020.



Mapa 7. Distribución Poblacional de Zinacantepec





3.2.3.3 *Densidad Poblacional*

La densidad de población, expresada en habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km²), es un indicador fundamental para evaluar la concentración espacial de la población y su relación con los recursos naturales y las actividades humanas.

Según los datos de la Encuesta Intercensal de 2015, la densidad poblacional era de 610 habitantes por kilómetro cuadrado. Para 2020, este indicador aumentó a 658 habitantes por kilómetro cuadrado.

A nivel municipal, la mayor concentración de densidad poblacional se agrupa en 3 complejos habitacionales El Porvenir I, que alberga 158 Hab/km², en una superficie de 0.13 km², le sigue el Conjunto Urbano la Loma I con 152 Hab/km² en un área de 0.60 km², y el complejo IDÍLICA Serratón con 103 Hab/km² en una superficie de 0.02 km², las tres ubicadas al norte de Zinacantepec rumbo a Almoloya de Juárez (ver Mapa 9).

Existen 3 localidades rurales que albergan entre 65 y 100 Hab/km² estas son Conjunto Urbano Privadas de la Hacienda, cercana al Porvenir 1, donde se han desarrollado los complejos habitacionales mencionados anteriormente con 93 Hab/km², la localidad El Contadero de Matamoros (San José) con 69 Hab/km², Raíces ubicada al sur de Zinacantepec, localizada dentro de los límites del Área Natural Protegida (ANP) con 64 Hab/km² en una superficie delimitada por INEGI para localidades rurales de 0.12 km².

El identificar este tipo de asentamientos es importante para evaluar el impacto de la densidad poblacional en el medio ambiente, ayudando a desarrollar estrategias para la sostenibilidad y la conservación de los ecosistemas, como lo es en la localidad de Raíces, está en 2015 registro 664 pobladores y en 2020 un total de 768 habitantes, con un aumento de 104 personas en 5 años, de forma promedio de 20 a 21 nacimientos al año para esa temporada, lo que da a reconocer la importancia de planificación en todo el municipio y principalmente en las zonas de localidades que se ubican dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca para garantizar su conservación y naturalidad.

Existen 4 localidades urbanas y 4 rurales que poseen entre 35 a 65 Hab/km², las primeras son, Santa María del Monte, San Luis Mextepec, San Juan de las Huertas y San Antonio Acahualco ubicadas todas al noreste y noroeste de la zona de estudio y las segundas corresponden a la Colonia Nueva Serratón, Bosques del Nevado [Fraccionamiento], San Bartolo el Viejo y Ojo de Agua, distribuidas de forma dispersa en el municipio.



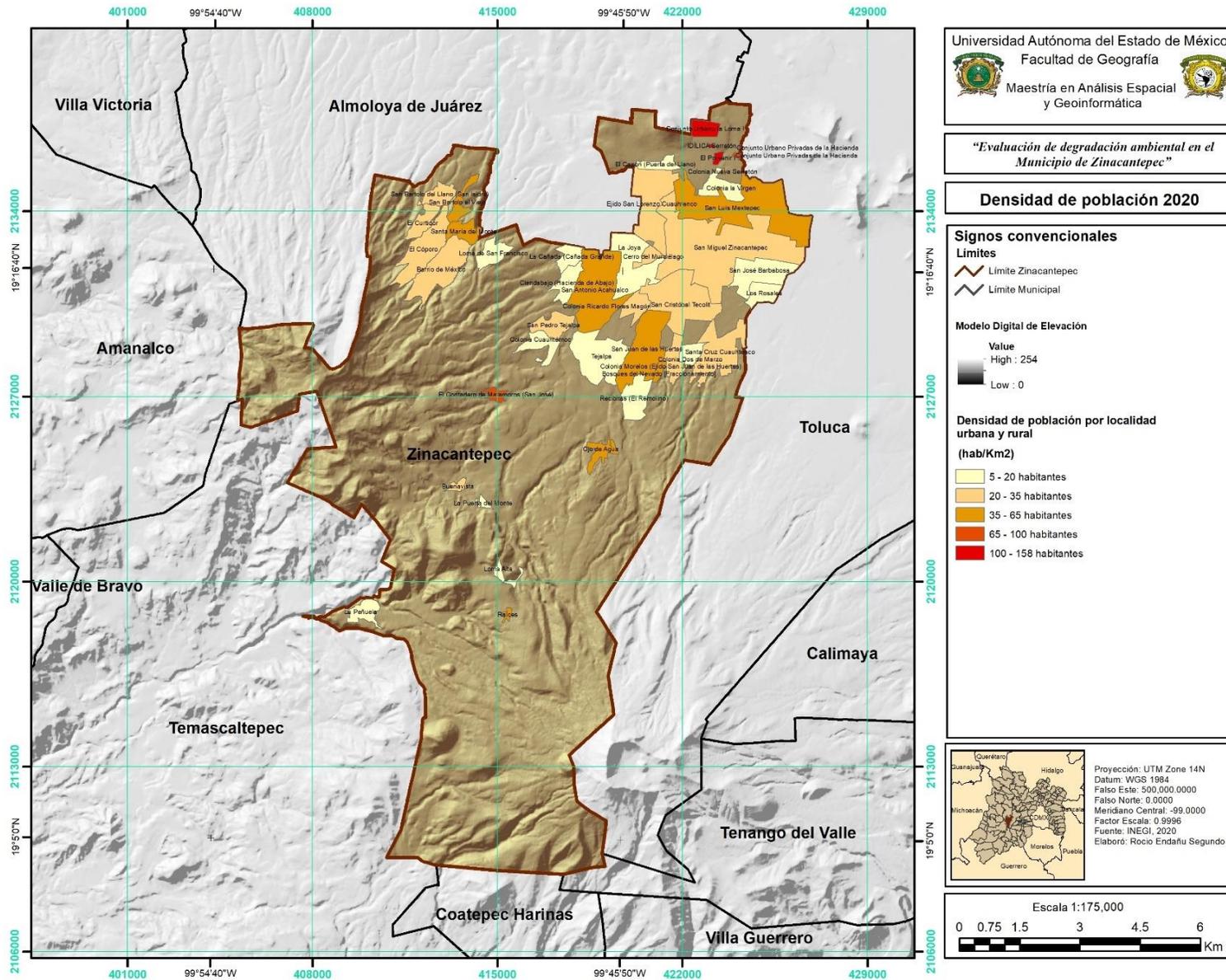
EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

Hay 13 localidades que presentan una densidad de población de 20 a 35 Hab/km² de las cuales 7 son rurales y 6 urbanas. Las localidades rurales son Buenavista (35 Hab/km²) ubicada dentro de los límites de APFF Nevado de Toluca, la Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas) con 33 Hab/km², Cerro del Murciélago (29 Hab/km²) ubicadas en la parte central por mencionar algunas. En el caso de las localidades urbanas, San Miguel Zinacantepec se encuentra dentro de esta categoría con una población de 33 Hab/km² en una superficie de 10.06 km², así como San Cristóbal Técolit, con 31 Hab/km², hacia el noreste de Zinacantepec hay una densidad de población en localidades urbanas como El Cópore con 31 Hab/km² y Barrio de México con 30 Hab/km², los límites de superficie urbana alcanzan superficie que corresponde al ANP del Nevado de Toluca.

Por último, son 15 localidades que tienen una densidad de población de 5 – 20 Hab/km², 14 corresponde a 14 localidades rurales y 1 urbana. La localidad urbana es Tejalpa con 12 Hab/km².



Mapa 8. Densidad Poblacional de Zinacantepec



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía
Maestría en Análisis Espacial
y Geoinformática

"Evaluación de degradación ambiental en el
Municipio de Zinacantepec"

Densidad de población 2020

Signos convencionales

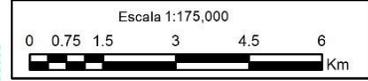
Límites
 - Límite Zinacantepec
 - Límite Municipal

Modelo Digital de Elevación
 Value
 High : 254
 Low : 0

**Densidad de población por localidad
urbana y rural
(hab/Km2)**

- 5 - 20 habitantes
- 20 - 35 habitantes
- 35 - 65 habitantes
- 65 - 100 habitantes
- 100 - 158 habitantes

Proyección: UTM Zone 14N
 Datum: WGS 1984
 Falso Este: 500,000,000
 Falso Norte: 0,0000
 Meridiano Central: -99,0000
 Factor Escala: 0,9996
 Fuente: INEGI, 2020
 Elaboró: Rocío Endañu Segundo





3.2.3.4 *Marginación*

La marginación es un fenómeno socioeconómico complejo y estructural, originado por la desigual distribución de los recursos y oportunidades. Se manifiesta en la carencia de acceso a servicios básicos como educación, salud y vivienda adecuada, así como en la limitación de oportunidades para el desarrollo humano. Estas condiciones se concentran con mayor frecuencia en comunidades pequeñas, dispersas y aisladas, perpetuando ciclos de pobreza y desigualdad (CONAPO, 2019, p. 17).

El índice de marginación considera cuatro dimensiones estructurales, identificando nueve formas de exclusión que permiten medir su intensidad espacial. Estas dimensiones se evalúan mediante indicadores que determinan niveles de analfabetismo, población sin educación primaria completa, servicios básicos en la vivienda (disponibilidad de agua, drenaje, servicios sanitarios, pisos de tierra, electricidad y nivel de hacinamiento), población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos y localidades con menos de 5,000 habitantes (Revista Internacional de Estadística y Geografía, 2011, p. 172).

Las comunidades marginadas dependen en gran medida de los recursos naturales para su subsistencia (por ejemplo, madera para combustible, pesca, agricultura de subsistencia). Por lo que la falta de alternativas económicas lleva a la sobreexplotación de estos recursos, resultando en deforestación, agotamiento de suelos y pérdida de biodiversidad, de ahí la importancia de ubicar las localidades con niveles de degradación alto, para evitar la sobreexplotación de recursos y el desarrollo de asentamientos en sitios no aptos y es fundamental medirla y localizarla territorialmente para orientar políticas públicas que mejoren las condiciones de vida de las comunidades y grupos marginados.

Para representar el grado de marginación, el Consejo Nacional de Población (CONAPO) clasificó la marginación en cinco categorías según el nivel de carencias del municipio: Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo. Para el análisis de datos del municipio, se utilizó la información calculada por CONAPO, ocupando datos del Censo de Población y Vivienda de 2020.

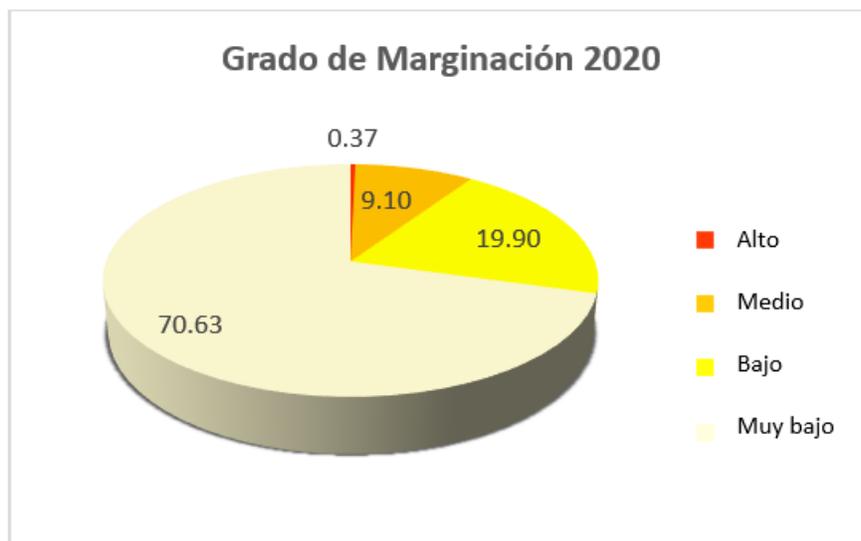
De forma general el municipio de Zinacantepec ocupa a nivel nacional el lugar 2,214 de 2,477 municipios con un índice de marginación (IM) muy bajo con valores de 58.33, esto debido a que los porcentajes que miden la intensidad de exclusión económica en las dimensiones socioeconómicas (educación, vivienda, distribución de la población e ingresos monetarios) son bajos a diferencia del resto.



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

A nivel localidad urbana y rural el 70.63% de la población presenta un IM muy bajo que incluyen a 26 localidades, concentrando a 143,998 pobladores, con IM bajo al 19.90% de población, representando 40,567 habitantes que integran a 15 localidades, el 9.10% de población (18,555) tiene un IM medio, representado por 10 localidades y al final con menos del 1% (0.37) de la población, hay 3 asentamientos de tipo rural que presenta un IM alto, estas son Agua Blanca Ejido de Santa María del Monte, al sur del municipio de Zinacantepec ubicada dentro de los límites del Nevado de Toluca, Barrio de la Rosa y Loma del Kiosco ambas localizadas al noroeste de la zona de estudio, las tres con un IM entre 16 y 17 (Figura 11).

Figura 11. Porcentaje por Grado de Marginación a Nivel Localidad Urbana y Rural 2020



Fuente: Elaboración propia en base a CONAPO, 2020.

De manera específica las localidades urbanas y rurales que se distribuyen en el municipio representan distintos grados de marginación, que tienen que ver con el número de habitantes y su distribución sobre el territorio, así como las dimensiones económicas que las representan.

Para el caso de las localidades urbanas con grado de marginación medio, se ubican 2 en esta categoría, las cuales son El Cópore y Barrio de México con un índice de marginación de 20.69 y 20.13, ambas localizadas al noroeste de Zinacantepec (Mapa 10), parte de sus límites se encuentran dentro del ANP Nevado de Toluca, con un total de población de 15,787 habitantes (Tabla 18).



Con grado de marginación bajo se identifican 2 localidades urbanas, la de San Antonio Acahualco con un IM de 22.85 y Tejalpa con 22.30 de IM ambas localizadas en la parte norte cercana una de la otra, en total suman una población de 21,319 personas con este nivel de marginación.

Hay 8 localidades urbanas con grado de marginación muy baja, las cuales son; San Miguel Zinacantepec, San Cristóbal Tecolot, San Juan de las Huertas, Ejido San Lorenzo Cuauhtenco, San Luis Mextepec, Santa Cruz Cuauhtenco, Santa María del Monte y el Conjunto Urbano la Loma I, en conjunto concentran más del cincuenta por ciento de población con un grado de marginación muy baja (58.57%), que representa un total de 119,414 habitantes.

Tabla 18. Porcentaje por Grado de Marginación a Nivel Localidad Urbana 2020

Grado de Marginación rural	No. Localidades	Población Total	Porcentaje de Población
Medio	2	15787	7.74
Bajo	2	21319	10.46
Muy Bajo	8	119414	58.57

Fuente: Elaboración propia en base a CONAPO, 2020.

A nivel rural hay 3 localidades que presentan un IM alta, mencionadas anteriormente representando un total de 752 habitantes (ver Tabla), con IM media hay 8 localidades ubicadas de forma dispersa al norte y sur de Zinacantepec, por un lado, al noroeste se localiza San Miguel Hojas Anchas, cercana a Santa María del Monte más al noreste la Colonia Herradura y la Loma de San Luis Mextepec, hacia el sur dentro de los límites del Nevado de Toluca localidades como Buenavista, Loma Alta, Cruz Colorada y Dos Caminos (Crucero de la Puerta) y fuera del límite del ANP La Peñuela, sumando una población de 2,768 habitantes que es el 1.36% de habitantes con medio grado de marginación (Tabla 19).

Con bajo y muy bajo grado de marginación se ubican 13 y 18 localidades respectivamente. La primera alberga a 19,248 habitantes y la segunda concentra 24, 584 entre ambas suman el 21.5% de población total en el municipio.

Algunas localidades con grado bajo son; El Contadero de Matamoros (San José), El Curtidor, Loma de San Francisco, La Puerta del Monte, San Pedro Tejalpa, San Bartolo



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

del Llano (San Isidro) entre otras, distribuidas principalmente al noroeste y centro del municipio.

Para el caso de las localidades que presentan un grado de marginación muy baja, se ubican de forma homogénea al centro de Zinacantepec, cercanas a la cabecera municipal, de las cuales se puede mencionar a Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas), Cerro del Murciélago, Ojo de Agua, Santa María Nativitas, San José Barbabosa, Conjunto Urbano Privadas de la Hacienda, entre otras.

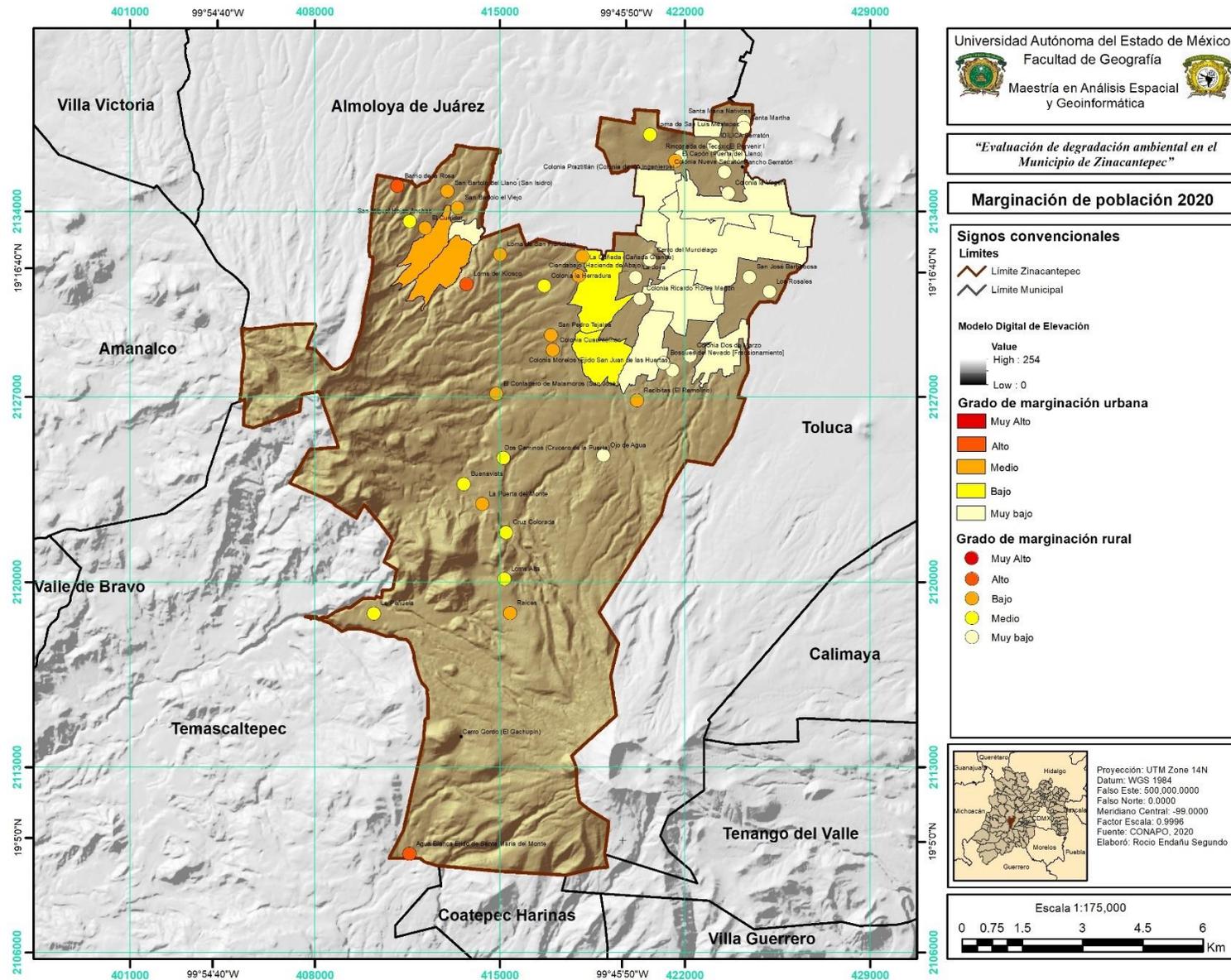
Tabla 19. Porcentaje por Grado de Marginación a Nivel Localidad Rural 2020

Grado de Marginación rural	No. Localidades	Población Total	Porcentaje de Población
Alto	3	752	0.37
Medio	8	2768	1.36
Bajo	13	19248	9.44
Muy Bajo	18	24584	12.06

Fuente: Elaboración propia en base a CONAPO, 2020.



Mapa 9. Marginación por Localidad Urbana y Rural.





3.2.3.5 Pobreza

Desde una perspectiva multidimensional, la pobreza se concibe como un conjunto de privaciones que afectan las condiciones de vida de las personas, restringiendo sus derechos y libertades fundamentales y limitando su capacidad para alcanzar un nivel de bienestar mínimo. Esta condición se caracteriza por carencias en múltiples dimensiones, como el acceso a servicios básicos, oportunidades de desarrollo y participación social (Alkire y Foster, 2007; CDESC, 2001; Kakwani y Silber, 2008 como se citó en CONEVAL, 2010b, p. 26).

Conforme a lo dispuesto en el Artículo 36 de la Ley General de Desarrollo Social, el CONEVAL tiene la responsabilidad de establecer los lineamientos y criterios para realizar la definición, identificación y medición de la pobreza en México, tomando en consideración los siguientes indicadores: ingreso corriente per cápita, rezago educativo promedio en el hogar, acceso a los servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, acceso a los servicios básicos en la vivienda, acceso a la alimentación nutritiva y de calidad, grado de cohesión social y grado de accesibilidad a carretera pavimentada (H. Congreso de la Unión (2024e).

Los resultados de la situación de pobreza permiten analizar el rezago social, las carencias y el bienestar económico de una población. De acuerdo con los resultados de pobreza que indica el CONEVAL, hay 1 localidad que presenta de 20-40% de pobreza (Tabla 20), esta es el Conjunto Urbano la Loma I, albergando un total de 9,200 habitantes, con un porcentaje de 40-60% de pobreza se ubican 6 localidades, sumando un total de 94,894 habitantes, lo que representa el 56%, estas son: San Miguel Zinacantepec, Colonia Morelos Ejido San Juan de las Huertas, Ojo de Agua, San Cristóbal Tecolotitlán, San Juan de las Huertas y San Luis Mextepec (Mapa 11).

Con un rango de pobreza de 60-80% se ubican 6 localidades de Zinacantepec en este rango, albergando un total de población de 47,662 personas, que es equivalente a un 28%, las localidades por las cuales se integra este rango son, San Antonio Acahualco, Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, Santa Cruz Cuauhtenco, Santa María del Monte, Tejalpa y La Joya.

Existen un total de 18,375 habitantes con un porcentaje de pobreza de 80-100%, lo que equivale al 11% de la población total urbana, las localidades urbanas que tienen este alto nivel de pobreza son El Coporo, San Bartolo el Viejo y Barrio de México, las tres ubicadas



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

al noroeste del área de estudio.

La pobreza guarda una estrecha relación con los efectos que tienen que ver con la degradación ambiental (Blaikie y Brookfield, 1987, como se citó en Martínez, 1991). En un principio, puede parecer que la pobreza causa degradación ambiental sólo cuando los pobres son numerosos y exceden la capacidad de sustentación, pero según el Informe Brundtland la presión sobre el medio ambiente no sólo proviene de la presión demográfica, sino de las demandas externas y de las desigualdades internas, que hacen que las personas busquen desesperadamente fuentes de ingreso, ocupando espacios no aptos para el desarrollo de actividades que les permitan vivir y ejercer prácticas que poco a poco han contribuido a la degradación del medio ambiente, además de una falta de educación objetiva que tenga que ver con el cuidado del medio ambiente, ocasionada por el rezago social, que la población pobre enfrenta.

A pesar de que menos de un tercio del municipio de Zinacantepec presenta pobreza con porcentajes de 80-100, es importante señalar que es población vulnerable por lo que es imprescindible brindarle los servicios adecuados para reducir el porcentaje de rezago que la población enfrenta.

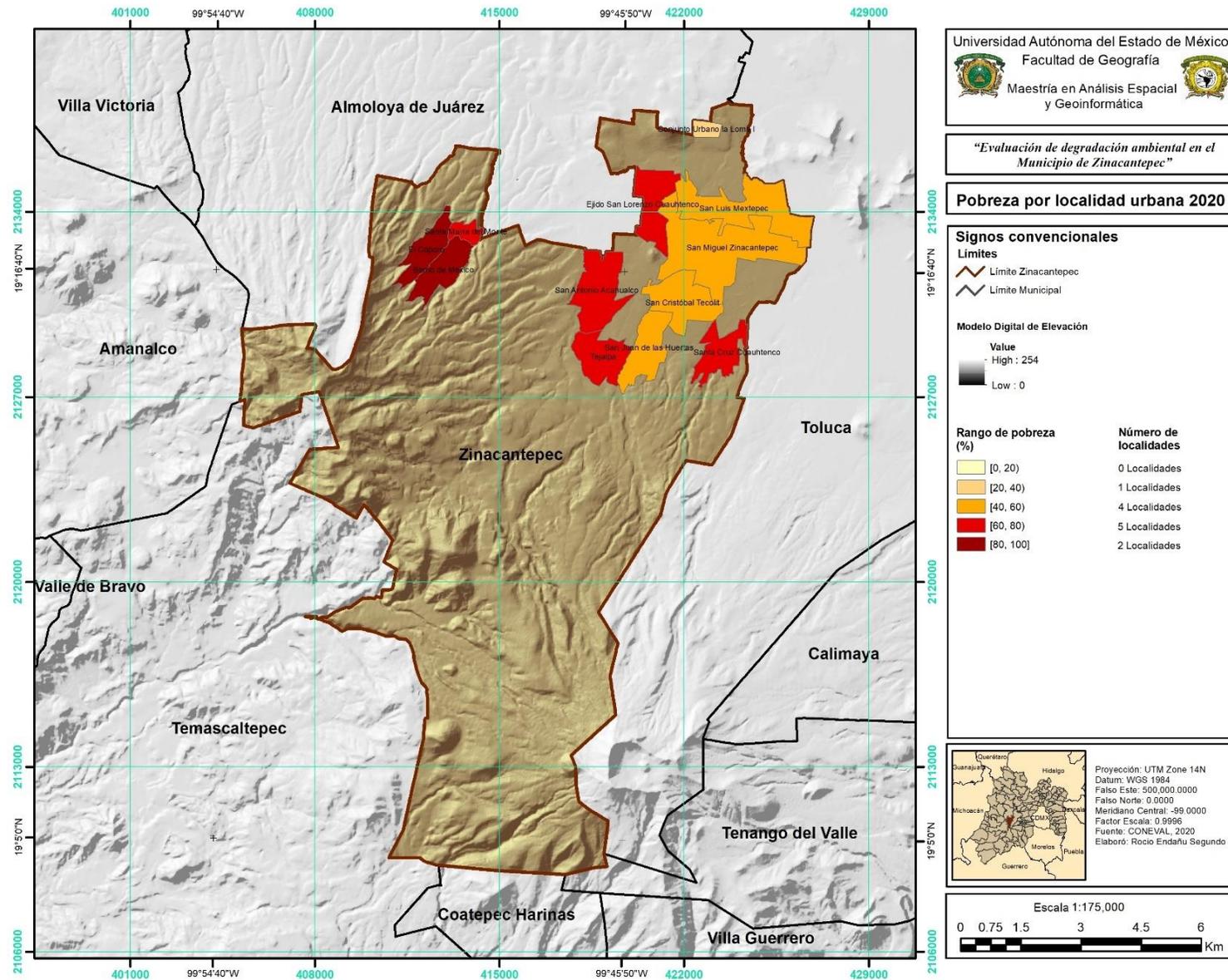
Tabla 20. Porcentaje de Pobreza por Localidad Urbana 2020

Localidad	Población Total	Rango de pobreza (%)
San Miguel Zinacantepec	32738	[40, 60]
El Cópore	7518	[80, 100]
Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas)	3100	[40, 60]
Ojo de Agua	2634	[40, 60]
San Antonio Acahualco	17709	[60, 80]
San Cristóbal Tecolot	12404	[40, 60]
San Juan de las Huertas	14230	[40, 60]
Ejido San Lorenzo Cuauhtenco	7859	[60, 80]
San Luis Mextepec	29788	[40, 60]
Santa Cruz Cuauhtenco	8875	[60, 80]
Santa María del Monte	4320	[60, 80]
Tejalpa	3610	[60, 80]
San Bartolo el Viejo	2588	[80, 100]
Barrio de México	8269	[80, 100]
La Joya	5289	[60, 80]
Conjunto Urbano la Loma I y II	9200	[20, 40]

Fuente: Coneval, 2020



Mapa 10. Mapa de Pobreza por Localidad Urbana





3.3 Estructura Horizontal del Paisaje

La estructura horizontal del paisaje complementa a la estructura vertical, mientras que la estructura vertical se enfoca en analizar las características de los componentes naturales, la horizontal se centra en la distribución espacial y temporal de los geocomplejos y sus interacciones. Según Solntsev (1948), esta organización se refleja en la disposición espacial de distintas unidades del paisaje, formando complejos territoriales con límites y propiedades particulares. La síntesis de los geocomplejos, dependiendo de variables como el número de componentes, la escala de los datos y la complejidad del territorio puede generar numerosas unidades de paisaje.

