



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

CONTROL GEOMORFOLÓGICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE
LOS PAISAJES DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO
CUAUTILÁN, ESTADO DE MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

GARCÍA SÁNCHEZ LAETICIA AZUCENA

TUTOR:

DR. ARTURO GARCÍA ROMERO



Ciudad Universitaria

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Agradecimientos

Académicos

A mi asesor de Tesis el Dr. Arturo García Romero, gracias por ser mi guía en este camino, por hacerme ver mis errores y mis triunfos de una forma madura, por dedicarme el tiempo y la paciencia para este presente trabajo, por ser para mí un padre que me dio consejos y uno que otro regaño, pero todo con el fin de que yo diera lo mejor de mí en este recorrido.

A mis sinodales – Dr. Lorenzo Vázquez Selem, Lic. Ana Elsa Domínguez Ceballos, Mtro. Alberto Méndez Méndez y al Mtro. Pedro Monte Cruz-, muchas gracias por sus observaciones, tiempo, dedicación y consejos que aportaron para este trabajo de Tesis. Ya que con su ayuda este documento pudo concluirse.

Al comité de Becas “María Teresa Gutiérrez de MacGregor” – Dra. Emérita María Teresa Gutiérrez de MacGregor, Dra. Irasema Alcántara Ayala, Dra. Silke Cram Heydrich, Dra. María del Carmen Juárez Gutiérrez, Dra. María Teresa Sánchez Salazar. Dr. José Ramón Hernández Santana, Biól. Armando Peralta Higuera y Mtro. José Antonio Quintero Pérez-, gracias por brindarme el apoyo a través de esta Beca para concluir con mi proyecto de Tesis.

A los proyectos DGAPA-PAPIIT claves: IN309108 y IN300911-3, por los complementos de beca que me fueron otorgados, y cuyos recursos fueron de gran apoyo para la realización de las campañas de campo.

Al Instituto de Geografía de la UNAM, gracias por darme la oportunidad de haber realizado mi proyecto de Tesis en sus instalaciones y por el apoyo de los investigadores que laboran en este.

Al Colegio de Geografía de la UNAM, muchas gracias por darme todo el conocimiento y sabiduría de los profesores que me dieron clase así como las herramientas necesarias para concluir mi trabajo de Tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México –UNAM-, por haberme dado la oportunidad de ser parte de esta comunidad estudiantil, por haberme dado estudios y sobre todo por haberme dado las herramientas y valores necesarios durante esta formación profesional, para enfrentarme al campo laboral de la vida cotidiana.

A mis compañeros de trabajo –Yoani, Alanís, Karla, Jen, Carolina y Carlos-, gracias por ser parte de este trabajo de Tesis, ustedes me aportaron mucho durante este recorrido. Creo que logramos ser una familia en la cual hay apoyo,

confianza y comunicación incondicionalmente. Más allá de ser mis compañeros de cubículo, son mis amigos. Mil gracias, los quiero mucho.

A mis queridos investigadores – Dr. Jean François Parrot, Dr. José Lugo, Dra. Verónica Ochoa y Dr. Fernando Aceves-, gracias por estar conmigo durante este camino y aportarme sus puntos de vista en este trabajos de Tesis.

Al arte –danza, circo y teatro-, por haberme dado valores y herramientas que me ayudaron a concluir con este trabajo de Tesis y sobre todo a ser mejor persona y ser humano, que vive intensamente con mucha pasión y amor en esta vida.

Dedicatorias y Agradecimientos

A mi familia

A mon époux Vivien Ney, pour son aide inconditionnelle durant mon parcours académique, dans lequel nous avons partagés réussites et fracas. Et pourtant, la force de notre amour, compréhension, tolérance, communication et confiance furent les piliers de notre relation jusqu'au jour d'aujourd'hui. Amour, dans les bons et mauvais moments, toi et moi pour toujours. Je t'aime de tous mon Cœur.

A mis padres Javier García Romero y Natalia Sánchez Anaya, gracias por todo el apoyo y amor incondicional que me han brindado en estos veintinueve años de vida y los que faltan. Sin ustedes no habría logrado llegar hasta donde estoy el día de hoy. Gracias por dejarme ser independiente y cometer mis propios errores para ser una mejor persona y un mejor ser humano. Y quiero dedicarles esta Tesis como un logro más en su historial como padres. Los amo mucho.

A mi hermano Javier García Sánchez, hermano muchas gracias por ser mi amigo, mi confidente y mi consejero. Te debo mucho por ponerme el ejemplo de lo que se quiere en esta vida, que hay que tener coraje, orgullo, sabiduría, pasión, ética y sobre todo no despegar los pies de La Tierra para llegar a nuestras metas. Te amo mucho hermanito.

A mi tío Arturo García Romero, gracias por ser un pilar en mi formación profesional así como un ejemplo en mi vida personal y sobre todo por tener tu cariño y comprensión para llegar a mis logros, que también son tuyos. Te quiero mucho tío.

✠ A mi abuelita María Trinidad Anaya Mondragón, abue aunque ya no estés con nosotros te quiero agradecer por preocuparte por mí, desde el día que nací hasta en día de tu lecho de muerte. Aún recuerdo, que en tus últimos días me preguntabas por mi Tesis... y mira ya la termine y con mucho orgullo. Tú eres parte de este logro, porque me pusiste el ejemplo de una mujer dedicada, de una mujer con ganas de vivir intensamente y gracias a estos valores que me transmitiste pude lograrlo. Te amo abuelita y siempre te llevare en mi corazón.

✠ A mi hermano Zac García Sánchez, bebe muchas gracias por darme momentos de alegría, por darme tu cariño y tu fidelidad. Por pasar horas de estudio a mi lado y relajarme cuando tenia muchas presiones de la escuela. Te amo mucho Zac y algún día nos volveremos a reunir para siempre.

A mis amigos del alma Alejandro, Daniel, Marco y Sócrates, gracias por ser parte de mi vida y por estar a mi lado incondicionalmente. Los quiero mucho.

A mis amigos Abish, Daniela, Fernando, Mynjell, Nayhelli y Pedro, gracias por todo su apoyo, cariño, tolerancia y comprensión durante este camino lleno de retos. Y que en los momentos más difíciles nunca nos dejamos, simplemente nos hicimos más fuertes y recalcamos nuestra amistad (Dany y Pedro). Los quiero mucho.

Al resto de mi familia, por el interés, apoyo y amor que han mostrado en esta trayectoria. Muchas gracias.

A Dios, por darme fuerza, perseverancia, paciencia, sabiduría, amor y pasión para elaborar este trabajo de Tesis. Gracias por dejarme concluir este documento.

“Por mi raza hablará el espíritu”

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
1 La geofacies como fundamento del diagnóstico ambiental en Geografía Física.....	7
1.1 La geofacies y la dinámica del paisaje.....	11
2 El control geomorfológico del paisaje.....	13
ÁREA DE ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
OBJETIVO.....	18
HIPÓTESIS.....	19
METODOLOGÍA.....	19
1 Tipología y cartografía de los paisajes.....	19
1.1 Mapa de formas del relieve.....	20
1.2 Mapa geológico.....	21
1.3 Cartografía morfométrica.....	21
1.3.1 Síntesis morfométrica.....	22
1.4 Mapa de uso del suelo y vegetación.....	22
2 Control geomorfológico y distribución de los paisajes.....	24
RESULTADOS.....	25
1 Geomorfología.....	25
1.1 Geología.....	25
1.1.1 Historia geológica.....	25
1.1.2 Etapas de formación de la Sierra de Monte Alto.....	29
1.1.3 Formación de la Sierra de Tepetzotlán.....	31
1.1.4 Las estructuras geológicas.....	33
1.2 Morfometría.....	36
1.2.1 Altimetría.....	37
1.2.2 Pendientes.....	38
1.2.3 Energía del relieve.....	39
1.2.4 Exposición de laderas.....	40
1.2.5 Síntesis morfométrica.....	41
1.3 Geomorfología.....	43
1.3.1 Sierra Mayor.....	45
1.3.2 Sierra Menor.....	52
1.3.3 Planicie Aluvial.....	53
2 Uso del suelo y vegetación.....	60

2.1 Vegetación madura con uso forestal disperso.....	64
2.2 Vegetación madura con uso pecuario disperso.....	68
2.3 Vegetación secundaria con uso forestal extensivo.....	69
2.4 Vegetación cultivada con uso intensivo.....	72
2.5 Sin vegetación con uso intensivo.....	74
3 Integración del paisaje.....	83
3.1 Sierra de Monte Alto.....	87
3.2 Sierra de Tepotzotlán.....	102
3.3 Planicie Aluvial.....	106
4 Control geomorfológico y distribución de los paisajes.....	109
4.1 Riqueza paisajística.....	110
4.2 Fragmentación del paisaje.....	112
4.3 Superficie conservada.....	114
4.4 Fragmentación forestal.....	115
4.5 Superficie forestal más susceptible al impacto humano.....	117
4.6 Superficie dedicada a la actividad agrícola.....	118
4.7 Superficie antrópica.....	120
CONCLUSIONES.....	122
REFERENCIAS.....	124

INTRODUCCIÓN

1 La geofacies como fundamento del diagnóstico ambiental en Geografía Física

Los niveles altos de perturbación que afectan a grandes superficies en el mundo, y el riesgo que esto supone para la sociedad humana en su conjunto, han creado en el campo científico un creciente interés por los mecanismos de transformación y autorregulación del territorio, y por sus consecuencias sobre el estado de los recursos, los servicios ambientales y la sustentabilidad (Smethurst, 2000; García-Romero, 2002; Jensky, *et al.*, 2002). Esta situación se manifiesta en el desarrollo dentro del campo científico de diversas escuelas o líneas de investigación, entre las cuales se encuentran las que adoptan al paisaje como eje fundamental de su planteamiento conceptual y metodológico. Para ellas, el estudio del territorio consiste, no tanto en el análisis especializado de los componentes del ambiente, como en el estudio integral de la estructura y dinámica naturales.

La utilidad del paisaje en estos estudios se explica por su esencia sintética e integral. En él confluyen y se expresan, en un marco dinámico e interactivo, los contenidos de todos los demás componentes territoriales, desde los que definen los rasgos físicos del ambiente natural (morfoestructura, clima, relieve y aguas) y bióticos (suelo, vegetación y fauna), así como los factores antrópicos, que intervienen no sólo como modificadores del ambiente, sino como componentes de su estructura funcional (Bertrand, 1968; Muñoz, 1998). Todos ellos intervienen en un sinfín de relaciones tan estrechas que hacen del conjunto un solo bloque, con una estructura y funcionalidad únicas, diferentes a la de cualquiera de sus partes considerada por separado (Beroutchachvilli y Mathieu, 1977; Bertrand, 1968; Richard, 1993; Scott, 1993; Huggett, 1995; Muñoz, 1981 y 1998).

La aplicación de enfoques integrales del paisaje como herramienta de análisis ambiental ha sido ampliamente reconocida por especialistas de todo el mundo, sin embargo, son escasos los estudios que plantean diagnósticos ambientales a partir del sondeo detallado e integral de los paisajes que lo forman. La falta

de entendimiento resultante se incrementa al considerar la dispersión de conceptos, enfoques y métodos de estudio provocada por el alto número de colectivos académicos interesados por el paisaje desde distintos campos. De entre ellos, en este trabajo nos centramos en el caso de uno de los enfoques de la Geografía del Paisaje, el Análisis Integrado de Paisajes (Bertrand, 1968), cuya propuesta conceptual y metodológica tiene a la Geofacies como fundamento del análisis de la dinámica ambiental.

De acuerdo con dicho enfoque, el paisaje no es homogéneo, sino que está integrado por “geofacies”, cada una de las cuales (de dimensiones de hasta centenares de metros cuadrados) es entendida como la unidad básica del paisaje o “paisaje elemental”, que puede ser percibido de forma directa por el hombre (Bertrand, 1968; García-Romero, 2002; García-Romero y Muñoz, 2002). Considerando áreas de dimensiones medias (de hasta varias decenas de cientos de kilómetros cuadrados), la geofacies corresponde a la escala de observación que permite acceder a los niveles de integración y síntesis ambiental adecuados para el estudio de la dinámica del paisaje.

Para el análisis integrado de paisajes, la definición tipológica de la geofacies parte de considerar que los componentes reconocibles a las diferentes escalas de aproximación cambian, es decir, tienen diferentes “niveles de manifestación espacio-temporal” que influyen no sólo en su expresión visual, sino en: a) las relaciones sinérgicas que se crean cuando los componentes adoptan como parte de su contenido la información (materia y energía) proveniente de otros componentes y, b) el grado de control o dependencia perceptible que cada componente del ambiente tiene respecto de otros, así como su función específica en la organización estructural y la dinámica del paisaje. Se distinguen, en este sentido, dos grupos de componentes territoriales (Bertrand, 1968; García-Romero y Muñoz, 2002).

Las macroestructuras. Se incluyen en este grupo los aspectos morfoestructurales y climáticos, de fácil distinción a grandes escalas. Se caracterizan por ocupar grandes unidades del terreno y en condiciones naturales requieren de por lo menos cientos de años para manifestar cambios de fondo,

por lo cual se les considera como dinámicamente estables e independientes, poco susceptibles a los influjos provenientes de los demás subsistemas del medio (Zonneveld, 1995; Mateo y Ortiz, 2001). El interés por estos componentes mayores radica en que los recursos orográficos, altitudinales, de orientación y litológicos en coordinación con ciertos parámetros climáticos, sobre todo térmicos y pluviométricos, determinan y controlan los potenciales y limitantes del sistema, así como su capacidad para soportar una cierta carga biótica y de uso (García-Romero y Muñoz, 2002).

Las mesoestructuras. Al interior de una unidad macroestructural otros componentes ambientales que se distinguen a escalas medias cambian con relativa rapidez y en distintos sentidos (Drdos, 1992). Dentro de ellos, se pueden distinguir dos grupos, el de los componentes abióticos (las aguas y el relieve), que tienden a ser más estables, y el de los *componentes bióticos* (la vegetación, la fauna, los suelos y los antropismos), que ocupan los peldaños más bajos de manifestación espacio-temporal y, por lo tanto, son los componentes más inestables, dependientes y dinámicos (Bertrand, 1968, Vitousek *et al.*, 1981; Pimm, 1999; García-Romero y Muñoz, 2002; Kristensen, *et al.*, 2003).

La dinámica del territorio al nivel de análisis de las geofacies ocurre a partir de un sistema complejo de relaciones que se gesta en el interior de los diversos componentes mesoestructurales, cada uno de los cuales funciona a manera de un subsistema independiente y completo, funcional en cuanto que una serie de subcomponentes especializados (por ejemplo, litológicos, morfológicos y de situación en el caso del relieve), intervienen desde sus propios niveles de funcionamiento, cubriendo un rol de mayor o menor significado, tanto para el funcionamiento del componente al que pertenecen como de otros subsistemas o del Sistema de Paisajes en su conjunto (Muñoz, 1998; García-Romero, 2002).

De acuerdo con la propuesta original del método, la geofacies se define como una entidad de carácter holístico, cuya configuración tipológica y espacial específica resulta de integrar la forma del relieve, la comunidad vegetal y/o el

uso del suelo, los cuales son (junto con el suelo y la fauna) los componentes que ocupan los peldaños más bajos de manifestación espacio-temporal, por lo que son los más inestables, dependientes y dinámicos del sistema ambiental, los más fehacientes indicadores del sistema (García-Romero, 2002; García-Romero y Muñoz, 2002). Mientras que algunos encuentran en la morfogénesis el marco más estable y fiable para el estudio de la dinámica del paisaje -en el cual los otros dos componentes son considerados como atributos del paisaje -geomorfológico-; para otros, la vegetación es el indicador más sintético e informativo, viable de ser abordado a escala del hombre y de notables cualidades fenológicas que favorecen la diferenciación y el diagnóstico de paisajes. El principal argumento de esta línea establece que bajo condiciones de estabilidad ambiental, la geofacies ocupada por una comunidad vegetal secundaria -y que responde a un tipo específico de perturbación- tiende, desde su posición más o menos alejada de la estabilidad, a desarrollarse hasta alcanzar al “paisaje maduro”, representado por la comunidad vegetal de mayor desarrollo y estabilidad dentro del paisaje (Bertrand, 1968; García-Romero y Muñoz, 2002).

Las propuestas de tinte más ecológico se ciñen al concepto de “sucesión vegetal” (o sustitución de unas comunidades vegetales por otras en el transcurso del tiempo) como plataforma para el entendimiento dinámico del paisaje natural. A partir de este enfoque de análisis es posible el diagnóstico de la dinámica del paisaje con resultados de gran interés social al hombre, establecer los factores causales, así como valorar los estados y las tendencias a corto y mediano plazo (Regier, 1993).

En cuanto al uso del suelo, existe una tendencia fuerte a la revalorización de los aspectos socio-económicos del sistema ambiental. Se ha comprobado que la realización artística y espiritual, la recreación y el desarrollo intelectual influyen sobre el sentimiento de pertenencia y las formas de apropiación del terreno, por lo cual, el paisaje debe ser evaluado en el contexto de las sociedades que lo poseen (García-Romero, 2002). Desafortunadamente, debido al papel creciente del hombre en la transformación del ambiente (Scott, 1993; Gragson, 1998) y a sus impactos sobre la conservación, estabilidad y

resiliencia del paisaje (Drdos, 1992; Bastian y Röder, 1998; Gragson, 1998), en la mayoría de los estudios se parte de situarlo como el principal agente de disturbio, catalizador de la aparición de paisajes secundarios y, por lo tanto, de la dinámica del paisaje (Bastian y Röder, 1998; Farina, 1998; Muñoz, 1998; Jensky, *et al.*, 2002). En otros casos se considera que los paisajes culturales cumplen una función ambivalente: por una parte, deterioran y fragmentan el medio, al tiempo que representan un valor de calidad que se relaciona con el significado socio-económico que la sociedad humana les atribuye.

1.1 La geofacies y la dinámica del paisaje

El significado funcional de la geofacies y su importancia en la dinámica del paisaje pasa por la necesidad de considerar la posición específica que le corresponde dentro del sistema ambiental. Para ello, las distintas escuelas del paisaje utilizan los “sistemas taxonómico-corológicos de clasificación” (Arler, 2000; Works y Hadley, 2004), los cuales son el instrumento que permite relacionar –en un plano vertical- los contenidos ambientales de distinta naturaleza y nivel de manifestación espacio-temporal, así como establecer –en un plano horizontal- las relaciones que se dan entre los paisajes de un mismo territorio visto a distintas escalas (Forman, 1995).

El enfoque del Análisis Integrado de Paisajes propone un sistema taxonómico-corológico de paisajes, con seis niveles jerarquizados: zona, dominio, región natural, geosistema, geofacies y geotopo, que se diferencian por su escala dimensional y por el peso relativo de los componentes. Cada uno de estos niveles está conformado por las unidades paisajísticas del nivel inmediato inferior de la clasificación. De igual forma, los paisajes de cierto nivel están determinados por los potenciales y limitantes que corresponden a la unidad paisajística del nivel taxonómico inmediato superior a ellos. Esto sugiere que el estudio del paisaje no debe partir de entender al territorio como si se tratara de un todo unitario y homogéneo, sino de considerar la existencia en él de sistemas ambientales y paisajísticos de distinto rango.

El geosistema o sistema de paisajes (entendido no como modelo de representación general, sino como un nivel jerárquico de la taxonomía del paisaje), corresponde a un nivel intermedio de observación, cuya escala cartográfica es entre 1:50,000 y 1:100,000, (Christian, 1958; Mateo y Ortíz, 2001). Se trata de un sistema equilibrado de: a) potenciales o recursos naturales abióticos, b) componentes bióticos, que en relación con los recursos abióticos pueden desarrollarse y, c) formas de aprovechamiento humano que se reflejan en la distribución de los usos del suelo (Bertrand, 1968).

De acuerdo con <<op cit>>, Muñoz (1998) y García-Romero (2002), el origen del geosistema se relaciona con la existencia de unidades morfo-climáticas elementales, es decir, grandes unidades del terreno (de decenas a centenares de kilómetros cuadrados) que, en condiciones naturales requieren de por lo menos cientos de años para manifestar cambios de fondo, por lo cual se les considera como las estructuras más estables e independientes del ambiente (Zonneveld, 1995; Mateo y Ortiz, 2001). El interés por estos componentes mayores radica en que de ellos dependen los recursos orográficos, altitudinales, de orientación y litológicos, en coordinación con ciertos parámetros climáticos, sobre todo térmicos y pluviométricos que determinan la disponibilidad de los recursos abióticos y la estabilidad ambiental que se requieren para el desarrollo de los componentes meso-estructurales del ambiente, los más inestables, dependientes y dinámicos, de los cuales depende la serie funcional de geofacies o paisajes elementales del geosistema.

Efectivamente, al interior de un geosistema, sus geofacies están funcionalmente relacionadas en cuanto que todas ellas comparten un mismo marco climático y morfoestructural; sin embargo, cada una de ellas representa (en función del estado y dinámica de los componentes que la forman) un estado específico de respuesta del sistema frente a los procesos de disturbio o regeneración del ambiente (Bertrand, 1968; Forman y Godron, 1986; Gragson, 1998; García-Romero, 2002). La dinámica se establece a partir de intercambios de información entre las geofacies, creándose situaciones de dependencia (genética y funcional) mutua entre todas ellas. El significado positivo o negativo de la dinámica resulta de la consideración de los cambios entre paisajes de

distinto significado funcional (Bertrand, 1968; Serrão, *et al.*, 1996; Veldkamp y Lambin, 2001). Esto es importante porque cuando un tipo de paisaje es sustituido por otro durante un periodo de tiempo, el cambio supone una transformación que puede ser positiva o negativa en términos, por ejemplo, de la sensibilidad natural de sus vertientes, de la “naturalidad” y desarrollo de su vegetación, y/o de la intensidad y permanencia del daño asociado al uso de las geofacies involucradas en los procesos de cambio (Vitousek, *et al.*, 1981; Bastian y Röder, 1998).

2 El control geomorfológico del paisaje

En la actualidad hay un gran interés por entender la magnitud de los procesos y los cambios que controlan la evolución del paisaje. Diversos autores sugieren que los procesos de cambio del paisaje no son homogéneos espacialmente, debido a que dependen de la variabilidad biofísica y cultural de los territorios. De entre los caracteres biofísicos, el relieve se constituye como un factor clave de la heterogeneidad espacial del problema (Forman y Godron, 1986; Turner, *et al.*, 2003). Al ser las irregularidades topográficas que presenta la porción expuesta de la corteza, el relieve hace la conexión de interface funcional entre los potenciales y limitantes geológicos y climáticos, de los cuales dependen los recursos bióticos y abióticos del sistema ambiental, así como los tipos e intensidades del aprovechamiento que el ser humano hace de ellos.

Por ejemplo, se ha encontrado que en áreas serranas y montañosas, los cambios en la distribución de los tipos de vegetación pueden asociarse a la heterogeneidad ambiental inducida por el relieve. Los patrones de vegetación que se observan típicamente a lo largo de los gradientes altitudinales, son el resultado de complejas interacciones entre factores como la elevación, el grado de exposición a la radiación solar y la posición en el relieve, entre otros. Tanto la elevación como la exposición de las laderas juegan un papel importante como determinantes de las condiciones microclimáticas a lo largo de estos gradientes. Mientras tanto, los cambios en el relieve afectan propiedades edáficas tales como la profundidad y desarrollo del perfil, el contenido de materia orgánica, el pH y la humedad, así como a los procesos de formación del suelo (Mazzola, *et al.*, 2008).

Por otra parte, se ha reconocido que entre los aspectos del relieve con mayor impacto en el paisaje está la capacidad o potencial de las tierras para el desarrollo de actividades económicas, principalmente, por medio de la disponibilidad de terreno estable, agua, suelo y accesibilidad, que favorecen la productividad (Turner, *et al.*, 2003). Debido a lo anterior, las llanuras aluviales han sido las áreas más favorecidas por el financiamiento, la tecnificación e intensificación de los usos agropecuarios.

Otros estudios sobre problemas derivados de las relaciones entre el ser humano y su entorno geomorfológico, han señalado a la inestabilidad geomorfológica como un factor clave de la relación. Se reconoce que las formas del relieve en precario equilibrio, reaccionan con facilidad ante eventos naturales o extraordinarios que desencadenan procesos de degradación y erosión de suelos de alto impacto socio-económico. Asimismo, esta sensibilidad del terreno a desarrollar procesos erosivos ha sido relacionada con la respuesta de los ecosistemas, por ejemplo, su resistencia, regeneración y resiliencia frente a los procesos que provocan perturbación.

El alto valor del relieve como factor del paisaje ha permitido que en las últimas décadas la geomorfología pase de ser considerada como una ciencia pura y dedicada a describir y clasificar las formas del relieve, al reconocimiento de la importancia de su aplicación en diferentes campos (Verstappen, 1983): estudios de evaluación de cambios del paisaje, conservación de recursos naturales, evaluación de peligros naturales y prevención de desastres, diagnóstico, planeación y recuperación ambiental, estudios de atenuación y control de los procesos de erosión acelerada, determinación de la aptitud de uso del suelo, planeación del crecimiento de las áreas urbanas y reservas ecológicas, y en estudios de paisaje enfocados en la relación “relieve-uso de suelo-cobertura vegetal” (Tapia-Valera y López-Blanco, 2002).

De acuerdo con Echeverría-Arnedo (1997), el estudio de la inestabilidad geomorfológica puede seguir una de dos vías: a) instalación de estaciones experimentales de campo y el monitoreo por largos periodos de los procesos y formas sujetas a estudio, y b) elaboración de una cartografía geomorfológica, apoyada en fotografías aéreas, cartografía temática y morfometría.

En las últimas décadas, el desarrollo de los Sistemas de Información

Geográfica (SIG) ha incrementado el interés por el mapeo geomorfológico digital, considerado como una herramienta útil para generar, procesar y analizar información espacial. La aplicación resulta de la combinación o integración de la cartografía geomorfológica con otras variables cartográficas del medio físico o de la actividad humana (Verstappen, 1983). El manejo de los datos cartográficos comprende, desde la sobreposición simple de mapas temáticos para la identificación de áreas con condiciones específicas, hasta la utilización de operadores matemáticos o de modelos numéricos integrados para la predicción de la dinámica de los hechos y procesos ambientales (López-Blanco, 2005).

ÁREA DE ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro del marco de la regionalización física del territorio mexicano, la Cuenca Alta del Río Cuautitlán forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT), considerada, desde un enfoque fisiográfico, como una de las grandes provincias que articulan el relieve del país. Con 920 km de longitud y 130 km de anchura en promedio, atraviesa de W a E, el territorio de la República desde las costas del Pacífico (costas de Jalisco) hasta las del Golfo de México (costas de Veracruz), y se eleva hasta en más de mil metros sobre las unidades del relieve que la delimitan (la Altiplanicie Central, al N, y la Cuenca del Río Balsas, al S), constituyendo una barrera orográfica con envergadura suficiente para tener implicaciones climáticas y biogeográficas de importancia continental.

Como su nombre lo indica, el CVT consiste en una serie de planicies escalonadas, desmembradas por volcanes aislados, pequeños grupos de volcanes y grandes sierras volcánicas, todos los cuales están delimitados por depresiones o cuencas intramontanas, que por lo general corresponden con sectores tectónicamente hundidos (García-Romero, *et al.*, 2008). Las más altas prominencias topográficas del país se encuentran en el CVT, entre estas destaca el Pico de Orizaba (5750 msnm), el Popocatepetl (5460 msnm) y el Iztaccíhuatl (5420 msnm).

La Cuenca Alta del Río Cuautitlán se localiza en la vertiente oriental de la Sierra de Monte Alto, sector N de la Sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte

Bajo, ubicada en el sector central del Cinturón Volcánico Transmexicano, a la altura del paralelo 19°36' N y a 20 km del borde occidental del área Metropolitana de la Ciudad de México (Figura 1), abarcando cuatro municipios del Estado de México: Villa del Carbón, Nicolás Romero, Cuautitlán y Tepotzotlán, dentro de una superficie de 484.6 km².

Los bosques templados son la vegetación característica de la sierra, donde el desnivel local de 1500 m respecto del altiplano interior permite una gradación altitudinal y bioclimática que favorece la diversidad de ecosistemas forestales (Rzedowski, 1988): con bosques de encino (*Quercus spp.*) y bosques de pino (*Pinus spp.*), encino en la base y en las laderas medias de la sierra (entre 1500 y 2800 msnm) y bosques de coníferas que se distribuyen sobre los 2500 msnm. En el pasado histórico, el bosque de abeto (*Abies religiosa*) pudo formar un cinturón bioclimático, aunque, en la actualidad, su distribución está restringida al interior de los principales barrancos.

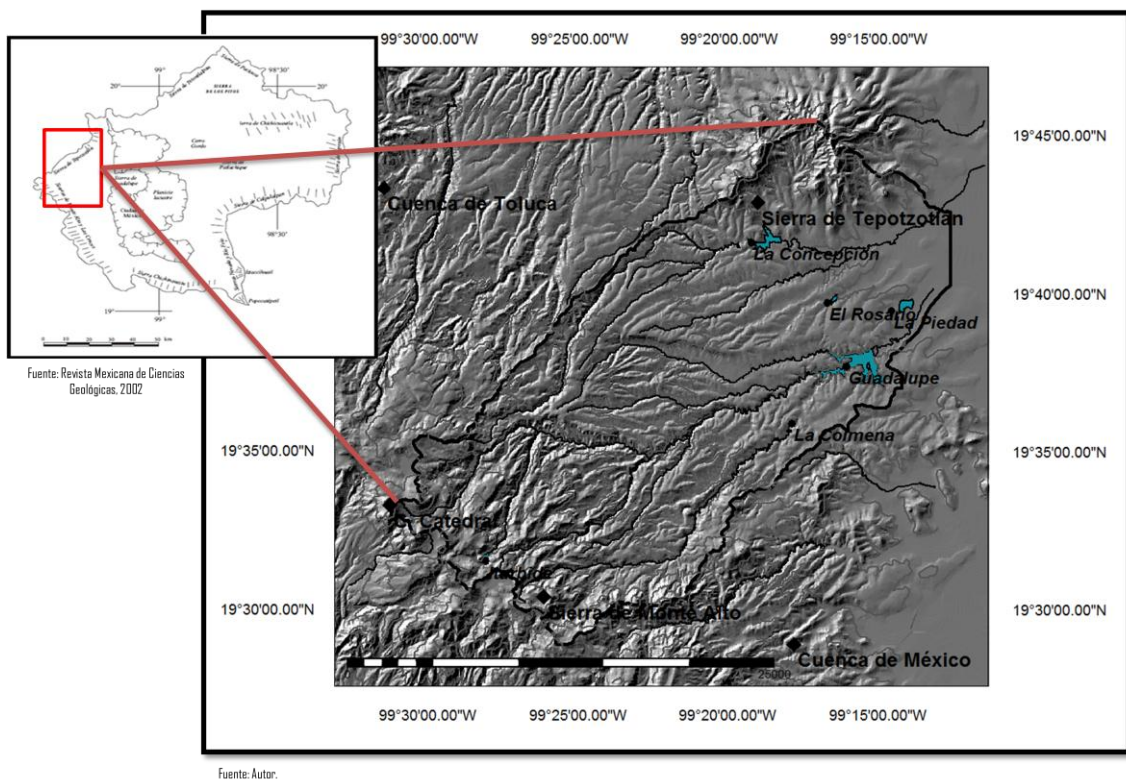


Figura 1. Ubicación de la vertiente oriental de la Sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo en el interior de la cuenca de México. El modelo sombreado de la vertiente oriental de la Sierra de Monte Alto (Cuenca Alta del río Cuautitlán), Estado de México.

No obstante el relativo aislamiento, inaccesibilidad y riesgos asociados a estas áreas forestales de montaña, la ocupación y el uso histórico por parte de

diversos grupos humanos se ha traducido en grandes pérdidas del área forestal (Rzedowski, 1988). En México, este problema se intensificó a partir de mediados del siglo XX, cuando la expansión de la frontera agrícola ocasionó la pérdida de 42.7 millones de hectáreas de superficie arbolada entre 1950 y 1995, con una tasa de deforestación anual promedio mayor a 0.5% (Masera, *et al.*, 1997), colocándose en el tercer lugar entre los países que sostienen las mayores tasas de deforestación (Dirzo y García, 1992). En el área de estudio la situación es crítica, ya que extensiones grandes de bosque muestran distintos grados de explotación, debido principalmente a las actividades agrícolas y pecuarias y recientemente, debido a la expansión de los aprovechamientos de carácter urbano o rural-urbano, sobre todo en las planicies y piedemontes de las sierras de Monte Alto y Tepetzotlán (Figura 2).

Una inspección preliminar del área de estudio por medio de técnicas de teledetección sugirió, por una parte, la existencia de una amplia variedad de paisajes definidos por combinaciones entre geoforma, tipo de vegetación y uso del suelo específico, los cuales se distribuyen de manera heterogénea a lo largo del territorio y, por otra, una influencia evidente de las formas del relieve en la distribución, tanto de tipos específicos de paisajes, como de patrones paisajísticos, definidos por combinaciones de paisajes de distintos tipos (López-Blanco, 2005) .

Por ello, esta investigación centro su atención en la elaboración de un catálogo de los paisajes de la Cuenca alta del río Cuautitlán, que sirva de base para estudios posteriores dirigidos al diagnóstico ambiental y/o ecológico con fines de planeación y ordenamiento. Para ello, se propone utilizar el enfoque del Análisis Integrado del Paisaje (Bertrand, 1968), según el cual, el nivel operativo del análisis ambiental y paisajístico recae en la figura de la “geofacies” o configuración paisajística que resulta de la combinación entre geoforma, tipo de vegetación y uso del suelo específico. Adicionalmente, para explicar la distribución espacial de los paisajes, se propone el análisis de la influencia de las geoformas del relieve, en concreto de sus aspectos geológico-estructurales (origen, litología, edad y tectónica), así como morfométricos (altitud, pendientes del terreno y exposición de laderas) sobre la distribución actual de los paisajes de distinta categoría y patrones del paisaje en el área de estudio.



Figura 2. Ladera oriental del cerro La Columna, en la vertiente meridional de la Sierra de Tepetzotlán. El alto grado de deforestación es una de las manifestaciones más evidentes de la expansión de las actividades agropecuarias en las planicies y piedemontes del área de estudio.

OBJETIVO

Establecer una clasificación tipológica y corológica de los paisajes de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, así como evaluar la influencia que ejerce el relieve en sus patrones de distribución espacial.

Objetivos particulares:

- Determinar la distribución (origen, edad, litología y morfología) de las geoformas del área de estudio.
- Establecer la distribución de las cubiertas de vegetación y uso del suelo del área de estudio.
- Explicar la influencia de los atributos litológicos y morfológicos del relieve en la distribución de las distintas categorías del paisaje que existen en el área de estudio.

HIPÓTESIS

La Cuenca Alta del Río Cuautitlán está conformada por laderas volcánicas y piedemontes extensos vulcano-detriticos intensamente afectados por la tectónica y la erosión fluvial, por lo que se esperan cambios significativos en los atributos del relieve relativos al origen, litología, edad y morfometría (altitud, pendiente del terreno, energía del relieve y exposición de laderas), ejerciendo una influencia diferencial en la distribución de la vegetación natural, así como en los procesos históricos de ocupación y desarrollo de las actividades socio-económicas, la perturbación y la regeneración de espacios perturbados. Esta diversidad de ambientes permite suponer que en la actualidad la cuenca incluye paisajes (entendidos como configuraciones específicas de forma del relieve, tipo de vegetación y uso del suelo) muy diversos, cuya distribución en patrones se adapta a los cambios en la geomorfología de la cuenca. Cabe destacar que, como resultado de la falta de planeación de los usos del suelo, se espera la existencia de paisajes culturales en geoformas inestables, los cuales deben ser expuestos con fines de asistencia para la planeación en el futuro.

