



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS
EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO
GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO

DIRECTOR DE TESIS

Mtro. Carlo Alejandro D'Luna Fuentes

México, D.F., 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi madre por todo su apoyo

A mi "abue" por todo su cariño

A mis hermanos para que les sirva de ejemplo

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Mtro. Carlo Alejandro D' Luna Fuentes, por su apoyo, por la dedicación al momento de hacer correcciones, por confiar en mí y también por el tiempo y conocimiento que dedicaron a esta tesis.

A mis sinodales, Dr. Genaro Correa, Dr. Juan Carlos Gómez, Mtro. José Manuel Espinoza y Mtro. Sergio Salinas, por sus acertadas observaciones realizadas a este trabajo, por su paciencia y por todo el conocimiento brindado.

Al Dr. Jorge Caire Lomelí⁺, por todas sus enseñanzas, por despertar en mí el gusto por la cartografía y por todo el apoyo brindado.

A mis otros hermanos Víctor, Iván, José Luis y Sergio.

A mis amigos, Álvaro, Guillermo, Julio, Luz, Jorge, Gabriela, Hazziel, Roberto, Alfredo y Pablo.

A todos los que creyeron en mí.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**



**CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE
RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO**

**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
PRESENTA:
José Alberto Moreno Saucedo
Colegio de Geografía
Facultad de Filosofía y Letras**

**Asesor Mtro. Carlo. Alejandro D'Luna Fuentes
Departamento de Geografía
Sistema Universidad Abierta y Educación a Distancia
Facultad de Filosofía y Letras**







ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I.- CONCEPTOS GENERALES	13
I.1. CAMBIO DE USO DE SUELO	13
I.2. EROSIÓN	15
CAPÍTULO II.- CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
II. 1. ANTECEDENTES	19
II.2. LOCALIZACIÓN DE LAS GRUTAS DE TOLANTONGO	21
II.3. CONDICIONES FÍSICAS	27
II.3.1. GEOLOGÍA	27
II.3.2. GEOMORFOLOGÍA	32
II.3.3. HIDROGRAFÍA	39
II.3.4. CLIMA	40
II.3.5. EDAFOLOGÍA	47
II.3.6. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	49
II.4. ASPECTOS SOCIALES	57
II.4.1. DINÁMICA DEMOGRÁFICA	60





II.4.2. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN	62
II.4.3. ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN	64
II.5. LA ACTIVIDAD TURÍSTICA EN LA ZONA DE ESTUDIO	65
CAPÍTULO III. CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS	71
III.1. METODOLOGÍA	71
A) TRABAJO DE GABINETE	71
B) TRABAJO DE CAMPO.....	74
III.2. TASA DE CAMBIO	74
III.3. ZONAS SUSCEPTIBLES A LA EROSIÓN	83
III.3.1. EROSIÓN ACTUAL.....	83
III.3.2. ZONAS SUSCEPTIBLES	88
III.4. RELACIÓN CAMBIO DE USO DE SUELO Y EROSIÓN	97
III.4.I. ANÁLISIS FODA	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
CARTOGRAFÍA UTILIZADA.....	110





ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1. TOPOGRAFÍA.....	23
MAPA 2. GRUTAS DE TOLANTONGO.....	25
MAPA 3. GEOLOGÍA.....	33
MAPA 4. GEOMORFOLOGÍA.....	41
MAPA 5. HIDROGRAFIA.....	43
MAPA 6. CLIMA.....	45
MAPA 7. EDAFOLOGÍA.....	51
MAPA 8. VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO 2007.....	55
MAPA 9. VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO 1976.....	77
MAPA 10. CAMBIO DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO 1976-2007.....	81
MAPA 11. EROSIÓN ACTUAL.....	85
MAPA 12. EROSIÓN POTENCIAL.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CATEGORÍAS DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO EN LA ZONA EN ESTUDIO.....	49
TABLA 2. LOCALIDADES QUE INTEGRAN LA ZONA EN ESTUDIO.....	63
TABLA 3. TASA DE CAMBIO 1976-2007.....	80





TABLA 4. SUPERFICIE Y PORCENTAJE DE CAMBIO SEGÚN TIPO DE CAMBIO DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN.....	80
TABLA 5. CRITERIOS Y PONDERACIÓN QUE INTERVIENEN EN LA GENERACIÓN DEL PROCESO ESTUDIADO.....	89
TABLA 6. RECLASIFICACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE CADA ELEMENTO CARTOGRÁFICO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS MULTICRITERIO.....	92
TABLA 7. RELACIÓN CAMBIO DE USO DE SUELO-EROSIÓN.....	98

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. DINÁMICA DE LA POBLACIÓN EN EL MUNICIPIO DE CARDONAL, HGO. 1990-2010.....	60
GRÁFICA 2. CRECIMIENTO HISTÓRICO DE LA POBLACIÓN EN LA LOCALIDAD GRUTAS DE TOLANTONGO, 1990-2010.....	61
GRÁFICA 3. TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN ENTRE LA LOCALIDAD DE GRUTAS DE TOLANTONGO Y EL MUNICIPIO DE CARDONAL, 1990-2010.....	63
GRÁFICA 4. PIRÁMIDE DE POBLACIÓN, CARDONAL, 2010.....	65

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. ESTRATOS MASIVOS DE LUTITA Y CALIZA.....	29
IMAGEN 2. ESCARPE TECTÓNICO.....	30





IMAGEN 3. BLOQUES CUBIERTOS DE TRAVERTINO, PRODUCTO DE PROCESOS HIDROTERMALES.....	31
IMAGEN 4. TERRAZA ALUVIAL PRODUCTO DE PROCESOS TORRENCIALES.....	31
IMAGEN 5. MONTAÑAS PRODUCTO DEL PLEGAMIENTO DE ROCAS SEDIMENTARIAS.....	35
IMAGEN 6. ESCARPES ACTIVOS POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA DE CAÍDA DE ESCOMBROS.....	37
IMAGEN 7. TERRAZAS FLUVIALES DEL CAUCE.....	38
IMAGEN 8. MAYOR DENSIDAD DE VEGETACIÓN ASOCIADA A CONDICIONES DE HUMEDAD.....	54
IMAGEN 9. IMAGEN DE SATÉLITE EN DONDE SE MUESTRA LA DISTANCIA EN CARRETERA, GRUTAS DE TOLANTONGO-PACHUCA DE SOTO.....	59
IMAGEN 10. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DENTRO DE LA CUENCA.....	64
IMAGEN 11. ZONA DE ACAMPADO Y POZAS.....	67
IMAGEN 12. VISTA FRONTAL DEL HOTEL.....	69
IMAGEN 13. VISTA DE UNA DE LAS ALBERCAS.....	70
IMAGEN 14. DESARROLLO DE EROSIÓN LAMINAR QUE TIENE A CONCENTRARSE EN LA PARTE BAJA DE LOS CORREDORES, EN ÁREAS CON MENOR DENSIDAD DE VEGETACIÓN.....	87
IMAGEN 15. LADERAS SUSCEPTIBLES A EROSIÓN, NO OBSTANTE, LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN.....	96





ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PRINCIPALES FORMAS MORFOGENÉTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO TOLANTONGO.....	36
FIGURA 2. CAPAS DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS MULTICRITERIO DE LA EROSIÓN LAMINAR.....	91





INTRODUCCIÓN

El proyecto de tesis que se presenta, representa un ejercicio de análisis geográfico que permite integrar tanto variables ambientales como sociales al estudio de un territorio que en los últimos años ha cobrado importancia turística para el estado de Hidalgo; así, este proyecto tuvo el objetivo de analizar los cambios de uso de suelo y su relación con los procesos erosivos en la sección sur de la subcuenca del Río Amajac, en la cual se localiza el Río Tolantongo y el parque recreativo, Grutas de Tolantongo.

Está estructurado en tres capítulos, el primero de cuales señala el marco conceptual que se utilizó en el desarrollo del análisis de cambio de uso del suelo y su relación con la erosión. El segundo capítulo presenta la descripción tanto física como social de la zona en estudio, al mismo tiempo que se señala el desarrollo histórico de la misma; por su parte en el capítulo tres se analizan los procesos de cambio de uso de suelo en un periodo de 30 años y se establece el grado de erosión que se presenta en esta sección de la subcuenca, relacionando ambos aspectos y elaborando una análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, para posteriormente, en la sección de conclusiones señalar líneas de análisis necesarias y recomendaciones que de seguirse mejorarían y frenarían el deterioro al que está expuesto este territorio. Durante el trabajo, se pone énfasis en las características del parque recreativo Grutas de Tolantongo dada su importancia uno de los ejes sociales y económicos de la región.

El área de estudio Grutas de Tolantongo, es un espacio creado para ofrecer actividades turísticas debido a que posee recursos naturales que son aprovechados para ese fin, tales como las formas kársticas (grutas), aguas termales y la belleza escénica del lugar; y que es administrado por los habitantes del Ejido San Cristóbal Tolantongo, constituidos en una cooperativa.

La creciente demanda por parte de los turistas ha generado la necesidad de acondicionar el espacio, con la finalidad de ofrecer mejores servicios que cubran el





tipo de actividades que los visitantes requieren. Debido a lo anterior, estos cambios han propiciado una serie de transformaciones en los componentes biofísicos, que derivan en la intensificación de problemáticas ambientales.

Cabe señalar que estas modificaciones no se concentran sólo en la zona que ocupa el parque recreativo, sino que se dan otras debido a que se requieren recursos para satisfacer necesidades relacionadas con el funcionamiento del lugar, tales como productos maderables para combustible.

De esta forma, la actividad turística ha generado cambios de uso de suelo en la zona de estudio que, asociada a las características ambientales, propicia la intensificación de procesos como la erosión, la cual va degradando el lugar y originan condiciones para el desarrollo de fenómenos perturbadores. De esta forma, el correcto aprovechamiento y manejo de los recursos naturales en un territorio determinado, constituye un eje que coadyuva en alcanzar mejores condiciones de vida para los pobladores del lugar, así como en incrementar el grado de desarrollo económico.

Por otra parte, el mantener la dinámica natural en la zona evita que ocurran procesos que degradan el territorio, así como aquellos considerados como peligrosos para los habitantes, actividades económicas y ecosistemas.

La investigación tiene como finalidad establecer la relación entre el cambio de uso de suelo y el incremento de zonas erosionadas; asimismo, se definen las áreas que por sus características biofísicas son susceptibles a la denudación. Para esto se tomó como unidad de análisis territorial la porción sur de la subcuenca del Río Amajac, dado que la información cartográfica con la que actualmente se cuenta está a escala 1:50,000 y 1:250,000, por lo que el detalle cartográfico se restringe a esta escala, sin embargo, para analizar más a detalle el Parque Grutas de Tolantongo se realizó trabajo de campo, con el cual se obtuvo una descripción más detallada de los procesos erosivos y de cambio de uso de suelo en esta sección de la subcuenca.





Se estableció que las transformaciones espaciales, reflejadas en cambios de uso de suelo, son producto de la construcción de infraestructura turística en el caso del parque recreativo Grutas de Tolantongo así como el aprovechamiento de otros recursos en la Subcuenca del Río Amajac, lo que constituyen factores que intensifican los procesos erosivos.

Fue elaborada la cartografía base y temática correspondiente, considerando como base la escala 1:50,000 (cartografía base de INEGI); sin embargo, la representación cartográfica de los resultados y su respectiva edición es presentada a escala 1:80,000, escala en la cual se puede observar la zona en estudio de manera completa a tamaño doble carta; cabe aclarar que los archivos digitales de los mapas elaborados, presentan un detalle escala 1:50,000. La erosión por su parte, fue analizada mediante el método multicriterio, definiendo así, las áreas susceptibles a la erosión y las zonas actuales erosionadas. Un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) es realizado para analizar detalles particulares de la zona en estudio y con ello ofrecer una visión más amplia de la dinámica a la que está expuesto dicho lugar. Finalmente también se identificaron las actividades turísticas que generan e intensifican los procesos erosivos en las Grutas de Tolantongo, Hidalgo, y se proponen medidas encaminadas a atenuar los efectos de la erosión.







CAPÍTULO I.- CONCEPTOS GENERALES

I.1. CAMBIO DE USO DE SUELO

Los cambios de uso de suelo y vegetación figuran dentro de las primeras causas del cambio climático, ya que contribuyen de manera significativa a procesos como el aumento de gas de efecto invernadero en la atmósfera, el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad o, bien, la erosión de suelos.

El cambio de uso del suelo y vegetación y en general, las transformaciones de los tipos de cobertura del terreno, es consecuencia de la interacción de las actividades humanas con el medio natural. Dichos cambios muestran el impacto de las actividades económicas y el desarrollo de las comunidades humanas sobre el territorio y sus recursos y permiten identificar problemas relativos a la sustentabilidad de las actividades humanas. La identificación espacial y la cuantificación de los cambios contribuyen a la caracterización del territorio y ubicación de áreas que son prioritarias para, en su caso, tomar las medidas necesarias y mejorar la calidad de vida de la población (Palacio et al., 2004).

Bajo esta perspectiva, el monitoreo espacial como temporal de los cambios, cumple con la finalidad de generar información que permite entender procesos socio-económicos y ambientales. Actualmente, este monitoreo y las evaluaciones de los cambios parten de bases de datos derivadas de procesos de teledetección (fotografías aéreas e imágenes de satélite), siendo los procesos más comunes de análisis, la comparación de mapas de diferentes fechas obtenidos de manera independiente.

El enfoque, descrito en el párrafo anterior, consiste en sobreponer, en un Sistema de Información Geográfica (SIG), mapas de fechas diferentes para identificar cambios ocurridos durante el periodo observado; con base en estas comparaciones se obtiene un mapa de cambio, del cual se derivan estadísticas de las transformaciones ocurridas, tales como su superficie, promedio anual o de sus tasas (Mas y Quiroz, 2008).





En el caso de la México, la evaluación del cambio de uso de suelo se ha realizado principalmente a partir de fuentes de información cartográfica de INEGI serie I (1980, fecha de publicación) y serie II (1986), y los inventarios forestales de 1994 y 2000, todos ellos elaborados en escala 1:250 000. Estas bases de datos han permitido evaluar las condiciones en las cuales se encuentran los recursos forestales del país, y aunque a escalas diversas y un nivel de detalle medio, se han homogeneizado para tener resultados más acordes con la realidad del país.

Cabe destacar que en la zona de estudio, al tener dentro de ella un espacio destinado a la actividad turística, se ejerce una presión antrópica sobre el medio que se ve reflejada en el aumento de los procesos erosivos.

La actividad turística en cualquiera de sus modalidades (sol y playa, ecoturismo, de aventura, deportivo, entre otros) define espacios delimitados, destinados a un determinado tipo de consumo, y tiene como finalidad la satisfacción de las necesidades demandadas por el sector de la población que hará uso de esos espacios (Moisés, 2002). En este establecimiento de espacios existe al mismo tiempo una apropiación del mismo; ya sea en la creación de nueva infraestructura y equipamientos o convirtiéndolo en un espacio donde se intensifican los procesos de origen natural ahí presentes.

De manera general, la actividad turística se puede desarrollar en dos tipos de espacios: aquellos que explotan las condiciones naturales o paisajísticas y/o los lugares que poseen características del tipo histórico (Moisés, 2002).

Respecto al turismo que explota el paisaje, Palacio (1986) menciona "...juega el paisaje un papel de gran importancia en la recreación. Dicha importancia se refleja en el creciente número de áreas destinadas a esos fines, sean parques nacionales, monumentos naturales, parques ecológicos, entre otros, que surgen como resultado de las demandas de zonas de esparcimiento por parte de la población. La necesidad de la recreación ha planteado el problema de la elección de lugares idóneos en donde





los aspectos socioeconómicos, como la preferencia de la población o los diferentes intereses que existen sobre un área dada, constituyen puntos prioritarios...”.

El turismo al ser un proceso de producción, transformación y consumo de espacios, en especial de aquéllos relacionados con la naturaleza, representa un proceso intenso y continuo. Las transformaciones se centran en la creación de infraestructura (hoteles, restaurantes, vías de comunicación) y equipamientos, que conlleva a que se generen diversas problemáticas ambientales y una alteración en los ecosistemas.

Moisés (2002), señala que al producirse un espacio para ser consumido como lugar turístico, se destruyen al mismo tiempo las condiciones que dieron origen a esa “mercancía”, tanto por la industria como por los servicios; así, el consumo colectivo de la naturaleza es al mismo tiempo una destrucción colectiva de la misma.

Cabe señalar, que no todos los espacios destinados a la actividad turística se generan bajo las mismas condiciones, debido a que los recursos que se ofrecen como turismo (ya sea de tipo natural o histórico–cultural) no son iguales. Por otro lado, las relaciones sociales existentes en estos espacios son distintas debido a que en la mayoría de los casos, son el resultado de procesos de carácter histórico.

En algunos casos, la evolución de las áreas turísticas está en función de la demanda de sus usuarios, lo cual puede propiciar que no se lleve a cabo el turismo como se había planeado, creando problemas ambientales.

En este contexto, la transformación de espacios para fines turísticos acarrea consigo diversas problemáticas; para fines de este trabajo, se señalan las razones por las cuales el turismo realizado en las Grutas de Tolantongo, Hidalgo, se puede convertir en una problemática de carácter ambiental al intensificar los procesos erosivos.

I.2. EROSIÓN

Constituye un proceso natural de carácter exógeno, que forma parte del reciclaje constante de los materiales de la Tierra (ciclo de las rocas), mediante agentes como





el agua y el viento, los cuales mueven los componentes del suelo de un lugar a otro (Tarbuck y Kutgens, 1999).

Con base en lo anterior, en el ámbito geomorfológico la interacción entre los materiales que constituyen las estructuras originadas por procesos endógenos (tectonismo, vulcanismo) con los agentes modeladores, influyen en la configuración del relieve existente en el territorio, originando diversas geoformas que constituyen el objeto de estudio de la geomorfología.

Como se mencionó, el agua es uno de los elementos más activos que modelan el relieve, ya sea por medio de corrientes, oleaje y hielo; denominándose como geoformas fluviales las que son producto del agua concentrada en cauces (Strahler, 1979).

De acuerdo a Pedraza (1996), los factores que controlan la intensidad de la erosión son: propiedades del flujo (régimen de caudales, velocidad y tipo de flujo), naturaleza de las litologías, clima, condiciones del subsuelo (percolación, sufusión y humedad), geometría del relieve, actividad biológica e intervención antrópica.

En función de la distribución de los elementos señalados, el proceso erosivo no solo incrementa o disminuye la intensidad, sino también influye en el tipo de denudación que se presenta.

El proceso se inicia con la presencia de lluvia, ya que las gotas golpean la superficie actuando como una pequeña bomba, haciendo estallar partículas del suelo móviles fuera de sus posiciones de la masa de suelo, lo que se denomina efecto splash (*op.cit*).

Este efecto se intensifica cuando la superficie ha sido desprovista de vegetación (*op.cit*), debido a que las gotas de lluvia golpean con mayor fuerza sobre las partículas del suelo; por otra parte, existe mayor concentración de agua que fluye en forma de escorrentía arrastrando las partículas de suelo removidas, por lo que al ser movido el suelo en finas láminas de agua, este proceso se denomina erosión laminar (*op.cit*).





El continuo flujo de agua en forma de escurrimiento genera morfología erosiva, en laderas con materiales fácilmente erodables, los microcanales desarrollan una notable incisión lineal formando acanaladuras, De proseguir su evolución, profundizan bajo la superficie estrechando los interfluvios y generan surcos, los cuales incrementan progresivamente su tamaño hasta formar redes arborescentes con surcos y acanaladuras e interfluvios afilados, denominadas cárcavas (Pedraza, 2006).

Conforme aumenta la cantidad de materiales removidos (sedimentos), el efecto erosivo del agua se intensifica debido a la carga de sedimentos que actúan como agentes abrasivos; de esta forma, la erosión vertical se realiza cuando los cursos fluviales erosionan su lecho y paredes (Gutiérrez, 2008).

El mismo autor señala que, la erosión vertical en el fondo de un cauce tiene lugar cuando se movilizan las partículas de tamaño arena y grava y éstas desgastan el lecho. Por otra parte, la denudación lateral se manifiesta cuando las paredes del canal se desgastan, normalmente por la socavación que sufren, lo que conduce a la generación de deslizamientos o caída de paneles de las paredes, trayendo consigo el ensanchamiento del cauce.

Este proceso es responsable de la pérdida global de tierras, cerca de 440 millones de ha, en Asia; 227 millones en África; 123 millones en América del Sur; 115 millones en Europa y 106 en América del Norte y América Central (Bifani, 1984). En México es un problema ambiental que afecta a gran parte del territorio nacional (16 millones de hectáreas), en diferentes grados de severidad y está íntimamente relacionado con el cambio de uso de suelo.

Según Lugo (2011), la erosión es un conjunto de procesos por medio de los cuales se produce la separación de productos de intemperismo en el sustrato original o de los depósitos clásticos o exógenos sin consolidación. La erosión puede ser planar o lineal, en el primer caso el transporte es en distancias reducidas y en general no sigue una dirección fija; en el segundo caso, se refiere a una remoción o transporte en una dirección fija en una superficie delimitada. Los agentes principales de la erosión son





el agua superficial (arroyos, ríos), el hielo, el viento, el agua subterránea (karst), las olas en lagos y mar, organismos, y en los últimos milenios el hombre. La gravedad es un proceso fundamental que controla los procesos erosivos. La intensidad con la que éstos actúen depende de factores como la topografía, clima, litología, estructura geológica, tectonismo o cobertura vegetal.

De esta forma, la erosión consiste en un conjunto de procesos de tipo hídrico, eólico, cárstico, marino o glacial, que movilizan las partículas que constituyen al relieve terrestre en una forma de desgaste de materiales y que provoca remoción paulatina de suelo o roca.

Actualmente, la importancia que este fenómeno tiene, lo ha llevado a ser considerado como un peligro de origen natural por parte de instituciones como la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 2012), pues pese a que no constituye un peligro para la población en un sentido estricto y no considerarse como un peligro geológico por parte de Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), sí es importante considerarlo como un agente desencadenante de otros fenómenos, como deslizamientos, derrumbes y hundimientos (García, *et al.*, 1995; Gracia y Domínguez, 1998).





CAPÍTULO II.- CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

II. 1. ANTECEDENTES

La subcuenca del Río Amajac es un espacio localizado en el Estado de Hidalgo, perteneciente al Valle de Mezquital, el cual tiene dentro de sus características poseer una de los centros recreativos más singulares de México, las Grutas de Tolantongo, localizadas a su vez en el Ejido de San Cristóbal Tolantongo, municipio de Cardonal, Hidalgo. Dicho espacio ha sido analizado desde diferentes perspectivas, como la geomorfología (Palacio, 1986) y la vegetación (Hiriart y González, 1983) y ha sido objeto de tesis en artes visuales “Tolantongo: más allá de la nube estéril” de Lugo Arteaga, (1996), al ser un espacio con escenarios estéticos y agradable a los visitantes.

Los habitantes del Ejido de San Cristóbal Tolantongo, son descendientes de Otomíes, e históricamente han sufrido las consecuencias de una desigualdad social y económica (Orozco, 1991). Pese a ello, mediante la ocurrencia de distintos eventos histórico – sociales en la evolución del ejido de San Cristóbal Tolantongo, los habitantes han realizado cambios en su organización que les ha llevado a generar alternativas que mejoren sus condiciones de vida.

Resultado de lo anterior y tratando de aprovechar el recurso natural de carácter escénico con el que cuenta dentro de sus límites geográficos, las autoridades ejidales y vecinos del lugar presentaron un oficio con fecha de agosto de 1980, donde solicitaron a la Escuela Nacional de Arquitectura Autogobierno, asesoría técnica en la construcción de un centro turístico ubicado en las grutas, considerando que la implementación del centro en esta zona traería beneficios para la población del lugar.

A partir de entonces, las Grutas de Tolantongo han sido un espacio destinado al desarrollo de actividades recreativas, sujeto a cambios en el uso del suelo y, por ende, a la intensificación de procesos erosivos.





Hasta 1930 existió la ranchería de la hacienda Santa Rosa la Florida, fechada el 6 de agosto de 1934 y el ejido fue dotado legalmente de acuerdo con la Resolución Presidencial (RP), publicada en el Diario Oficial (DO) del 10 de noviembre de 1934 con una superficie de 1,490.80 ha, mismas que fueron distribuidas según (Orozco, 1991), como siguen:

1068.48 ha de terreno cerril improductivo
7.80 ha destinadas para agricultura de riego
13.80 ha para agricultura de temporal de baja calidad
400.00 ha de agostadero

Pero debido al incremento poblacional (Orozco, 1991) los terrenos otorgados resultaron insuficientes para satisfacer sus requerimientos económicos (Alva, 1982), por lo que se hizo necesario solicitar una ampliación de la superficie ejidal.

Con la Resolución Presidencial con fecha 24 de marzo de 1954, publicada en el DOF del 28 de mayo de 1954, se otorgó al poblado, una superficie de 2,000 ha tomadas de la hacienda Santa Rosa la Florida, terreno que se destinó para usos colectivos de los 33 campesinos capacitados (Alva, 1982).