Existen diversos sistemas de clasificación para las unidades de paisaje, según las distintas corrientes que consideran el paisaje como su objeto de estudio. Para esta investigación se ha retomado la propuesta que realiza Canchola (2017). Que consiste en un análisis y sobreposición de la cartografía temática especializada, a través del siguiente axioma paisajístico:

$$UP = (VAb+VBAn+VM)$$

Dónde:

- UP = Unidad de Paisaje
- VAb = Variables Abióticas (geología, geomorfología, edafología y climatología)
- VBAn = Variables Bióticas y Antrópicas (uso de suelo y vegetación)
- VM = Variables Morfodinámicas (altimetría, pendiente del terreno, orden de drenaje, energía del relieve, densidad de disección, procesos gravitacionales y procesos fluviales)

Con el objetivo de identificar áreas homogéneas que permitan el análisis integrado del paisaje se generó cartografía temática especializada que permitiera la identificación de unidades de paisaje, presentadas a continuación, justificando su importancia dentro del estudio.



Modelo digital de elevación (DEM)

Es una representación gráfica de la superficie de la tierra en forma tridimensional, generado a partir de imágenes ráster, que muestra las características morfológicas del relieve (Tabla 21).

Tabla 21. Uso del Modelo Digital de Elevación

<i>Modelo Digital de Elevación</i>	
Utilización	Fuente
Cartografía que ayuda a la identificación y análisis de las distintas formas del relieve, además de ser insumo para el mapa geomorfológico, así como para las variables morfodinámicas y de ayuda para la delimitación de unidades del paisaje.	Se tomó como referencia datos de imágenes LiDAR (Light Detection and Ranging), con resolución de 1.5 con fecha de imagen de 2020. La integración de cartas para el Mosaico: E14A37e1, E14A37e2, E14A37e3, E14A37e4, E14A37f1, E14A37f2, E14A37f3, E14A37f4 (INEGI, 2020). Así como imágenes de ALOS PALSAR, con resolución de 12.5 metros con fecha de 2010 (ASF, 2010). Y del Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), con resolución de 15 metros del año 2013. Haciendo una integración de curvas de nivel para elegir el DEM con mayor detalle (INEGI, 2013).

Fuente: Elaboración propia

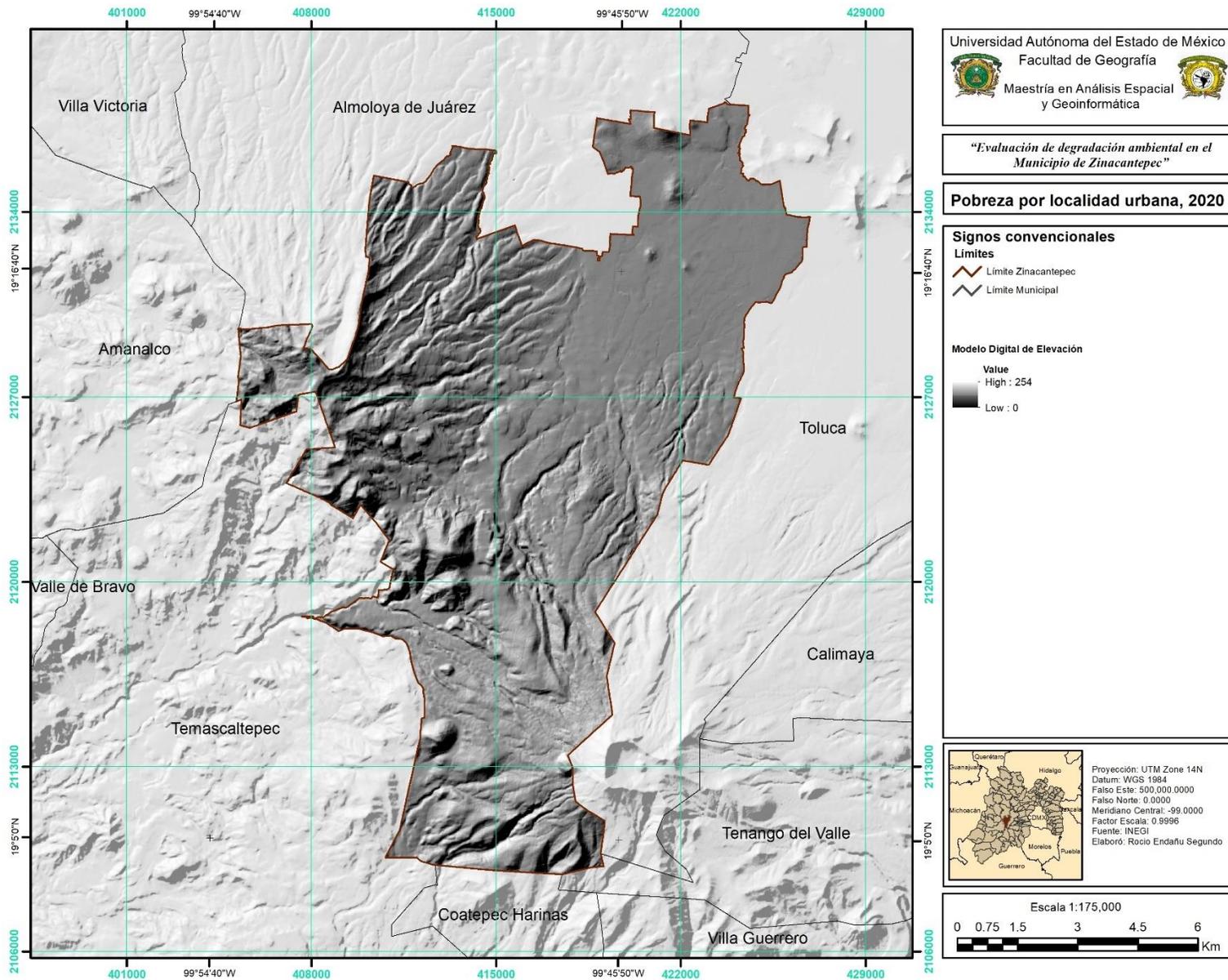
En el Mapa 12, se muestra el Modelo Digital de Elevación, apreciándose las características morfológicas, siendo el volcán San Antonio y el Nevado de Toluca las principales estructuras geomorfológicas que modelan el territorio, ubicados al noroeste y sureste de Zinacantepec.

Asimismo, se puede apreciar la red hidrográfica, que forma valles erosivos y acumulativos que desciende sobre las laderas de ambos volcanes hasta la zona de planicie.

Siendo mayormente de tipo erosivo en el volcán San Antonio, ubicado hacia el noroeste de la zona de estudio.



Mapa 11. Modelo Digital de Elevación





Se describen a continuación las variables utilizadas para elaborar el mapa de unidades del paisaje, así como su justificación y origen. Los mapas de las variables se encuentran en el apartado de caracterización.

2.2.1.1 Variables abióticas

Los procesos morfogénéticos y la evolución del relieve son el resultado de la interacción entre los componentes del geosistema. Un enfoque interdisciplinario que abarque geología, edafología, hidrología y climatología es fundamental para comprender cómo las diferentes fuerzas modelan el paisaje (Ortiz, 2014).

1. Geología

La geología es el fundamento para comprender la génesis y evolución del relieve terrestre. Esta ciencia proporciona las herramientas necesarias para analizar la composición, estructura, edad y procesos que han dado forma a la corteza terrestre (Ortiz, 2014; Lugo, 2011, citado en Canchola, 2017). El mapa geológico, a su vez, representa una herramienta visual que muestra la distribución espacial de las diversas unidades geológicas y minerales subyacentes, incluyendo rocas, fallas, pliegues y depósitos minerales, entre otros (Mapa 2).

Tabla 22. Uso de Cartografía Geológica

<i>Geología</i>	
Utilización	Fuente
Para conocer los tipos de rocas, fallas y fracturas que hay en la zona, para la comprensión de los procesos endógenos que conforman el relieve y su composición del paisaje.	Datos del Instituto de Fomento Minero y Estudios Geológicos del Estado de México (IFOMEGEM), que fue cartografiada por K. Bloomfield durante 1973 y publicados por Sánchez-Rubio (1978).

Fuente: Elaboración propia.

2. Geomorfología

La geomorfología ejerce una influencia fundamental en la configuración de las unidades de paisaje, determinando las formas del terreno y los procesos que han dado lugar a su formación y evolución. Este mapa presenta una clasificación de las geoformas presentes en la zona de estudio, distinguiendo aquellas originadas por procesos endógenos y exógenos, asociados principalmente a las estructuras volcánicas del Área de Protección



de Flora y Fauna Nevado de Toluca y San Antonio. La diversidad de estructuras identificadas abarca desde domos y conos volcánicos hasta valles y planicies (Mapa 3).

Tabla 23. Uso de Cartografía Geomorfológica

<i>Geomorfología</i>	
Utilización	Fuente
De gran utilidad para la diferenciación de unidades del paisaje, así como la comprensión de la dinámica y funcionalidad del paisaje.	Elaboración propia en base al manual del Sistema ITC para levantamientos geomorfológicos (Verstappen and Van Zuidam,1991).

Fuente: Elaboración propia

3. Edafología

Los suelos desempeñan un papel fundamental en la definición de las unidades de paisaje, dado que influyen directamente en las características ecológicas, productivas y geográficas de un área. Como componente esencial del paisaje, la variabilidad de los suelos condiciona la vegetación, la hidrología y la capacidad de sustentar diversos ecosistemas. Este mapa presenta la distribución espacial de los diferentes tipos de suelos, ofreciendo información detallada sobre su composición, textura, estructura y propiedades físico-químicas (Mapa 4).

Tabla 24. Uso de Cartografía Edafológica

<i>Edafología</i>	
Utilización	Fuente
Reconocer la composición y las características del suelo tienen un impacto directo en la apariencia y la funcionalidad del paisaje, por ello es importante conocer sus tipos y su distribución.	Datos de las cartas edafológicas del CETENAL, 1976.

Fuente: Elaboración propia.

4. Climatología

Los patrones climáticos son clave para comprender cómo las formas del relieve se modelan por diferentes fuerzas y procesos en áreas específicas, para entender estos procesos, es importante considerar elementos climáticos y meteorológicos como las temperaturas, precipitaciones, ya que estas tienen un impacto notable en la formación del relieve, alterando las condiciones naturales del paisaje (Tricart y Cailleux 1965 como se



citó en Canchola, 2017). Por lo que este mapa proporciona información de las características de los tipos de clima que hay en la zona de estudio, mostrando a través de valores de interpolación isólinas de valores de temperatura y precipitación en el territorio (Mapa 5).

Tabla 25. Uso de Cartografía Climática

<i>Climatología</i>	
Utilización	Fuente
Los mapas climatológicos ayudan a identificar diferentes zonas climáticas que sirven para determinar qué tipos de vegetación y suelos se desarrollan en cada zona, influenciando así las características del paisaje	Los tipos de climas se descargaron del portal CONABIO (2024). Y la información de temperatura y precipitación, se retomó de las estaciones meteorológicas obtenidas del software ERIC, 2008.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.2 Variables bióticas y antrópicas

5. Uso de suelo y vegetación

El uso del suelo y la vegetación son factores determinantes en la configuración de un paisaje, influyendo tanto en sus características visibles como en su funcionamiento ecológico. La vegetación, en particular, desempeña un papel crucial al albergar una diversidad de flora y fauna, lo cual, a su vez, condiciona los diferentes usos del suelo y contribuye a la heterogeneidad de las unidades paisajísticas.

A diferencia de la vegetación, el uso del suelo es dinámico y se modifica con el tiempo debido a las actividades humanas. Estos cambios pueden dar lugar a la formación de nuevas unidades paisajísticas o a la transformación de las existentes. Tanto el uso del suelo como la vegetación son, por tanto, factores clave para la identificación y clasificación de las unidades de paisaje, ya que determinan sus características físicas, funcionales y ecológicas. Los mapas de uso del suelo y vegetación ofrecen una representación visual detallada de cómo se utiliza el territorio y de la distribución de la cubierta vegetal (Mapa 6).



Tabla 26. Uso de Cartografía de Uso de Suelo y Vegetación

<i>Uso de suelo y vegetación</i>	
Utilización	Fuente
Esta capa fue de ayuda para trazar límites claros entre diferentes unidades de paisaje basados en la homogeneidad del uso del suelo y la vegetación para crear zonas que pueden ser gestionadas y planificadas de manera específica según sus características.	Se utilizó una imagen Sentinel 2 ^a (Copernicus Open Access Hub, 2022).

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.3 Variables morfodinámicas

El término "funcionamiento morfodinámico" describe los procesos físicos y dinámicos que dan forma al relieve terrestre. Estos procesos están condicionados por las características del terreno, tales como la pendiente, la altitud y las geoformas, y generan patrones de conexión entre áreas con características morfométricas y morfológicas similares (Ortiz, 2014).

La morfometría, como disciplina cuantitativa, analiza las características métricas de la superficie terrestre, incluyendo la altitud, la pendiente y la densidad de drenaje, entre otras. La morfología, en cambio, se centra en la descripción cualitativa de las formas del relieve y los procesos que las generan. Ambas disciplinas, al complementarse, permiten establecer una clasificación jerárquica del relieve, facilitando el estudio de los flujos de materia y energía y la delimitación de unidades morfológicas y paisajísticas (Pedraza, 1996).

6. Altimetría

El mapa topográfico es una representación gráfica que muestra las variaciones de altitud en un área determinada. Al proporcionar información detallada sobre las alturas máximas y mínimas, facilita la identificación de las formas del relieve y permite delimitar las distintas unidades geomorfológicas.

Tabla 27. Uso de Cartografía Altimétrica

<i>Altimetría</i>	
Utilización	Fuente
Cartografía que ayuda a la identificación y análisis de las distintas formas del relieve, mostrando las diferentes altitudes que configuran el relieve. De	Se realizó utilizando como base al Modelo Digital de Elevación (INEGI, 2013; 2020 y ASF, 2010).



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

acuerdo con Espinosa y Arroyo (2011) estos mapas ayudan a identificar grandes formaciones como sierras y cuencas y a definir ambientes geomorfológicos según la altitud y la exposición, incluyendo unidades generales como piedemontes, laderas y cimas, proporcionando así una visión morfográfica de las condiciones regionales.

Fuente: Elaboración propia.

El rango de altitud a la que se encuentra el municipio es de 2680 a 4300 metros sobre el nivel del mar (msnm), teniendo como principal elevación el volcán Nevado de Toluca (Tabla 28) este posee una altitud máxima de 4680 msnm, ubicado de noroeste a sureste de Zinacantepec, alcanzando la cota de 4300 msnm, donde se encuentra parte del cráter y el domo volcánico.

Hacia el sureste se localiza el Cerro Gordo, que alcanza una altura máxima de 3700 msnm, por su parte los Cerros la Calera y Jabalí se ubican en dirección noroeste, el primero con altitudes de 3700 msnm y el segundo con 3400 msnm.

En dirección poniente del Cerro Jabalí se sitúa el cerro San Antonio, con una altura máxima de 3600 msnm y al noreste de este último se localiza el Cerro el Calvario con la misma altitud que la estructura del San Antonio.

El cerro del Murciélago se ubica al noreste de la localidad urbana San Antonio Acahualco, alcanzando una altura de 2800 msnm. Por último, los Cerros San Lorenzo Cuauhtenco y el Molcajete se localizan al norte de Zinacantepec, compartiendo límites con el municipio de Almoloya de Juárez, la altitud del primero es de 2800 y la del segundo de 2900 msnm.

La unidad de piedemonte es una rampa acumulativa que forma parte del sistema orogénico principal del Nevado de Toluca, que tiende a hacer amplia mientras más se va hacia el norte y noroeste del municipio (Mapa 13).

Tabla 28. Principales Elevaciones de Zinacantepec

Elevación	Altura (m.s.n.m)
Volcán Xinantécatl (Nevado de Toluca)	4,680
Cerro Gordo	3,700
Cerro la Calera	3,700
Cerro Jabalí	3,400



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

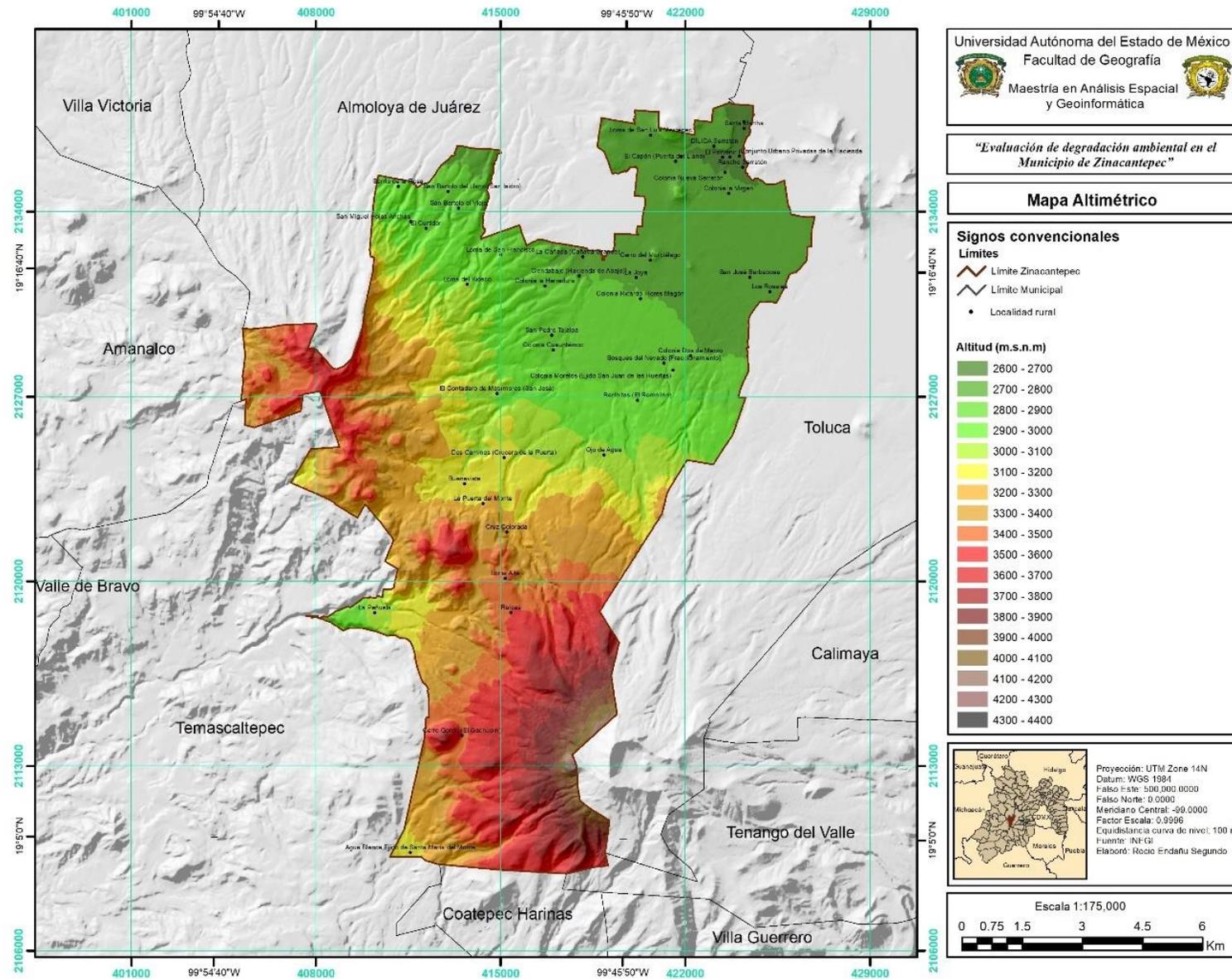
Cerro Calvario	3,600
Cerro San Antonio	3,600
Cerro San Lorenzo Cuauhtenco	2,800
Cerro Molcajete	2,900
Cerro Murciélago	2,800

Fuente: Retomado del H. Ayuntamiento de Zinacantepec, 2015.

Constituyendo un total de 9 elevaciones, conformado por 18 pisos altitudinales que representan las zonas de planicie el noroeste, piedemonte hacia el sureste y suroeste, conforme más se acerca al sur las zonas de montaña constituidas por ladera de tipo cóncavas y convexas debido al trabajo erosivo en cada una de las vertientes.



Mapa 12. Altimétrico





7. Pendiente del terreno

Es un atributo topográfico que permite la identificación de distintos grados de inclinación del relieve, ayudando a expresar elementos cuantitativos, Van Zuidam y Verstappen (1986), distinguen seis clases morfológicas que representan estructuras de morfo-conservación para analizar el tipo y la intensidad de la erosión y los movimientos de masas.

El mapa de pendiente del terreno es fundamental en la identificación de unidades de paisaje porque influye directamente en la distribución y el comportamiento de diversos procesos naturales, como la erosión, la infiltración del agua, y los movimientos de masas (Tabla 29). Estos procesos, a su vez, afectan la formación y evolución de las geoformas, lo que ayuda a delimitar y clasificar las unidades del paisaje. La pendiente también está relacionada con la vegetación, el tipo de uso del suelo y la capacidad de retención de agua, factores clave para definir características ambientales y funcionales de las distintas unidades paisajísticas. Además, facilita la identificación de áreas propensas a ciertos fenómenos, como deslizamientos o escorrentía superficial, lo que es crucial para el análisis geográfico y la planificación territorial.

Tabla 29. Uso de Cartografía de Pendiente del Terreno

<i>Pendiente del Terreno</i>	
Utilización	Fuente
Permite la identificación de la inclinación del relieve, ayudando a determinar los contactos morfológicos y es de gran utilidad para el cálculo de tasas de erosión. Además, proporcionan información clave para comprender los procesos geológicos, identificar áreas de riesgo ambiental y planificar desarrollos de manera sostenible.	Se realizó utilizando como base al Modelo Digital de Elevación (DEM) y las clasificaciones establecidas en base a Van Zuidam y Verstappen (1986).

Fuente: Elaboración propia.

Pedraza (2006) señala que en México se ha creado una tabla de pendientes adaptada a estudios geomorfológicos, la cual facilita la identificación de los elementos del relieve y su división en unidades según la inclinación y los procesos que ocurren en ellas. Van Zuidam (1986) propone una clasificación de las pendientes en seis categorías, estableciendo una relación directa entre la inclinación del terreno y los procesos geomorfológicos específicos



que en él se desarrollan, así como con las características particulares de cada tipo de pendiente (Tabla 30).

Tabla 30. Clases de pendiente, procesos esperados y la condición del terreno

Pendiente (Grados)	Condiciones del terreno	Procesos característicos
0-2	Plano a casi plano	Denudación no apreciable. Tráfico y laboreo sin dificultad bajo condiciones secas. Alta capacidad de almacenamiento.
2-4	Suavemente inclinado	Movimientos en masa de flujo lento de diferentes clases, erosión hídrica (laminar e inicio de surcos). Laboreo aun con maquinaria pesada es posible. Peligro de erosión moderado. Alta capacidad de almacenamiento.
4-8	Relieve inclinado	Condiciones similares al anterior, pero menos facilidad de laboreo. Peligro de erosión severo. Moderada capacidad de almacenamiento.
8-16	Moderadamente escarpado	Movimientos en masa (reptación), erosión laminar y en surcos, ocasionalmente deslizamientos. No es posible el laboreo mecanizado sin terraceo. Peligro muy severo de erosión y deslizamientos. Altos valores de escorrentía. Baja capacidad de almacenamiento.
16-35	Escarpado	Procesos denudacionales intensos de diferente clase. Posibilidades limitadas de laboreo. Peligro de erosión severo. Valores de escorrentía muy altos.
>35	Muy escarpado	Derrumbes de rocas, procesos denudacionales intensos. Valores de escorrentía muy altos.

Fuente: van Zuidam, 1986.

La clasificación del Mapa 14 de pendientes se clasifico con base a Van Zuidam y Verstappen (1986) que representan estructuras de morfo-conservación.

Las pendientes entre 0°- 2° se consideran planas o casi planas, ubicadas en la parte norte de Zinacantepec, donde se ubica la zona urbana, estas pendientes tienen la característica de ser aptas para el desarrollo urbano, industrial y agrícola, ya que el laboreo del suelo es de mayor facilidad en condiciones secas, sin embargo, tiene una alta capacidad de almacenamiento, por lo que, en condiciones lluviosas, se puede dificultar medianamente



su trabajo.

Mientras que las pendientes de 2° - 4° se ubican sobre los piedemonte y laderas bajas del Nevado y San Antonio, caracterizándose por una suave inclinación y medianamente susceptibles a presentar erosión hídrica (laminar e inicio de surco) y peligro de erosión moderada.

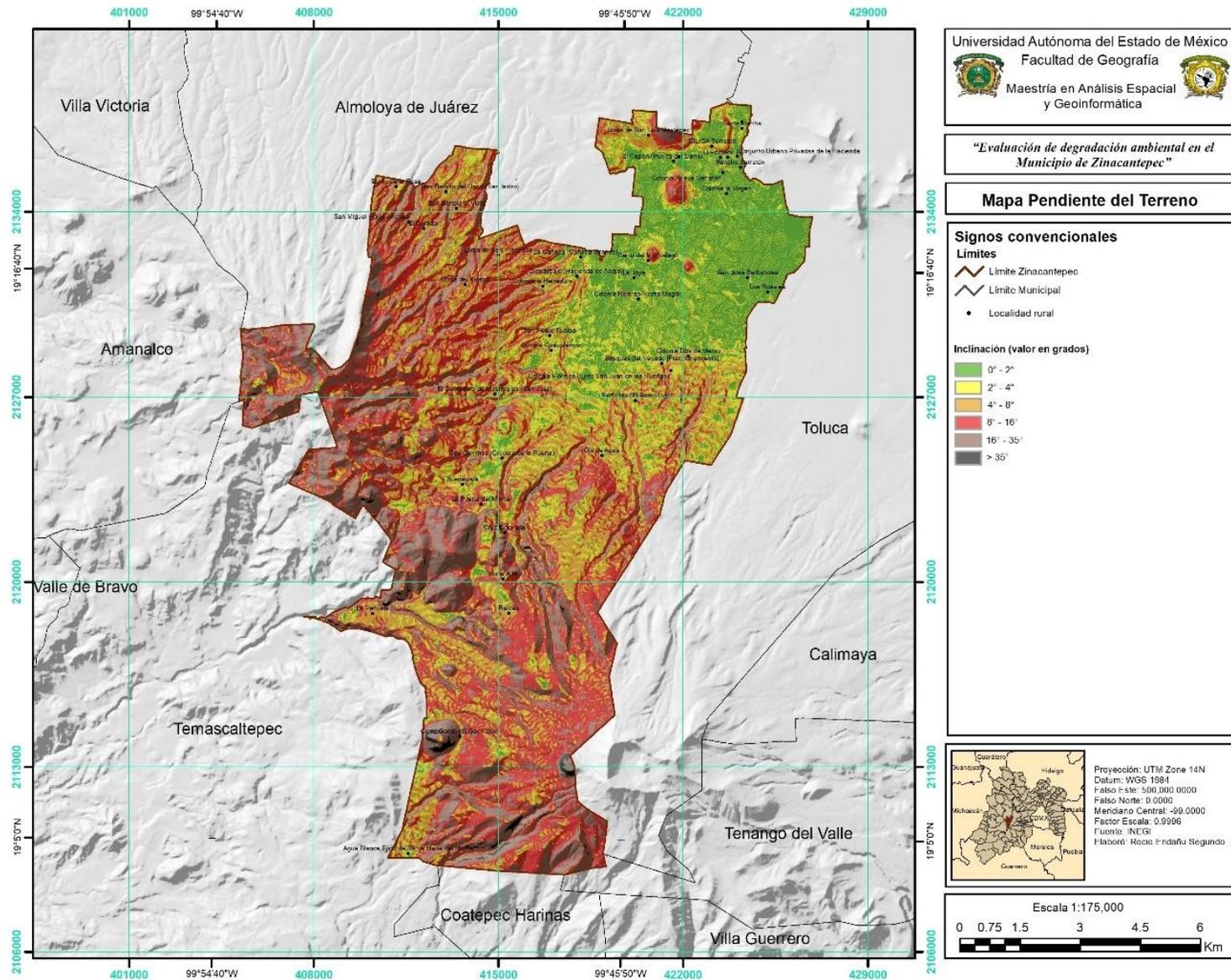
De forma homogénea las pendientes de 4° - 8° se caracterizan por un relieve inclinado, con características similares a las anteriores, pero presentan un severo peligro a erosión, estas áreas tienen menor facilidad al laboreo de tierras, su ubicación se centra en los límites del Nevado de Toluca en las laderas medias y altas del San Antonio.