METODOLOGÍA

1 Tipología y cartografía de los paisajes

Se parte de la consideración que el paisaje no es un ente homogéneo, sino que está formado por “Paisajes Elementales”: paisajes de rango inferior que resultan de la configuración espacial y tipológica entre tres componentes del sistema ambiental: a) forma del relieve, b) tipo de vegetación, y c) uso del suelo específico. Éstos han sido señalados como indicadores del potencial biofísico y cultural del paisaje, así como de sus limitantes y formas de respuesta frente a procesos de disturbio (Bertrand, 1968; Zonneveld, 1995; Farina, 1998; Muñoz, 1998).

El mapa de paisajes elementales de la cuenca resultó de la integración tipológica y cartográfica de dos mapas base: a) formas del relieve y b) usos del suelo y vegetación. La integración se hizo mediante sobreposición (mediante el

empleo de un software en ambiente SIG) de ambas capas, y el mapa resultante fue reinterpretado y cartografiado, no por medios automatizados, sino de manera manual, atendiendo al criterio de reagrupar paisajes con un mismo significado funcional en términos de la naturalidad –sean paisajes naturales o culturales-, la estabilidad –asociada a sus caracteres geomorfológicos- y del tipo, intensidad y permanencia de los daños asociados al uso del suelo.

1.1 Mapa de formas del relieve

Este mapa se obtuvo a partir de la interpretación del mapa topográfico (1:50,000 y curvas de nivel a cada 20 m), ortofotos digitales (2 m por píxel) y fotografías aéreas (1:37,000, con un estereoscopio de espejos Zeiss). Para verificar las unidades e identificar nuevas categorías del relieve, se realizaron inspecciones de campo y se generó el modelo digital de elevación (30 m por píxel). Adicionalmente, se realizó un análisis de la geología del área, con lo que fue posible elaborar el mapa geológico, y se realizaron diversos mapas de la morfometría del área: pendientes del terreno, altimetría, exposición de laderas, energía del relieve y modelo del relieve sombreado, todos los cuales se detallan en los siguientes párrafos.

Para la tipología del mapa geomorfológico se utilizó el enfoque geomorfológico desarrollado por Verstappen y Zuidam (1991) y Zuidam (1986), modificado para las condiciones de heterogeneidad geomorfológica de México (Tapia-Varela y López-Blanco, 2002; Martínez y López-Blanco, 2005), según el cual, el análisis morfogenético considera cuatro aspectos clave: 1) tipo de forma del relieve, 2) litología asociada al origen (volcánico, volcánico-detrítico y detrítico-acumulativo), 3) edad del relieve, y 4) geometría del relieve (Figura 3).

Las explicaciones se fundamentan en la revisión de diversos estudios previos, trabajos de campo para la identificación y verificación de la información, así como en la fotointerpretación de la cartografía temática, fotografías aéreas y ortofotos digitales.

1.2 Mapa geológico

Para abordar el estudio de los procesos geológicos que dieron origen a los eventos y materiales derivados que, en su conjunto, llevaron a la conformación de la cuenca alta del río Cuautitlán se analizó la historia geológica que marca las distintas etapas de formación volcánica y la distribución actual de las principales estructuras geológicas. El mapa geológico, muestra la distribución de las principales unidades litológicas que afloran en la actualidad, aspecto de gran impacto en la organización geomorfológica y en la configuración paisajística del área de estudio.

1.3 Cartografía morfométrica

Para este trabajo se elaboraron cuatro mapas morfométricos (Figura 3):

- a) Altimetría (msnm)
- b) Pendiente del terreno (reclasificada, según una escala de susceptibilidad a eventos de remoción en masa) (Zuidam, 1986).
- c) Energía del relieve (diferencia de altitudes extremas en m).
- d) Exposición de laderas (orientación de laderas reclasificadas según la susceptibilidad a erosión de suelos) (Palacio-Prieto, 1983; Zuidam, 1986).

La metodología empleada para la elaboración de los cuatro mapas consistió en: a partir de la topografía digital de INEGI del año 2000 con escala 1: 50 000, aplicada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) *ILWIS 3.4*, con un tamaño de pixel de 25m, se creó un *slicing* con cinco rangos expresados en metros (m) y/o grados (°), de acuerdo a las necesidades de información de cada mapa. Con los datos obtenidos de estos mapas se generó un histograma de frecuencia expuesto en rangos del área cubierta. Los datos se exportaron a la paquetería de *Excel* en donde por medio de ecuaciones algebraicas el área presentada en metros y/o grados, se calculó en porcentaje (%).

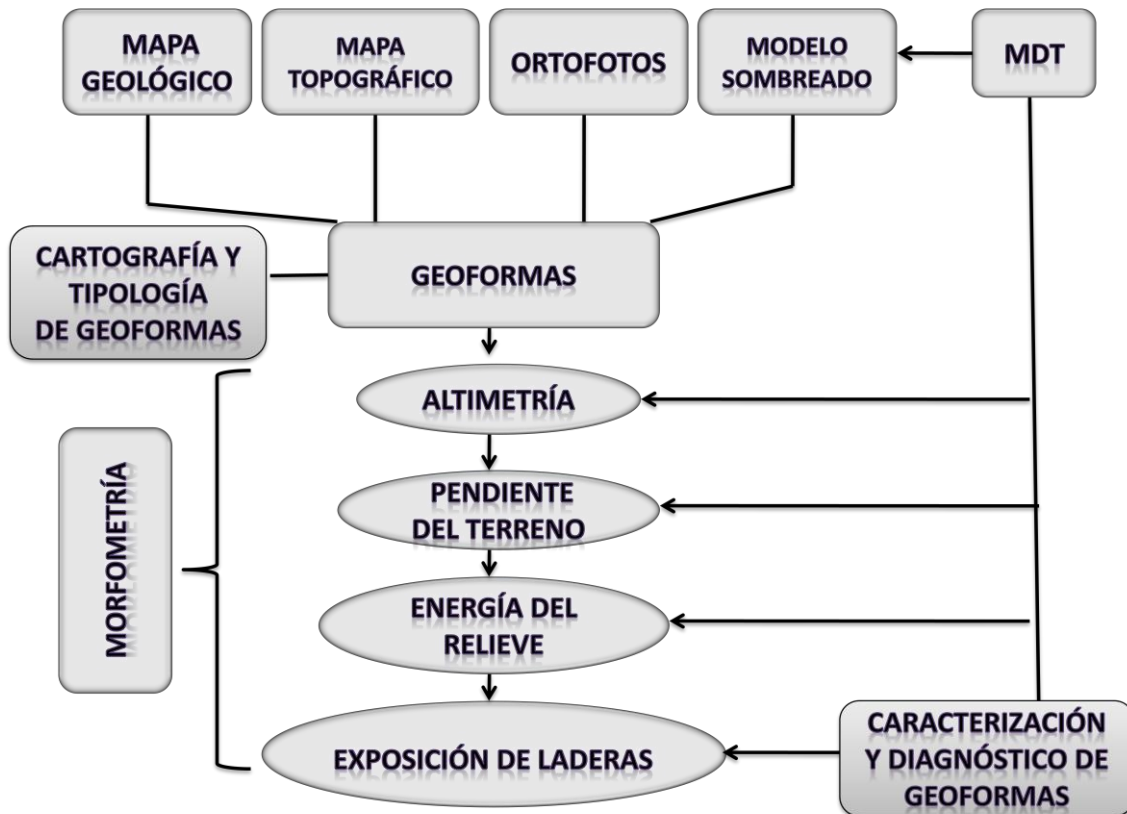


Figura 3. Flujo metodológico para la elaboración del mapa de geoformas y su caracterización, a partir de cinco mapas temáticos de la morfometría.

1.3.1 Síntesis Morfométrica

En esta descripción breve de la morfometría, se llevó a cabo el cruce de tres mapas, considerando como constante el mapa altimétrico y las tres variables fueron: el mapa de pendientes, energía del relieve y exposición de laderas, elaborados en el SIG *ILWIS 3.4*, con un tamaño de pixel de 25m. A partir de este cruce se generó un histograma por cada mapa. Cada histograma se exportó a la paquetería de *Excel*, en donde se hizo una correlación de los datos por medio del método de Pearson.

1.4 Mapa de usos del suelo y vegetación

Se obtuvo de la interpretación en SIG (*ILWIS*, Ver. 3.4) de las cubiertas del suelo mediante ortofotos digitales de 1995 (2 m por píxel), así como compuestos de color 4, 3, 2 (compuestos falso color) de las imágenes de satélite Landsat TM ETM del 2003 y trabajo de campo con fines de actualización. Las imágenes fueron corregidas geométricamente y

georeferenciadas con mapas topográficos (1:50,000) mediante el método *Tie-Points* (Maus, 1996; ITC, 2001). Se tomaron puntos de control de la base cartográfica 1:50,000 de INEGI (1983), y para verificar la precisión se utilizó el Índice RMSE o SIGMA ≤ 2 (Mas y Ramírez, 1996; ITC, 2001) (Figura 4).

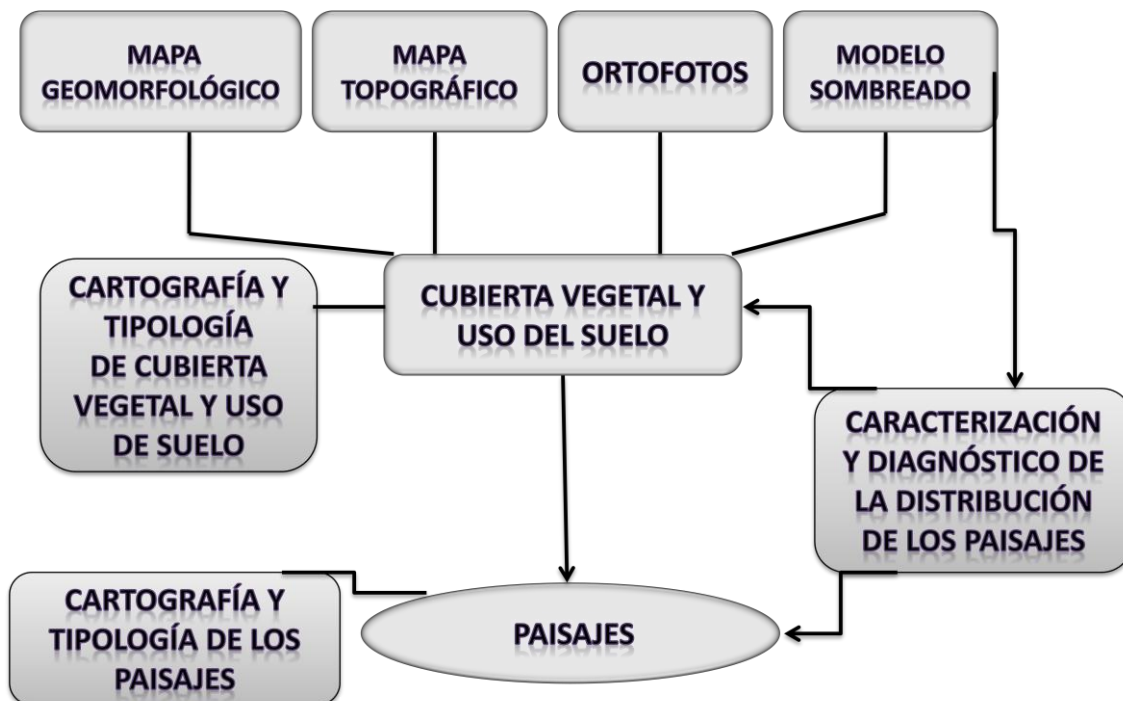


Figura 4. Flujo metodológico para la elaboración del mapa usos del suelo y vegetación y el mapa de paisajes.

Para interpretar las cubiertas del suelo se estableció un área mínima cartografiable de 1 ha (Campbell, 1996) y la interpretación se hizo por medio de un enfoque “visual” que se basa en técnicas directas, asociativas y deductivas para diferenciar los distintos elementos físicos de origen natural o cultural que cubren la superficie del terreno (Enciso, 1990; Mas y Ramírez, 1996; Arnol, 1997; Slaymaker, 2003; Chuvieco, 2002). La primera interpretación se hizo sobre las ortofotos de 1995 que proporcionan el mayor detalle de información, y el mapa resultante fue la base para acceder una versión más actualizada mediante la interpretación de las imágenes de satélite y trabajo de campo. Las imágenes Landsat TM del año 2003 son las más recientes y de mejor resolución espacial, espectral y radiométrica de que se pudo disponer, por lo que las interpretaciones pudieron ser verificadas en campo, con apoyo en los mapas de “uso de suelo y vegetación” (1:50,000) de INEGI (1986).

Para determinar la tipología del mapa de cubierta vegetal y uso del suelo y del mapa de paisajes se consideraron tres aspectos: el origen de la clase (natural o cultural), el nivel de desarrollo fisonómico de la vegetación, y el tipo y permanencia del disturbio asociado al uso del suelo. Para verificar el mapa y en su caso corregir las clases o polígonos e identificar nuevos se tuvo el apoyo en la bibliografía y cartografía ya publicada, así como en diversos indicadores (Slaymaker, 2003), como mapas digitales de pendientes, altimetría y exposición de laderas. De manera adicional, se llevaron a cabo inspecciones de campo, entrevistas y se tomaron puntos de verificación de campo georeferenciados con GPS.

2 Control geomorfológico y distribución de los paisajes

Para evaluar el control geomorfológico de la distribución de los paisajes de distintas características que forman el área de estudio, se tomaron en cuenta cinco factores relacionados con la geología y morfometría del relieve:

- e) Geología (unidades homogéneas en litología y edad).
- f) Altitud (en rangos a cada 200 m)
- g) Pendiente del terreno (reclasificada, según una escala de susceptibilidad a eventos de remoción en masa) (Zuidam, 1986)
- h) Energía del relieve (diferencia de altura entre los puntos más alto y bajo, medidos en cuadrantes de 25m).
- i) Exposición de laderas (pendientes del terreno reclasificadas según la susceptibilidad a erosión de suelos) (Palacio-Prieto, 1983; Zuidam, 1986).

Para determinar el control geomorfológico de la distribución de los paisajes se realizaron cruces (en SIG-*ILWIS*) entre los mapas de los factores del relieve y el mapa de los paisajes del área de estudio. Las bases de datos fueron exportadas a un programa estadístico para obtener superficies y porcentajes de correspondencia. En adición, se realizaron análisis de correlación Pearson para determinar los factores del relieve que controlan la distribución de diversas variables clave (geología, altimetría, pendientes, energía del relieve y

exposición de laderas) que caracterizan los patrones del paisajes en las distintas unidades geomorfológicas de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

RESULTADOS

1 Geomorfología

1.1 Geología

1.1.1 Historia geológica

En este capítulo se aborda el estudio de los procesos geológicos que dieron origen a la secuencia compleja de eventos y materiales derivados que, en su conjunto, llevaron a la conformación de las sierras de Monte Alto y Tepetzotlán, durante el Mioceno y hasta el Reciente. De manera adicional, el estudio atendió a los caracteres y distribución de los aspectos litológicos, morfológicos y de estabilidad, de gran impacto en la organización geomorfológica y en la configuración paisajística actual de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán. Relacionado a esto se hizo una síntesis breve de la formación de la Cuenca de México, para analizar las distintas etapas de formación del área bajo estudio.

A fines del Eoceno iniciaron los procesos de volcanismo que dieron origen a la Cuenca de México. Federico Mooser (1996), explica el origen y conformación de esta cuenca, proponiendo siete fases formadoras, las cuales se describen a continuación (Cedillo, *et al.*, 2007):

- En la primera fase a fines del Cretácico al Eoceno, se plegaron los sedimentos que constituyen la base y se registraron las primeras manifestaciones volcánicas de la actual Cuenca de México, constituidas en su mayor parte por bloques y sub-redondeados de caliza, integrados también por fragmentos de rocas volcánicas, probablemente basaltos. La edad del conglomerado está comprendida entre el Cretácico y Oligoceno Tardío (Ramírez, *et al.*, 1983; Cedillo, *et al.*, 2007).
- En la segunda fase en el Oligoceno medio, la Cuenca de México se vio nuevamente afectada por la mezcla de movimientos distensivos y comprensivos, ocasionados por la geodinámica de fallas transcurrentes, provocando los primeros complejos volcánicos al norte de la cuenca, correspondiente a las primeras emisiones en la base de las sierras: Nevada, de Las Cruces, Chichinautzin, Xochitepec y Guadalupe, con

lavas de composición intermedia y ácida con abundantes tobas e ignimbritas (Cedillo, *et al.*, 2007).

Estos materiales fueron extravasados, para las sierras Nevada y de Las Cruces, por fracturas tensionales con dirección NW-SE; para las sierras de Guadalupe y Chichinautzin, la dirección de fracturamiento sería NE-SW, delimitando con ello el graben formado, el cual se rellenaba de manera paulatina con el material erosionado, así como con el producido por los eventos volcánicos (Ramírez, *et al.*, 1983).

- La tercera fase corresponde al Oligoceno tardío donde un periodo de quietud volcánica en la Cuenca de México es evidenciado, surgen las estructuras dacíticas como el Peñón de los Baños, los cerros Tigre y Zacatenco, este último hace 16 millones de años (Cedillo, *et al.*, 2007).
- La cuarta fase fue en el Mioceno, nuevos eventos tectónicos, presumiblemente compresivos, producen una nueva etapa de vulcanismo en el Cinturón Volcánico Transmexicano y Cuenca de México; la cual originó el complejo principal de la Sierra de Guadalupe, que se caracteriza por lavas intermedias y ácidas. Se formaron grandes domos dacíticos, como los cerros: Tenayo, Chiquihuite y Tepeyac, entre otros (Ramírez, *et al.*, 1983; Cedillo, *et al.*, 2007).
- La quinta fase se inicia a fines del Mioceno y es cuando se forman las “Sierras Mayores”, las cuales fijan los límites de la cuenca al poniente y al oriente; a éstas pertenecen las sierras de Las Cruces, Río Frío y Nevada, constituidas por lavas andesíticas y dacíticas con estructura porfírica. Las rocas de las formaciones nombradas fueron el producto principal para la acumulación y desarrollo de grandes espesores de brechas, arenas, tobas, lahares y conglomerados de composición intermedia (Ramírez, *et al.*, 1983; Hernán, *et al.*, 2000; Cedillo, *et al.*, 2007).
- En la sexta fase en el Plioceno-Pleistoceno, entran en juego los esfuerzos distensivos y compresivos, lo que trae como consecuencia la emisión de magmas básicos y ácidos con un alto contenido de vidrio. Después del lapso de actividad volcánica, la continua erosión, el

transporte y la acumulación de tobas, originaron horizontes arenosos, suelos, arcillas, etc. (Cedillo, *et al.*, 2007).

- En la séptima fase, Pleistoceno y Holoceno, corresponde al último periodo de actividad volcánica dentro de la Cuenca de México, y se encuentra representado por "El Xitle" que data de 2400 años, constituido por basaltos y que, posiblemente, corresponda a esfuerzos distensivos, con el cual se cierra todo tipo de actividad volcánica dentro de la Cuenca de México.

Desde el punto de vista morfológico, la Sierra de Monte Alto debe ser entendida como el sector septentrional de una sierra mayor, reconocida en la literatura como Sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo (Cortes, Jaimes y Farvolden, 1989). Este alineamiento volcánico es resultado de la actividad orogénica que desde inicios del Cenozoico afecta la porción meridional de México y cuya fuente energética es la subducción litosférica que ocurre en las costas del Océano Pacífico, donde las pequeñas placas de Cocos y Rivera son empujadas por la Placa del Pacífico y subducidas por debajo de la Placa de Norteamérica.

La emersión, elevación, plegamiento y fallamiento de antiguos materiales, fundamentalmente sedimentarios, que hasta entonces se habían formado bajo el mar, desencadenó un intenso trabajo de los agentes erosivos externos y, en consecuencia, la denudación de las montañas sedimentarias (García-Romero, 1998). Los depósitos detríticos resultantes de este proceso se acumularon en depresiones tectónicas y kársticas postorogénicas, conformando junto con los restos de las estructuras plegadas, el antiguo basamento sedimentario, anterior a la primera etapa de actividad volcánica en el espacio que actualmente ocupa el área de estudio.

A partir del Paleógeno Inferior y, sobre todo, durante el Mioceno y el Plioceno, una mayor liberación de la presión contenida en la corteza terrestre, ocasionó importantes redes de fracturas corticales, mediante las cuales se produjo la emisión de grandes volúmenes de magma. La acumulación de estos productos volcánicos, fundamentalmente durante el Neógeno, derivó en la formación de sierras volcánicas y estratovolcanes aislados que se distribuyen a lo largo del

área que en la actualidad constituye el Cinturón Volcánico Transmexicano (García-Romero, 1998), entre la que se encuentran la Sierra de La Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, en particular.

Por otra parte, la formación de la Sierra de Tepetzotlán es un tema que ha sido escasamente abordado en la literatura. Mooser (1996) la incluye en el grupo de las llamadas “Sierras Menores”, conjunto de estructuras entre las que se encuentran las sierras de Guadalupe y Patlachique, así como el Mirador de Xochitepec, los cuales se distribuyen dispersos en varios sectores del fondo de la Cuenca de México. Todos ellos constituyen pequeñas prominencias volcánicas, básicamente formadas por vulcanitas ácidas e intermedias (riolitas, dacitas, andesitas y basaltos) del Mio-Plioceno.

1.1.2 Etapas de formación de la Sierra de Monte Alto

Los episodios volcánicos responsables de la construcción de la Sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo se pueden agrupar en dos etapas principales. La primera, anterior al Plioceno superior, incluye el volcanismo por el que se formó un primer basamento local; la segunda abarca la actividad eruptiva posterior al periodo indicado que, sobre dicho basamento, permitió la formación de las sierras, con las dimensiones y la configuración geológica y morfológica como se les conoce en la actualidad (García-Romero, 1998).

a) Primera etapa: formación del basamento volcánico en el Mio–Plioceno

En esta etapa, que abarca del Mioceno al Plioceno inferior, ocurrieron las primeras emisiones volcánicas de composición intermedia y ácida que se asocian a la formación del cuerpo de la Sierra de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo. De acuerdo con Mooser (1975), en el área se produjo una migración del volcanismo de norte a sur, por lo que la actividad comenzó en el sector septentrional del alineamiento volcánico, es decir, en el área de la Sierra de Monte Alto. En esta primera etapa, la actividad fue fundamentalmente explosiva con formación de algunos estratovolcanes. Asimismo, de esta primera etapa es la formación de la Sierra de Guadalupe, cuyos materiales piroclásticos y lávicos, de composición intermedia y ácida, se interdigitaron con los piroclastos de la base de la Sierra de Monte Alto.

Diversos autores afirman que ya desde sus inicios, la elevación de las tierras debida a la acumulación de enormes volúmenes de materiales volcánicos, desencadenó los procesos erosivos y la acumulación de sedimentos que se combinaron en una compleja secuencia estratigráfica con los materiales provenientes de la actividad volcánica, resultando en el desarrollo inicial de una extensa rampa de piedemonte, asociada a la llamada Formación Tarango (Mooser, 1996) de carácter vulcano-detrítico, particularmente homogénea en esta porción norte de la Cuenca de México.

b) Segunda etapa: formación de la sierra en el Plio-Cuaternario

El volcanismo de esta segunda etapa de formación es la continuación de la actividad eruptiva de la primera etapa y se desarrolló desde el Plioceno superior hasta el Pleistoceno superior. Consistió en la emisión de grandes volúmenes de material ígneo que sepultaron a las estructuras generadas en la etapa precedente y llevaron a la conformación del cuerpo principal de la sierra, con características similares a las que presenta en la actualidad.

Los grandes aparatos volcánicos que surgieron en la primera etapa continuaron activos, con eventos de flujos de ceniza y/o de pómez, flujos piroclásticos y lahares, además de la formación de domos y derrames lávicos, entre los que destacan Los Domos, Las Palomas, Catedral, Xitox, Los Vaqueros y Los Puercos, y el volcán "Las navajas", todos los cuales constituyen las principales cumbres adosadas al eje central de la sierra de Monte Alto. Los enormes volúmenes de materiales expulsados por los volcanes, sumados a los de formaciones vulcano-detríticas, producidas por la destrucción parcial de los edificios durante las erupciones, se acumularon en la base y en torno a la sierra en construcción, conformando a sus pies un voluminoso y extenso piedemonte volcánico.

Aunque la gran mayoría de los centros de actividad eruptiva se concentraron en torno al eje N-S de la sierra, otros puntos de emisión aparecieron dispersos en toda la extensión de la actual cuenca, destacando el caso de la alineación E-W formada por los domos Gachupín, Texcané y Ñangó, así como conos cineríticos y domos de menores dimensiones como el de Apaxco. Además, durante el Plio-Cuaternario existieron otros focos de volcanismo cercanos al área, cuyos piroclastos transportados por aire alcanzaron las vertientes de la

sierra, interdigitándose con los materiales del volcanismo local y formando un piedemonte con materiales compartidos por otros edificios (Figura 5).



Figura 5. Mina al aire libre en el piedemonte al E del poblado de Transfiguración en la Sierra de Monte Alto, Estado de México.

1.1.3 Formación de la Sierra de Tepetzotlán

El plegamiento y fallamiento de las antiguas estructuras sedimentarias durante el Eoceno Temprano (Orogenia Laramide) dio lugar a la emersión de la tierra y a cambios fisiográficos notables en el área que actualmente ocupa la sierra de Tepetzotlán. Como se ha mencionado anteriormente, la Sierra de Tepetzotlán, junto con el resto de las Sierras Menores surge en el Oligoceno medio (segunda fase volcánica formadora de la Cuenca de México) (Plan de Desarrollo de Tepetzotlán. Edo. México, 2009 - 2012), teniendo una mayor actividad en el Mioceno (cuarta fase volcánica formadora de la Cuenca de México) (Mooser, 1975). Cabe mencionar que estos datos se obtuvieron a partir del fechamiento de los complejos de lavas fenobasálticas procedentes de las proximidades de la presa Cuevecillas (al NE de la Sierra de Tepetzotlán), las cuales arrojaron una fecha absoluta de 32 millones de años (Núñez, 1990).

Por su parte, la Sierra de Tepetzotlán tiene una litología en las partes altas de andesita y toba (como en los domos: Gordo, El Filo, La Columna, Tres Cabezas y Puerto de Buenos Aires) (Figura 6), mientras en las partes bajas la litología son tobas retrabajadas (como al S de la Presa Concepción y en los

poblados La Estancia y la Cabecera Municipal de Tepetzotlán) (Figura 7). Cabe mencionar que este tipo de materiales son poco disgregables y alterados, permitiendo una rápida infiltración en los suelos.



Figura 6. Corte geológico al W del domo Puerto de Buenos Aires.

Los depósitos aluviales constituyen el evento más reciente de la Sierra, que se localizan en las áreas adyacentes a los cauces de las corrientes que drenan a la Cuenca de México, como resultado de la acción erosiva fluvial del relieve, dando como resultado un material de piroclásticos cementados por una matriz lodosa, de composición tobácea, frecuentemente alterada, que se acumuló al pie de la Sierra (Plan de Desarrollo de Tepetzotlán. Edo. México, 2009 - 2012).



Figura 7. Corte geológico al S de La Presa Concepción.

1.1.4 Las estructuras geológicas

Tomando como base el mapa elaborado por Mooser (1996), se reconoce la existencia de cuatro grandes estructuras geológicas en el área de estudio.

Por una parte, el Complejo Volcánico Catedral y el Complejo Dómico Tepotzotlán son resultado de la actividad volcánica que se concentra favorablemente en los sectores altos de las sierras de Monte Alto y Tepotzotlán, respectivamente. El Piedemonte, resultado de la actividad volcánica y erosivo-acumulativa que ha sido relacionada con los materiales de la Formación Tarango, se distribuye en los sectores medios y bajos de ambas sierras, enlazando a los sectores altos de montaña con la Planicie Aluvial del fondo de la Cuenca de México. La cuarta estructura geológica corresponde a las estribaciones de dicha Planicie Aluvial, que se distribuye en el extremo oriental del área de estudio (Mooser, 1996) (Figura 8).

a) Complejo Volcánico Catedral

Este complejo volcánico comprende al sector meridional del área de estudio, sobre los 3500 msnm y al N del Río Navarrete, afluente del Río Xinté en su tramo alto. Es un complejo de gran elevación, probablemente el más denudado de la Sierra, lo que se manifiesta en la existencia de importantes líneas de fracturas con rumbo SE–NW, propio de los sistemas de dislocación más antiguos de la Cuenca de México, así como en la relativa suavidad de la extensa y tendida rampa de piedemonte con la que enlaza en su extremo oriente (García-Romero, 1998).

Está formado por diversos elementos estructurales de origen volcánico que se concentran a lo largo de una franja estrecha adosada al eje NW–SE de la Sierra de Las Cruces. Entre ellos, por sus dimensiones destacan los grandes domos de: Catedral (3760 msnm), Las Palomas (3720 msnm), Río Frío (3600 msnm), Monte Alto (3550 msnm) y Los Puercos (3530 msnm), además del volcán Las Navajas (3720 msnm). En el sector meridional del complejo se ubica un importante alineamiento formado por los domos lávicos de Texcané (3200 msnm) Ñango (3200 msnm) y Gachupín (3000 msnm). En el área de cumbres predominan extensos derrames lávicos y un número elevado de pequeños domos que se intercalan con algunas depresiones cubiertas de tefra

y sedimentos, como en el Llano Tecuane y el Llano Las Mesas. La presa Ignacio Allende fue construida en una de dichas depresiones formada al pie del domo Los Puercos.

El origen de este complejo está asociado a la actividad volcánica que Vázquez y Jaimes (1989) relacionan con las vulcanitas, emitidas durante el inicio del Plioceno Tardío, en el occidente de la Cuenca de México. En el área de la Sierra de Monte Alto, estos materiales corresponden a la Formación Otomí, cuyas secciones de referencia han sido ubicadas en los afloramientos que se encuentran en las proximidades del poblado Santa María Mazatla, situado en el trayecto que va de Naucalpan a Jiquipilco.

No obstante, la falta de una secuencia estratigráfica que pueda considerarse como típica de todo el episodio eruptivo, es posible deducir que en esta unidad (de hasta 1300 m, en el domo Las Palomas), existieron varias secuencias volcánicas formadas en su mayor parte por depósitos piroclásticos que se presentan como flujos lobulados.

En las áreas altas de la Sierra de Monte Alto los derrames lávicos de andesita a dacita se encuentran intercalados con brechas volcánicas. La textura de las lavas es fanerítica en los derrames más potentes y porfirítica de grano fino en las áreas de intercalación.

La gran caldera volcánica que originó los materiales de la Formación Otomí fue totalmente desmantelada por los intensos procesos exógenos que caracterizaron a los periodos glaciáricos del Pleistoceno, por lo que es difícil reconocer su estructura original; aunque las direcciones de los flujos lávicos y la distribución de los flujos piroclásticos indican que el centro de emisión abarcaba un área alargada de casi 15 km de longitud (Vázquez y Jaimes, 1989).

b) Complejo Dómico Tepetzotlán

Este complejo comprende a la sierra homónima que se localiza en el sector septentrional del área de estudio, al N del Río Hondo de Tepetzotlán (afluente del río La Presa en su tramo bajo). De acuerdo con Mooser (1996) esta estructura forma parte de las Sierras Menores de la Cuenca de México, con

elevaciones que, en este caso, alcanzan los 3000 msnm y generan un desnivel local de hasta 800 m.

La Sierra de Tepetzotlán está constituida, principalmente, por rocas extrusivas del Plioceno, en la cual hay depósitos de diversos materiales, desde cenizas y tobas andesíticas hasta lavas basálticas y sedimentos derivados de la erosión de las estructuras volcánicas (Plan de Desarrollo de Tepetzotlán. Edo. México, 2009 - 2012).

Asimismo, este complejo está conformado por diversos elementos volcano-estructurales, entre los que destacan, por sus dimensiones, los grandes domos de La Columna y El Gordo, con más de 2500 msnm y fracciones de coladas lávicas. Las principales elevaciones del complejo están coronadas por pequeños domos volcánicos, en tanto que las laderas bajas están cubiertas por un angosto piedemonte volcanoclástico, conformado por tobas parcialmente re-trabajadas en el Cuaternario en depósitos de flancos, que conservan, relativamente, su forma hasta el día de hoy (Mooser, 1996).

c) Piedemonte

Esta estructura y los materiales que la componen han sido reconocidos bajo el nombre de Formación Tarango (Mooser, 1996). Es una estructura derivada de la acumulación de enormes volúmenes de volcanoclastos que se formaron durante el Plio–Pleistoceno como consecuencia de las erupciones paroxísmicas que se desarrollaron a lo largo de este tiempo en la franja central y elevada del Complejo Volcánico Catedral. Estos materiales de origen volcánico se interdigitaron con los sedimentos derivados de su erosión y acumulación, en complejas secuencias estratigráficas que formaron una potente y extensa formación de piedemonte, cuya configuración superficial presenta los caracteres de una rampa que sirve de enlace con la planicie aluvial (García-Romero, 1998).

Dada la dilatada y constante actividad (volcanoerosiva), no ha sido posible la reconstrucción detallada de los episodios de formación de este piedemonte. Sin embargo, se puede reconocer que los productos piroclásticos expulsados por los volcanes se acumularon unos sobre otros de forma reiterada, existiendo

dos modalidades principales de depósito, según el tipo de actividad y los materiales involucrados.

Así, en el sector alto del piedemonte predominan los depósitos directamente vinculados con la actividad volcánica de la sierra, tales como: lahares, flujos piroclásticos, ignimbritas, tobas y pómez; en tanto que, en el sector bajo del piedemonte los depósitos piroclásticos se intercalan con los materiales detríticos, principalmente producto de la acumulación de sedimentos fluviales (y en menor grado eólicos y coluviales) al pie de la sierra durante los tiempos más recientes del Pleistoceno (García-Romero, 1998).

d) Planicie aluvial

Esta unidad se localiza en el E-NE del área de estudio, desde el Río Hondo de Tepetzotlán al N hasta la presa Guadalupe al S. Se distribuye en una extensa superficie por debajo de los 2400 msnm y con prolongaciones que penetran en el piedemonte bajo la sierra, por medio de los principales valles y de los ríos: Hondo, La Presa, San Pablo y Cuautitlán. Su origen se relaciona con periodos de intensa erosión y acumulación de depósitos aluviales, pero también coluviales y eólicos que afectaron las vertientes altas y piedemontes de las sierras de Monte Alto y Tepetzotlán, durante el periodo Cuaternario (Mooser, 1996).

1.2 Morfometría

La morfometría es el estudio de las características geométricas de las formas del relieve, a partir de la cuantificación de determinados atributos: altimetría, pendientes, exposición de laderas y energía del relieve, entre otros (Lugo, 1989). Tales formas tienen variaciones espaciales y geométricas, tanto en planta como en perfil transversal y longitudinal, que se correlacionan entre sí. En la práctica, la morfometría es ampliamente utilizada como herramienta base para la caracterización y el diagnóstico de la taxonomía, el origen, la estructura y dinámica del relieve; asimismo, es indicadora de las consecuencias de la estructura y dinámica del relieve sobre otros componentes del sistema ambiental -suelo, vegetación, fauna y uso del suelo- que funcionalmente son dependientes del relieve. En este estudio, el análisis morfométrico derivará en

información valiosa para la caracterización de las geoformas y categorías del paisaje, al tiempo que será utilizado como base para establecer la importancia del control geomorfológico en la distribución de los patrones paisajísticos que forman el área.

