



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**EDAFODIVERSIDAD Y SU RELACIÓN CON LA GEOMORFOLOGÍA EN LA
CUENCA DEL RÍO PIRICUA, TUXPAN, MICHOACÁN.**

TESIS

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN GEOGRAFÍA**

PRESENTA:

ANA MARÍA MUÑOZ FLORES

DIRECTOR DE TESIS

**DR. LORENZO VÁZQUEZ SELEM
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., AGOSTO, 2019



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

A la Universidad Nacional Autónoma de México, al Posgrado en Geografía, a la Facultad de Filosofía y Letras por brindarme las herramientas necesarias para continuar con mi desarrollo profesional y personal. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

Al Dr. Lorenzo Vázquez Selem y a la Dra. Christina Siebe Grabach por todo el apoyo brindado durante este proceso, por su paciencia, su tiempo, por enseñarme y compartir sus conocimientos para llevar a cabo esta tesis, toda mi gratitud y admiración hacia ustedes.

A los sinodales, Dr. Raymundo Montoya Ayala, Dr. Héctor Octavio Godínez Álvarez, Dr. Osvaldo Franco Ramos por su apoyo y su tiempo para enriquecer este trabajo con sus valiosos comentarios.

A mis padres

No hay palabras para agradecer todo lo que han hecho por mí, siempre he contado con su apoyo incondicional durante toda mi vida. Y sobre todo por los valores que me inculcaron.

A mis hermanos

Edith, Ivonne y Daniel, por apoyarme en todas mis decisiones y por estar siempre unidos para enfrentar las dificultades como hasta ahora.

A la Mtra. Ana Lilia Muñoz Viveros

Por haberme guiado todo este tiempo, ha sido una parte fundamental para mi desarrollo académico, laboral y personal, le estoy eternamente agradecida.

A mis amigos y compañeros del Posgrado.

Tengo la fortuna de contar con ustedes desde hace tiempo, David Martínez, Mónica Robles, Tania Escobar, Alberto López, Rogelio Santacruz, Víctor Gómez, Yazmin Sahagún, gracias por enseñarme el valor de la amistad y por su apoyo moral para concluir esta etapa. Verónica Totolhua, Ricardo González y Teresa González fue muy importante su participación en este trabajo, gracias por colaborar con sus conocimientos y por estar siempre dispuestos a ayudarme.

Asael Sarabia. Por ser parte de “todo” esto, has sido un motor importante en mi vida, gracias por tu apoyo y confianza.

Contenido

1. Introducción	9
Objetivos	11
General	11
Particulares.....	11
Hipótesis.....	11
2. Marco Conceptual	12
2.1 Suelo	12
2.2 Factores formadores del suelo	12
2.2.1. Clima.....	13
2.2.2 Organismos	14
2.2.3 Relieve	14
2.2.5 Tiempo.....	15
2.3 Procesos pedogenéticos.....	16
2.3.1 Pedoturbación	16
2.3.2 Iluviación y eluviación.....	16
2.3.3 Humificación.....	16
2.3.4 Mineralización	16
2.4. Clasificación del suelo	17
2.5. Geografía de suelos	17
2. 6 Regionalización Edáfica	18
2.7 Medidas de diversidad	19
2.7.1 Índice de diversidad de Shannon.	20
2.7.2 Modelo de abundancia (curvas de acumulación).....	20
3. Área de estudio	21
3.1 Localización	21
3.2 Fisiografía	21
3.3 Altimetría.....	21
3.4 Geología	22
3.5 Edafología.....	24
3.6 Hidrología	25
3.7 Clima.....	26

3.8 Vegetación.....	28
3.8.1 Bosque de Pino-Encino	28
3.8.2 Bosque de Táscate	28
3.8.3 Selva baja caducifolia	28
3.8.4 Bosque de galería	28
3.8.5 Tular	29
3.9 Uso del suelo	29
3.9.1 Principales cultivos	29
3.9.2 Ganadería	29
3.9.3 Industria Forestal	29
3.9.4 Problemática vinculada a los bosques	30
4. Métodos	31
4.1 Revisión documental	31
4.1.2 Delimitación de la unidad de paisaje (cuenca).....	31
4.1.3 Fotointerpretación para el levantamiento geopedológico	31
4.1.4 Clasificación de geoformas.....	33
4.2 Trabajo de campo.....	33
4.3 Trabajo de gabinete	35
4.3.1 Elaboración de la base de datos.....	35
4.3.2 Reclasificación de acuerdo con la WRB 2007.....	36
4.3.3. Digitalización del mapa morfopedológico.....	36
4.3.4. Análisis de la edafodiversidad con base en el índice de diversidad Shannon y el método de la curva de acumulación (rango-abundancia).....	36
5. Resultados	38
5.1 Análisis de las unidades morfopedológicas.....	38
5.1.1 Montaña.....	40
5.1.2 Lomerío.....	46
5.1.3 Piedemonte	50
5.1.4 Planicie aluvial.....	53
5.2 Relación entre tipos de suelos y unidades geomorfológicas	56
5.2.1 Feozems.....	58
5.2.2 Vertisolses	59