Las pendientes de 8° - 16° se caracterizan por ser moderadamente escarpadas, con susceptibilidad a erosión laminar y en surcos, presentando mayor escorrentía a diferencia del anterior nivel de pendiente, su distribución se centra en laderas medias y altas de los volcanes San Antonio y en el cráter del Nevado.

De forma específica las pendientes de 16° - 35° se encuentran en parte de las estructuras del volcán la Calera, Cerro Gordo, el domo volcánico del Nevado y en porciones pequeñas de las laderas noroeste del San Antonio. Por último, las pendientes mayores a 35° se localizan de forma delimitada en zonas del domo volcánico del Nevado, el Cerro Gordo y el Cerro La Calera, siendo zonas muy escarpadas, y susceptibles a derrumbes de rocas por el tipo de material, así como procesos denudacionales intensos y valores de escorrentía muy altos.



Mapa 13. Pendiente del Terreno





8. Orden de drenaje

Un mapa de órdenes de drenaje muestra la organización jerárquica de la red fluvial en una cuenca hidrográfica. En este tipo de mapa, los ríos y arroyos se clasifican en diferentes órdenes, siendo los de primer orden los más pequeños y los de mayor orden los principales afluentes de la cuenca. La clasificación se basa en el principio de que dos arroyos de igual orden se combinan para formar un arroyo de orden superior.

Este tipo de mapa es crucial para la identificación de unidades de paisaje porque permite analizar cómo se organiza la red hidrográfica en una región, lo que influye directamente en la morfología y los procesos naturales del terreno (Tabla 31). El patrón de drenaje refleja características importantes como la pendiente, el tipo de suelo, la permeabilidad y la composición geológica, factores que ayudan a definir las unidades paisajísticas.

Al clasificar las corrientes en diferentes órdenes según su tamaño y conexión, el mapa proporciona información sobre la estructura del relieve, el flujo de agua y el comportamiento hidrológico. Esto es esencial para entender la erosión, sedimentación y distribución de la vegetación, así como para la planificación de recursos hídricos y la gestión ambiental.

Tabla 31. Uso de Cartografía de Orden de Drenaje

<i>Orden de Drenaje</i>	
Utilización	Fuente
La elaboración de este tipo de mapas es esencial para comprender la red fluvial y su organización en un sistema hidrográfico. Además de ser útil para evaluar los procesos erosivos y sedimentarios en diferentes partes de una cuenca.	Elaboración propia en base a la clasificación propuesta por Strahler (1989), identificándose 4 tipos de órdenes de drenaje.

Fuente: Elaboración propia.

La clasificación de órdenes de drenaje se basa en un sistema jerárquico que organiza los ríos y arroyos en función de su conectividad dentro de una red hidrográfica. Existen varios métodos de clasificación, pero el más comúnmente utilizado es el Sistema de Strahler (1957), que se detalla a continuación, identificándose 4 clases de corrientes de drenaje en la zona de estudio (Mapa 15).



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

Primer orden, corresponde a los cursos de agua más pequeños, sin afluentes, son arroyos o corrientes que nacen directamente de una fuente como manantiales o aguas de lluvia. Esta categoría se encuentra representada en color verde, hace referencia a procesos erosivos, los cuales en el mapa se aprecia una distribución sobre las laderas y los piedemontes del Nevado en algunas de las subcuencas del río Tejalpa y Verdiguél.

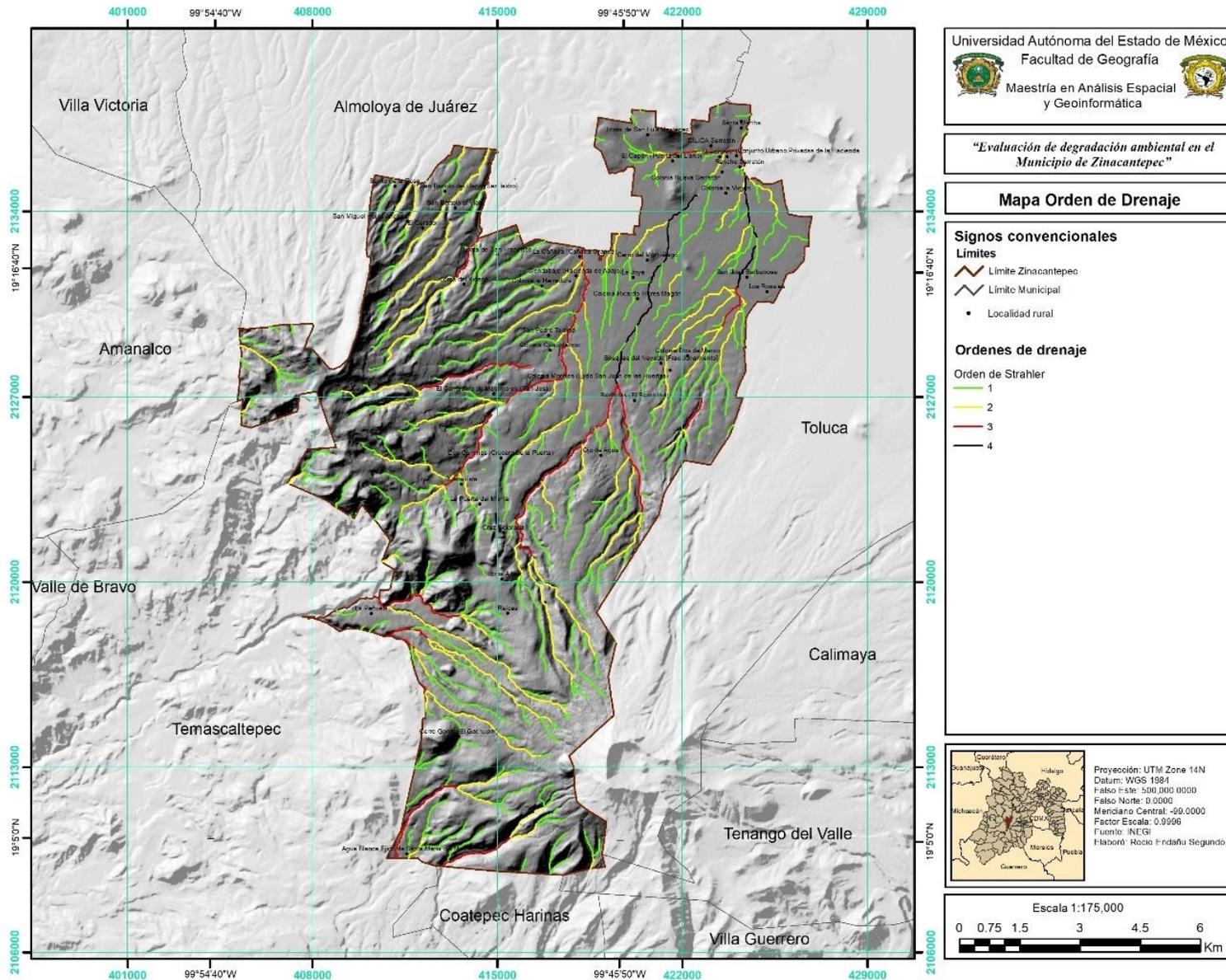
Segundo orden, se forma cuando dos cursos de primer orden se unen, haciendo referencia en el mapa a procesos erosivos, pero también de disección, los cuales abarcan mayor longitud sobre las laderas del Nevado y San Antonio.

Tercer orden, se genera cuando dos corrientes de segundo orden confluyen, estos representan una transición entre procesos erosivos y de ensanchamiento, rodeando el piedemonte de ambas estructuras volcánicas.

Cuarto orden y órdenes superiores se siguen formando al unir corrientes del mismo orden, por ejemplo, dos cursos de tercer orden se unirían para formar uno de cuarto orden, y así sucesivamente. Este orden modela el territorio presentando un ensanchamiento de valles fluviales, como es el caso del río Tejalpa.



Mapa 14. Orden de Drenaje





9. Energía del relieve

La energía del relieve, determinada por factores como la composición geológica, la erodabilidad del sustrato, las estructuras disyuntivas y la pendiente, influye directamente en la variabilidad de la intensidad erosiva. Este mapa representa gráficamente dicha variabilidad, reflejando la acción conjunta de procesos endógenos y exógenos sobre el relieve (Lugo, 1988). A través de este mapa podemos comprender la evolución del relieve y cuantificar la erosión por unidad de superficie (Tabla 32).

Tabla 32. Uso de Cartografía de Energía del Relieve

<i>Energía del Relieve</i>	
Utilización	Fuente
Permite determinar los tipos morfométricos del relieve, lo cual es imprescindible en la elaboración de los mapas de paisajes y en la comprensión de la relación con el proceso y forma del relieve.	Elaboración propia en base a datos de INEGI utilizando el programa ArcMap.

Fuente: Elaboración propia.

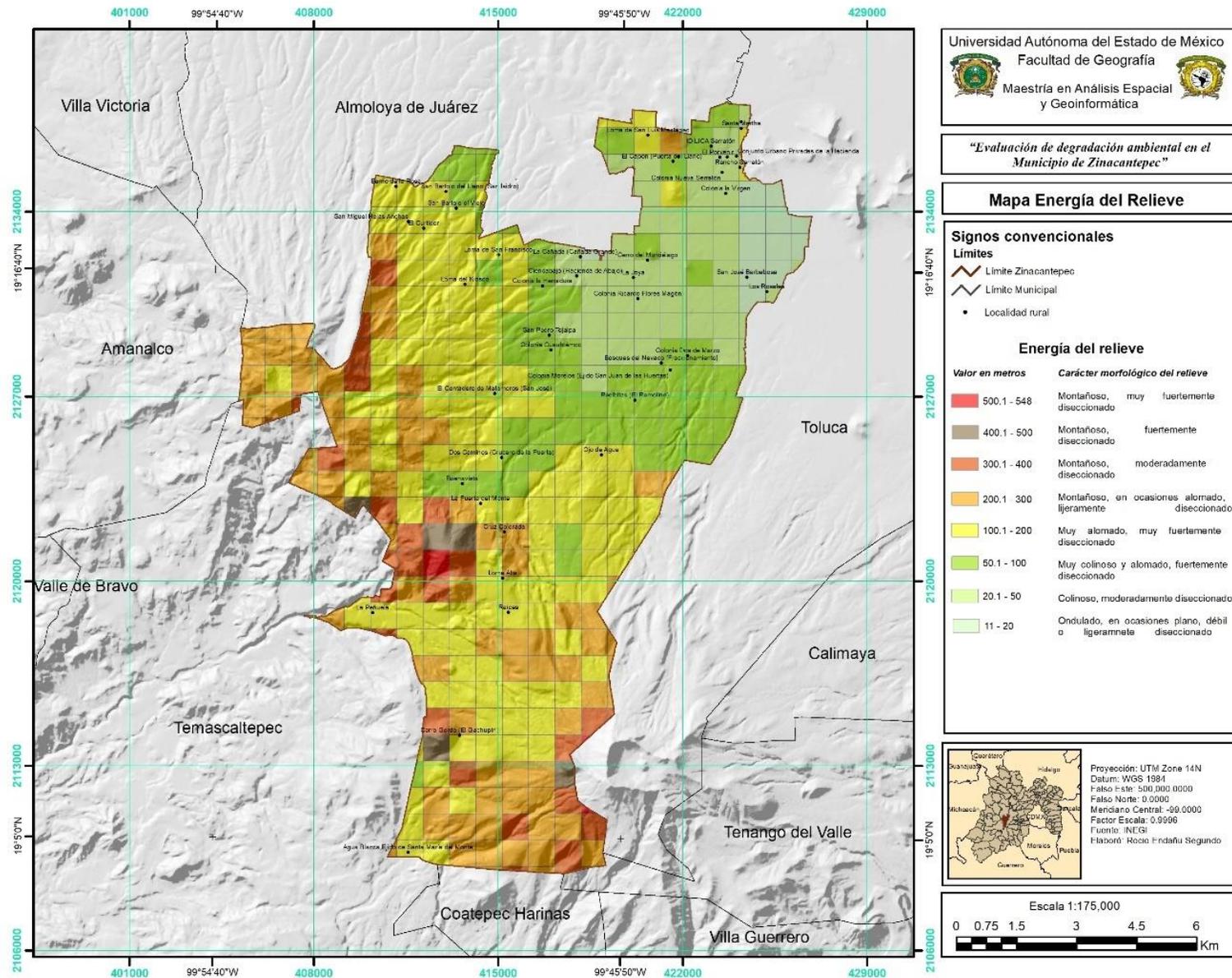
Los valores más altos de energía del relieve en el Mapa 16 se concentran en el centro-sur, mientras que los más bajos se ubican en el norte y noreste.

Se puede observar la intensidad de energía del relieve que tiene el Cerro la Calera en la parte más alta, destacándose la interacción entre procesos endógenos y exógenos, mostrando que las fracturas estructurales aumentan la susceptibilidad a la erosión. De moderadamente a fuertemente disecionado en las laderas del volcán San Antonio, el Nevado y el Cerro Gordo, debido a que las pendientes son mayores a 15° formadas por rocas volcánicas como basalto y andesita, los procesos exógenos como la erosión por corrientes se intensifican, teniendo valores de 340 a 350 niveles de profundidad.

En áreas con valores bajos, las suaves pendientes y la gran distancia entre curvas de nivel indican una menor energía del relieve. Esto se traduce en una menor actividad tectónica, especialmente en el piedemonte, donde los procesos erosivos son menos intensos. En las planicies, la casi nula actividad tectónica y la escasa pendiente minimizan aún más la dinámica geomorfológica.



Mapa 15. Energía del Relieve





10. Densidad de disección

La disección horizontal, un índice erosivo natural, cuantifica la densidad de drenaje por kilómetro cuadrado, permitiendo inferir el control litológico y los efectos de las precipitaciones sobre la superficie terrestre.

Este tipo de mapa es crucial para la identificación de unidades de paisaje porque mide el grado de fragmentación del terreno causado por redes fluviales y procesos erosivos, ya que al reflejar cuán intensamente el relieve ha sido modelado por ríos, o valles, permite clasificar áreas según su estabilidad y vulnerabilidad a la erosión (Tabla 33). Por lo que zonas con alta densidad de disección suelen estar más erosionadas y fragmentadas, mientras que áreas con baja densidad tienden a ser más planas y estables.

Tabla 33. Uso de Cartografía de Densidad de Disección

<i>Densidad de Disección</i>	
Utilización	Fuente
Este tipo de mapa ayuda a entender la dinámica del paisaje y es clave para la planificación ambiental, el uso del suelo y la gestión de riesgos naturales, pues se visualiza el nivel de erosión hídrica que presenta el municipio, en relación con su longitud y el nivel de cauces.	Elaboración propia en base a datos de INEGI utilizando el programa ArcMap.

Fuente: Elaboración propia.

El Mapa 17 presenta la distribución de la longitud de los cauces, lo que permite evaluar las condiciones de saturación hídrica y la densidad de la red fluvial. En las zonas montañosas, especialmente en las laderas del nevado, se observan altos valores de densidad de disección, directamente relacionados con las pendientes pronunciadas que favorecen el escurrimiento superficial y aceleran los procesos erosivos.

Por lo que los valores con mayor densidad de disección se localizan hacia el noroeste del volcán San Antonio, debido a la dinámica territorial y la longitud de los cauces, el socavamiento y erosión hídrica es mayor y los tipos de roca son sedimentos lacustres, en la parte norte del Cerro la Calera también existe una alta dinámica erosiva fluvial, debido a las pendientes mayores a 15° y la constitución de rocas de tipo andesítica, basáltica, así como sobre las laderas altas del Nevado, donde la vegetación es de tipo boscosa, presentando fragmentación de bosque debido a las problemáticas de deforestación, lo



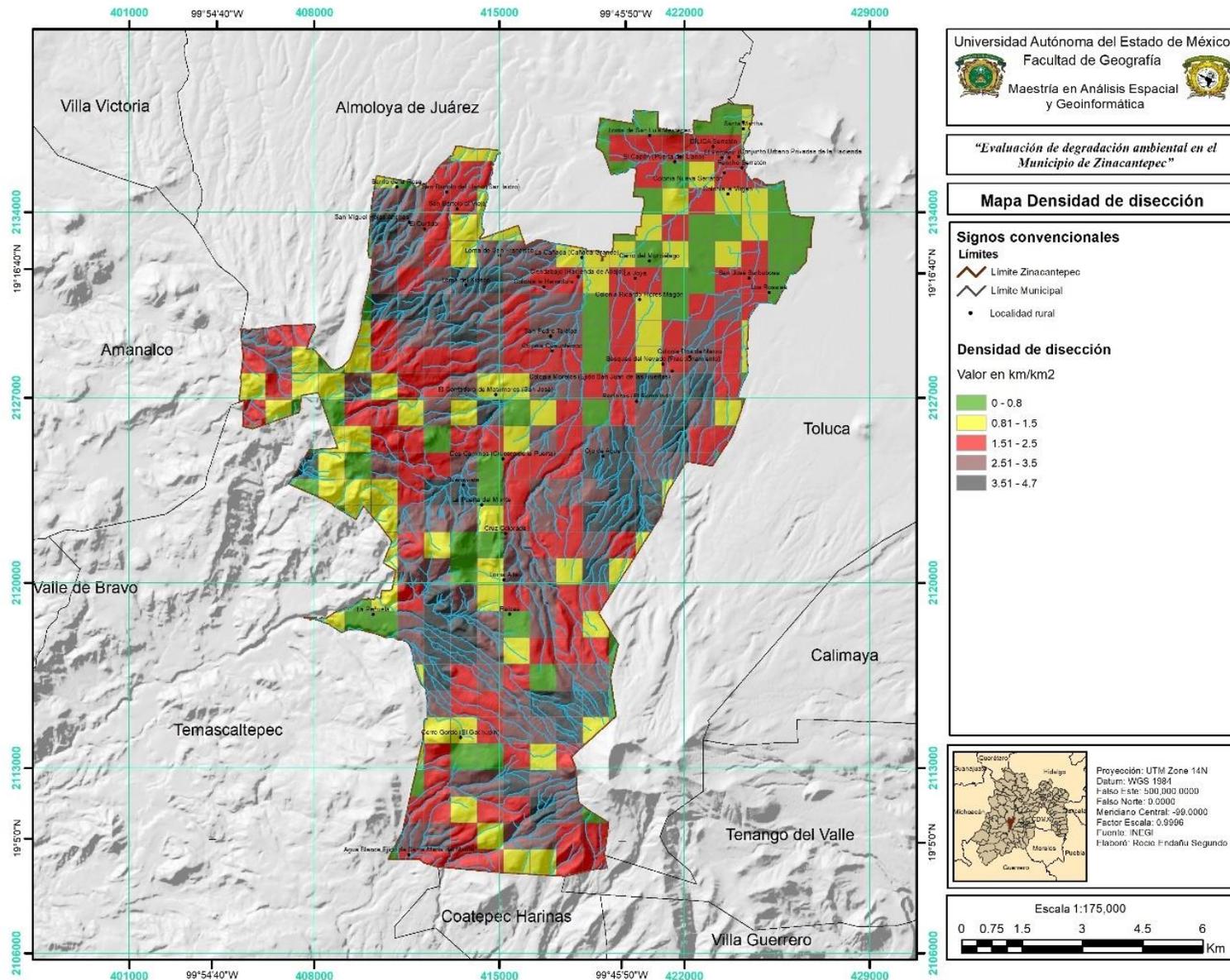
EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

que incrementa y acelera los procesos de erosión hídrica.

Las zonas de piedemonte presentan altos valores, lo que sugiere que los materiales son fácilmente erosionables debido a su fracturamiento por intemperismo y a su poca resistencia a la erosión. Esta condición facilita la formación de cauces y aumenta la susceptibilidad a procesos erosivos. Mientras que los bajos valores de disección en la unidad de planicie, que van de 0 a 0.8 km/km², reflejan un bajo grado de fracturamiento de los materiales.



Mapa 16. Densidad de Disección





11. Procesos gravitacionales

Un mapa de procesos gravitacionales es una representación cartográfica que muestra la distribución y características de los fenómenos y movimientos del terreno inducidos por la gravedad en una determinada área geográfica. Estos procesos son naturales y están relacionados con la inclinación del terreno y la fuerza de la gravedad, los cuales pueden causar desplazamientos de materiales como rocas, suelo o sedimentos.

Este mapa de procesos gravitacionales es crucial para la identificación de unidades de paisaje porque muestra las áreas donde ocurren movimientos de masas de tierra, como deslizamientos, derrumbes, o avalanchas, que son provocados por la gravedad. Estos procesos son indicativos de la inestabilidad del terreno y ayudan a determinar las zonas más susceptibles a estos fenómenos.

La importancia radica en que permite identificar áreas con alto riesgo de erosión y degradación del suelo, generalmente asociadas a pendientes pronunciadas o a suelos poco consolidados (Tabla 34). Esto es fundamental para planificar el uso del suelo, la infraestructura y la gestión del territorio, ya que las áreas afectadas por estos procesos requieren estrategias de manejo específicas para minimizar riesgos y conservar el paisaje. Además, contribuye a entender cómo se modelan las formas del relieve y las interacciones entre el sustrato y las fuerzas naturales.

Tabla 34. Uso de Cartografía de Procesos Gravitacionales

<i>Procesos Gravitacionales</i>	
Utilización	Fuente
Proporciona información detallada sobre los movimientos de tierra y materiales causados por la gravedad, como deslizamientos, derrumbes y depósito de material. La identificación de estos procesos tiene un impacto significativo en la morfología y la dinámica del paisaje, ya que ayuda a Identificar áreas de alto riesgo y vulnerabilidad, lo cual es crucial para la gestión del territorio.	Elaboración propia en base a datos de INEGI utilizando el programa ArcMap.

Fuente: Elaboración propia.

En el Mapa 18 se aprecian que las áreas a remoción en masa son aquellas con pendientes mayores a 35°, como lo son el Cerro Gordo, parte de la estructura del domo volcánico del Nevado, así como áreas específicas a laderas del Cerro la Calera y el volcán San Antonio.



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

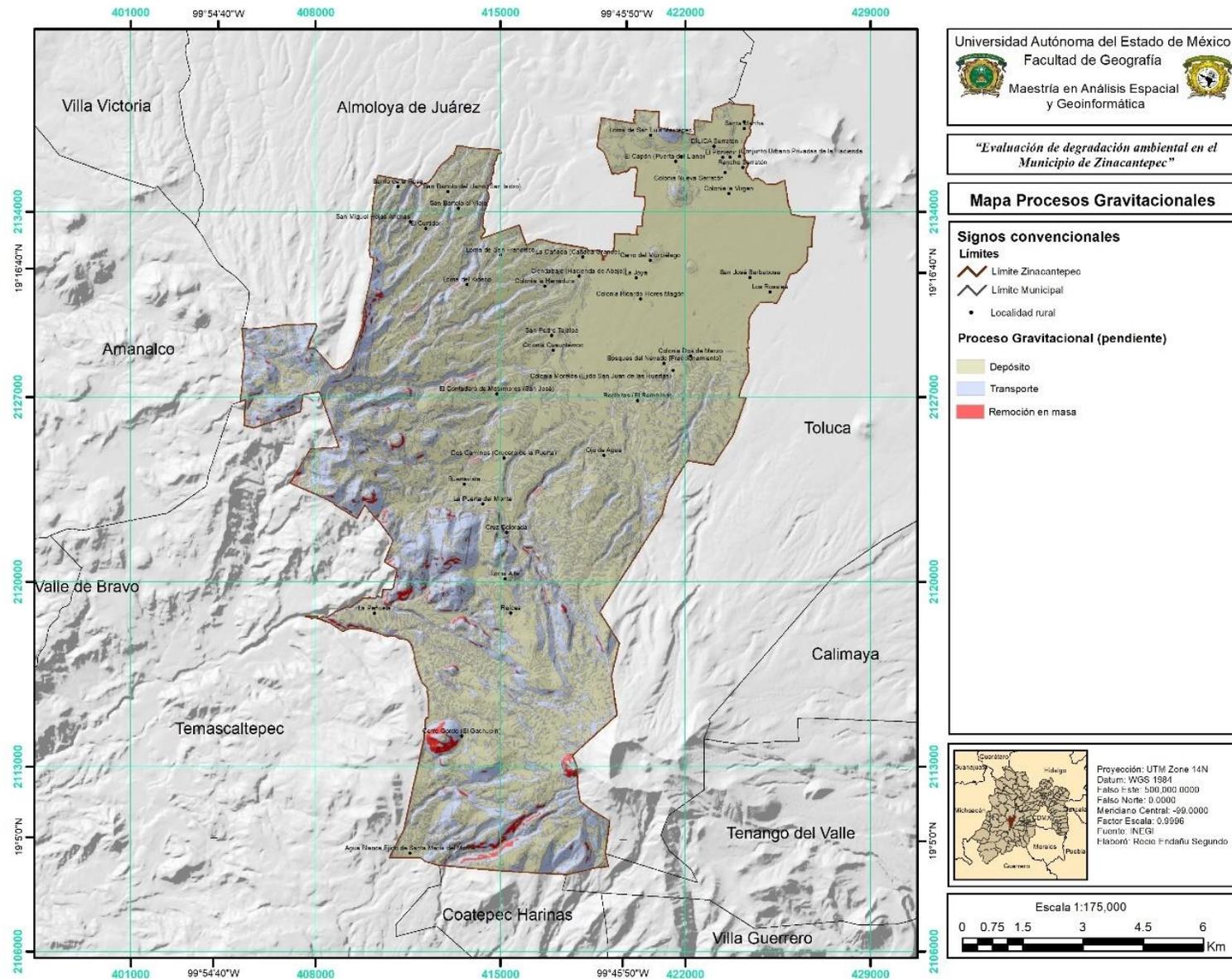
Las pendientes entre 16°- 35° son áreas de transporte, elevaciones al norte como el Cerro de San Lorenzo Cuauhtenco, Cerro del Molcajete, Cerro del Murciélago, Cerro Gordo, la Calera y el Jabalí son áreas de transporte de materiales.

El resto del municipio es zona de depósito, esta es un área donde el material desplazado, se acumula después de ser transportado por la gravedad. Estos materiales pueden incluir rocas, tierra, sedimentos y otros fragmentos del terreno. Desplazándose cuesta abajo debido a la inclinación del terreno, la gravedad y factores como el agua o la inestabilidad del suelo. La zona de depósito es la parte final de este proceso, donde el material se asienta y se acumula, formando nuevas estructuras y modificando el paisaje local.

Este tipo de zonas son importantes en la identificación de unidades de paisaje porque reflejan áreas de acumulación de sedimentos y suelos que pueden influir en la geomorfología local, afectando la estabilidad del terreno y el uso del suelo.