1.2.1 Altimetría

El mapa altimétrico es un material de análisis geomorfológico, en el que la información topográfica -expresada a través de las curvas de nivel- se muestra de manera simplificada a través de “pisos altitudinales”, lo que favorece la diferenciación y clasificación de los principales rasgos morfológicos del relieve (García-Romero, 1996), siendo indicativa de la estabilidad de laderas, susceptibilidad de erosión y accesibilidad del terreno.

Los resultados muestran que la Cuenca alta del río Cuautitlán se ubica entre las cotas de 2200 y 3800 msnm. Uno de los aspectos más significativos de su morfología es la suavidad topográfica de la vertiente, en por lo menos las dos terceras partes desde su base. Esta característica queda bien representada en la distribución de los rangos de altitud, según los cuales, la mayor parte de la superficie (57%) corresponde a relieves que se ubican por debajo del promedio de altitud, entre las cotas de 2200 y 2600 msnm, coincidiendo con el piedemonte de la Sierra de Monte Alto, la planicie aluvial y las laderas y el piedemonte de la Sierra de Tepetzotlán (Tabla 1).

Cabe mencionar que sobre los 2800 msnm, la Sierra de Monte Alto concentra los relieves más abruptos de la cuenca (23%), incluyendo a las principales cumbres (> 3600 msnm) –en los domos Las Palomas, Catedral y volcán Las Navajas-, las cuales se distribuyen en una estrecha franja adosada al eje central de la sierra, ocupando una reducida superficie de sólo 0.2% del total del área de estudio. Por debajo de este nivel de cumbres, la escasez de centros de emisión volcánica y el retroceso topográfico de la vertiente por procesos de erosión durante el Cuaternario, dieron origen a la extensa y tendida rampa de piedemonte, donde los valores de altitud disminuyen de manera progresiva (Figura 9).

Tabla 1. En la primera columna están los rangos en que se clasificó la información altimétrica y en la segunda y tercera columna están las áreas en kilómetros y porcentajes.

Rango latitudinal (msnm)	Área (Km)	(%)
2200 a 2400	140.1	28.9
2400 a 2600	138.6	28.6
2600 a 2800	93.5	19.3
2800 a 3000	43.2	8.9
3000 a 3200	26.8	5.5
3200 a 3400	22.8	4.7
3400 a 3600	18.4	3.8
3600 a 3800	1.2	0.2

1.2.2 Pendientes

De acuerdo con García-Romero (1996) la pendiente es una variable de la morfometría, cuya utilidad para las descripciones del relieve se explica por un principio fundamental: el potencial morfogenético y por lo tanto, la inestabilidad del relieve y su susceptibilidad a procesos de erosión, se incrementan con las pendientes mayores y decrecen con las menores. La finalidad de este mapa es caracterizar la distribución de los valores de pendiente en el área de la cuenca, con especial atención en el reconocimiento de los rangos críticos relacionados con dicho potencial morfogenético. Se considera que esta información es de gran utilidad para caracterizar las formas del relieve y en la identificación y clasificación de las categorías de vegetación, uso del suelo e integración del paisaje.

El mapa de pendientes muestra que la mayor superficie de la cuenca (58% del total del área de estudio) presenta inclinaciones de moderadas a altas (6.1 a 30°) que se distribuyen favorablemente en las laderas y el sector alto del piedemonte de la Sierra de Monte Alto, donde se espera una mayor sensibilidad a la erosión de laderas.

En cambio, una superficie menor equivalente al 38% del área se ubica en laderas de baja pendiente ($\leq 6^\circ$), coincidiendo con la planicie aluvial y la base del piedemonte de la Sierra de Monte Alto y el piedemonte de la Sierra de Tepetzotlán. Sólo en una pequeña porción del territorio (0.1%) la inclinación de las laderas supera los 45° ; área de gran importancia por contener dentro de su ámbito a la mayor superficie forestal conservada, tanto en las cumbres de Monte Alto como de Tepetzotlán (Tabla 2) y (Figura 10).

Tabla 2. En la primera columna están los rangos en que se clasificó la información de pendientes y en la segunda y tercera columna están las áreas en kilómetros y porcentajes.

Rango de pendientes (°)	Área (Km ²)	(%)
0 a 3	96.2	19.9
3.1 a 6	87.9	18.1
6.1 a 15	172.0	35.5
15.1 a 30	106.6	22.0
30.1 a 45	21.3	4.4
Más de 45	0.6	0.1

1.2.3 Energía del relieve

La energía del relieve es un parámetro de la morfometría que permite evaluar la distribución de las máximas elevaciones del terreno medidas en muestras, cuya superficie se mantiene constante a lo largo del área de estudio (ITC, 2001; Díaz, *et al.* 2002). Su interpretación integrada a la del mapa de pendientes es de gran utilidad para determinar la sensibilidad del terreno a procesos exógenos denudativos y acumulativos.

El mapa de energía del relieve muestra que la mayor superficie de la cuenca (50% del total) presenta diferencias de altura moderadas a altas (10 a 30 m), características de las laderas de montaña y el piedemonte de las sierras de Monte Alto y Tepetzotlán. Sin embargo, en algunas laderas de montaña y en la

mayoría de los principales barrancos de ambas sierras (23%) la energía del relieve supera los 30 m. Sólo en el 23% de la superficie de la cuenca, abarcando la planicie aluvial y los sectores bajos del piedemonte de la Sierra de Monte Alto, la energía del relieve se mantiene por debajo de 10m (Tabla 3) y (Figura 11).

Tabla 3. En la primera columna están los rangos en que se clasifico la información de la disección del terreno y en la segunda y tercera columna están las áreas en kilómetros y porcentajes.

Rangos de energía del relieve (m)	Área (Km ²)	(%)
0 a 5	46.7	9.6
5.1 a 10	64.3	13.3
10.1 a 15	76.3	15.8
15.1 a 20	71.7	14.8
20.1 a 25	52.0	10.7
25.1 a 30	44.3	9.1
Más de 30	129.3	26.7

1.2.4 Exposición de laderas

De acuerdo con Lugo (1989), la exposición de laderas define su orientación en relación con los puntos cardinales, normalmente medidos en valores de azimut, de 0 a 360°. En función de la exposición hay condiciones diversas de insolación y humedad que influyen en los procesos exógenos de ladera y en el modelado del relieve, siendo también indicativos de la influencia del relieve en el desarrollo y condición de la vegetación y el suelo. Esta situación es más evidente en algunas regiones templadas de los trópicos en ambos hemisferios, donde el desarrollo de la cubierta forestal es mayor en las laderas expuestas al N, en comparación, más estables que las laderas expuestas al S, donde la

inestabilidad e intensidad de los procesos erosivos se incrementan, conduciendo a una evolución asimétrica de la morfología entre ambas.

Para la interpretación del mapa de exposición de laderas se partió de considerar que en el área de estudio la exposición a la insolación es un factor clave de la distribución de humedad, condición del suelo y fenología de la vegetación, todos los cuales intervienen a su vez como factores de la erosión y de la respuesta de las laderas ante procesos que provocan disturbio. En este sentido, los resultados muestran que las laderas de umbría (orientadas de 0 a 90° y de 316 a 360°) abarcan una superficie equivalente al 41.5% del total de la cuenca, coincidiendo con el área de distribución de las mayores áreas forestales, con sotobosques más desarrollados, mayor disponibilidad de humedad y mejores condiciones del suelo que favorecen la estabilidad del relieve y del paisaje (Tabla 4) y (Figura 12).

En cambio, las laderas de solana (59% del total) –orientadas de 91 a 315°- se caracterizan por condiciones ambientales adversas al desarrollo vegetal y del suelo, al tiempo que concentran mayor intensidad de los usos del suelo en asentamientos humanos y/o actividades económicas del sector primario (agrícola y pecuario); razón por la cual se les considera como más susceptibles a los procesos de erosión-acumulación.

Tabla 4. En la primera columna están los rangos en que se clasificó la información de la orientación de las laderas y en la segunda y tercera columna están las áreas en kilómetros y porcentajes.

Rangos de la exposición de laderas (°)	Área	
	(Km ²)	(%)
0 a 90 – 316 a 360	199.0	41.5
91 a 315	280.2	58.5

1.2.5 Síntesis Morfométrica

El análisis de componentes principales aplicado a las superficies de correspondencia entre las categorías internas de los cuatro atributos de la

morfometría, deja ver una clara correlación positiva entre la pendiente y la energía del relieve (Tabla 5a), esto sugiere, una correlación fuerte principalmente esta en pendientes suaves y disecciones del terreno poco profundas y en menor analogía las pendientes pronunciadas se correlacionan con la disección mayor a 25.1 m. Por su parte que las correlaciones negativas se dan en los extremos, es decir, que en pendientes medias a pronunciadas hay una paralelismo negativo respecto a los valores bajos de disección, mientras que en pendientes suaves la concordancia negativa esta asociada a disecciones por arriba de los 25.1 m. Estos indicadores suponen una situación particularmente importante en el caso de las laderas de montaña, piedemontes y barrancos principales, tanto en la Sierra de Monte Alto como en la Sierra de Tepetzotlán, las cuales se asumen como los sectores de mayor sensibilidad a la erosión.

Por otra parte, los resultados de la correlación entre pendiente y exposición de laderas (Tabla 5b), muestra una alta correlación positiva, principalmente en valores altos de pendiente y en valores de 0 a 90° y 316 a 360° de exposición de laderas, esto sugiere que, entre más aumente la pendiente mayor será la orientación N y NE de la ladera. Por otra parte los valores negativos de esta correlación se ostentan en valores medios a altos de pendiente y con una exposición de 91 a 315°, esto refleja que las áreas donde la pendiente oscila entre los 15 a 45° tienen una orientación que favorece a la insolación. Esta última correlación coincide con áreas donde los suelos están deshidratados.

Por último se obtuvieron los resultados de la correlación entre energía del relieve y exposición de laderas (Tabla 5c), la cual muestra que hay una correlación positiva en pendientes bajas a medias referente a exposiciones que oscilan entre los 91 y 315°, esto indica que, las pendientes que fluctúan entre 10.1 a 20° tienen una orientación que favorece a la insolación. Mientras que los valores negativos de esta correlación se encuentran en pendientes bajas con exposición de laderas que oscilan entre 0 a 90° y 316 a 360°, esto sugiere que las áreas donde hay una inclinación del terreno baja la orientación de las laderas va a favorecer al impacto de la lluvias. Este último indicador corresponde a la mayor parte de las áreas donde hay bosque, tanto de pino como de abeto.

Tabla 5a. Indicadores de la correlación entre pendiente y energía del relieve. Se identificó una analogía entre las pendientes suaves y profundidades bajas del terreno.

Correlación pendiente - energía del relieve								
Pendiente (°)	Energía del relieve (m)							
	0 a 5	5.1 a 10	10.1 a 15	15.1 a 20	20.1 a 25	25.1 a 30	Más de 30	
0 a 3	1.0	1.0	0.8	0.1	-0.3	-0.9	-0.8	
3.1 a 6	0.8	1.0	1.0	0.6	0.1	-0.8	-1.0	
6.1 a 15	-0.6	-0.3	0.1	0.8	1.0	0.6	-0.1	
15.1 a 30	-0.8	-0.9	-1.0	-0.6	-0.2	0.7	1.0	
30.1 a 45	-0.7	-0.9	-0.9	-0.7	-0.3	0.6	1.0	
Más de 45	-0.4	-0.4	-0.4	0.0	0.2	0.4	0.3	

Tabla 5b. Indicadores de la correlación entre pendiente y exposición de laderas. Se identificó una fuerte analogía entre los valores altos de pendiente y la exposición de ladera de umbría.

Correlación pendiente - exposición de laderas				
Pendiente (°)	Exposición de laderas (°)			
	0 a 90	316 a 360	91 a 315	
0 a 3			-0.6	0.5
3.1 a 6			-0.9	0.8
6.1 a 15			-0.2	0.3
15.1 a 30			0.9	-0.8
30.1 a 45			0.8	-0.7
Más de 45			0.1	0.0

Tabla 5c. Indicadores de la correlación entre energía del relieve y exposición de laderas. Son análogos los valores medios de pendiente y los valores medios de solana.

Correlación energía del relieve - exposición de laderas				
Energía del relieve (m)	Exposición de laderas (°)			
	0 a 90	316 a 360	91 a 315	
0 a 5			-0.5	0.4
5.1 a 10			-0.7	0.6
10.1 a 15			-0.9	0.9
15.1 a 20			-0.7	0.8
20.1 a 25			-0.4	0.5
25.1 a 30			0.5	-0.4
Más de 30			0.9	-0.8

1.3 Geomorfología

El mapa geomorfológico es un material de análisis que contiene información relativa al origen, morfología y dinámica, que se requieren para establecer la condición o estado del relieve, así como los tipos e intensidades de los procesos que rigen la evolución de las formas del relieve (Lugo, 1989). En estudios de paisaje, el mapa geomorfológico es de particular relevancia, pues

por medio de éste se obtiene una clasificación paisajística, de acuerdo a las formas del relieve.

Dentro del área de estudio (Figura 13) se identificaron 21 geoformas modeladas por la intervención de la dinámica del relieve. Las geoformas de mayor importancia por su superficie son las laderas asimétricas tendidas (17% del total del área de estudio), seguidas de las laderas de montaña de Monte Alto (13%), las laderas simétricas altas (11%) y las laderas simétricas bajas (15%) del total,. Sin embargo, hay otras geoformas en menor porción dentro del área, pero fundamentales para la dinámica del relieve (Tabla 6).

Con el objeto de agrupar las categorías de geoformas de mayor dimensión y explicar sus características con más detalle, estas geoformas se han dividido en tres grandes grupos: Sierra Mayor, Sierra Menor y Planicie Aluvial.

Tabla 6. Nombres y superficies de las geoformas del relieve, de la Cuenca alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

Geoformas	Área (km ²)	Área (%)
Abanico aluvial	1.1	0.2
Barranco principal	44.1	9
Barranco secundario	20.4	4
Cuerpo de agua	4.7	1
Domo volcánico	18.3	4
Domo volcánico Tepotzotlán	10.1	2
Escarpe antrópico	0.1	0.02
Escarpe de falla	1.2	0.3
Ladera asimétrica pronunciada	22.4	5
Ladera asimétrica tendida	81.2	17
Lomerío lávico	7.3	1
Ladera de montaña reciente (Monte Alto)	61.5	13

Geoformas	Área (km ²)	Área (%)
Ladera de montaña Tepetzotlán	30.7	6
Ladera simétrica alta	52.6	11
Ladera simétrica baja	73.9	15
Ladera simétrica baja Tepetzotlán	9.4	2
Planicie aluvial	32.6	7
Riviera	0.7	0.2
Planicie de Tefra	0.5	0.1
Talud	3.4	1
Terraza aluvial	8.5	2
TOTAL	484.6	100

1.3.1 Sierra Mayor

Sierra de Monte Alto

De acuerdo con (Mooser, 1996), la Sierra de Monte Alto puede ser considerada como una Sierra Mayor, estructura de grandes dimensiones que en el área de estudio comprende una superficie equivalente al 50% de esta, principalmente sobre los municipios de Villa del Carbón y Nicolás Romero. Relacionado a esto la Sierra de Monte Alto tiene una disección fuerte en el terreno, principalmente en la cabecera de los barrancos, y se ve reflejado en los ríos: Río el Esclavo, Río la Presa y Río de San Pedro, en la parte N; mientras que, en la parte S está el Río Arroyo Chiquito, Río Arroyo Grande y Río Xinté.

La geomorfología de la Sierra de Monte Alto es compleja, ya que en ella se identificaron una diversidad de geoformas como: laderas de montaña, piedemontes, barrancos, terrazas y abanicos aluviales, playas fluviales y planicies de tefra. Esto sugiere que la sierra se encuentra en una de las regiones del país cuya dinámica tecto-volcánica está determinada, en buena

medida, por la evolución del relieve actual (García-Romero, 1993), que corresponde al N y NW de la Cuenca de México.

a) Laderas de Montaña

Las Laderas de Montaña (clave en mapa: LMR) ocupan una extensa superficie (13% del total de la cuenca) aunque la mayor parte (25 % de su superficie) se concentra en una angosta franja altitudinal -entre 2600 y 3600 msnm- próxima a la zona de cumbres de la sierra. Quedan comprendidas en esta categoría las laderas de origen volcánico, modeladas por procesos fluviales y gravitacionales, pero que no han sido integradas a la red de los principales barrancos. Las vertientes formadas por materiales lávicos parcialmente cubiertos de piroclastos, se caracterizan por pendientes de moderada inclinación (7 a 15° en el 40.5% de su superficie), y valores de energía del relieve que superan los 30 m de profundidad (49% de su superficie). La prominencia topográfica parece no tener un efecto claro sobre la exposición de laderas, las cuales se orientan a solana (91 y 315°) en el 46% del total de las laderas de montaña.

Domos volcánicos (clave en mapa: DV). La mayor parte de las cumbres de la sierra corresponden a domos volcánicos, cuya morfología ha sido definida en términos generales por Lugo (1989) como elevaciones en forma de arco redondeado, más o menos isométricas. En la Sierra de Monte Alto se identificaron 92 domos (4% del total del área de estudio), la mayoría (30% de su superficie total) concentrados entre los 3400 y 3600 msnm. Dada la morfología agreste de las vertientes y el alto valor de la incisión fluvial que afecta a toda el área de montaña, los domos volcánicos se caracterizan por laderas de fuerte inclinación topográfica (16 a 30°) en el 47% de su superficie, y alto valor de la energía del relieve (>30 m) en el 68%. Por último, no se observa ninguna tendencia en la exposición de laderas, al estar del 49% de su superficie favorecida por la insolación (91 a 315°).

b) Piedemonte

El piedemonte de la Sierra de Monte Alto forma una extensa y poco inclinada rampa topográfica que enlaza a las laderas altas de la sierra con la planicie del nivel de base. Su compleja estructura geológica incluye una secuencia de capas de materiales volcanoclásticos, denominados por Mooser (1996) como Formación Tarango, la cual se caracteriza por una gradual transición que va de materiales de textura gruesa, predominantemente volcánicos (flujos piroclásticos, lahares y depósitos de caída) en los sectores altos del piedemonte, en tanto que hacia la base predominan los materiales finos producto del arrastre fluvial de los anteriores. Debido a lo anterior, la rampa de piedemonte adquiere distintas morfologías a lo largo del gradiente altitudinal, por ejemplo, en el sector más alto del piedemonte la morfología es la de un extenso Lomerío Simétrico Alto (clave en mapa: LSA) (11% del total del área de estudio), que se distribuye a manera de abanicos, con los ápices en contacto con las laderas de montaña, desde donde se amplían ladera abajo. Se distribuye preferentemente (67% de su superficie) a lo largo de una angosta franja altitudinal que va de 2600 a 2800 msnm, estando caracterizado en el 52% de su área por pendientes moderadas (7 a 15° de inclinación), energía del relieve baja (16 a 20 m de profundidad) en el 25% del área, y exposiciones de ladera con una ligera tendencia al predominio de la solana (91 a 315°) en el 56%.

El patrón geomorfológico de la base del piedemonte está dado por extensos montículos, que para fines de este trabajo se les reconoce bajo el nombre de Lomerío Simétrico Bajo (clave en mapa: LSB) que se distribuye en un área equivalente al 15% del total del área de estudio. Coloca el 78% de su superficie por debajo de los 2400 msnm, estando caracterizado por una morfología poco prominente, con pendientes que oscilan entre 7 y 15° en el 32% de su superficie y energía del relieve de 6 a 10 m de profundidad en el 30%. La exposición de laderas favorece con claridad a la solana (91 a 315°) en el 57% de su extensión.

Los lomeríos simétricos alto y bajo están físicamente separados por una angosta franja del piedemonte, cuyo patrón morfológico se desarrolló a partir de procesos fluviales de ataque que se concentraron en la margen derecha de

los arroyos, derivando en una secuencia de valles asimétricos formados durante el Cuaternario. Por esta razón, los valles asimétricos presentan una ladera característicamente tendida en la margen izquierda, y de inclinación pronunciada en la derecha.

Este último caso es el del Lomerío Asimétrico Pronunciado (clave en mapa: LAP) que se distribuye favorablemente (66% del total de su superficie) entre las cotas 2400 y 2600 msnm, en un superficie equivalente al 5% del total del área de estudio. Se caracteriza por laderas de pendiente moderada (7 a 15° de inclinación) en el 46% de su área, aunque con valores altos de energía del relieve (más de 30m) en el 39%. Por último, la orientación de las laderas en el LAP tiene una gradiente entre 0 a 90° (44% del total del área del LAP), esta exposición favorece a la acumulación de humedad, formando microclimas.

Este otro patrón morfológico corresponde a un Lomerío Asimétrico Tendido (clave en mapa: LAT), el cual ocupa la mayor superficie del área de estudio (17% del total), aunque concentrado (61% del total de su superficie) en la misma la franja altitudinal -de 2400 a 2600 msnm- que el Lomerío Asimétrico Pronunciado. Al igual que este último, las pendientes son moderadas (7 a 15°) en el 42% de su área, aunque con valores mucho más bajos de energía del relieve (11 a 15 m) en el 31%. Como es de esperar, una proporción muy alta de la superficie de estas laderas (73%) presenta exposiciones (91 a 315°) que son favorables a la insolación.

Dentro de esta unidad se identificó al Lomerío Láxico (clave en mapa: LLv), el cual es proporcionalmente una de las unidades más pequeñas (2% del total del área de estudio) y de distribución localizada, ubicando la mayor parte de su superficie (53%) entre las cotas de 2600 a 2800 msnm. Los materiales láxicos permiten valores bajos a moderados de pendiente (7 a 15° de inclinación) en el 51% de su área, y de energía del relieve (16 a 20 m) en el 26%. La orientación de las laderas oscila preferentemente entre 91 y 315°, es decir, favorable a la solana en el 54% de su superficie.

Dentro del piedemonte se reconoció un Escarpe de Falla (clave en mapa: EF) normal e indirecto, asociado a los eventos tectónicos que de manera generaliza afectaron al piedemonte con notables efectos en el modelado fluvial durante el Cuaternario, y que en este caso derivaron en una geoforma excepcional en el

contexto de la sierra. El escarpe ocupa una pequeña superficie (0.2% de la superficie del área de estudio), ubicada en la parte central del piedemonte (2400 a 2600 msnm). La sección del plano de falla que está expuesta en superficie forma una ladera orientada al sur y sensiblemente afectada por procesos gravitacionales que permitieron la formación de taludes de detritos de hasta 100 de alto. Por ello, la morfología actual del escarpe se caracteriza por pendientes moderadas a altas (16 a 30° de inclinación) en el 61% de su área, aunque con energía del relieve que supera los 30 m en el 55%.

Al pie del escarpe de falla se identificó un Talud de detritos (clave en mapa: T) de pequeñas dimensiones (0.7% del total del área de estudio) y con orientación al sur en el 90% de su área. La morfología del talud se caracteriza por pendiente de baja a moderada inclinación (7 a 15°) en el 39% de su superficie, y valores bajos de energía del relieve (6 a 10 m) en el 33%, no obstante lo cual, la inestabilidad de los materiales que lo forman se hace evidente con la alta densidad de arroyos y asentamientos del terreno que lo afectan.

c) Barrancos

De acuerdo con Lugo (1989), los barrancos se definen como una forma negativa del relieve, estrecha, con laderas abruptas, con frecuencia ramificándose hacia la cabecera, con las márgenes carentes de vegetación. Este mismo autor señala cuatro etapas en la evolución de los barrancos, de las cueles, los barrancos del área se encuentran entre la primera y segunda etapa. En la primera etapa, antecede al barranco un surco alimentado por la lluvia de temporada, donde se concentra el agua de escurrimiento; el surco inicial es poco profundo (50 cm). Su perfil longitudinal sigue el modelado del terreno, generalmente irregular, con rupturas de pendiente. La segunda etapa inicia cuando se forma la cabecera del barranco con un frente escarpado que avanza laderas arriba por derrumbes, deslizamientos, o caídas de rocas en dirección a la divisoria. La altura del escarpe de la cabecera alcanza de 2 a 10 m y hasta 15 m, mientras que la profundidad de erosión del barranco, con tales cabeceras, es de 25 a 30 m. Relacionado a esto el cauce muestra un perfil longitudinal accidentado y predominan los procesos de erosión vertical y remontante. En el área de estudio se identificaron dos tipos de barrancos: 1)

Barranco principal (clave en mapa: BP), y 2) Barrancos secundarios (clave en mapa: BS), esta división se hizo a partir de las dimensiones y características de cada uno de estos barrancos que a continuación se describen.

El BP se localiza al límite de las localidades de Santa María Magdalena Cahuacan y de Transfiguración, se extiende de W a NW y SE en forma de “x”. Este BP ocupa una superficie equivalente al 9% del área de estudio, aunque limitado en el sector medio de la vertiente serrana (2600 a 2800 msnm). La morfología se caracteriza por pendientes de moderadas a altas (16 a 30° de inclinación) en el 51% de su área, y energía del relieve muy alta (> 30 m) en el 75%. La exposición de las laderas es favorable a la solana (91 a 315°) en el 58% de la superficie.

Por su parte, los BS se distribuyen principalmente en el S (localidad más representativa-San Miguel Tecpan) y en el N (localidad más representativa-Cañada de Cisneros) del área de estudio, ocupando 4% de la superficie total de la cuenca y en una posición altitudinal inferior a la de los barrancos de primer orden (2400 a 2600 msnm). En este caso, la morfología es de laderas de moderada a alta inclinación (16 a 30°) en el 47% del área y con valores muy altos de energía del relieve (> 30 m) en el 58%. La exposición de laderas favorece la solana (91 a 315°) en el 55% de la superficie.

d) Terrazas aluviales, abanicos aluviales, rivierra y planicie de tefra

Las Terrazas Aluviales (clave en mapa: TA) forman superficies planas o débilmente inclinadas y dispuestas en franjas estrechas separadas unas de otras por cambios bruscos de pendiente (Lugo, 1989). Su origen en algunos casos es producto de la tectónica que provoca el levantamiento de los terrenos y, en otros casos es debido a los procesos exógenos. Las TA son apenas representativas dentro del área de estudio (2% de la superficie total), distribuidas en el 50% de su superficie entre las cotas de 2200 a 2400 msnm, es decir, en el contexto de los lomeríos bajos del piedemonte. Su morfología se caracteriza por pendientes suaves (0 a 3° de inclinación) y valores muy bajos de energía del relieve (6 a 10 m de profundidad) en el 43% de su área. La

orientación de las laderas es favorable a la solana (91 a 315°) en el 47% de su superficie.

Los Abanicos Aluviales (clave en mapa: AA) o también conocidos como Conos de eyecciones, ocupan una superficie apenas representativa dentro del área de estudio con solo el 0.2% del total de esta. Principalmente se distribuyen entre las cotas de 2200 a 2400, (56% del total de la superficie de los AA), mientras la tendencia al predominio de las pendientes está entre 0 a 3° de inclinación (46% de su área). Por lo que concierne a la energía del relieve está es moderadamente baja (6 a 10 m) en el 25% de su superficie. La exposición de laderas tiene una alta concentración de humedad la cual favorece a la vegetación (0 a 90°) en el 46% de su superficie.

La Riviera (clave en mapa: PF), es apenas representativa dentro del área de estudio, ya que solo abarca el 0.1% respecto al total de esta. Esta geoforma se localiza en el contorno de la Presa de Guadalupe (la presa Guadalupe se localiza en el E del área de estudio), y los materiales que la conforman a la R son sedimentos, arrastrados principalmente por la corriente del río Arrollo Chiquito (que nace en las partes altas de la Sierra de Monte Alto. Dadas estas características, la R se localiza en las cotas de 2200 a 2400 msnm (100% de su superficie), mientras que la morfología se caracteriza por pendientes que oscilan entre 0 a 3° (59% de su área) y una energía del relieve moderada (11 a 15 m) en el 59 % de su superficie). La orientación de las laderas (91 a 315°) favorece a la solana en el 55% de su área).

De acuerdo con Lugo (1989) la Planicie de Tefra (clave en mapa: PT), son depósitos de material volcánico no consolidado o mejor conocido como: material volcanoclástico, producido por las erupciones. Relacionado a esto la superficie ocupada por la PT respecto al total del área de estudio es mínima, ya que solo cuenta con el 0.09% de esta. Coloca el 69% de su superficie entre las cotas de 3200 a 3400 msnm, mientras la morfología es poco prominente con pendientes oscilan entre los 7 a 15° de inclinación (38% de su área). Por otra parte la energía del relieve es moderada (11 a 15 m) en el 29% de su superficie. La exposición de laderas es de 0 a 90°, este gradiente muestra una ligera orientación hacia la solana, en el 49% de su área.

1.3.2 Sierra Menor

Sierra de Tepotzotlán, Estado de México

Dentro del área de estudio se localiza la vertiente que da a la Cuenca de México de la Sierra de Tepotzotlán, la cual Mooser (1996) la denomina como Sierra Menor. La Sierra de Tepotzotlán tiene una longitud de N a S, de 7.7 Km, mientras que de W a E es de 13 km, aproximadamente. En esta sierra se identificaron varios asentamientos humanos como, San Mateo Xoloc, El Puerto de Buenos Aires, Barrio Santa Cruz, Cañada de Cisneros, Barrio la Capula, entre otros, pero el más representativo es la Cabecera Municipal de Tepotzotlán localizada en la parte E de la Sierra.

a) Laderas de Montaña

Las Laderas de Montaña (clave en mapa: LMT), ocupan una superficie de 6% del total del área de estudio y principalmente se localizan entre las cotas de 2400 a 2600 msnm (59% de su superficie), mientras que la morfología es poco prominente (7 a 15° de inclinación), en el 42% de su área y con una energía del relieve alta (>30) en el 45% de su superficie. La exposición de laderas (91 a 315°) en el 78% de su área favorece a la insolación.

Los Domos (clave en mapa: DVT), representan una mínima parte dentro del área bajo estudio, ya que solo cubren el 2% de esta superficie, localizándose entre las cotas de 2400 a 2600 msnm (49% de su área), mientras que la morfología del terreno es moderadamente prominente, ya que las pendientes oscilan entre 7 a 15° de inclinación y con una energía del relieve alta (>30 m) en el 49% de su superficie. La orientación de las laderas es de 91 a 315°, este gradiente favorece a área de insolación en el 75% de su área.

b) Piedemonte

El piedemonte de la Sierra de Tepotzotlán es un área muy pequeña en comparación con el resto del área de estudio, ya que solo cuenta con el 2% de ocupación de esta. La morfología del piedemonte es la de un Lomerío Simétrico Bajo (clave en mapa: LSBT), el cual se localiza entre las cotas de 2200 y 2400 msnm (59% de su superficie), mientras que la morfología es suave

(4 a 6° de inclinación) en el 53% de su área y una energía del relieve de baja profundidad (6 a 10 m) en el 54% de su superficie. La exposición de laderas tienen una tendencia al predominio de 91 a 315°, este gradiente favorece a la solana en el 84% de su superficie.

1.3.3 Planicie Aluvial

Otra unidad que se identificó en el área de estudio es la Planicie Aluvial (clave en mapa: PA). De acuerdo con Lugo (1989), la PA se caracteriza por ser una superficie amplia a manera de terraza acumulativa fluvial, o conjunto de terraza y llanuras de inundación; es decir, en esta área yacen los depósitos de sedimentos que son arrastrados por los ríos desde las partes más altas de las sierras. La planicie aluvial tiene como límites en el N a la Sierra de Tepetzotlán, al NW, W y SW con la Sierra de Monte Alto y al S y SE colinda con la Ciudad de Cuautitlán Izcalli. La PA cubre solo el 7% del total del área de estudio y se localiza principalmente entre las cotas de 2200 a 2400 msnm (97% de su total), mientras que la morfología del terreno es suave, ya que sus pendientes oscilan entre 0 a 3° de inclinación (91% de su superficie) y con una energía del relieve baja (< 5m) en el 80% de su área. La orientación de las laderas (91 a 315°) favorece a la solana en el 53% de su superficie.