El 20 de abril de 1957, los vecinos del poblado solicitaron al gobernador del Estado la segunda ampliación del ejido por no ser suficientes las tierras con las que se contaban para la satisfacción de sus necesidades; ello culminó con el 29 octubre de 1961 (publicación en el DO el 18 de enero de 1963), en donde se concedió como segunda ampliación del ejido, una superficie total de 892 ha las cuales fueron tomadas de la misma hacienda y fueron destinadas para los usos colectivos de 28 capacitados, que arrojó el censo, quedando a salvo sus derechos.

Desde su nacimiento, comenta Alva (1982), el ejido ha incrementado sus tierras laborales fértiles, lo cual ha motivado a los campesinos del lugar a buscar alternativas que les permitan suplir las deficiencias de sus terrenos por otros medios y solventar las más urgentes necesidades económicas de su población.





Por otra parte, y de acuerdo con Orozco (1982), bajo la estructura de la distribución de la tierra de tipo latifundista se buscó en la minería un incentivo para elevar las condiciones de vida de la población, por lo que esta actividad fue el eje principal del desarrollo poblacional. Sin embargo, el desconocimiento de métodos y técnicas adecuadas provocó el deterioro ecológico: se llevó a cabo la tala irracional de bosques para favorecer las obras mineras, porque producían grandes cantidades de desperdicios, que cubrieron extensas zonas del valle, lo que afectó a la agricultura, ya de por sí empobrecida, tanto extensiva como intensiva.

El mismo autor señala que al agotarse los recursos mineros se eliminó la principal fuente de trabajo, razón por la que los pobladores intentaron reacomodarse en otras actividades económicas, pero dicha fuerza de trabajo superó por mucho los requerimientos de la agricultura, lo que determina un fuerte descenso en las condiciones de vida poblacional, así como una emigración desusada de parte de los agricultores. Cabe aclarar que los que se quedaron se unificaron constituyendo comunidades ejidales como la de San Cristóbal, a la cual pertenecen las grutas de Tolantongo.

II.2. LOCALIZACIÓN DE LAS GRUTAS DE TOLANTONGO

El área de estudio corresponde al curso medio, sección sur de la subcuenca del Río Amajac lo anterior se debe a que se consideró esta porción como el área de influencia del parque recreativo, dado que representa la zona de captación hídrica del río y que por sus características geomorfológicas de valle en forma de "V", representa un espacio ideal para llevar a cabo la actividad turística.

Específicamente, la zona recreativa Grutas de Tolantongo se localiza a 19 km del pueblo El Cardonal y a 17 km al noreste del municipio de Ixmiquilpan si se sigue la carretera estatal número 27, en el estado de Hidalgo. Sus coordenadas extremas son: 20° 39' 16" y 20° 38' 51" de latitud Norte; 99° 00' 22" y 98° 59' 50" de longitud Oeste (**Mapas 1 y 2**).





Etimológicamente Tolantongo significa "*Lugar donde hay sol y agua caliente*" (de: *Tona -Haber sol o hay sol, Atoton -Agua caliente y, Co -Lugar*). Representa uno de los mayores atractivos naturales del Estado de Hidalgo, donde se puede practicar el senderismo, rappel y la espeleología.

El camino para llegar a las grutas se conforma de un paisaje árido donde abundan las cactáceas y, por tramos, es invadido por bancos de neblina según la época del año (en el fondo del valle se creó un micro-clima tropical) y en un clima predominantemente seco, en donde la única vegetación es de cactus y algunos arbustos. Las grutas se presentan como un oasis en medio del desierto, limitando entre montes y peñas.

Con relación a los atractivos turísticos, las grutas se componen de diversas bóvedas en donde es factible descender en rappel, ya que muchas de ellas terminan en ríos subterráneos someros. Sin embargo, constituye una hazaña el descenso porque sus paredes son húmedas. Las primeras bóvedas llegan a medir 35 metros de profundidad y van aumentando conforme se adentra en ellas, mientras que la temperatura y la potencia del agua van cambiando, así, entre más hondo, más calientes y rápidas son.

El agua de manantial de aguas termales se mezcla con agua fría formando pozas en las que se puede disfrutar de un baño. Todo esto viene acompañado de una gran colección de estalactitas y estalagmitas que se han formado a lo largo de miles de años.



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

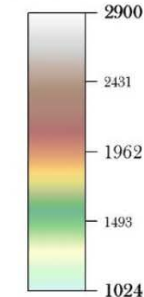
MAPA 1. TOPOGRAFÍA

Simbología

Modelo Digital de Elevación

Altitud

(Metros sobre el nivel medio del mar)



Fuente: IBERGI. Conjunto vectorial escala 1:50,000.

Signos convencionales

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Límites | Relieve |
| □ Zona de estudio | ~ Curva de nivel |
| ⋯ Municipio | Vías de comunicación |
| • Localidad | — Carretera pavimentada |
| Rasgos hidrográficos | — Terracería |
| — Río intermitente | — Brecha |
| — Río perenne | — Vereda |

ESCALA 1:80,000



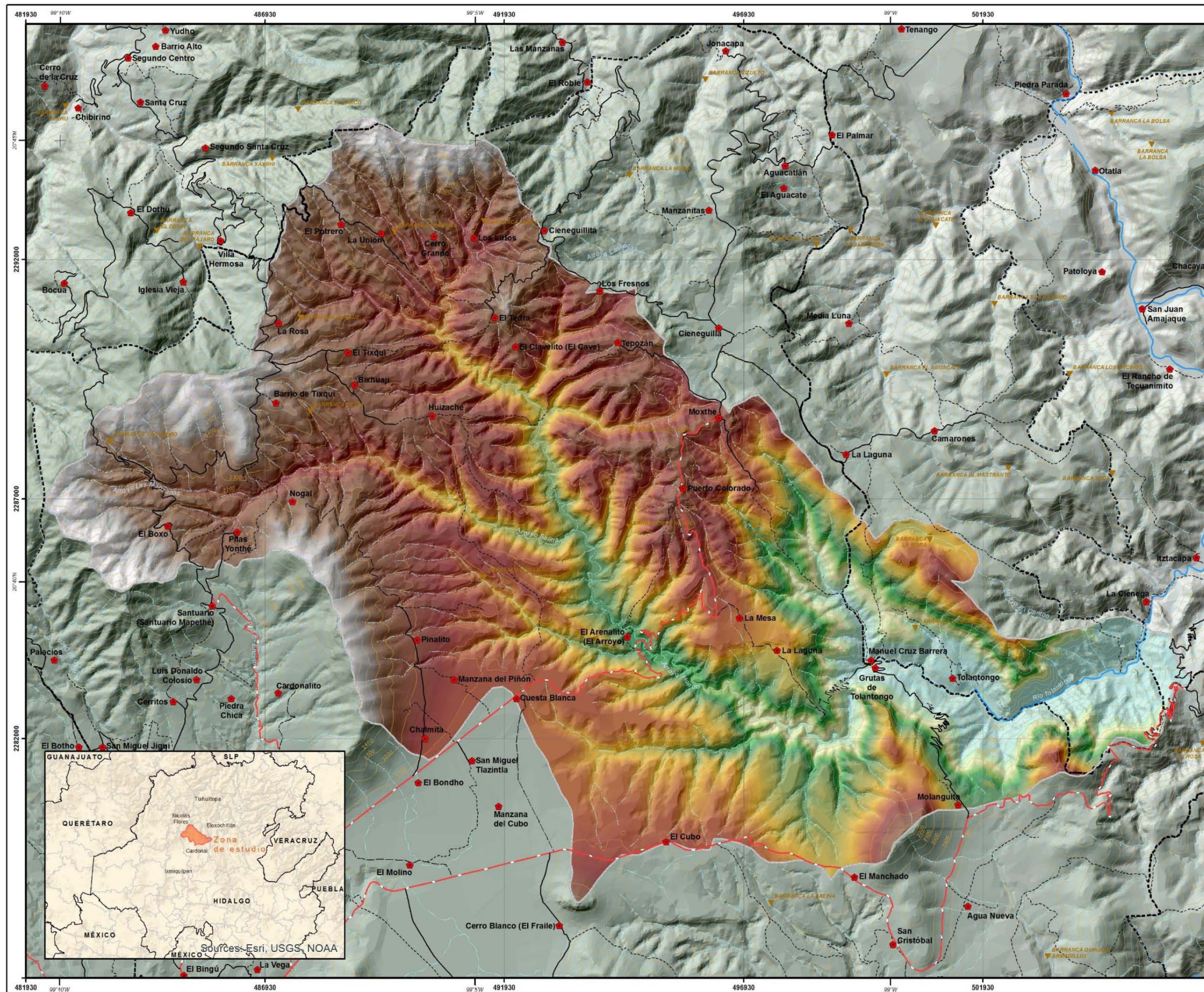
Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO

ASESOR
 MTR. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES

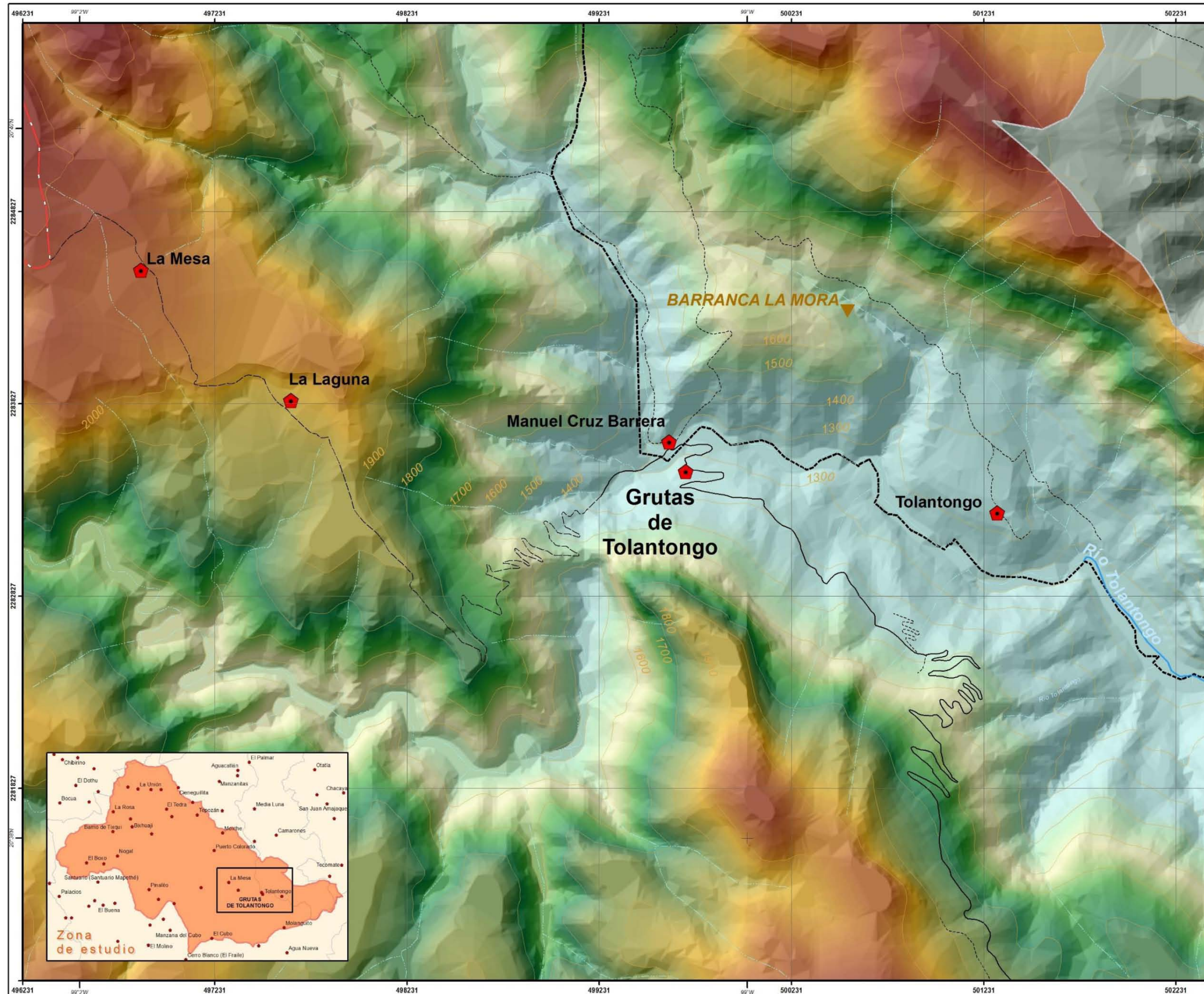
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 2. GRUTAS DE TOLANTONGO

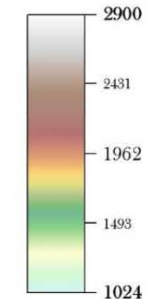


Simbología

Modelo Digital de Elevación

Altitud

(Metros sobre el nivel medio del mar)

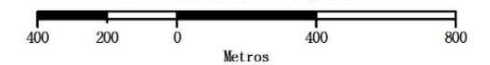


Fuente: INEGI. Conjunto vectorial escala 1:50,000.

Signos convencionales

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Límites | Relieve |
| □ Zona de estudio | ~ Curva de nivel |
| ⋯ Municipio | Vías de comunicación |
| • Localidad | — Carretera pavimentada |
| Rasgos hidrográficos | — Terracería |
| — Río intermitente | — Brecha |
| — Río perenne | — Vereda |

ESCALA 1:20,000



Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO

ASESOR
 MRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





La margen derecha del río, donde se encuentra la terraza fluvial, ha sido destinada para campamento; asimismo, hay un conjunto de habitaciones, baños y regaderas que ofrecen comodidad al visitante. También existen puestos de comida, abiertos al público los fines de semana y periodos vacacionales (es importante señalar que en esta parte del río los ejidatarios han construido un dique debido a los depósitos de aluvión depositados por el río). El curso bajo del río lo constituye un banco aluvial en años anteriores se llegó a cultivar plátano, papaya, durazno, zapote y aguacate; actualmente esas zonas han sido modificadas para dar paso a áreas de campismo.

II.3. CONDICIONES FÍSICAS

Las características del medio natural permiten determinar las relaciones ambientales que un territorio presenta, por lo que la interacción de cada uno de los elementos del medio físico define la actual estructura en la zona de estudio. Estas mismas interrelaciones, así como modificaciones realizadas por la acción antrópica, derivan en la pérdida de calidad ambiental y la degradación del paisaje.

II.3.1. GEOLOGÍA

La geología de la zona de estudio es importante por la correlación existente entre el cambio de uso de suelo y la litología, pues las modificaciones exógenas tienen influencia en otros procesos subterráneos, ya que el desgaste del material parental por la actividad erosiva puede generar modificaciones en la infiltración, saturando los estratos inferiores y modificando sus propiedades. Esto ocasiona micro-cambios en la distribución de las capas internas, disyunción entre contactos litológicos, creación de corrientes subterráneas de mayor volumen, entre otros.

Complementando un círculo correlacional, los cambios en la dinámica interna se pueden reflejar en la superficie a través de procesos modeladores de carácter local, por ejemplo, la reptación (creep), hundimientos o inclusive cambios geométricos externos que pueden dar lugar a procesos más complejos como deslizamientos. De





tal forma se reconocen la génesis, propiedades y otras características hidráulicas del sustrato rocoso en la zona de estudio.

Las rocas sedimentarias presentes tienen un origen marino, son de un ambiente de paleocuenca y están asociadas a la Orogenia Laramide. Entre el Jurásico Tardío y el Cretácico, una considerable porción oriental del actual territorio mexicano permaneció sumergida, entre las entonces plataforma de Tamaulipas y la península de Oaxaca (López-Ramos, 1982).

Debido a esfuerzos tectónicos de carácter macro-compresivos se dio inicio a levantamientos tectónicos, evento que aumentó en 100% la extensión del territorio nacional, el cual inició a fines del Mesozoico y se prolongó en el oriente del país hasta el Eoceno inferior.

La secuencia estratigráfica de la cuenca del Golfo de México fue deformada estructuralmente por los esfuerzos comprensivos de este movimiento orogénico con convergencia hacia el norte-noreste. Las formaciones que se remontan al periodo Cretácico consisten esencialmente en calizas compactas, con fósiles poco abundantes y esquistos calcáreos y calcáreo-arcillosos, que alternan con lutitas, areniscas y conglomerados (López-Ramos, 1979; Yáñez y García, 1982; Ortega-Gutiérrez, 1992; Aguayo-Camargo, 2005).

Las formaciones de rocas sedimentarias que datan del Cretácico superior se caracterizan por ser frecuentemente discordantes entre sí, con predominio de intercalación de rocas de caliza y lutita, con presencia de capas bien definidas. Estas muestran el mayor espesor de las formaciones sedimentarias, pero son las menos resistentes a la erosión (Congreso Geológico Internacional, 1956; López-Ramos, 1979; López-Ramos, 1982).

Desde el punto de vista geológico se reconocen tres diferentes unidades geológicas: la primera corresponde a rocas sedimentarias químicas y clásticas, con edades del Cretácico superior y corresponden a calizas interestratificadas con lutitas (**Imagen 1**).





Son las de mayor distribución en términos espaciales en la zona de estudio; se localizan sobre la margen fluvial oeste, donde se aprecian estratos de roca caliza, con buzamientos cercanos a los 80° y en la zona cercana a la gruta sobre la margen este.



Imagen 1. Estratos masivos de lutita y caliza.

En los márgenes sureste, suroeste y sur de ésta unidad se asientan rocas calizas en formas elongadas, que se caracterizan por estar estratificadas en delgados horizontes con una notable presencia de arcillas. Estas formaciones se dieron en ambientes de transgresión marina durante el Terciario temprano (López-Ramos, 1982), compuesta por bloques de hasta 3 m de diámetro semirredondeados, bien cementados y recubiertos con carbonatos de calcio (travertino), que atestiguan una actividad hidrotermal que continua hasta la actualidad y que se manifiesta en el flujo de agua caliente proveniente de la gruta.

Este tipo de roca, calizas, se manifiesta en el relieve en forma de piedemonte disectado por acción erosiva fluvial, complementado por escarpes abruptos,



superiores a los 100 metros que se localizan en la porción SW, los cuales dan forma a una cañada alrededor de las grutas (**Imagen 2**).

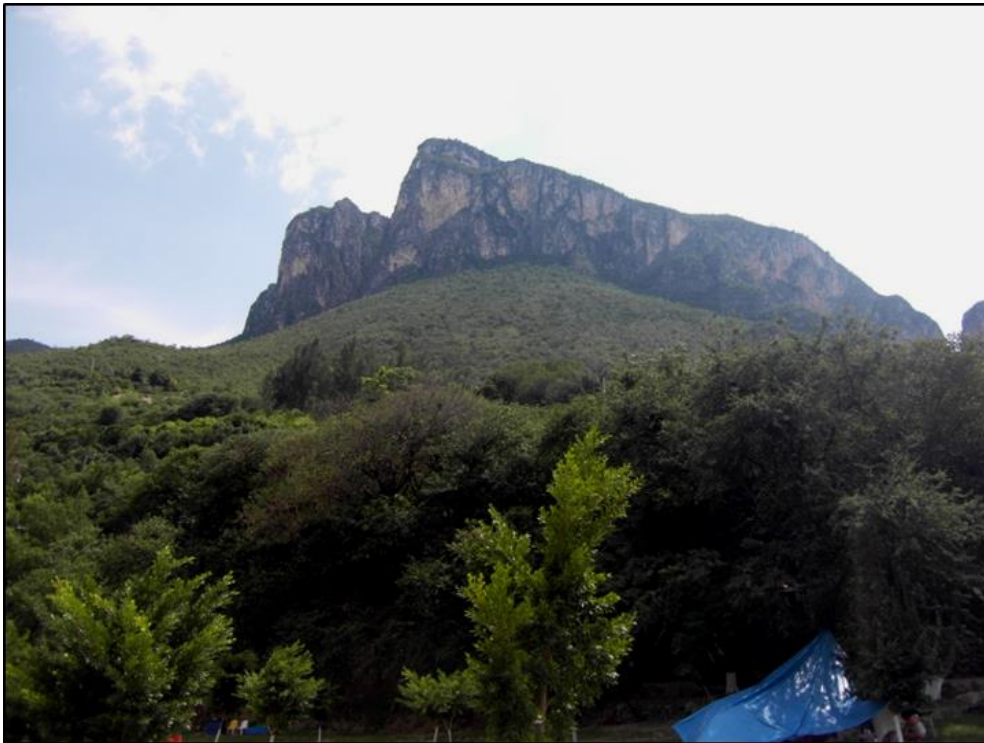


Imagen 2. Escarpe tectónico.

En superficie es posible observar bloques de travertino y caliza provenientes de esta unidad a lo largo del lecho fluvial (**Imagen 3**). Hacia el oeste existen rocas calcáreas y de areniscas con génesis similar a las anteriores. Por último, al sur existe una porción considerable de rocas sedimentarias de limonita-arenisca, las cuales se han conformado por materiales sedimentarios posteriores a la formación de las rocas calizas. Es importante señalar que la permeabilidad de las rocas sedimentarias en la región es baja (Aguayo-Camargo, 2005). La segunda unidad corresponde a depósitos aluviales recientes (Cuaternario), resultado de la actividad torrencial de agentes de transporte y producto de procesos erosivos. Se ubican en el lecho del Arroyo Seco (**Imagen 4**), zona en la cual se identifican abanicos aluviales. En la porción más baja, al oriente de la zona, los depósitos aluviales se vuelven más finos y con una consistencia homogénea, resultado de un mayor recorrido del material. Ambas acumulaciones de material se caracterizan por una permeabilidad media a alta.





Imagen 3. Bloques cubiertos de travertino, producto de procesos hidrotermales.



Imagen 4. Terraza aluvial producto de procesos torrenciales.

Finalmente, en una proporción menor, en el área de estudio hay presencia de rocas de origen ígneo, en pequeñas porciones aisladas entre sí, asociadas con el Sistema





Volcánico Mexicano. En el noreste de la zona de estudio se encuentra granodiorita, al sur se localizan rocas andesitas, separadas entre sí por rocas de calizas. Son resultado de coladas lávicas del Cuaternario. Finalmente, en el poniente existen evidencias de ignimbritas no consolidadas y susceptibles a la erosión (**Mapa 3**).

II.3.2. GEOMORFOLOGÍA

Para explicar las unidades geomorfológicas presentes en Tolantongo, se tomó como base el estudio realizado por Palacio (1986), el cual hace una caracterización geomorfológica del área destinada para uso turístico.

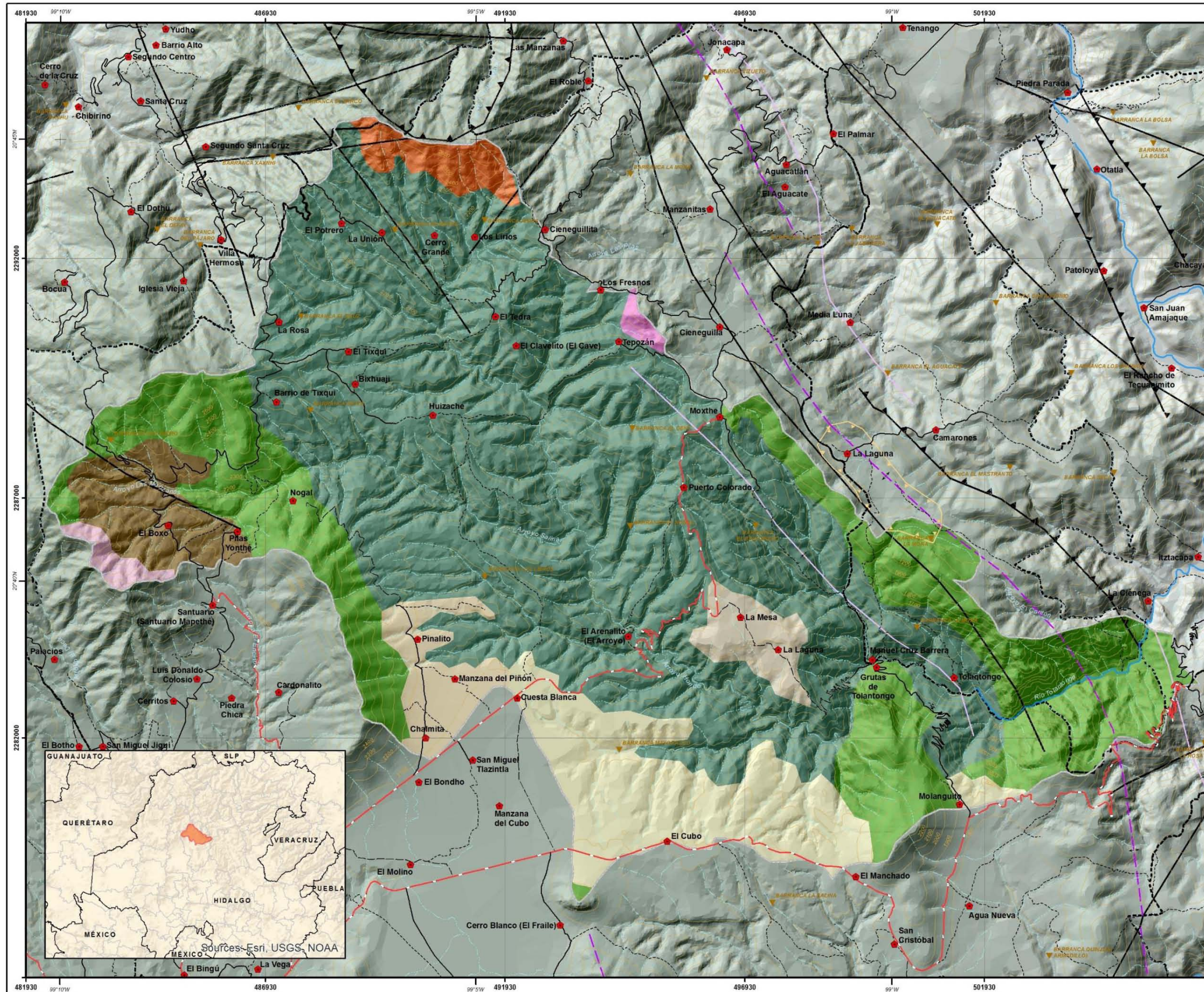
La zona de estudio se ubica dentro de la subprovincia fisiográfica de Karst Huasteco, la cual abarca porciones de los estados de San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Veracruz y Puebla. Esta subprovincia se caracteriza por ser una sierra plegada, con numerosos escarpes e intensa disección del relieve, con presencia de cañones muy bien definidos, profundos y de longitud considerable cuya formación es resultado de la actividad modeladora de diversos cauces y se constituye por rocas sedimentarias calcáreas de origen marino cubiertas por rocas ígneas, tanto terciarias como cuaternarias.