Mapa 17. Procesos Gravitacionales





12. Procesos fluviales

Un mapa de procesos fluviales es una herramienta visual que representa la interacción entre los sistemas fluviales y el entorno. Estos mapas destacan los procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos, así como los cambios en los cauces y las áreas inundables (Tabla 35).

Es fundamental en la identificación de unidades de paisaje porque proporciona información detallada sobre la dinámica de los ríos, arroyos y otros cuerpos de agua que modelan y transforman el relieve.

Tabla 35. Uso de Cartografía de Procesos Fluviales

<i>Procesos Fluviales</i>	
Utilización	Fuente
Los ríos y cuerpos de agua tienen una influencia significativa en la formación del paisaje. Un mapa de procesos fluviales ayuda a identificar y delimitar unidades de paisaje basadas en la interacción entre cuerpos de agua y el territorio.	Elaboración propia en base a datos de INEGI utilizando el programa ArcMap.

Fuente: Elaboración propia

El mapa 19 de procesos fluviales está dividido en 3 categorías, las cuales tienen relación directa con los órdenes de drenaje.

La categoría de agente fluvial acumulativo estructural se refiere a la interacción entre el proceso fluvial que transporta sedimentos y las estructuras geológicas que favorecen o condicionan la acumulación de estos materiales en el paisaje. Estos agentes juegan un papel importante en la formación de llanuras aluviales, deltas, terrazas fluviales y otros depósitos sedimentarios como lo es el río Tejalpa en Zinacantan, este pertenece al 4to orden.

El tipo de agente fluvial erosivo dinámico desgasta activamente el suelo y las rocas del lecho, así como los márgenes de los ríos, modificando continuamente la forma del paisaje, creando valles fluviales, estos dominan la mayor parte del territorio, por lo que Zinacantan presenta una dinámica fluvial de tipo erosiva.

Un agente fluvial transitorio es un proceso o fenómeno relacionado con el flujo de agua que actúa de manera temporal o intermitente en la modificación del paisaje, a diferencia de los agentes fluviales permanentes, como ríos o corrientes constantes, los agentes



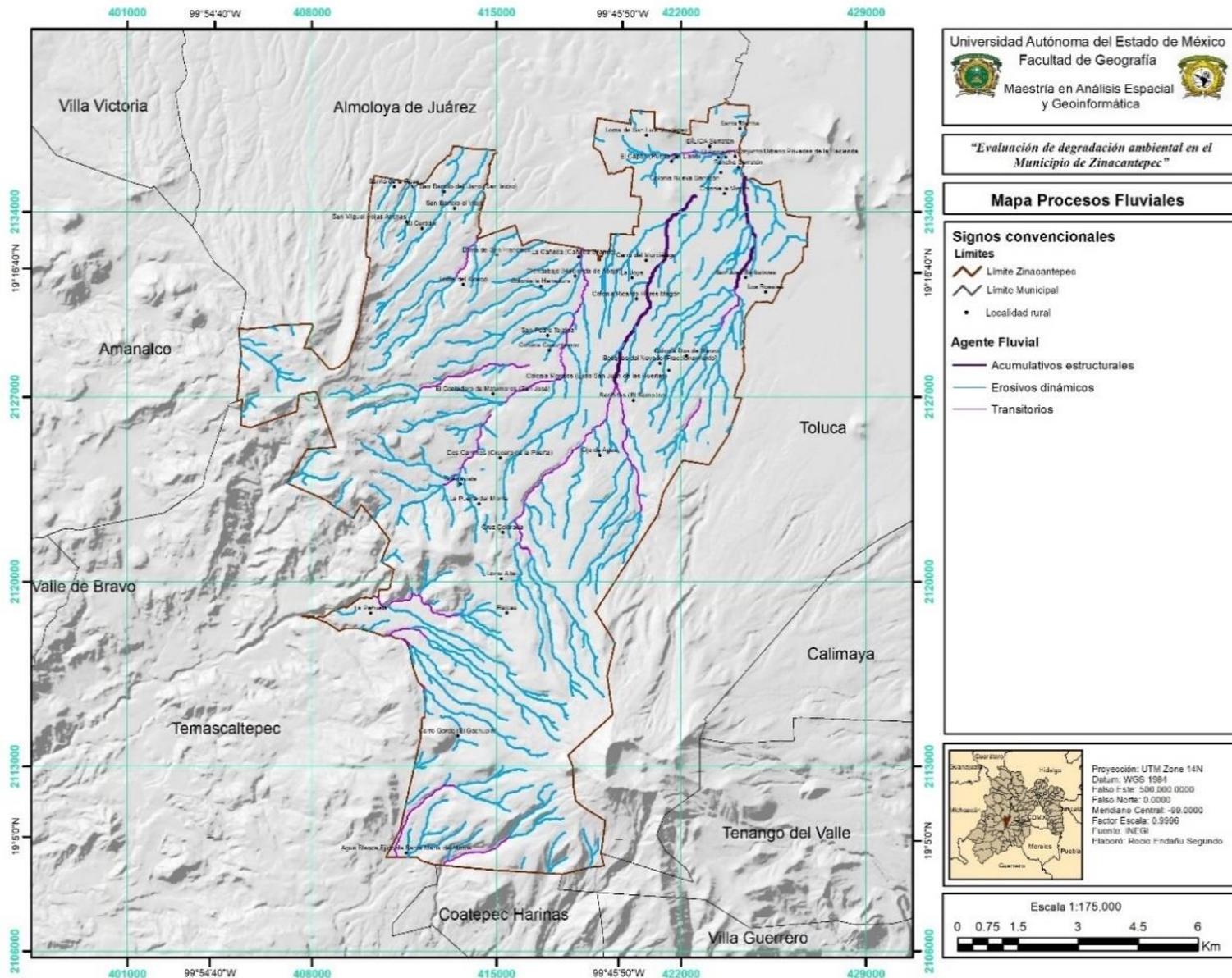
EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

fluviales transitorios son aquellos que aparecen y desaparecen dependiendo de condiciones temporales específicas, como las lluvias estacionales o eventos climáticos extremos.

Aunque actúan por un periodo limitado, pueden tener efectos erosivos significativos en el suelo, como la formación de cauces temporales o la redistribución de sedimentos. También pueden generar depósitos al acumular material en ciertas áreas cuando el flujo de agua termina. Parte del río Tejalpa se encuentra delimitado en esta categoría, el río San Pedro, el arroyo La Garrapata, Tata Merced, ubicados sobre las laderas del Nevado de Toluca.



Mapa 18. Procesos Fluviales





3.3.2 Unidades del Paisaje

Se identificaron 18 unidades de paisaje cada una con características homogéneas, caracterizadas desde el punto de vista físico-geográfico y elementos morfométricos y morfológicos (Tabla 36).

Tabla 36. Superficie de Unidades de Paisaje

Unidad de Paisaje	Superficie km ²	Porcentaje
UP-1	7.96	2.57
UP-2	33.25	10.72
UP-3	18.10	5.84
UP-4	18.28	5.89
UP-5	20.50	6.61
UP-6	10.42	3.36
UP-7	11.61	3.74
UP-8	10.25	3.31
UP-9	10.24	3.30
UP-10	6.13	1.98
UP-11	5.70	1.84
UP-12	10.40	3.35
UP-13	12.00	3.87
UP-14	19.98	6.44
UP-15	47.57	15.34
UP-16	21.87	7.05
UP-17	23.89	7.70
UP-18	22.02	7.10

Fuente: Elaboración propia.

- **Unidad del Paisaje UP-1**

Esta unidad de paisaje se ubica al norte del municipio colindando con los municipios de Almoloya de Juárez y Toluca (Mapa 20), abarca una superficie de 7.96 km², lo que representa el 2.57 por ciento del territorio de Zinacantepec.

La unidad de paisaje está constituida por una estructura de tipo domo volcánico conformada por derrame de andesita-dacita (Cerro del Molcajete 2900 msnm) y piedemonte de toba riolítica, a una altitud entre 2600 msnm. Las pendientes alcanzan valores de 16°-35° en altitudes mayores, pero conforme se va descendiendo los valores van reduciendo con pendientes dominantes de 2°-8°. El clima pertenece al C(w2) y el orden de drenaje es de tipo 1, de acuerdo con la clasificación de strahler, abarcando el



20% de la unidad de paisaje, con densidad de disección de 0-0.8 km/km² y de 1.5 a 2.5 km/km² principalmente.

La energía del relieve va de 50 a 100 metros principalmente y de 100-300 metros en la zona del Cerro del Molcajete. Los suelos desarrollados son vertisol pélico, feozem y lúvico, presentándose sobre ellos usos de suelo de agricultura de temporal anual principalmente, pastizal inducido y vegetación secundaria arbustiva de pino, así como zonas de asentamientos humanos en la zona de planicie, conjuntos urbanos como Santa Martha, IDÍLICA Serratón se ubican en esta área.

La zona donde se encuentra el domo volcánico es una zona de transporte, pero el 90% del territorio es zona de depósito siendo un área que presenta procesos erosivos-dinámicos en sólo el 10% de la unidad.

- **Unidad del Paisaje UP-2**

Ubicada al norte del área de estudio, abarca una superficie de 33.25 km² (10.72 %). La mayor parte de esta unidad (70%) está conformado por una planicie de material aluvial, hacia el oeste se ubica el domo volcánico denominado Cerro San Lorenzo Cuauhtenco, constituido por rocas de tipo andesita-dacita, al sur el resto de la superficie de la unidad se constituye por piedemonte de material aluvial. La altitud es de 2600-2800 msnm, desarrollándose un clima de tipo C(w2).

Las pendientes oscilan de 0-2° en zonas planas que es prácticamente el 90% de la unidad y en el Cerro San Lorenzo Cuauhtenco se alcanzan pendientes de 2° hasta 16°. El orden de drenaje es de nivel 1 principalmente y la densidad de disección es de 1.5-2.5 km/km², la energía del relieve es de 20-50 metros (80%) y de 11-20 (20%).

El suelo dominante es el Feozem háplico abarcando más del 80%, seguido del vertisol pélico con el 20%. Es un área donde se desarrolla la zona urbana del municipio abarcando el 70% de este uso de suelo, algunas localidades como El Capón (Puerta del Llano), Colonia Nueva Serratón, San José Barbabosa, así como complejos habitacionales El Porvenir y Conjunto Urbano Privadas de la Hacienda se encuentran asentadas en esta unidad, alternado con agricultura de temporal anual y de agricultura de riego. Toda la zona es un área de depósito, excepto el Cerro San Lorenzo Cuauhtenco, ya que sobre sus laderas se presentan áreas de transporte y la presencia de procesos fluviales, abarcando el 30% de la unidad, categorizándose como tipo erosiva-dinámica principalmente.



Unidad del Paisaje UP-3

Localizada en dirección noreste, esta unidad se encuentra limitando con el municipio de Toluca, posee una superficie de 18.10 km² (5.84%), en su mayoría es un área de piedemonte, conformada por materiales de tipo brecha volcánica. Existen 2 domos volcánicos constituidos de andesita-dacita hacia el sur, uno de ellos el Parque Ecológico Ejidal de Cacalomacán y el segundo al sureste de la unidad de paisaje, la altitud oscila entre 2800-3200 msnm, desarrollándose dos tipos de clima el Cb'(w2) que abarca aproximadamente el 90% de superficie y el C(w2) en el resto del territorio.

Las pendientes van de 2°-8° principalmente, conforme se va ascendiendo se alcanzan valores de 16-35°. El orden de drenaje es de nivel 1 y 2 principalmente y la densidad de disección es de 2.5-3.5 km/km² abarcando más del 50% del terreno y de 3.5-4.7 km/km² en zonas más disectadas. La energía del relieve predominante es de 50-100 metros.

El desarrollo de suelos es de tipo feozem háplico (80%) y andosoles húmico y ócrico, siendo el uso de suelo dominante el de agricultura de temporal anual abarcando aproximadamente el 80%, asimismo existen la presencia de asentamientos humanos (10%) localidades como Recibitas (El Remolino), Colonia Morelos (Ejido San Juan de las Huertas) y parte de la Colonia Dos de Marzo. La vegetación desarrollada es el bosque de pino y oyamel en menor proporción.

Esta área pertenece a una zona de depósito y en pendientes a partir de 16-35° es de transporte, con procesos erosivos-dinámicos y transitorios en menos de la mitad de su superficie.

Unidad del Paisaje UP-4

Ubicada en la parte central con dirección hacia el sureste de la zona de estudio, representa una superficie de 18.28 km² (5.89), estructurada por piedemontes y laderas de brecha volcánica en altitudes que van entre los 2900-3400 msnm, presentando un clima de tipo Cb'(w2).

Las pendientes son variables, en zonas de piedemonte alcanzan valores de 2°-8° principalmente y en zonas más escarpadas de 8°-35°. Los órdenes de drenaje son de 1 y 2 niveles mayormente y la densidad de disección en más de la mitad de superficie es de 3.5-4.7 km/km² y el resto es de 1.5-3.5 km/km², teniendo valores de energía del relieve de 100-200 metros de forma dominante.

Los suelos desarrollados son de tipo feozem háplico (80%) y andosol húmico y ócrico,



desarrollando principalmente actividades agrícolas en más de la mitad de la zona, combinado con asentamientos humanos de forma aislada como lo es la localidad Ojo de Agua y pequeñas superficies de bosque de oyamel, pino y pastizal inducido.

Estas zonas pertenecen a un área de depósito en pendientes de 16-35° y de transporte en pendientes menores al 8°, presentando procesos fluviales de tipo erosivos-dinámicos en aproximadamente el 50% de la unidad.

Unidad del Paisaje UP-5

Se encuentra ubicada al sureste del área de estudio, posee una superficie de 20.50 km² (6.61%), esta área está conformada por laderas de brecha volcánica y de materiales de andesita-dacita, en altitudes de 3100 msnm y en la parte más alta se localiza el cráter y domo volcánico del Nevado de Toluca, constituido por andesita-dacita a 4400 msnm.

Los climas desarrollados son Cb'(w2) y E(T)CHw el primero abarca el 90 % de la unidad, las pendientes dominantes son de 8°-16° principalmente (90%); en zonas escarpadas de 16-35°, mientras que el domo volcánico alcanza pendientes de 16-58° respectivamente.

El orden de drenaje es de nivel 1 y 2 en más del 50% de superficie, presentando una densidad de disección de 1.5-2.5 km/km² (50 %) 3.5-4.7 km/km² (30%) 2.5-3.5 km/km² (20%). La energía del relieve es variable hay áreas que muestran valores de 100-200 metros (50%), de 200-300 metros (40%) y 300-400 metros (10%) en la zona del cráter.

Los suelos desarrollados son el andosol húmico (85%) feozem háplico (10%) andosol ócrico y regosol eútrico (5%), debido a estas características, esta área presenta áreas naturales conformadas por bosques de pino (80%) y vegetación secundaria arbustiva de pino (5%), así como zonas de agricultura de temporal (5%) pradera de alta montaña (5%) pastizal inducido y desprovisto de vegetación (5%).

Estas áreas pertenecen a zonas de depósito (90%) y el resto a zonas de transporte en pendientes mayores 35°, como lo es el área del domo volcánico del Nevado de Toluca, presentando procesos fluviales de tipo erosivos-dinámicos en casi el 50 % de la zona.

Unidad del Paisaje UP-6

Limitando con Toluca, Tenango del Valle y Coatepec Harinas, esta unidad constituye solo el 3.36 % (10.42 km²), conformada por laderas volcánicas de andesita-dacita y en la parte sureste se ubica el cráter y domo volcánico del Nevado, así como valles fluviales verticales que van disectando y modelando el paisaje, sobre altitudes que oscilan entre los 3200-4400 msnm, con climas Cb'(w2) y E(T)CHw en la zona del cráter.



Las pendientes predominantes son de 16°-35° abarcando más de la mitad de la unidad y de 8°-16° en el resto de superficie, el orden de drenaje es de nivel 1 y 2 sólo en 20 % del territorio y la densidad de disección dominante es de 1.5-2.5 km/km², presentando una energía del relieve de 200-300 metros (70%) y de 300-400 (30%).

El suelo dominante es andosol húmico, teniendo presente coberturas de bosque de pino (85%) y vegetación secundaria arbustiva de pino (10%), en las zonas más altas pradera de alta montaña (5%).

Esta zona presenta un equilibrio entre zonas de transporte y remoción en masa abarcando entre ambas el 90% de la zona y el resto son laderas escarpadas en la parte del cráter y domo volcánico, desarrollándose procesos fluviales de tipo erosivos-dinámicos (20%).

Unidad del Paisaje UP-7

Localizada al suroeste del área de estudio, limitando con el municipio de Temascaltepec, tiene una superficie de 11.61 km² (3.74%), conformada por laderas volcánicas de andesita-dacita abarcan aproximadamente el 60 % del territorio, así como piedemontes constituidos de brecha volcánica y valles fluviales verticales sobre altitudes de 3100-3700 msnm, con climas de tipo Cb'(w2).

Las pendientes oscilan entre 2°-8° en zonas ligeramente planas que es menos de 1/3 de superficie y de 8°-35° en el resto de la unidad de paisaje, el orden de drenaje es de tipo 1 y 2 principalmente abarcando menos de la mitad del territorio, la densidad de disección dominante es de 1.5-2.5 km/km², en lo que refiere a la energía del relieve esta alcanza valores de 100-300 metros principalmente.

El tipo suelo que se desarrolla es el andosol húmico, sobre él se forman coberturas de bosque de pino, oyamel en proporciones semejantes, cubriendo entre ambas coberturas aproximadamente el 70% de la zona y vegetación secundaria arbustiva de pino (25%) y pastizal inducido (5%), asimismo se encuentra asentada la localidad de Agua Blanca Ejido de Santa María del Monte. Esta zona es principalmente de depósito y el tipo de procesos fluviales es de tipo erosivos-dinámicos estos apenas cubren solo 1/3 de la superficie.

Unidad del Paisaje UP-8

Esta unidad se ubica al sureste y suroeste de Zinacantepec, abarcando el 10.25 km² (3.31%) de superficie, conformada principalmente por laderas volcánicas de andesita-dacita y piedemonte de brecha volcánica y dos domos volcánicos, uno de ellos el Cerro



Gordo (El Gachupín) al oeste y el otro en dirección sureste constituidos por materiales de tipo andesita-dacita y la presencia de valles fluviales verticales, esta unidad se encuentra a altitudes entre 3400-3900 msnm, con un clima de tipo Cb'(w2).

Las pendientes dominantes van de 8°-35° principalmente y en zonas escarpadas como las del Cerro Gordo (El Gachupín) alcanzan valores de 35-58°.

El orden de drenaje es de nivel 1 y 2 en menos de 1/3 de la unidad de paisaje, la densidad de disección varía desde 0.8-4.7 km/km², dominando los valores de 2.5-3.5 km/km² (30%) y la energía del relieve es de 200-300 metros en más de la mitad de la unidad.

Se forman suelos de tipo andosol húmico (95%) y Litosol (5%), sobre bosques de pino (40%) y oyamel (10%), existe la presencia de vegetación secundaria arbustiva de pino (40%), en menor proporción pastizal inducido (10%). Esta zona es de depósito principalmente 60% y los procesos fluviales son de tipo erosivos-dinámicos en 1/3 de la superficie.

Unidad del Paisaje UP-9

Constituida al suroeste de Zinacantepec, ocupando 10.24 km², lo que representa el 3.30% de la superficie total, esta área se constituye por laderas de brecha volcánica y 1 domo volcánico de andesita-dacita, así como valles fluviales verticales, en altitudes de 3200-3700 msnm, desarrollándose climas de tipo Cb'(w2).

La pendiente que predomina es de 4°-8°, con órdenes de drenaje de nivel 1 y 2 cubriendo menos de la mitad de superficie, la densidad de disección con mayor representación es de 1.5-2.5 km/km² con valores de energía del relieve de 100-200 metros.

Los suelos son de tipo andosol húmico, sobre bosques de pino y vegetación secundaria arbustiva del mismo tipo, en menor proporción pastizales inducidos (5%) bosque de oyamel y pino (10%) y agricultura de temporal anual (5%). Casi toda la zona, es un área de depósito, con tipo de procesos fluviales de tipo erosivos-dinámicos presentes en la mitad de la unidad de paisaje.

Unidad del Paisaje UP-10

Abarca 6.13 km², que representa el 1.98% del total de superficie, esta unidad se localiza en dirección suroeste, constituida por laderas volcánicas conformadas de andesita-dacita y brecha volcánica, además de valles fluviales acumulativos sobre altitudes de 3200-3700 msnm, desarrollándose un clima de tipo Cb'(w2).



Las pendientes predominantes van de 8°-35° principalmente con orden de drenaje de 1 y 2 cubriendo sólo el 20 % de superficie, presentando una densidad de disección de 2.5-3.5 km/km² en más de la mitad del área y rangos de energía del relieve de 100-300 metros.

El suelo desarrollado es andosol húmico, sobre el se desarrollan bosques de oyamel-pino (40%), bosque de pino (20%) y hay áreas de agricultura de temporal anual (15%), el resto es vegetación secundaria arbustiva de pino y pastizal inducido. Esta zona representa un área de depósito (60%), presentando procesos fluviales en menos de la cuarta parte del territorio, que son de tipo erosivos-dinámico.

Unidad del Paisaje UP-11

Ubicada al sureste de Zinacantepec, limitando con el municipio de Temascaltepec, esta área abarca solo el 1.84% del territorio, lo que representa 5.70 km², conformada por piedemontes de brecha volcánica y valles fluviales verticales, la altitud a la que se encuentra esta unidad es a los 2700-3200 msnm, con un clima de tipo Cb'(w2).

Presenta pendientes de 2°-8° principalmente (80%), con órdenes de drenaje de 1 y 2 cubriendo menos de la cuarta parte de la zona, mostrando valores de densidad de disección de 0-0.8 km/km² (50%) respectivamente, mientras que datos de energía del relieve son de 100-200 metros.

Los suelos desarrollados son de tipo andosol húmico (90%) y ócrico (10%), destinados a la agricultura de temporal anual (40%) bosque de pino (30%) bosque de oyamel-pino (10%) agricultura de riego (10%) pastizal inducido (7%) y asentamientos humanos (3%) de la localidad La Peñuela. Esta área es de depósito con características fluviales erosivas-dinámicas, en el 20% de la unidad.

Unidad del Paisaje UP-12

Conformando el 10.40 km² de superficie (3.35%) esta unidad se ubica en la parte central del municipio, constituida principalmente por laderas volcánicas de andesita-dacita y de brecha volcánica y 1 domo volcánico de andesita-dacita, la altitud de esta zona es de 3200-3700 msnm, con climas de tipo Cb'(w2).

Presenta pendientes de 8°- 35° en casi el 80% del territorio, teniendo un orden de drenaje de 2.5-3.5 km/km² predominantemente, con una energía del relieve de 100-200 metros en aproximadamente el 70% del territorio y el resto es de 200-300 metros.

Los suelos desarrollados son de tipo andosol húmico y las actividades producto de la antropización del territorio es la agricultura de temporal anual en casi el 60% de la unidad,



además de coberturas boscosas de oyamel y pino, con asentamientos humanos de localidades Raíces y Cuz Colorada, así como vegetación secundaria arbustiva de pino en el resto del límite de la unidad.

En cuanto al tipo de procesos gravitacionales es una zona de depósito, cubriendo aproximadamente el 60 % del territorio y el resto es de transporte, los procesos fluviales son de tipo erosivo-dinámico en 40 % de esta área

Unidad del Paisaje UP-13

Localizada al oeste de Zinacantepec esta área cubre 12 km² (3.87%), su delimitación forma parte del domo volcánico de andesita-dacita conocido como el Cerro la Calera a una altitud de 3000-3700 msnm, constituido por valles fluviales verticales, presentando un clima de tipo Cb'(w2).

Las pendientes son variables, pero la más representativa de la unidad va de 16°-35° cubriendo el 80 % aproximado de la unidad. El orden de drenaje es de nivel 1 y 2, cubriendo una cuarta parte del área. Su densidad de disección en la mayoría de la unidad es de 2.5-3.5 km/km² y la energía del relieve es variable, alcanzando valores de 300-400 metros en la mitad del territorio.

Se desarrollan suelos de tipo andosol húmico, que contribuyen a la conformación de bosques de oyamel (75%) pino (10 %) y vegetación secundaria arbustiva de pino y oyamel (10%) con zonas de pastizales inducidos en áreas dispersas (5%). Esta zona tiende a ser un área de transporte (80%) principalmente y en menor medida de depósito (10%) y remoción en masa (10%), con una dinámica de procesos fluviales de tipo erosiva-dinámica en menos de la cuarta parte de la unidad.

Unidad del Paisaje UP-14

Abarcando 19.98 km² (6.44%) esta unidad se ubica en la parte central del área de estudio, conformada por piedemontes de brecha volcánica (70 %) y laderas, además de un domo volcánico de andesita-dacita a una altitud de 2900-3200 msnm, desarrollando un clima de tipo Cb'(w2).

Las pendientes dominantes son de 2°- 8° (80%) principalmente y de 8°-35° en zonas más escarpadas (20%). El orden de drenaje es de 1 (20%), 2 (20%) y 3 (20%) y los valores de densidad de disección alcanzan rangos de 1.5-2.5 km/km² en más de la mitad de la unidad de paisaje. Presenta datos de energía de relieve de 50-100 metros de forma homogénea en el 70% de la zona y de 100-200 metros en el resto de la unidad.



Los suelos que se forman son andosol húmico (80%) feozem háplico (10%) y andosol mólico (10%), sobre ellos se desarrollan áreas de agricultura de temporal anual (60%) bosque de pino (25%) asentamientos humanos (10%) como La Puerta del Monte, Buenavista y Dos Caminos (Crucero la Puerta del Monte), así como bosques de cedro (5%) y zonas de agricultura de riego (7%) y explotación minera (3%) a un costado de la Carretera Federal a Temascaltepec.

Estas áreas son de depósito (90%) y transporte (10%) en procesos gravitacionales y de tipo erosivos-dinámicos (30%) y transitorios (10%) en procesos fluviales.

Unidad del Paisaje UP-15

Esta unidad es la que mayor superficie ocupa dentro del área de estudio con el 15.34% (47.57 km²), ubicada al noroeste se encuentra conformada por laderas volcánicas de andesita-dacita (70%), 9 domos volcánicos y 2 conos volcánicos, en las partes más bajas se constituyen por piedemontes de toba riolítica y brecha volcánica con valles fluviales verticales.

La altitud a la que se encuentra la unidad es de 3000-3700 msnm, con un clima de tipo Cb'(w2). Presenta pendientes variables de 16°-35° principalmente (40%) en las zonas más escarpadas de la ladera y de 4°-16° conforme se va descendiendo, cubriendo el 60% de la unidad de paisaje.

Los órdenes de drenaje son de nivel 1 (40%) y 2 (30%). La densidad de disección es de 1.5-2.5 km/km² y la energía del relieve tiene valores de 200-300 metros, cubriendo 60% de la superficie. Los suelos son de tipo andosol húmico (80%) andosol crómico (15%) y andosol mólico (5%); desarrollando bosques de oyamel (60%), pino (10%), vegetación secundaria arbustiva de pino (10 %), pastizal inducido (5%) y agricultura de temporal anual y de riego (15%).

Es un área que se clasifica en tipo de procesos gravitacionales de transporte (40%) y depósito (50%); en cuanto a procesos fluviales es erosiva-dinámica en el 50% del área.

Unidad del Paisaje UP-16

Ubicada al noroeste, limitando con el municipio de Almoloya de Juárez, está área ocupa 21.87 km² (7.05%) del territorio, se constituye principalmente por piedemontes de toba riolítica (90%) y de brecha volcánica con valles fluviales verticales a una altitud de 2700-3300 msnm, presenta 2 tipos de climas el Cb'(w2) (70%) y el C(w2) (30%).

Con pendientes de 4°-16° en el 90% del área y de 16°-35° en el resto de superficie en



zonas de laderas escarpadas. El orden de drenaje es de 1 y 2 cubriendo sólo el 30% de su superficie; en cuanto a valores de densidad de disección se presenta de 1.5-2.5 km/km² (40%) 2.5-3.5 km/km² (40%) 0.8-1.5 km/km² (10%) 3.5-4.7 km/km² (10%), con densidad de disección de 100-200 metros (80%) de la unidad.