5.2.3 Cambisoles.....	60
5.2.4 Regosoles.....	61
5.2.5 Fluvisoles	62
5.2.6 Luvisoles	63
5.2.7 Lixisoles.....	64
5.2.8 Leptosoles.....	65
5.2.9 Andosoles	66
5.2.10 Stagnosol.....	67
5.2.11 Calcisol.....	68
5.2.12 Kastanozem	69
5.3 Análisis de la edafodiversidad.....	71
5.3.1 Edafodiversidad en la unidad de Montaña (M).....	71
5.3.2 Edafodiversidad en la unidad de Lomerío (L).	72
5.3.3 Edafodiversidad en la unidad de Piedemonte (PM).	74
5.3.4 Edafodiversidad en la unidad de Planicie aluvial (PL).	75
6. Conclusiones.....	77
7. Bibliografía	78
8. ANEXO	86
Base de datos de los perfiles del suelo descritos en la cuenca del Río Piricua, Tuxpan, Michoacán (Curso de Campo de Suelos y Geomorfología con un enfoque paisajístico, años 1996 a 2016)..	87

Índice de Figuras

Figura 1. Localización del área de estudio, Cuenca del río Piricua	21
Figura 2. Mapa altimétrico de la Cuenca del río Piricua	22
Figura 3. Mapa geológico de la Cuenca del río Piricua, INEGI (1989)	23
Figura 4. Mapa edafológico escala 1: 250 000 de la Cuenca del río Piricua	24
Figura 5. Mapa edafológico escala 1: 50 000 de la Cuenca del río Piricua	25
Figura 6. Principales corrientes superficiales de la cuenca.....	77
Figura 7. Climograma de las estaciones Presa Tuxpan y Agostitlán	78
Figura 8. Mapa climático de la Cuenca	27
Figura 9. Uso de suelo y tipos de vegetación.....	30
Figura 10. Fotointerpretación de la cuenca en fotografías aéreas de INEGI escala 1:37 000 y 1:75 000.....	32
Figura 11. Mapa de unidades Geomorfológicas	39
Figura 12. Diagrama que representa la Unidad de montaña (M).....	40
Figura 13. Grupos de suelos de referencia de la unidad de superficie cumbre (montaña) M1. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos de un Grupo con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica	41
Figura 14. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Ladera con pendiente fuerte (montaña) M2. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	42
Figura 15. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Ladera con pendiente moderada (avalancha), superficie cumbre M31. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica	86
Figura 16. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Ladera con pendiente moderada (avalancha), ladera de barranco M32. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica	44
Figura 17. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Ladera con pendiente moderada (avalancha), ladera cóncava coluvial M33. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica	45
Figura 18. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Escalón cóncavo M4. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica	46
Figura 19. Diagrama que representa la Unidad de lomerío (L).....	47

Figura 20. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Lomerío redondeado, superficie cumbral L11. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	48
Figura 21. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Lomerío redondeado, lomo de ladera L12. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	49
Figura 22. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Lomerío escarpado, lomo de ladera L21. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	50
Figura 23. Diagrama que representa la Unidad de Piedemonte (PM).....	51
Figura 24. Grupos de suelos de referencia de la unidad Abanico aluvial antiguo (piedemonte) PM11. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	52
Figura 25. Grupos de suelos de referencia de la unidad Abanico aluvial joven (piedemonte) PM12. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	52
Figura 26. Grupos de suelos de referencia de la unidad Piedemonte coluvial PM2. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	86
Figura 27. Diagrama que representa la Unidad de Planicie aluvial (PL)	54
Figura 28. Grupos de suelos de referencia de la unidad Terraza alta (planicie aluvial) PL1. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	55
Figura 29. Grupos de suelos de referencia de la unidad Terrazas bajas/Ilanura de inundación (planicie aluvial) PL2. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica.....	56
Figura 30. Mapa Morfopedológico de la Cuenca del Río Piricua.....	57
Figura 31. Total de registros de Grupos de Suelos de Referencia (GSR) en la cuenca del Río Piricua (gráfica de barras) y sus respectivos valores porcentuales.....	58
Figura 32. Distribución de los suelos de tipo Feozem.....	59
Figura 33. Distribución de los suelos de tipo Vertisol.....	60
Figura 34. Distribución de los suelos de tipo Cambisol	61
Figura 35. Distribución de los suelos de tipo Regosol.....	62
Figura 36. Distribución de los suelos de tipo Fluvisol	63
Figura 37. Distribución de los suelos de tipo Luvisol	64
Figura 38. Distribución de los suelos de tipo Lixisol	65