Forma parte además de la sección sur de la subcuenca del Río Amajac, la cual es cortada por profundos barrancos desarrollados sobre rocas sedimentarias fuertemente plegadas (**Imagen 5**). Las zonas sub-horizontales ubicadas en la parte centro–oriental y meridional de la cuenca constituyen remanentes de piedemontes extensos, cuyas dimensiones han sido reducidas como consecuencia de la erosión y de la presencia de procesos de remoción en masa, procesos que se han desarrollado sobre las laderas y cabecera de los barrancos antes mencionados.



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 3. GEOLOGÍA



Simbología

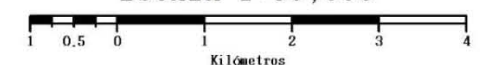
- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| CENOZOICO | MESOZOICO |
| CUATERNARIO | CRETÁCICO |
| Aluvial | Inferior |
| | Roca sedimentaria |
| TERCIARIO | Caliza |
| Neógeno | Caliza-Arenisca |
| Roca ígnea extrusiva | Caliza-Lutita |
| Andesita | |
| Toba ácida | ELEMENTOS ESTRUCTURALES |
| Roca ígnea intrusiva | Falla |
| Granodiorita | Fractura |
| Roca sedimentaria | Sinclinal |
| Arenisca-Conglomerado | Anticlinal |
| Límlita-Arenisca | Dolina |

Fuente: IREGI. Geolunto vectorial escala 1:250,000.

Signos convencionales

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Límites | Relieve |
| Zona de estudio | Curva de nivel |
| Municipio | Vías de comunicación |
| Localidad | Carretera pavimentada |
| Rasgos hidrográficos | Terracería |
| Río intermitente | Brecha |
| Río perenne | Vereda |

ESCALA 1:80,000



Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO
 ASESOR
 MTRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





Imagen 5. Montañas producto del plegamiento de rocas sedimentarias.

Las condiciones de pendiente, aunadas con las cantidades de precipitación que recibe la cuenca (con rangos que oscilan entre 700 mm y 800 mm) dan como resultado el transporte de grandes volúmenes de sedimentos finos, que en eventos extraordinarios, transporta bloques de tamaño considerable, por lo que el comportamiento de las corrientes es de tipo torrencial con un gran poder abrasivo.

Este proceso es común en la parte alta y media de la cuenca. Mientras que en la parte baja, que corresponde a la zona turística, los mecanismos de modelado que se presentan no solo son erosivos, sino acumulativos.

Un elemento determinante en la dinámica geomorfológica es la cobertura vegetal, relacionada con la actividad fluvial, ya que define áreas activas así como la intensidad de procesos erosivos. En las primeras, la vegetación es menos densa y de menor talla, dado que las inundaciones torrenciales impiden su desarrollo; en la segunda, la





vegetación densa define laderas que se encuentran exentas de la actividad fluvial torrencial.

Palacio (1986) caracterizó la zona en cuatro principales formas morfogenéticas, a partir de la parte alta a la baja de la cuenca. Utilizó como criterio la distinta manifestación de los procesos geomorfológicos (**Figura 1**).

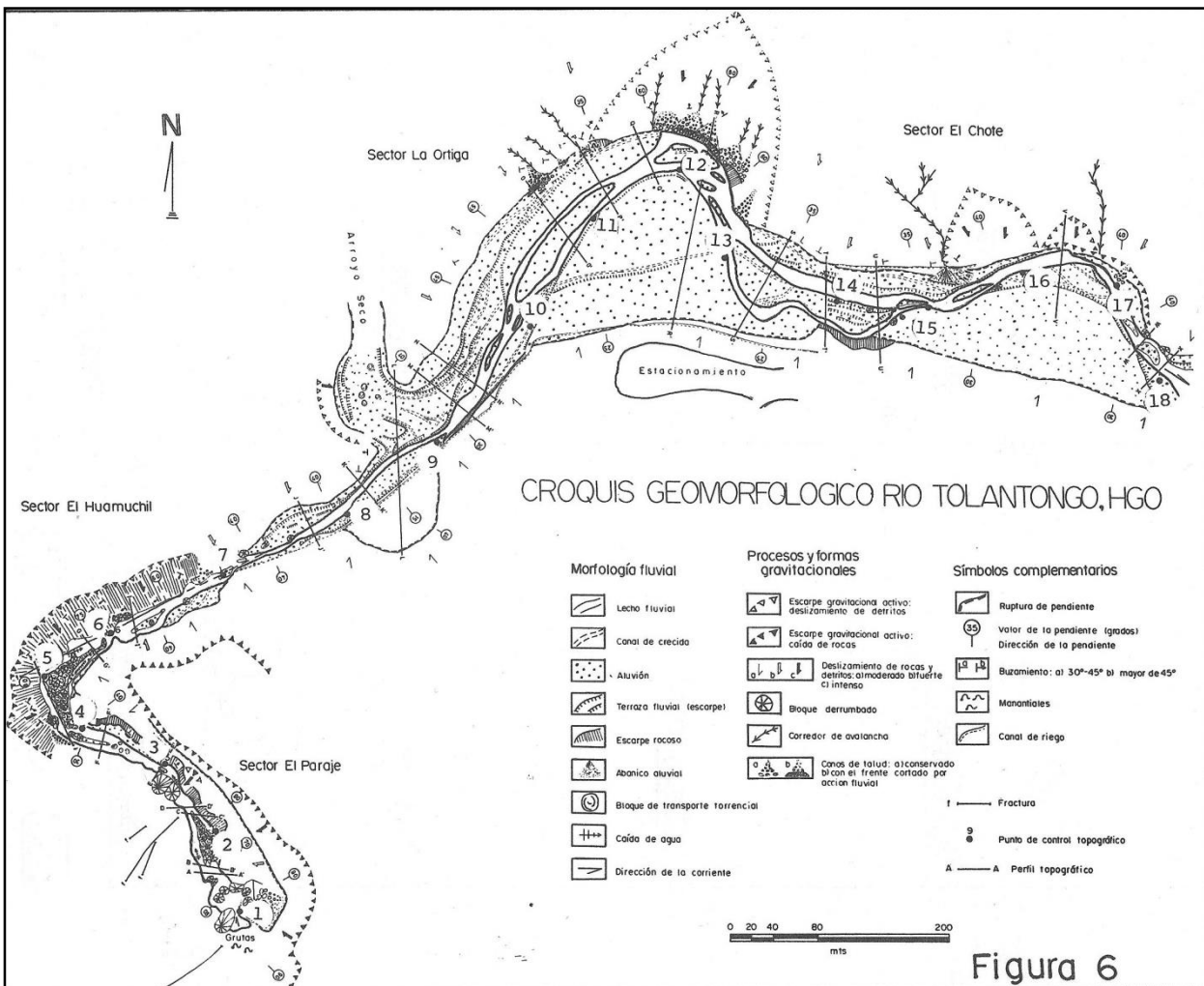


Figura 1. Principales formas morfogenéticas de la cuenca del Río Tolantongo. Tomado de Palacio, (1986).





a) Sector El Paraje

Corresponde a la parte alta de la cuenca, en donde los procesos geomorfológicos están relacionados con el desnivel topográfico y la litología, debido a que en esta zona se encuentran las laderas con pendientes más abruptas, que llegan a tener hasta 90°. Desde el punto de vista fluvial, la corriente tiende a desarrollar un trabajo erosivo vertical, por lo que no existen depósitos aluviales. Se presentan depósitos con características coluviales.

La dinámica fluvial, desencadena y/o acelera los procesos gravitacionales en las laderas, ya que el río socava de manera lateral generando inestabilidad en la misma y la consecuente caída de material. Asimismo, se localizan escarpes activos producto de erosión gravitacional en donde se observan cicatrices de antiguos derrumbes (**Imagen 6**). Otros procesos gravitacionales provienen de la unidad de rocas sedimentarias de conglomerado y travertino, producto de la infiltración que disuelve el carbonato cementante y que comienza a escurrir subsuperficialmente a lo largo de los planos de estratificación, debilitando la estructura.



Imagen 6. Escarpes activos por procesos de remoción en masa de caída de escombros.



c) Sector La Ortiga

En esta zona, las formas acumulativas alcanzan su máximo desarrollo, debido al comportamiento del río Tolantongo, se aprecian terrazas aluviales, mismas que denotan las distintas fases de crecidas del río. En el lóbulo del meandro, se presenta una margen erosiva que genera inestabilidad en el escarpe de la terraza y provoca la remoción (principalmente avalanchas de detritos y caída de material parcialmente suelto) caracterizados por la formación de coluviones de bloques y detritos (**Imagen 7**), en la parte interior del meandro se han formado terrazas aluviales producto de las crecidas del río.



Imagen 7. Terrazas fluviales del cauce.

d) Sector El Chote

En esta región se identifican condiciones semejantes al sector La Ortiga, pues las formas aluviales también poseen un amplio desarrollo, conformadas por sedimentos finos, asimismo las formas y procesos gravitacionales se encuentran relacionadas con la socavación de base de las laderas por parte del río.





Los procesos de modelado de las formas del relieve más importantes, por su frecuencia e intensidad corresponden a los fluvio- gravitacionales, en algunos casos, estos últimos desencadenados por los primeros. Dada su distribución y características, tales procesos se traducen en peligros para las actividades turísticas desarrolladas en la zona (**Mapa 4**).

II.3.3. HIDROGRAFÍA

El agua en cualquiera de sus manifestaciones tiene relaciones con el clima y la biota, el ciclo hidrológico contempla procesos de escurrimiento e infiltración, involucrados con los componentes geológicos y geomorfológicos, las condiciones del estado físico del agua, su cantidad y localización son indicativas de las características de los elementos diferenciadores, se presentan como un componente regulador de las condiciones de los otros componentes, su importancia en el contexto paisajístico global radica en permitir el mantenimiento de cualquier tipo de vida.

La zona de estudio está ubicada dentro de la Región Hidrológica del Alto Pánuco No. 26, considerada como una de las cinco regiones hidrológicas más importante del país, con una superficie de 19,973.60 Km².vertiente del Golfo de México. En el parque, el Río Tolantongo representa el atractivo principal, ya que sobre él fluyen aguas termales de tonalidad azul turquesa, mismas que son utilizadas para llenar las albercas. El color azul del agua se debe a que al correr el agua sobre la roca cálcica, la roca se va disolviendo a poco a poco en pequeñas partículas de cal que contienen sales de magnesio y algunos otros cloruros generando la tonalidad azul que lo caracteriza; la temperatura del agua es de 34°C.

Presenta en más del 95% una superficie de corrientes superficiales intermitentes, de los cuales destacan, al centro del mapa, el arroyo Salina (afluente del Río Tolantongo, de carácter perenne), el arroyo Hondo, al oeste el arroyo El Encino y El Decá; y al norte del Río Tolantongo el arroyo El Cantón (**Mapa 5**).





Siendo el agua, el principal atractivo de la zona recreativa, el arroyo Tolantongo forma parte de una compleja red de canales que vienen del interior del cerro y que se encuentran a una temperatura de 20°C, este río cuenta con algunas pozas de agua hechas por los mismo ejidatarios, modificando con ello la dinámica fluvial. Durante el curso de este río se presentan también caídas de agua, mientras que al interior de la gruta existe un manantial de aguas termales cuya temperatura aumenta conforme se penetra en la caverna (35° a 38° C).

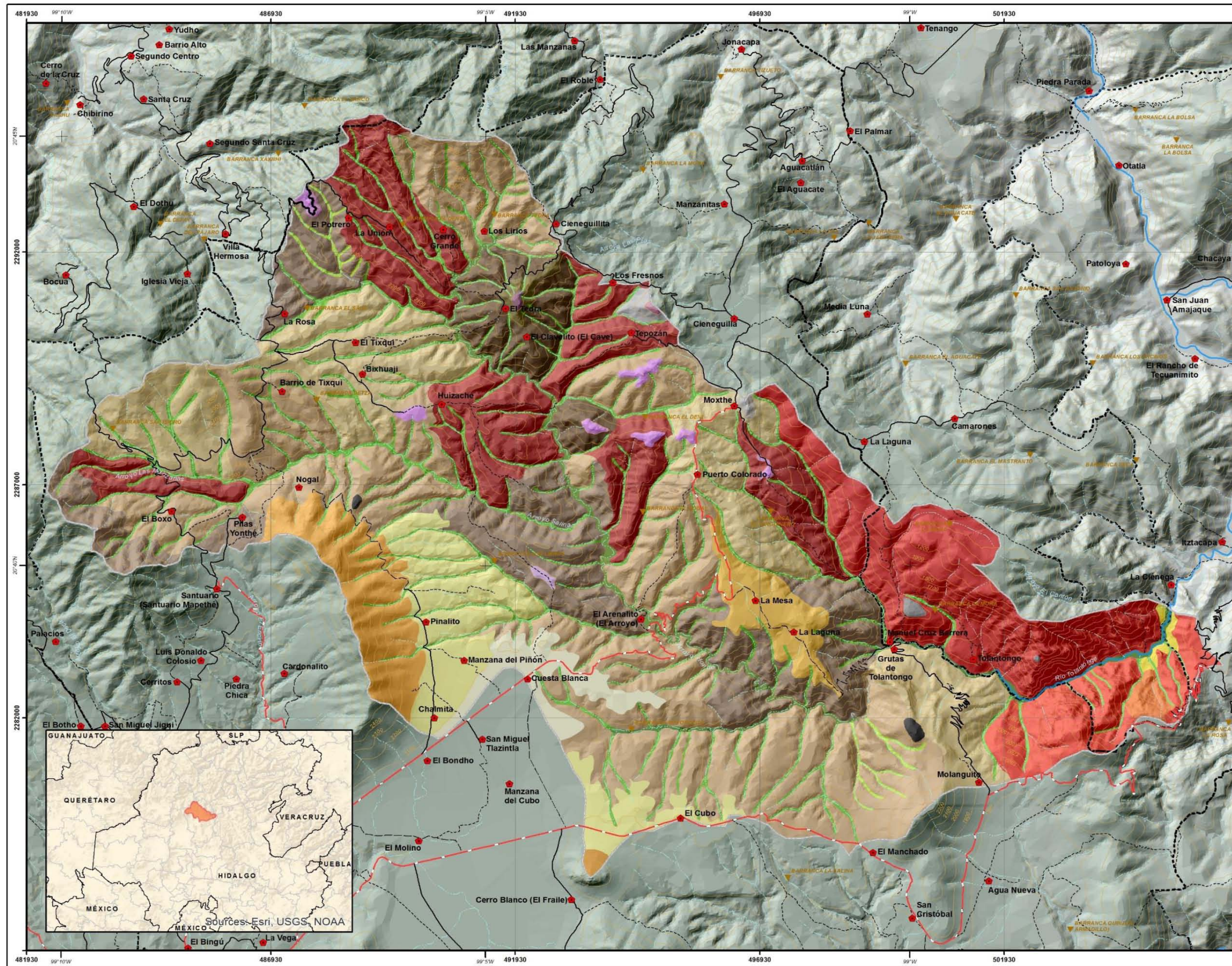
La gruta, a su vez, formada por las condiciones litológicas e hídricas se compone de diversas bóvedas en donde es factible el descenso mediante técnicas de rappel, mismas que suelen terminar en ríos subterráneos de poca profundidad; sin embargo, la acción hídrica ha logrado que las bóvedas lleguen a medir 35 metros de profundidad, la cual va aumentando conforme se avanza, mientras la temperatura y la potencia del agua van cambiando: entre más hondo, más caliente y fuerte son las corrientes.

II.3.4. CLIMA

Para explicar el clima de la zona de estudio se tomó como referencia la estación meteorológica más cercana a la gruta de Tolantongo, ubicada en el municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo. Con base en la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García, los climas predominantes en la zona de estudio son templado subhúmedo, semiseco templado y semiseco semicálido, con varias subdivisiones.

El primero de estos climas se subdivide en clima templado subhúmedo con el mes más seco con lluvias inferiores a 40 mm y un porcentaje de lluvias de verano de 55%. Este tipo de climas es más húmedo de los climas templados subhúmedos, su temperatura media anual es de entre 12° y 18° C, precipitación total anual entre 700 y 1 500 mm y el porcentaje de lluvia invernal es menor de 5. El clima templado subhúmedo con lluvias concentradas en verano se distribuye en la porción central de la cuenca; y clima templado subhúmedo con lluvias inferiores a 40 mm y lluvias de





CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 4. GEOMORFOLOGÍA

Simbología

Cima alargada andesítica	Laderas convexas de caliza-dolomía
Cima redondeada andesítica	Laderas cóncavas de caliza-dolomía
Cima alargada de lutita-caliza	Laderas rectas de caliza-dolomía
Cima plana de lutita-caliza	Laderas convexas de caliza-marga
Cima redondeada de lutita-caliza	Laderas mixtas de caliza-marga
Cima redondeada de caliza-dolomía	Mesa lávica basáltica
Domo andesítico	Piedemonte coluvial
Domo de lutita-caliza	Piedemonte de conglomerado
Laderas cóncavas andesíticas	Planicie aluvial
Laderas cóncavas de lutita-caliza	Valle ciego
Laderas convexas de lutita-caliza	Valle
Laderas mixtas de lutita-caliza	Valle ciego erosivo-acumulativo
Laderas rectas de lutita-caliza	Valle erosivo-acumulativo

Fuente: Elaboración propia.

Signos convencionales

Límites	Relieve
Zona de estudio	Curva de nivel
Municipio	Vías de comunicación
Localidad	Carretera pavimentada
Rasgos hidrográficos	Terracería
Río intermitente	Brecha
Río perenne	Vereda

ESCALA 1:80,000



Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

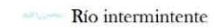
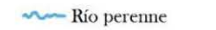
*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
 PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO
 ASESOR
 MRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

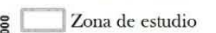

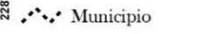
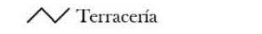
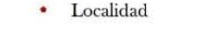
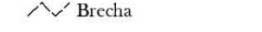
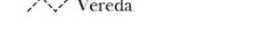
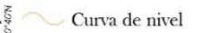
MAPA 5. HIDROGRAFÍA

Simbología

-  Río intermitente
-  Río perenne

Fuente: IREGI. Conjunto vectorial escala 1:50,000.

Signos convencionales

- | | |
|--|---|
| Límites | Vías de comunicación |
|  Zona de estudio |  Carretera pavimentada |
|  Municipio |  Terracería |
|  Localidad |  Brecha |
| |  Vereda |
| Relieve | |
|  Curva de nivel | |

ESCALA 1:80,000



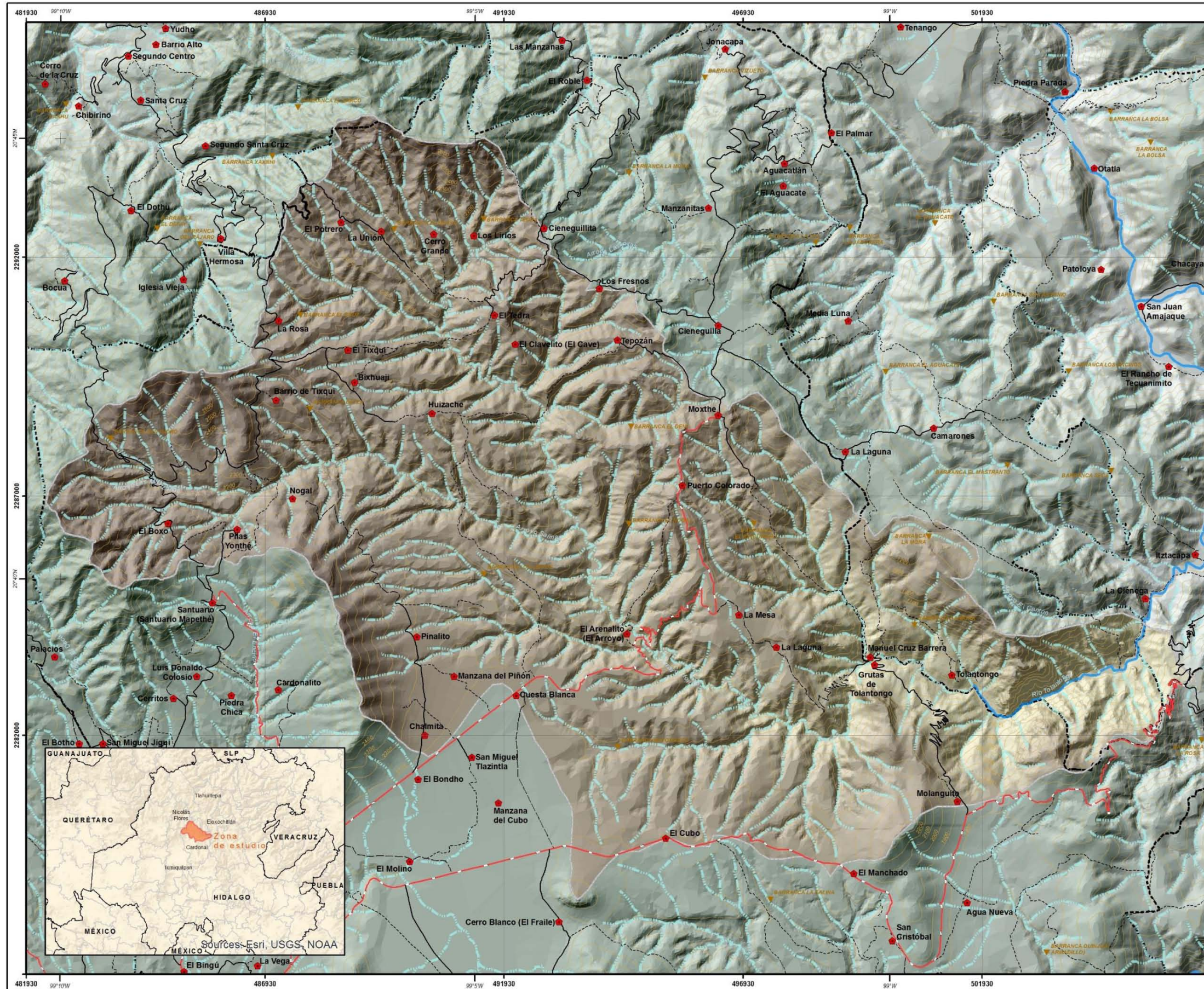
Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO

ASESOR
 MTRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 6. CLIMA

Simbología

UNIDADES CLIMÁTICAS

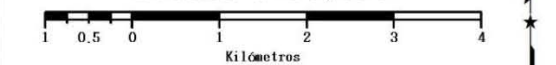
TEMPLADO	SEMISECO
Subhúmedo	Semicálido
Temperatura media anual entre 12°C-18°C. Mes más frío entre -3°C-18°C. Mes más caliente bajo 22°C. Mes más seco <40 mm.	BS1kw: Temperatura media anual 18°-22°C. Invierno fresco; mes más frío <18°C. Precipitación total anual 400-800 mm.
C(w1)(w). Lluvias de verano y % de lluvia invernal >10.2% del total anual.	Templado
C(w2). Índice P/T >55 y % de lluvia invernal 5-10.2% del total anual.	BS1hw(w): Temperatura medias anuales 12°-18°C y precipitación total anual <600 mm.

Fuente: INEGI. Conjunto vectorial escala 1:1,000,000.