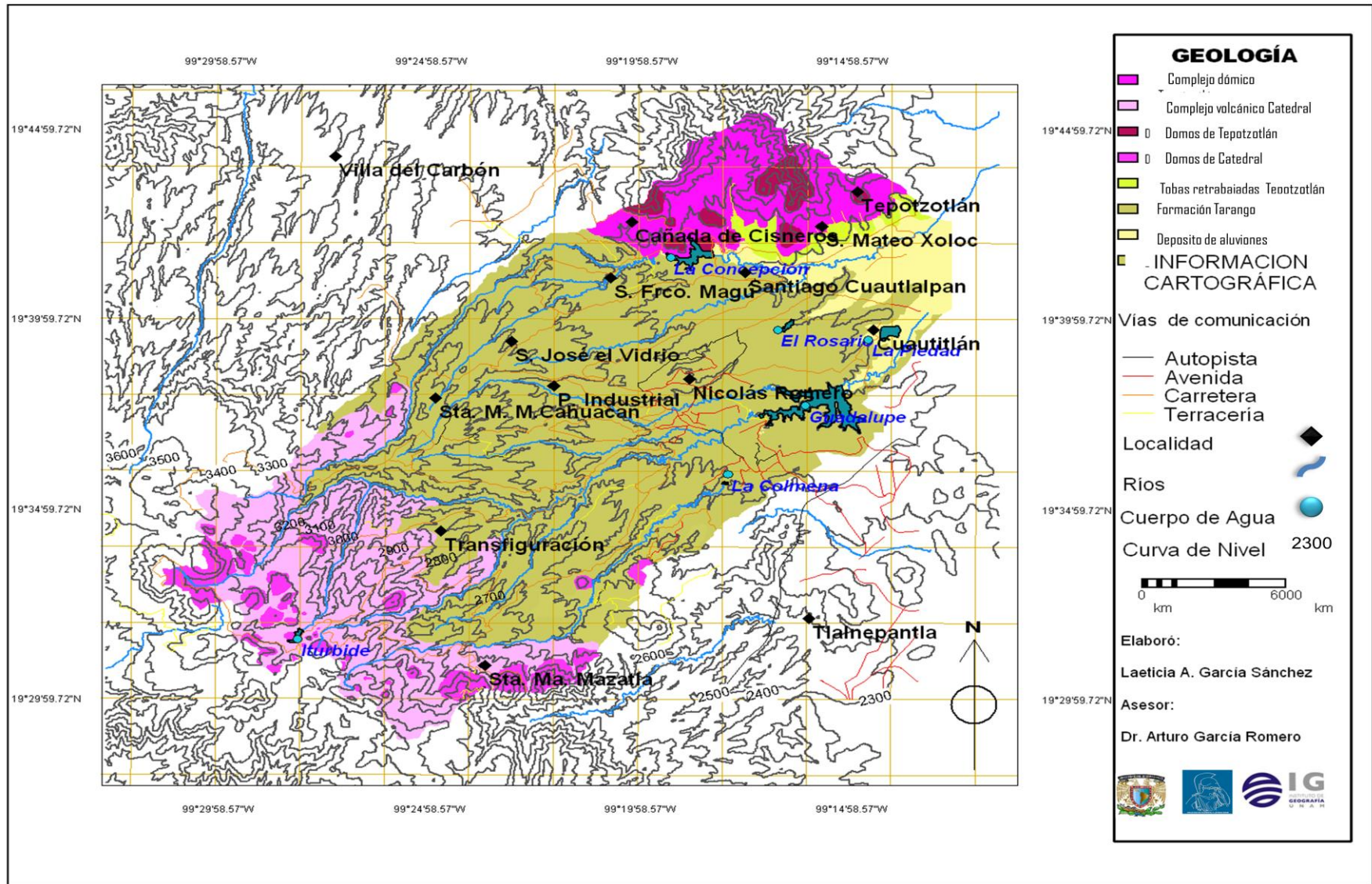


Figura 8. Mapa Geológico de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

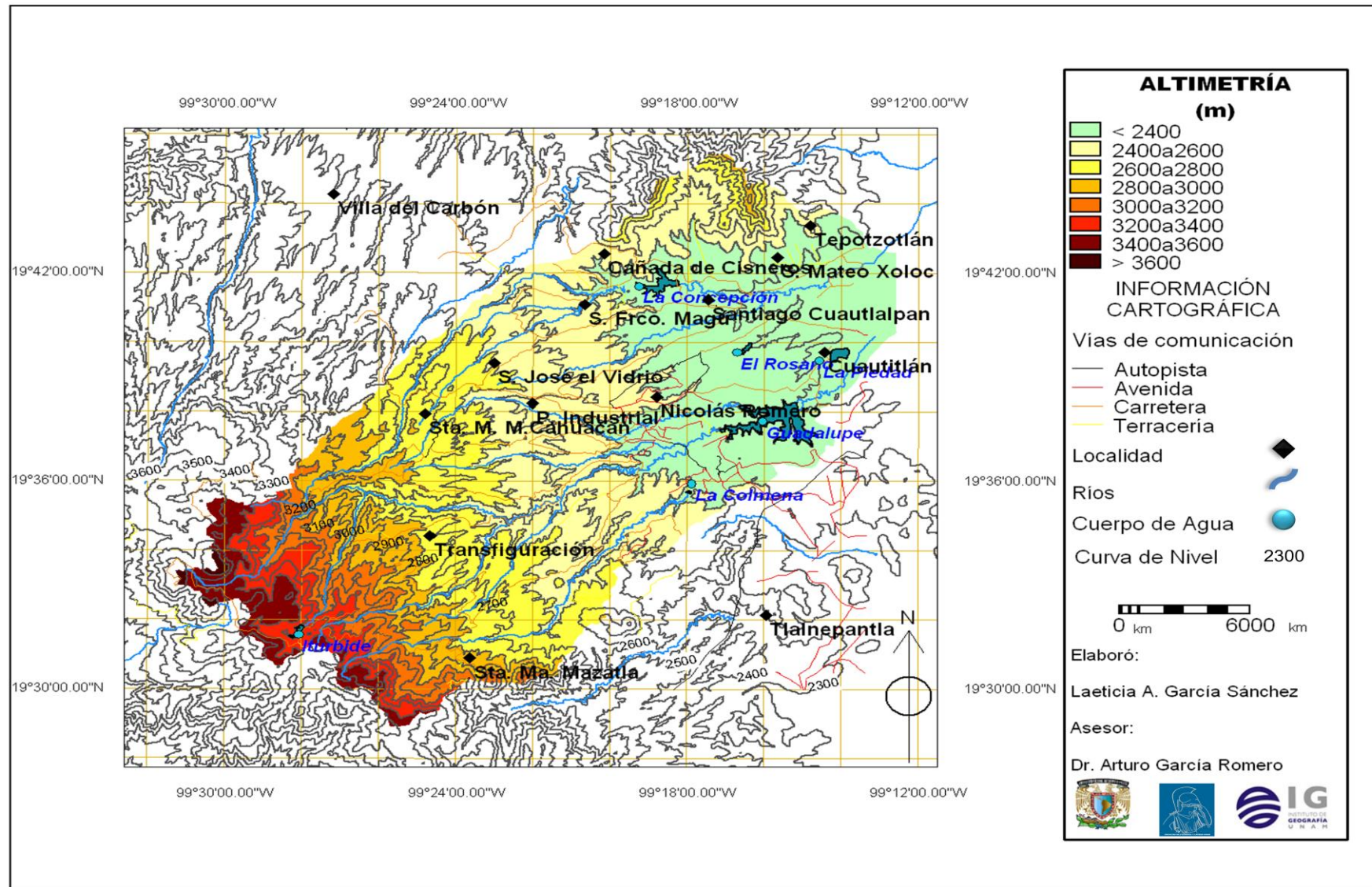


Figura 9. Mapa Altimétrico de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

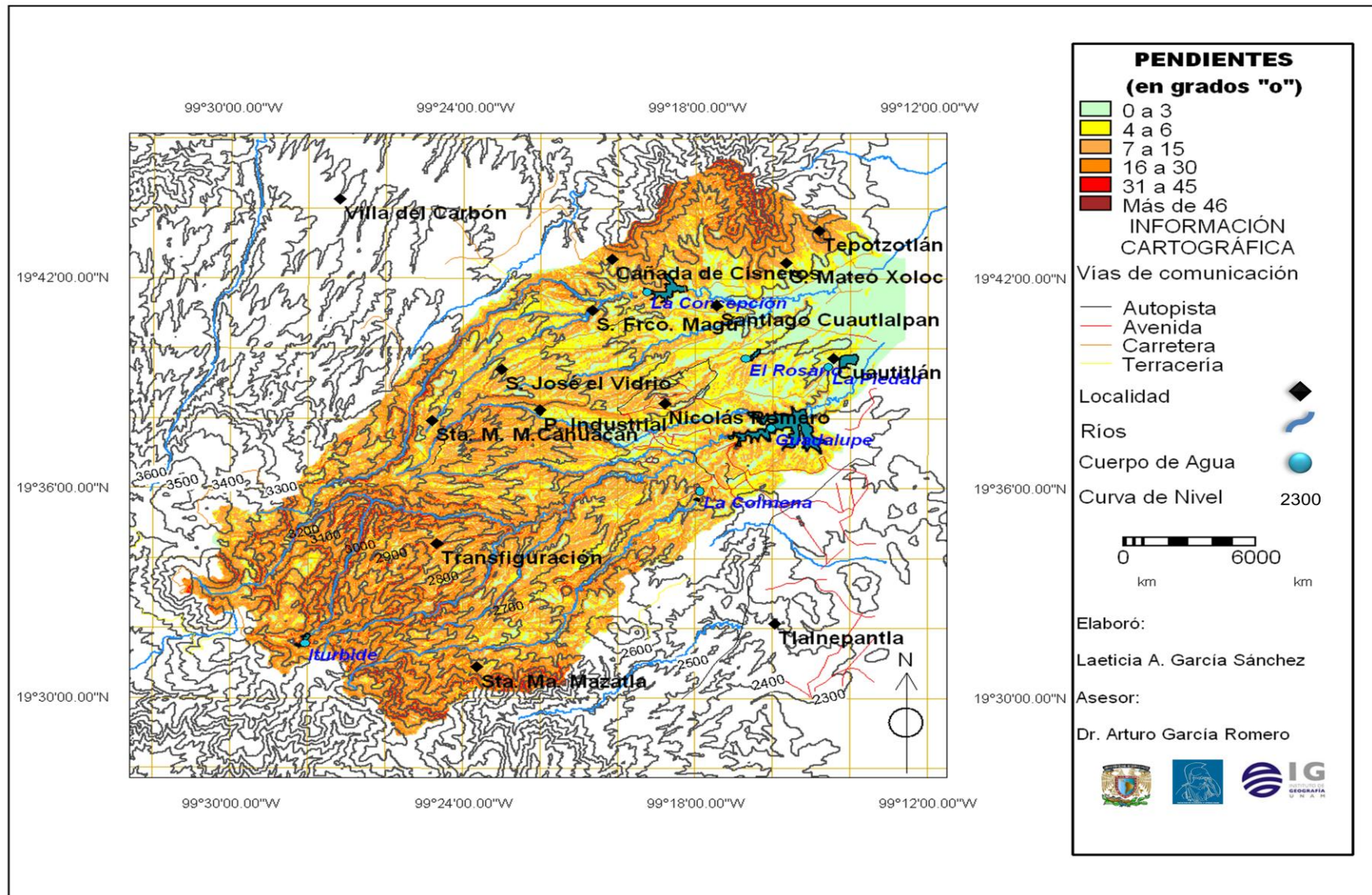


Figura 10. Mapa de Pendientes de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

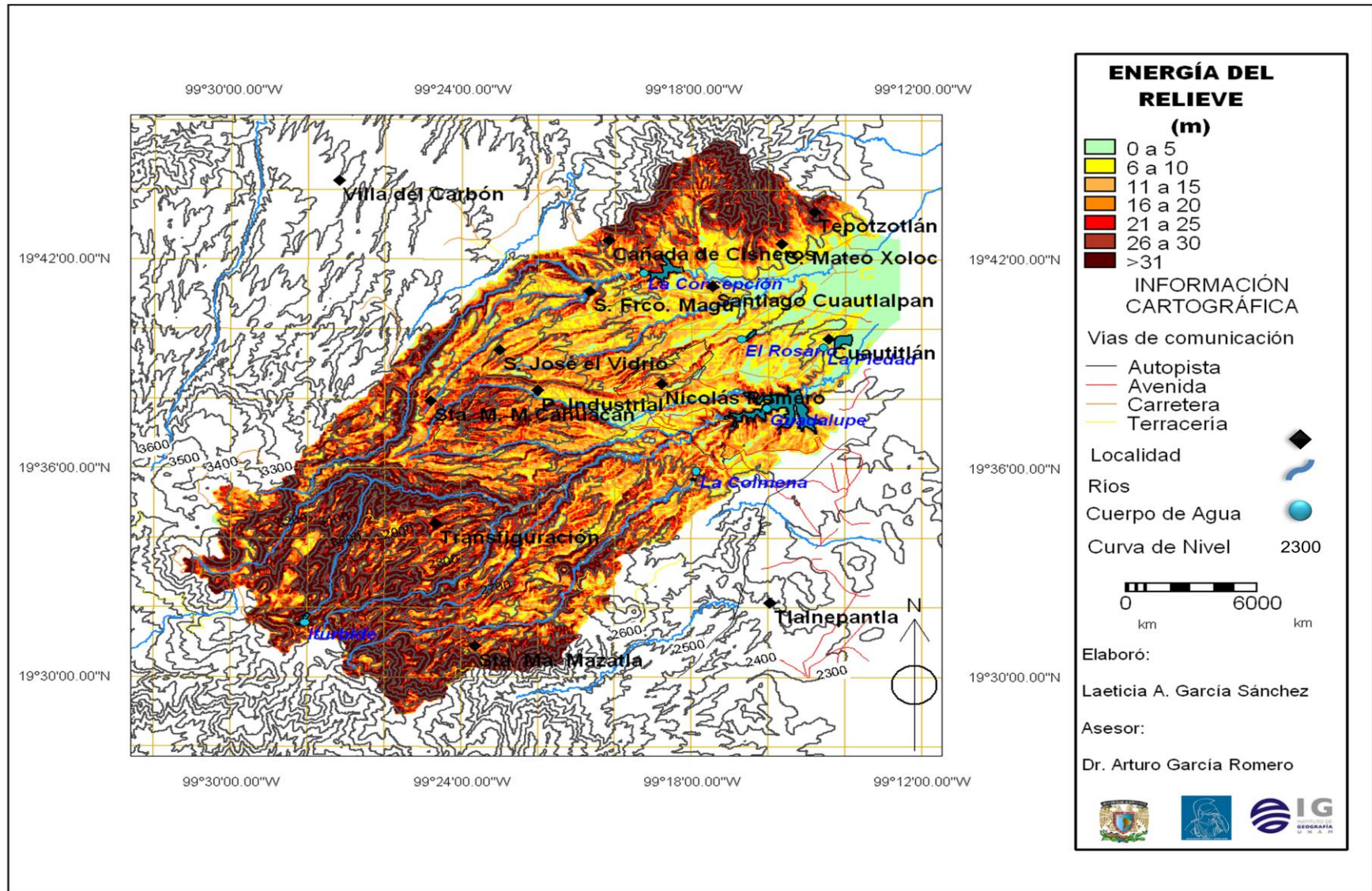


Figura 11. Mapa de Energía del Relieve de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

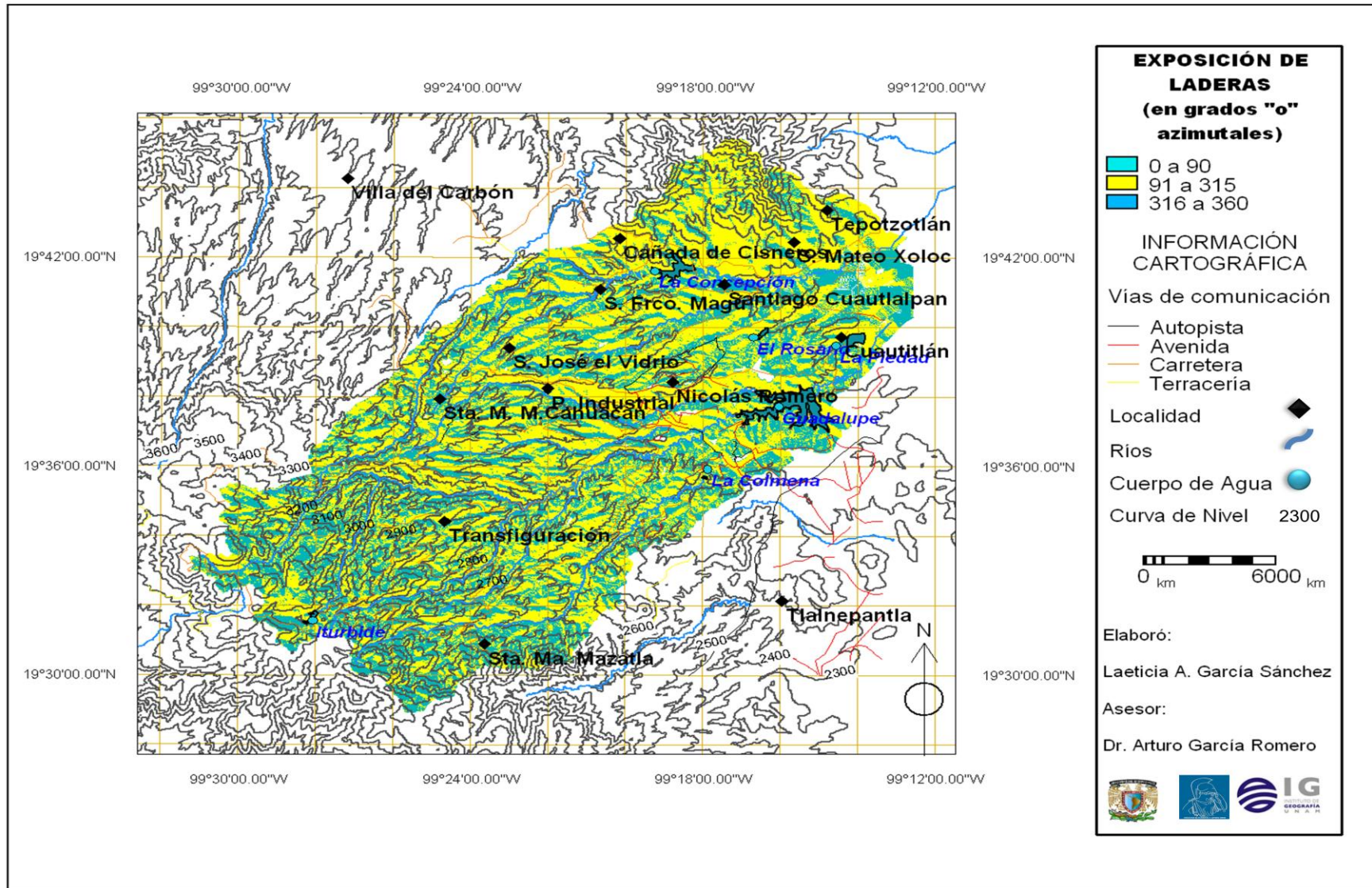


Figura 12. Mapa de Exposición de Laderas de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

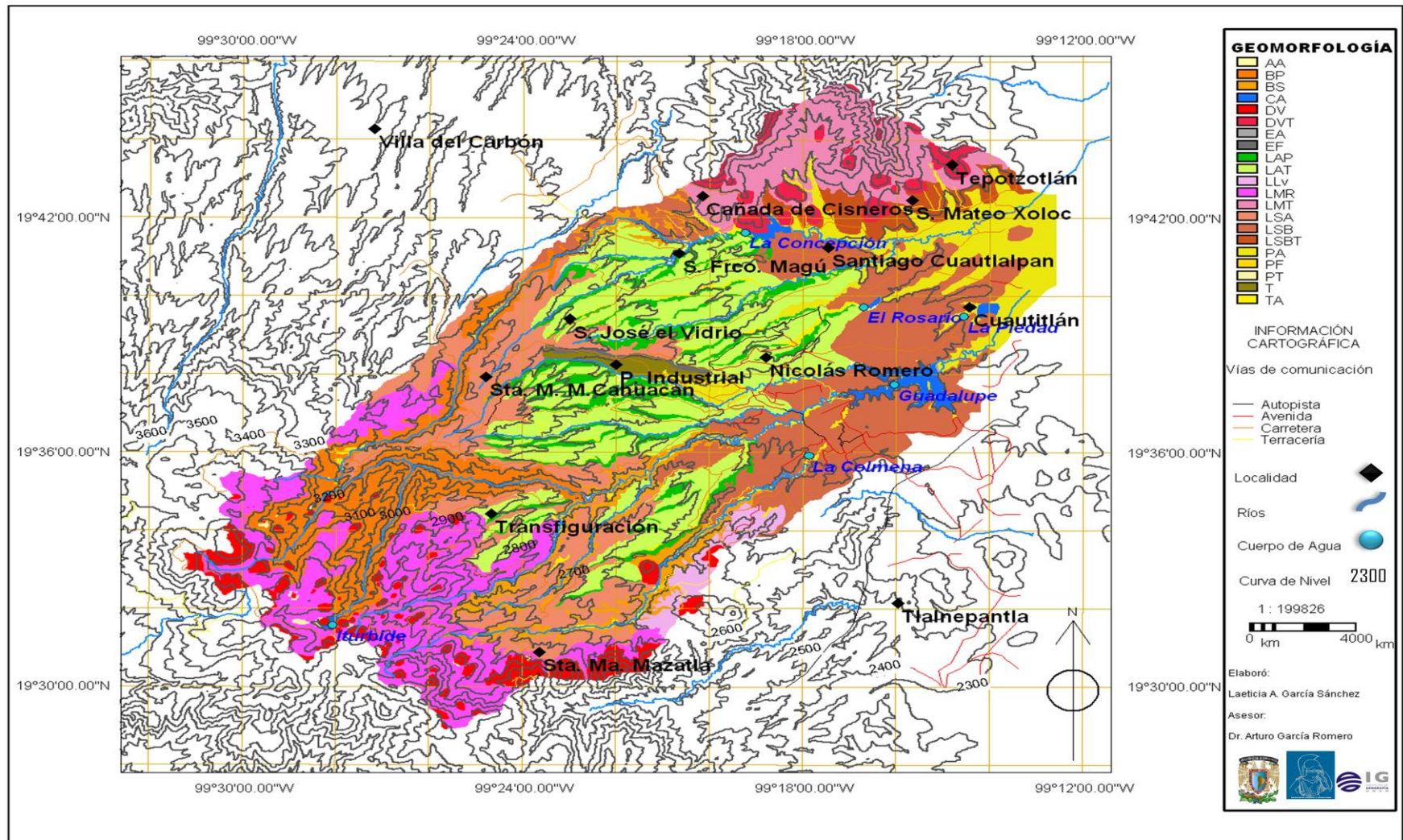


Figura 13. Mapa Geomorfológico de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

2 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

De acuerdo con (Aguiló, *et al.*, 1995) la importancia de la vegetación en el sistema ambiental radica en que es buena asimiladora de la energía solar y, por lo tanto, es productora primaria de las energías y materias que son requeridas por otros de los elementos del sistema para existir y desarrollarse. Además, la vegetación ha sido señalada como factor que estabiliza las laderas, controla la erosión, influye en la cantidad y calidad del agua, mantiene microclimas locales, filtra la atmósfera, atenúa el ruido y es el hábitat de las especies, entre otras funciones.

El uso del suelo son todas aquellas diferentes formas de ocupación y aprovechamiento del suelo por parte de las sociedades humanas, incluyendo los aprovechamientos del terreno, su suelo y vegetación. Dada su notable influencia en la explicación de los efectos de las actividades del ser humano en los diferentes ecosistemas, así como para entender los desequilibrios y los acelerados procesos de degradación que aquejan a muchos tipos de ecosistemas (Galicia, *et al.* 2007), el tema ha sido ampliamente utilizado y debatido desde diversos enfoques del análisis ambiental, social y económico.

De acuerdo con Galicia, *et al.* (2007) las actividades humanas tienen distintos efectos en la degradación ambiental, debido a que los usos de suelo son diversos y varían en intensidad, duración y extensión. Por lo tanto, la identificación y análisis de los cambios de uso del suelo como factor ecológico y geográfico son fundamentales para entender cómo, dónde y qué tanto se está perdiendo los recursos naturales.

En la Cuenca alta del Río Cuautitlán el uso del suelo se ha sido modificado, históricamente, por causas y ritmos diferenciales. En la Época Prehispánica, los pueblos otomíes ocupaban este territorio como Centro Ceremonial de ritos y cultos; en la Colonia, el uso se enfocó en la explotación agrícola y forestal; posteriormente, en el México Independiente se introduce la industria y durante el Porfiriato, la industria se expande y con ello las pequeñas zonas urbanas y rurales-agropecuarias; llegando así a la Época Moderna donde el uso del suelo es de diversos tipos: turístico, forestal, agrícola y pecuario (Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Nicolás Romero, Estado de México, 2005; Plan de

Municipal de Desarrollo Urbano de Villa del Carbón, Estado de México, 2005 – 2010; Plan de Desarrollo Municipal de Tepotzotlán, Estado de México, 2005).

La interpretación de las ortofotos digitales (1.5 m/píxel) permitió reconocer la existencia dentro de la cuenca de 21 categorías de cubiertas del suelo, asociada cada una de ellas a una combinación específica de vegetación y uso del suelo. Dichas categorías se distribuyen en un total de 840 polígonos, siendo el bosque cerrado de encino la categoría más frecuente al incluir 210 polígonos, seguida del pastizal inducido con 142, el cultivo de temporal con 104 y el suelo desnudo con 73.

Sin embargo, al considerar -no la cantidad de fragmentos, sino- la superficie de distribución de las categorías de uso del suelo y vegetación, se tiene que la categoría con mayor densidad es el cultivo de temporal (85.5 km² del total del área de estudio), seguida del cultivo de temporal con asentamientos humanos dispersos (66 km²), el bosque de encinos (53 km²) y el bosque de coníferas (42 km²) (Tabla 7).

Tabla 7. Cubiertas del suelo de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

Cubierta del suelo	Clave en mapa	No. de polígonos	Área (km ²)	(%)
Cultivos de temporal	CT	104	85.5	17.6
Cultivo de temporal con asentamiento humano disperso	CTAHD	24	65.8	13.6
Bosque de encinos	BE	61	52.6	10.9
Bosque de coníferas	BC	8	42.3	8.7
Bosque de coníferas y latifoliadas	BCL	2	38.8	8.0
Pastizal inducido	PI	142	38.7	8.0
Asentamiento humano concentrado	AHC	10	29.5	6.1
Chaparral con pastos	CHP	3	23.4	4.8
Bosque cerrado de encinos	BCE	210	23.2	4.8

Cubierta del suelo	Clave en mapa	No. de polígonos	Área (km ²)	(%)
Bosque abierto de encino	BAE	57	16.9	3.5
Bosque de pino	BP	2	12.5	2.6
Cultivos de riego	CR	4	10.9	2.2
Bosque de encinos con chaparral	BECH	1	8.0	1.7
Suelo desnudo	SD	73	7.7	1.6
Asentamiento humano disperso	AHD	15	7.4	1.5
Cultivo de humedal	CH	61	6.6	1.4
Pastizal de montaña	PM	32	6.0	1.2
Cuerpo de agua	CA	6	4.7	1.0
Bosque de abeto	BA	11	2.7	0.6
Cantera	C	5	0.8	0.2
Cultivos de pastizal	CP	9	0.6	0.1
TOTAL		840	484.6	100.0

Con fines de interpretación y síntesis de la información, las 21 categorías fueron clasificadas en 5 grupos principales (Figura 14) de uso del suelo y vegetación (Vegetación madura con uso forestal disperso, Vegetación madura con uso pecuario disperso, Vegetación secundaria con uso forestal intensivo, Vegetación cultivada con uso intensivo y Sin vegetación con uso intensivo), esto con base en el origen y condición natural o cultural, el estado de desarrollo de la vegetación y la permanencia de la perturbación asociada al uso del suelo.

CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS DEL SUELO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CUAUTITLÁN.

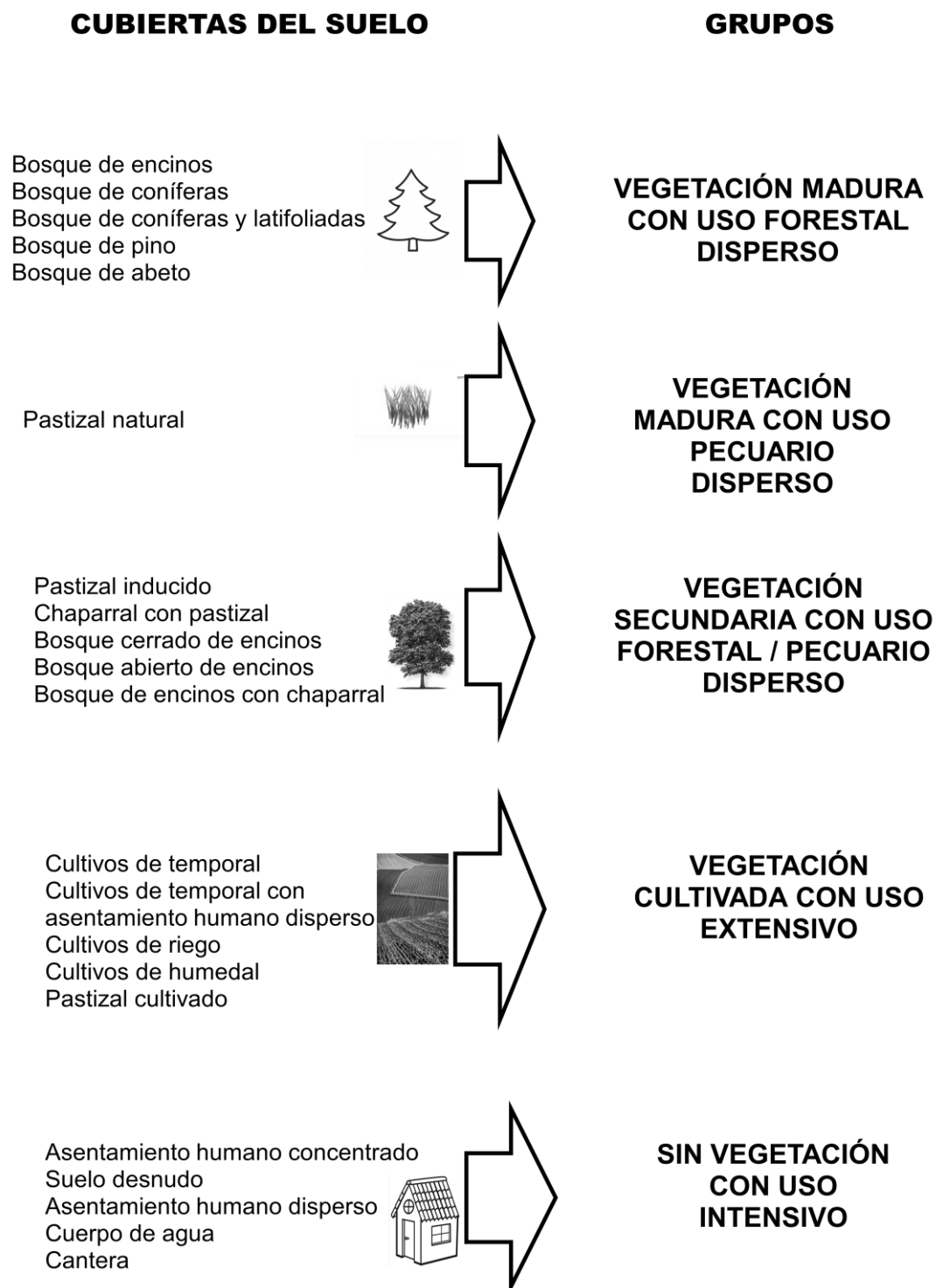


Figura 14. Clasificación de las cubiertas del suelo de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán.

2.1 Vegetación madura con uso forestal disperso

Este grupo de usos del suelo y vegetación se distribuye en una extensa superficie de 149 km² (31% del área de estudio), de los cuales, 53 km² corresponden al Bosque de encino, seguido del Bosque de coníferas (42 km²), el Bosque de coníferas y latifoliadas (39 km²), el Bosque de pino (12.5 km²) y el Bosque de abeto (3 km²), cuya distribución se restringe al interior de los principales barrancos y domos del sector de montaña de la sierra de Monte Alto (Tabla 8) y (Figura 15).

Tabla 8. Vegetación madura con uso forestal disperso.

Cubierta del suelo	Clave en mapa	No. de poligonos	Área (km ²)	(%)
Bosque de encinos	BE	61	52.6	10.9
Bosque de coníferas	BC	8	42.3	8.7
Bosque de coníferas y latifoliadas	BCL	2	38.8	8.0
Bosque de pino	BP	2	12.5	2.6
Bosque de abeto	BA	11	2.7	0.6
TOTAL		84	148.9	30.7

Bosque de encinos

Esta formación vegetal es característica de las zonas montañosas de México, y constituyen la mayor parte de la cubierta natural de áreas de clima templado (Rzedowski, 1994), abarcando dentro del territorio nacional un área equivalente al 5.5% del total. En el área de estudio, los encinares representan el 11% de la superficie total, aunque la mayor parte se distribuye en los lomeríos simétricos altos (2400 a 3200 msnm), donde llegan a presentar tallas máximas de 25 m.

De acuerdo con Rzedowski (1994) y García-Romero (1998) la diversidad de *Quercus* en el área de estudio es alta, destacando las siguientes especies: *Q. resinosa*, *Q. magnoliifolia*, *Q. conspersa*, *Q. peduncularis*, *Q. obtusata*, *Q.*

crassipes, *Q. rugosa*, *Q. acutifolia*, *Q. candicans*, *Q. scytophylla*, *Q. crassifolia*, *Q. laeta*, *Q. desertícola*, *Q. greggii*, *Q. mexicana*, *Q. laurina*, *Q. lanceolata*, *Q. castanea*, *Q. centralis*, *Q. texcocana* y *Q. microphylla*.

El uso que se les da a los encinares es forestal disperso, ya que ocupan áreas favorables para el desarrollo de la agricultura y cubren regiones de clima óptimo para la población humana (Flores, *et al.*, 1971). Su aprovechamiento es a escala local, principalmente para la extracción de suelo y madera para generación de combustible, y en menor medida a escala comercial e industrial. La explotación local se da principalmente en los alrededores de los pueblos: El Puerto Magú, San José el Vidrio, Santa María Magdalena Cahuacán, Progreso Industrial y Transfiguración. En estos sitios, la madera del encinar se emplea para la construcción, fabricación de muebles, postes y, en mayor medida, como combustible crudo o transformado en carbón vegetal.

Bosque de coníferas

Los bosques de coníferas son característicos de las zonas de clima templado, presentan una amplia diversidad florística y ecológica (Rzedowski, 1994), abarcando cerca de 15% del territorio nacional (Flores, *et al.*, 1971). Dentro del área de estudio las coníferas ocupan un área de 9% de total, localizándose en las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto, entre las cotas 2800 y 3600 msnm y de manera esporádica en barrancos -en torno a los 2600 msnm- donde la inaccesibilidad favorece la distribución de los bosques mejor conservados, con tallas que sobrepasan los 30 m de altura. De acuerdo con García-Romero (1998) la diversidad de coníferas es baja en el contexto de la sierra, destacando las siguientes especies: *Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. patula* y *Abies religiosa*.

El uso del suelo en este tipo de bosques es forestal disperso, aunque en algunos sectores de la cuenca se ha confirmado la extracción intensa de madera que es destinada al comercio y la industria, por ejemplo, para la elaboración de muebles en los pueblos de Transfiguración, Llano Tecuane y Monte Alto.

Bosque de coníferas y latifoliadas

La similitud de las exigencias ecológicas entre pinos y encinos genera que estos tipos de árboles ocupen nichos muy similares, por lo cual, con frecuencia se desarrollan en comunidades mixtas, cuya distribución espacial forma intrincados mosaicos y complejas interrelaciones sucesionales, dependiendo de la dominancia de unos u otros (Rzedowski, 1994). En el área de estudio los bosques de coníferas y latifoliadas ocupan el 8% del total y se distribuyen en algunas laderas y domos volcánicos de la base de la montaña, así como en los lomeríos simétricos altos del piedemonte y en los principales barrancos de la cuenca, entre las cotas 2600 y 3200 msnm. De acuerdo con García-Romero (1998), la diversidad de coníferas y latifoliadas en los bosques mixtos es media, destacando las siguientes especies: *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. patula*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina*, *Q. rugosa*, *Q. lanceolata*, *Q. mexicana*, *Q. castanea*, *Q. centralis* y *Q. laeta*.

El uso de estos bosques es forestal disperso y su aprovechamiento se destina a la industria para producir combustible, principalmente en las localidades El Quinto Barrio, Santa María Mazatla, Santa María Magdalena Cahuacán y Espíritu Santo.

Bosque de pino

Los pinares son comunidades vegetales características de suelos ácidos y no debe excluirse la posibilidad de que la afinidad de los pinares por substratos de naturaleza ígnea obedezca, al menos en parte, a causas de tipo histórico, pues cabe suponer que la evolución del género de pinos estuvo ligada cronológicamente con épocas de intensa actividad volcánica (Rzedowski, 1994).

En la actualidad los bosques de pino abarcan el 5% del territorio nacional, sin embargo, este valor posiblemente era dos o tres veces mayor en tiempos anteriores al periodo de mayor expansión demográfica que inició a mediados del siglo pasado, debido a los rasgos favorables de su clima, tanto para la vida del ser humano como para la prosperidad de la agricultura y de la ganadería (Flores, *et al.*, 1971). En el área de estudio los bosques de pinos cubren el 8%

del total y se distribuyen en las laderas de montaña y domos volcánicos de la Sierra de Monte Alto entre las cotas 3200 y 3800 msnm. Los pinares forman comunidades abiertas con tallas que sobrepasan de los 25 m. De acuerdo con García-Romero (1998), la diversidad de los bosques de pinos es baja, destacando las siguientes especies: *Pinus hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. patula*.

El uso de estos bosques es forestal disperso, aunque en algunos sectores de la cuenca los pinares son un recurso de primera importancia por la demanda de su madera, por la facilidad de su explotación, por la obtención de rajadas de madera impregnadas de resina (ocoteo) que se emplea como combustible a escala doméstica. Además, tienen un uso forestal no maderable como el consumo de las semillas de algunas especies, principalmente en las localidades Llano Doña Juana, Cerro Catedral, Los Puercos, Las Palomas y Monte Alto.