Los suelos que se forman son andosol húmico (60%) feozem háplico (30%) y lúvico (10%), desarrollando agricultura de temporal anual (60%), zonas de asentamientos humanos (30%) como localidades rurales de El Curtidor, San Miguel Hojas Anchas, San Bartolo el Viejo, San Bartolo del Llano (San Isidro), Barrio de La Rosa; así como zonas urbanas de Santa María del Monte, El Cópore y Barrio de México. Incluye además zonas de bosque de oyamel y pino (5%) vegetación secundaria arbustiva de encino-pino (5%). Esta unidad es una zona de depósito (85%) y transporte (15%), en cuanto procesos fluviales es de tipo erosivo-dinámico en sólo el 40% del territorio.

Unidad del Paisaje UP-17

Abarca el 23.89 km² de superficie (7.70%), se localiza al norte, constituida sobre piedemontes de toba riolítica, brecha volcánica (90%) y material aluvial, además de valles fluviales verticales, la altitud promedio de esta unidad es de 2700-3200 msnm, presentando climas de tipo Cb'(w2) (70%), C(w2) (30%). Con pendientes de 2°-8° en casi el 60% de la unidad y de 8°-35° en el resto de superficie.

Los órdenes de drenaje son de tipo 1 y 2, con mayor influencia el de 1er orden en más de la mitad de superficie. La densidad de disección es de 2.5-3.5 km/km² en 70% del área y la energía del relieve es de 100-200 metros (60%) y de 50-100 (40%).

La formación de suelos son de tipo andosol húmico (70%) y feozem háplico en el resto de la zona, desarrollando zonas de agricultura de temporal anual (60%) agricultura de riego (25%) bosque de pino y oyamel (10%), así como vegetación secundaria arbustiva de encino pino (5%) y zonas dispersas de asentamientos humanos, localidades como San Pedro Tejalpa, Colonia la Herradura, La Cañada, Loma de San Francisco, entre otras se encuentran ubicadas sobre esta unidad de paisaje.

Esta área pertenece a una zona de depósito cubriendo el 90% del paisaje y 10% de transporte (10%), mientras que el 50% de su superficie es de tipo erosiva-dinámica.

Unidad del Paisaje UP-18

Es una zona de piedemontes conformados por material aluvial (90%), toba riolítica (10%) y valles fluviales acumulativos, conformando 22.02 km² (7.10%) del total de superficie



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

municipal, se ubica a una altitud entre 2700-2800 msnm, con un clima C(w2).

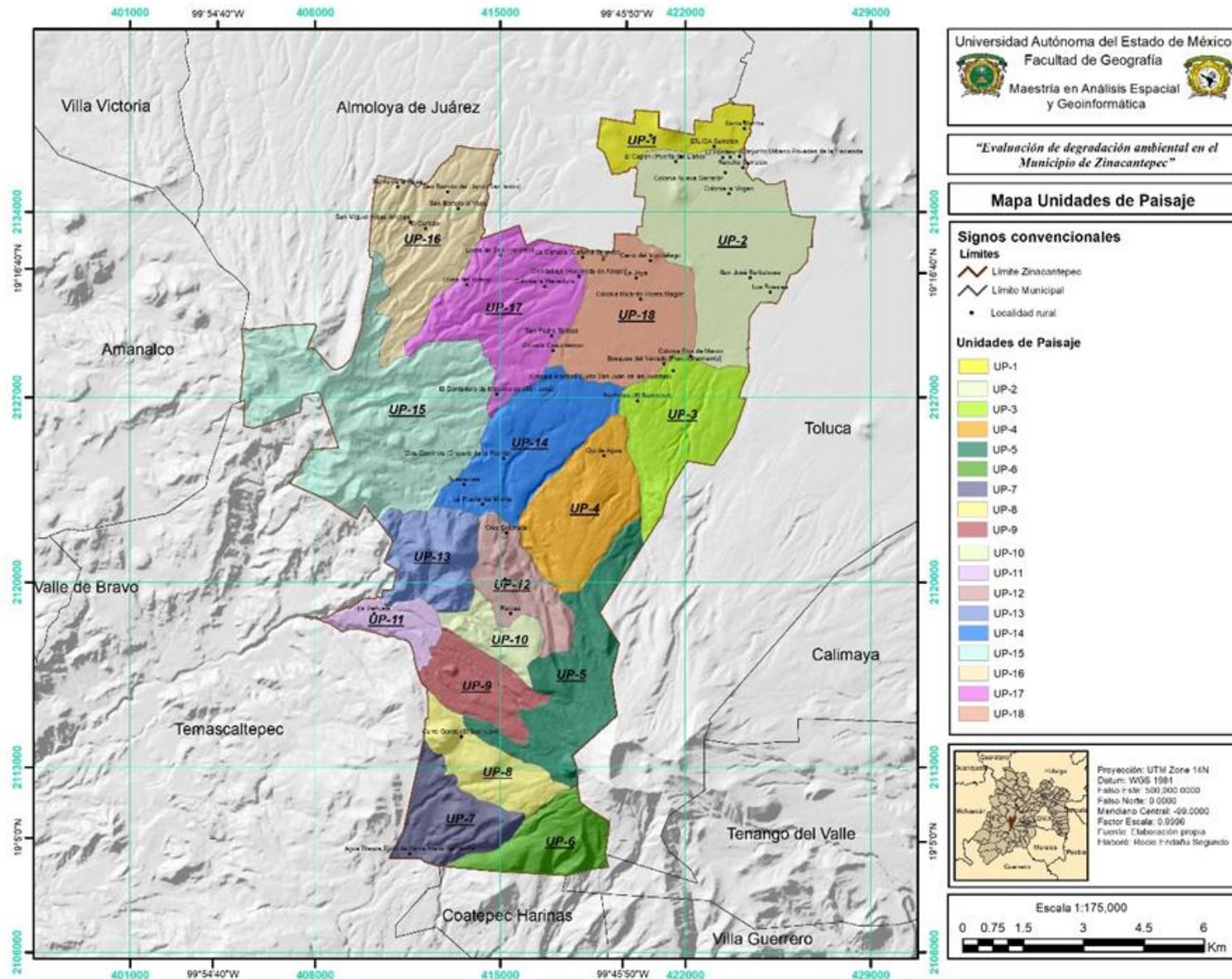
Las pendientes oscilan de 2°-4° (90%) en zonas planas y en el Cerro de San Antonio Acahualco alcanza pendientes de 8-16°. Asimismo, los órdenes de drenaje son variables desde el nivel 1 (25%) 2 (10%) 3(10%) y 4 (10%); por su parte la densidad de disección oscila entre 1.5-2.5 (50%) 0-0.8 (25%) 0.8-1.5 (25%) y los datos de energía de relieve reportan valores de 20-50 metros (90%) y de 50-100 metros (10%).

El tipo de suelo es feozem háplico (90%) y andosol húmico (10%), conformando usos de suelo de tipo asentamientos humanos (50%) agricultura de riego (25%) agricultura de temporal anual (25%), albergando localidades urbanas y rurales como; San Antonio Acahualco, San Juan de las Huertas, Cerro del Murciélago, La Joya, Colonia Ricardo Flores Magón y Bosques de la Hacienda, por mencionar algunas.

Esta unidad del paisaje es una zona de depósito y los procesos fluviales son erosivos-dinámicos (40%) acumulativos-estructurales (15%) transitorios (15%).



Mapa 19. Unidades de Paisaje en Zinacantepec





Capítulo 4

Evaluación de

Degradación

Ambiental del

Paisaje



4.1 Identificación de Problemáticas Territoriales

La identificación de problemáticas mediante el árbol de problemas que plantea la Metodología de Marco Lógico (MML) resulta útil para identificar las causas de raíz que generan los procesos de degradación ambiental en Zinacantepec, a través de las relaciones causa-efecto, lo que ayudará a priorizar acciones y diseñar soluciones más efectivas y sostenibles por parte de las autoridades municipales para combatir la degradación ambiental. Ya que al identificar las causas que lo provocan, es más sencillo enfocar los esfuerzos en soluciones estratégicas que aborden los problemas de manera efectiva y a largo plazo.

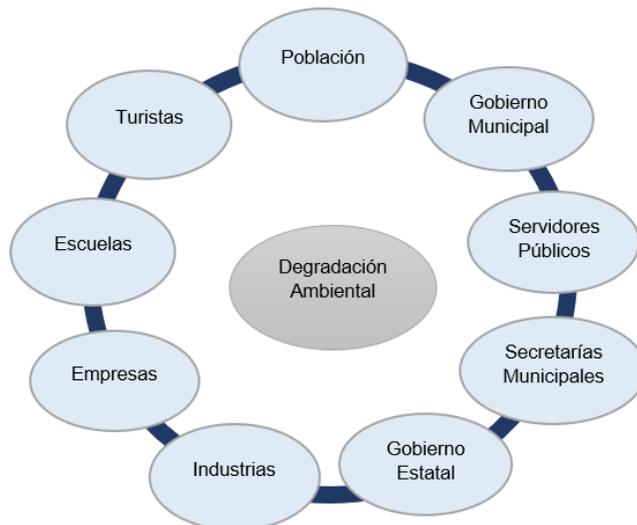
Por lo que el diseño de un árbol de problemas permitió un análisis con un enfoque integral del paisaje, apreciando las interconexiones entre diversos problemas, permitiendo diseñar soluciones que aborden varios aspectos del sistema ambiental simultáneamente.

Siguiendo la MML para la identificación del apartado de problemáticas ambientales, como primer paso se estableció el análisis de involucrados, donde se incluyen a los actores principales que interfieren durante el proceso.

4.1.1 Análisis de involucrados

Se identificaron los involucrados, grupos y organizaciones implicadas, tanto directa como indirectamente (Figura 12), para considerar distintas perspectivas y promover el sentido de pertenencia de los beneficiarios en el proyecto de investigación.

Figura 12. Diagrama de Involucrados



Fuente: Elaboración propia.



4.1.2 Análisis del problema

Para realizar un análisis adecuado, es fundamental comprender el problema a profundidad. Esto requiere una identificación precisa, que permita proponer soluciones efectivas. La correcta definición del problema es crucial, ya que sobre ella se construye toda la estrategia de planificación.

Hasta el momento el municipio no cuenta con un Plan de Ordenamiento Ecológico Territorial, que regule los usos de suelo, asimismo no se tiene ningún Informe ambiental, donde se identifiquen las problemáticas ambientales que se desarrollan de forma específica, lo que ha generado que la falta de atención agudice las problemáticas y las afectaciones al ambiente sean cada vez mayores.

Uno de los principales problemas que ha generado la degradación ambiental son las actividades antropogénicas, que han provocado la pérdida de superficies forestales en el Nevado de Toluca, esto afecta directamente a la zona de estudio ya que el 60.22% del territorio de Zinacantepec forma parte de una ANP, donde la tala clandestina, las plagas forestales, la sobreexplotación de los recursos naturales, los incendios forestales y el desarrollo de actividades humanas en áreas no aptas (ya sea su asentamiento o desarrollo agrícola), han causado la deforestación de superficies arbóreas y el deterioro de los recursos naturales, fragmentando los bosques.

Generando que la fauna del sitio se vea obligada a desplazarse de su hábitat, para el desarrollo y ampliación de población, destruyendo, talando y quemando los bosques para su ocupación. Generando problemas de erosión por la tala clandestina y en zonas donde se han desarrollado actividades agrícolas en pendientes de más de 15 grados hace que sean mayormente susceptibles a erosión ya que al remover la vegetación natural, los suelos quedan al descubierto y en épocas de lluvias al no haber vegetación que impida la escorrentía y facilite la infiltración de agua se llegan a formar cárcavas provocado problemas de erosión hídrica, generando pérdida del suelo fértil, por escurrimientos del agua.

Además, se afecta directamente a la recarga de mantos acuíferos y genera problemas de falta de agua en diversas localidades. En los últimos años los problemas de inundación se han ido atenuando, ya que las infraestructuras son deficientes y el mantenimiento es escaso, a ello se le suma que estos asentamientos irregulares no tienen un sistema de drenaje, y arrojan su basura a ríos, contribuyen directamente a la generación de



problemas de contaminación al agua.

Por otro lado, la contaminación de basura en baldíos, bosques, milpas es otra de las vertientes que necesita ser atendida, ya que el sistema de recolección es deficiente, y en algunas zonas rurales no hay, y a eso se suma la falta de conciencia ambiental de las personas, las cuales optan por tirar la basura o quemarla al aire libre, afectando la calidad de aire.

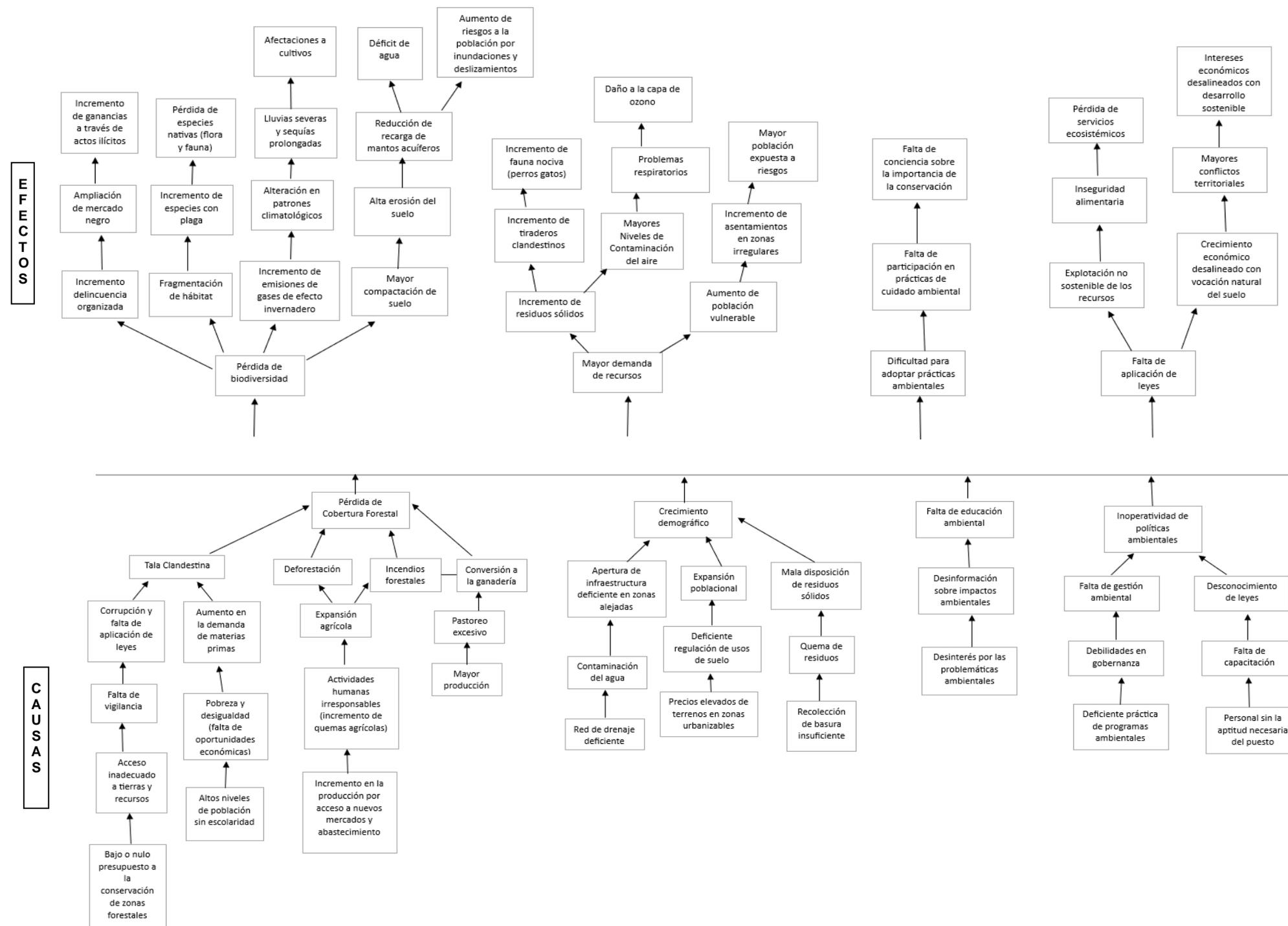
Estas son algunas problemáticas que se enumeraron de manera resumida, y que presentan un análisis de cómo se encuentra el municipio debido a las presiones antrópicas, sin embargo, existen más conflictos, donde una de las principales razones apunta a una falta de regulación de usos de suelos y seguimiento a políticas públicas.

Es claro que no se puede abordar una solución eficaz sin un conocimiento detallado del problema, por ello, es necesario identificar y expresar claramente el problema principal en este caso el de “degradación ambiental”.

4.1.4 Árbol de problemas

A continuación, se enlistan las problemáticas desglosadas a través de un esquema de árbol de problemas que identifica las causas de origen, los efectos y/o consecuencias que desencadenan la “Degradación Ambiental” (Figura 13).

Figura 13. Árbol de Efectos y Causas de la Degradación Ambiental en Zinacantepec



Fuente: Elaboración propia



4.2 Evaluación de Degradación Ambiental

El enfoque de la degradación geocológica trae consigo la conjunción de dos ciencias como la geografía y la ecología, reconociendo la importancia que tiene un análisis a mayor dimensión como lo es la degradación ambiental y acorde a los objetivos se optó por el enfoque de la degradación geocológica, reconociendo la importancia en la visión de la degradación ambiental.

Para esta investigación se estimó el nivel de degradación en base a la metodología de Mateo y Ortiz, (2001) y Canchola (2017) a partir de un axioma matemático que incluye variables abióticas, bióticas, antrópicas y morfodinámicas, a cada mapa se le asignó valores entre 1 y 4, como se explicó en el apartado metodológico obteniéndose la Tabla 37 de niveles de degradación ambiental.

Tabla 37. Nivel de Degradación Ambiental

Unidad de Paisaje	Superficie	Porcentaje	Puntuación	Nivel de Degradación
UP-1	7.96	2.57	2.68	Principios de degradación media
UP-2	33.25	10.72	2.63	Principios de degradación media
UP-3	18.10	5.84	2.95	Principios de degradación media
UP-4	18.28	5.89	3.28	Degradación media creciente a alta
UP-5	20.50	6.61	2.98	Principios de degradación media
UP-6	10.42	3.36	3	Degradación media
UP-7	11.61	3.74	2.61	Principios de degradación media
UP-8	10.25	3.31	3.2	Degradación media creciente a alta
UP-9	10.24	3.30	3.23	Degradación media creciente a alta
UP-10	6.13	1.98	3.05	Degradación media



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

				creciente a alta
UP-11	5.70	1.84	3	Degradación media
UP-12	10.40	3.35	3.03	Degradación media creciente a alta
UP-13	12.00	3.87	2.48	Degradación baja creciente a media
UP-14	19.98	6.44	2.97	Principios de degradación media
UP-15	47.57	15.34	2.96	Principios de degradación media
UP-16	21.87	7.05	3.71	Principios de degradación alta
UP-17	23.89	7.70	3.67	Principios de degradación alta
UP-18	22.02	7.10	2.67	Principios de degradación media

Fuente: Elaboración propia.

Los valores se especializaron y como resultados se obtuvo el Mapa 21 que muestra los niveles de degradación ambiental y subniveles de degradación por cada unidad de paisaje.

Unidad del Paisaje UP-1

La degradación ambiental es una problemática compleja que se manifiesta de diversas maneras en los paisajes naturales y su intensidad puede variar según una serie de factores interrelacionados. En el caso específico de la unidad de paisaje 1, ubicada al norte del municipio de Zinacantepec, presenta principios de degradación media que puede ser atribuida a varios elementos que interactúan entre sí.

En primer lugar, las pendientes pronunciadas de 16°-35° en las elevaciones superiores de la unidad de paisaje contribuyen significativamente a la degradación del suelo. Estas pendientes facilitan el arrastre del suelo por erosión, especialmente cuando el área sólo está cubierta por vegetación secundaria o pastizal inducido, ya que estas formas de vegetación no retienen el suelo con la misma eficacia que lo haría una vegetación original y densa, lo que aumenta la vulnerabilidad del terreno a la pérdida de capa superficial, viéndose afectado el 10% del territorio aproximadamente por procesos erosivos-



dinámicos presentando valores de energía del relieve que varía entre 50 y 300 metros, alcanzando sus valores más altos en la cima del Cerro el Molcajete, características cruciales, ya que se presenta un proceso ligeramente diseccionado.

El uso del suelo es otro factor determinante que influye en que se muestren principios de degradación media, esta área es resultado de una combinación entre áreas agrícolas, asentamientos humanos, así como bosque de pino y cedro, donde por prácticas agrícolas o descuido, cada año hay incendios en terrenos agrícolas o zonas alomadas, en la Imagen # se aprecia como de 2009 a 2011 se perdió superficies arbóreas, teniendo como causa directa incendios en la zona y a partir de 2015 a la fecha han iniciado reforestaciones que han contribuido a la recuperación de vegetación arbórea de la unidad de paisaje.

Además, esta unidad en las últimas décadas ha ido poblándose por conjuntos urbanos como La Loma I y II, Santa Martha e IDÍLICA Serratón, zonas que anteriormente eran destinadas para la agricultura, ahora ocupan espacios con infraestructura urbana y que demandan un mayor número de recursos y servicio no sólo ambientales, sino públicos.

Aunque la degradación no es severa, los factores identificados requieren atención para prevenir un empeoramiento y para gestionar el paisaje de manera sostenible. La implementación de prácticas de manejo adecuadas y la conservación de los recursos naturales son esenciales para mitigar los efectos negativos y preservar la integridad del paisaje a largo plazo.

Unidad del Paisaje UP-2

En esta unidad influyen en gran medida factores antropogénicos, que alteran la estabilidad del entorno natural, el 90% del área se caracteriza por ser zona de planicie, lo cual reduce significativamente el riesgo de erosión superficial. No obstante, las zonas más elevadas, específicamente en las laderas del Cerro San Lorenzo Cuauhtenco, presentan pendientes de hasta 16°. En estas zonas se potencian los procesos de erosión, particularmente en las áreas donde ocurren procesos fluviales que facilitan el transporte de sedimentos.

Un factor que condiciona esta unidad es la urbanización, el 70% está constituida por asentamientos humanos, al pasar de los años dicha expansión ha transformado radicalmente el territorio, entre ellas la impermeabilización de las calles, edificios y otras infraestructuras urbanas, reduciendo cada vez más aquellas áreas verdes que sirven de



amortiguamiento para mantener cierto equilibrio entre lo urbano y natural.

El suelo dominante es el feozem háplico, abarca el 80% de la unidad, es un suelo fértil y adecuado para la agricultura, presenta buenas características para el cultivo, lo que ayuda a mitigar la degradación en algunas áreas. Sin embargo, también se desarrollan suelos tipo vertisol pélico, estos son más susceptibles a la degradación, ya que tienden a agrietarse y compactarse con facilidad, lo que los hace vulnerables a la erosión, especialmente en condiciones de uso intensivo. Esta combinación de suelos fértiles y vulnerables sugiere una dualidad en el comportamiento del paisaje, donde algunas áreas pueden resistir la degradación, mientras que otras son altamente susceptibles.

Sobre esta unidad yace el Cerro San Lorenzo Cuauhtenco, en este se llevan a cabo procesos erosivos-dinámicos y aunque no afecta a la mayor parte del territorio, su presencia tiene un impacto significativo, pues sus laderas son áreas de transporte activas, donde los procesos fluviales y de erosión afectan la estabilidad del suelo, incrementando su susceptibilidad a la degradación y a ello se suma que en los últimos años se han ido poblando ciertas áreas al este del Cerro y en combinación con pendientes entre 8° y 16°, los suelos vulnerables y representan focos de degradación dentro de la unidad de paisaje. En conjunto, estos factores justifican la clasificación de esta unidad como una zona con principios de degradación media. Aunque la mayor parte del territorio se encuentra en planicies estables y con suelos fértiles, la expansión urbana, las prácticas agrícolas intensivas y los procesos erosivos en las áreas de mayor altitud generan condiciones propicias para la degradación del suelo a mediano plazo. La implementación de prácticas de manejo sostenible es esencial para mitigar estos efectos y preservar el equilibrio ecológico del paisaje.

Unidad del Paisaje UP-3

La unidad de paisaje se ubica al noreste del municipio de estudio, presenta diversas características geológicas y de uso del suelo que influyen en la presencia de principios de degradación media. La combinación de pendientes pronunciadas, suelos vulnerables, la práctica intensiva de agricultura de temporal y la expansión de asentamientos humanos generan un escenario propenso a la degradación del entorno, aunque en una fase aún moderada. Estos factores actúan de manera conjunta, acelerando procesos erosivos y deterioro del suelo, que requieren atención para evitar un avance más severo en el futuro. Uno de los elementos clave que contribuyen a los principios de degradación media en



esta área es la composición topográfica del terreno. La unidad se extiende sobre un piedemonte formado por materiales de brecha y domos volcánicos de andesita-dacita. Las pendientes varían significativamente, alcanzando entre 16° y 35° en las zonas más elevadas, lo que genera áreas de transporte en las laderas y propicia procesos erosivos-dinámicos. En las pendientes más pronunciadas, los suelos son más susceptibles a la erosión, especialmente donde existe ausencia de cubierta vegetal densa, por lo que la inclinación del terreno facilita el arrastre de suelo durante lluvias intensas, acelerando la pérdida de material fértil en estas zonas.

A esto se suma el uso intensivo de los suelos para la agricultura de temporal anual, que abarca aproximadamente el 80% del territorio. Este tipo de agricultura, que depende de las lluvias para el riego, puede agotar los nutrientes del suelo y, si no se aplican prácticas de conservación adecuadas, como la rotación de cultivos o la construcción de terrazas, aumenta el riesgo de degradación. La erosión acelerada por la actividad agrícola, en combinación con el régimen de lluvias y las pendientes pronunciadas, afecta la calidad y estabilidad del terreno, promoviendo la degradación gradual del paisaje. En particular, los suelos de tipo feozem háplico, son predominantes en el área, estos son fértiles, pero también susceptibles a la pérdida de nutrientes si se someten a un uso intensivo sin estrategias de manejo sostenible.

La presencia de asentamientos humanos, aunque se limita al 10% de la superficie, también tiene un impacto considerable en la degradación del paisaje. Localidades como Recibitas (El Remolino) y Colonia Morelos han experimentado un crecimiento en áreas donde anteriormente predominaba la agricultura o la vegetación natural. La urbanización modifica el ciclo hidrológico, al incrementar la escorrentía superficial debido a la impermeabilización del suelo, lo que facilita la erosión en las zonas circundantes y altera los patrones de drenaje. Además, el desarrollo urbano reduce la capacidad del suelo para absorber el agua de lluvia, lo que puede incrementar los riesgos de inundación y pérdida de suelos fértiles en las áreas agrícolas.

El tipo de suelo y vegetación de la zona también juega un rol crucial en los procesos de degradación. Aunque los suelos feozem háplico y andosoles húmico y ócrico son generalmente fértiles y capaces de sustentar actividad agrícola, su sobreexplotación reduce su capacidad productiva y los hace más propensos a la erosión. En las áreas no urbanizadas o agrícolas, la vegetación predominante es el bosque de pino y oyamel, que



cubre una pequeña proporción del terreno. Este tipo de vegetación contribuye a la estabilidad del suelo en las zonas más elevadas, pero su escasa presencia en gran parte del territorio no es suficiente para contrarrestar los efectos erosivos en las laderas o áreas de transporte.

Por último, los procesos erosivos-dinámicos y transitorios que se observan en las áreas con pendientes más pronunciadas afectan a menos de la mitad del territorio, pero tienen un impacto significativo. Las zonas de depósito, aunque menos afectadas, no son inmunes a los efectos de la erosión si no se implementan medidas de manejo adecuadas. A medida que los suelos pierden su capacidad productiva y se ven afectados por la acción del agua y el viento, las áreas de mayor pendiente continúan degradándose, afectando tanto la actividad agrícola como la estabilidad ecológica de la región.