Signos convencionales

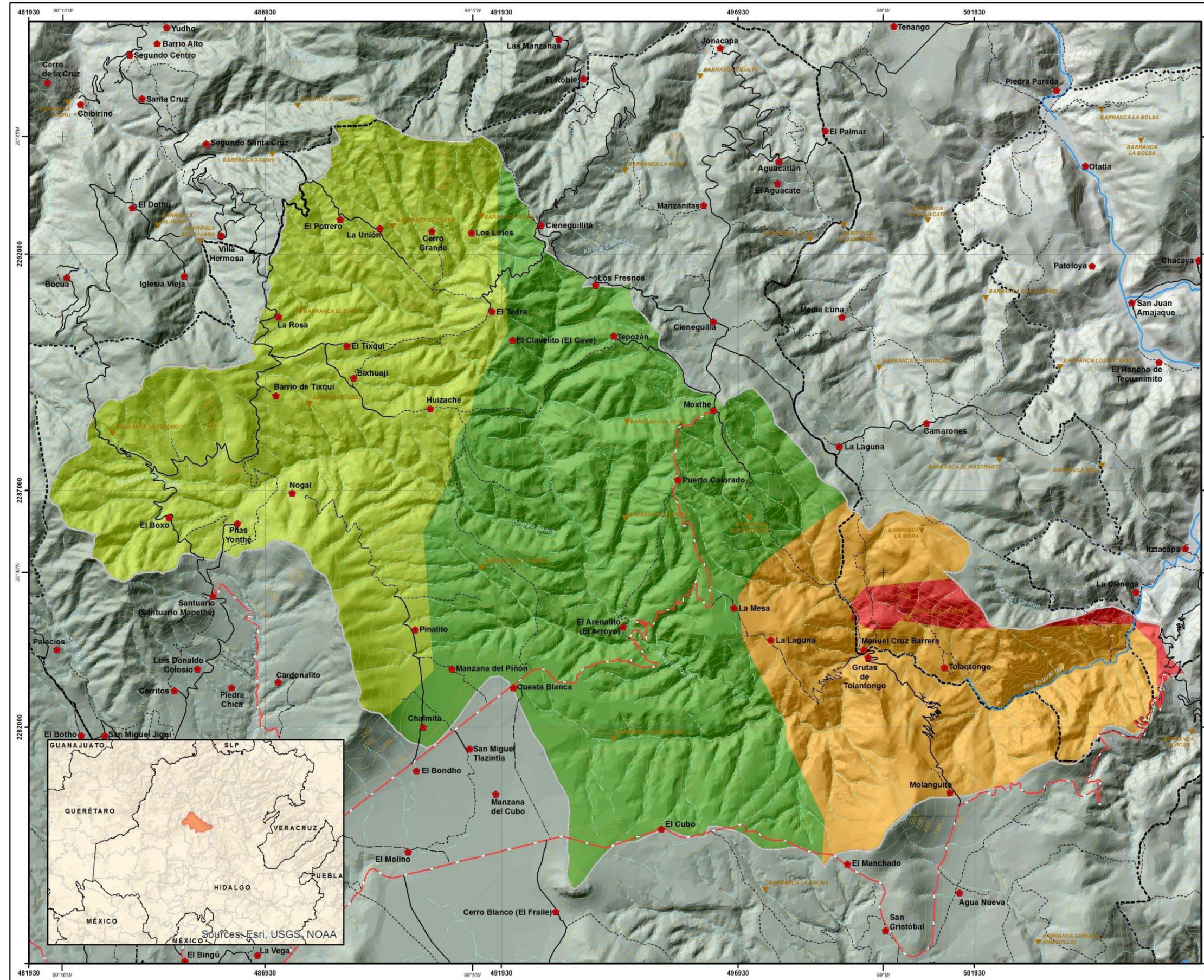
Límites	Relieve
Zona de estudio	Curva de nivel
Municipio	Vías de comunicación
Localidad	Carretera pavimentada
Rasgos hidrográficos	Terracería
Río intermitente	Brecha
Río perenne	Vereda

ESCALA 1:80,000



Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
PRESENTA
JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO
ASESOR
MTRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





invierno de 55%, se localiza en la porción norte de la región. Entre ambos climas cubren más de dos terceras partes de la cuenca, sobre los cuales se desarrollan bosques, tanto de coníferas como de bosque de pino-encino.

En cuanto al clima semiseco templado, estos cubren la porción sur-sureste de la cuenca, con una concentración de lluvias de verano y presencia de vegetación de matorral y de pastizales. Este clima en general presenta temperaturas medias anuales de 12° a 18°C y precipitaciones totales anuales inferiores a 600 mm.

Finalmente, el clima semiseco semicálido se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 18° y 22°C; con invierno fresco, de temperatura media en el mes más frío menor de 18°C y precipitación total anual de 400 a 800 mm. Se ubica en la parte sureste de la zona de estudio y es el de menor expresión espacial. Junio es el mes en que se concentra mayor cantidad de lluvia y febrero es el mes con menos precipitación (**Mapa 6**).

Es importante resaltar que en la zona de estudio se genera un microclima, pues la presencia de humedad que proviene de la gruta y cascadas origina humedad en el ambiente que se refleja en la vegetación (selva baja subcaducifolia). En la margen derecha del río a la altura de la gruta, se encuentra la vegetación más densa; por el contrario, sobre la margen izquierda en el ejido la Mesa se presenta vegetación xerófila debido a la poca humedad y orientación de la ladera.

II.3.5. EDAFOLOGÍA

En el área de estudio se identifican cinco tipos de suelo: castañozem, litosol, regosol, redzina, y vertisol. El más abundante de estos suelos es de tipo redzina, el cual se ha formado sobre materiales sedimentarios con predominio de rocas calizas alternadas con lutitas. Ocurre a lo largo de la porción central de la zona de estudio, en la ladera Sur del río. Estos suelos son someros sobre roca madre o material altamente calcáreo, son azonales, con un incompleto *solum* y/o sin características morfológicas claramente expresadas, además de ser pedregosos, lo cual es común en este tipo de





suelos en zonas montañosas. El proceso principal de su formación es la disolución y remoción subsecuente de carbonatos; en estos suelos, fragmentos de roca o abono de cal son normalmente libres de niveles nocivos de sales solubles; su poca profundidad, pedregosidad y baja capacidad para detener agua con serias limitaciones para llevar a cabo actividades productivas en ellos. Estos suelos permiten el crecimiento de vegetación densa (selva baja subcaducifolia), que, aunado a la humedad de la actividad fluvial e inaccesibilidad del relieve, permite conservar la estructura original de la misma.

Con respecto a los regosoles, éstos son de tipo eútrico, con una saturación de bases de media a alta y textura fina. Su distribución se concentra en la cabecera de la cuenca, a lo largo de la porción norte. Estos suelos se caracterizan por un perfil poco evolucionado y son altamente susceptibles a procesos erosivos, por lo cual existen zonas de acumulación hacia el sur de materiales removidos de esta porción de la cuenca. El material formador de estos suelos proviene de zonas altas, los cuales han sido acarreados por los mismos procesos erosivos que se presentan en la cuenca, por lo que son suelos aloctónos. La pendiente elevada de esta porción de la cuenca disminuye aun más la posibilidad de desarrollar suelos profundos, por lo cual los regosoles de la zona difícilmente superan los 50 cm de espesor.

En cuanto a los litosoles, se ubican en los flancos de las rendzinas, tanto en su porción este como al oeste, cuyo material parental es totalmente rocas calizas. Los litosoles de la cuenca son muy delgados, con espesores que apenas superan los 10 cm, resultado directo de la pendiente del terreno. Su textura dominante es media, la cual es la más común en este tipo de suelos. Debido a su poco espesor no soporta vegetación alta, aunque son más resistentes a la erosión, en comparación por ejemplo con los regosoles, sin que esto implique que no se presenten procesos erosivos que actúan sobre los litosoles y acarreo de material hacia zonas bajas.

Los vertisoles, como sucede frecuentemente, se han formado a partir de arenisca, en este caso intercalada con limonita, como resultado de procesos intensos de





intemperismo, los cuales continúan actuando sobre este material, lo que se deduce por la textura de tipo fina. Estos suelos son aptos para las actividades agrícolas, por lo que la presencia de agricultura de temporal y pastizales inducidos son características en estos suelos.

Por último, el castañozem es el de menor presencia en la cuenca. Ocupa una porción menor al suroeste, entre los litosoles y los vertisoles, desarrollado sobre material aluvial, resultado del acarreo de material de las partes altas de la zona, lo que le confiere un alto contenido de materia orgánica y, por consecuencia, un alto grado de fertilidad. Esto es aprovechado al desarrollar agricultura de temporal, además de pastizales, vegetación característica de este tipo de suelos (**Mapa 7**).

II.3.6. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

A partir de la serie IV de vegetación y uso de suelo de INEGI, escala 1:250,000 se obtuvo la distribución espacial de este elemento en la zona en estudio, correspondiente a la sección sur de la subcuenca del Río Amajac (**Tabla 1**):

ECOSISTEMA	TIPO DE VEGETACIÓN
Bosque de coníferas	Bosque de pino
	Bosque de pino-encino
	Bosque de pino-encino con vegetación secundaria arbustiva
Bosque de encino	Bosque de encino
	Bosque de encino-pino
	Bosque de encino-pino con vegetación secundaria arbustiva
Bosque de táscate	Bosque de táscate con vegetación secundaria arbustiva
Matorral	Matorral crasicaule con vegetación secundaria arbustiva
	Matorral sub-montano
Pastizal	Pastizal inducido
Agrícola	Agricultura de temporal anual

Tabla 1. Categorías de vegetación y uso de suelo en la zona en estudio.

Entre las especies de plantas más importantes que se pueden encontrar en la zona son la yuca (*Yucca spp*), mezquite (*Prosopis spp*), altos organos llamados "viejitos" (*Cephalocereus senilis*), gumbo-limbos (*Bursera simaruba*), flores de Pascua





(*Euphorbia pulcherrima*), así como la abundancia de magueyes que se han utilizado durante siglos para hacer pulque.

Se describen a continuación las características generales, es decir, aquellas características que definen al tipo de vegetación independientemente de la región en la que se encuentren, según Rzedowski, (1983):

Bosque de coníferas: formaciones vegetales arbóreas constituidas principalmente por géneros de gimnospermas de origen holártico con follaje perenne y afinidad a climas templados. En México se les encuentra desde los 2500 msnm hasta el límite altitudinal de la vegetación arbórea. Especies *Juniperus flaccida*, *Quercus polymorpha* y *Q. castanea*. Otros elementos del estrato arbóreo son los siguientes: *Zanthoxylum affine*, *Eysenhardtia polystachya*, *Randia capitata*, *Lonchocarpus sp.*, *Celtis caudata*, *Rhus sp.* y *Buddleia cordata*.

En la zona de estudio se distribuye en la sección central de la zona centro en dirección oeste siguiendo una franja que corresponde con las laderas y valle del arroyo Sabinos hasta el arroyo Las Manzanas, alcanzando una latitud de hasta 2500m.

Bosque de encino: comunidades vegetales constituidas por el género *Quercus* (encinos) que en México, salvo condiciones muy áridas se encuentran prácticamente desde el nivel del mar, hasta los 2 800 msnm. Se encuentran muy relacionado con los bosques de pino, formando una serie de bosques mixtos con especies de ambos géneros (pino-encino). La fase de vegetación secundaria se refiere a la fase sucesional que se presenta cuando la vegetación es removida o perturbada (Entre los componentes florísticos del estrato arbóreo se pueden observar *Pinus teocote*, *P. leiophylla*, *P. pseudostrobus var. apulcensis*, *Quercus crassifolia*, *Arbutus glandulosa* y *Buddleia cordata*. Se presentan también *Eupatorium ligustrinum*, *Litsea glaucescens*, *Myrica cerifera* y *Seymeria decurva*, *Stevia hirsuta*, *Lepechinia schiedeana*, *Gnaphalium chartaceum*, *Viguiera tomentosa*, *Penstemon campanulatus*, *Bidens triplinervia*, *Verbena bipinnatifida*, *Zaluzania augusta*, *Muhlenbergia montana*, *Salvia aff. lavanduloides*, *Alchemilla aphanoides*, *Cuphea aequipetala*, *Taraxacum*



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*



MAPA 7. EDAFOLOGÍA

Simbología

UNIDADES DE SUELO

-  Castanozem cálcico
-  Litosol
-  Regosol eútrico
-  Rendzina
-  Vertisol pélico

TEXTURA

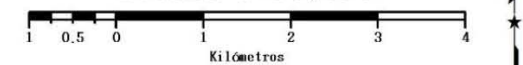
-  Fina
-  Media

Fuente: IBSI. Conjunto vectorial, carta edafológica, escala 1:1,000,000.

Signos convencionales

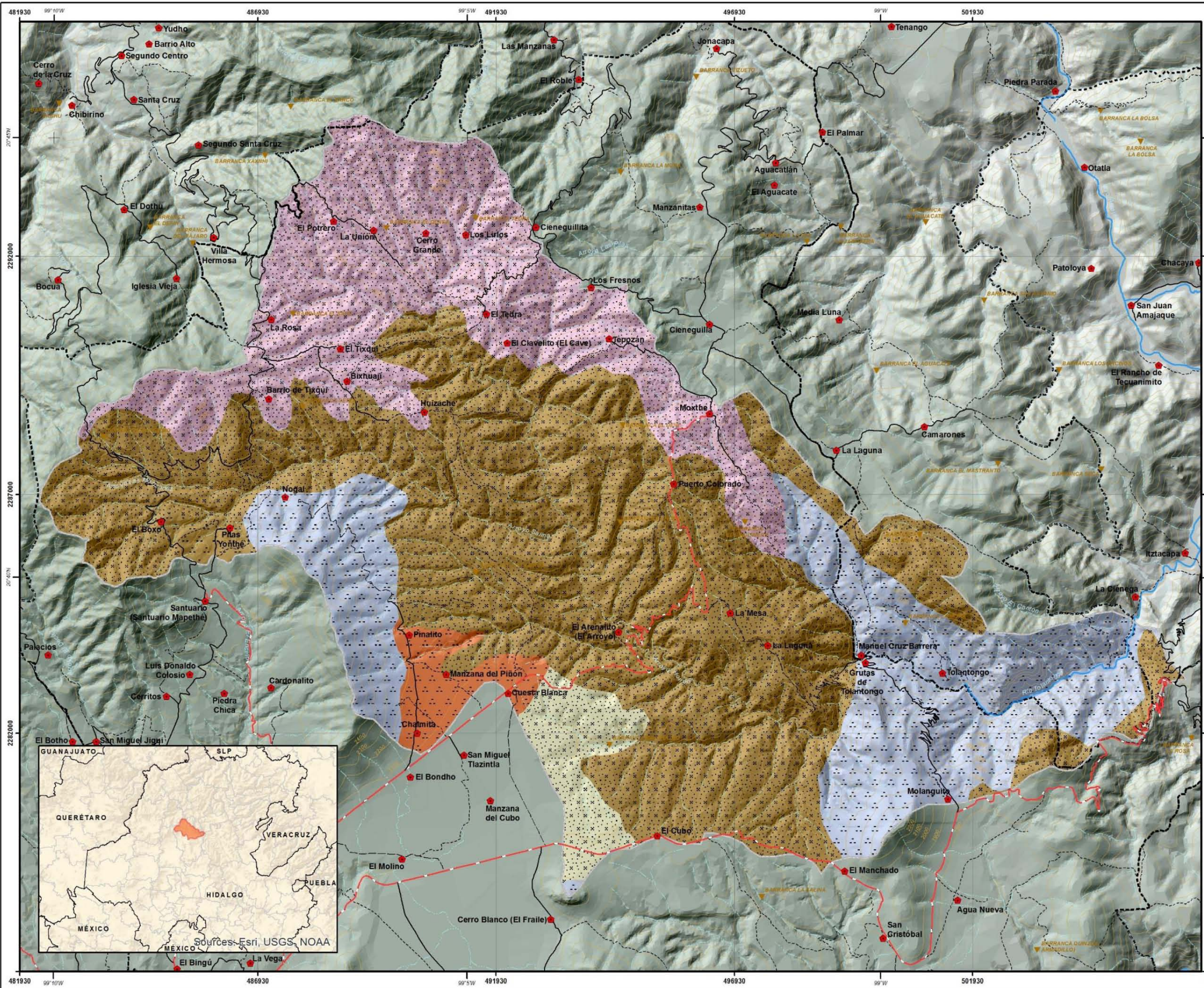
- | | |
|--|---|
| Límites | Relieve |
|  Zona de estudio |  Curva de nivel |
|  Municipio | Vías de comunicación |
|  Localidad |  Carretera pavimentada |
| Rasgos hidrográficos |  Terracería |
|  Río intermitente |  Brecha |
|  Río perenne |  Vereda |

ESCALA 1:80,000



Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
 PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO
 ASESOR
 MTRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





officinale y *Stevia aff. ovata*). Una superficie pequeña de encino al sur de la localidad el Boxo es la única macha de este tipo de vegetación en esta sección de la subcuenca.

Bosque de táscate: Este tipo de vegetación es siempre verde y puede variar desde matorrales de 50cm de alto hasta bosques de 15 m (las alturas más frecuentes son de dos a seis metros). Por lo general son comunidades bastante abiertas aunque hay excepciones. También denominado bosque escuamifolio por sus hojas escamosas.

Al igual que el encino, su distribución abarca dos pequeñas superficies al sur de la localidad El Cubo y al este de la localidad Molanguito.

Matorral crasicaule: Comunidad vegetal que se caracteriza por la presencia de gran número de formas de vida o biotipos, destacando entre ellas las especies sarcocaula y crasicaule, o sea plantas carnosas de tallo grueso y plantas de tallo suculento y jugoso, por lo general de gran talla, con forma de candelabro (está constituido por las siguientes especies: *Fouquieria splendens*, *Karwinskia humboldtiana*, *Pithecellobium brevifolium*, *Agave xylonacantha*, *Gochnatia hypoleuca*, *Eucnide lobata*, *Lippia graveolens*, *Turnera diffusa*, *Ayenia rotundifolia* y *Pseudosmodingium*, *Calliandra eriophylla*, *Mimosa biuncifera*, *Agave striata*, *Echinocactus bisnaga*, *Jatropha spathulata* y *Selaginella lepidophylla*).

Tanto el matorral submontano, como el matorral crasicaule se distribuyen en la zona sur en las laderas que rodean al arroyo Hongo y al Río Tolantongo, su distribución es significativa en esta porción de territorio estudiado y llegan a alcanzar altitudes de hasta 2300 metros.

Pastizal: Ecosistemas constituidos por comunidades herbáceas en las que predominan las gramíneas y las graminoides; en algunos casos son de origen natural pero, en otros, obedecen a condiciones de perturbación por sobrepastoreo. Entre las especies más sobresalientes se encuentran las siguientes: *Schkuhria pinnata*, *Mecardonia procumbens*, *Gomphrena decumbens*, *Piqueria pilosa*, *Tridax*





coronopifolia, *Euphorbia aff. mendezii*, *Dalea foliolosa*, *Hilaria procumbens*, *Melampodium aff. sericeum*, *Salvia amarissima*, *Salvia sp.* y *Erodium cicutarium*.

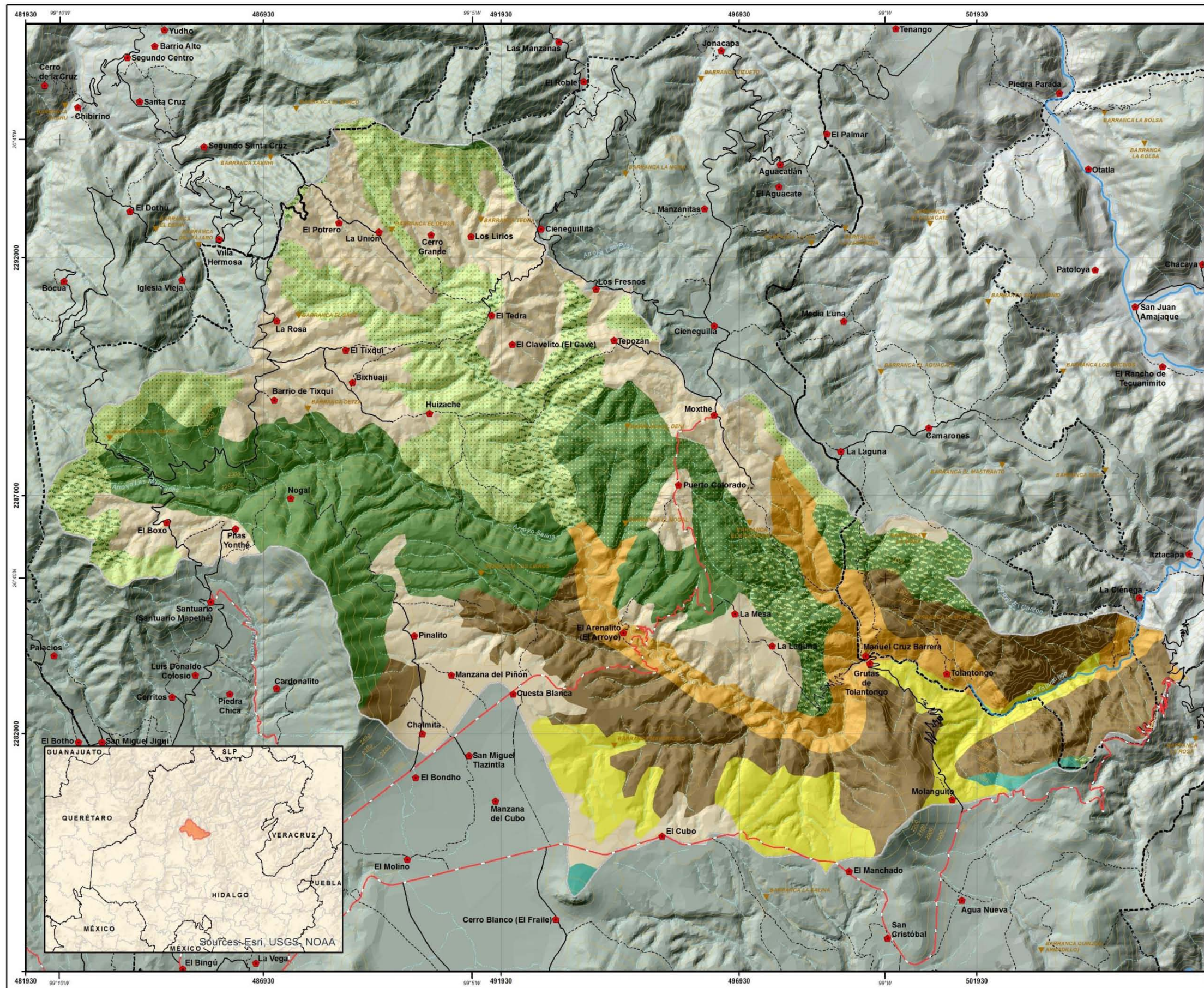
Se encuentra asociado al matorral y su presencia es producto de la actividad humana en la zona de estudio; se distribuye sobre el valle del Río Tolantongo y al sur del arroyo Hondo.

Agrícola: Son áreas de producción de cultivos que son obtenidos para su utilización por el ser humano ya sea como alimentos, forrajes, ornamentales o industriales (**Mapa 8**).

De forma más detallada y de acuerdo con Palacio (1986), la orientación de las laderas, así, como la dinámica de los procesos geomorfológicos, intervienen directamente en el comportamiento general de la vegetación. En las porciones medias y bajas con orientación W-E, (margen fluvial derecha) presentan condiciones de humedad propicias para el desarrollo de suelos, y, como consecuencia, la vegetación es de mayor densidad (**Imagen 8**). Sobre la margen izquierda de dichos sectores, las laderas reciben mayor insolación, lo que aunado, al ataque lateral de la corriente fluvial propicia que la vegetación se encuentre dispersa.



Imagen 8. Mayor densidad de vegetación asociada a condiciones de humedad.



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 8. VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO 2007

- Simbología**
- | | |
|---|---|
| BOSQUE | MATORRAL |
| Coníferas | Submontano |
| Pino | Crasicale con vegetación secundaria arbustiva |
| Encino | |
| Encino | |
| Mixto | PASTIZAL |
| Pino-Encino | Inducido |
| Pino-Encino con vegetación secundaria arbustiva | |
| Encino-Pino | USO DE SUELO |
| Encino-Pino con vegetación secundaria arbustiva | Agricultura de temporal anual |
| Juniperus | |
| Tascate con vegetación secundaria arbustiva | |
- Fuente: IMEGI. Conjunto vectorial escala 1:250,000, de 2007.

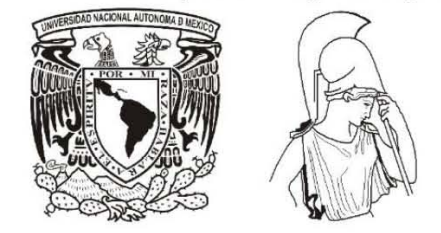
- Signos convencionales**
- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Límites | Relieve |
| Zona de estudio | Curva de nivel |
| Municipio | |
| Localidad | Vías de comunicación |
| | Carretera pavimentada |
| Rasgos hidrográficos | Terracería |
| Río intermitente | Brecha |
| Río perenne | Vereda |

ESCALA 1:80,000

1 0.5 0 1 2 3 4
Kilómetros

Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
PRESENTA
JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO
ASESOR
MTRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





La vegetación más densa se aprecia en el sector cercano a la gruta, exenta de actividad fluvial torrencial, donde la humedad y el suelo permiten el desarrollo de árboles de talla importante.