Bosque de abeto

En México, esta comunidad vegetal ocupaba a mitad del siglo pasado, 0.5% de la superficie del país (Leopold, 1950), en tanto que datos más recientes proponen 0.16% (Flotes, *et al*, 1971). En el área de estudio los bosques de abeto cubren el 1% del total y se distribuyen sobre las laderas de montaña, domos volcánicos y en barrancos de la Sierra de Monte Alto, entre las cotas 3200 y 3600 msnm. Los bosques de abeto están formados por comunidades monoespecíficas de *Abies religiosa*, de estructura alta (> 30 m) y cerrada.

El uso de estos bosques es forestal disperso, aunque en algunos sectores de la cuenca la madera del oyamel es utilizada en la industria de la celulosa y el papel, y en menor medida como combustible de uso doméstico, principalmente en las localidades Las Canoas, Monte Alto, Las Palomas y Llano las Mesas. Cabe mencionar que durante muchos años las puntas de los árboles jóvenes del abeto se comercializaban como “árboles de navidad”, pero en la actualidad está prohibido este tipo de explotación. La belleza de los bosques ha hecho que éstos sean de un gran atractivo para los excursionistas y que, en general,

se utilicen como sitios recreativos para los habitantes locales y ciudadanos, como sucede en el Cerro de Xitox y en el Llano las Mesas.

2.2 Vegetación madura con uso pecuario disperso

Este grupo de usos del suelo y vegetación se distribuye en una reducida superficie de 6 km² (1% del total del área de estudio), el cual corresponde al pastizal natural, cuya distribución se restringe a las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto y de la Sierra de Tepotzotlán. (Tabla 9) y (Figura 16).

Tabla 9. Vegetación madura con uso pecuario disperso.

Cubierta del suelo	Clave en mapa	No. de polígonos	Área (km ²)	(%)
Pastizal natural	PM	32	6.0	1.2
TOTAL		32	6	1.2

Pastizal natural

Los pastizales forman comunidades vegetales dominadas por gramíneas (Rzedowski, 1994). De acuerdo con los mapas de Cruz (1969) y Flores, *et al.* (1971) se estima que 12% de la superficie de México tiene presencia de pastizales. En el área de estudio el pastizal ocupa el 1% del total y se distribuye en las laderas de montaña de las sierras de Tepotzotlán (2400 a 3000 msnm) y Monte Alto (2800 a 3200 msnm). Las comunidades son de estructura cerrada y tallas de hasta 60 cm, entre las especies más representativas están: *Aristida* y *Bouteloua*.

El uso de estos pastizales es pecuario disperso, destinado a la producción de ganado bovino y equino, principalmente en las localidades La Estancia y El Tejocote de la sierra de Tepotzotlán, y en el cerro Los Puercos, Las Canoas, Los Vaqueros, Las Palomas y Los Capulines de la sierra de Monte Alto.

2.3 Vegetación secundaria con uso forestal / pecuario extensivo

Este grupo de uso del suelo y vegetación se distribuye principalmente en el piedemonte de la Sierra de Monte Alto y en las laderas de montaña y piedemonte de la Sierra de Tepetzotlán, en una extensa superficie de 110 km² (23% del área de estudio), de los cuales 39 km² corresponden al pastizal inducido, seguido por el chaparral con pastos (23 km²), el bosque cerrado de encinos (23 km²), el bosque abierto de encinos (17 km²) y el bosque de encinos con chaparral (8 km²) (Tabla 10) y (Figura 17). No obstante la diversidad de formaciones vegetales que se incluyen en este grupo, todos ellos comparten un origen normalmente asociados a la regeneración de espacios perturbados.

Tabla 10. Vegetación secundaria con uso forestal / pecuario extensivo.

Cubierta del suelo	Clave en mapa	No. de polígonos	Área (km ²)	(%)
Pastizal inducido	PI	142	38.7	8.0
Chaparral con pastizal	CHP	3	23.4	4.8
Bosque cerrado de encinos	BCE	210	23.2	4.8
Bosque abierto de encino	BAE	57	16.9	3.5
Bosque de encinos con chaparral	BECH	1	8.0	1.7
TOTAL		413	110.3	22.8

Pastizal inducido

Esta formación vegetal se encuentra dominada por gramíneas y suele presentar individuos arbustivos y arbóreos dispersos, cubre el sustrato casi en su totalidad, así como una disposición horizontal cerrada. Los pastizales inducidos son resultado de la perturbación que produce el ser humano, al deforestar áreas de bosque e introducir la agricultura. Cuando se agotan los suelos fértiles para el cultivo hay un abandono de parcelas en las cuales crecen pastos; sin embargo, los pastos no solo se restringen a terrenos de cultivo abandonados, sino que también ocurren en espacios que han sido dedicados a

la ganadería y/o a áreas afectadas por incendios. El pastizal inducido ocupa el 8% del total del área de estudio y se distribuye por toda la Cuenca alta del Río Cuautitlán, entre 2200 y 3000 msnm, con tallas de 15 a 30 cm. Por su parte, el uso del suelo que se le da al pastizal inducido es pecuario de muy baja intensidad o bien, permanecen como áreas un uso específico.

Chaparral con pastizal

Las comunidades vegetales del chaparral se caracterizan por arbustos de no más de 2 m de altura y gramíneas con tallas que no rebasan los 30 cm. En el área de estudio el chaparral con pastos ocupan una superficie de 5% del total, distribuyéndose por la ladera simétrica baja, la ladera de montaña y por los domos volcánicos de Tepetzotlán, entre las cotas 2200 y 3000 msnm.

El uso que se le da a este tipo de vegetación es forestal extensivo y su aprovechamiento es para fines recreativos, principalmente en las localidades La Estancia, Cañada de Cisneros, El Jagüey, El Puerto de Buenos Aires, Barrio Santa Cruz, San Mateo Xoloc y Tepetzotlán. Cabe mencionar que en algunos sectores de la Sierra de Tepetzotlán tiene un uso pecuario para la cría de ganado caprino y ovino de baja intensidad.

Bosque cerrado de encinos

En el área de estudio, los encinares son el tipo de vegetación forestal más afectado por la tala, a tan alto nivel que en la actualidad su área de distribución ocupa sólo el 5% del total, estando las comunidades de cobertura cerrada confinadas en el interior de algunas geoformas de difícil acceso, como barrancos y escarpes, entre las cotas 2200 y 3000 msnm.

Las comunidades del encinar cerrado se caracterizan por una alta densidad de individuos arbóreos, son de mediana talla (20 m) y estructura vertical compleja, que incluye a los tres estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo; sin embargo, las condiciones de penumbra son tales que los estratos inferiores se encuentran poco desarrollados (CONABIO, 2008). Son florísticamente muy diversos, aunque con presencia de sólo dos a tres especies por comunidad, siendo

algunas de las más frecuentes *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. laeta*, *Q. laurina*, *Q. lanceolata*, *Q. mexicana*, *Q. castanea* y *Q. centralis*.

El aprovechamiento de estos bosques es de tipo forestal extensivo y sólo de manera local se observa su uso como espacios de recreación (turismo y ecoturismo). En algunos sectores de la cuenca (sobre todo en el interior de los barrancos más próximos a las áreas urbanas) los bosques cerrados de encinos son utilizados como basureros. No obstante dicha situación, los encinares son formaciones que toleran el disturbio (Sánchez, 1984), por lo que de alguna u otra forma se han adaptado a estas condiciones.

Bosque abierto de encinos

Estos bosques se caracterizan por árboles de encino dispersos y de baja talla (< 15 m), aunque florísticamente muy parecidos a otras formaciones de encinos, mientras que en el estrato herbáceo alcanza 60 cm y en el estrato arbustivo 1.5 m. Este carácter abierto se relaciona con la apertura de claros para la introducción de las actividades agropecuarias. En el área de estudio ocupa el 3.5% del total y se distribuye principalmente en el piedemonte de la Sierra de Monte Alto entre las cotas 2200 y 2800 msnm.

El uso de estos bosques es forestal extensivo, con un aprovechamiento principalmente en la recolección de hiervas y bellotas, en la comercialización de suelo de hoja, en el corte de leña, en la producción de carbón vegetal y/o fuego domestico, especialmente en las localidades Cañadas de Cisneros, Santiago Cuauhtlalpan, San José el Vidrio, Progreso Industrial y San Miguel Hila. Cabe mencionar que en algunos sectores de la cuenca el uso es pecuario.

Bosque de encinos con chaparral

Esta formación vegetal está compuesta por encinares densos y de baja talla (<7m) compuestos de *Quercus rugosa*, *Q. castanea* y *Q. mexicana*, entre otras, cuya distribución se restringe al área de la Sierra de Tepetzotlán. En las laderas bajas del complejo volcánico, le perturbación del encinar ha favorecido

la introducción y expansión de extensos fragmentos de chaparral, el cual se caracteriza por árboles poco desarrollados, escasa vegetación y plantas pequeñas de vida corta con raíces profundas y semillas resistentes a altas temperaturas (INEGI, 2005). En el área de estudio estos bosques ocupan el 2% del total y se distribuyen en las laderas de montaña de la Sierra de Tepetzotlán entre las cotas 2200 y 3000 msnm. De acuerdo con INEGI (1981), entre las especies más abundantes están *Baccharis sp*, *Brickellia veronicaefolia*, *Acacia sp*, *Bouteloua sp* y *Aristida sp*.

El uso que se les da a estos bosques es forestal extensivo para la recolección de leña y pecuario para la cría de ganado ovino y caprino, así como espacios para la recreación, principalmente en las localidades San Mateo Xoloc, Barrio Santa Cruz, El Puerto de Buenos Aires, El Jagüey, Cañada de Cisneros, La Estancia y la Cabecera Municipal de Tepetzotlán.

2.4 Vegetación cultivada con uso extensivo

Este grupo de usos de suelo y vegetación se distribuye principalmente en el piedemonte de las sierras de Monte Alto y Tepetzotlán, sobre una extensa superficie de 169 km² (35% del área de estudio), de los cuales 85.5 km² corresponden al cultivo de temporal, seguido por una variante del mismo que presenta asentamientos humanos dispersos (66 km²), el cultivo de riego (11 km²), el cultivo de humedal (7 km²) y el pastizal cultivado (1 km²) (Tabla 11) y (Figura 18).

Tabla 11. Vegetación cultivada con uso extensivo.

Cubierta del suelo	Clave en mapa	No. de polígonos	Área (km ²)	(%)
Cultivos de temporal	CT	104	85.5	17.6
Cultivo de temporal con asentamiento humano disperso	CTAHD	24	65.8	13.6
Cultivos de riego	CR	4	10.9	2.2
Cultivo de humedal	CH	61	6.6	1.4

Cubierta del suelo	Clave en mapa	No. de polígonos	Área (km ²)	(%)
Pastizal cultivado	CP	9	0.6	0.1
TOTAL		202	169.3	34.9

Cultivos de temporal

En el área de estudio el régimen de lluvias es de verano, permitiendo el cultivo de temporal en una sola estación del año (Rzedowski, 1994). En el área de estudio ocupa el 18% del total y se distribuye en las laderas de montaña y piedemonte de las sierras de Monte Alto y Tepetzotlán entre las cotas 2200 y 3000 msnm. Por su parte, el uso del cultivo de temporal es extensivo y está destinado a la producción de maíz y frijol, y en menor medida de avena y trigo, principalmente en las localidades de Nicolás Romero, El Puerto Magú, San José el Vidrio, Santa María Magdalena Cahuacán y Progreso Industrial.

Cultivos de temporal con asentamiento humano disperso

Este tipo de cubierta del suelo se caracteriza por tener espacios dedicados a la agricultura de temporal combinados con viviendas dispersas. En el área de estudio ocupa el 14% del total y se distribuye en el piedemonte de la Sierra de Monte Alto, en las laderas de montaña de la Sierra de Tepetzotlán y en la planicie aluvial, abarcando un amplio rango altitudinal, de 2200 a 3000 msnm. El uso del suelo es habitacional y agrícola de carácter extensivo, destinado al cultivo principalmente maíz y frijol en las localidades Barrio de la Luz, Cañada de Cisneros, El Puerto Magú, San José el Vidrio, Santa María Magdalena Cahuacán, Progreso Industrial, Transfiguración y Santa María Mazatla.

Cultivo de riego

El cultivo de riego ocupa el 2% del área de estudio y se distribuye en las planicies y terrazas aluviales del sector bajo del piedemonte de la Sierra de Monte Alto, así como en la planicie aluvial, entre las cotas 2200 y 2400 msnm.

Cabe mencionar que el abastecimiento de agua para esta actividad proviene de la Presa Concepción, del Río Hondo de Tepetzotlán y del Río Cuautitlán, mediante canales u otros sistemas de riego artificial que permiten la siembra, al menos dos veces al año. Se distinguen dos vertientes en el tipo e intensidad del riego; por una parte, el uso de suelo es extensivo en la producción de maíz y avena destinada al autoconsumo, e intensivo en la producción de alfalfa y avena que son consignadas a la industria en las localidades Santiago Cuauhtlalpan, El Rosario, San José Huilango y Axotlán.

Cultivo de humedal

Este tipo de cultivo ocupa el 1% del total del área de estudio y se distribuye en las terrazas, abanicos y planicies aluviales del piedemonte de la Sierra de Monte Alto, entre las cotas 2200 y 2800 msnm. Esta actividad es de carácter extensivo y está destinada a la producción de avena y maíz en las localidades Cañada de Cisneros, San Francisco Magú, Quinto Barrio, Santa María Magdalena Cahuacán y Cañada de Onofre.

Pastizal cultivado

Este tipo de cubierta del suelo está formada por comunidades de gramíneas cultivadas para la actividad agropecuaria. En el área de estudio ocupa el 0.6% del total y se distribuye en pequeños fragmentos concentrados en el piedemonte de la Sierra de Monte Alto, entre las cotas 2400 a 2800 msnm. El aprovechamiento es extensivo y está destinado a la producción de forraje en las localidades Progreso Industrial, San José el Vidrio y San Miguel Hila.

2.5 Sin vegetación con uso intensivo

Este grupo de uso del suelo incluye 5 tipos de cubiertas, cuyo origen se vincula con el desmonte para el aprovechamiento intensivo del suelo con distintos fines. Se distribuye principalmente en el piedemonte de la Sierra de Monte Alto y en la planicie aluvial, en una superficie de 50 km² (10% del área de estudio), de los cuales 29.5 km² corresponden al área de distribución de los

asentamientos humanos concentrados, seguidos de los suelos desnudos (8 km²), los asentamientos humanos dispersos (7 km²), los cuerpos de agua (5 km²) y las canteras (1 km²) (Tabla 12) y (Figura 19).

Tabla 12. Sin vegetación con uso intensivo.

Cubierta del suelo	Clave en mapa	No. de polígonos	Área (km ²)	(%)
Asentamiento humano concentrado	AHC	10	29.5	6.1
Suelo desnudo	SD	73	7.7	1.6
Asentamiento humano disperso	AHD	15	7.4	1.5
Cuerpo de agua	CA	6	4.7	1.0
Cantera	C	5	0.8	0.2
TOTAL		109	50.0	10.3

Asentamiento humano concentrado

El asentamiento humano concentrado del área de estudio, forma parte del Área Metropolitana de la Ciudad de México. Se distribuye en una superficie reducida (6% del total) del sector bajo de los piedemontes de las sierras de Monte Alto y Tepetzotlán, entre las cotas 2200 y 2600 msnm. El uso del suelo es de carácter intensivo, abarcando actividades industriales, comerciales, habitacionales, educativas, etc., por lo general a mediana y gran escala de explotación. Los Municipios que pertenecen a esta área son: Nicolás Romero, el NW de Cuautitlán Izcalli y una pequeño sector al SE de la Cabecera Municipal de Tepetzotlán.

Suelo desnudo

El suelo desnudo está asociado a la perturbación provocada por las actividades del ser humano, y que se manifiesta en procesos erosivos, principalmente por arroyada laminar y concentrada e incluso el acarabamiento. Esto sugiere que

el origen de los suelos desnudos fue resultado del abandono de espacios abiertos para la agricultura, sobre suelos muy arcillosos (Lugo, 1988). En el área de estudio ocupa el 2% del total y se distribuye en algunos sectores de las laderas asimétricas tendidas (son accesibles para el ser humano) de la Sierra de Monte Alto entre las cotas 2200 y 2800 msnm. Las áreas de suelo desnudo se identificaron en las proximidades de Santiago Cuauhtlalpan, San José el Vidrio, Progreso Industrial, Transfiguración y San Miguel Hila.

Asentamiento humano disperso

El asentamiento humano disperso ocupa el 1.5% del total del área de estudio. Se distribuye en el piedemonte de la Sierra de Monte Alto y en la planicie aluvial, entre las cotas 2200 y 2800 msnm. El uso es intensivo e incluye actividades comerciales, habitacionales y educativas a pequeña escala, en las localidades de San Pablo de los Gallos, Axotlán, Lago de Guadalupe, Barrio Miranda y el Condado de Sayavedra.

Cuerpo de agua

En el área de estudio existen 6 presas hidrográficas distribuidas a lo largo de las principales corrientes fluviales, abarcando en conjunto una superficie equivale al 1% del total. Cuatro de estas presas se localizan en el sector bajo del piedemonte de la Sierra de Monte Alto (Presas El Rosario y La Piedad, al NE de la Cabecera Municipal de Nicolás Romero; Presa Guadalupe, al E de Nicolás Romero y Presa La Colmena, al S de Nicolás Romero) y una quinta se localiza en el sector bajo del piedemonte de la Sierra de Tepetzotlán (Presa La Concepción, al SW de la Cabecera Municipal de Tepetzotlán); todas las cuales se distribuyen entre las cotas 2200 y 2400 msnm. Por otra parte la sexta presa se localiza en las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto (Presa Iturbide), entre las cotas 3200 y 3400 msnm. El uso del suelo es extensivo e intensivo, principalmente destinado al riego de cultivos, consumo habitacional y como espacios de recreación.

Cantera

En el área de estudio se identificaron 5 canteras que en conjunto abarcan una reducida superficie, equivalente al 0.2% del total, esto refleja que dentro de la Cuenca alta del Río Cuautitlán, la explotación de minas al aire libre no es una actividad que represente sustanciosos ingresos económico. Estas canteras se distribuyen en los sectores alto y medio del piedemonte de la Sierra de Monte Alto, entre las cotas 2400 y 2800 msnm. El uso del suelo es intensivo y su aprovechamiento es para la extracción de líticos (arenas y gravas) destinados a la construcción en las localidades Barrio el Esclavo, Barrio Miranda, San Miguel Tecpan, Tlazala de Fabela y Apaxco.

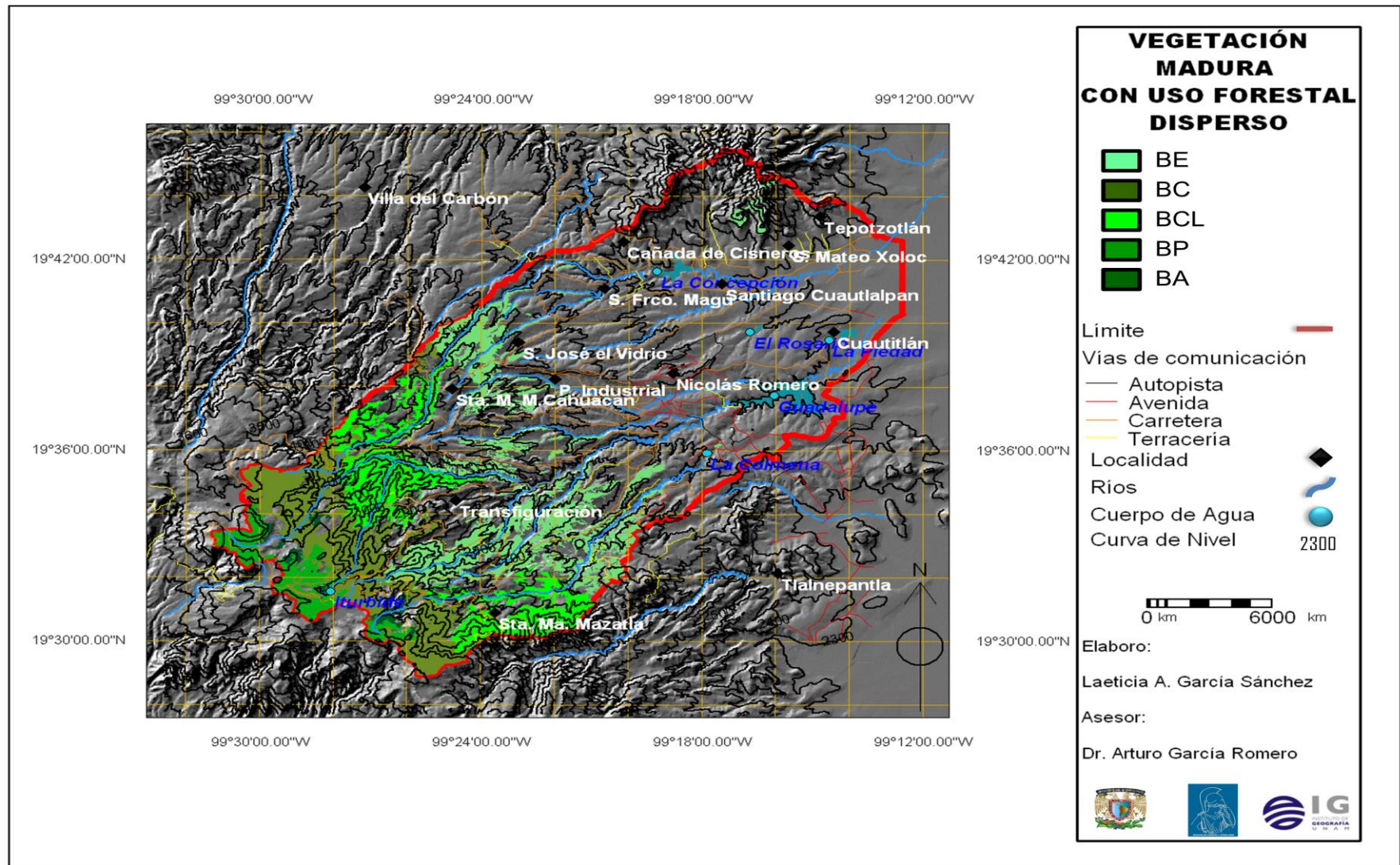


Figura 15. Mapa de la vegetación madura con uso forestal disperso de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

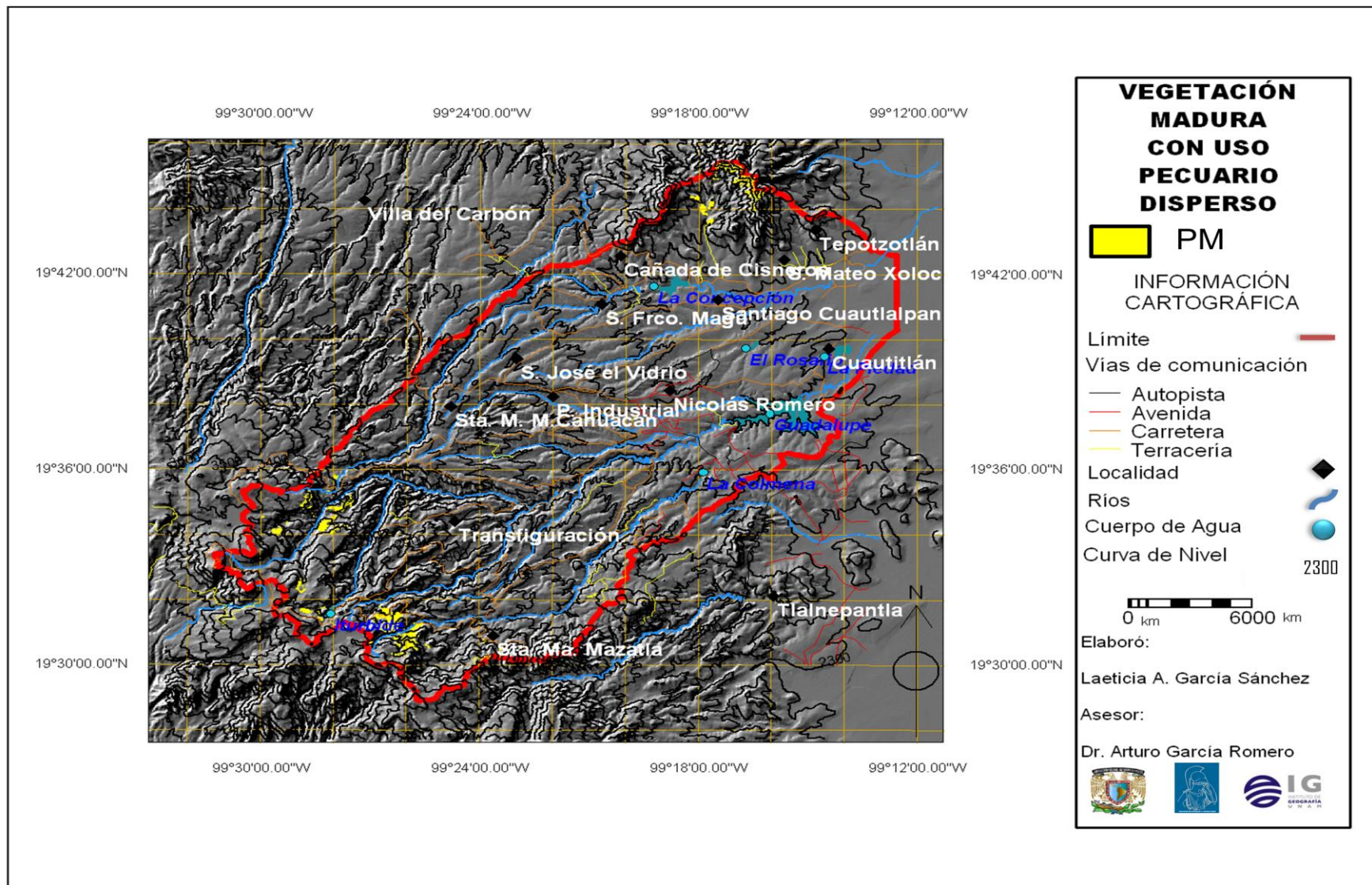


Figura 16. Mapa de la vegetación madura con uso pecuario disperso de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

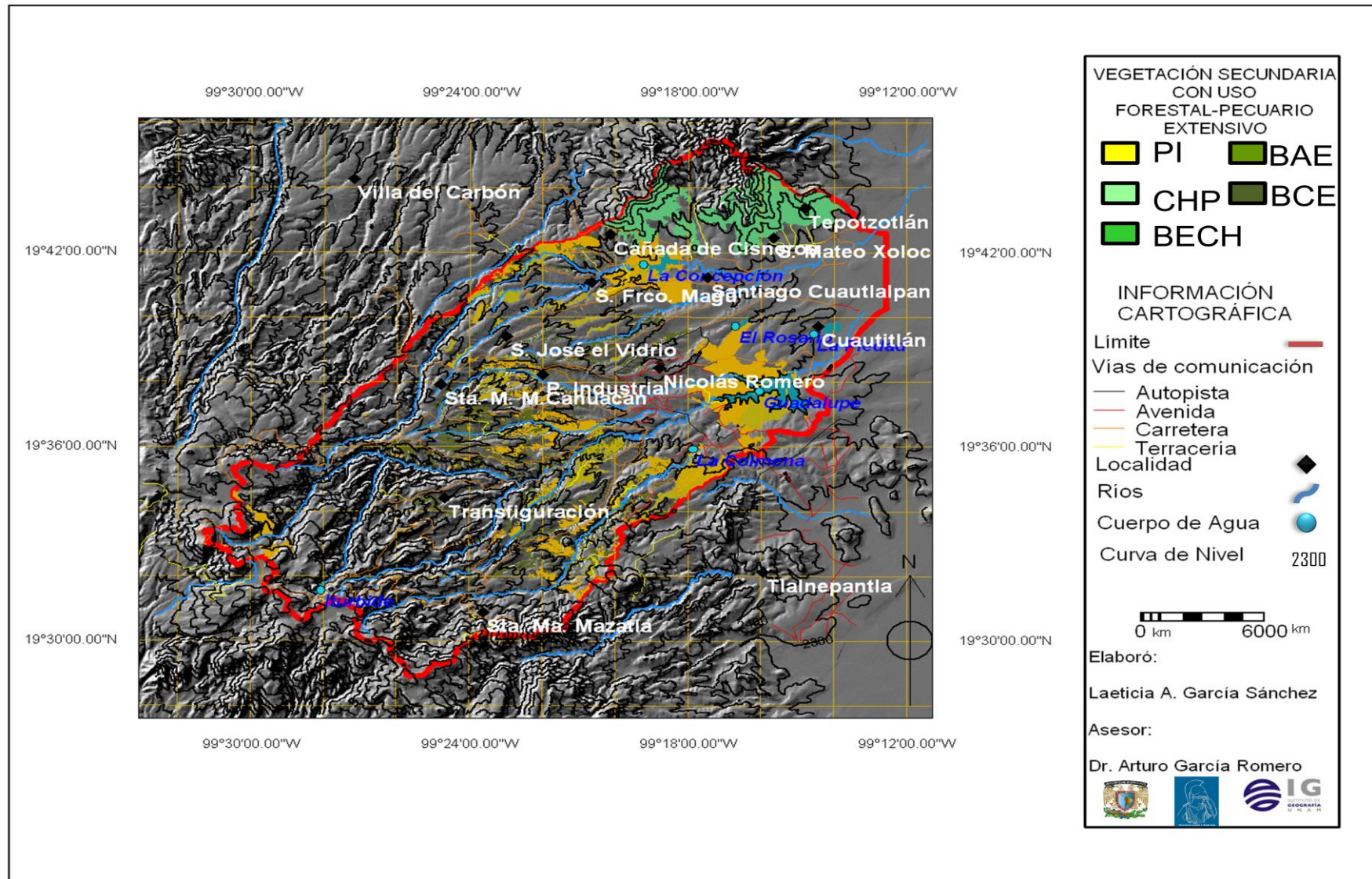


Figura 17. Mapa de vegetación secundaria con uso forestal – pecuario de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

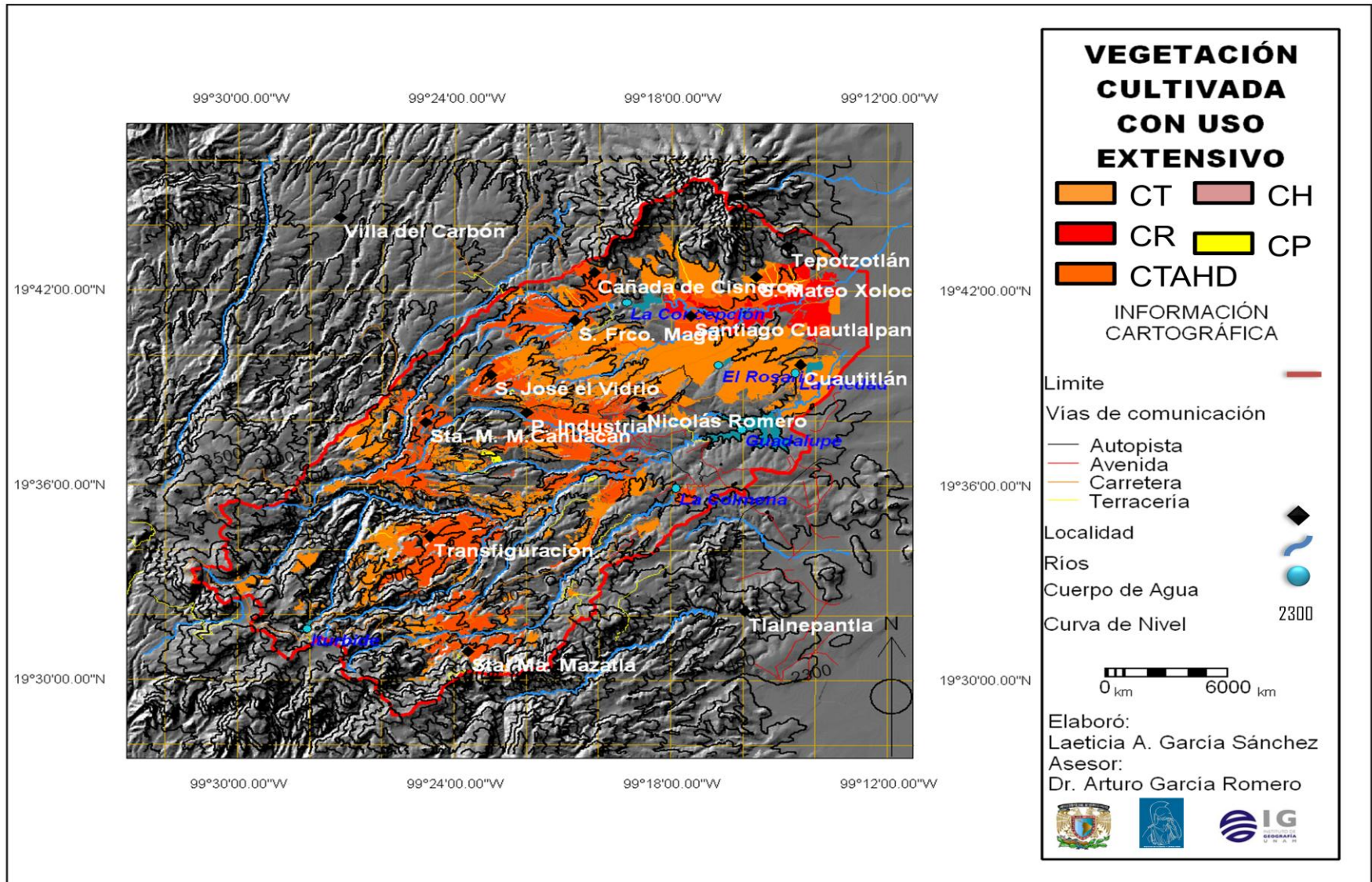


Figura 18. Mapa de vegetación cultivada con uso extensivo de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

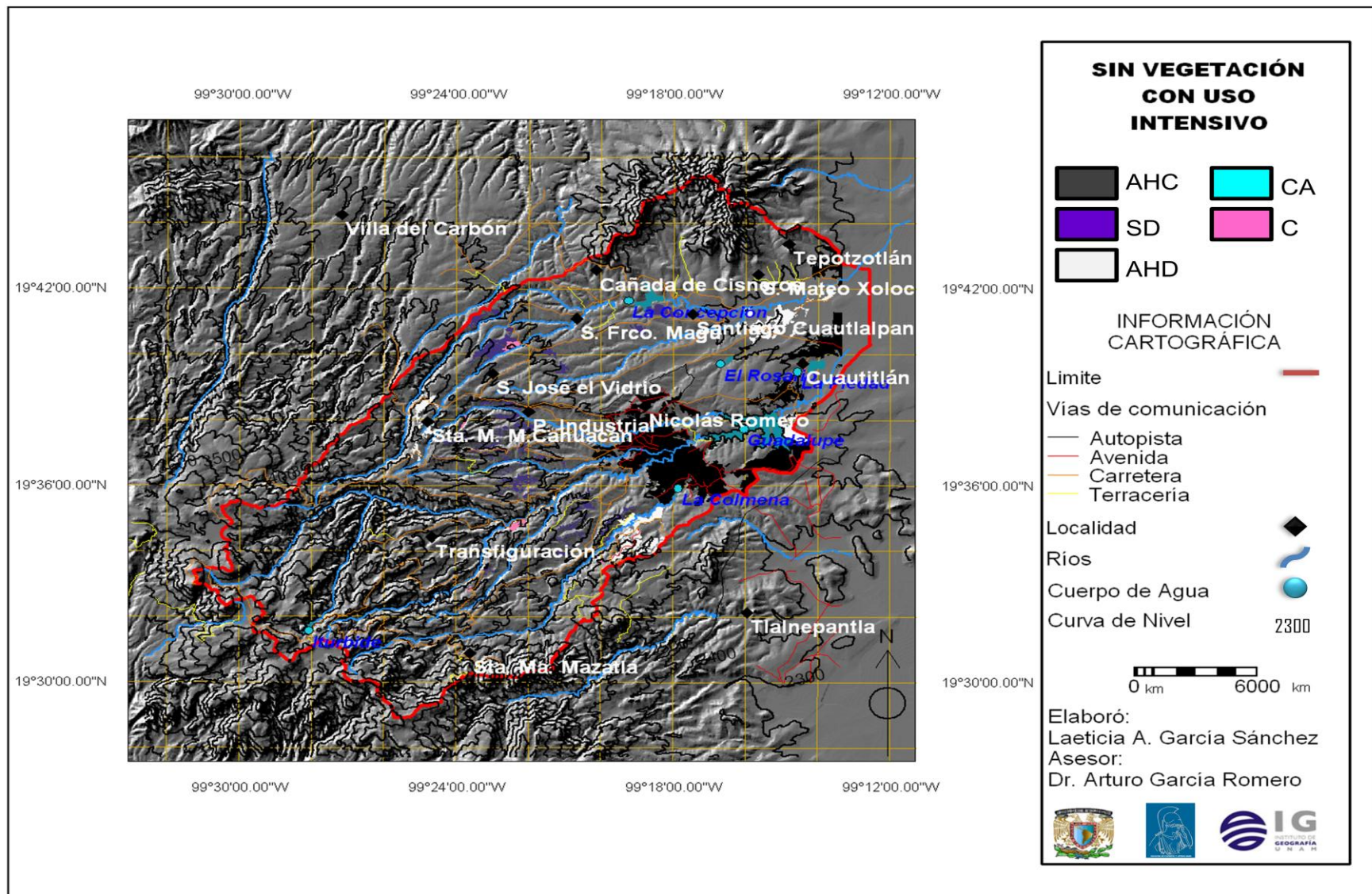


Figura 19. Mapa sin vegetación con uso intensivo de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

3 INTEGRACIÓN DEL PAISAJE

Con los anteriores análisis temáticos del territorio ha quedado de manifiesto la amplia diversidad ambiental del área estudiada, resultado de su naturaleza montañosa y de su vinculación a un volcanismo relativamente reciente, que le confiere altos gradientes topográficos, ambientales y ecológicos, y de las no menos importantes matizaciones que resultan de la violenta interacción entre el medio natural y la actividad humana que en él se registra. Desde luego, interpretar una realidad tan compleja como la que se presenta, aprendiendo de forma global todos los elementos, las combinaciones y las relaciones funcionales que ocurren entre ellos es un asunto complicado que, de acuerdo con el enfoque y los criterios del método conocido como Análisis Integrado de Paisajes, sólo puede ser resuelto si se apoya en el establecimiento de un sólido entramado taxonómico–corológico (Bertrand, 1968).