Unidad del Paisaje UP-4

La degradación del suelo en esta unidad de paisaje, caracterizada por piedemontes y laderas volcánicas con altitudes entre los 2900 y 3400 msnm, está influenciada por una serie de factores que contribuyen a una degradación media en proceso de intensificación. Las pendientes en esta unidad varían considerablemente, desde 2°-8° en las zonas de piedemonte hasta pendientes más pronunciadas de 8°-35° en áreas escarpadas. Este rango de inclinación, especialmente en las laderas más abruptas, facilita el proceso de erosión, particularmente durante eventos de lluvia intensa. Las pendientes pronunciadas tienden a favorecer la escorrentía superficial, lo que acelera la pérdida de suelo y aumenta la vulnerabilidad del terreno a procesos erosivos.

La unidad presenta una alta densidad de disección (3.5-4.7 km/km² en más de la mitad de la superficie), lo que indica un terreno intensamente afectado por la acción de las corrientes de agua. Este hecho, junto con una energía del relieve predominante de 100-200 metros que es fuertemente diseccionado, sugiere un terreno altamente dinámico, la combinación de estas características morfométricas con el alta pendiente en algunas áreas refuerza la susceptibilidad de la unidad a la degradación.

Los suelos predominantes, como el feozem háplico (80%) y los andosoles húmico y ócrico, son suelos que, aunque fértiles, pueden ser susceptibles a la erosión si no se manejan adecuadamente. El hecho de que más de la mitad de la superficie de la unidad esté destinada a actividades agrícolas incrementa la presión sobre el suelo. En esta zona se desarrollan principalmente los cultivos de papa, los cuales tienden a ser cultivos



intensivos y que mayormente degradan el suelo, ya que antes, durante y después de su cultivo y cosecha los suelos pasan por un proceso de arado profundo y frecuente que rompe la estructura del suelo, lo que lo deja expuesto a la erosión tanto por el viento como por el agua, reduciéndose la materia orgánica y disminuyendo la biodiversidad del suelo. Debido a que la papa se cultiva en surcos, las filas expuestas de suelo entre las plantas facilitan la pérdida de tierra por erosión, especialmente en terrenos con pendientes o en zonas con lluvias intensas. Además, el uso de maquinaria agrícola durante la preparación del terreno y la cosecha compacta el suelo, dificultando la infiltración de agua y aire. Esto afecta negativamente la estructura del suelo, reduce su capacidad para almacenar agua y facilita la erosión y no solo eso sino a ello se suma que el cultivo de papa requiere grandes cantidades de fertilizantes para mantener altos rendimientos, esto provoca la acumulación de sales y otros productos químicos en el suelo, afectando su equilibrio y promoviendo la contaminación de cuerpos de agua cercanos como lo es el río Tejalpa. Además, el uso intensivo de pesticidas y herbicidas en los cultivos de papa daña la microfauna y microflora del suelo, reduciendo la actividad biológica que es clave para mantener la salud del suelo. Por ello es necesario que se utilicen prácticas agrícolas sostenibles.

La presencia de asentamientos humanos, aunque aislados, como la localidad de Ojo de Agua, incrementa la erosión del suelo en áreas aledañas, ya que al abrir espacios agrícolas o urbanos se reduce la cobertura vegetal que protege el suelo de la erosión, dejando el terreno más expuesto a la acción del viento y la lluvia.

Unidad del Paisaje UP-5

Esta unidad presenta principios de degradación media, se encuentra situada al sureste del área de estudio, caracterizada por laderas volcánicas y altitudes que oscilan entre los 3100 y los 4400 msnm, una de las principales características son sus pendientes pronunciadas, que oscilan entre 8° y 16° en la mayor parte del territorio (90%), presenta áreas escarpadas que alcanzan valores entre 16° y 35°, e incluso pendientes extremas de hasta 58° en el domo volcánico del Nevado de Toluca. Estas pendientes elevadas favorecen los procesos de erosión, ya que el agua de lluvia tiende a fluir rápidamente por las laderas, arrastrando consigo el suelo y dejando expuestas las áreas a procesos erosivos acelerados en zonas donde la vegetación es nula, en las zonas con pendientes más suaves, la erosión es menos intensa.



El relieve es altamente diseccionado especialmente en aquellas zonas cercanas al domo volcánico, experimentándose una mayor erosión debido a la fuerza con la que el agua se desplaza por el terreno inclinado, presentando una densidad de disección que varía entre 1.5 y 4.7 km/km² y energía del relieve que oscila entre 100 y 400 metros. Los suelos predominantes son andosoles húmicos (85%), junto con pequeñas áreas de feozem háplico y regosol eútrico. Los andosoles, a pesar de ser fértiles, son sueltos y porosos, lo que los hace particularmente vulnerables a los procesos erosivos cuando están expuestos. La combinación de suelos volcánicos con la inclinación del terreno crea una situación en la que la erosión es más probable y puede acelerarse si no se toman medidas de conservación. Además, la reducción de cobertura vegetal en ciertas áreas y la presencia de pastizal inducido o las zonas desprovistas de vegetación, contribuye a que el suelo quede expuesto a la acción de agente erosivos.

A pesar de que el 80% del territorio está cubierto por bosques de pino, que ayudan a estabilizar el suelo y reducir la erosión, existen áreas de vegetación secundaria arbustiva y praderas de alta montaña (5%) que presentan menor capacidad de protección. La presencia de agricultura de temporal (5%) y pastizales inducidos también contribuye a la degradación del suelo, especialmente en las zonas donde se ha removido la vegetación original para facilitar el uso agrícola. Estas áreas intervenidas tienden a experimentar una mayor erosión, particularmente en las pendientes más pronunciadas, donde la acción del agua es más intensa.

Unidad del Paisaje UP-6

Esta unidad de paisaje presenta pendientes pronunciadas, con inclinaciones que oscilan entre 16° y 35° en más de la mitad del territorio y de 8° a 16° en el resto de la superficie. La combinación de pendientes pronunciadas y la presencia de valles fluviales verticales que disectan el paisaje acentúa los procesos de degradación, debido a la intensificación de los flujos de agua en áreas con un relieve abrupto. La energía del relieve varía entre 200 y 400 metros, con la mayor parte del territorio presentando valores entre 200 y 300 metros (70%) y el resto entre 300 y 400 metros (30%), especialmente en la zona del cráter y domo volcánico. Esta alta energía del relieve, asociada con un terreno escarpado y accidentado, facilita la erosión y vulnerabilidad a procesos de remoción en masa. A esto se suma la densidad de disección que, aunque es relativamente moderada (1.5-2.5 km/km²), indica un modelado constantemente del paisaje. Estas características



geomorfológicas refuerzan la susceptibilidad del suelo a los procesos erosivos, generando condiciones propicias para la degradación media.

El suelo predominante es andosol húmico, un suelo de origen volcánico que es susceptible a la erosión, si no se cuenta con coberturas vegetales definidas. El 85% del territorio está cubierto por bosques de pino de forma fragmentada y en las zonas más altas, la cobertura vegetal es más dispersa, lo que disminuye su capacidad para proteger el suelo de la erosión.

En las últimas décadas, en esta zona se han presentado diversas problemáticas que han causado la reducción de la cobertura boscosa, entre ellas incendios forestales, tala clandestina y plagas forestales, factores que propician a una degradación media.

Aproximadamente el 20% de esta unidad de paisaje está afectada por procesos fluviales de tipo erosivos-dinámicos, estos procesos son especialmente activos en las zonas de mayor pendiente y en las cercanías del cráter, donde la combinación de alta energía del relieve y pendientes pronunciadas aumenta la capacidad de arrastre de los sedimentos. Esta dinámica de erosión no solo afecta la fertilidad del suelo, sino que también reduce la estabilidad estructural de las laderas, lo que incrementa el riesgo de deslizamientos de tierra y otros fenómenos de remoción en masa, que en combinación con factores climáticos y geomorfológicos hace que esta degradación se mantenga en un nivel medio, con tendencia a incrementarse si no se implementan medidas de conservación.

Unidad del Paisaje UP-7

Esta área presenta zonas de ladera y zonas ligeramente planas con pendientes entre 2°- 8° y en zonas más pronunciadas de 8°- 35°. Estas últimas representan uno de muchos factores que contribuyen a la degradación del suelo, ya que la escorrentía superficial, provocada por lluvias intensas, tiende a ser mayor en terrenos inclinados y la rápida escorrentía promueve la erosión del suelo, especialmente en áreas donde la vegetación es poca o nula

La energía del relieve alcanza entre 100 y 300 metros, condición que lo hace ser más dinámico y vulnerable a procesos erosivos. El suelo al igual que en la anterior unidad es andosol húmico, su naturaleza porosa y suelto lo hace más susceptible a la erosión cuando no hay presencia de vegetación cuando se expone a condiciones de escorrentía y movimientos de suelo. La vulnerabilidad del andosol a la erosión es mayor en zonas de mayor pendiente, donde la escorrentía puede arrastrar fácilmente las capas superficiales



de suelo.

La cobertura vegetal está dominada por bosques de pino y oyamel, que cubren aproximadamente el 70% del área. Estas formaciones forestales actúan como una barrera natural contra la erosión, protegiendo el suelo de la acción del viento y la lluvia. Sin embargo, la presencia de vegetación secundaria arbustiva de pino (25%) y pastizales inducidos (5%) reduce la capacidad de protección en algunas áreas. Estas coberturas secundarias son menos eficaces para prevenir la erosión del suelo, especialmente en las pendientes más inclinadas. Además, la expansión de pastizales inducidos y áreas desprovistas de vegetación puede exponer el suelo a procesos de erosión más agresivos, ya que las raíces superficiales no brindan la misma estabilidad que los bosques maduros.

Unidad del Paisaje UP-8

En la mayor parte de la superficie esta unidad alcanza pendientes que varían desde los 8° a 35° y alcanza hasta 58° en áreas escarpadas como el Cerro Gordo (El Gachupín). Estas pendientes pronunciadas son propensas a una escorrentía rápida y directa. El suelo dominante en esta unidad es el andosol húmico (95%) el cual, en áreas de pendientes altas, son susceptibles a la erosión, también hay suelos de tipo litosol (5%) en las áreas más escarpadas del Cerro Gordo, son suelos poco desarrollados, que ofrecen aún menos protección contra la erosión.

La cobertura vegetal, está conformada por bosques de pino (40%) y oyamel (10%), junto con vegetación secundaria arbustiva de pino (40%) y pastizal inducido (10%), estas últimas son menos efectiva para proteger el suelo, dejando amplias áreas expuestas a la erosión.

Por lo que la combinación de pendientes pronunciadas, alta densidad de disección, suelos vulnerables y cobertura vegetal limitada crea un entorno propenso a una intensificación de la degradación del suelo en esta unidad de paisaje. Aunque actualmente se considera que la degradación es de nivel medio, las características dinámicas del relieve y la erosión acelerada sugieren que, sin medidas adecuadas de manejo y conservación del suelo, la degradación podría evolucionar hacia niveles más altos.

Unidad del Paisaje UP-9

El terreno está conformado por laderas de brecha volcánica y un domo volcánico de andesita-dacita, con pendientes de bajas a moderadas, estas últimas favorecen una escorrentía superficial. El orden de drenaje es de nivel 1 y 2, estos tipos tienen



características erosivas, presentando una la densidad de disección de 1.5-2.5 km/km², combinada con una energía del relieve que alcanza entre 100 y 200 metros, lo que sugiere un relieve activo y dinámico, donde la acción de las aguas superficiales juega un rol crucial en la degradación del paisaje. Este modelado constante del terreno, a través de la acción del agua, promueve una pérdida gradual de suelo fértil, exacerbando la vulnerabilidad de la zona.

Se desarrollan suelo andosol húmico, los cuales son fértiles, pero sensibles a la erosión, especialmente en áreas con poca cobertura vegetal. Aunque gran parte de la zona está cubierta por bosques de pino y vegetación secundaria arbustiva, estas coberturas pueden no ser suficientes para proteger de manera efectiva el suelo en las áreas más erosionadas. Además, la presencia de pastizales inducidos (5%) y la agricultura de temporal anual (5%) contribuyen a la degradación del suelo, ya que las prácticas agrícolas convencionales suelen remover la cobertura vegetal y aumentar la vulnerabilidad del terreno a la erosión.

La acción erosiva de las pendientes, combinada con los procesos fluviales y la presencia de suelos vulnerables como el andosol húmico, crea un entorno propenso a la pérdida continua de suelo. Si no se implementan medidas de manejo adecuado, esta degradación puede intensificarse, afectando tanto la productividad agrícola como la estabilidad ecológica de la región.

Unidad del Paisaje UP-10

Aunque la degradación es aún media, los factores presentes sugieren una tendencia creciente hacia un nivel alto de deterioro si no se implementan medidas de conservación. Las pendientes dominantes, van de 8° a 35°, presentan una densidad de disección de 2.5-3.5 km/km² en más de la mitad del área, junto con los rangos de energía del relieve que oscilan entre 100 y 300 metros, indica que la erosión fluvial es un proceso activo en la zona. Las laderas pronunciadas y los valles fluviales acumulativos concentran el flujo de agua, lo que incrementa la erosión y agrava la degradación del suelo. La constante movilidad de sedimentos altera el paisaje, reduciendo la estabilidad del terreno y afectando tanto la vegetación natural como las áreas agrícolas.

Aunque una parte significativa del área está cubierta por bosques de oyamel-pino (40%) y bosque de pino (20%), que ayudan a estabilizar el suelo, la existencia de áreas de agricultura de temporal anual (15%) aumenta la presión sobre el terreno, ya que las



prácticas agrícolas intensivas, combinadas con las pendientes pronunciadas, suelen acelerar la pérdida de suelo, especialmente si no se aplican técnicas de conservación adecuadas como la rotación de cultivos y el uso de barreras naturales.

Por otro lado, las áreas cubiertas por vegetación secundaria arbustiva de pino y pastizales inducidos, aunque proporcionan cierta protección, no son suficientes para frenar los procesos erosivos, ya que estas coberturas suelen ser más susceptibles a la degradación en comparación con los bosques naturales. La pérdida de vegetación nativa, como los bosques de pino y oyamel, aumenta la exposición del suelo y agrava la erosión.

Los procesos fluviales son de tipo erosivos-dinámicos, estos afectan menos de una cuarta parte del territorio, sin embargo, su impacto es significativo en las áreas donde predominan las pendientes más pronunciadas y la escasa cobertura vegetal. Estos procesos tienden a concentrarse en las áreas más vulnerables, donde el flujo de agua y la erosión crean surcos y canales, intensificando la degradación del suelo. Las zonas de depósito, que abarcan el 60% de la superficie, también son propensas a la erosión debido a la constante acumulación y remoción de sedimentos, lo que disminuye la calidad del suelo y su capacidad de regeneración.

Unidad del Paisaje UP-11

En conjunto, las características geográficas, climáticas y ecológicas de esta unidad de paisaje, combinadas con el uso intensivo del suelo para actividades agrícolas y la expansión de asentamientos humanos, crean un entorno propenso a una degradación geocológica media. Debido a que los factores naturales y humanos interactúan para mantener cierta estabilidad, la vulnerabilidad del terreno y el uso intensivo del suelo generan un escenario propenso a la degradación progresiva.

La inclinación suave del terreno, con pendientes que oscilan entre 2° y 8° en el 80% de la superficie, sugiere que la escorrentía superficial es relativamente baja. Sin embargo, incluso en terrenos menos inclinados, la erosión puede tener lugar si el manejo del suelo no es adecuado. Las prácticas agrícolas, especialmente en áreas con cultivos de temporal, contribuyen a una degradación paulatina debido a la pérdida de nutrientes y la compactación del suelo. En esta área la siembra de papa es constante, junto con productos como el maíz, haba y avena, sin embargo, el de los más degradantes es la papa.

Los órdenes de drenaje son de nivel 1 y 2 estos son de tipo erosivos, cubren menos de la



cuarta parte de la superficie, la densidad de disección es baja, entre 0-0.8 km/km² en el 50% de la unidad, lo que sugiere que la erosión fluvial es limitada. No obstante, esta falta de un sistema de drenaje eficiente también puede provocar saturación del suelo, lo que contribuye a procesos erosivos más lentos pero constantes, exacerbando la vulnerabilidad del terreno.

Los valores de energía del relieve entre 100 y 200 metros indican una dinámica moderada en la forma del terreno. Estas variaciones topográficas, aunque no sean extremas, pueden favorecer la formación de microcuencas que concentran el flujo de agua en ciertos puntos. A lo largo del tiempo, estas áreas pueden ser más susceptibles a la erosión y al desplazamiento de sedimentos, presentándose en áreas con mayor pendiente procesos de remoción en masa, por la saturación de agua.

La moderada energía del relieve, junto con las características fluviales erosivas-dinámicas presentes en el 20% de la unidad, refuerza el riesgo de una degradación paulatina del suelo, especialmente en zonas agrícolas y de pastizales inducidos. El uso intensivo del suelo está destinado para agricultura de temporal anual en el 40% de la superficie, junto con la agricultura de riego en un 10%, ejerce una fuerte presión sobre los suelos. Las prácticas agrícolas, pueden aumentar la compactación y la pérdida de nutrientes esenciales. Aunque el 30% de la zona está cubierto por bosques de pino y un 10% por bosques de oyamel-pino, que ayudan a mitigar la erosión, la tendencia hacia una expansión agrícola y la conversión de bosques en áreas de cultivo pone en riesgo la estabilidad ecológica de la región.

La presencia de asentamientos humanos, como la localidad de La Peñuela, aunque cubre solo el 3% de la superficie, tiene un impacto significativo en la dinámica de la degradación geoecológica. Esto puede agravar los procesos de erosión, especialmente en las áreas aledañas donde se realizan actividades agrícolas o donde los bosques han sido talados. La expansión de asentamientos humanos, combinada con la agricultura intensiva, puede acelerar la degradación del suelo si no se toman medidas para gestionar el uso del terreno de manera sostenible.

Unidad del Paisaje UP-12

Conformada por laderas volcánicas y un domo volcánico de andesita-dacita, presenta un conjunto de características geográficas y antropogénicas que la sitúan en un estado de degradación geoecológica media, con una tendencia creciente hacia alta degradación.



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

Las interacciones entre las variables del terreno, el clima, los procesos erosivos y las actividades humanas son clave para entender esta evolución hacia una mayor vulnerabilidad ambiental.

Las pendientes pronunciadas, que van de 8° a 35° en casi el 80% del territorio, favorecen la escorrentía superficial y la erosión del suelo. Las pendientes más pronunciadas incrementan la velocidad del agua que fluye sobre el terreno, lo que provoca una mayor remoción de partículas del suelo, particularmente en áreas con coberturas vegetales eliminadas por la actividad agrícola. Estas condiciones aceleran el proceso de erosión, afectando tanto la estabilidad de los suelos como la capacidad de estos para retener agua y nutrientes, factores críticos para la salud de los ecosistemas locales y la productividad agrícola.

El sistema de drenaje, con una densidad de 2.5-3.5 km/km², al combinarse con la energía del relieve de 100-200 metros, que domina en el 70% del territorio, y de 200-300 metros en el resto, se crean condiciones propicias para una erosión intensificada. La energía del relieve refleja la diferencia de altura entre las partes altas y bajas del terreno, lo que puede concentrar los flujos de agua en áreas específicas, generando erosión localizada y promoviendo la degradación del suelo. En zonas con mayor energía del relieve, los procesos de erosión tienden a ser más severos, lo que contribuye a la pérdida de suelo y a la inestabilidad del terreno.

Aproximadamente casi el 60% de la superficie esté destinada a la agricultura de temporal anual lo que representa un factor de presión significativa sobre estos suelos. Esto no solo afecta la productividad a corto plazo, sino que a largo plazo puede conducir a una degradación severa, especialmente en combinación con los efectos erosivos de las pendientes pronunciadas.

A pesar de la presencia de coberturas boscosas de oyamel y pino, estas solo ocupan una parte del territorio, mientras que la vegetación secundaria arbustiva y los asentamientos humanos, como las localidades de Raíces y Cuz Colorada, ocupan el resto. La expansión de los asentamientos humanos y la conversión de áreas forestales en tierras agrícolas contribuyen a la degradación del suelo y a la pérdida de biodiversidad. La vegetación secundaria y los pastizales inducidos no ofrecen la misma protección contra la erosión que los bosques originales, lo que aumenta la vulnerabilidad del suelo a la escorrentía superficial. Además, la expansión urbana y agrícola reduce la cobertura forestal que actúa



como un amortiguador natural contra la erosión y la pérdida de suelos.

Esta zona se caracteriza principalmente por ser un área de depósito, que cubre el 60% del territorio, lo que sugiere que gran parte del suelo erosionado es transportado y depositado en áreas más bajas. No obstante, el restante 40% del territorio está sujeto a procesos de transporte de materiales, lo que indica que en estas áreas los suelos están siendo continuamente removidos y transportados, agravando la degradación del terreno. Los procesos fluviales erosivos-dinámicos presentes en el 40% de la unidad también intensifican la pérdida de suelo y contribuyen al agotamiento de las capas superficiales fértiles, especialmente en áreas agrícolas y zonas sin coberturas vegetales adecuadas.

Unidad del Paisaje UP-13

Esta unidad forma parte de la estructura de un domo volcánico, denominado el Cerro La Calera, presenta una serie de condiciones geográficas y ecológicas que generan una degradación geoecológica baja con tendencia creciente a media. Las pendientes pronunciadas, el sistema de drenaje, la energía del relieve y las condiciones naturales interactúan de manera compleja, influyendo en el estado actual y potencial de la degradación. Las pendientes dominantes varían entre 16° y 35°, cubren el 80% del territorio. Estas pendientes, aunque no tan extremas, favorecen procesos de erosión, en un contexto donde la cobertura vegetal natural, como los bosques de oyamel y pino, es aún significativa, la erosión se ve controlada por las raíces de los árboles, que estabilizan el suelo. Sin embargo, la inclinación del terreno incrementa el riesgo de erosión si la cobertura vegetal se pierde o si hay disturbios en el uso del suelo, como la expansión de zonas agrícolas o la degradación de los bosques, siendo este riesgo latente de erosión moderada es uno de los factores que puede llevar a un aumento gradual en la degradación geoecológica.

La energía del relieve de 300-400 metros en la mitad del territorio indica que hay una significativa diferencia de altura entre las áreas más elevadas y las más bajas, lo que potencia el transporte de materiales sueltos, especialmente en áreas con pendientes más pronunciadas. Esta energía del relieve actúa como un motor natural para la remoción de suelo y su posterior transporte, lo que podría generar una mayor susceptibilidad a procesos erosivos si el equilibrio ecológico de la zona se altera.

Los suelos son andosoles húmicos los cuales favorecen el desarrollo de bosques de oyamel, los cuales cubren el 75% del área, complementados por bosques de pino y



vegetación secundaria arbustiva de pino y oyamel. La amplia cobertura forestal actúa como una barrera natural contra la erosión, al proteger el suelo de la exposición directa al agua de lluvia. No obstante, la existencia de áreas dispersas de pastizales inducidos y la presencia de vegetación secundaria indican que el territorio ha experimentado alteraciones en su cobertura original, lo que, de no manejarse adecuadamente, puede desencadenar una degradación más acelerada en el futuro.

Aunque la unidad presenta procesos fluviales de tipo erosivo-dinámico, estos solo afectan a menos de la cuarta parte del territorio. Esto indica que, por el momento, los procesos de erosión fluvial no son predominantes, pero están presentes en ciertas áreas, principalmente aquellas con mayor pendiente y menos cobertura vegetal. Los procesos erosivos pueden intensificarse si se pierde vegetación o si las actividades humanas, como la agricultura, se expanden sin tomar en cuenta prácticas de conservación del suelo. Además, el área es predominantemente de transporte (80%), lo que sugiere que los materiales sueltos del suelo son trasladados de las áreas más altas a las más bajas, lo que puede provocar el desgaste progresivo del suelo y afectar la estabilidad del terreno en el mediano plazo.

A pesar de que la influencia humana directa en esta unidad no es predominante, la expansión de pastizales inducidos y la vegetación secundaria reflejan intervenciones humanas que, aunque limitadas, pueden tener un impacto creciente en la degradación de la unidad del paisaje.

Unidad del Paisaje UP-14

El 80% del territorio se caracteriza por pendientes suaves, de entre 2° y 8°, lo que sugiere una baja susceptibilidad a la erosión por gravedad, ya que las laderas de baja inclinación no promueven una alta tasa de escorrentía superficial. Sin embargo, las pendientes más pronunciadas, de entre 8° y 35°, aunque cubren solo el 20% de la unidad, pueden actuar como focos de erosión localizada. En estas áreas más escarpadas, el riesgo de degradación del suelo es mayor, especialmente si se combinan con intervenciones humanas como la agricultura o la minería, donde la remoción del suelo puede exponerlo a procesos erosivos.

El orden de drenaje tiene niveles de 1 a 3 en diferentes partes del territorio, junto con una densidad de disección de 1.5-2.5 km/km², en áreas con mayor pendiente, la densidad puede ser más intensa, lo que a su vez incrementa los procesos de erosión fluvial. La



energía del relieve varía entre 50 y 200 metros, este es un indicador clave de la capacidad de movimiento de materiales. Con una energía del relieve de 50-100 metros en el 70% del área, la movilidad de sedimentos es relativamente baja en la mayor parte del territorio, no obstante, el 30% restante, donde la energía del relieve es mayor (100-200 metros), es más susceptible a movimientos gravitacionales y erosión, lo que incrementa los riesgos de degradación en ciertas zonas.

Los suelos predominantes, como el andosol húmico (80%), el feozem háplico (10%) y el andosol mólico (10%), son fértiles y, por lo tanto, atractivos para la agricultura. Esto explica que el 60% del área se dedique a la agricultura de temporal anual, una actividad que, si no se gestiona adecuadamente, puede contribuir a la degradación del suelo a través de la erosión y la pérdida de nutrientes. Las prácticas agrícolas intensivas, sin rotación de cultivos ni técnicas de conservación del suelo, pueden agotar la capa fértil y provocar una mayor susceptibilidad a la degradación. Adicionalmente, la presencia de asentamientos humanos y de áreas de explotación minera, aunque limitadas en extensión, también introduce un factor de presión en la estabilidad ecológica del territorio. En términos geomorfológicos, la mayor parte del territorio (90%) es un área de depósito, lo que significa que los sedimentos y materiales erosionados tienden a acumularse en lugar de ser transportados hacia otras áreas. Esto puede ser positivo para la conservación del suelo en zonas planas, pero en áreas con mayor pendiente o actividad humana, este equilibrio puede romperse, resultando en procesos de degradación más intensos. Además, el 10% de la unidad está dominado por procesos de transporte, lo que indica que hay áreas donde los materiales son movilizados activamente, lo que contribuye al desgaste del terreno y a la modificación del paisaje.

Los procesos fluviales de tipo erosivo-dinámico están presentes en el 30% del área, son un factor importante en la degradación geoecológica. Estos procesos se ven exacerbados por la intervención humana en la agricultura y la minería, ya que la remoción de la cobertura vegetal natural deja el suelo expuesto a la acción erosiva del agua. A medida que los sedimentos son arrastrados por los cursos de agua, se pierde la fertilidad del suelo y se acelera el proceso de degradación.

Unidad del Paisaje UP-15

Esta unidad del paisaje ocupa la mayor superficie dentro del área de estudio, presenta una serie de características geográficas interrelacionadas que conducen a la aparición de



principios de degradación geoecológica media. La combinación de factores como el relieve volcánico, las pendientes pronunciadas, la composición de los suelos, el uso del suelo y los procesos naturales gravitacionales y fluviales, juegan un papel fundamental en la dinámica de degradación del territorio.

La unidad está constituida en un 70% por laderas volcánicas de andesita-dacita, además de la presencia de nueve domos y dos conos volcánicos. Estas formaciones geomorfológicas configuran un paisaje accidentado y complejo, en el que las diferencias de altitud y pendiente generan zonas con distintos grados de susceptibilidad a la erosión. En las partes más bajas, los piedemontes de toba riolítica y brecha volcánica con valles fluviales verticales introducen áreas donde se acumulan sedimentos, lo que puede aumentar la estabilidad en esas zonas. Sin embargo, la combinación de áreas escarpadas y depósitos de sedimentos tiende a crear una inestabilidad, especialmente cuando hay intervenciones humanas.