La vegetación asociada a la humedad del curso fluvial, se considera de galería; destacan el amate (*fiscus spp*) como unidad característica, su densidad y desarrollo se relaciona con la actividad fluvial que define áreas más o menos activas. En las primeras, la vegetación es menos densa y de menor talla, debido a que las inundaciones torrenciales impiden su desarrollo.

En el curso medio del río existen zonas en las que la vegetación se encuentra virtualmente ausente y donde la velocidad de la pedogénesis (generación de suelos) es inferior a la morfogénesis (erosión-acumulación), siendo un sector de arrastre y deposición de materiales creando condiciones desfavorables para el desarrollo de la vegetación.

Es importante resaltar que se identifica vegetación bio-indicadora de la presencia de contaminación en el agua (por jabones, productos químicos de limpieza, cloro; los cuales tienen como destino final el río debido a que no existe una red de drenaje en la zona, este tipo de vegetación se encuentra en manchones en la orilla derecha del río a la altura de las regaderas y albercas de donde proviene directamente). Esta contaminación se correlaciona con altos niveles de Zn y Cr encontrados en el río Amajac, justo en el entronque con el río Tolantongo (M.P. Jonathan., et al., 2011).

En concreto, el bosque es el tipo de vegetación más abundante dentro de la zona de estudio, con variantes en las especies que integran las zonas boscosas. El bosque de encino se ubica en una pequeña porción al poniente de la cuenca, desarrollado sobre litosol en ignimbritas ácidas, sobre un relieve montañoso, con pendientes fuertes y de poca extensión, de baja alteración. En cuanto al bosque de encino-pino, se distribuye en franjas alargadas sobre las partes altas de la cuenca, porción norte, con alteraciones en las partes bajas debido a la actividad agrícola.





El bosque de pino se ubica en una gran porción del centro-occidente de la cuenca, sobre laderas con baja alteración en la cubierta vegetal pero con alta densidad de disección, lo cual ha formado laderas irregulares, a través de las cuales se conjuntan los escurrimientos, favoreciendo su fuerza erosiva. Dicha zona boscosa sólo es interrumpida por una porción de matorral. En su contraparte territorial, al este de la cuenca se desarrolla una porción alargada, con orientación norte-sur, de bosque de pino-encino, sobre laderas menos inclinadas, pero con una alteración mayor a la de bosque de pino, pues en parte de sus flancos se incrementa la actividad agrícola y se favorece el avance de matorral en su límite sur. Existen porciones mínimas de bosque de táscate en el sur y sureste, cuya mayor cobertura se desarrolla fuera de la cuenca y donde el avance de las actividades productivas humanas amenaza su permanencia en el mediano plazo.

El matorral está presente en la cuenca en las porciones de menor altitud, principalmente hacia el sureste, zonas donde se ubica como superficie de transición entre las partes altas boscosas y las partes bajas de pastizales, entre los climas templado y semiseco y con mayor extensión de suelos litosoles. En la zona de altitud intermedia se desarrolla matorral crasicale, el cual se caracteriza por vegetación de altura media, hasta de ocho metros y con evidencias de alteración asociadas a la presencia humana; en las zonas de menor altitud el matorral es de tipo submontano, sobre el mismo tipo de roca y el clima seco, pero en terrenos menos inclinados y con una mayor alteración.

El pastizal inducido se ubica en el sur de la cuenca, en donde predominan varias rocas sedimentarias como las calizas, lutitas y areniscas. Este tipo de vegetación se desarrolla sobre litosoles en climas semisecos.

II.4. ASPECTOS SOCIALES

Las grutas de Tolantongo se localizan aproximadamente a 100 km al norte de la ciudad de Pachuca, Hidalgo (**Imagen 9**). El parque está enmarcado dentro de los





límites políticos-administrativos del municipio de Cardonal, en la zona otomí. El municipio tiene colindancia al norte con los municipios de Nicolás Flores y Tlahuiltepa; al sur con el municipio de Santiago de Anaya; al este con los municipios de Eloxochitlán y Metztitlán; y al oeste con los municipios de Ixmiquilpan y Nicolás Flores (INEGI, 2010).

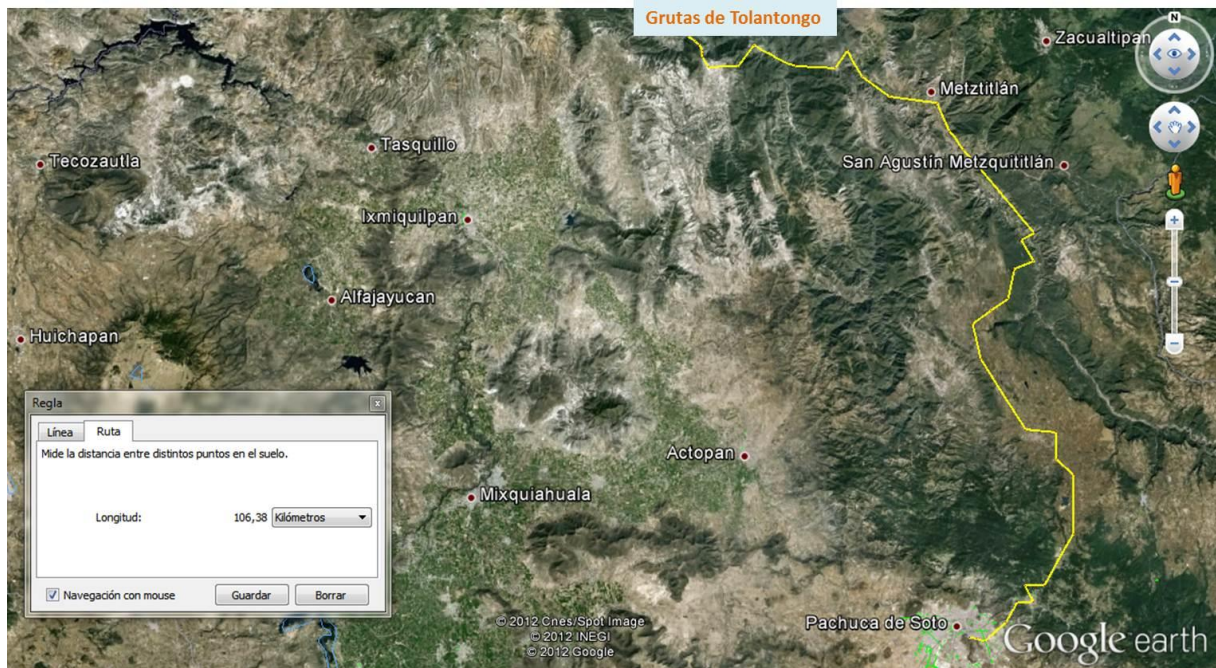


Imagen 9. Imagen de satélite en donde se muestra la distancia en carretera, Grutas de Tolantongo-Pachuca de Soto (SCT, 2012).

La zona recreativa se localiza específicamente al noreste del municipio de Cardonal, en colindancia con la localidad de Manuel Cruz Barrera, perteneciente al municipio de Tlahuiltepa; ambas localidades desarrollan principalmente la actividad turística derivada del atractivo escénico del sitio.

El acceso al parque es mediante la carretera Ixmiquilpan-Cardonal, la cual llega hasta el mirador continuando en un camino de terracería; el acceso por transporte público es en microbuses, combis o camionetas, los cuales demoran de treinta a sesenta minutos en su trayecto hacia el parque con salidas que oscilan entre 1 y 5 diarias.

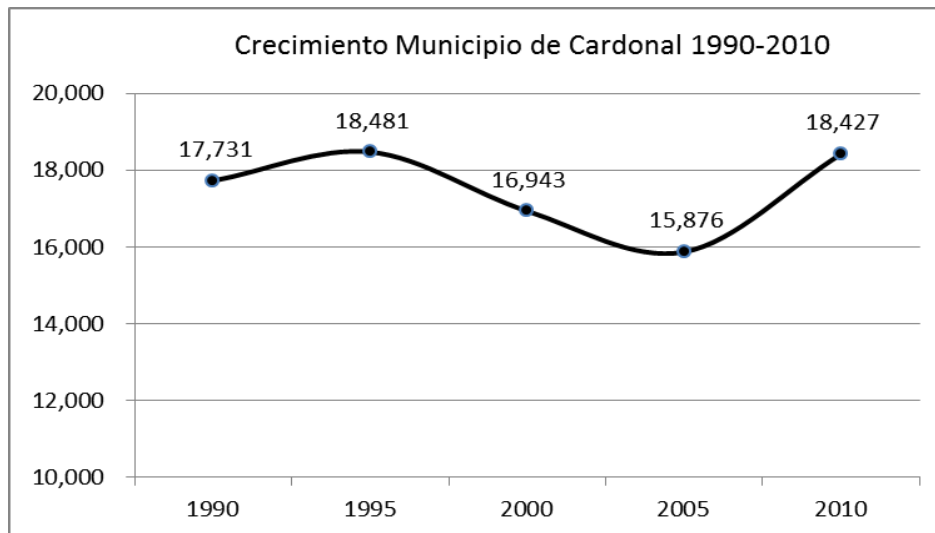




II.4.1. DINÁMICA DEMOGRÁFICA

Durante los últimos veinte años, la dinámica demográfica en el municipio de Cardonal y de la localidad de Tolantongo ha sido discontinua e irregular. En algunos casos el comportamiento de la población a nivel municipal es muy similar al que se presenta en las localidades que lo integran; sin embargo, también es probable que algunas de dichas localidades poseen un comportamiento atípico y contrario al municipal debido a procesos internos muy particulares, los cuales no son iguales en el resto del municipio, como es el caso de la localidad Grutas de Tolantongo. En las **gráficas 1, 2 Y 3** se muestran dichas diferencias.

La **gráfica 1**, se observa que la dinámica de la población en el municipio de Cardonal ha sido irregular, alcanzando en el último de los años la más alta que ha tenido el municipio con 18,481 personas. Con posterioridad y en los siguientes 10 años, los pobladores disminuyeron, ya que en el 2005 tan solo llegaron a 15876 personas, cinco años más tarde de nuevo la población aumentó y según el Censo de Población y vivienda de 2010 el municipio alcanzó la cifra de 18,427 personas.



Gráfica 1. Dinámica de la población en el municipio de Cardonal, Hgo. 1990-2010.

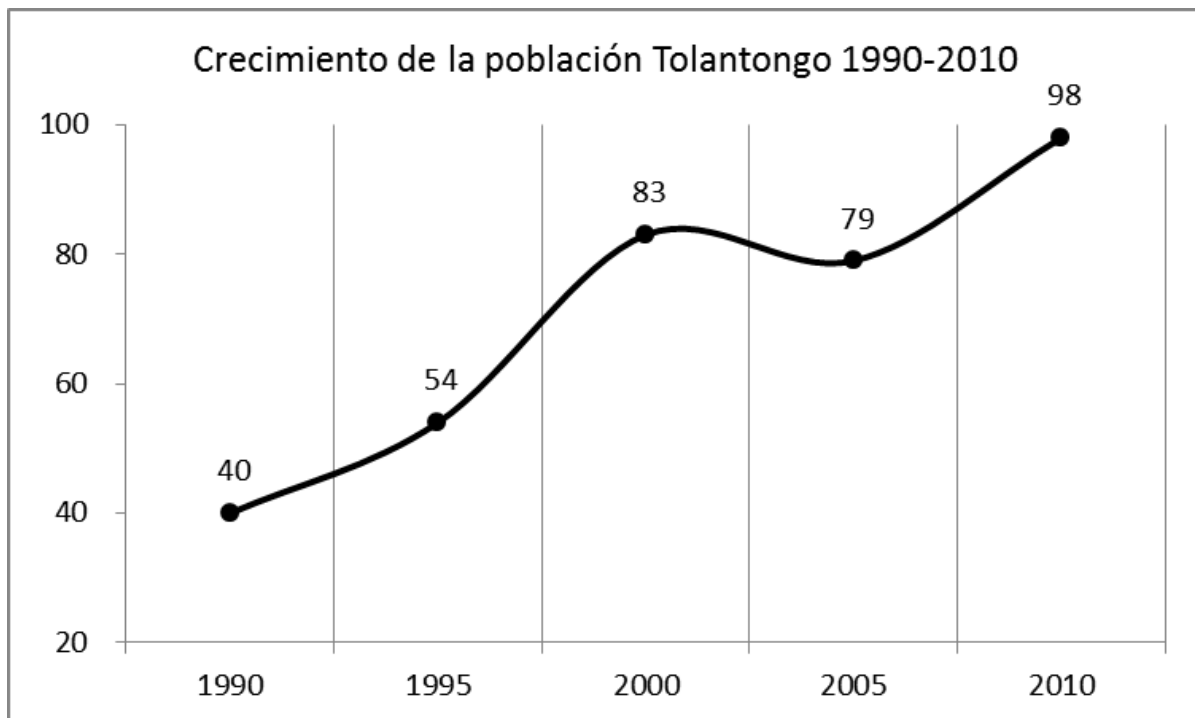
Fuentes: Para 1990: INEGI. Estado de Hidalgo, Resultados Definitivos. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Para 2000: XII Censo General de Población y Vivienda, INEGI. Para 2010: Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.



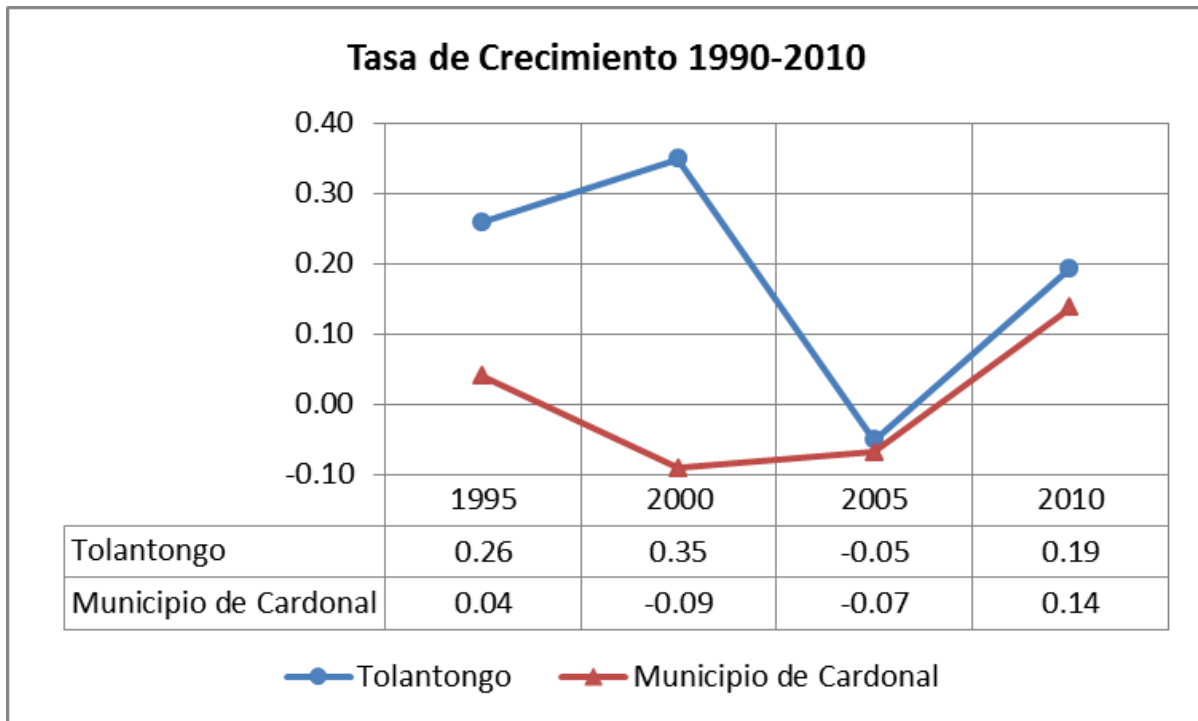


En la **gráfica 2**, es evidente el constante crecimiento de la población en la localidad de Grutas de Tolantongo, la cual entre 1990 y 2010 pasó de 40 a 98 personas (un 145% más) motivado por el desarrollo que ofreció la actividad turística a la localidad.

Finalmente, en la **gráfica 3**, se observan la tasa de crecimiento entre 1990 y 2010 de grutas de Tolantongo y el municipio de Cardonal, los valores que resultan pueden ser comparados entre sí. Es evidente que entre 1990 y 2000 los resultados se comportan a la inversa en un inicio, es decir mientras que la población en Tolantongo aumentaba en el periodo 1990-2000, la del municipio disminuía; para el periodo de 2000 al 2005 el proceso fue contrario. Sin embargo, para el periodo de 2005 a 2010, tanto la localidad de Tolantongo como el municipio crecieron de manera similar, el primero con una tasa de 0.19% anual y el municipio con 0.14% anual.



Gráfica 2. Crecimiento histórico de la población en la localidad Grutas de Tolantongo, 1990-2010.



Gráfica 3. Tasas de crecimiento de la población entre la localidad de Grutas de Tolantongo y el municipio de Cardonal, 1990-2010.

Fuentes grafica 2 y 3. Para 1990: INEGI. Estado de Hidalgo, Resultados Definitivos. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Para 2000: XII Censo General de Población y Vivienda, INEGI. Para 2010: Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

El proceso que pudo haber dado lugar a las tasas observadas es el migratorio, y debido a las condiciones étnicas y culturales que predominan en la región, sumadas a las de marginación y pobreza, contrarrestadas con el aprovechamiento y deterioro de los recursos naturales en la zona, resulta indicativo que el fenómeno social aludido es el que explica los cambios numéricos que se dieron.

De manera complementaria, durante el trabajo de campo, se realizaron entrevistas a los habitantes de la zona, quienes identifican que la migración es un fenómeno intermitente (emigración-retorno) en las localidades del municipio, situación que recientemente ha disminuido producto de las mayores oportunidades laborales en la zona (trabajar en las diferentes actividades que la cooperativa del ejido ha establecido, todas ellas relacionadas con los servicios que brinda el parque).





II.4.2. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN

Según la información disponible en el Marco Geoestadístico 2010 de INEGI, dentro de la subcuenca hidrológica en estudio se ubican 27 localidades en Cardonal y dos localidades que pertenecen al municipio de Tlahuiltepa (**Tabla 2 e Imagen 10**).

Localidad	Municipio	Población	Localidad	Municipio	Población
Barrio de Tixqui	Cardonal	161	La Mesa	Cardonal	162
Bixhuaji	Cardonal	75	La Rosa	Cardonal	178
Cerro Grande	Cardonal	20	La Unión	Cardonal	96
Chalmita	Cardonal	145	Los Lirios	Cardonal	41
Cuesta Blanca	Cardonal	252	Manuel Cruz Barrera	Tlahuiltepa	16
El Arenalito (El Arroyo)	Cardonal	83	Manzana del Piñón	Cardonal	128
El Boxo	Cardonal	248	Molanguito	Cardonal	84
El Clavelito (El Cave)	Cardonal	38	Moxthe	Cardonal	101
El Cubo	Cardonal	52	Nogal	Cardonal	100
El Potrero	Cardonal	260	Pilas Yonthé	Cardonal	114
El Tedra	Cardonal	38	Pinalito	Cardonal	105
El Tixqui	Cardonal	189	Puerto Colorado	Cardonal	25
Grutas de Tolantongo	Cardonal	98	Tepozán	Cardonal	57
Huizache	Cardonal	4	Tolantongo	Tlahuiltepa	64
La Laguna	Cardonal	79	Total de población en la subcuenca		3,013

Tabla 2. Localidades que integran la zona en estudio.

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.



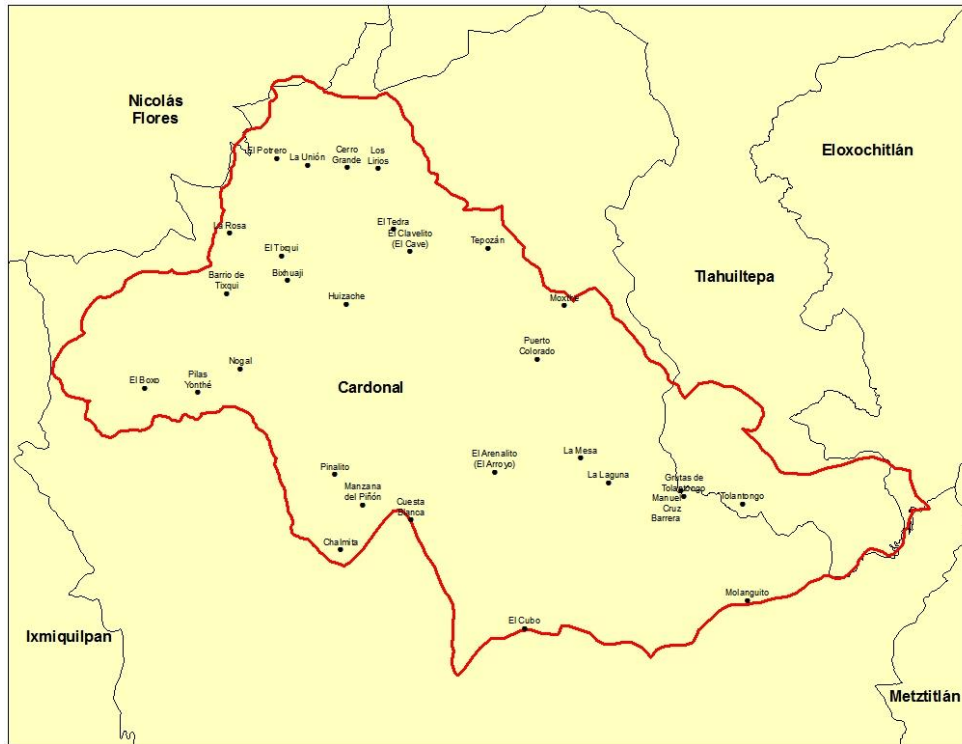
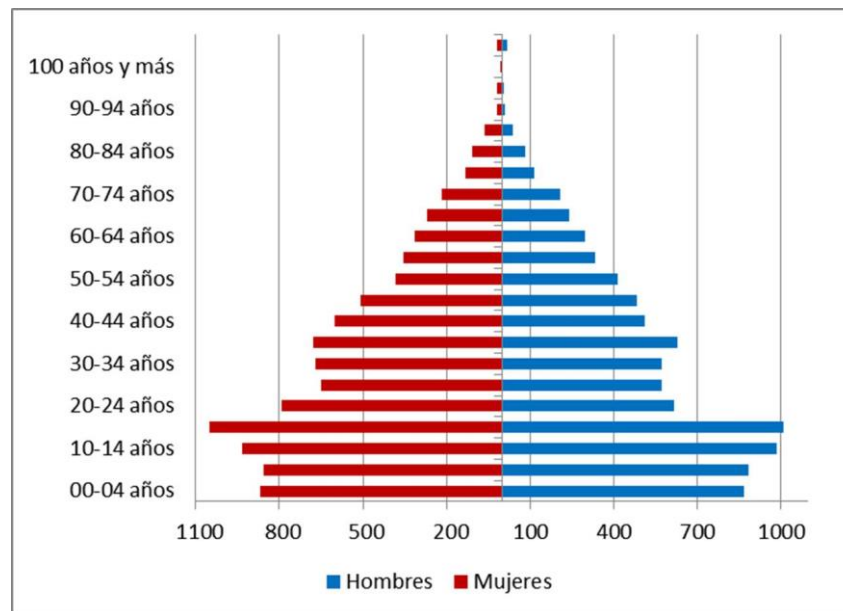


Imagen 10. Distribución de la población dentro de la cuenca.

La población total de las 29 localidades en 2010 fue de 3,013 personas, siendo las localidades de El Potrero, Cuesta Blanca y El Boxo las de alta concentración de población; sin embargo, la de mayor interés en la presente investigación, por tratarse de la localidades que posee mayor actividad turística, es la de Grutas de Tolantongo, que registró, en esa fecha, 98 personas.

II.4.3. ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN

La población del municipio está compuesta por 18,427 personas, de las cuales 8,919 son hombres y 9,508 mujeres, es decir el 48% de la población son hombres y el 52% mujeres. La pirámide de población del municipio corrobora lo que se indica anteriormente en relación a la migración en el municipio, y se observa una tendencia progresiva en su estructura (**Gráfica 4**), debido a que la base es más ancha gradualmente en comparación con la cima; sin embargo es importante destacar dos particularidades.



Gráfica 4. Pirámide de población, Cardonal, 2010.

Fuente: Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI.

En primer lugar, la pirámide no sigue una tendencia progresiva en su totalidad, dado que la población menor a 19 años de edad tiende a la reducción, más claramente en el caso de los hombres; y en el grupo de 0 a 19 años muestra una tendencia regresiva. En segundo lugar, se observa que la población mayor de 20 años disminuye abruptamente, manteniéndose casi con en el mismo número de elementos hasta los 40 años, lo que es evidente en el género masculino, esto pone de manifiesto la fuga de la fuerza laboral en el municipio, tanto al extranjero como a los distintos centros laborales del país.

II.5. LA ACTIVIDAD TURÍSTICA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Las Grutas de Tolantongo, representan uno de los mayores atractivos naturales del estado de Hidalgo, donde se puede practicar el senderismo, rappel y la espeleología.