De acuerdo con el sistema de clasificación taxonómico-corológica de los paisajes propuesta por G. Bertrand (1968), el área de estudio está conformada por ocho Geosistemas o sistemas de paisajes funcionalmente relacionados (Figura 20), los cuales se agruparon para este trabajo en tres Grupos de Paisajes principales: a) Sierra Mayor, en la cual se incluye los paisajes de las laderas de montaña, laderas inestables, lomeríos altos, lomeríos bajos y planicies, que en su conjunto forman a la Sierra de Monte Alto; b) Sierra Menor, en la cual están integrados los paisajes de las laderas de montaña y del lomerío bajo de la Sierra de Tepotzotlán; y c) Planicie Aluvial, en la cual se incluyen todos los paisajes que corresponden al pequeño sector del fondo de la Cuenca de México que cae dentro del área de estudio (Tabla 13) (Figura 21).

CLASIFICACIÓN DE LOS PAISAJES DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CUAUTITLÁN

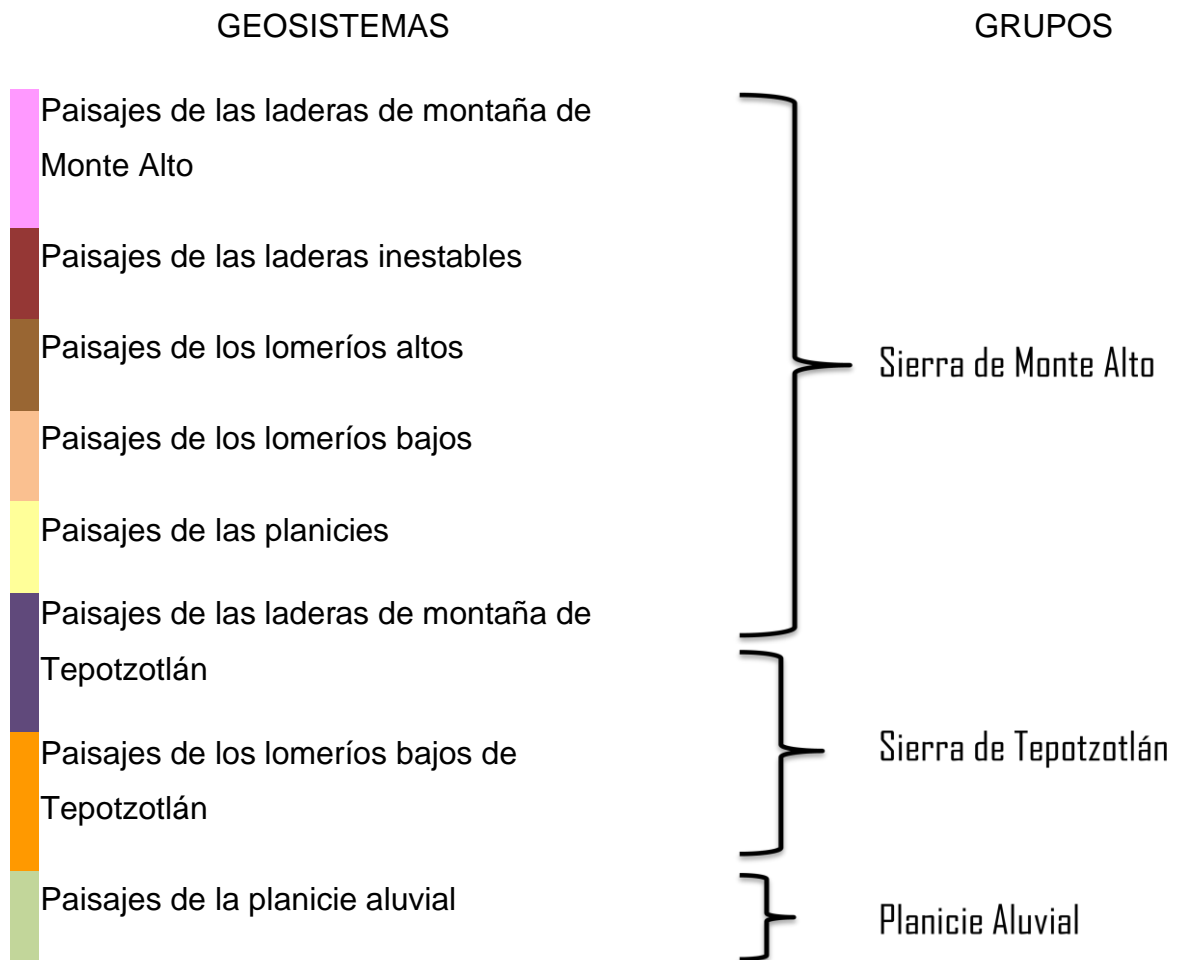


Figura 20. Clasificación de los paisajes de la Cuenca alta del río Cuautitlán.

CLAVE	TIPO DE VEGETACIÓN	USO DE SUELO	* GEOFORMA	GEOFACIES DEL PAISAJE
1	Sin vegetación	AHD Intensivo	LSB / LLv / LAT	Antrópicos dispersos de los lomeríos bajos
2	Sin vegetación	AHD Intensivo	PA	Antrópicos dispersos de las planicies
3	Sin vegetación	AHD Intensivo	BP / BS / LAP / EF	Antrópicos dispersos de las laderas inestables
4	Sin vegetación	AHC Intensivo	LSBT	Antrópicos concentrados de los lomeríos bajos de Tepetzotlán
5	Sin vegetación	AHC Intensivo	PA / TA	Antrópicos concentrados de las planicies
6	Sin vegetación	AHC Intensivo	LSB / LAT	Antrópicos concentrados de los lomeríos bajos
7	Sin vegetación	AHC Intensivo	LAP / EF / BP / T	Antrópicos concentrados de las laderas inestables
8	Cultivo de Riego / Humedal	Agrícola de Riego Intensivo	PA / TA / AA	Cultivos de riego de las planicies
9	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	PA / TA / AA	Cultivos de temporal de las planicies
10	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	LSBT	Cultivos de temporal de los lomeríos bajos de Tepetzotlán
11	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	LMT / DVT	Cultivos de temporal de las laderas de montaña de Tepetzotlán
12	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	LAP / BS / EF / BP / T	Cultivos de temporal de las laderas inestables
13	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	LSB / LLv / LAT	Cultivos de temporal de los lomeríos bajos
14	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	LSA	Cultivos de temporal de los lomeríos altos
15	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	T	Cultivos de temporal de las laderas inestables
16	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	LMMA / DV	Cultivos de temporal de las laderas de montaña de Monte Alto
17	Bosque de Pino	Forestal Disperso	LMMA / DV	Bosques de pino de las laderas de montaña de Monte Alto
18	Bosque de Abeto	Forestal Disperso	LMMA / DV	Bosques de abeto de las laderas de montaña de Monte Alto
19	Bosque de Abeto	Forestal Disperso	BP	Bosques de abeto de las laderas inestables
20	Bosque de Coníferas	Forestal Disperso	LMMA / DV	Bosques de coníferas de las laderas de montaña de Monte Alto
21	Bosque de Coníferas	Forestal Disperso	BP / BS	Bosques de coníferas de las laderas inestables
22	Bosque de Coníferas	Forestal Disperso	LSA	Bosques de coníferas de los lomeríos altos
23	Bosque de Coníferas	Forestal Disperso	PA	Bosques de coníferas de las planicies
24	Bosque de Coníferas y Latifoliadas	Forestal Disperso	LSA	Bosques de coníferas y latifoliadas de los lomeríos altos
25	Bosque de Coníferas y Latifoliadas	Forestal Disperso	LMMA / DV	Bosques de coníferas y latifoliadas de las laderas de montaña de Monte Alto
26	Bosque de Coníferas y Latifoliadas	Forestal Disperso	BP / BS	Bosques de coníferas y latifoliadas de las laderas inestables
27	Bosque de Coníferas y Latifoliadas	Forestal Disperso	PA / TA	Bosques de coníferas y latifoliadas de las planicies
28	Bosque de Encinos	Forestal Disperso	LMT / DVT	Bosques de encinos de las laderas de montaña de Tepetzotlán
29	Bosque de Encinos	Forestal Disperso	LSB / LLv / LAT	Bosques de encinos de los lomeríos bajos
30	Bosque de Encinos	Forestal Disperso	BS / BP / LAP / EF / T	Bosques de encinos de las laderas inestables
31	Bosque de Encinos	Forestal Disperso	TA / AA	Bosques de encinos de las planicies
32	Bosque de Encinos	Forestal Disperso	LSA	Bosques de encinos de los lomeríos altos
33	Bosque de Encinos	Forestal Disperso	T	Bosques de encinos de las laderas inestables
34	Bosque de Encinos	Forestal Disperso	LMMA / DV	Bosques de encinos de las laderas de montaña de Monte Alto
35	Pastizal Natural	Pecuario Disperso	LMT / DVT	Pastizales naturales de las laderas de montaña de Tepetzotlán
36	Pastizal Natural	Pecuario Disperso	LMMA / DV	Pastizales naturales de las laderas de montaña de Monte Alto
37	Pastizal Natural	Pecuario Disperso	PT / PA	Pastizales naturales de las planicies
38	Pastizal Natural	Pecuario Disperso	BP	Pastizales naturales de las laderas inestables
39	Bosque Abierto de Encinos	Forestal Extensivo	LSB / LLv / LAT	Bosques abiertos de encinos de los lomeríos bajos
40	Bosque Abierto de Encinos	Forestal Extensivo	BS / BP / LAP / EF / T	Bosques abiertos de encinos de las laderas inestables
41	Bosque Abierto de Encinos	Forestal Extensivo	TA / AA / PF	Bosques abiertos de encinos de las planicies
42	Bosque Abierto de Encinos	Forestal Extensivo	LSA	Bosques abiertos de encinos de los lomeríos altos
43	Bosque Abierto de Encinos	Forestal Extensivo	T	Bosques abiertos de encinos de las laderas inestables
44	Bosque Cerrado de Encinos	Forestal Extensivo	BS / BP / LAP / EF / T	Bosques cerrados de encinos de las laderas inestables
45	Bosque Cerrado de Encinos	Forestal Extensivo	LSB / LLv / LAT	Bosques cerrados de encinos de los lomeríos bajos
46	Bosque Cerrado de Encinos	Forestal Extensivo	TA	Bosques cerrados de encinos de las planicies
47	Bosque Cerrado de Encinos	Forestal Extensivo	LSA	Bosques cerrados de encinos de los lomeríos altos
48	Bosque Cerrado de Encinos	Forestal Extensivo	T	Bosques cerrados de encinos de las laderas inestables
49	Bosque Cerrado de Encinos	Forestal Extensivo	LMMA / DV	Bosques cerrados de encinos de las laderas de montaña de Monte Alto
50	Bosque de Encinos con Chaparral	Forestal Extensivo	LMT / DVT	Bosques de encinos con chaparral de las laderas de montaña de Tepetzotlán
51	Chaparral con Pastos	Forestal Extensivo	LMT / DVT	Chaparrales con pastos de las laderas de montaña de Tepetzotlán
52	Chaparral con Pastos	Forestal Extensivo	LSBT	Chaparrales con pastos de los lomeríos bajos de Tepetzotlán
53	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	LMMA / DV	Pastizales inducidos y cultivados de las laderas de montaña de Monte Alto
54	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	BS / BP / LAP / EF / T	Pastizales inducidos y cultivados de las laderas inestables
55	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	LSA	Pastizales inducidos y cultivados de los lomeríos altos
56	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	T	Pastizales inducidos y cultivados de las laderas inestables
57	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	TA / AA / PF	Pastizales inducidos y cultivados de las planicies
58	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	LSB / LLv / LAT	Pastizales inducidos y cultivados de los lomeríos bajos
59	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	LMT / DVT	Pastizales inducidos y cultivados de las laderas de montaña de Tepetzotlán
60	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	LSBT	Pastizales inducidos y cultivados de los lomeríos bajos de Tepetzotlán
61	Sin vegetación	Suelo Desnudo Intensivo	LSB / LAT	Erosionados de los lomeríos bajos
62	Sin vegetación	Suelo Desnudo Intensivo	LSP / BP / EF / T	Erosionados de las laderas inestables
63	Sin vegetación	Suelo Desnudo Intensivo	LSA	Erosionados de los lomeríos altos
64	Sin vegetación	Suelo Desnudo Intensivo	T	Erosionados de las laderas inestables
65	Sin vegetación	Suelo Desnudo Intensivo	TA / AA	Erosionados de las planicies
66	Sin vegetación	Cantera Intensiva	-----	-----
67	Sin vegetación	Cuerpo de Agua Intensivo	-----	-----
PA1	Sin vegetación	AHD Intensivo	LSB	Antrópicos dispersos de la planicie aluvial
PA2	Sin vegetación	AHD Intensivo	PA	Antrópicos dispersos de la planicie aluvial
PA5	Sin vegetación	AHC Intensivo	PA	Antrópicos concentrados de la planicie aluvial
PA8	Cultivo de Riego / Humedal	Agrícola de Riego Intensivo	PA	Cultivos de riego de la planicie aluvial
PA9	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	PA	Cultivos de temporal de la planicie aluvial
PA13	Cultivo de Temporal	Agrícola de Temporal y AHD Intensivo	LSB	Cultivos de temporal de la planicie aluvial
PA50	Bosque de Encinos con Chaparral	Forestal Extensivo	PA	Bosques de encinos con chaparral de la planicie aluvial
PA51	Chaparral con Pastos	Forestal Extensivo	PA	Chaparrales con pastos de la planicie aluvial
PA57	Pastizal Inducido / Pastizal Cultivado	Forestal Extensivo	PA	Pastizales inducidos y cultivados de la planicie aluvial

*

LMMA - Ladera de montaña de Monte Alto, DV - Domo volcánico, BP - Barranco de primer orden, BS - Barranco de segundo orden, LAP - Ladera asimétrica pronunciada, EF - Escarpe de falla, T - Talud, LSA - Ladera simétrica alta, LSB - Ladera simétrica baja, LLv - Lomerío lávico, LAT - Ladera asimétrica tendida, PA - Planicie aluvial, PT - Planicie de tefra, AA - Abanico aluvial, TA - Terraza aluvial, PF - Playa fluvial, LMT - Ladera de montaña de Tepetzotlán, DVT - Domo volcánico de Tepetzotlán y LSBT - Ladera simétrica de Tepetzotlán.

Tabla 13. Paisajes de la Cuenca alta del río Cuautitlán. En la primera columna se muestra la clave de cada categoría del paisaje en del mapa de paisajes (Figura 21).

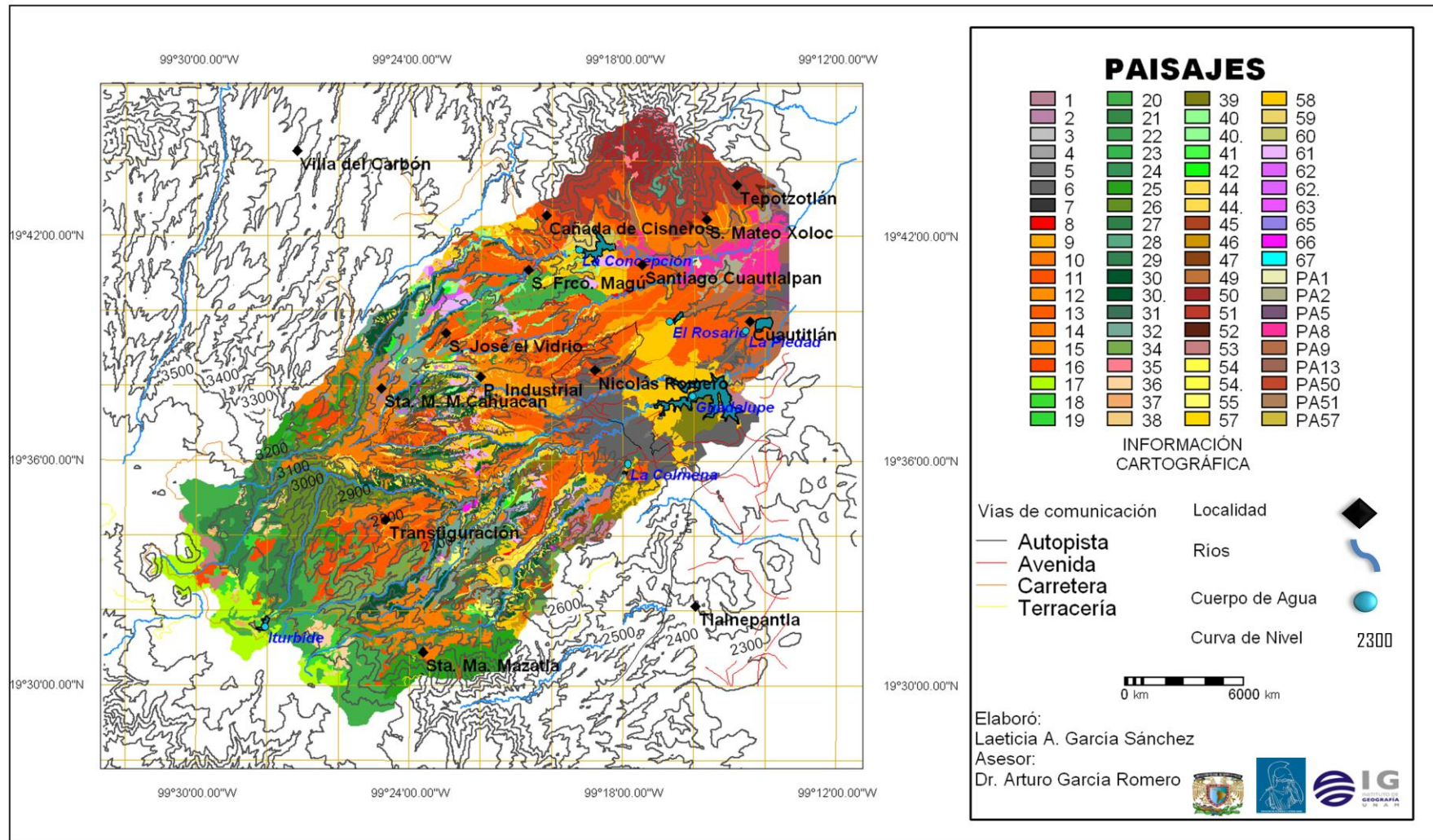


Figura 21. Mapa de paisajes de la Cuenca Alta del Río Cuautitlán, Estado de México.

3.1 Sierra de Monte Alto

Laderas de Montaña

El patrón del paisaje de este geosistema está dado por los caracteres morfológicos de las laderas altas de la Sierra de Monte Alto (2600 - >3600 msnm), mismos que se modelaron sobre derrames lávicos del Plioceno, segmentados desde la base por diversos patrones tectónicos, y que durante las últimas etapas de volcanismo fueron parcialmente cubiertos de piroclastos finos. El modelado cuaternario estuvo conducido por la erosión de los mantos cineríticos y por una intensa incisión de los cursos de agua, en donde el alto valor del encajamiento fluvial permitió el modelado de valles de laderas verticales, con escarpes activos afectados por acciones mecánicas asistidas por agua y fenómenos de gravedad, que dada su magnitud se han constituido como elementos distintivos y de gran significado ambiental dentro del área montañosa (García-Romero, 1998). Es de suponer la existencia de períodos particularmente dinámicos desde el punto de vista geomorfológico, los cuales debieron coincidir con las fases de clima frío del pleistoceno y durante los cuales se inicia la formación de la actual cabecera fluvial de los ríos Cuautitlán, Los Tepozanes, Ojo de Venado y Las Palomas.

Dadas las características litológicas y climáticas de las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto, se observa que hay una notable diversidad de paisajes naturales (Figura 22, 23 y 24) (Tabla 14). Destacan por su extensión los Bosques de coníferas (Clave en mapa: 20) abarcando el 33% de la superficie del geosistema, concentrados en las cumbres y laderas altas de la montaña, seguidos de los Bosques de coníferas y latifoliadas (Clave: 25) (14%) que forman la clase de paisaje dominante en las laderas bajas de la montaña. Por su parte, los paisajes del Bosque de pino (Clave: 17) y del Bosque de encino (Clave: 34) se distribuyen en el 12 y 9% de la superficie total, respectivamente. Los Bosques cerrados de encino (Clave: 49) son de distribución muy local (0.6%), coincidiendo con el fondo de los principales barrancos del área. Es de destacar la existencia de Pastizales naturales destinados al aprovechamiento pecuario (Clave: 36), los cuales coinciden con pequeñas laderas cubiertas de piroclastos (3%), donde la saturación de humedad limita la entrada de las

coníferas. No obstante la distribución dispersa o extensiva de las actividades forestales en el área, los paisajes forestales presentan un evidente grado de conservación, con coberturas vegetales cerradas y de estructura vertical compleja, por lo que cumplen un rol importante como elemento de protección del suelo y estabilidad de las laderas. Cabe mencionar que dentro de este geosistema se localiza la Presa Iturbide (al NW de la Sierra de Monte Alto) (Clave: 67), que ofrece servicios hídricos tanto a la naturaleza como al ser humano, además de ser el principal núcleo atractivo turístico.

Por lo que respecta a los paisajes de origen antrópico, son apenas representativos (Tabla 14) debido a la lejanía y difícil acceso a estas laderas de montaña (Figura 23, 24, 25 y 26). Sin embargo, en las partes bajas de la montaña las pendientes no son pronunciadas (7 a 15 °), favoreciendo los paisajes de Cultivo de temporal (Clave 16) que abarcan el 12% de la superficie, seguidos por los Pastizales inducidos y cultivados (Clave: 53) (2%). La actividad agropecuaria en estos paisajes es de carácter extensivo y está asociada a la distribución dispersa de asentamientos humanos. Por otra parte, la actividad agropecuaria -principalmente en el poblado Transfiguración- es de muy baja intensidad, para la cual se abren claros de pequeñas dimensiones que no llegan por lo general a romper la continuidad paisajística de los bosques (García-Romero, 1998). Además de los paisajes antrópicos, es importante mencionar la existencia en el área de otros elementos introducidos por el ser humano como es el caso de los caminos y tendidos eléctricos que tienen un impacto directo en el paisaje, pero que por sus dimensiones no han sido incluidos como categorías formales en la clasificación.

Tabla 14. Paisajes del Geosistema de las laderas de montaña de Monte Alto. En la primera columna se indican las claves de referencia en el mapa de paisajes (Figura 21).

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
16	52	11.8	Cultivos de temporal de las laderas de montaña
17	2	11.9	Bosques de pino de las laderas de montaña
18	11	2.2	Bosques de abeto de las laderas de montaña
20	21	32.6	Bosques de coníferas de las laderas de montaña
25	26	14.3	Bosques de coníferas y latifoliadas de las laderas
34	6	8.8	Bosques de encinos de las laderas de montaña

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
36	14	2.9	Pastizales naturales de las laderas de montaña
49	7	0.6	Bosques cerrados de encinos de las laderas de montaña
53	17	1.7	Pastizales inducidos y cultivados de las laderas de montaña
Total	156	86.8	



Figura 22. Geofacies del Bosque de coníferas (pinos y abetos) de las laderas de montaña, en la Sierra de Monte Alto. Se observa un domo volcánico con la Presa Iturbide en primer plano.



Figura 23. Geofacies del Bosque de pino de las laderas de montaña, en la Sierra de Monte Alto. En primer plano los pinares (2800 msnm) y en el fondo algunos claros que han sido producto de la deforestación.



Figura 24. Geofacies del Bosque de coníferas y latifoliadas de las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto. Estos bosques (pino y encinos), son característicos de Santa María Mazatla.



Figura 25. Geofacies del Cultivo de temporal de las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto. En primer plano se observa la distribución espacial de una pequeña milpa, a W de San Miguel Tecpan.



Figura 26. Geofacies de los Pastizales inducidos y cultivados de las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto. Como se observa en primer plano, algunos de estos paisajes son utilizados para actividades recreativas en Llano Laguna Seca.

Laderas inestables

Los paisajes de este geosistema tienen en común haberse desarrollado sobre geoformas inestables de barrancos, laderas asimétricas pronunciadas, escarpes de falla y taludes de detritos, que se caracterizan por ser áreas con fuerte energía del relieve y pendiente del terreno y además por presentar una dinámica geomorfológica activa, tanto a procesos de arroyada (laminar y concentrada) como a procesos de remoción en masa (caída, deslizamientos de tierra, asentamientos del terreno y reptación). Todas ellas se caracterizan por haber sido modeladas sobre potentes acumulaciones de material volcanoclástico. En el caso del Talud, está modelado sobre los depósitos de detritos que resultaron de la acumulación de materiales al pie del escarpe de falla al S de San José el Vidrio y N de Progreso Industrial.

Las geofacies naturales de este geosistema se distribuyen en una estrecha franja altitudinal ubicada en una posición intermedia, entre las montañas y el piedemonte de la sierra (Figura 27 y 28) (Tabla 15), en donde las condiciones bioclimáticas permiten que la cubierta vegetal tenga una diversidad florística amplia, incluyendo al abeto, el pino y el encino, los tres componentes arbóreos fundamentales de la flora de la Sierra de Monte Alto. Además, los fragmentos de bosque se extienden en las laderas pronunciadas e inaccesibles de los valles simétricos y asimétricos (García-Romero, 1998), donde el acceso al ser humano es restringido, por lo que las áreas forestales sostienen un notable grado de conservación. Destacan por su extensión las geofacies de los Bosques de coníferas y latifoliadas (Clave en mapa: 26) que abarca el 19% de este geosistema, seguidos por los Bosques de encinos (Clave: 30 y 33) (18%); mientras que los Bosques de coníferas (Clave: 21) y los Bosques cerrados de encinos (Clave: 44 y 48) ocupan una superficie de 15 y 13% del total del geosistema y, finalmente, con escasa representación los Bosques abiertos de encinos (Clave: 40 y 43) (5%), los Bosques de abetos (Clave: 19) (0.5%) y los Pastizales naturales (Clave: 38) (1%).

Por su parte, las geofacies de origen antrópico (Tabla 15) en las laderas inestables son apenas representativas, ya que dadas las características físicas son superficies que carecen de accesibilidad. Sin embargo, una reducida

superficie de las laderas tienen pendientes (7 a 15°) que permiten la presencia de geofacias de Cultivo de temporal (Clave: 12 y 15), abarcando una superficie de 15% de este geosistema, seguida por las geofacias de los Asentamientos humanos (Clave: 3 y 7) (0.3%). La actividad agrícola en estas geofacias es de carácter intensivo y está asociada a la distribución dispersa y concentrada de asentamientos humanos; estas geofacias influyen en la pérdida de superficie forestal causando grandes estragos en el suelo. Además en las geofacias de las laderas inestables principalmente en los barrancos de gran profundidad (más de 30m), son utilizados como basureros, principalmente por los asentamientos humanos (Santa María Magdalena Cahuacan y el Quinto Barrio), que se encuentran cerca de estos barrancos. Por otra parte, la erosión fluvial y antrópica ha dejado huellas en la superficie de estas geofacias, ejemplo de ello es el suelo desnudo (Clave: 62 y 64), que abarca un área equivalente al 1% de este geosistema. Cabe resaltar que la erosión (principalmente por arrollada) tiende a ir abarcando más superficie sobre estas geofacias en las laderas inestables (Figura 29 y 30).

Tabla 15. Paisajes del Geosistema de las laderas inestables de Monte Alto. . En la primera columna se indican las claves de referencia en el mapa de paisajes (Figura 21).

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacias del Paisaje
3	6	0.1	Asentamientos humanos dispersos de las laderas inestables
7	10	0.2	Asentamientos humanos concentrados de las laderas inestables
12	302	12.4	Cultivos de temporal de las laderas inestables
15	5	2.2	Cultivos de temporal de las laderas inestables
19	8	0.5	Bosques de abeto de las laderas inestables
21	9	15.1	Bosques de coníferas de las laderas inestables
26	3	19.1	Bosques de coníferas y latifoliadas de las laderas inestables
30	122	17.9	Bosques de encinos de las laderas inestables
33	2	0.1	Bosques de encinos de las laderas inestables
38	16	0.9	Pastizales naturales de las laderas inestables
40	57	4.8	Bosques abiertos de encinos de las laderas inestables
43	10	0.1	Bosques abiertos de encinos de las laderas inestables

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
44	127	13.1	Bosques cerrados de encinos de las laderas inestables
48	25	0.7	Bosques cerrados de encinos de las laderas inestables
54	87	2.3	Pastizales inducidos y cultivados de las laderas inestables
56	7	0.5	Pastizales inducidos y cultivados de las laderas inestables
62	30	0.3	Erosionados de las laderas inestables
64	6	0.3	Erosionados de las laderas inestables
Total	832	90.6	



Figura 27. Geofacies del Bosque cerrado de encinos de las laderas inestables de la Sierra de Monte Alto. Este tipo de paisajes se pueden observar sobre la carretera que va de San Francisco Magú a Santa María Magdalena Cahuacan.



Figura 28. Geofacies del Bosque de encinos de las laderas inestables de la Sierra de Monte Alto. Como se muestra en la imagen, este tipo de paisajes son indicadores de la dinámica y control del relieve.

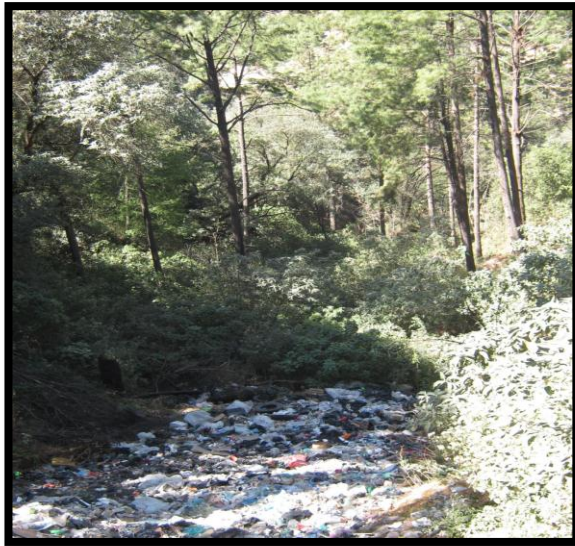


Figura 29. Geofacies del Bosque de coníferas y latifoliadas de las laderas inestables de la Sierra de Monte Alto. Lamentablemente algunos de estos paisajes son utilizados como basureros.



Figura 30. Geofacies de los Pastizales inducidos y cultivados, Geofacies del Bosque cerrado de encinos y Geofacies de los Asentamientos humanos dispersos de las laderas inestables de la Sierra de Monte Alto. En primer plano se observan a los pastos junto con la vegetación de galería y en segundo plano algunas casas habitación, al S del poblado Puerto Magú.

Lomeríos altos

El patrón del paisaje en este geosistema ocupa las laderas que circundan a los principales centros de emisión volcánica, que se distinguen en su substrato por la sobreposición de domos volcánicos, flujos lávicos y de piroclastos. Además el modelado de este relieve es de pendiente suave y comúnmente más estable, sin embargo, posee enclaves notablemente activos correspondientes a el interior de algunos valles, como el del río Cuautitlán y el río el Esclavo (García, 1998). Relacionado a esto la litología de este patrón del geosistema sugiere la

presencia de suelos fértiles y ricos en minerales, aptos para un uso forestal y agrícola.

Con base en esto, las geofacies más abundantes pero con superficie escasa son las naturales (Tabla 16) y se localizan dentro del piso de transición de la Sierra de Monte Alto. Destacan por su extensión los Bosques de encinos (Clave en mapa: 32) con una superficie de 13% de este geosistema, seguidos por los Bosques de coníferas y latifoliadas (Clave: 24) (4%) y los Bosques cerrados de encinos (Clave: 47) (3.5%). Los Bosques abiertos de encinos (Clave: 42) y los Bosques de coníferas (Clave: 22) abarcan una superficie de 2% de esta área (Figura 31). No obstante la distribución dispersa de las actividades forestales en el área, la cubierta forestal en este sector del área de estudio presenta una conservación evidente, es cerrada y de estructura vertical (más o menos) compleja, brinda servicios ambientales y de atractivo significativo para el ecoturismo local y nacional, mismo que se practica en las proximidades con el límite de las laderas de montaña de La Sierra de Monte Alto.