Las pendientes varían significativamente dentro de la unidad. En las zonas más escarpadas, que cubren el 40% de la superficie las inclinaciones son de 16°-35°. Conforme las pendientes se suavizan hacia rangos de 4°-16° (60% de la unidad), el riesgo de erosión disminuye, pero aún persisten procesos de desgaste del suelo producto de las actividades humanas, como la agricultura desarrollada en la zona.

Los órdenes de drenaje de nivel 1 y 2, cubren el 70% de la unidad, junto con una densidad de disección de 1.5-2.5 km/km² y la energía del relieve, toma valores de 200-300 metros en el 60% de la superficie, lo que potencia la movilización de materiales desde las partes altas hacia las bajas, generando una constante redistribución de sedimentos en el paisaje.

Los suelos predominantes son de tipo andosol húmico (80%), andosol crómico (15%) y andosol mólico (5%). Estos tipos de suelo son fértiles y favorecen el desarrollo de la vegetación, pero también son susceptibles a la erosión si se exponen a intervenciones intensivas, como la agricultura. Las actividades humanas ocupan el 15% de la superficie, con agricultura de temporal anual y de riego, lo que introduce una presión considerable sobre el suelo, particularmente en áreas donde la cobertura vegetal ha sido reducida.

Los bosques de oyamel (60%) y pino (10%) actúan como un amortiguador natural frente a la erosión, al proteger el suelo y reducir la escorrentía superficial. Sin embargo, la presencia de vegetación secundaria (10%) y pastizales inducidos (5%) sugiere que parte



de la cobertura original ha sido alterada, lo que debilita la capacidad del ecosistema para mantener la estabilidad del suelo. La regeneración de estas áreas es más vulnerable a los procesos erosivos. Un aspecto clave en la degradación geocológica de esta unidad es la interacción entre los procesos gravitacionales y fluviales. El 40% del área se clasifica como una zona de transporte gravitacional, lo que significa que los materiales, especialmente los sedimentos, están en constante movimiento desde las zonas más altas hacia las más bajas. Este transporte de materiales contribuye a la pérdida de suelo en áreas más elevadas, aumentando los riesgos de degradación.

Además, el 50% de la unidad está influenciado por procesos fluviales de tipo erosivo-dinámico, lo que agrava la pérdida de suelo en áreas con mayor escorrentía superficial. Las zonas donde predominan los depósitos (50%) actúan como amortiguadores naturales, pero su capacidad para mantener la estabilidad puede verse comprometida si se produce una deforestación excesiva o si se incrementan las actividades agrícolas sin control.

Unidad del Paisaje UP-16

La composición del terreno, el uso del suelo, las dinámicas fluviales y los procesos gravitacionales son factores clave que, al converger, aumentan la vulnerabilidad de esta área y tienden a presentar principios de degradación alta. El área está constituida principalmente por piedemontes de toba riolítica (90%) y brecha volcánica, características que influyen significativamente en la estabilidad del terreno. La toba riolítica es un material piroclástico de origen volcánico que, aunque puede ser estable en condiciones normales, se vuelve susceptible a la erosión cuando se expone a procesos dinámicos como la escorrentía superficial y la intervención humana. Existe además la presencia de valles fluviales verticales, que agravan la situación de procesos de erosión en las laderas, este tipo de geoformas se encuentran caracterizadas por presentar una profunda incisión en el terreno, causada principalmente por la erosión vertical que realiza un río o un curso de agua a lo largo del tiempo.

Estos valles suelen tener pendientes pronunciadas o casi verticales en sus paredes y una base más estrecha, resultado de la acción erosiva constante del agua en una dirección vertical más que lateral, su desarrollo se da en áreas donde la erosión vertical del río o arroyo es dominante, a menudo en zonas con relieves pronunciados, como montañas o terrenos volcánicos, donde el flujo de agua tiene suficiente energía para cortar el terreno de manera rápida y profunda. Por lo que sus paredes suelen ser empinadas o abruptas,



formando barrancos o cañones que pueden ser difíciles de acceder.

Por lo que este tipo de valles fluviales verticales son el resultado de la erosión profunda y vertical de un curso de agua en terrenos con pendientes abruptas, generando paisajes de gran contraste entre las paredes del valle y el fondo estrecho.

Las pendientes dominantes son entre 4° y 16°, que cubren el 90% del área, y las más pronunciadas de 16° a 35° en las zonas escarpadas, presentando una inclinación suficiente para permitir la movilidad de materiales sueltos. Aunque estas pendientes no son excesivamente inclinadas, su extensión sobre gran parte del territorio y la naturaleza del suelo contribuyen a un aumento gradual en la degradación.

El drenaje natural de la zona es de nivel 1 y 2 cubriendo solo el 30% de la superficie y la densidad de disección es variada, con valores de entre 1.5 y 4.7 km/km², lo que sugiere que algunas áreas están más intensamente erosionadas que otras, aumentando la heterogeneidad del terreno y creando zonas críticas para la degradación.

Los suelos predominantes en la unidad son el andosol húmico (60%), el feozem háplico (30%) y el lúvico (10%), son fértiles, pero altamente vulnerables a la erosión, sobre esta unidad se desarrollan prácticas agrícolas de temporal anual, que ocupa el 60% del área y el 30% del área está destinada a asentamientos humanos, con localidades rurales y urbanas que han crecido en la zona. La urbanización y la expansión de estos asentamientos, no ha tenido una adecuada planificación territorial, por lo que se han ido alterando el equilibrio natural del suelo, por la construcción de caminos, viviendas y otras infraestructuras, que no solo compacta el terreno, sino que también cambia los patrones de escorrentía, lo que incrementa los procesos de erosión en áreas previamente estables. Aunque la cobertura vegetal juega un papel crucial en la protección del suelo, en esta unidad es limitada. Solo el 5% del área está cubierta por bosques de oyamel y pino, y el otro 5% presenta vegetación secundaria arbustiva de encino-pino. Esta escasa cobertura vegetal es insuficiente para contrarrestar la erosión en una zona tan vasta y con un uso del suelo tan intensivo.

En cuanto a los procesos naturales, el área es mayormente una zona de depósito (85%), lo que significa que en su mayor parte los sedimentos transportados por la escorrentía se acumulan aquí. Esto puede parecer un factor positivo, ya que los depósitos pueden estabilizar el terreno en ciertas áreas. Sin embargo, en un 15% del territorio predomina el transporte gravitacional, lo que indica que hay zonas en las que los materiales están en



constante movimiento, lo que contribuye a la pérdida de suelo en las áreas más elevadas. Los procesos fluviales, son de tipo erosivo-dinámico y afectan al 40% del territorio. Aunque esta proporción no es mayoritaria, su impacto es significativo en las áreas donde se concentran.

Unidad del Paisaje UP-17

En primer lugar, la composición geomorfológica de esta unidad está basada en piedemontes de toba riolítica, brecha volcánica y material aluvial, en combinación con la presencia de valles fluviales verticales, estos facilitan los procesos de erosión. Estos elementos geológicos contribuyen al transporte de sedimentos hacia las partes bajas, donde se acumulan, afectando la estabilidad del terreno y la capacidad de la vegetación para establecerse adecuadamente.

Las pendientes van de 2° a 8° en el 60% de la unidad y de 8° a 35° en el 40% restante, lo que generan variaciones significativas en la susceptibilidad a la erosión. En las zonas con mayores pendientes, la escorrentía superficial se acelera, arrastrando partículas de suelo y favoreciendo la erosión hídrica, lo que afecta a la calidad y profundidad del suelo, especialmente en aquellas áreas de cultivo y vegetación arbustiva que no tienen una cobertura adecuada para retener el suelo. Las pendientes más suaves, aunque menos propensas a la erosión por escorrentía, aún están expuestas a procesos erosivos debido al uso intensivo del suelo para la agricultura.

El orden de drenaje es de primer orden principalmente, estos al ser pequeños y con un flujo de agua menos constante, tienden a concentrar más el impacto erosivo en áreas específicas, lo que genera una alta variabilidad en la estabilidad del suelo y las condiciones ecológicas locales. Además, la densidad de disección de 2.5 a 3.5 km/km² en el 70% del área indica una alta disección por la presencia de barrancos o cauces de ríos, lo que favorece la desestabilización del suelo y el aumento de áreas expuestas a la erosión.

Los suelos, principalmente andosoles húmicos (70%) y feozem háplico en el resto de la zona, son relativamente fértiles, pero su uso intensivo para la agricultura (60% de temporal anual y 25% de riego) contribuye a su degradación. La dinámica del relieve también juega un papel crucial, estas zonas presentan una energía de entre 100-200 metros en el 60% de la superficie y de 50-100 metros en el resto. Estas diferencias en la topografía crean patrones de flujo de agua que aceleran los procesos erosivos en las



zonas de mayor energía, al tiempo que permiten cierta acumulación de sedimentos en las áreas más bajas. Este desequilibrio entre las áreas de erosión y depósito genera una pérdida de calidad del suelo en las zonas más elevadas y su sobrecarga en las zonas bajas.

Finalmente, la presencia de asentamientos humanos dispersos, como San Pedro Tejalpa y Colonia La Herradura, en áreas con suelos vulnerables y pendientes pronunciadas, añade presión al entorno. La urbanización en estas áreas, aunque dispersa, contribuye a la fragmentación del paisaje y a la alteración de los patrones naturales de drenaje y flujo de agua, lo que incrementa la erosión y afecta la estabilidad de los suelos.

Unidad del Paisaje UP-18

En primer lugar, la composición del terreno, formada mayormente por material aluvial (90%) y toba riolítica (10%), es fundamental para entender los procesos de degradación. Los materiales aluviales, al ser más sueltos y menos compactos, son altamente susceptibles a los procesos erosivos, especialmente en las áreas de valles fluviales acumulativos. Aunque el terreno es relativamente plano, con pendientes de 2° a 4° en el 90% del área, la naturaleza de los suelos y el material geológico facilita la erosión cuando no se cuenta con una cobertura vegetal adecuada o cuando las actividades humanas alteran el paisaje. Las pendientes más pronunciadas, que alcanzan entre 8° y 16° en el Cerro de San Antonio Acahualco.

La topografía juega un papel crucial en la dinámica de degradación. Los órdenes de drenaje son variables, desde el nivel 1 (25%) hasta el nivel 4 (10%), junto con la densidad de disección que varía entre 1.5-2.5 km/km² en la mitad del área, y entre 0.8-1.5 km/km² y 0 -0.8 km/km² en el resto. Las áreas con baja densidad de disección y relieve plano pueden ser más propensas a la acumulación de agua y sedimentos.

En términos de energía del relieve, la mayoría del área (90%) presenta valores bajos de 20-50 metros, lo que sugiere un paisaje relativamente llano que, aunque menos propenso a la erosión en comparación con áreas montañosas, aún puede sufrir degradación debido a la baja capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo. Sin embargo, el 10% de la zona tiene una energía del relieve de 50-100 metros, corresponde a áreas más irregulares, donde la acción del agua en combinación con las actividades humanas puede intensificar los procesos de erosión y sedimentación.

Los tipos de suelo presentes, principalmente feozem háplico (90%) y andosol húmico



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

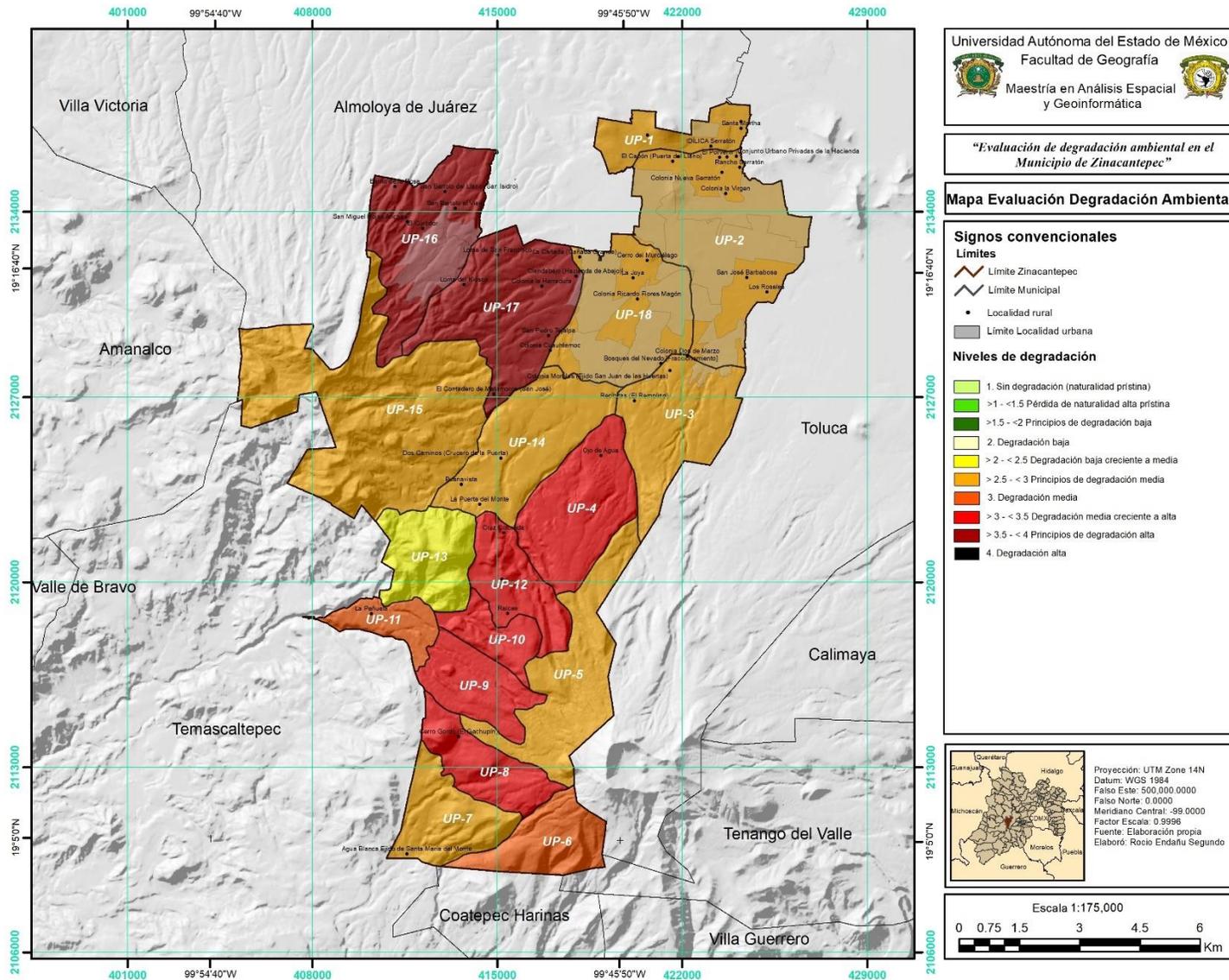
(10%), influyen en los procesos de degradación. El feozem háplico es un suelo fértil, pero su uso intensivo para la agricultura de riego (25%) y de temporal anual (25%) puede causar una pérdida progresiva de nutrientes y la degradación de su estructura si no se aplican prácticas de manejo sostenible. En particular, la agricultura de riego tiende a alterar la dinámica hídrica natural, mientras que la agricultura de temporal anual, cuando no se maneja adecuadamente, deja el suelo expuesto a la erosión en la temporada seca.

La expansión de los asentamientos humanos (50%), tanto urbanos como rurales, en áreas como San Antonio Acahualco, San Juan de las Huertas entre otras, genera una presión adicional sobre los recursos naturales. El crecimiento urbano implica la sustitución de suelos fértiles por superficies impermeables, como carreteras y edificaciones, lo que altera los patrones de escorrentía y aumenta el riesgo de erosión en las áreas circundantes. Además, la urbanización fragmenta el paisaje, reduciendo la conectividad ecológica y limitando la capacidad de regeneración de los suelos y la vegetación.

Por lo que de manera general las características geográficas de esta unidad de paisaje, interrelacionadas con el uso intensivo del suelo para la agricultura y la expansión urbana, crean un entorno vulnerable a los procesos de degradación geocológica media. Si no se implementan medidas adecuadas de manejo sostenible, es probable que esta degradación se intensifique, afectando la calidad del suelo, la estabilidad del paisaje y la productividad agrícola en el futuro.



Mapa 20. Evaluación de Degradación Ambiental en Zinacantepec



Fuente: Elaboración propia.



4.3 Tablero de Monitoreo ambiental

La relevancia de los indicadores para reconocer condiciones y tendencias resultan valiosas en la planificación del desarrollo territorial, particularmente en el marco de acuerdos regionales y globales como la Agenda 21 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ya que contribuyen a mejorar la recopilación de información y la generación de informes en aspectos ambientales, sociales y económicos, además de facilitar la integración de datos importantes para la toma de decisiones.

Diversas instituciones y académicos han desarrollado criterios e indicadores para evaluar los recursos naturales y territoriales en distintas escalas (global, regional, nacional y local). A nivel internacional, destacan las contribuciones de la FAO (1966), la ONU (2000) y la OECD (2001), entre otras.

En los últimos años, a nivel nacional, varias instituciones y gobiernos locales, como la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES), Massera y colaboradores, CONAPO, INEGI, junto con los gobiernos de Jalisco y Querétaro, han creado indicadores destinados a describir las condiciones naturales y socioeconómicas del territorio y sus recursos.

Aunque existen numerosos indicadores aplicables en distintas escalas (urbana, estatal, regional y nacional) los indicadores que se han seleccionado representan características de fácil representación cartográfica, se apoyan en metodologías sencillas, disponen de fuentes de datos fiables y accesibles, son actualizables para monitoreo continuo, permiten detectar tendencias y son aptos para la caracterización a nivel regional.

- **Tasa de deforestación**

La tasa de deforestación juega un papel fundamental en el monitoreo y seguimiento de la degradación geoecológica, ya que indica la presión ejercida sobre los recursos forestales, a medida que los bosques se reducen, se desencadenan una serie de efectos en cadena que afectan al entorno. La pérdida de árboles no solo disminuye la cantidad de vegetación, sino que también altera el clima local, deteriora la calidad del suelo y afecta los recursos hídricos. Por tanto, la tasa de deforestación se convierte en una herramienta esencial para comprender cómo estos cambios impactan otras variables ambientales (Palacio *et al.*, 2004).

Esta tasa está estrechamente relacionada con problemas socioeconómicos, como el crecimiento de la población, las actividades económicas y otras dinámicas sociales que



juegan un papel en la aceleración de la deforestación. Por lo que al analizar estos factores se puede entender cómo las actividades humanas contribuyen a la degradación del entorno.

Otra función crucial de la tasa de deforestación es que permite evaluar la sostenibilidad de prácticas actuales, al identificar áreas que están siendo particularmente afectadas, se pueden tomar decisiones informadas sobre dónde se necesitan medidas correctivas para proteger las coberturas boscosas

Finalmente, contar con datos precisos sobre la tasa de deforestación es vital para la planificación y gestión efectiva del medio ambiente. Estos datos proporcionan una base sólida para desarrollar políticas y estrategias que busquen mitigar la degradación geocológica, ayudando a asegurar un futuro sostenible.

Fórmula:

$$\delta n = \left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1$$

En donde:

d_n = tasa de cambio (para expresar en %, se multiplicar por 100)

S_1 = superficie en la fecha 1,

S_2 = superficie en la fecha 2,

n = número de años entre las dos fechas.

- **Relación Cobertura Natural/Cobertura Antrópica**

Este desempeña un papel fundamental en el monitoreo y seguimiento de la degradación geocológica al medir cuánto del territorio mantiene su cobertura natural en comparación con las áreas transformadas por la actividad humana, lo que ofrece una visión clara del nivel de intervención humana en los ecosistemas. Gracias a esta medición, es posible evaluar el grado de antropización, es decir, el grado en que el paisaje ha sido alterado por la acción humana (Palacio *et al.*, 2004).

Además, este indicador proporciona una aproximación al impacto global que las actividades humanas han tenido sobre los recursos naturales. Al comparar la cobertura natural con la antrópica, se pueden identificar áreas que están en riesgo de sufrir una mayor degradación ambiental, lo que resulta crucial para una gestión sostenible del



territorio.

A lo largo del tiempo, la relación entre cobertura natural y antrópica también permite monitorear los cambios en el uso del suelo. Esto posibilita detectar tendencias que señalan si un territorio está siendo degradado o si, por el contrario, está en proceso de recuperación.

Este indicador no actúa de manera aislada; complementa otros indicadores más específicos, lo que permite una evaluación más completa y precisa de la degradación geocológica. Ya que, al actuar de forma conjunta con más datos, proporciona una base para la toma de decisiones, por lo que su utilización facilita la priorización de áreas de conservación, al identificar zonas que han sido más afectadas por la intervención humana y permite enfocar los esfuerzos en evitar una mayor degradación y promover la restauración de áreas claves para la sostenibilidad ambiental.

- **Extensión de la Frontera Agrícola**

Este indicador cuantifica la expansión de la frontera agrícola durante un tiempo determinado, evidenciando la presión que ejercen las actividades agropecuarias sobre las coberturas naturales, como bosques y matorrales. Facilita la identificación espacial de áreas con cambios significativos en la cobertura natural. A diferencia del índice de cobertura natural/cobertura antrópica, no considera otras coberturas creadas por la actividad humana, como zonas urbanas o cuerpos de agua.

Además, se pueden detectar áreas vulnerables al identificar las zonas donde se expande la frontera agrícola, señalando aquellas regiones en riesgo de sufrir degradación ambiental. La conversión de tierras naturales en áreas agrícolas puede provocar una pérdida significativa de biodiversidad, además de generar erosión del suelo y alterar los ciclos hídricos, lo que agrava la situación de estos ecosistemas.

Por otro lado, la observación de los cambios en el uso del suelo es otro aspecto clave que se puede monitorear con este indicador. Al hacerlo, se pueden identificar patrones en la transformación del paisaje que están directamente relacionados con la degradación ambiental.

Este indicador no solo permite el análisis de la situación actual, sino que también es un valioso recurso para apoyar la planificación y gestión sostenible del territorio. Los datos proporcionados facilitan la creación de políticas y estrategias que mitiguen los efectos negativos de la deforestación y otros procesos degradativos, asegurando una gestión más



eficiente de los recursos.

- **Densidad de Población**

El indicador de densidad de población juega un papel crucial en el monitoreo y comprensión de la degradación geoecológica del paisaje. Este indicador ayuda a identificar las áreas con mayor concentración de personas, revelando dónde la presión sobre los recursos naturales es más intensa. Las zonas con alta densidad de población suelen enfrentar un mayor impacto ambiental, ya que la expansión urbana, la agricultura intensiva y otras actividades humanas tienden a ser más frecuentes en estos lugares.

Además, el indicador permite evaluar cómo la cantidad de habitantes en una región específica afecta el uso de los recursos naturales. En áreas con una alta densidad poblacional, la sobreexplotación de recursos como agua y suelo se vuelve más común, y la generación de residuos aumenta, acelerando la degradación del paisaje.

Un incremento en la densidad de población puede indicar una expansión de áreas construidas sobre terrenos naturales, lo que lleva a la pérdida de hábitats y la alteración de ecosistemas locales. Por lo que conocer la densidad de población es esencial para la planificación y gestión del territorio (Palacio *et al.*, 2004).

Fórmula:

$$D = \frac{\text{Población total (en al menos dos fechas)}}{\text{Superficie en km}^2}$$

- **Porcentaje de superficie reforestada**

El indicador de superficie reforestada es fundamental para evaluar cómo los organismos públicos están respondiendo a la degradación geoecológica y para monitorear el estado del paisaje. Este indicador revela mucho sobre el impacto de las políticas ambientales y las iniciativas de restauración de ecosistemas.

Ya que muestra la eficacia de las políticas de reforestación implementadas. Un aumento en la superficie reforestada es una señal positiva de que los programas gubernamentales están actuando en pro de la restauración de los ecosistemas.

Además, al medir la superficie reforestada, se puede observar cómo estos proyectos están influyendo en la recuperación del medio ambiente. A medida que se incrementa esta superficie, se suelen ver mejoras en la calidad del suelo, en la biodiversidad en los ciclos hídricos etc.

Monitorear la superficie reforestada a lo largo del tiempo ofrece una perspectiva sobre



cómo los esfuerzos de restauración están afectando el paisaje. Un aumento en la reforestación puede indicar una reducción en la degradación del paisaje, mostrando una tendencia hacia la recuperación ambiental (Semarnat, 2005).

- **Población con acceso a agua potable**

Este indicador muestra el porcentaje de la población que tiene acceso a agua potable, si esta cifra aumenta, es una señal positiva de que se están implementando medidas efectivas para mejorar la infraestructura hídrica y garantizar que más personas tengan acceso a agua segura, sin embargo también ayuda a identificar áreas críticas donde el acceso al agua potable es limitado, debido a diversas circunstancias como problemas graves por contaminación del agua o la sobreexplotación de acuíferos, lo que refleja la necesidad de una mejor gestión de los recursos hídricos y una respuesta más efectiva a la degradación del paisaje.

El seguimiento de este indicador también permite monitorear la calidad del agua. Un incremento en la población con acceso a agua potable puede indicar que se están realizando mejoras en el tratamiento y purificación del agua, lo cual es esencial para combatir los efectos negativos de la degradación ambiental sobre los recursos hídricos (Semarnat, 2005).

A continuación, se muestra el tablero de seguimiento y monitoreo (Tabla 38) por unidades de paisaje, señalando los indicadores que se ocupan para la degradación ambiental.

Tabla 38. Tablero de Seguimiento y Monitoreo

Unidad de Paisaje	Indicadores de Presión, Estado y Respuesta
UP-1, UP-2	Relación Cobertura Natural/Cobertura Antrópica Densidad de Población Porcentaje de superficie reforestada Población con acceso a agua potable
UP-3, UP-4, UP-11, UP-12, UP-14 UP-16, UP-17, UP-18	Relación Cobertura Natural/Cobertura Antrópica Densidad de Población Extensión de la Frontera Agrícola Porcentaje de superficie reforestada Población con acceso a agua potable Tasa de Deforestación
UP-5, UP-6, UP-	Extensión de la Frontera Agrícola



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

8, UP-9, UP-10, UP-13, UP-15	Porcentaje de superficie reforestada Tasa de Deforestación
UP-7	Relación Cobertura Natural/Cobertura Antrópica Densidad de Población Extensión de la Frontera Agrícola Porcentaje de superficie reforestada Tasa de Deforestación

**Fuente: Atlas de indicadores ambientales y de sustentabilidad para América Latina y el Caribe, 1998;
Semarnat, 2005.**

Estos indicadores permiten evaluar tanto las presiones ejercidas sobre los recursos naturales como el estado actual de los ecosistemas y facilitan la identificación de áreas críticas donde los efectos negativos de la degradación son mayores. En conjunto, estos indicadores permiten una gestión ambiental informada y más eficaz, asegurando la conservación y sostenibilidad del paisaje y los recursos naturales a largo plazo.



Discusión de Resultados

La información obtenida a lo largo de cada etapa de la metodología fue crucial para alcanzar los objetivos establecidos. Como lo fue la realización de la caracterización de la estructura vertical y horizontal del paisaje, que permitió conocer aspectos clave para diagnosticar la degradación ambiental y conocer el estado actual del municipio.

Este análisis integral proporciona las bases para que los tomadores de decisiones a nivel municipal puedan formular estrategias de manejo y conservación que restauren y protejan los ecosistemas afectados, sin embargo, aún quedan elementos por definir y desarrollar, para comprender la complejidad del territorio, su funcionamiento y la manera en que se ve afectado por la intervención humana, que faciliten el diseño de planes de gestión ambiental más efectivos.

Existieron ciertas limitantes para la identificación de indicadores, ya que se consideró para su planteamiento que la información que se requería como insumo para su cálculo se encontrara disponible o fuera actualizada, esta característica limitó la selección de indicadores.

El enfoque de la investigación era identificar cuáles eran las presiones antrópicas que motivaba los diferentes estados o niveles de degradación geoecológica, para ello a través del árbol de problemas de logro identificar las causas y consecuencias directas que motivaban los procesos de degradación ambiental en Zinacantepec, teniendo como principal presión el cambio de uso de suelo por deforestación, tala clandestina, apertura de tierras agrícolas y el desarrollo de asentamientos humanos.