El uso del suelo en la zona de estudio se asocia a las actividades terciarias enfocadas a brindar servicios turísticos acordes con las características naturales de la zona (elementos abióticos del paisaje). El aprovechamiento del lugar como destino turístico





y su administración se iniciaron aproximadamente hace diez años y surgió de la necesidad de ofrecer al visitante las comodidades necesarias para su estancia.

El camino para llegar a las grutas se conforma de un paisaje árido donde abundan las cactáceas y por tramos es invadido por bancos de neblina dependiendo de la época del año. Al llegar por el camino de terracería se encuentra la caseta de cobro y en seguida unas cincuenta habitaciones con capacidad para dos o cuatro personas. En esta zona, construida en la ladera de un relieve elevado, existen dos albercas con tobogán, destinadas para aquellas personas que deseen un poco más de tranquilidad. Aquí inicia lo que se tiene como un oasis: las Grutas de Tolantongo, donde el agua abunda en forma de cascadas, alimentadas por un río con tonalidades azul.

Descendiendo por el camino, y al llegar al fondo del valle, se ubica la administración del centro y las instalaciones turísticas, en el cual existen tiendas de alimentos y bebidas con productos básicos, enfermería, baños, regaderas, zonas de campamento distribuidas a orillas del río, y el estacionamiento del transporte propio de la zona que lleva a los visitantes de Ixmiquilpan a las grutas y viceversa (**Imagen 11**). Aquí es donde se pueden tomar distintas rutas según las actividades que se quieran realizar; a un costado de la enfermería se ven las habitaciones construidas sobre la ladera, que ofrecen una vista panorámica del río y las diferentes formaciones del relieve.

Otro conjunto de habitaciones se encuentra construida cercana al cauce del río, a las cuales se llega por una amplia escalera de caliza, que divide el área en dos partes. Sobre el lado izquierdo, en una terraza fluvial, se encuentra un área de campamento, dos albercas con agua que provienen de la gruta, baños, regaderas y un camino que conduce a puestos de comida desde donde se tiene una vista panorámica del río, con destino final la gruta. Sobre el sendero, en un descanso de las escaleras, se dejan las mochilas, bolsas, alimentos y bebidas que lleve el visitante, con lo que se busca evitar la contaminación, alteración y perturbación de la gruta, el principal atractivo turístico.





Imagen 11. Zona de acampado y pozas.

En la zona existe una compleja red de canales que vienen del interior del cerro y que se encuentran a una temperatura de 20 grados centígrados y, cuenta además con algunas pozas de agua en donde ese estanca esta y baja la temperatura. Como hay bastante agua se forma numerosas caídas que se encuentran a la entrada de la gruta. En el interior de la gruta existe un manantial de aguas termales cuya temperatura aumenta conforme se penetra en la caverna (35° a 38° C; Información proporcionada por personal del Parque Grutas de Tolantongo).

La gruta se compone de diversas bóvedas en donde es factible descender en rappel, ya que muchas de ellas terminan en ríos subterráneos de poca profundidad; sin embargo, constituye una hazaña el descenso porque sus paredes son húmedas y hay mucha humedad. Las primeras bóvedas llegan a medir 35 metros de profundidad, la cual va aumentando conforme se avanza en su interior, mientras que la temperatura y la potencia del agua va cambiando: entre más hondo el agua es más caliente y tiene mayor fuerza.





El agua de manantial de aguas termales se mezcla con agua fría formando pozas en las que se puede disfrutar de un baño. En este ambiente no falta la colección de estalactitas y estalagmitas que se han formado a lo largo de miles de años.

Del otro lado del río se encuentra "La Gloria", lugar que se encuentra en lo alto de una peña con pozas en las que se pueden relajar con mayor espacio e intimidad. Cabe señalar que "La Gloria" pertenece a otro ejido y por lo tanto el pago inicial no cubre la entrada a este otro atractivo.

En la margen derecha del río, donde se encuentra una terraza fluvial, se destina la zona de campamento; asimismo hay un conjunto de habitaciones, baños y regaderas que ofrecen comodidad al visitante; también existen puestos de comida abiertos al público los fines de semana y periodos vacacionales. Es importante señalar que en esta parte del río los ejidatarios han construido un dique debido a la cantidad de materiales que el río arrastra.

El parque es, por lo tanto, una opción pasar la noche en el lugar dados los precios accesibles del hotel y las zonas de acampar (en el sitio se rentan tiendas de campaña, sleeping bags y todo lo necesario para realizar el campismo). Los ejidatarios se han organizado, para brindar seguridad a los visitantes durante las 24 horas del día.

La infraestructura con la que cuenta Tolantongo es la siguiente:

- Un hotel que dispone de 95 habitaciones, distribuidas de forma horizontal sobre la base de la ladera, todas con baño interno y terrazas en la mayoría de los casos (**Imagen 12**).





Imagen 12. Vista frontal del hotel.

- Restaurantes, dos tiendas misceláneas, una recepción y tres estacionamientos.
- Se han distribuido pequeños establecimientos de comida a lo largo de la zona, que trabajan de forma simultánea y coordinada. Todos los servidores hacen uso de uniformes de fácil identificación. Las tiendas ofrecen productos variados para la alimentación, aseo personal y el entretenimiento.
- La zona de estacionamiento está distribuida en toda el área de forma vertical, carecen de pavimento y líneas divisorias para especificar los espacios disponibles; en cambio, si tienen indicaciones para señalar la ubicación de los atractivos del lugar y varios depósitos de basura, aunque sin separar residuos.
- Por otro lado, existen dos albercas asimétricas (**Imagen 13**), que son rellenadas continuamente por agua que se extrae de la gruta; cada una de ellas con un guarda-vidas, compartiendo un vestidor y una unidad sanitaria.
- El vestidor está mal iluminado, las regaderas no tienen llave de paso y las paredes han sufrido los estragos de la humedad; por otro lado, los baños están limpios y son atendidos por un conserje.





Imagen 13. Vista de una de las albercas.

- Las unidades sanitarias están bien distribuidas en toda el área; por lo general están bien iluminadas y limpias; cada una cuenta con señalización visible y vigilancia; algunas de ellas se encuentran en construcción.
- Además, se cuenta con varias zonas de acampado en las inmediaciones del río, con disposición en terrazas, en espacios abiertos, sin pavimento, ni cubierta vegetal; se tiene la posibilidad de alquilar equipo de acampado, el cual es colocado y retirado por la misma gente del lugar.
- Con respecto a los caminos, en la zona turística existen veredas y caminos, que sirven para llegar a las áreas de interés, así, como a los servicios, tanto las veredas como los caminos son de terracería. Cabe señalar que existe la señalización que es clara y de fácil visualización.



CAPÍTULO III. CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS

El cambio de uso de suelo, derivado de la interacción de las actividades humanas con el medio natural, es una de las principales causas que a la fecha han definido los cambios al clima global y contribuye de manera significativa a procesos como el efecto invernadero, la erosión o la pérdida de biodiversidad. Dichos cambio permiten señalar que impacto han tenido las actividades humanas en el medio y al mismo tiempo, el constante monitoreo de dichos cambio cambios, permite tomar medidas de prevención y solución a los actuales problemas de degradación del suelo y con ellos, mejorar la calidad de vida de las personas. Además, La identificación espacial y la cuantificación de los cambios contribuyen a la caracterización del territorio y a la ubicación de áreas de atención prioritarias, así como al establecimiento de políticas correctivas y a la formulación de planes de acción respectivos para el mejor manejo de los recursos (Palacio, et al. 2004).

A continuación se presentan los aspectos relacionados con la cobertura vegetal y el cambio de uso de suelo. Se señala tanto el tipo como la superficie que cambió en relación al uso de suelo y vegetación. Con la información obtenida, se realiza el análisis correspondiente a la forma en que el crecimiento continuo del área de estudio, ha influido en la perturbación del ecosistema.

III.1. METODOLOGÍA

La realización del proyecto se estructuró en dos etapas:

a) Trabajo de Gabinete

Se basó en la consulta de información bibliográfica para fundamentar teóricamente el problema, con el fin de caracterizar el área a partir de sus condiciones geográficas y oferta turística.

Se interpretó la información y la cartografía temática, lo que permitió identificar los procesos de tipo natural que se presentan en el área de estudio; también se





identificaron las transformaciones a partir de dos coberturas correspondientes a etapas distintas, así como la forma en que han repercutido en el desarrollo y dinámica de la actividad turística.

Mediante la interpretación de imágenes GeoEye del 2009, se definieron las zonas con problemas actuales de erosión, misma que formó parte de la base del análisis cartográfico para el cambio de uso de suelo y determinar la relación entre las modificaciones y el desarrollo del proceso.

Por otra parte, se empleó el análisis multicriterio, utilizando el software ArcGis como técnica que permite la toma de decisiones a partir de información cartográfica temática, dirigida a obtener las zonas susceptibles a erosionarse.

La evaluación multicriterio (EMC) puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. La toma de decisiones multicriterio se puede entender, de acuerdo a Colson y De Bruin (1989; en Gómez y Barredo, 2005), como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios.

Basa su funcionamiento en la evaluación de una serie de alternativas sobre la base de una serie de criterios, puede servir para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente una serie de alternativas, a partir de los criterios considerados pertinentes en una evaluación (Eastman et al., 1993).

Cabe señalar que los métodos multicriterio no están completamente desarrollados en el campo de los SIG, no obstante, la EMC permite construir reglas de decisión claras, adaptadas a procesos de participación pública, y permiten manejar, en la dimensión espacial, un conjunto diverso de variables, tanto cualitativas como cuantitativas.





Para llevar a cabo este tipo de análisis, la EMC se subdivide en dos tipos: Análisis Multiatributo y Análisis Multiobjetivo. El primero trata el desarrollo de las reglas de decisión que pueden emplearse para obtener los mapas a emplear; el segundo expone el desarrollo de las reglas de decisión que son aplicables para la generación de un patrón óptimo.

De acuerdo a Gómez y Barredo (2005), los elementos a incorporar en la Evaluación Multicriterio en el entorno de los SIG, son los siguientes:

1. **Objetivos y alternativas.** Se entienden como una función a desarrollar, el objetivo indica la estructuración de la regla de decisión o el tipo de regla de decisión a utilizar. Se plantean sobre un elemento determinado que puede tener diversas alternativas, representadas por unidades espaciales en formato vectorial o raster.
2. **Los criterios: factores y limitantes.** Constituyen un aspecto fundamental de la EMC, se definen como la base para la toma de una decisión la cual puede ser medida y evaluada. Actúan como factor cuando realza o detracta la capacidad de una alternativa específica; la función como limitante restringe la disponibilidad de algunas alternativas dependiendo de la actividad evaluada.
3. **Reglas de decisión.** Es la selección entre alternativas (o posibilidades de elección), las cuales pueden representar diferentes cursos de acción, hipótesis, localizaciones u otros conjuntos de elementos; es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular.
4. **Evaluación.** El objetivo inicial puede desglosarse en una serie de objetivos específicos que indiquen cómo va a actuar la regla de decisión, asimismo, los criterios son estructurados en buena medida en función de los objetivos propuestos, es decir, cada objetivo puede ser representado por uno o varios criterios, con cuya optimización se lograrían los objetivos.





5. Matrices. Su función es la mejor organización para presentar la relación de criterios (columnas) y alternativas (fila principal), constituyendo una matriz de evaluación con valores internos llamados puntuaciones.

De esta forma y mediante la integración de la EMC con las herramientas contenidas en los Sistema de Información Geográfica, se genera la posibilidad del análisis espacial a través del modelado dirigido a la localización de actividades económicas, gestión de riesgos naturales, problemáticas ambientales y para el caso del presente trabajo de investigación, la identificación de zonas susceptibles a peligros de erosión.

b) Trabajo de Campo

Se llevaron a cabo distintas actividades dentro del centro recreativo, que tienen como objetivo corroborar la información obtenida a través del análisis de la información bibliográfica y cartográfica. Las actividades realizadas fueron:

- Obtención de información a través de entrevistas no dirigidas y pláticas, seleccionando de manera aleatoria a la población que toma parte en el turismo: vigilantes, prestadores de servicios y turistas.
- La utilización de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) tuvo como objetivo levantar y representar la información a través de la elaboración de cartografía temática.
- Recorrido por el área de estudio con el propósito de identificar y analizar la dinámica turística, además de poner especial atención en los procesos erosivos y determinar si continúan presentándose de manera natural o han sido provocados por la actividad turística.

III.2. TASA DE CAMBIO

El impacto de las actividades económicas y el desarrollo de las comunidades humanas sobre el territorio y sus recursos, permiten identificar problemas relativos al manejo de





los recursos naturales. La identificación y la cuantificación de los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo permiten caracterizar el territorio e identificar áreas de atención prioritarias (Palacio *et al*, 2004).

Así, se ha considerado a la vegetación como uno de los indicadores más importantes de las condiciones naturales del territorio, y no sólo de los factores naturales como clima, suelo y agua, sino también de las influencias antrópicas recibidas. El análisis de los cambios producidos a la cobertura vegetal (deforestación, degradación, revegetación, etc.), considerando básicamente aquéllos ocasionados por las actividades antrópicas, son un elemento fundamental en la caracterización del espacio geográfico. La tasa de cambio se evalúa, por lo tanto, siguiendo los conceptos que se muestran enseguida:

- Cobertura conservada: Mide el porcentaje de superficie de vegetación sin cambio en el periodo 1976-2010 (la cobertura vegetal se mantiene).
- Cobertura deforestada: Mide la cantidad espacial que cambió su uso de suelo sólo de formas arbóreas (bosques y selvas) a zonas de cultivos, a pastizales inducidos y cultivados o a otro uso como el urbano (cambio negativo).
- Cobertura revegetada: Mide la cantidad de superficie donde anteriormente se llevaba alguna actividad agropecuaria (uso de suelo en cultivos o pastizales inducidos y cultivados) y actualmente se encuentra ocupada por bosque, selva, matorral, vegetación hidrófila o pastizales naturales (cambio positivo).
- Cobertura degradada: Mide la cantidad de superficie que presentó cambio en el uso del suelo, pérdida de cobertura no arbórea, que cambió por pastizales inducidos y cultivados, matorrales, cultivos y otras coberturas (cambio negativo).
- Cobertura sin cambio: Mide la cantidad de superficie de las zonas donde el uso del suelo correspondía a cultivos, pastizales inducidos y cultivados y otros usos, y que actualmente se mantienen con el mismo tipo de uso (estático).





- Falso cambio: Se refiere a los errores posicionales (desfases, delimitación de polígonos) y temáticos derivados del uso de cartografía elaborados con metodologías distintas o por distintas personas (Mas y Quiroz, 2008).

Las bases de datos utilizada para calcular la tasa de cambio de vegetación y uso del suelo en la zona en estudio corresponde a las de INEGI serie I y serie IV, escala 1:250 000.

- *Serie I (INEGI 1968-1986), escala 1:250,000.*

La cartografía de uso del suelo y vegetación del INEGI, escala 1:250 000, se elaboró con base en la interpretación de fotografías aéreas tomadas entre los años 1968 y 1986. El sistema de clasificación utilizado para toda la República Mexicana comprende más de 300 clases que dan cuenta de los diferentes tipos de vegetación con base en criterios de fisonomía, florística, fenología y estado de conservación de los tipos de uso del suelo (para el caso de la zona en estudio se homologaron los datos de las series de datos analizadas y se consideraron siete categorías de vegetación y uso del suelo.

Es importante señalar que no existe evaluación cuantitativa de la confiabilidad de la cartografía de uso del suelo y vegetación del INEGI. Al considerar la metodología para su elaboración, el error fotogramétrico cartografiable es de 250 m, que en escalas pequeñas es menor. De esta manera se incrementa la incertidumbre en los límites de las unidades y no en las unidades en sí (**Mapa 9**).

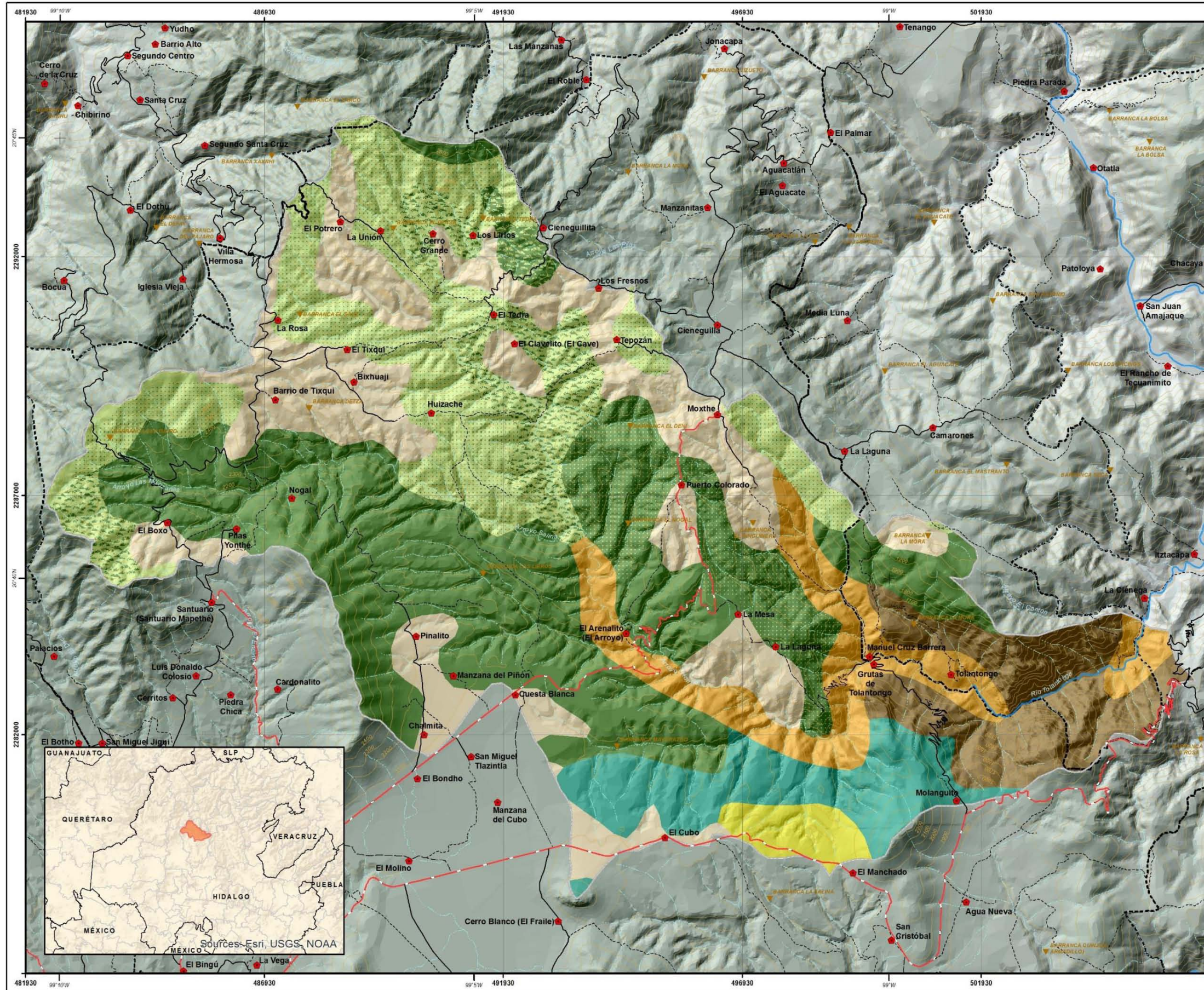
- *Serie IV (INEGI 2007-2010), escala 1:250,000.*

Se obtuvo a partir de la interpretación visual por medios digitales de imágenes SPOT del año 2007 multiespectrales y ortorrectificadas, y respaldada con verificación de campo; presenta la distribución de los diferentes tipos de vegetación natural e inducida de nuestro país. También se muestra la ubicación de las áreas agrícolas y se organiza a partir de un sistema jerárquico que podrá formar parte de un Sistema



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 9. VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO 1976



Simbología

- | | |
|---|---|
| BOSQUE | MATORRAL |
| Coníferas | Submontano |
| Pino | Crasicale con vegetación secundaria arbustiva |
| Encino | |
| Encino | |
| Mixto | PASTIZAL |
| Pino-Encino | Inducido |
| Pino-Encino con vegetación secundaria arbustiva | |
| Encino-Pino | USO DE SUELO |
| Encino-Pino con vegetación secundaria arbustiva | Agricultura de temporal anual |
| Juniperus | |
| Tascate con vegetación secundaria arbustiva | |

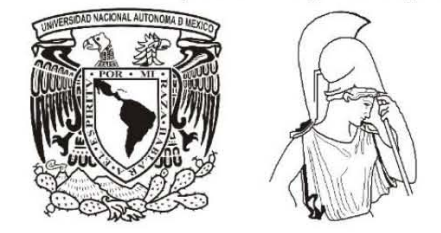
Signos convencionales

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Límites | Relieve |
| Zona de estudio | Curva de nivel |
| Municipio | Vías de comunicación |
| Localidad | Carretera pavimentada |
| Rasgos hidrográficos | Terracería |
| Río intermitente | Brecha |
| Río perenne | Vereda |



Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
 PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO
 ASESOR
 MTRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





de Información Geográfica (**Ver Mapa 8**). El máximo error permanece constante (límite de las unidades), pero su resolución disminuye considerablemente.

Para obtener las estadísticas correspondientes a partir de los dos productos cartográficos, se realizó una sobreposición de la *serie I (t1)* y *serie IV (t2)*, mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 10.0). Esta parte del análisis muestra la magnitud y distribución espacial de la compleja dinámica del cambio de uso del suelo.

La tasa de cambio se obtuvo a partir de la siguiente fórmula (Palacio, et al. 2004):

$$C = ((T2/T1)^{1/n} - 1) (100)$$

Dónde:

C = Tasa de cambio

T1 = Año de inicio (con el que se quiere comparar)

T2 = Año actual o más reciente

n = Número de años entre T1 y T2

A partir de la cual se obtiene el siguiente producto: mapa cambio de cobertura vegetal para el periodo 1976-2007 (**Mapa 10**).

La **Tabla 3** muestra los resultados cuantitativos obtenidos al sobreponer la cartografía correspondiente de vegetación y uso del suelo *serie I* y *serie IV* según categorías de análisis, considerando un periodo de 31 años.

Para el caso de los valores de superficie de cambio con signo negativo se identifica una pérdida en la categoría correspondiente; se tiene así que el bosque de encino perdió 11.4% en 31 años con relación a la superficie original de 98.9 ha. En 1976 destaca el aumento de la categoría de agricultura de temporal, la cual representa una tasa de cambio de 4.4 % total; su superficie se incrementó de 3389.6 ha (19.8%) en 1976 a 4580.5 ha (26.8%) en 2007, lo cual representa una mayor superficie agrícola.





VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO	AÑO				SUPERFICIE DE CAMBIO (Ha)	TASA DE CAMBIO (%/a)
	1976 (Ha)	1976 (%/a)	2007 (Ha)	2007 (%/a)		
Agricultura de temporal anual	3389.6	19.8	4580.5	26.8	+1190.9	4.4
Bosque de encino	98.9	0.6	87.5	0.5	-11.4	2.9
Bosque de pino	4411.9	25.8	2716.9	15.9	-1695.0	2.0
Bosque de táscate con vegetación secundaria arbustiva	1177.9	6.9	73.8	0.4	-1104.0	0.2
Bosque mixto (incluye pino-encino encino-pino)	4952.3	29.0	4265.2	25.0	-687.1	2.8
Matorral	2759.9	16.1	4110.4	24.1	+1350.5	4.8
Pastizal inducido	298.8	1.7	1254.9	7.3	+956.0	13.5
TOTAL	17089.3	100.0	17089.3	100.0	0.0	

Tabla 3. Tasa de cambio 1976-2007.

Dichos resultados permiten establecer la superficie de cambio, según el tipo de cobertura en un lapso de 31 años (Tabla 4).

CAMBIO	HA	Porcentaje de cambio
Conservada	8641.3	50.6
Sin cambio	2812.8	16.5
Deforestada	2608.7	15.3
Degradada	2049.2	12.0
Falso cambio	800.9	4.7
Revegetada	176.2	1.0
TOTAL	17089.3	100

Tabla 4. Superficie y porcentaje de cambio según tipo de cambio de uso de suelo y vegetación.

La mitad de la superficie de la cobertura vegetal (50.6%) se ha conservado en 31 años o, bien, expresado de otra forma, 49.4% de la cobertura vegetal (bosque de pino, encino, táscate y bosque mixto) ha sido alterado con una tasa promedio anual del 2.0 %. Pérdida que se encuentra relacionada tanto con los procesos de deforestación, como con la degradación (se degradó 12% del total original) y sin cambio (16.5%). Del mismo modo, destaca un porcentaje muy bajo para los cambios positivos, es decir, de revegetación, mismos que llegan al 1% en 31 años.