Por lo que se refiere a las geofacies de origen antrópico (Tabla 16), son las que mayor superficie ocupan dentro de los lomeríos altos, representados por las geofacies de Cultivo de temporal (Clave: 14) abarcando una superficie de 26%, seguidas por los Pastizales inducidos y/o de cultivo (Clave: 55) y las Erosionadas (Clave: 63) con superficies de 2 y 1% del área de este geosistema (Figura 32). La actividad agrícola en estas geofacies es de carácter intensivo y está asociada a la actividad pecuaria de uso extensivo. Sin embargo estas geofacies de los lomeríos altos, son geofacies que tienden a seguir aumentando en superficie, esto sugiere que en un futuro “probablemente” van a ocupar el área forestal. Como máxima representación están los poblados de San José el Vidrio, Santa María Magdalena Cahuacan y Santa Ana Jilotzingo. Cabe destacar que dentro de este geosistema paisajístico se localizan dos minas al aire libre (Canteras) (Clave: 66), una al E del poblado de Transfiguración y la otra al SE de este mismo poblado. Las geofacies que surgen a partir de estos bancos de material son sin duda origen antrópico, reflejándose la transición de un paisaje natural a un paisaje urbano.

Tabla 16. Paisajes del Geosistema de los lomeríos altos en la Sierra de Monte Alto. En la primera columna se indican las claves de referencia en el mapa de paisajes (Figura 15).

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
14	44	25.7	Cultivos de temporal de los lomeríos altos
22	8	0.9	Bosques de coníferas de los lomeríos altos
24	58	4.1	Bosques de coníferas y latifoliadas de los lomeríos altos
32	60	13.1	Bosques de encinos de los lomeríos altos
42	28	1.1	Bosques abiertos de encinos de los lomeríos altos
47	120	3.5	Bosques cerrados de encinos de los lomeríos altos
55	33	1.8	Pastizales inducidos y cultivados de los lomeríos altos
63	12	0.9	Erosionados de los lomeríos altos
Total	363	51.1	



Figura 31. Geofacies del Bosque de coníferas y latifoliadas y Geofacies de los Pastizales inducidos de los lomeríos altos de la Sierra de Monte Alto. En primer plano se observa una ladera con vegetación (pino y encino) bastante conservada, mientras que en la parte inferior de la imagen se muestra una pequeña superficie de pastos, al SE de la localidad del Quinto Barrio.



Figura 32. Geofacies del Bosque abierto de encinos y Geofacies del Cultivo de temporal de los lomeríos altos de la Sierra de Monte Alto. En primer plano se observa a los encinos y al fondo al terreno dedicado a la agricultura, al W de Santa Ana Jilotzingo.

Lomeríos bajos

Los paisajes de este geosistema se modelaron sobre depósitos vulcanoclastos del pleistoceno y detritos de textura gravosa a fina, que con frecuencia se presentan porosos y poco cohesivos. En el Cuaternario, esta área tuvo una redistribución de materiales superficiales y en el consecuente alisamiento de las superficies, éstas fueron asimismo disecadas por una red de barrancos, que en todo caso reflejan la influencia de una morfología poco prominente. Por otra parte son sectores con poca actividad tectónica por los sistemas de fracturas más recientes, lo que permitió un estilo de encajamiento más gradual en el que se muestra mayor presión en las incisiones sobre las márgenes más próximas al nivel de base de la cuenca, configurándose un paisaje “alomado” (García-Romero, 1998).

Dadas estas características, las geofacies naturales (Tabla 17) de los lomeríos bajos se reducen en cuanto a diversificación y superficie, ubicados dentro del piso vegetal pedemontano (García-Romero, 1998). Destacan por su extensión los Bosques abiertos de encinos (Clave en mapa: 39) con una superficie de 10% del área de este geosistema, seguido por los Bosques de encinos (Clave: 29) y respectivamente los Bosques cerrados de encinos (Clave: 45) con superficies de 8 y 7% de esta área (Figura 33). La distribución de la actividad forestal es dispersa, ya que tiene competencia con la actividad agrícola y los asentamientos urbanos. Cabe señalar que dentro de este geosistema paisajístico se localizan 4 cuerpos de agua: Presas El Rosario y La Piedad, al NE de la Cabecera Municipal de Nicolás Romero; Presa Guadalupe, al E de Nicolás Romero y Presa La Colmena, al S de Nicolás Romero, que sirven como captadores de agua para uso habitacional y riego.

Por su parte, las geofacies de origen antrópico (Tabla 17) son las que mayor superficie ocupan en los lomeríos bajos, destacando por su extensión al Cultivo de temporal (Clave: 13) con un área de 64% del total del geosistema, seguido por los Pastizales inducidos (Clave: 58) (29%), por los Asentamientos humanos (Clave: 1 y 6) (25 y 5%) y por los Erosionados (Clave: 61) (6.5%) (Figura 33, 34 y 35). La actividad agrícola en estas geofacies es de carácter intensivo, así como la actividad pecuaria de predisposición extensiva y están asociadas a la

distribución dispersa y concentrada de los asentamientos humanos. Cabe mencionar que estas geofacies son resultado de las actividades humanas principalmente del área urbana de Nicolás Romero. Aunado a esto, la erosión está causando estragos muy importantes en la parte N (El Puerto Magú, Santiago Cuautlalpan y entre los poblados de San Francisco Magú y San José el Vidrio) de los lomeríos bajos, al ir ocupando superficie de uso forestal. Cabe mencionar que dentro de este geosistema paisajístico se localiza una mina al aire libre (Clave: 66) localizada al W del Condado de Sayavedra. Este tipo de geofacies es utilizada para la extracción de material de construcción y no refleja un interés importante para la población en general, dentro del área de estudio.

Tabla 17. Paisajes del Geosistema de los lomeríos bajos en la Sierra de Monte Alto. En la primera columna se indican las claves de referencia en el mapa de paisajes (Figura 21).

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
1	8	4.8	Asentamientos humanos dispersos de los lomeríos bajos
6	11	25.0	Asentamientos humanos concentrados de los lomeríos bajos
13	78	63.6	Cultivos de temporal de los lomeríos bajos
29	131	8.1	Bosques de encinos de los lomeríos bajos
39	126	10.0	Bosques abiertos de encinos de los lomeríos bajos
45	285	7.1	Bosques cerrados de encinos de los lomeríos bajos
58	90	29.2	Pastizales inducidos y cultivados de los lomeríos bajos
61	64	6.5	Erosionados de los lomeríos bajos
Total	793	154.1	



Figura 33. Geofacies del Bosque cerrado de encinos y Geofacies del Cultivo de temporal de los lomeríos bajos de la Sierra de Monte Alto. A la izquierda de la imagen se observa el espacio dedicado a la agricultura, mientras que a la derecha los bosques solo se limitan a las orillas de las laderas, en las mediaciones de la localidad de San Francisco Magú.



Figura 34. Geofacies del Cultivo de temporal de los lomeríos bajos de la Sierra de Monte Alto. Como se muestra en la imagen en los lomeríos bajos hay una gran disponibilidad de terreno dedicado a la agricultura, al E de San José el Vidrio.



Figura 35. Geofacies de los Asentamientos humanos concentrados de los lomeríos bajos de la Sierra de Monte Alto. Cabecera Municipal de Nicolás Romero.

Planicies

El patrón del paisaje en este geosistema se caracteriza por tener superficies de relleno aluvial normalmente pequeñas, pero en ocasiones adquieren grandes dimensiones, como el valle de fondo plano del río San Pedro y el valle del río Xinté. Estas planicies, se distribuyen dentro de sectores de poca actividad tectónica por los sistemas de fracturas más recientes, lo que permitió un estilo de encajamiento más gradual en el que se muestra mayor insistencia en las incisiones sobre las márgenes más próximas al nivel base de la cuenca (García-Romero, 1998).

Relacionado a esto, las geofacies naturales (Tabla 18) de las planicies se localizan en áreas muy reducidas. De acuerdo a su extensión los Bosques cerrados de encinos (Clave en mapa: 46) abarca un área de 1% de este geosistema, seguido por los Bosques abiertos de encinos (Clave: 41) (1%), los Bosques de encinos (Clave: 31) (0.5%), los Bosques de coníferas y latifoliadas (Clave: 27) (0.5%), los Bosques de de coníferas (Clave: 23) (0.1%) y los Pastizales (Clave: 37) (0.5%) (Figura 36). Cabe mencionar que dentro de este geosistema las actividades tanto agrícolas como pecuarias son de carácter disperso.

Por lo que respecta a las geofacies de origen antrópico (Tabla 18), son estas las que ocupan una superficie considerada en las planicies, siendo el más extenso el Cultivo de temporal (Clave: 9) con un área de 6% de este geosistema, seguido por el Cultivo de riego (Clave: 8) (4%) y por los Pastizales inducidos (Clave: 57) (2%). Mientras que los Asentamientos humanos (Clave: 2 y 5) y los Erosionados (Clave: 65) tienen un área de 1 y 0.1% del total del geosistema (Figura 37). La actividad agrícola en estas geofacies es de carácter intensivo, así como la actividad pecuaria de tendencia extensiva y están asociadas a la distribución dispersa y concentrada de asentamientos humanos, como la parte del área urbana de Nicolás Romero. Cabe señalar que dentro de este geosistema paisajístico se localiza una cantera (Clave: 66), situada a NE del poblado de Santa María Magdalena Cahuacan. Esta mina al aire libre se caracteriza por ser de material aluvial, que es utilizado para la construcción, la cual para este poblado no es representativa su presencia.

Tabla 18. Paisajes del Geosistema de las planicies en la Sierra de Monte Alto. En la primera columna se indican las claves de referencia en el mapa de paisajes (Figura 21).

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
2	1	0.1	Antrópicos dispersos de las planicies
5	14	1.1	Antrópicos concentrados de las planicies
8	54	3.7	Cultivos de riego de las planicies
9	47	5.9	Cultivos de temporal de las planicies
23	5	0.1	Bosques de coníferas de las planicies
27	5	0.5	Bosques de coníferas y latifoliadas de las planicies
31	52	0.5	Bosques de encinos de las planicies

Clave	No. Poligono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
37	11	0.5	Pastizales naturales de las planicies
41	31	0.7	Bosques abiertos de encinos de las planicies
46	74	1.2	Bosques cerrados de encinos de las planicies
57	39	1.8	Pastizales inducidos y cultivados de las planicies
65	9	0.1	Erosionados de las planicies
Total	342	16.2	



Figura 36. Geofacies del Bosque de encinos de las planicies de la Sierra de Monte Alto. En primer plano se muestra un fragmento de bosque de encinos y al fondo se observan a los pastos y cultivos, al W de la localidad de El Puerto Magú.



Figura 37. Geofacies del Cultivo de temporal y Geofacies del Cultivo de riego de las planicies de la Sierra de Monte Alto. Las terrazas cultivadas en primer plano y al fondo los bosques, en las mediaciones del Río El Esclavo.

3.2 Sierra de Tepetzotlán

Laderas de montaña

Los paisajes de este geosistema, están dados por los caracteres morfológicos de las laderas altas de la Sierra de Tepetzotlán. Estas laderas de montaña (2600 a 3000 msnm) se modelaron sobre derrames lávicos, y durante esta actividad volcánica fueron parcialmente cubiertos por tobas, todo esto durante el Oligoceno. En el Mioceno surgieron nuevos eventos tectónicos, los cuales produjeron una nueva etapa de vulcanismo, la cual origino el complejo principal de la Sierra de Tepetzotlán, formándose sobre esta grandes domos como: Cerro La Columna, Cerro Gordo, Cerro El Filo, Cerro Tres Cabezas, Cerro Las Culebras y el Cerro El Calvario.

Las geofacies que más abundan en estas laderas son los naturales (Tabla 19), los cuales cuentan con una disponibilidad de superficie para su crecimiento. Sin embargo, estas geofacies tienen la característica de tener vegetación poco desarrollada, a consecuencia del clima (árido), de la exposición de laderas (laderas de insolación), del poco acceso a agua, de la erosión (eólica y de arroyada) y sobre todo por el impacto humano (deforestación, incendios, etc.). De acuerdo a su extensión el Chaparral con pastos (Clave en mapa: 51) abarca un área el 22% de este geosistema, seguido por los Bosques de encinos con chaparral (Clave: 28) (8%). Mientras que los Pastizales naturales (Clave: 35) y los Bosques de encinos (Clave: 28) tienen una superficie de 2 y 1% de las laderas de montaña de la Sierra de Tepetzotlán (Figura 38). Cabe mencionar que la distribución de la actividad forestal es de carácter disperso y extensivo, mientras que la actividad pecuaria de uso disperso.

Por su parte, las geofacies de origen antrópico (Tabla 19), son escasas y reducidas en superficie, ya que las características del relieve y climáticas no permiten ciertas actividades antrópicas. Por su extensión el Cultivo de temporal (Clave: 11) abarca un área de 5% de esta unidad, mientras que los Pastizales inducidos y cultivados (Clave: 59) tienen una superficie de 2% de estas laderas (Figura 39). La actividad agrícola en estas geofacies es de carácter intensivo, mientras que la actividad pecuaria es de uso extensivo. Cabe mencionar que, una de las técnicas más agresivas que se utilizan en los campos de cultivo

para su “fertilidad” es la raza, tumba y quema; método que está dejando grandes estragos principalmente en los suelos y en la vegetación de este geosistema.

Tabla 19. Paisajes del Geosistema de las laderas de montaña de Tepetzotlán. En la primera columna se indican las claves de referencia de las categorías del paisaje del mapa de paisajes (Figura 21).

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
11	12	5.3	Cultivos de temporal de las laderas de montaña
28	6	1.3	Bosques de encinos de las laderas de montaña
35	7	1.9	Pastizales naturales de las laderas de montaña
50	8	8.1	Bosques de encinos con chaparral de las laderas de montaña
51	5	22.0	Chaparrales con pastos de las laderas de montaña
59	2	1.7	Pastizales inducidos y cultivados de las laderas de montaña
Total	40	40.2	



Figura 38. Geofacies del Chaparral con pastos y Geofacies de los Pastizales naturales de las laderas de montaña de la Sierra de Tepetzotlán. El ambiente en este tipo de Geofacies es árido y con vegetación escasa.



Figura 39. Geofacies del Chaparral con pastos, Geofacies del Cultivo de temporal y Geofacies de los Pastizales inducidos y cultivados de las laderas de montaña de la Sierra de Tepetzotlán. En el domo La Columna, los chaparrales están en constante perturbación por la actividad agrícola.

Lomeríos bajos de Tepotzotlán

El patrón de los paisajes de este geosistema, se modelaron sobre materiales volcanoclásticos, conformados por tobas parcialmente re-trabajadas en el Cuaternario, amoldadas en depósitos de flancos. Este acomodo consistió fundamentalmente en una redistribución de los materiales superficiales y en consecuente alisamiento de las reducidas superficies de este geosistema. Por otra parte, los lomeríos bajos de Tepotzotlán son sectores poco tectonizados por los sistemas de fracturas más recientes, lo que permitió una condición de encajamiento progresivo en el que se muestra mayor insistencia en las secciones más próximas al nivel base de la cuenca.

Dadas estas características, los paisajes naturales (Tabla 20) (Figura 40), ocupan una reducida área dentro de los lomeríos bajos de Tepotzotlán, incidiendo solamente el Chaparral con pastos (Clave en mapa: 52) ocupando una superficie de 0.5% del área de este geosistema. La distribución de la actividad forestal es de carácter extensivo, mientras que la actividad pecuaria es de baja intensidad.

Por su parte, las geofacies de origen antrópico (Tabla 20) (Figura 41 y 42), son las que mayor superficie tienen dentro de los lomeríos bajos de Tepotzotlán. Dada su extensión el Cultivo de temporal (Clave: 10) abarca un área de 8% de este geosistema, seguido por los Asentamientos humanos concentrados (Clave: 4) y por los Pastizales inducidos y cultivados (Clave: 60) con superficies de 1 y 0.4% del total respectivamente. La actividad agrícola en estas geofacies es de carácter intensivo, así como la actividad pecuaria de carácter extensivo y están asociadas a la distribución concentrada de los asentamientos humanos. Cabe destacar que dentro de este geosistema paisajístico, se localiza la presa La Concepción (al SW de la Sierra de Tepotzotlán), la cual es un atractivo turístico del Municipio de Tepotzotlán.

Tabla 20. Paisajes del Geosistema de los lomeríos bajos de Tepotzotlán. En la primera columna se indican las claves de referencia de las categorías del paisaje del mapa de paisajes (Figura 21).

Clave	No. Poligono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
4	2	1.1	Asentamientos humanos concentrados de los lomeríos bajos
10	4	7.8	Cultivos de temporal de los lomeríos bajos
52	3	0.5	Chaparrales con pastos de los lomeríos bajos
60	4	0.4	Pastizales inducidos y cultivados de los lomeríos bajos
Total	13	9.8	



Figura 40. Geofacies de Chaparral con pastos y Geofacies del Cultivo de temporal de los lomeríos bajos de la Sierra de Tepotzotlán. Vista panorámica desde los lomeríos bajos (erosionados) de Monte Alto: en primer plano los lomeríos bajos de Tepotzotlán y en segundo plano las laderas de montaña de Tepotzotlán.



Figura 41. Geofacies del Cultivo de temporal de los lomeríos bajos de la Sierra de Tepotzotlán. En primer plano se observa a una parcela dedicada a la agricultura (Monte Alto) y al fondo las laderas de montaña de Tepotzotlán.



Figura 42. Geofacies de los Asentamientos humanos concentrados de los lomeríos bajos de la Sierra de Tepotzotlán. Calle típica de la Cabecera Municipal de Tepotzotlán.

3.3 Planicie Aluvial

Planicie aluvial

Los paisajes de este geosistema, son de origen acumulativo los materiales aluviales y detríticos del acarreo fluvial principalmente de los ríos: Río Hondo de Tepotzotlán, Río la Presa, Río San Pablo y Río de Cuautitlán. El modelado Cuaternario de esta área estuvo condicionado por la gran antigüedad y por el alto grado de alteración y trituración de la roca aflorante. Además de los procesos de arroyada que son comunes en toda esta área, los fenómenos gravitacionales, por desprendimiento y caída de partículas sueltas, han sido determinantes para su conformación actual.

Dadas estas características, las geofacies naturales (Tabla 21) de la planicie aluvial son apenas representativas, debido a la poca disponibilidad de superficie que deja el ser humano. De acuerdo por su extensión los Chaparrales con pastos (Clave en mapa: PA51) abarcan un área de 0.3% y seguido por los Bosques de Encinos (Clave: PA50) con un área que representa el 0.01% (Figura 43). La distribución de la actividad forestal es tanto extensiva como dispersa, aunado a esto los bosques en estas áreas no pueden brindar servicios ambientales ni protección al suelo. Esto sugiere que, en un futuro las geofacies naturales se transformen en geofacies urbanas., La Piedad (al E de la Cabecera Municipal de Nicolás Romero) y la presa Guadalupe (al E y SE del

área urbana de Nicolás Romero). La Presa Concepción así como La Guadalupe son los dos cuerpos de agua más representativos del área de estudio, por su considerable dimensión (2 km c/u aprox.) y su función ambiental, como captadoras de agua para el consumo humano y la agricultura de riego que se ejerce en esta planicie aluvial.

Por lo que concierne a los paisajes de origen antrópico (Tabla 21), son los que mayor superficie abarcan en la planicie aluvial, ya que las características físicas del área permiten el desarrollo de estos paisajes. De acuerdo a su extensión el Cultivo de temporal (Clave: PA9 y PA13) abarca una superficie de 10% de esta unidad, seguido por el Cultivo de riego (Clave: PA8) (9%). Mientras que los Asentamientos humanos (Clave: PA1, PA2 y PA5) suman un área de 4% de las planicies aluviales y por último los Pastizales inducidos y cultivados (Clave: PA 57) abarcando una superficie de 0.2% (Figura 43 y 44). La actividad agrícola en estos paisajes es de carácter intensivo y está asociada a la distribución dispersa y concentrada de los asentamientos humanos.

Tabla 21. Paisajes del Geosistema de la planicie aluvial. En la primera columna se indican las claves de referencia de las categorías del paisaje del mapa de paisajes (Figura 21).

Clave	No. Polígono	Área (km ²)	Geofacies del Paisaje
PA1	1	0.2	Antrópicos dispersos de la planicie aluvial
PA2	5	2.2	Antrópicos dispersos de la planicie aluvial
PA5	10	1.7	Antrópicos concentrados de la planicie aluvial
PA8	4	9.2	Cultivos de riego de la planicie aluvial
PA9	14	9.3	Cultivos de temporal de la planicie aluvial
PA13	1	0.5	Cultivos de temporal de la planicie aluvial
PA50	1	0.0	Bosques de encinos con chaparral de la planicie aluvial
PA51	3	0.3	Chaparrales con pastos de la planicie aluvial
PA57	2	0.2	Pastizales inducidos y cultivados de la planicie aluvial
Total	41	23.8	



Figura 43. Paisajes del Cultivo de riego de la planicie aluvial. Vista desde el N la Presa La



Figura 44. Paisajes de los Pastizales inducidos y cultivados de la planicie aluvial. Este tipo de paisajes son aptos para la

4 CONTROL GEOMORFOLÓGICO

El estudio de las formas del terreno tiene una particular importancia a la hora de realizar un estudio del medio físico, lo cual es importante por la influencia que pueda tener para inventariar a otros elementos y procesos, ya sea con fines de paisaje, ordenación territorial o académicos.

La influencia que la geomorfología tiene sobre otros elementos del medio natural se debe al alto grado de homogeneidad litológica, topográfica y de procesos activos existentes dentro de una forma del terreno. Esa homogeneidad resulta en unos límites morfológicos que frecuentemente reflejan otras propiedades físicas, químicas y condiciones ecológicas, tales como el régimen hidrológico, propiedades del suelo, vegetación e incluso usos del suelo o condiciones microclimáticas.

Por lo que respecta al paisaje, este se amplía y diversifica por dos vías: la extensión del territorio observado y la calidad de la observación. Ello lleva a la utilización del término “paisaje” a escalas y objetos muy diferentes; desde espacios muy reducidos, como un pequeño jardín, hasta amplias regiones como toda una comarca; así como desde valores estéticos, como los recogidos en un cuadro, a propiedades científicas y técnicas como las reflejadas en un mapa. Lo más fácilmente perceptible es la diversidad de rocas (formas, color, estructura, etc.) como un elemento directamente visible e individualizable en el paisaje. Pero además, los tipos de rocas que componen un territorio, su distribución y los procesos geológicos más recientes que las han afectado son las causas de su relieve. Y este relieve es el escenario que sustenta la cubierta vegetal y sobre el que se desarrollan las actividades humanas. Por ello, todo paisaje tiene un componente geológico siempre presente. Su importancia varía desde un acusado protagonismo, como en el caso de los paisajes montañosos con crestas y escarpes rocosos, a una leve participación, como en el caso de los paisajes de llanuras agrícolas (García-Hidalgo, *et al.*, 2008)

Dadas estas características generales, tanto de la geomorfología como del paisaje, en este capítulo el área de estudio se dividió en cinco grandes unidades paisajísticas: Montaña de Monte Alto, Piedemonte, Montaña de Tepetzotlán, Piedemonte de Tepetzotlán y Planicie Aluvial. Cada una de ellas

engloba un patrón geomorfológico y sus paisajes internos. Para su análisis se correlacionaron cinco atributos del relieve (geología, altimetría, pendientes, energía del relieve y exposición de laderas) y siete indicadores de la condición o estado de los paisajes (Riqueza paisajística, Fragmentación del paisaje, Superficie conservada, Fragmentación forestal, Superficie forestal más susceptible al impacto humano, Superficie dedicada a la actividad agrícola y Superficie antrópica), estas correlaciones se hicieron por medio del método de Pearson. Cabe mencionar que estos datos se escogieron de un sinfín de posibilidades que da el área estudiada, sin embargo, debido a lo que se observó en campo y con los datos de gabinete, resultó indispensable resaltar estos aspectos de la estructura y composición actual del paisaje. Asimismo los resultados de estas correlaciones se clasificaron en ocho categorías (Tabla 22), con el fin de demostrar los distintos comportamientos de los indicadores considerados.

Tabla 22. Clasificación de las correlaciones positivas y negativas.

CLASIFICACIÓN DE LAS CORRELACIONES

CORRELACIÓN POSITIVA	CORRELACIÓN NEGATIVA
Hay correlación (1)	Hay correlación (-1)
Fuerte correlación (1 a .7)	Fuerte correlación (-1 a -.7)
Baja correlación (.7 a .5)	Baja correlación (-.7 a -.5)
No hay correlación (.5 a 0)	No hay correlación (-.5 a 0)

4.1 Riqueza paisajística

Este indicador evalúa la riqueza paisajística a partir del número de categorías del paisaje que existen en los diversos ámbitos analizados, es decir, cuantos más tipos de unidades haya, mayor será la riqueza paisajística. Los resultados de esta correlación (Tabla 23) (Figura 45) muestran que la riqueza paisajística tiene una fuerte correlación positiva con la geología, principalmente en las áreas de taludes de toba, siendo los conos del Cuaternario la unidad geológica que obtuvo la mayor correlación negativa. Por otra parte, la riqueza paisajística tiene baja correlación negativa con las altitud, sobre todo en los sectores

ubicados sobre 2800 msnm, al tiempo que es inversamente proporcional a las pendientes entre 16° y más de 45°, y con menor claridad a las pendientes entre 7 a 15°. Por lo que concierne a la correlación entre la riqueza paisajística y la energía del relieve, tiende a ser baja y negativa en los valores bajos de energía del relieve (que van de 16 a 30m), aunque se incrementa de manera negativa en las laderas con energía del relieve de 30 m, sugiriendo que la disección del terreno es un factor que limita las actividades del hombre y la diversidad de paisajes culturales. Una situación similar se observa en la correlación entre la riqueza paisajística y la exposición de laderas.

Tabla 23. Correlación de la riqueza paisajística con variables del relieve.

	Qc	Qcd	TpT	QcdT	LT	T	TQt	Qal
Geología	-0.710	-0.571	-0.294	-0.312	-0.386	-0.363	0.785	0.542
Altimetría	Menos de 2400	2400 a 2600	2600 a 2800	2800 a 3000	3000 a 3200	3200 a 3400	3400 a 3600	Más de 3600
	-0.183	-0.474	-0.459	-0.675	-0.693	-0.558	-0.524	-0.520
Pendientes	0 a 3	4 a 6	7 a 15	16 a 30	31 a 45	Más de 46		
	-0.178	-0.404	-0.567	-0.757	-0.840	-0.887		
Energía Rel.	0 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	Más de 31	
	0.179	-0.316	-0.414	-0.505	-0.568	-0.686	-0.798	
Exposición Lad.	0 a 90	91 a 315	316 a 360					
	-0.556	-0.520	-0.524					

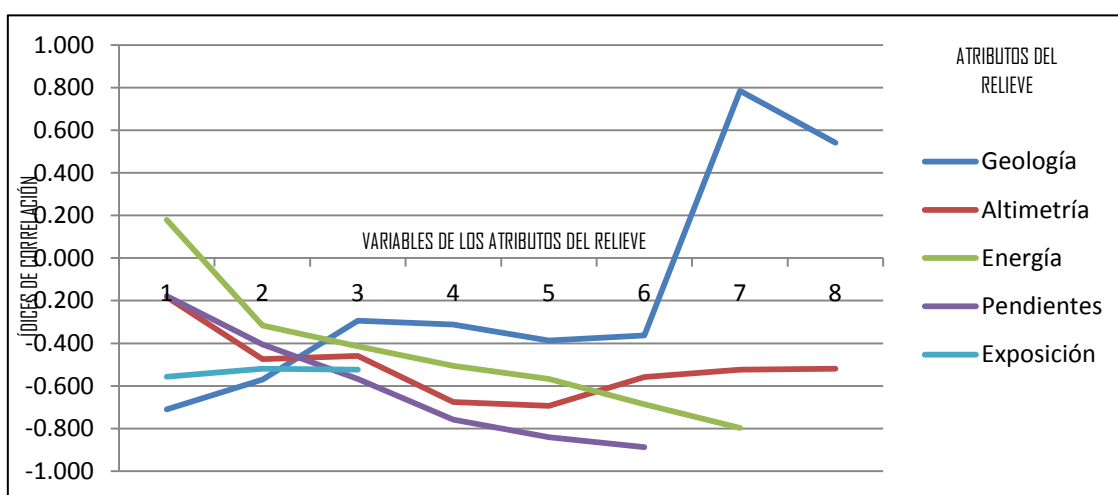


Figura 45. Correlación de la riqueza paisajística con atributos del relieve. La regla del centro está asociada a las variables de cada atributo del relieve de la Tabla 23.

4.2 Fragmentación del paisaje

Este indicador evalúa el número de fragmentos del paisaje que están en el interior de cada unidad de análisis, bajo el entendido que la fragmentación es una condición espacial de las áreas naturales que han sido intervenidas por el ser humano. Los resultados (Tabla 24) (Figura 46) muestran que la fragmentación del paisaje tiene una fuerte correlación positiva con los materiales de la formación Tarango, es decir, con los relieves propios del piedemonte de la Sierra de Monte Alto. Como es de esperar la correlación entre la fragmentación del paisaje y la altitud también fue alta y positiva, sobre todo en el caso de los rangos de altitud por debajo de los 3000 msnm. De igual forma, la fragmentación del paisaje evidencia tener correlaciones positivas altas con la pendiente del terreno y con la energía del relieve, principalmente con sus valores medios altos, lo que sugiere un fuerte control de la disección fluvial y en particular de la evolución de valles encajados durante el Cuaternario sobre la distribución de los paisajes fragmentados en el área. Por último, la correlación entre la fragmentación del paisaje y la exposición de laderas es fuerte sólo en el caso de laderas orientadas al NE y E (0 a 90°).

Tabla 24. Correlación de la fragmentación del paisaje con variables del relieve.

	Qc	Qcd	TpT	QcdT	LT	T	TQt	Qal
Geología	0.415	-0.070	-0.325	-0.362	0.995	0.995	-0.323	-0.082
Altimetría	Menos de 2400	2400 a 2600	2600 a 2800	2800 a 3000	3000 a 3200	3200 a 3400	3400 a 3600	Más de 3600
	0.968	0.955	0.985	0.851	0.309	-0.100	-0.170	-0.179
Pendientes	0 a 3	4 a 6	7 a 15	16 a 30	31 a 45	Más de 46		
	0.957	0.993	0.964	0.859	0.768	0.689		
Energía Rel.	0 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	Más de 31	
	0.632	0.997	0.992	0.979	0.964	0.914	0.814	
Exposición Lad.	0 a 90	91 a 315	316 a 360					
	0.963	0.485	0.154					

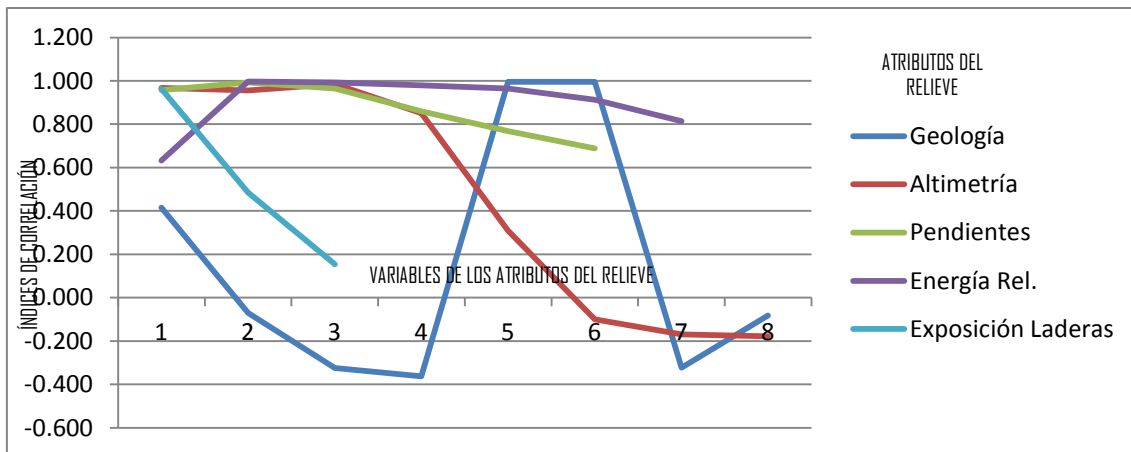


Figura 46. Correlación de la fragmentación del paisaje con variables del relieve. La regla del centro está asociada a las variables de cada atributo del relieve de la Tabla 24.

4.3 Superficie conservada

Este indicador mide la proporción de una superficie total de análisis que está ocupada por categorías del paisaje exclusivamente forestal, mismas que sugieren un escaso grado de transformación por efecto de las actividades del ser humano. Los resultados muestran (Tabla 25) (Figura 47) una baja correlación positiva de la superficie conservada en relación con la geología, principalmente en los conos y domos del Cuaternario, así como en domos del Terciario, también se observa una baja correlación negativa en las tobas retrabajadas y en los depósitos aluviales del Cuaternario. Por otra parte, la superficie conservada con respecto a la altimetría tiene una baja correlación positiva, principalmente sobre los 3000 msnm y en ocasiones llega a sobrepasar los 3600 msnm. Esto sugiere que, según se incrementa la altitud, la superficie conservada podría ser mayor en las áreas de laderas de montaña. Mientras que la superficie conservada en relación con la pendiente del área de estudio, su correlación es baja positiva, especialmente en pendientes que van de 31 a más de 46°, demostrando que en inclinaciones más fuertes del terreno puede haber una asociación a la superficie conservada. Por su parte, la superficie conservada tiene una reciprocidad descendiente con la disección del terreno, principalmente en valores bajos. Por último, la superficie conservada en relación con la exposición de laderas es nula, ya que los valores no son análogos para que se considere un paralelismo.

Tabla 25. Correlación de la superficie conservada con variables del relieve.

	Qc	Qcd	TpT	QcdT	LT	T	TQt	Qal
Geología	0.5316	0.5832	0.5109	0.5415	-0.0065	-0.0309	-0.6418	-0.6138
Altimetría	Menos de 2400	2400 a 2600	2600 a 2800	2800 a 3000	3000 a 3200	3200 a 3400	3400 a 3600	Más de 3600
	-0.216	0.115	0.077	0.335	0.556	0.582	0.576	0.575
Pendientes	0 a 3	4 a 6	7 a 15	16 a 30	31 a 45	Más de 46		
	-0.239	0.014	0.195	0.433	0.555	0.663		
Energía Rel.	0 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	Más de 31	
	-0.514	-0.082	0.025	0.126	0.198	0.339	0.491	
Exposición Lad.	0 a 90	91 a 315	316 a 360					
	0.170	0.141	0.135					

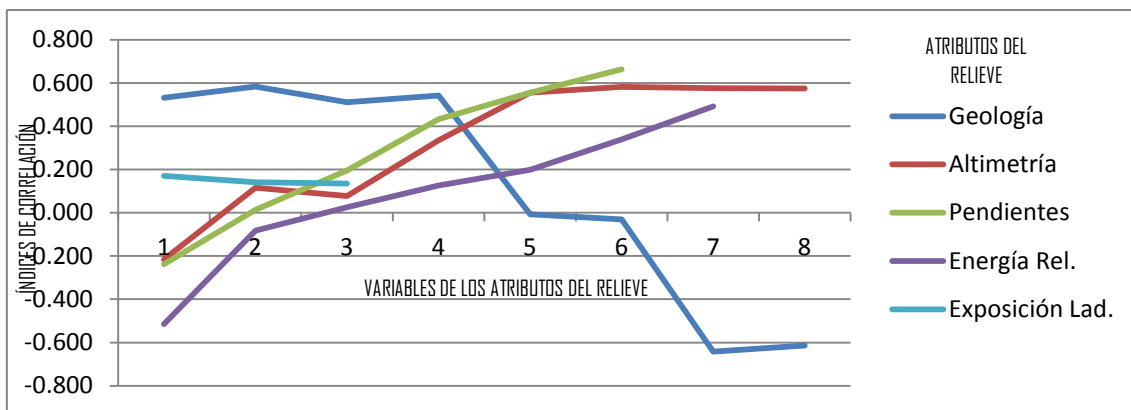


Figura 47. Correlación de la superficie conservada con variables del relieve. La regla del centro está asociada a las variables de cada atributo del relieve de la Tabla 25.