Para ello se consideró la antropización del territorio, sin embargo, se abre la posibilidad de que más adelante se pueda llevar a cabo un estudio más integral y se consideren diversas variables que permitan un estudio más complejo del territorio, utilizando diversos indicadores, no solo para el seguimiento y monitoreo sino para la etapa de diagnóstico del territorio.

Por último, los resultados que se obtuvieron pueden servir de base para un posible Ordenamiento Ecológico Territorial en Zinacantepec, ya que contiene un amplio y detallado estudio geográfico del territorio y una identificación de impactos. Proporcionando información clave para la planificación y gestión sostenible del territorio, que facilite la implementación de medidas de conservación, restauración y mitigación del ambiente.



Conclusiones

El 58.35% de la superficie, presenta principios de degradación media, lo que indica que más de la mitad del área evaluada se encuentra en un estado de deterioro ambiental moderado, esto sugiere una urgencia en la implementación de estrategias de conservación y recuperación, ya que estos principios pueden intensificarse si no se toman medidas adecuadas.

El 17.83% del territorio se encuentra en un estado de degradación media creciente a alta, mientras que un 14.75% presenta principios de degradación alta. Estas áreas combinadas representan una porción considerable del territorio, lo que sugiere que hay regiones que requieren atención prioritaria para evitar una mayor degradación.

Áreas con degradación baja representan solamente un 3.87%, lo que significa que quedan pocas áreas con un bajo impacto de degradación ambiental, reflejando la necesidad de proteger y poner mayores esfuerzos para aquellas unidades con niveles medios, tendientes a altos, para prevenir su deterioro.

Los datos muestran una tendencia clara de que la degradación en zonas de bosque al sureste del área de estudio y al noroeste están avanzando hacia niveles más críticos, con un 5.20% del área en degradación media, lo que también requiere monitoreo continuo para evitar que estas áreas avancen hacia estados de mayor degradación.

Por lo que, la mayor parte del territorio evaluado presenta signos de degradación ambiental moderada o incipiente, pero con una porción significativa en riesgo de avanzar a niveles de degradación más altos.

Esto subraya la necesidad de generar acciones de manejo sostenible, restauración y mitigación de los impactos ambientales para evitar una mayor pérdida de funcionalidad del paisaje, conservando y protegiendo no sólo las áreas con un nivel de degradación bajo, sino también aquellas que poseen principios de degradación media a alta para asegurar la permanencia tanto de los servicios ecosistémicos y de los seres vivos que forman parte del ecosistema en su conjunto.



Referencias

- Amestoy Alonso, J. (2001). Aspectos de la degradación del medioambiente: su influencia en el clima. *Papeles de Geografía*, (34), 17-49.
- Andreiev, M. (2012). La Geoecología, ciencia integradora en la Geografía. Moscú: Universidad Estatal de Moscú. (En ruso).
- ASF Alaska Satellite Facility. (2010). Alos Palsar. <https://asf.alaska.edu/datasets/daac/alos-palsar/>
- Balderas Plata, M. A., Canchola Pantoja, Y. G., Espinosa Rodríguez, L. M., & Ortiz Pérez, M. A. (2015). Valoración de la degradación geoecológica del paisaje como fundamento para la gestión ambiental. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 6 (13), 89-106.
- Baró Suarez, J. E., Canchola Pantoja, Y. G. y Arriaga Rivera, A. (2023). Instrumentos de política ambiental en J. E. Baró Suarez., A. Ordaz Hernández y Y. G. Canchola Pantoja (Ed.), *Herramientas de gestión ambiental y territorial. Tomo 1. Colección: gestión ambiental y territorial. México*. (Tomo 1, pp 25-76). Sociedad Hijos de Calimaya, A.C.
- Beringuier, G., P. Beringuier. (1991). Manieres paysageres. Une methode d'etude. GEODOC.Toulouse, No. 35. 85 pgs.
- Bollo, Manent. M. (2018). La geografía del paisaje y la geoecología. Teoría y enfoques. En: El paisaje: reflexiones y métodos de análisis (pp. 125-152). México: Ediciones del Lirio. Editorial UAM. México. ISBN: 978-607-28-1169-0. https://www.researchgate.net/publication/337898745_La_Geografia_del_Paisaje_y_la_Geoecologia_Teoria_y_enfoques.
- Bollo-Manent, M. & Méndez, Wilfrido. (2018). El Estado del Medio Ambiente en Michoacán de Ocampo. México. Cuadernos Geográficos.
- Buzai, G. D y C. A. Baxendale. (2006). Análisis socio espacial con Sistemas de Información Geográfica. Editorial Lugar S.A. Buenos Aires, 2006, 397 pgs.
- Canchola Pantoja, Y. G. (2017a). Propuesta Metodológica para el análisis y valoración geoecológica del paisaje. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/66175>



- Canchola Pantoja, Y. G. (2021). Antología comentada de un Manual para Trabajo de Campo de Geografía Ambiental. Universidad de Quintana Roo.
- Casa A., Gustavo y CONABIO (1997). Climas del Estado de México. CONABIO. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/clima500kw
- Castillo Contreras, F. C. (2018) Dinámicas de cambio de uso de Suelo en el municipio de Zinacantepec, (1990 – 2016). Propuestas desde el enfoque del marco lógico para el manejo de recursos [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/95240>
- CETENAL Comisión de Estudios del Territorio Nacional, (1976) Edafología del Volcán Nevado de Toluca E-14-A-47.
- Checa-Artasu, M. (2014). *Oportunidades y carencias para una cultura del paisaje en México. Algunas notas*. Ciudad de México: Tirant Lo Blanch, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- Checa-Artasu, M. y Sunyer Martín, Pere. (2017). *El paisaje: Reflexiones y Métodos de Análisis*. Ediciones del Lirio S.A. de C.V. y Universidad Autónoma Metropolitana. [LIBROMETODOLOGIASDELPAISAJE.pdf \(martinchecaartasu.com\)](#)
- Claval, P. (1974), *Evolución de la Geografía Humana*. Oikos-tau, Barcelona.
- CONANP Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2022). Áreas Naturales Protegidas Federales de México, 2022. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/anp2022gw
- CONAPO Consejo Nacional de Población, (2013) Índice Absoluto de Marginación 2000-2010. Estado de México: CONAPO. ISBN: 978-607-427-171-3, 119 pp. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1755/1/images/IAM_00-04.pdf
- CONAPO Consejo Nacional de Población. 2020. *Población total, indicadores socioeconómicos, índice y grado de marginación urbana, 2020*. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>
- CONEVAL Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2010b Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México. México: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. ISBN: 978-607-95482-1-6, 129 pp.
- CONEVAL Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. 2019.



- Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México.* (3^{ra} Ed). Ciudad de México.
- CONEVAL Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. 2020. *Medición de la pobreza, México, 2020. Rangos según el porcentaje de pobreza por localidad urbana.*
https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/pobreza_localidad_urbana.aspx
- Consejo de Europa. (2000). Convenio Europeo del Paisaje. Florencia, 20 de octubre de 2000.
<http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/landscape/versionsconvention/spanish.PDF>
- Copernicus Open Access Hub, Imagen Sentinel 2A. Disponible en:
https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=11&lat=45.36638&lng=12.49832&themeld=DEFAULT-THEME&visualizationUrl=U2FsdGVkX1%2FRajMzJaRwpBAz5wUxhtaa5dBAeLQO1hYtNoiSIONu%2Bn7p854xfbMfjb0L9U7N0dqMM1c3tEXWtWuQZnEXj5TgGKLJN%2FqalqBnxqsO5K8N%2BvuQoIOdt4B%2B&datasetId=S2_L1C_CDAS&fromTime=2023-02-07T00%3A00%3A00.000Z&toTime=2023-02-07T23%3A59%3A59.999Z&layerId=1_TRUE_COLOR&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=10&dateMode=SINGLE, consultada el 27 de enero de 2022.
- Cotler, Helena, Marisa Mazari y José de Anda Sánchez, (2006) Atlas de la cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta. México, D.F: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). ISBN: 968-817-783-0, 198 p.
- DATA MÉXICO. (30 de julio de 2020). *Zinacantepec Municipio de Estado de México.*
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/zinacantepec>
- De Cserna, Z Fries y C. Jr, (1981a) “Resumen de la geología de la hoja Taxco, Estados de Guerrero, México y Morelos. Formación Chontalcoatlán” México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas de México, serie 1:100,000.
- De Cserna, Z Fries y C. Jr, (1981b) “Resumen de la geología de la hoja Taxco, Estados de Guerrero, México y Morelos. Formación Zinacantépetl” México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas



- Geológicas de México, serie 1:100,000.
- Delgado Peña, J. J., Damián Ruiz, J., Navarro Jurado, E., Cortes Macías, R., Remond Noa, R., Salinas Chávez, E., Fernández Lorenzo, J. M. y Acevedo Rodríguez, P. (2011). La degradación ambiental de los paisajes en las cuencas tributarias de la Ensenada de Sibarimar (Guanabo e Itabo, Cuba). *Cuadernos Geográficos*, 161-188.
- Diario Oficial de la Federación, (2013) DECRETO que reforma, deroga y adiciona diversas disposiciones del diverso publicado el 25 de enero de 1936, por el que se declaró Parque Nacional la montaña denominada “Nevado de Toluca” que fue modificado por el diverso publicado el 19 de febrero de 1937.
- Dirección General de Medio Ambiente. (2019). *Índice de Biodiversidad Urbana para el Municipio de Toluca*. <https://es.slideshare.net/MOISESBERNALCANUTO/indice-biodiversidad-urbanatol2019>
- Ehrlich, P., Harte, J., Harwell, M. A., Raven, R. H., Sagan, C., Goodwell, G. M., Teel, J. M. (1983). Long-term biological consequences of nuclear war. *Science*, 1293-1300.
- Endañu Segundo, Rocio. (2020). *Problemáticas ambientales por conflictos territoriales en el municipio de Zinacantepec* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México].
- ERIC Extractor Rápido de Información Climatológica, (2008). Datos de Temperatura y Precipitaciones de Zinacantepec. Servicio Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua.
- Espinosa L. y Arroyo K. 2011. Geomorfología en México. Una visión histórica, metodológica y aplicada. Editorial Académica Española. ISBN 978-3-8454-9761-7, España. Saarbrücken Alemania.
- Espinosa Rodríguez, Luis Miguel, Miguel Ángel Balderas y Héctor Víctor Cabadas, (2014) “Caracterización Geomorfológica del Área Natural Protegida Nevado de Toluca: Complejo de Volcanes Nevado de Toluca y San Antonio” *Ciencia UAT*, 9 (1), (6-14). Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía. ISSN: 2007-7521.
- Etter, Andrés. (1991). *Introducción a la Ecología del Paisaje. Un Marco de Integración para los Levantamientos Ecológicos*. Bogotá.
- Fernández, M. A (1996). *Ciudades en Riesgo. Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y*



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

- Desastres. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red). Lima.
- Fernández, M. A (1996). Ciudades en Riesgo. Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red). Lima.
- Gaceta Municipal del Ayuntamiento de Zinacantepec. (2024). Bando Municipal 2024. Gaceta Municipal del Ayuntamiento de Zinacantepec Año tres. Volumen uno. Número siete. <https://www.zinacantepec.gob.mx/MejoraRegulatoria/Archivos/BANDO%20MUNICIPAL%202024.pdf>
- Gao, J. (2010), *Comparative Study of sea Experiences Between EU and Chi na: the Use of Indicators*, Proceedings of EASY-ECO Conference on Sustainable Development Evaluation in Europe, Bruselas, p. 4.
- García-Palomo Armando, José Luis Macías y José Luis Arce, (2002) "Geology of Nevado de Toluca Volcano and Surrounding Areas, Central México", Geological Society of America Map and Chart Series MCH089, 26 pp.
- Golubev, G. (2006). Geoecología. Moscú: ZAO Isdatielctbo "Aspekt Press". Moscú. (En ruso).
- Gómez Orea, D. (2003), Evaluación del impacto ambiental: Un instrumento preventivo para la gestión ambiental, Madrid, Mundi Prensa.
- González, J. (2012). Carl Troll y la geografía del paisaje: vida, obra y traducción de un texto fundamental. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, núm. 59. (Traducción del artículo: C. Troll. 1963. Investigación ecológica del paisaje e investigación compa rada de alta montaña Erdkl. Wissen. H.11., 1-13).
- Guerra González, R. (2015). *Del antropocentrismo al biocentrismo, de la disyunción a la conjunción, al enfocar los derechos humanos*. México: Torres Asociados.
- H. Ayuntamiento de Zinacantepec. (2015). Plan Municipal de Desarrollo Urbano. http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/Zinacantepec/pmduZin.pdf.
- H. Congreso de la Unión (2014a). Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación (DOF) 25-08-2014. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAN_250814.pdf
- H. Congreso de la Unión (2014b). Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre. Diario



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

- Oficial de la Federación (DOF) 09-05-2014.
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGVS.pdf
- H. Congreso de la Unión (2014c). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Diario Oficial de la Federación (DOF) 31-10-2014.
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MEIA_311014.pdf
- H. Congreso de la Unión (2014d). Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación (DOF) 31-10-2014. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPGIR_311014.pdf
- H. Congreso de la Unión (2020). Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Diario Oficial de la Federación (DOF) 09-12-2020.
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio//regley/Reg_LGDFS_091220.pdf
- H. Congreso de la Unión (2021). Ley Federal de Responsabilidad Afectiva (LFRA). Diario Oficial de la Federación (DOF) 20-05-2021.
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFRA_200521.pdf
- H. Congreso de la Unión (2024a). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM). Diario Oficial de la Federación (DOF) 22-03-2024.
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- H. Congreso de la Unión (2024b). Ley General Del Equilibrio Ecológico y La Protección Al Ambiente (LGEEPA). Diario Oficial de la Federación (DOF) 01-04-2024.
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- H. Congreso de la Unión (2024c). Ley General De Cambio Climático (LGCC). Diario Oficial de la Federación (DOF) 01-04-2024.
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- H. Congreso de la Unión (2024d). Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). Diario Oficial de la Federación (DOF) 01-04-2024.
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>
- H. Congreso de la Unión (2024e). Ley General De Desarrollo Social (LGDS). Diario Oficial de la Federación (DOF) 01-04-2024.
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDS.pdf>
- Hernández Escobar, Silvia. (2014). *Caracterización Morfológica y Morfométrica de la*



- Carta Toluca* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México].
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/30718/HERNANDEZ-SILVIA-LGE-2014.pdf?sequence=1>
- Hettner, A. (1921). *Las formas superficiales del continente: su investigación y representación*. Alemania: Springer Fachmedien Wiesbaden GMBH.
- Ibáñez, Juan José y Francisco Javier Martínez Cosío, (2011a) Un universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida. Curso básico: tipos de suelos del mundo.
<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/06/09/139388>
- Ibáñez, Juan José y Francisco Javier Martínez Cosío, (2011b) Un universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida. Vertisoles (WRB, 1998):
<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/10/06/140062>
- Ibáñez, Juan José y Francisco Javier Martínez Cosío, (2015) *Un universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida. Phaeozems o Feozems (WRB, 1998)*.
<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2015/02/12/145465>.
- IMTA Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1996). Estaciones Meteorológicas Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC).
http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/clima/climas/estclimgw
- INE-Semarnap. (2000), Evaluación del desempeño ambiental: Reporte 2000, México, Semarnap.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2004) *Guías para la interpretación de Cartografía Edafología*. México: INEGI. ISBN: 970-13-4376-X.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014b). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250,000. Serie V. México: Instituto de Estadística y Geografía (INEGI) 195 pp.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). *Censos Económicos. Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC)*.
<https://www.inegi.org.mx/app/saic/default.html>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Geografía y Medio Ambiente. Topografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/#descargas>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Modelos Digitales de



- Elevación de Alta Resolución LiDAR. <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Principales resultados por localidad (ITER). <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). Cuerpos de agua. Continuo Nacional Topográfico, escala 1:50 000 Serie III 2013-2018, escala: 1:50000. edición: 3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, Aguascalientes.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). *Información topográfica* <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>
- IUSS Working Group WRB, (2007) Informes sobre los recursos mundiales de suelos 103. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Roma: FAO. <https://www.fao.org/4/a0510s/a0510s00.pdf>
- 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. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/dea292cb-370d-46c7-a44d-59a617953c3b/content>
- Izakovicová, Z., Miklós, L., Miklósová, V. y Petrovic, F. (2019). The Integrated Approach to Landscape Management. Experience from Slovakia. Sustainability, 11, 4554. Doi:10.3390/su11174554. <http://www.mdpi.com/journal/sustainability>
- Laureano, P. (2012). *From the monument to the people: the new landscape vision to manage ecosystems with traditional knowledge and its innovative use*. UNESCO/ITKI. The International Protection of Landscapes. A Global Assessment on the Occasion of the 40th Anniversary of the World Heritage Convention and to Promote the UNESCO International Traditional Knowledge Institute (ITKI). Florencia: UNESCO.
- López Blanco, J. y Rodríguez Gamiño, M. L. (2009). Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. México.
- López López, Daniel. (2006). *Desarrollo e Implementación de un Modelo para la Clasificación Automática de Unidades de Relieve a partir de Modelos Digitales de*



- Elevación* [Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo” A.C. (CENTROGEO)]. Microsoft Word - finalcor-octubre-2406finalb.doc (repositorioinstitucional.mx).
- Lugo J. (1988). Elementos de Geomorfología Aplicada. Métodos cartográficos. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía.
- Lugo Hubp. (2011) Diccionario geomorfológico. México: Instituto de Geografía UNAM. ISBN: 970-32-2965-4, 478 pp.
- Macías, José Luis. (2005). Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(3), 379-424. <https://doi.org/10.18268/bsgm2005v57n3a6>
- Martínez, Joan (1991) “La pobreza como causa de la degradación ambiental. Un comentario al Informe Brundtland”. Documentos de Análisis Geográfica, 18 (55-73). [file:///C:/Users/SATELLITE/Downloads/41522-52553-1-PB%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/SATELLITE/Downloads/41522-52553-1-PB%20(2).pdf)
- Martínez Serrano, A. y Bollo Manent, M. (2023). *El paisaje. Una mirada a través del análisis espacial*. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental y Escuela Nacional de Estudios Superiores Mérida. <https://doi.org/10.22201/ciga.9786073080033e.2023>
- Mateo Rodríguez, J. M. (2007). Geografía de los paisajes primera parte. Paisajes Naturales. Ministerio de educación superior. Universidad de la Habana Facultad de Geografía. La Habana.
- Mateo Rodríguez, J. M. (2011). *Geografía de los paisajes*. La Habana: Félix Varela.
- Mateo Rodríguez, J. M., Bollo Manent, M. (2016). *La región como categoría geográfica*, UNAM: CIGA, Morelia, 108 pp.
- Mateo-Rodríguez, J. M., Ortiz-Pérez, M.A. (2001). La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica en J. L. Palacio Prieto; O. Orozco Oropeza; J. M. Figueroa Mah-Eng (Ed.), *Mario Arturo Ortiz Pérez Contribuciones geográficas*. Serie Varia, Nueva Época, No. 1. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/98/96/296-1>
- Mateo-Rodríguez, J. M. (2002). Geografía de los Paisajes Primera Parte Paisajes Naturales. Ministerio de Educación Superior. Universidad de la Habana. Facultad de Geografía. La Habana.
- Mateo-Rodríguez, J. M., Silva, E. V. (2006). Para una interpretación epistemológica de la



- Geografía a partir de la Dialéctica; Mercator, Revista de Geografía da UFC Año 4, Número 09, pp. 55 – 68.
- Mateo-Rodríguez, J. M., Silva, E. V. (2007). La geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. Revista Electrónica Do Prodemá (REDE). Fortaleza, v.1, n. 1, pp. 77-98. Issn 1982-5528.
- Mateo-Rodríguez, J. M., Vicente da Silva, Edson., Cezar Leal, Antônio. (2012). Paisaje y Geosistema: apuntes para una discusión teórica. *REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.4, N.4, p.239 – 251.*
- Morales Iglesias, H., Priego Santander, A. G., Bollo Manent, M., & Ríos, M. J. (2019). La antropización de la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, México. *Papeles de Geografía*, (65), 139–154.
- Nadal, A. y Aguayo F. (2020). *Los motores de la degradación ambiental: el modelo macroeconómico y la explotación de los recursos naturales en América Latina*, serie Estudios y Perspectivas-Sede Subregional de la CEPAL en México, N° 185 (LC/TS.2020/69; LC/MEX/TS.2020/14), Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Ortegon, E., Pacheco J.F y Prieto A. (2005). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. CEPAL. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES) Área de proyectos y programación de inversiones. Santiago de Chile.
- Palacio-Prieto, J.L., Sánchez-Salazar, M.T., Casado Izquierdo, J.M., Propin Frejomil, E., Delgado Campos, J., Velázquez Montes, A., Chias Becerril, L., Ortiz Álvarez, M.I., González Sánchez, J., Negrete Fernández, G., Gabriel Morales, J., Márquez Huitzil, R., Niedo Manzano, T., Jiménez Rosenberg, R., Muñoz López, E., Ocaña Nava, D., Juárez Aguirre, E., Anzaldo Gómez, C., Hernández Esquivel, J.C., Valderrama Campos, K., Rodríguez Carranza, J., Campos Campuzano, J.M., Vera Llamas Cruz, H. Y Camacho Ramírez C.G. (2004). Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional De Ecología. México.
- Pedraza, J. (1996). Geomorfología; principios, métodos y aplicaciones. Rueda. España Madrid.



- Perevochtchikova, María. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312. Recuperado en 30 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001&lng=es&tIng=es.
- Pérez-Vega, Azucena, Regil García, Héctor Hugo, & Mas, Jean François. (2020). Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato, México. *Investigaciones geográficas*, (103), e60150. <https://doi.org/10.14350/riq.60150>
- PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2024). Objetivos de Desarrollo Sostenible. México. PNUD. <https://www.undp.org/es/mexico/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- PNUMA, P. (2000). *GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente*. Costa Rica: GEO-ALC del PNUMA.
- Poder Legislativo del Estado de México. (2024a). Código Administrativo del Estado de México. Periódico Oficial Gaceta del Gobierno. 05-04-2024. <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/cod/vig/codvig008.pdf>
- Poder Legislativo del Estado de México. (2024b). Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México. Periódico Oficial Gaceta del Gobierno. 21-05-2024. <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/ley/vig/leyvig001.pdf>
- Poder Legislativo del Estado de México. (2024c). Ley Orgánica del Estado de México. Periódico Oficial Gaceta del Gobierno. 24-05-2024. <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/ley/vig/leyvig022.pdf>
- Polanco, Camilo. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para la toma de decisiones. *Gestión y Ambiente. Volumen 9*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/52056/51805>
- Preobrazhenskii, V. (1983). Geosystem as an object of landscape study. *GeoJournal*, 7(2), 131-134. <https://www.jstor.org/stable/41143024?seq=1>.
- Quiroga Martínez, Rayén. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo*



- sostenible: estado del arte y perspectivas*. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. CEPAL. Santiago de Chile
- Quiroga Martínez, Rayén. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. CEPAL. Santiago de Chile
- Quiroga Martínez, Rayén. (2005). *Estadísticas del medio ambiente en América Latina y el Caribe: avances y perspectivas*. División de Estadística y Proyecciones Económicas. CEPAL. Santiago de Chile
- Quiroga Martínez, Rayén. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. CEPAL. Santiago de Chile.
- Ramírez, Blanca. Rebeca. (2003), *Modernidad, posmodernidad, globalización y territorio: un recorrido por los campos de las teorías*, UAM-Xochimilco, Miguel Ángel Porrúa, México.
- Ramírez, Blanca Rebeca. (2007). La geografía regional: tradiciones y perspectivas contemporáneas. *Investigaciones geográficas*, (64), 116-133. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-461120070003000008&lng=es&tlng=es.
- Ramón Puebla, A. M., Bollo Manent, M., & Porres Garcia, M. Ángel. (2024). RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA EVALUAR LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL DEL PAISAJE EN UN ÁREA NATURAL PROTEGIDA: caso: Pico Azul-La Escalera, Michoacán, México. *Caderno Prudentino De Geografia*, 2(46), 152–166. Recuperado de <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/10488>
- Revista Internacional de Estadística y Geografía, (2011). Realidad, Datos y Espacio Edición: Vol.2 Núm.1. http://www.inegi.org.mx/RDE/rde_02/rde_02.html
- Reyes, Armando, Ma. Eugenia Valdez y Patricia Mireles, (s/f) Geomorfología del Parque Nacional Nevado de Toluca. <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal11/Procesosambientales/Geomorfologia/02.pdf>
- Richling, A. (1983). Subject of study in complex physical geography. *GeoJournal*, 7(2), 185-187. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF00185166.pdf>



- Rodríguez Gamiño, M. L., López Blanco, J. y. Vela Correa, G. (2011). Indicadores ambientales biofísicos a escala detallada para la planeación territorial en Milpa Alta, Centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 80, 2013, pp. 21-35.
- Rodríguez Ortega, C. (2008), "El sistema nacional de indicadores ambientales (SNIA)", en J. López Blanco y M. Rodríguez Gamiño (Coords.), Desarrollo de indicadores ambientales en México (Geografía para el siglo XXI, Libros de Investigación), 3, México, IG-UNAM, pp. 15- 26.
- Romero Aravena, H., López, C. y Sandoval, G. (2009). Degradación ambiental de paisajes naturales y expansión urbana de Viña del Mar. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118158>
- Rua, J., R. Ribeiro de Oliveira; Á. Ferreira. (2007). Introdução. Paisagem, espaço e sustentabilidade: uma perspectiva multidimensional de Geografia; Em. Rua. J. *Paisagem, espaço e sustentabilidade. Uma perspectiva multidimensional da Geografia*, Editora PUC, Rio de Janeiro (pp. 7 – 34).
- Saquet, M. A. (2006). Proposições para estudos territoriais; *Geographia*, Universidade Federal Fluminense, Ano VII, No.15, pp. 71 – 86.
- Semarnat Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2005). Indicadores básicos del desempeño ambiental de México: 2005. Semarnat. México. http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Indicadores_basicos_2005.pdf
- Semarnat Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008), *Indicadores básicos del desempeño ambiental de México*, México, Sistema Nacional de Indicadores Ambientales, Semarnat.
- Semarnat Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. SNIARN. México. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/recursos/222481/indicadores_2010/03_suelos/03_suelos_esquema.html
- Semarnat Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. En *Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y desempeño ambiental* y de *crecimiento verde*. Ciudad de México.
- Semarnat Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Programa de



EVALUACIÓN DE DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC

- Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México.
- SGM Servicio Geológico Mexicano, (2002) "Carta Geológico-Minera Ciudad de México E14-2. Edo. México., Tlaxcala., D.F., Puebla., Hidalgo y Morelos. Pachuca" Hidalgo: Servicio Geológico Mexicano.
- Tarbuck, Edward, J. y Lutgens, Frederick, k. (2005). *Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física* (8ª Ed). Pearson Prentice Hall. <https://archive.org/details/ciencias-dde-la-tierra-tarbuck/page/n3/mode/2up>
- UNESCO. (1962). Recommendation concerning the safeguarding of the beauty and character of landscapes and sites. Records of the General Conference. Twelfth Session. Resolutions. Paris: UNESCO.
- UNESCO-IFLA (1977). The man-made landscape». Museum and Monuments, núm. xvi. Paris: UNESCO.
- United Nations Environment. (2019). Healthy Planet, Healthy People. GEO 6: Nairobi. DOI 10.1017/9781108627146.
- Van Zuidam R. (1985). Aerial Photo-interpretación in terrain analysis and geomorphologic Mapping. ed. smits Publishers, the Netherlands.
- Verstappen and Van Zuidam. (1991). El Sistema ITC para Levantamientos Geomorfológicos. ITC Publicación Numero 10.
- Vidal de los Santos, E. y J. Franco López (2009), Impacto ambiental: Una herramienta para el desarrollo sustentable, México, AGT Editor.
- Winograd, Manuel; Farrow, Andrew y Eade, Jeremy. (1995). *Atlas de Indicadores Ambientales y de Sustentabilidad para América Latina y el Caribe*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).