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 10. CAMBIO DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO 1976-2007

Simbología

CAMBIO EN VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO 1976-2007

	Hectáreas	%
Conservada	8641.3	50.6
Deforestada	2608.7	15.3
Revegetada	176.2	1.0
Degradada	2049.2	12.0
Sin cambio	2812.8	16.5
Falso cambio	800.9	4.7
Total	17089.3	100

Fuente: Elaboración propia a partir de interpretación de imágenes de satélite del 2012.

Signos convencionales

Límites	Relieve
□ Zona de estudio	~ Curva de nivel
⋯ Municipio	Vías de comunicación
• Localidad	— Carretera pavimentada
Rasgos hidrográficos	— Terracería
— Río intermitente	— Brecha
— Río perenne	— Vereda

ESCALA 1:80,000



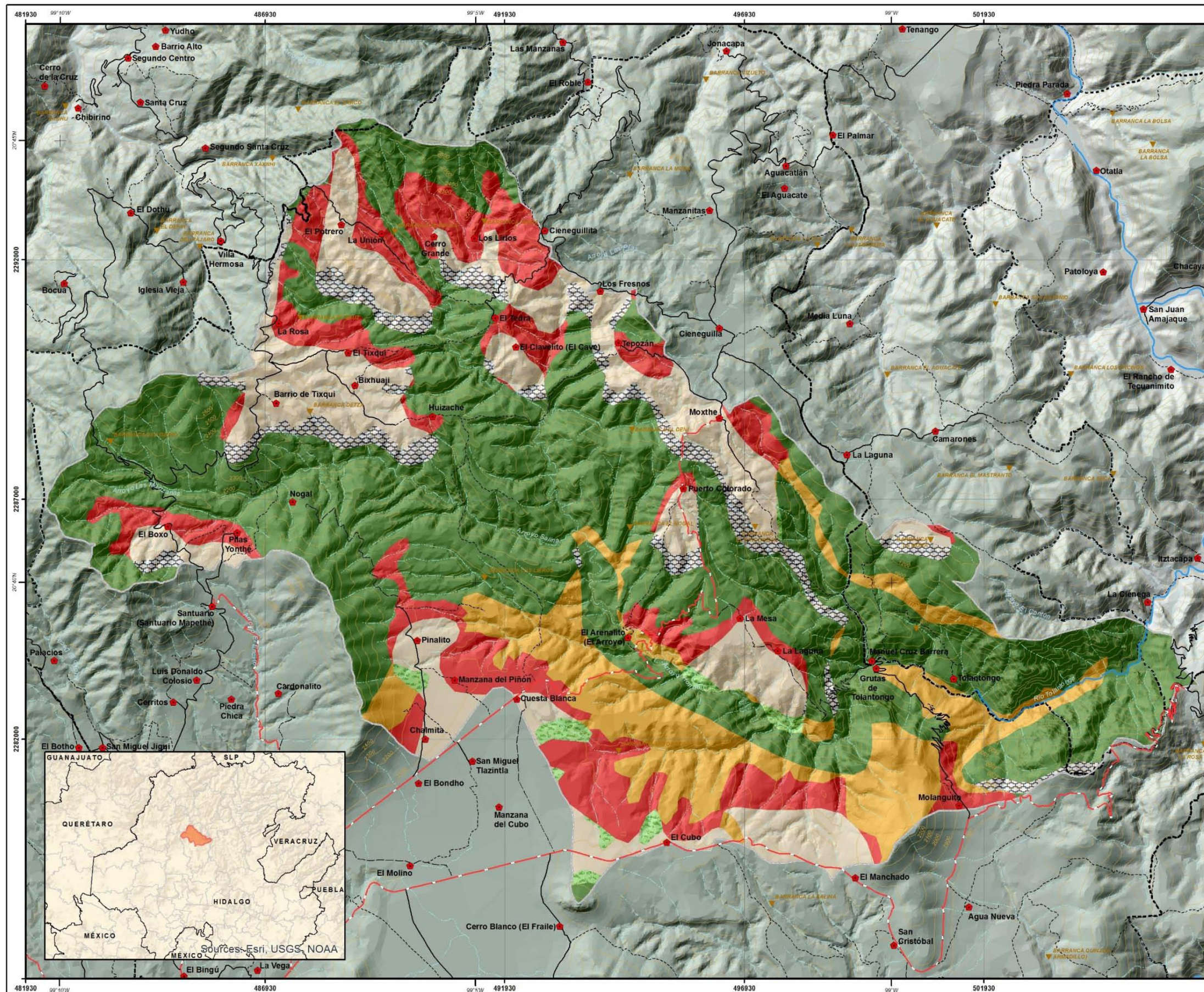
Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO

ASESOR
 MTR. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





Con la ampliación de la frontera agrícola, las zonas deforestadas contribuyeron al proceso, aumentando un 15.3% las zonas destinadas al uso agrícola o bien ampliando los pastizales inducidos y los matorrales.

Por su parte, el bajo porcentaje de los errores derivados de la posición de los polígonos en mapas de distintas fechas y/o por errores en las categorías de cada unidad de vegetación y uso del suelo, es menor a 5%, lo cual está dado por el uso de fuentes cartográficas elaboradas por la misma institución (INEGI), y en las cuales si bien la elaboración de las series I y IV no responde a metodologías iguales, sí responde a criterios de clasificación temática muy semejantes, asegurando con ello una aproximación bastante aceptable de los mapas utilizados.

III.3. ZONAS SUSCEPTIBLES A LA EROSIÓN

III.3.1. Erosión actual

Como se ha mencionado, la erosión constituye un proceso geomorfológico natural que modela el relieve y genera la configuración actual. La erosión inicia con el intemperismo, el cual disgrega los materiales mediante procesos físicos, químicos y biológicos; posteriormente, mediante agentes (agua, hielo, viento, gravedad y el ser humano), se lleva a cabo la pérdida de suelo y de sedimentos (Lugo, 2011).

En la zona de estudio, la erosión con mayor incidencia es la laminar y concentrada, caracterizada por el movimiento de partículas debido a la acción de la escorrentía. No obstante, la intensidad de este proceso se relaciona con la distribución espacial e interrelaciones entre otros componentes ambientales, los cuales son: tipo y competencia del material geológico, geoformas, pendiente, tipo de suelo, precipitación, vegetación y uso de suelo.

Con base en lo anterior, el área de estudio presenta zonas con desarrollo de erosión laminar y concentrada en laderas, las cuales se clasificaron en tres categorías en





función de la intensidad (**Mapa 11**). Se distribuyen principalmente al sur, con algunas porciones de menor tamaño en la porción centro-norte.

La categoría alta está asociada al relieve de laderas, constituidas por rocas de origen sedimentario (lutitas - calizas) con pendientes que superan los 20°; sobre estas laderas se han desarrollado suelos de tipo rendzina, caracterizados por ser someros y con textura gruesa.

Estos factores, en conjunto con la precipitación, han generado el continuo arrastre del suelo, así, como el estrato conformado por materiales intemperizados, llegando así al sustrato rocoso, y teniendo como consecuencia la pérdida total del recurso suelo.

Con relación a la categoría media, se localiza en zonas con condiciones similares; se diferencia de la anterior debido a que no se ha perdido completamente el suelo; sin embargo, al no existir medidas dirigidas a controlar el proceso, estas zonas tienden a comportarse como la categoría anterior. De la misma forma, la erosión baja corresponde a áreas con desarrollo incipiente pero con la posibilidad de pérdida total del suelo.

Cabe señalar que el desarrollo de zonas erosionadas no está asociado completamente a las características físico-geográficas, debido a que otro factor que ha catalizado y ampliado estas áreas es el cambio de uso de suelo.

Lo anterior se observa en la distribución de las zonas erosionadas, las cuales se localizan en áreas catalogadas como degradadas o deforestadas. Por tal motivo, las modificaciones en el paisaje derivadas de la sustitución de la cobertura vegetal natural para el emplazamiento de otras actividades (agropecuarias), así como la deforestación, eliminan la capacidad de la vegetación para minimizar la acción de la precipitación y mantener la cohesión del suelo (**Imagen 14**).



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 11. EROSIÓN ACTUAL

Simbología

INTENSIDAD DE LA EROSIÓN

- Alta: Pérdida total del suelo.
- Media: Pérdida gradual del suelo asociada a la falta de medidas de mitigación
- Baja: Relacionada con el cambio de uso del suelo.

Fuente: Elaboración propia a partir de interpretación de imágenes de satélite del 2012.

Signos convencionales

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Límites | Relieve |
| Zona de estudio | Curva de nivel |
| Municipio | Vías de comunicación |
| Localidad | Carretera pavimentada |
| Rasgos hidrográficos | Terracería |
| Río intermitente | Brecha |
| Río perenne | Vereda |

ESCALA 1:80,000



Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
 PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO
 ASESOR
 MTRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía

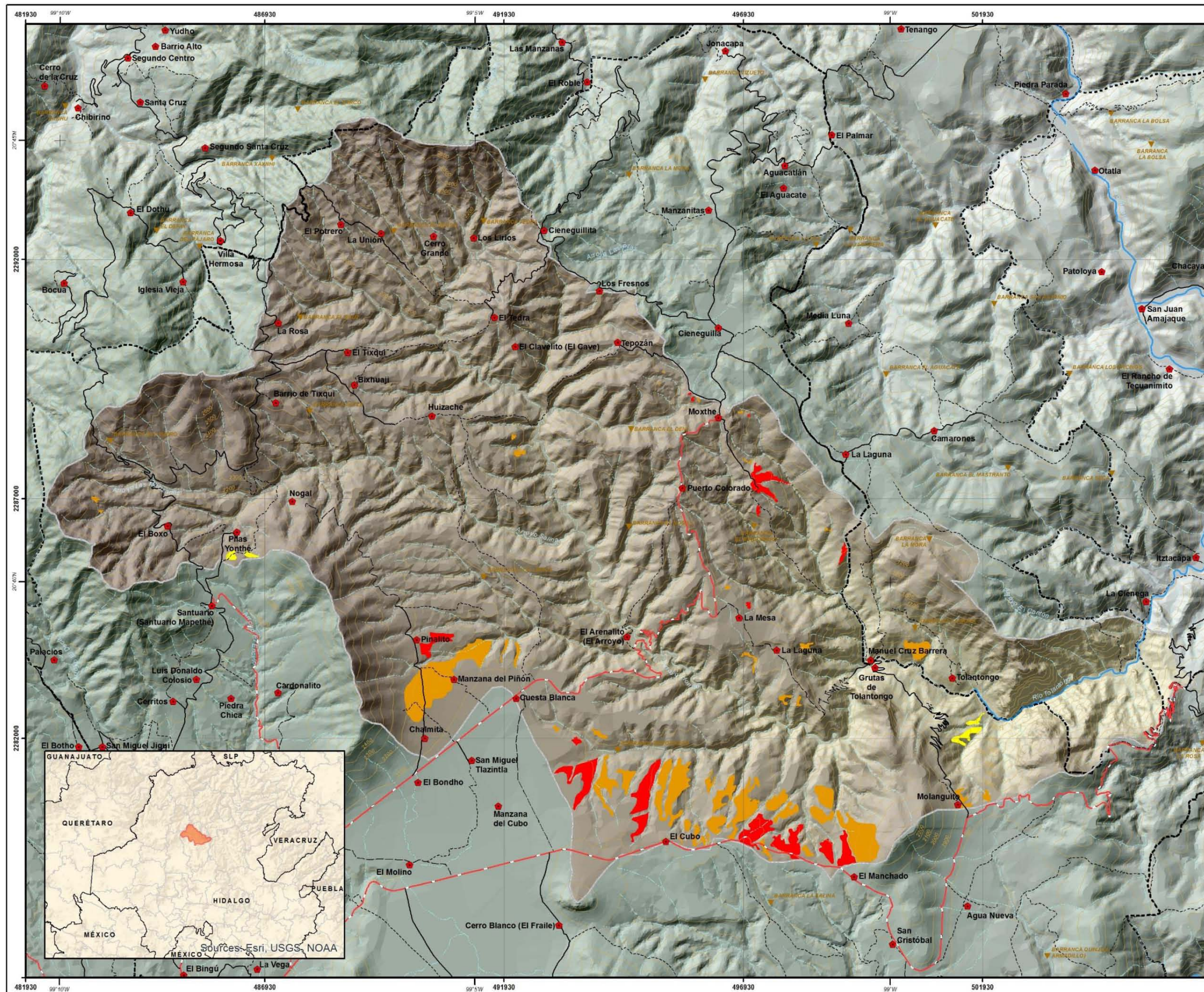




Imagen 14. Desarrollo de erosión laminar que tiende a concentrarse en la parte baja de los corredores, en áreas con menor densidad de vegetación.

Cabe señalar, que los materiales que constituyen la zona de estudio son rocas sedimentarias carbonatadas y no carbonatadas. Las no carbonatadas corresponden a lutitas y areniscas, por otro lado, el principal componente mineral de la caliza es el carbonato de calcio.

Por tal motivo, la presencia de caliza es un factor que permite el desarrollo de geoformas de origen kárstico. No obstante, la formación de este tipo de relieve no es representativo en la zona debido a: i) Existe intercalación de rocas calizas con lutitas, ii) El régimen de precipitación en la zona, iii) La cantidad de carbonato de calcio en la caliza, iv) Grosor de los estratos.

Con base en lo anterior, la formación de exokarst (geoformas superficiales) no se generan, siendo el endokarst (formas subterráneas) el proceso que está modelando el relieve. De esta forma, la erosión kárstica no es el origen de la problemática que constituye el objeto de estudio para el trabajo de investigación.

Por otro lado, se establece a continuación, la definición de algunos tipos de erosión:





- Erosión gravitacional: desplazamiento de materiales en las vertientes, sin intervenir ningún soporte activo o medio para movilizarlos, es decir, impulsados por su propio peso; corresponde, por tanto, a una "autotraslación" bajo la acción directa de la gravedad.
- Erosión vertical: Se lleva a cabo por una corriente fluvial que forma cauces, depresiones lineales, barrancos y al final, un valle.
- Erosión laminar: Es cuando se remueven las partículas por los escurrimientos de aguas de lluvia y de deshielo, las corrientes dispersas (escorrentías). Estos procesos son propios de las laderas y mesetas, así como de las porciones superiores de las cabeceras fluviales.
- Escarpe activo: Ladera abrupta o a desplome, de altura variable, que puede formarse por distintas causas: tectónicas, abrasión, procesos gravitacionales, glaciares, tecnógenos. Se considera activo debido a que los procesos exógenos siguen actuando sobre el escarpe.
- Materiales heterométricos: cuando los sedimentos que constituyen un depósito está formado por materiales de distinto tamaño.

III.3.2. Zonas susceptibles

La zona de estudio presenta condiciones ambientales que propician un mayor desarrollo de la erosión; en parte, por la forma en que se ha utilizado el territorio (incremento de zonas agropecuarias, mayor afluencia turística), lo que genera un escenario encaminado a ampliar las áreas erosionadas.

Se construyó un mapa mediante la técnica de Análisis Multicriterio, donde se integraron las variables cartográficas de litología, geomorfología, tipo de suelo, precipitación y uso de suelo, las cuales se ponderaron en función de su aporte en el proceso erosivo. El procedimiento se llevó a cabo con el uso de Sistemas de





Información Geográfica (ArcGis 10.0), obteniendo como producto final un mapa de intensidades de erosión potencial.

Como se menciona en el marco teórico, la evaluación multicriterio parte de un objetivo principal que sirve como el eje para la aplicación de la técnica. En el presente trabajo de investigación, la identificación, creación de cartografía y posterior análisis de las zonas susceptibles a la erosión laminar en la zona de estudio, constituye el objetivo principal.

Por otra parte, mediante la revisión bibliográfica sobre la erosión y el trabajo de campo, se definieron las variables, criterios y ponderación que intervienen en la generación del proceso estudiado; cabe señalar que el peso asignado a cada elemento de la variable se definió en función de la importancia que tiene para la erosión. Lo anterior se señala en la **tabla 5**.

VARIABLE	CRITERIO	TIPO	PESO
Litología superficial	Se consideró la edad de los materiales, así como el grado de consolidación y forma en que están dispuestas las rocas en la superficie.	Ki (Cz): Caliza del Cretácico inferior	2
		Ki (Cz-Ar): Caliza arenisca del Cretácico inferior	2
		Ks (Cz-Lu): Caliza lutita del Cretácico superior	2
		T (Gd): Granodiorita del Terciario	1
		Ts (Lm-Ar): Limolita arenisca del Terciario superior	3
		Ts (Ta): Toba ácida del Terciario superior	3
		Ts (A): Andesita del Terciario superior	1
		Ts (Ar-Cg): Arenisca conglomerado del Terciario Superior	3
		Q (Al): Aluvial del Cuaternario	3
VARIABLE	CRITERIO	TIPO	PESO
Tipos de suelo	Relacionados con el tipo de material parental, lo que	Castañozem cálcico	2





	repercute en las características físicas y químicas de los suelos, y que influyen en el grado de erodabilidad.	Litosol	3
		Regosol éútrico	3
		Rendzina	2
		Vertisol pélico	1
Grado de pendiente	Se retoma la clasificación empleada en la geomorfología. El grado de inclinación repercute en una mayor escorrentía y arrastre de sedimentos.	0 – 3	1
		3 – 15	2
		15 – 30	3
		30 – 45	4
		>45	5
Uso de suelo y vegetación	El tipo de cobertura en la zona de estudio puede reducir (vegetación) o incrementar (agricultura o uso pecuario), la acción erosiva del agua.	Agricultura de temporal	3
		Bosque de encino	1
		Bosque de encino-pino	1
		Bosque de pino	1
		Bosque de pino-encino	1
		Bosque de tascate	1
		Matorral crasicaule	2
		Matorral submontano	2
		Pastizal inducido	3





Cantidad de precipitación	Constituye el agente erosivo, la intensidad está en función de la distribución de los otros elementos.	200 - 700 mm.	2
----------------------------------	--	---------------	---

Tabla 5. Criterios y ponderación que intervienen en la generación del proceso estudiado.

Definidos los tipos de información a utilizar (en formato vectorial), se procedió a asignar los pesos en un nuevo campo de la tabla de atributos. Con este campo, se llevó a cabo la conversión de formato, pasando del vectorial a la estructura de datos en raster.

Mediante este formato, el análisis multicriterio se realizó a través del álgebra de mapas, empleando como operación aritmética la suma, lo que adiciona las características de cada componente ambiental. La forma en que se incorporó la información cartográfica se muestra en la **figura 2**.

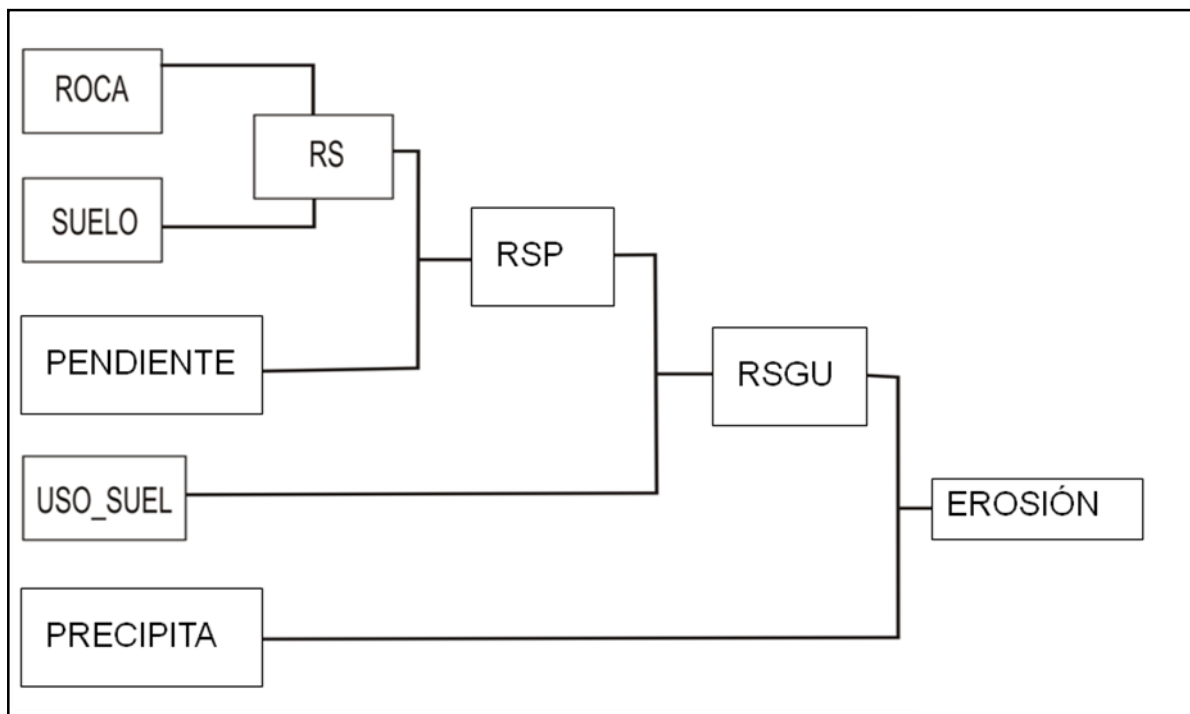


Figura 2. Capas de información cartográfica utilizadas en el análisis multicriterio de la erosión laminar.





Cabe señalar que, la suma entre las capas raster genera una nueva serie de valores, motivo por el cual se requiere asignar categorías. Este procedimiento se realiza con la herramienta "Reclassify", con base en criterios como: número de píxeles por categoría (superficie), escala de trabajo, distribución espacial del proceso estudiado. Con base en lo anterior, la **tabla 6** muestra la reclasificación empleada.

CRUCE	VALORES OBTENIDOS	MAPA RESULTANTE	RECLASIFICACIÓN
ROCA + SUELO	3 - 6	RS	3= 1 3 - 5= 2 6= 3
RRS + PEND	2 - 8	RSP	2 - 3= 1 4= 2 5= 3 6= 4 7 - 8= 5
RSP + USO_SUEL	2 - 8	RSPU	2 - 3= 1 4= 2 5= 3 6= 4 7 - 8= 5
RSPU + PRECIPITA	2 - 7	EROSION	2 - 3= 1 4= 2 5= 3 6= 4 7= 5

Tabla 6. Reclasificación de las categorías de cada elemento cartográfico para realizar el análisis multicriterio.

El mapa resultante quedó clasificado en cinco categorías que reflejan cualitativamente la susceptibilidad potencial de erosión, correspondiendo el 1 a la susceptibilidad Muy baja y en el otro extremo, el 5 como las zonas con Muy alta susceptibilidad a la erosión laminar (**Mapa 12**).

Al noroeste, norte y sureste de la zona de estudio se localizan las áreas con susceptibilidad a erosión potencial muy alta, que representan 29.3% del territorio, están relacionadas los tipos de laderas constituidas por rocas de origen sedimentario (calizas, lutitas, margas, dolomías del Cretácico). El valor de pendiente dominante que



CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROCESOS EROSIVOS EN EL PARQUE RECREATIVO GRUTAS DE TOLANTONGO, HIDALGO*

MAPA 12. EROSIÓN POTENCIAL

Simbología

INTENSIDAD DE LA EROSIÓN

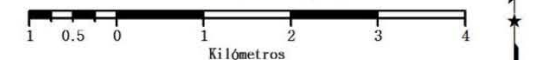
- Muy alta
- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja

Fuente: Elaboración propia a partir de información cartográfica de 1986.