4.4 Fragmentación forestal

Este indicador contabiliza el número de fragmentos de cada paisaje forestal que están en el interior de cada unidad paisajística, considerando que entre más polígonos haya de una categoría de paisaje forestal mayor será su fragmentación. Los resultados muestran (Tabla 26) (Figura 48) que la fragmentación forestal respecto a la geología posee una fuerte correlación positiva a los materiales de la Formación Tarango. Por su parte, esta fragmentación forestal referida a la altimetría coexiste una fuerte correlación con los valores que se encuentran por debajo de los 3000 msnm. Por otro lado, la correlación positiva que se da entre la fragmentación forestal y la pendiente es fuerte, indicando que la inclinación del terreno es recíproca a los fragmentos

forestales del área de estudio. En cuanto a la fragmentación forestal que corresponde a la energía del relieve, se observa una fuerte correlación positiva a partir de los 6 m y una correlación positiva perfecta entre 16 a 20 m, mostrando que los fragmentos forestales se distribuyen de acuerdo a la disección del terreno. Por último la fragmentación forestal y la exposición de laderas tienen una fuerte correlación positiva entre sí.

Tabla 26. Correlación de la fragmentación forestal con variables del relieve.

	Qc	Qcd	TpT	QcdT	LT	T	TQt	Qal
Geología	0.489	0.013	-0.193	-0.228	0.991	0.986	-0.396	-0.256
Altimetría	Menos de 2400	2400 a 2600	2600 a 2800	2800 a 3000	3000 a 3200	3200 a 3400	3400 a 3600	Más de 3600
	0.917	0.980	0.997	0.898	0.387	-0.017	-0.087	-0.096
Pendientes	0 a 3	4 a 6	7 a 15	16 a 30	31 a 45	Más de 46		
	0.887	0.993	0.997	0.932	0.862	0.816		
Energía Rel.	0 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	Más de 31	
	0.484	0.978	0.995	1.000	0.997	0.971	0.897	
Exposición Lad.	Lad. 0 a 90	91 a 315	316 a 360					
	0.981	0.998	0.984					

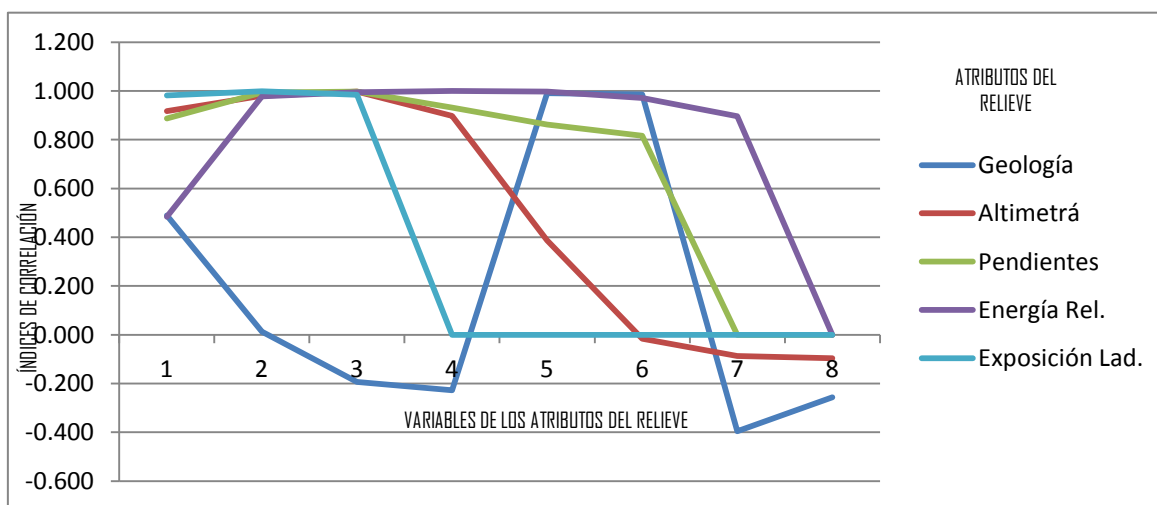


Figura 48. Correlación de la fragmentación forestal con variables del relieve. La regla del centro está asociada a las variables de cada atributo del relieve de la Tabla 26.

4.5 Superficie forestal más susceptible al impacto humano

Este indicador mide la susceptibilidad de la superficie forestal respecto al impacto humano, es decir, que tanta correlación existe entre la figura antrópica y las áreas forestales más sensibles a la perturbación. Los resultados (Tabla

27) (Figura 49) exponen que esta susceptibilidad respecto a la geología se presenta en conos del Cuaternario de la Sierra de Tepetzotlán, lo cual se ve reflejado en la pérdida de paisajes naturales que cubrían a esta sierra, mismos que han sido remplazados por paisajes de origen antrópico. Por otra parte, este indicador no tuvo ninguna otra correlación con alguno de los atributos del relieve. Sin embargo, estos datos no correlacionados muestran que en el área de estudio, la dinámica antrópica sobre los paisajes forestales es variable, es decir, que si aumentan las necesidades humanas mayor será la pérdida de superficie forestal. Esto se debe a que la población urbana se incrementa muy rápidamente y que la disputa del terreno sea de mayor demanda cada día. No obstante, dentro del área de estudio aún quedan grandes fragmentos forestales que de alguna forma los mismos pobladores cuidan, ya que es su fuente de trabajo al enfocarlos a actividades ecoturísticas.

Tabla 27. Correlación de la superficie forestal más susceptible al impacto humano con variables del relieve.

	Qc	Qcd	TpT	QcdT	LT	T	TQt	Qal
Geología	-0.376	-0.346	0.991	0.986	-0.122	-0.114	-0.308	-0.339
Altimetría	Menos de 2400	2400 a 2600	2600 a 2800	2800 a 3000	3000 a 3200	3200 a 3400	3400 a 3600	Más de 3600
	-0.131	0.093	-0.053	-0.250	-0.378	-0.342	-0.329	-0.328
Pendientes	0 a 3	4 a 6	7 a 15	16 a 30	31 a 45	Más de 46		
	-0.257	-0.143	-0.058	-0.029	0.003	0.359		
Energía Rel.	0 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	Más de 31	
	-0.358	-0.182	-0.120	-0.063	-0.038	-0.024	-0.034	
Exposición Lad.	0 a 90	91 a 315	316 a 360					
	-0.178	-0.046	-0.198					

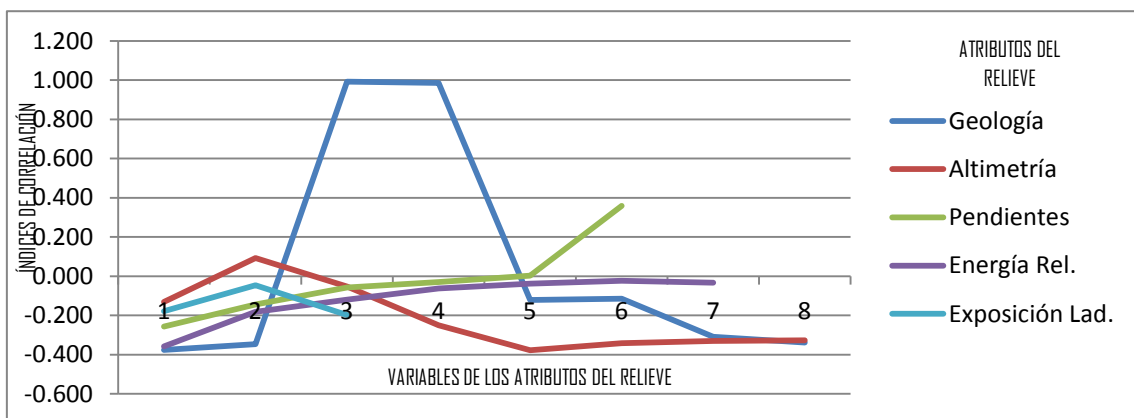


Figura 49. Correlación de la superficie más susceptible al impacto humano con variables del relieve. La regla del centro está asociada a las variables de cada atributo del relieve de la Tabla 27.

4.6 Superficie dedicada a la actividad agrícola

Este indicador mide la superficie ocupada por la actividad agrícola, mediante la contabilización de fragmentos de agricultura de temporal así como agricultura de riego dentro del área de estudio. Los resultados (Tabla 28) (Figura 50) ostentan que la superficie agrícola referente a la geología tiene una correlación positiva fuerte y positiva baja en las áreas de tobas re TRABAJADAS y depósitos aluviales del Cuaternario, mientras que hay una correlación baja negativa en áreas de conos del Cuaternario. Por lo que respecta a la afinidad entre la superficie agrícola y la altimetría, su correlación es baja negativa, principalmente arriba de 2800 msnm, indicando que entre más altitud alcance el terreno la agricultura va a concurrir moderadamente. Por su parte, la superficie agrícola referente a la pendiente tiene una fuerte correlación negativa a partir de 31° de inclinación, mientras que la correlación baja negativa se presenta en pendientes que van de 16 a 30°. Por lo que concierne a la energía del relieve en concordancia con la superficie agrícola, la correlación que muestra es baja negativa sobre todo a partir de 26 m de disección. Mientras que, la superficie dedicada a la actividad agrícola respecto a la exposición de laderas no existe ninguna correlación, mostrando que la actividad agrícola no necesariamente va a depender de la orientación de ladera, siempre y cuando tenga los recursos indispensables para poder subsistir.

Tabla 28. Correlación de la superficie dedicada a la actividad agrícola con variables del relieve.

	Qc	Qcd	TpT	QcdT	LT	T	TQt	Qal
Geología	-0.605	-0.556	-0.445	-0.469	-0.197	-0.174	0.736	0.588
Altimetría	Menos de 2400	2400 a 2600	2600 a 2800	2800 a 3000	3000 a 3200	3200 a 3400	3400 a 3600	Más de 3600
	0.008	-0.311	-0.278	-0.502	-0.607	-0.549	-0.529	-0.526
Pendientes	0 a 3	4 a 6	7 a 15	16 a 30	31 a 45	Más de 46		
	0.027	-0.215	-0.390	-0.604	-0.706	-0.800		
Energía Rel.	0 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	Más de 31	
	0.349	-0.122	-0.227	-0.326	-0.393	-0.522	-0.652	
Exposición de Lad.	0 a 90	91 a 315	316 a 360					
	-0.367	-0.341	-0.333					

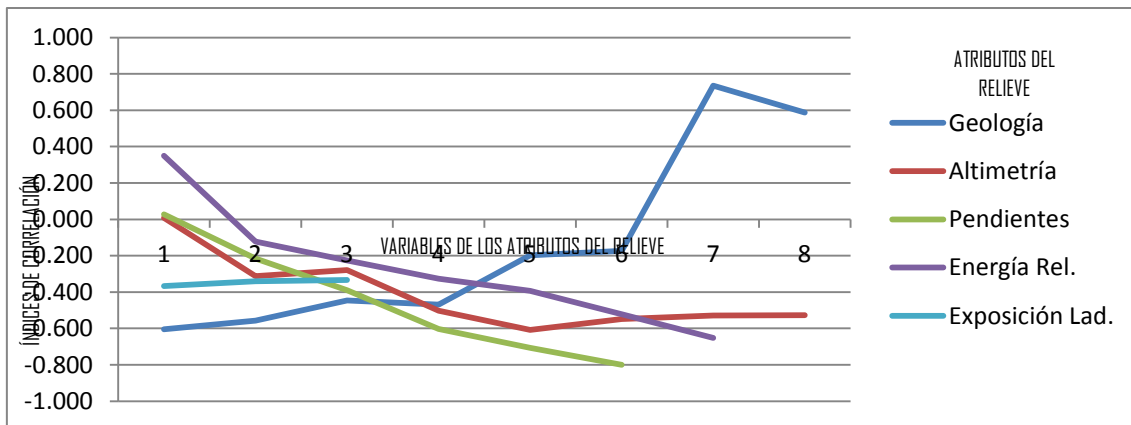


Figura 50. Correlación de la superficie dedicada a la actividad agrícola con variables del relieve. La regla del centro está asociada a las variables de cada atributo del relieve de la Tabla 28.

4.7 Superficie antrópica

Este indicador mide el número de polígonos con asentamientos humanos, tanto dispersos como concentrados dentro del área de estudio. Los datos que arrojo este indicador son los siguientes (Tabla 29) (Figura 51): Por lo que corresponde a la superficie antrópica en relación a la geología, la correlación es baja positiva principalmente en lavas y tobas, en la Formación Tarango y en tobas retrabajadas, mientras que la correlación baja negativa esta en los domos del Cuaternario de la Sierra de Tepetzotlán. Por su parte, la superficie antrópica respecto a la altimetría, la correlación es baja positiva en valores que están por debajo de 2800 msnm, tanto que la correlación baja negativa se da arriba de 3400 msnm, es decir, que va a existir una analogía baja entre los asentamientos humanos y la altitud tanto positiva como negativa, principalmente entre los valores altimétricos bajos y altos. Por lo que concierne a la superficie antrópica referida a la pendiente, hay una correlación baja positiva en sitios que presenten menos de 6° sugiriendo que, las pendientes suaves son aptas para los asentamientos humanos. Por otra parte, la superficie antrópica referente a la energía del relieve, existe una correlación baja positiva, principalmente entre los valores de 6 a 20 m. Por último, entre la superficie antrópica y la exposición de laderas, no presenta una correlación, así, la orientación de las laderas no van a influir en la distribución de los asentamientos humanos.

Tabla 29. Correlación de la superficie antrópica con variables del relieve.

	Qc	Qcd	Top	QcdT	LT	T	TQt	Qal
Geología	-0.137	-0.473	-0.457	-0.512	0.614	0.628	0.512	0.007
Altimetría	Menos de 2400	2400 a 2600	2600 a 2800	2800 a 3000	3000 a 3200	3200 a 3400	3400 a 3600	Más de 3600
	0.679	0.521	0.555	0.279	-0.220	-0.489	-0.528	-0.533
Pendientes	0 a 3	4 a 6	7 a 15	16 a 30	31 a 45	Más de 46		
	0.618	0.613	0.463	0.232	0.093	-0.006		
Energía Rel.	0 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 25	26 a 30	Más de 31	
	0.438	0.670	0.602	0.520	0.460	0.332	0.163	
Exposición Lad.	0 a 90	91 a 315	316 a 360					
	0.442	0.496	0.480					

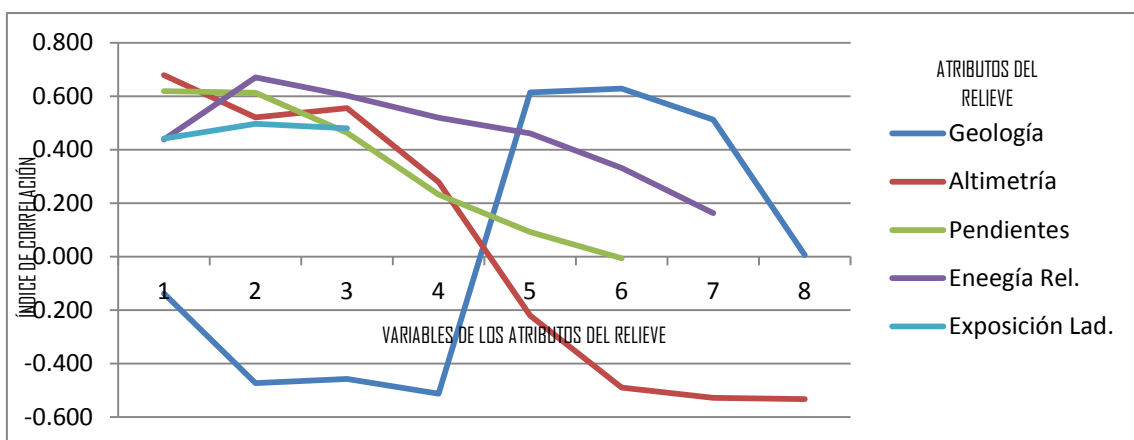


Figura 51. Correlación de la superficie antrópica con variables del relieve. La regla del centro está asociada a las variables de cada atributo del relieve de la Tabla 29.

CONCLUSIONES

1.- El relieve que forma parte de los paisajes de la Cuenca alta del Río Cuautitlán, es de edad Mio – Pleistocénica y en su morfología actual se distinguen cinco unidades: a) las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto (vulcanoclastos), b) el piedemonte de la Sierra de Monte Alto (principalmente piroclastos), c) las laderas de montaña de la Sierra de Tepetzotlán (andesitas y tobas), d) el piedemonte de la Sierra de Tepetzotlán (tobas retrabajadas) y e) la planicie aluvial (depósitos aluviales). El origen de estas unidades geomorfológicas comprende ciclos alternados de actividad volcánica y erosiva, cuyos procesos de denudación y acumulación exógena han determinado la evolución en el último periodo geológico. De acuerdo al diagnóstico, la distribución de los paisajes en el área de estudio en buena medida van a estar asociados a un tipo de litología y relieve, es decir, los paisajes forestales se van a desarrollar sobre una roca volcánica y en relieves escarpados de difícil acceso para el ser humano, mientras que los paisajes de origen antrópico se van a presentar sobre piroclastos y depósitos aluviales en un relieve de lomerío y/o plano.

2.- En lo que respecta a la vegetación y el uso del suelo, este último tiene una considerable diversidad, que no obstante varía dependiendo de los patrones de uso que caracterizan a las diversas unidades geomorfológicas. El patrón de uso del suelo de tipo forestal es el más representativo en las laderas de montaña de ambas sierras (3200 – 3800 msnm), mientras que en los piedemontes (2400 a ± 3200) son los patrones de uso del suelo agrícola de temporal y pecuario. Por su parte, la planicie aluvial (< 2400 msnm) se distingue por un patrón de uso dominado por los aprovechamientos agrícolas de riego y urbano. Por otra parte, la vegetación del área de estudio se distribuye según un patrón altitudinal en “pisos” controlados por la organización geomorfológica de la cuenca. La vegetación que predomina en las laderas de montaña de la Sierra de Monte Alto es de bosque de coníferas y latifoliadas (> 2700 msnm), mientras que en las laderas de montaña de la Sierra de Tepetzotlán es de bosque de encino y chaparral (< 3000 msnm). La vegetación de los piedemontes en ambas sierras también es contraste, siendo de bosque

de encinos en la Sierra de Monte Alto y de chaparral en la Sierra de Tepetzotlán. En la Planicie Aluvial la vegetación natural ha sido prácticamente eliminada, siendo los pastizales inducidos el tipo de vegetación predominante.

3.- Desde el punto de vista de la organización del paisaje, el piedemonte de la Sierra de Monte Alto fue la unidad geomorfológica más compleja (diversa y heterogénea), lo cual se explica por su posición intermedia entre los patrones de uso del suelo forestales que caracterizan a las laderas de montaña, y los patrones de uso del suelo urbano de la base de la sierra, siendo el piedemonte la unidad con mayor desarrollo de los patrones de uso del suelo agrícola de temporal. Con esto es posible definir una tendencia espacial y temporal en la evolución de los paisajes, los cuales tienden a cambiar de forestales a agrícolas y urbanos, esto desde los sectores altos hacia la base de la sierra, aunque temporalmente el proceso de cambio avanza en sentido contrario. En relación a esto, lo que se podría esperar como un posible escenario a futuro es que la Cuenca alta del Río Cuautitlán (en particular su piedemonte), este cada vez más dominada por la expansión de los paisajes urbanos y por la reducción de la superficie ocupada por los paisajes forestales e incluso agrícolas.

Sin embargo, la inaccesibilidad que caracteriza a las laderas de montaña es un factor principal en términos de conservación, ordenamiento territorial, cambio de uso de suelo, restauración, aprovechamiento y cuantificación de recursos de los paisajes forestales de la Cuenca alta del Río Cuautitlán, ante lo cual, se propone el catálogo de paisajes que se presentan en este trabajo, como un material antecedente de apoyo para tales fines.

4.- Como se esperaba, los resultados mostraron que los indicadores del paisaje que mayor correlación positiva tuvieron con los atributos del relieve fueron el de la fragmentación del paisaje y el de la fragmentación forestal. Esto comprueba que entre mayor sea la fragmentación (del paisaje y forestal), tendrán una mayor analogía con los atributos del relieve. Por otra parte, los indicadores del paisaje que mejor reflejan la correlación negativa con los atributos del relieve son la riqueza paisajística y la superficie dedicada a la actividad agrícola, ya que estos dos indicadores tienen una dinámica acelerada, mientras que los atributos del relieve tienen una dinámica más

pasiva. Mientras que el atributo del relieve que mayor correlación positiva tuvo con cada indicador del paisaje fue la geología. Este resultado es el que se esperaba, ya que este atributo del relieve es el que no va a tener un cambio significativo y puede tener una alta analogía con los distintos indicadores que se analizaron. Por otro lado, el atributo del relieve que tuvo una alta correlación negativa fue la altimetría. Esto demuestra que, según el rango altitudinal los indicadores del paisaje pueden o no tener una correlación con este atributo del relieve. En concreto, por medio del control geomorfológico se puede sustentar la información que permita medir la conservación y/o perturbación de los paisajes de la Cuenca alta del Río Cuautitlán. Además de que, de todos los elementos con los cuales se estudia el paisaje, el relieve es el más estable de todos ellos. Por consiguiente, se sugiere que para trabajos posteriores se considere al relieve como un elemento fundamental para el estudio del paisaje.

REFERENCIAS

- Aguiló, A., Aramburú, M., Blanco, A., Calatayud, T., Carrasco, R., Castilla, G., Castillo, V., Ceñal, M., Cifuentes, P., Díaz, A., Escribano, R., Escribano, M., Frutos, M., Galiana, F., García, A., Gonzales, S., Gonzales, C., Iglesias del Pozo, E., Martín, A., Martínez, E., Milara, R., Monzón, A., Oretaga, C., Otero, I., Pedraza, J., Pinedo, A., Puig, J., Ramos, A., Rodríguez, I., Sanz, M., Tevar, G., Torrecilla, I., Yoldi, L., (1995), "*Guía para el desarrollo de estudios del medio físico*". Secretaría de Estado del Medio Ambiente y Vivienda. Madrid, España. 809 p.
- Arler, F., (2000), "*Aspects to landscape or nature quality*". *Landscape Ecol.* 15: 29 -312.
- Arnol, R., H., (1997), "*Land use and land cover mapping. In interpretation of airphotos and remotely sensed imagery*". Prentice Hall, New Jersey, USA. Pp. 36 – 43.
- Bastian, O., y M. Röder, (1998), "*Assessment of landscape change by land evaluation of past and present situation*", *Landscape and Urban Planning* 41: 171-182.
- Beroutchachvili, N. y J., L., Mathieu, (1977), "*L'étologie des géosystèmes*". *L'Espace Géographique*, 2: 73 – 84.
- Bertrand, G., (1968). "*La géographie physique contre nature*". *Herodote*, Núm. 12, 77-96 pp.
- Campbell, J., B., (1996), "*Introduction to remote sensing*". Guilford. New York, USA. 622 pp.
- Cedillo, A.O., Rivas, S.M. y Rodríguez, C.F. (2007), "*El área natural protegida sujeta a conservación ecológica, Sierra de Guadalupe*", *Revista Sistemas Ambientales*, No. 1, Vol. 1, p. 1-14.
- Christian, C.S., (1958), "*The concept of land units and land systems*". *Proceedings of 9 th Pacific Science Congress*, pp. 74-81.
- Chuvieco, S., E., (2002), "*Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*". Ariel Ciencia. Barcelona, España. 586 pp.
- Cortés, A. Jaimes, L. Forvolden, R. (1989). "*Hidrología isotópica de la influencia de una tormenta en la descarga natural del agua subterránea en la Sierra de Monte Alto*", *Geo. Int.* Vol. 28–2, 1989, pp. 435–449.
- Cruz C., R. (1969). "*Contribución al conocimiento de la ecología de los pastizales en el Valle de México*". Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, D.F., 235 pp.
- Díaz, J. Hernández, J. Reyes, R. Sánchez, M. Quisbert, E., (2002), "*Dinámica del relieve en la sierra de trinidad, Cuba central*", *Revista Internacional de Ciencias de la*

Tierra, No. 79. Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba.

- Dirzo, R., García, M., (1992), "*Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical area in southeast Mexico*". Conservation Biology, 6: 84-90.
- Drdos, J., (1992), "*On the carrying capacity of environmente*". Geografía y Desarrollo, núm. 3/7, Revista del Colegio de Geógrafos Posgraduados, A.C., México, pp. 19-24.
- Echeverría-Arnedo, M.T., (1997), "*Cartografía geomorfológica temática y aplicada*". En Peña Monné J.L. (Ed). Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. Geoforma Ediciones, 227 p.
- Enciso, J., L., (1990), "*La fotointerpretación como instrumento de apoyo a la investigación urbana*". Universidad Autónoma Metropolitana, México. 47 pp.
- Farina, A., (1998), "*Principles and methods in lanscape ecology*". Chapman & Hall, London, UK.
- Flores M., G., J. Jiménez L., X. Madrigal S., F. Moncayo R. y F. Takaki T. (1971). "*Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana*". Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D.F., 59 pp.
- Forman, R.T.T., (1995), "*Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions*". Cambridge University Press, Nueva York.
- Forman, R., T., T., y Godron. ., (1986), "*Landscape ecology*". John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 619 pp.
- Galicia, L., García, R., A., Gómez, M., L., Ramírez, M., I., (2007), "*Cambio de uso de suelo y degradación ambiental*". Ciencia. 50 – 59 pp.
- García, H., J., F., Martín, L., M., González, J., A., Aguilar, M., García, Q., A., (2008), "*Geología, hidrogeología y paisaje en el Parque Natural del barranco del Río Dulce. En: Geología de Guadalajara*". Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. Obras Colectivas Ciencias 03. 269 – 290 pp.
- García, P., A., Zamorano, J., .J, López, .M., C., Galván, G., A., Carlos, V., V., Ortega, R. y Macías, J., .L., (2008), "*El arreglo morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México Central*". Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 25, pp. 158 – 178.
- García, R., A. (1993). "*Análisis Geomorfológico de la distribución de riesgos naturales en la Delegación Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal*". UNAM, México, D.F., pp. 44–136.
- García, R., A. (1996). "*Análisis geomorfológico de la susceptibilidad a la erosión. Estudio de caso: curso medio del río Jarama*".

- García, R., A. (1998). “*Análisis integrado de paisajes en el occidente de la Cuenca de México (La vertiente oriental de la sierra de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo)*” Madrid, España.
- García, R., A., (2002), “*An evaluation of forest deterioration in the disturbed mountains of western México City*”. Mountain Res. Devel. 22: 270 – 277.
- García, R., A y Muñoz, J., (2002), “*El paisaje en el ámbito de la geografía*”. Temas selectos de Geografía de México. UNAM, México.
- Gragson, T., (1998), “*Potential versus actual vegetation: human behavior in a landscape medium*”. En Balée, W. (ed), Advances in historical Ecology, Columbia University, Nueva York, pp. 213-231.
- Hernán, F., Ángeles, R., Medina, A., Marines, R. y Urrutia, J. (2000), “*Estimación de las constantes elásticas del terreno en el área de Salazar, Estado de México, a través de exploración sísmica*”, Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado de México, Ciencia Ergo Sum, Vol. 7, No. 3.
- Huggett, R., (1995), “*Geoecology, an evolutionary approach*”, Routledge, Londres.
- INEGI, (1981), “*Carta de uso de suelo de la Cuenca de México, 1: 250 000*”. México.
- INEGI, (1983), “*Carta de uso de suelo y vegetación de Villa del Carbón, Estado de México, 1: 50 000*”. México.
- INEGI, (1986), “*Carta de uso de suelo y vegetación de Cuatitlán, Estado de México, 1: 50 000*”. México.
- INEGI, (2000), “*Cartas topográficas de Villa del Carbón y Cuatitlán, Estado de México, 1: 50 000*”. México.
- ITC (2001), “*Ilwis 3.0 Academic User’s Guide. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences*” (ITC), Enschede.
- Jensky, L., Ives, J., Foruyashuiki y Watanabe, T., (2002), “*Global mountain research for sustainable development*”. Global environment change, 12: 231-239.
- Kristensen, N., P., Gabic, A., Braddock, R., Cropp, R., (2003), “*Is maximizing resilience compatible with established ecological goal functions*”. Ecol, Model. 169: 61 – 71.
- Leopold, A.S., (1950). “*Vegetation zones of Mexico*”. Ecology 31:507-518 pp.
- López-Blanco, J., (2005), “*Sistemas de Información Geográfica en estudios de Geomorfología ambiental y recursos naturales*”. INAM. Facultad de Filosofía y Letras. Seminarios, 187 p.
- Lugo, J. (1988). “*Elementos de geomorfología aplicada (métodos cartográficos)*”. Instituto de Geografía, UNAM, México.

- Lugo, J. (1989). "*Diccionario geomorfológico*", UNAM, D.F.
- Mas, J., F., Ramirez, I., (1996), "*Comparison of land use classifications obtained by visual interpretation and digital processing*". ITC J. 3: 278 – 283.
- Masera, O., Ordóñez, M.J., Dirzo, R., (1997), "*Carbon emissions from mexican forests: current situation and long-term scenarios*". Climate Change, 24:256-295.
- Martínez, G., F., López, B., J., (2005), "*Caracterización de las unidades ambientales biofísicas del Glacís de Buenavista, Morelos, mediante la aplicación del enfoque geomorfológico morfogenético*". Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México. Núm. 58: 34 – 53 pp.
- Maus, P., (Ed.), (1996), "*Guidelines for the Use of Digital Imagery for Vegetation Mapping*". USDA, Washington, DC, USA. 125 pp.
- Mateo, J. M y Ortiz., (2001), "*La degradación de los paisajes como concepción teórico – metodológica, Serie Varia*". Nueva Época, núm, 1, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Mazzola, M., Kin, A., Morici, E., Babinec, F., Tamborini, G., (2008), "*Efecto del gradient altitudinal sobre la vegetación de las sierras de Lihue Catel (La Pampa, Argentina)*". Bol. Soc. Argent. Bot. 4 (1 – 2): 103 – 119 pp.
- Mooser, F. (1975). "*Historia geológica de la Cuenca de México*". Memorias de las obras del sistema de drenaje profundo. DDF, México.
- Mooser, F. (1996). "*Nuevo Mapa Geológico de las Cuencas de México, Toluca y Puebla*". Comisión Federal de Electricidad, México, D.F.
- Muñoz, J., (1981), "*Paisaje vivencia y paisaje objeto en los planteamientos integrados del análisis geográfico, en Bustos*". G., I Coloquio Ibérico de Geografía, Universidad de Salamanca, España, pp. 55-66.
- Muñoz. J., (1998), "*Paisaje y geosistema. Una aproximación desde la Geografía física*". Martínez de Pisón, E. (ed.), Paisaje y medio ambiente, Fundación Duques de Soria – Univ. De Valladolid, España, pp. 45-46.
- Núñez, R. (1990). "*Estudio Florístico de la Vertiente Oriental de la Sierra Alcaparrosa, en el Estado de México*", México.
- Palacio, P., J., L., (1983), "*Geomorfología de la región de Cuernavaca – Tenancingo – Ixtapa de la Sal, em los Estados de Morelos y México*". Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía UNAM. Núm. 13.
- Pimm, S. L ., (1999), "*The dynamics of the flows of matter and energy*". In J. McGlade, ed., Advanced Ecological Theory, Principles, and Applications. London,, UK: Blackwell Science.

- Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Nicolás Romero, Estado de México, 2005.
- Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Villa del Carbón, Estado de México, 2005-2010.
- Plan de Desarrollo Municipal de Tepetzotlán, Estado de México, 2009-2012.
- Ramírez, J., Hernández, H. y Rueda, G. (1983). "*Origen, tectónica y cronología volcánica de la Cuenca de México*", Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Vol. 35, No. 2.
- Regier, H., (1993), "*The notion of natural and cultural integrity*". En Woodley, S. et al., *Ecological integrity and the management of ecosystems*, St. Lucie Press, Florida.
- Richard, J.F. (1993), "*Le paysage. Analyse et synthèse*", ORSTOM, París.
- Rzedowski, J., (1988), "*Vegetación de México*". Limusa, México.
- Rzedowski J., (1994). "*Vegetación de México*". México, D.F., 57-326 pp.
- Sánchez, R., G., (1984), "*Cenozoic Volcanism in the Toluca – Amealco región central México*". M. Phil. Thesis University of London Imp. Coll. of Sci. and Technology, 275 pp.
- Serrão, E., D. NEpstad y R. Walker, (1996), "*Upland agricultural and forestry development in the Amazon: sustainability, criticality and resilience*". *Ecological Economics* 18: 3-13.
- Scott, D., (1993), "*Environmental planning, ecosystem science, and ecosystem approaches for integrating environment and development*". *Environmental management*, 17/3: 289-303.
- Slaymaker, D., (2003), "*Using georeferenced large-scale aerial videography as a surrogate for ground validation data*". Wulder M.A. y Franklin S.E. (eds.), *Remote sensing for forest environments: concepts and case studies*. Kluwer, Hardbound. 469-488 pp.
- Smethurst, D., (2000), "*Mountain Geography*". *The Geographical Review* 90(1): 35-56.
- Tapia-Varela, G. y López-Blanco, J., (2002), "*Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000*". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 19(1): 50-65.
- Turner, M.G., Pearson, S.M., Bolstad, P., and Wear, D.N. (2003), "*Effects of land-cover change on spatial pattern of forest communities in the Southern Appalachian Mountains (USA)*". *Landscape Ecology*, 18:449-464.
- Vázquez y Jaimes (1989). "*Geología de la Cuenca de México*". *Geo. Int.* Vol. 28-2, 1989, pp. 133-190.

- Veldkamp, A., Lambin, E., F., (2001), “*Predicting land – use change*”. Agric. Ecosyst. Env. 85: 1 – 6.
- Verstappen, H.Th., (1983), “*Applied geomorphology; geomorphological surveys for environmental development: Amsterdam*”. Elsevier, 437 p.
- Verstappen, H., Th., Zuidam, V., R., A., (1991), “*The ITC system of unites geomorphologic survey a basis for the evaluation of natural resources and hazards*”. ITC Publication 10 - 89 pp.
- Vitousek, P., M., Reiners, W., A., Melillo, J., M., Grier, C., C., Gosz, J., R., (1981), “*Nitrogen cycling and loss following forest perturbation: the components of response*”. In Barret GW, Rosenberg DR (Eds.) Stress Effects on Natural Ecosystems. Willey. London, UK. 115 – 128 pp.
- Works, M., A., Hadley, K., (2004), “*The cultural context of forest degradation in adjacent Purépechan communities, Michoacán*”. México. Geogr. J. 17: 22 – 38.
- Zonneveld. I., (1995), “*Land ecology, an introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*”. SPB, Amsterdam.
- Zuidam, V., R., A., (1986), “*Aerial Photo – interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*”. Smits Publisher, The Hauge, The Netherlands.

Fuentes electrónicas

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/html/ciencias.html>

http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/pdf/2_info_resumen.pdf

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/doctos/tipos_valle.html

<http://cursospr.inea.gob.mx/cursos/vac/index.php?f=modulo/contenido/revista/vc15r.htm>

(INEGI,2005)

http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/quias-carto/sueloyveg/USOSUEVEGVIII.pdf

(CONABIO, 2008)

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/doctos/tipos_valle.html

<http://cruzadabosquesagua.semarnat.gob.mx/ecosistemas.html>