Signos convencionales

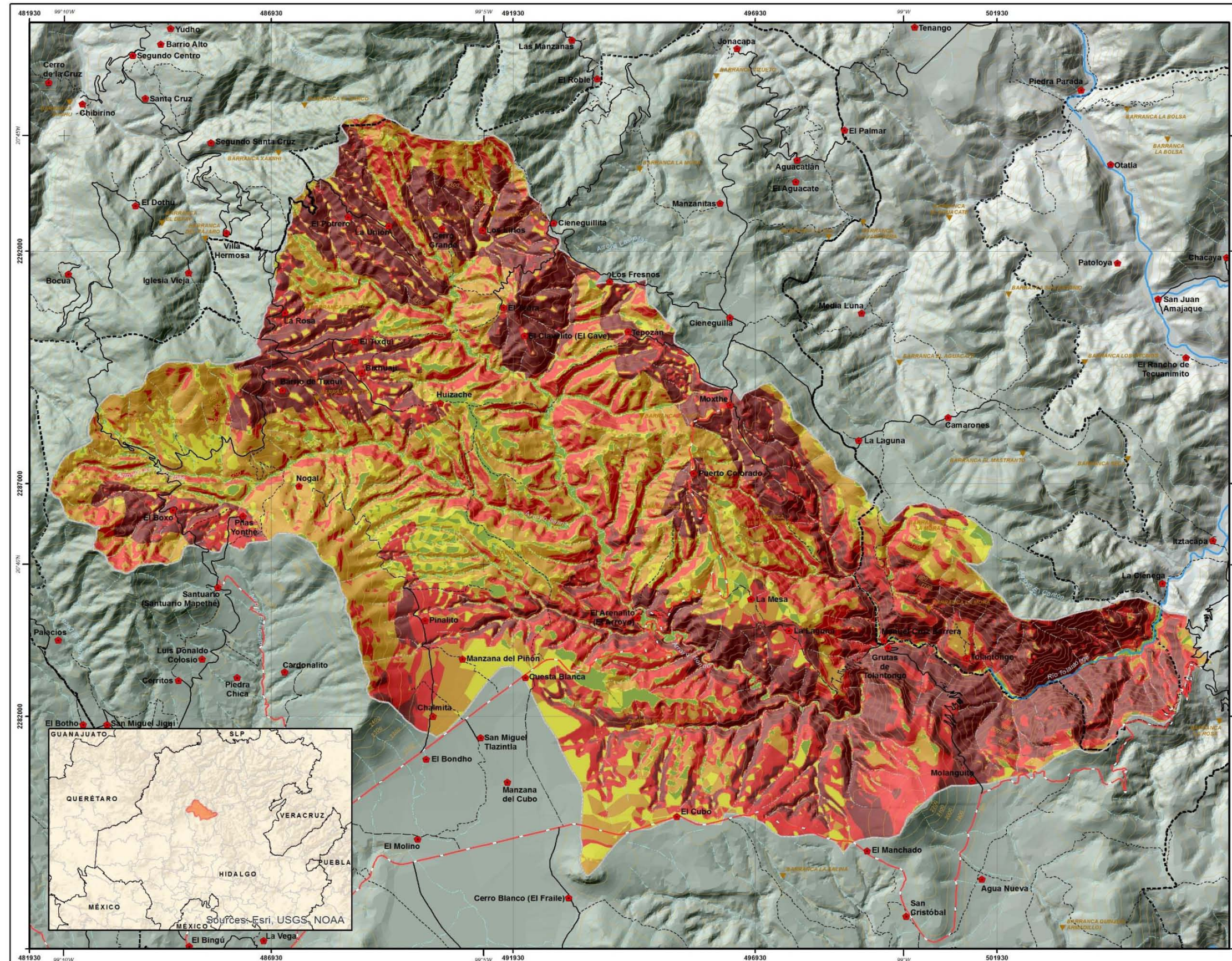
- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Límites | Relieve |
| Zona de estudio | Curva de nivel |
| Municipio | Vías de comunicación |
| Localidad | Carretera pavimentada |
| Rasgos hidrográficos | Terracería |
| Río intermitente | Brecha |
| Río perenne | Vereda |

ESCALA 1:80,000



Proyección: Universal Transversa de Mercator Zona: 14
 DATUM: WGS84 Elipsoide EGS84
 Equidistancia entre curvas de nivel 100 metros

*TESIS
 QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
 PRESENTA
 JOSÉ ALBERTO MORENO SAUCEDO
 ASESOR
 MRO. CARLO ALEJANDRO D' LUNA FUENTES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras - Colegio de Geografía





presentan supera los 20°, por lo que el grado de inclinación es un factor que propicia el proceso. Aunado a lo anterior, los valores de precipitación anual oscilan entre 300 y 700 mm., por lo que la presencia de lluvia durante el año, constituye un elemento que permanentemente va a influir en el desarrollo erosivo.

Producto de estos materiales, así como la interacción del clima, biota, relieve y tiempo, se han desarrollado suelos como las rendzinas, los litosol y los regosoles, caracterizados por ser someros, con estructura poco desarrollada y textura de media a gruesa, condiciones que incrementan la erodabilidad.

Como se ha señalado, la erosión está ligada al cambio de uso de suelo debido a que es el elemento que modifica el funcionamiento del sistema y favorece la erosión, ya que la vegetación no amortigua el efecto de la precipitación, lo que incrementa el impacto de las gotas de lluvia, formación de escorrentía, y por consiguiente, arrastre de materiales; por otra parte, la ausencia de raíces impide la cohesión del suelo.

Cabe indicar que las áreas identificadas en esta categoría aún conservan la vegetación natural, lo que impide que se genere la denudación por lo que es importante evitar el cambio de uso y mantener las condiciones actuales del paisaje (**Imagen 15**).

Las áreas correspondientes a la erosión potencial alta, ocupan alrededor de 27.1% del territorio (46.7 km²) y se localizan en el centro y sur. Las características geológico-geomorfológicas, edáficas y climáticas son similares a la categoría anterior; entre las cuales solo varía el grado de inclinación del terreno, el cual se encuentra entre 15° y 20°.

Por otra parte, la zona aún conserva la vegetación (bosques de pino-encino y matorral crasicaule), motivo por el cual el efecto erosivo del agua se ve disminuido.

La categoría media abarca 48.8 km² (28.3 %), localizadas al norte y oeste. Se caracteriza por estar asociada a laderas constituidas por rocas sedimentarias y piedemonte conformado por materiales heterométricos menos consolidados. Los suelos formados son rendzinas, litosoles y regosoles, con las características ya descritas. Los factores que





disminuyen la susceptibilidad con la pendiente (menor a 15°), así como la presencia de cobertura vegetal en buen estado (bosques de pino y encino).



Imagen 15. Laderas susceptibles a erosión.

Con relación a las categorías baja y muy baja, representan 15.3% de la zona de estudio; la morfología corresponde a zonas con pendiente menor a 10° (piedemonte y planicies aluviales), no obstante, se ha llevado la sustitución de vegetación natural por emplazamiento de actividades agrícolas; aunado a lo anterior, las propiedades físicas de los suelos presentes, los hace más susceptibles a este proceso.

Con base en lo anterior, la presencia de cobertura vegetal constituye uno de los elementos que aparentemente minimiza el efecto de la erosión, debido al efecto amortiguador que ejerce sobre la precipitación y escorrentía. Resulta imperativo llevar a cabo medidas que impidan y controlen la erosión, así como restaurar aquellas áreas donde existe el proceso.



Sin embargo, la existencia del centro turístico Grutas de Tolantongo, constituye un elemento que amenaza con seguir modificando el paisaje, debido a la construcción de equipamiento, para recibir la creciente demanda turística así como la continua explotación de recursos forestales (maderables), empleados como materiales de construcción y combustible.

En suma, se requiere la creación de estrategias encaminadas a un mejor uso de la zona y evitar el deterioro; de lo contrario, las áreas que aún no presentan el proceso tenderán a presentar la problemática, afectando no sólo al suelo sino también al equipamiento y a los atractivos naturales con que cuenta el parque recreativo.

III.4. RELACIÓN CAMBIO DE USO DE SUELO Y EROSIÓN

La correlación de los procesos de cambio de uso de suelo y los erosivos se realizó mediante la sobreposición cartográfica de los mapas de erosión actual y cambio 1976-2007, en el cual se identificó que aun las zonas conservadas y revegetadas están sufriendo procesos erosivos (**Tabla 7**).

A pesar de que en las zonas conservadas existe cobertura vegetal, la presencia de erosión está supeditada a las condiciones físico-geográficas del área, caracterizada por una morfología de laderas con desarrollo incipiente de suelos; por tal motivo, la denudación constituye un proceso ligado a la dinámica natural.

Para las zonas revegetadas, la sucesión no ha tenido la misma velocidad que la erosión, por lo que existe una continua competencia entre el crecimiento de vegetación y la ampliación de superficies erosionadas.

Por otra parte, las zonas deforestadas y degradadas coinciden con una intensidad erosiva media y alta, porcentajes que en el caso de la deforestación y su relación con la erosión es mayor a 35%, mientras que para el caso de las zonas degradadas es superior a 16%.

Destaca que aun en las zonas conservadas y revegetadas se generen procesos erosivos en aproximadamente el 8% de la superficie, mientras que para las zonas que no han





cambiado su uso de suelo agrícola (zonas sin cambio) se puede inferir que la erosión se relaciona con prácticas agrícolas tradicionales, mismas que a lo largo de treinta y un años han degradado el suelo.

TIPO DE CAMBIO	INTENSIDAD DE LA EROSIÓN	HECTÁREAS	% RESPECTO AL TOTAL
Conservada	Alta	4.9	0.8
Conservada	Media	22.6	3.7
Subtotal		27.5	4.5
Deforestada	Alta	52.3	8.6
Deforestada	Media	181.1	29.6
Deforestada	Baja	2.1	0.3
Subtotal		235.5	38.6
Degradada	Alta	11.8	1.9
Degradada	Media	85.1	13.9
Degradada	Baja	11.4	1.9
Subtotal		108.3	17.7
Revegetada	Alta	5.9	1.0
Revegetada	Media	12.9	2.1
Subtotal		18.8	3.1
Sin cambio	Alta	104.4	17.1
Sin cambio	Media	112.4	18.4
Sin cambio	Baja	3.9	0.6
Subtotal		220.7	36.1
Total		610.8	100.0

Tabla 7. Relación cambio de uso de suelo-erosión

III.4.I. Análisis FODA

Por otro lado, el Parque Grutas de Tolantongo presenta características que han permitido otra fuente de ingresos a la población del ejido, por lo que se realiza un Análisis de las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y de Amenazas (FODA), para generar las estrategias que permitan la sostenibilidad de la zona.

El análisis FODA es una metodología de estudio de la situación de una empresa o un proyecto, analizando sus características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades). Este recurso fue creado a principios de la década de los setenta y produjo una revolución en el campo de la estrategia empresarial. El





objetivo del análisis FODA es determinar las ventajas competitivas de la empresa bajo análisis y la estrategia genérica a emplear por la misma que más le convenga en función de sus características propias y de las del mercado en que se mueve (Chapman, 2004). Actualmente este tipo de análisis es usado también en ciencias ambientales.

Parque Grutas de Tolantongo.

Fortalezas

- Se cuenta con una buena organización (Sociedad Cooperativa Ejidal).
- Paisaje atractivo para continuar con el aprovechamiento actual.
- Infraestructura adecuada y suficiente para atender la demanda turística.
- Precios accesibles para cualquier nivel económico.
- Atención de calidad por parte de los prestadores de servicios turísticos (vigilantes, administradores, salvavidas).
- Amplia variedad de servicios (transporte, tiendas de víveres, baños, hotel, cabañas, entre otros).
- Mantienen limpios sus espacios turísticos.
- Cuentan con mano de obra y maquinaria para responder ante derrumbes e inundaciones.
- A pesar de existir otros destinitos turísticos en la región (balnearios cercanos a Ixmiquilpan), éstos no representan competencia significativa.

Oportunidades

- Alto potencial para el desarrollo de turismo alternativo.
- Por sus atractivos naturales, se puede proyectar a nivel nacional e internacional.





- Posibilidad para un alto desarrollo económico de la población del lugar.
- Alternativas en el manejo de los residuos líquidos y sólidos (reciclaje).
- Posibilidad de promover otros espacios para turismo específicos.

Debilidades

- Pérdida del recurso agua provocado por el conflicto citado.
- La construcción de infraestructura acelera la ocurrencia de los peligros geomorfológicos.
- Deterioro estético de los componentes del paisaje debido al aumento de la afluencia turística.
- Drenaje construido a partir de las necesidades que se han creado, sin que existiera una planeación.

Amenazas

- Si continúa el aumento de infraestructura puede provocar que se pierda el atractivo turístico natural.
- Continuidad y aceleración de procesos geomorfológicos que hacen vulnerable a la infraestructura.
- Intereses externos (sector privado) que quisieran sacar provecho de lo ya establecido en la zona.
- La falta de cultura ambiental por parte de los turistas que provoca que continúe la degradación.
- Alto peligro geomorfológico por inestabilidad de laderas.





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en la información generada, se observa que existe una relación directa entre el cambio de uso de suelo y el desarrollo de procesos erosivos, así mismo, el continuo incremento de la actividad turística en el Parque Grutas de Tolantongo, producto de la creciente demanda por parte de los visitantes, ha intensificado modificaciones y arreglos sustanciales para ampliar y mejorar el parque.

Si por una parte se ha tenido que equipar el recinto turístico, no deja de estar presente la perturbación o la presión sobre los recursos naturales como lo es al agua y la madera. Al primero se le afecta con la contaminación por diversas descargas mientras que a los recursos arbóreos por el creciente y constante uso que se hace de ellos como combustible, ya sea leña o carbón.

Es importante señalar que los cambios de uso de suelo no sólo influyen en la ampliación de zonas erosionadas, ya que pueden derivar en problemáticas asociadas a la ocurrencia de riesgos, vinculados a la caída de bloques, así como problemas de índole social.

Por otro lado, los peligros geomorfológicos que se presentan con mayor frecuencia son los gravitacionales, tipificados como caída de bloques y deslizamiento de detritos. De la misma forma, la ocurrencia de inundaciones está en función de la temporada de lluvias y la cantidad de precipitación capturada en la cuenca.

Sin embargo, la ocurrencia de estos procesos ya no es solo natural, puesto que la creación de infraestructura ha servido de catalizador de los mismos. Lo anterior se ejemplifica como sigue:

a) Uno de los hoteles está construido sobre una ladera constituida por rocas calizas y depósitos de antiguos derrumbes de brechas sedimentarias con procesos de consolidación, los rangos de pendiente están entre 40° y 60°. La construcción del hotel ha originado la desestabilización en la ladera, por lo que la frecuencia de caída de bloques de distintos tamaños, así como los flujos de detritos provenientes de las brechas





sedimentarias ha aumentado. La desestabilización en las laderas se refleja en procesos de reptación de suelo, donde la vegetación es la más afectada lo que se aprecia en la caída de algunos elementos vegetales, principalmente los de tipo arbustivo y arbóreo.

b) Algunos caminos creados para dirigirse a los distintos puntos de interés turístico, presentan un comportamiento de desestabilización de laderas, provocando procesos gravitacionales y de reptación de suelo.

c) Se han realizado obras de control de avenidas a través de la construcción de bardas de roca, que tienen como fin proteger las zonas en donde existe infraestructura, evitando que el río socave de manera lateral y propicie erosión gravitacional en las laderas. No obstante, el control de la erosión fluvial en algunas áreas que antes no presentaban afectaciones por parte del río ahora se ven impactadas, pues ha aumentando la erosión lateral de la corriente. Cabe señalar que estos espacios no son utilizados para la actividad turística; sin embargo, están propiciando nuevas zonas sujetas a peligros.

d) En varios puntos del cauce del río se han construido represas con el objetivo de retener la corriente (Fig. II.2.2c) y formar “pozas”, modificando así la morfología del río y los procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos. Estos cambios alteran el comportamiento de la corriente; en la parte alta del río se efectúa la erosión vertical, en la media existen procesos de erosión – acumulación y en la baja predomina la acumulación de sedimentos. Al construirse las represas (en el curso medio), la velocidad de la corriente disminuye propiciando que en el curso alto la erosión ya no sea sólo vertical, sino también exista socavación lateral sobre las laderas.

Este proceso en las laderas, aunado a la pendiente ($>45^\circ$) y constitución geológica, propicia su desestabilización y la ocurrencia de erosión gravitacional, lo que ha afectado a la infraestructura con la caída de un puente, y puede impactar al resto de la misma construida en esa área que tiene lugares de sanitarios y para consumo de alimentos.





e) Otra modificación que se realiza y que tiene efectos en la dinámica fluvial, es la creación de zonas de acampar en la margen derecha del río; estas áreas de campamento son básicamente terrazas creadas que coinciden altitudinalmente con las originales y que en algunas partes se observan en la margen izquierda río. Estas terrazas se convierten en zonas de inundación del río en la temporada de crecidas, lo que implica queden inutilizables, por lo que una vez que termina la época de crecidas se tienen que reconstruir para poder acampar.

De esta manera, las transformaciones realizadas sin tomar en cuenta la dinámica geomorfológica, y con el fin de acondicionar el espacio, así como atender a la demanda que genera el turismo, está propiciando una problemática ambiental significativa, ya que las acciones antrópicas sobre el paisaje resultan contraproducentes al incidir en los procesos geomorfológicos que de manera natural se venían presentando, y que de paso afectan la infraestructura y la actividad turística.

Por otro lado, la infraestructura creada que busca mitigar estos efectos resulta inadecuada e ineficiente y no soluciona el problema para lo que fue diseñada; asimismo, genera gastos extras a la Sociedad Cooperativa Ejidal ya que se invierte nuevamente para reconstruirla, convirtiéndose esto en un círculo vicioso.

Mediante la organización de los poseedores del recurso explotado para fines turísticos en una Sociedad Cooperativa Ejidal, ha sido posible el manejo de las grutas de Tolantongo; asimismo, la creación de distintas instituciones al interior de esta Cooperativa ha permitido establecer los reglamentos internos, que evitan el surgimiento de problemas.

Otra de las acciones realizadas a través de esta forma de organización, ha sido la capacidad de transformar el espacio mediante la construcción de infraestructura, lo que ha significado un incremento en la afluencia de turistas y, por ende, una mayor derrama económica. Sin embargo, esto ha generado una problemática socio-ambiental no al interior del grupo organizado, sino con los pobladores pertenecientes a otro ejido (La





Gloria), los cuales, al ver los beneficios que ha traído el aprovechamiento de recursos para el turismo, quieren ser también partícipes de ello.

Los ejidatarios de La Gloria también son poseedores de recursos que pueden ser explotados por el turismo; no obstante, no cuentan con una organización bien estructurada ni con la infraestructura requerida para ofrecer servicios turísticos similares a los que presentan los de Tolantongo. Ante esto, los ejidatarios de La Gloria han optado por realizar modificaciones sobre los recursos que son aprovechados en Tolantongo, destacando la que hicieron sobre una de las corrientes que formaba una cascada en la entrada de la gruta al desviar su curso hacia los terrenos de su ejido con el fin de generar elementos que ofrecer a los turistas que visitan su ejido.

Esta situación generó descontento por parte de los ejidatarios de Tolantongo, los cuales han promovido distintas reuniones con los habitantes de La Gloria con la finalidad de dar alguna solución pacífica que beneficie a ambos ejidos; no obstante, dichas reuniones no han resuelto el conflicto por lo que el ejido de Tolantongo ha optado dejar a un lado este problema.

Se consideran además los siguientes aspectos recomendables a realizar:

- a) La creación de un proyecto de turismo alternativo que priorice las características del ecoturismo y turismo de aventura, considerando el manejo de los desechos, el tipo de instalaciones, el personal capacitado para diferentes actividades, por mencionar algunos.
- b) Llevar a cabo un análisis más detallado sobre la dinámica geomorfológica con la finalidad de identificar los procesos que se presentan y los que se puedan generar, con el fin de minimizar los daños que se ocasionan a la infraestructura ya creada.
- c) Con base en el análisis geomorfológico, desarrollar obras de infraestructura que tengan por objeto controlar los procesos a los que se ve sujeta el área de estudio.
- d) Se sugiere sumarle importancia a las características del paisaje como base para la planeación de las actividades turísticas, de tal forma que los servicios ambientales





explotados o potenciales, como son los ecológicos, los recreativos, los educativos, los científicos, los estéticos, los culturales y/o los económicos, no se deterioren, y en el mejor de los casos, se restauren y amplifiquen, poniendo énfasis en aquellos que están en desuso.

Por último, el presente trabajo representa un ejercicio de análisis espacial en cual que se observa que la organización ejidal ha logrado un espacio recreativo funcional, mismo que ha mantenido un aumento en su afluencia de turista; convendría por lo tanto, observar y prever a qué tipo de impacto ambiental se sujetará dicho centro con el incremento de turistas, por lo que se requiere de estudios sociales, económicos, culturales, hidrológicos, entre otros, que permitan mantener, al menos, las actuales condiciones del medio en cuestión.

Así, el presente trabajo representa un análisis geográfico que integra tres temas relacionados entre sí, vegetación, uso del suelo y erosión, en el cual se actualiza la información existente relacionada con estos temas y este territorio, y se exponen las condiciones actuales de un área en la cual existen condiciones paisajísticas ideales para realizar turismo, sin embargo, para llegar a un detalle más amplio y significativo será necesario realizar un análisis de impacto ambiental, así como, un análisis socio-organizativo para mejorar las actuales condiciones de turismo y uso de los recursos naturales. Hay que considerar la necesidad de un estudio hidrológico en el cual se consideren las posibles lluvias torrenciales en la cabecera de la cuenca y la crecida del río Tolantongo, así como la eventual inundación de las terrazas fluviales, misma que afectaría la actividad turística. Es de considerar también, que se organicen programas de reforestación y saneamiento forestal, mismos que beneficiarían las condiciones de la vegetación y su respectivo atractivo turístico.

Finalmente, es de destacar que la organización ejidal actual ejidal ha permitido que se desarrolle un centro vacacional en pro de un desarrollo sustentable, y que con la actual intervención del gobierno, por lo tanto, la autonomía con la que cuanta el centro





vacacional para su organización, se ha logrado un espacio que en las condiciones actuales respeta el medio ambiente.





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo-Camargo, J. E. (2005). *Neotectónica y facies sedimentarias cuaternarias en el suroeste del Golfo de México, dentro del marco tectono-estratigráfico regional evolutivo del sur de México*. Ingeniería, investigación y tecnología, Vol VI, No. 1, UNAM, México, D. F., pp 19-46.
- Bifani, P. (1984). *Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Madrid.
- Chapman, A. (2004). *Análisis FODA y análisis PEST*. De gerencia.com. Consultado el 15/01/13. <http://www.degerencia.com/articulos.php?artid=544>
- Congreso Geológico Internacional. (1956). *Estratigrafía y paleontología del Jurásico inferior y medio marino de la región central de la Sierra Madre Oriental*. Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, México, D. F.
- Eastman, J.R., Kyen, P.A., Toledano, J. y Jin, W. (1993). *GIS and Decision Making*. United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), Ginebra.
- Gómez, D.M., y Barredo C., J.I. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. RA-MA Editorial, Madrid.
- Gracia, J., Domínguez, R. (1998). *Erosión, Fascículo 8*. Secretaría de Gobernación-Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- García, J.F., Oscar, F.M., Gracia, S.J. (1995). *Erosión de laderas*. Cuadernos de investigación. núm. 24. Secretaría de Gobernación- Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Gutiérrez E., M. (2008). *Geomorfología*. Prentice Hall, España.
- Hiriart V., P. y F. González M. (1983). *Vegetación y fitogeografía de la barranca de Tolantongo, Hidalgo, México*. Anales Inst. Biol. Univ. Nac. México, Ser. Bot. 54: 29–96.





- López-Ramos, E. (1979). *Geología general de México*. Tomo III, 5ª edición. México, D. F.
- López-Ramos, E (1982). *Geología de México*. Tomo II. 3ª Edición. Instituto de Geología
- Lugo, H, J. (2011). *Diccionario geomorfológico*. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Lugo A., Miguel Ángel. (1996). *Tolantongo más allá de la nube estéril*. Tesis que para obtener el grado de Maestro en Artes Visuales (Arte Urbano), asesor Alfia Leiva del Valle. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Mas, J.F., Quiroz Y. (2008). *Modelización de los cambios de uso/cobertura del suelo con el software DINAMICA*. Centro de Investigación en Geografía Ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México. México. Morelia, México.
- Moisés R., Arlete. (2002). *A product o consumo do espaço para o turismo e a problemática ambiental*. En: Yázigi, E. et al. Turismo, espaço, paisagem e cultura. 2002. Sao Paulo, Hucitec Ed.
- M.P. Jonathan., Thangadurai, N., Norzagara y Campos, M. (2011). *A study on the wáter quality of River Amajac, Hidalgo State, Central Mexico*. International Conference on Environment Science and Engineering (IPCBE), IACSIT Press, Singapore, vol. 8, 124-128.
- Ortega-Gutiérrez, F. (1992). *Texto explicativo de la 5ª. edición de la carta geológica de la República Mexicana*. Instituto de geología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Orozco A., E, (1991). *Centro turístico ejidal Grutas de Tolantongo*. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.





- Palacio, J., (1986). *Geomorfología aplicada al reordenamiento de las actividades turísticas en el ejido de San Cristóbal Tolantongo*. Boletín del Instituto de Geografía, núm. 16, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Palacio, J., et al (2004). *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial*. Secretaría de Desarrollo Social-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pedraza G., J. (1996). *Geomorfología: Principios, Métodos y Aplicaciones*. Editorial Rueda, Madrid.
- Rosales, A. (1982). Centro recreativo ejidal Tolantongo, Hidalgo. Facultad de Arquitectura, UNAM, México.
- Rzedowski, J. (1983). *Vegetación de México*. Limusa, México.
- Strahler, A.N. (1979). *Elements of Physical Geography*. John Wiley & Sons, United States of America.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2012). Subsecretaría de Infraestructura; Dirección General de Desarrollo Carretero, México.
- Tarbuck, E.J., Lutgens, F.K. (1999). *Ciencias de la Tierra*, Prentice Hall, Madrid.
- Yáñez-García, C. y García-Durán, S (1982). *Exploración de la región geotérmica Los Humeros-Las Derrumbadas, estados de Puebla y Veracruz*. Comisión Federal de Electricidad.





CARTOGRAFÍA UTILIZADA

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Áreas Urbanas. Marco *geoestadístico versión 5.0*. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Localidades Rurales. Marco *geoestadístico versión 5.0*. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales escala 1:50,000. Carta topográfica Cardonal México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales, Geología, escala 1:250,000. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales, Climas, escala 1:1,000,000. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales, Edafología, escala 1:1,000,000. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales, *Serie I (1968-1986), Vegetación y uso del suelo, escala 1:250,000*. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales, *Serie IV (2007-2010), Vegetación y uso del suelo, escala 1:250,000*. México.