Figura 39. Distribución de los suelos de tipo Leptosol	66
Figura 40. Distribución de los suelos de tipo Andosol	67
Figura 41. Distribución de los suelos de tipo Stagnosol.....	68
Figura 42. Distribución de los suelos de tipo Calcisol	69
Figura 43. Distribución de los suelos de tipo Kastanozem.....	70
Figura 44. Curva de acumulación considerando el eje X como el rango (riqueza) de tipos de suelos (S) y el eje Y como la abundancia proporcional (logaritmo) en la unidad de Montaña (M).....	71
Figura 45. Curva de acumulación considerando el eje X como el rango (riqueza) de tipos de suelos (S) y el eje Y como la abundancia proporcional (logaritmo) en la unidad de Lomerío (L)	73
Figura 46. Curva de acumulación considerando el eje X como el rango (riqueza) de tipos de suelos (S) y el eje Y como la abundancia proporcional (logaritmo) en la unidad de Piedemonte (PM)	74
Figura 47. Curva de acumulación considerando el eje X como el rango (riqueza) de tipos de suelos (S) y el eje Y como la abundancia proporcional (logaritmo) en la unidad de Planicie aluvial (PL).....	75

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Tipos de vegetación de la zona de estudio y especies representativas	28
Cuadro 2. Sistema taxonómico de las geoformas (Zinck, 1988)	33
Cuadro 3. Propiedades morfológicas evaluadas en campo	34
Cuadro 4. Unidades geomorfológicas identificadas	38
Cuadro 5. Superficie en Km ² ocupada por unidad geomorfológica de la cuenca.....	56
Cuadro 6. Montaña (M). Donde S es el tipo de suelo es decir la riqueza, p_i es la abundancia proporcional del tipo de suelo i , esto es el número de perfiles del suelo i dividido entre el número total de perfiles de la muestra (N) y H' es el índice de Shannon	71
Cuadro 7. Lomerío (L). Donde S es el tipo de suelo es decir la riqueza, p_i es la abundancia proporcional del tipo de suelo i , esto es el número de perfiles del suelo i dividido entre el número total de perfiles de la muestra (N) y H' es el índice de Shannon	72
Cuadro 8. Piedemonte (PM). Donde S es el tipo de suelo es decir la riqueza, p_i es la abundancia proporcional del tipo de suelo i , esto es el número de perfiles del suelo i dividido entre el número total de perfiles de la muestra (N) y H' es el índice de Shannon	74
Cuadro 9. Planicie aluvial (PL). Donde S es el tipo de suelo es decir la riqueza, p_i es la abundancia proporcional del tipo de suelo i , esto es el número de perfiles del suelo i dividido entre el número total de perfiles de la muestra (N) y H' es el índice de Shannon	75

1. Introducción

Del suelo dependen en gran medida los elementos naturales o biofísicos y gran parte de las actividades humanas. El suelo da sustento a la vegetación y por consecuencia a la fauna asociada; también interviene en el ciclo hidrológico regulando procesos y fenómenos hídricos como la escorrentía de agua, la infiltración y la recarga de acuíferos; del mismo modo es determinante para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres por su participación en diversos ciclos y procesos biogeoquímicos (p. ej. carbono, nitrógeno y fósforo) (Schaetzl y Anderson, 2005).

El suelo es un cuerpo natural producto de la interacción de los llamados factores formadores de suelo, que actúan por medio de procesos pedogenéticos como neoformación de minerales, bio-transformación y humificación de la materia orgánica, formación de estructura, translocación de materia (Porta *et al.*, 2008). Por otra parte, el suelo realiza múltiples funciones tanto para los sistemas naturales como para los creados por el hombre (agrícolas, urbanos, etc). A través de las funciones que realizan, los suelos adquieren diversas potencialidades (Stahr y Renger, 1986).

Para estudiar los suelos es necesario adoptar metodologías que se basen en el entendimiento de la relación entre el origen y la expresión morfológica del suelo. El entendimiento de la participación de los factores de formación es esencial para conocer la distribución del suelo en los distintos paisajes terrestres. Cabe mencionar que no es fácil entender cómo los factores y procesos determinan la distribución de los suelos (Daniels y Hammer, 1992).

Buol *et al.* (1974) argumenta que el enfoque geográfico en el estudio de suelos es absolutamente necesario. La Geografía del suelo se centra en el conocimiento de la distribución de los suelos y su relación con el medio ambiente y los seres humanos, su historia y posibles cambios en el futuro. La geografía de suelos se apoya en gran medida en la geomorfología, ya que resulta muy difícil explicar plenamente los patrones de distribución del suelo sin el conocimiento de la evolución de las formas de relieve. La geografía del suelo se pone en evidencia por medio del levantamiento de suelos, que produce bases de datos extremadamente útiles para los tomadores de decisiones (Schaetzl y Anderson, 2005).

Uno de los mejores instrumentos para avanzar en el conocimiento de la geografía de los suelos lo constituyen los levantamientos, cuyo objetivo general es proporcionar datos e información necesaria para interpretar y predecir el comportamiento del suelo en un determinado espacio y tiempo. El fundamento de los levantamientos radica en el hecho de que los suelos se presentan sobre la superficie de la tierra como un manto discontinuo y heterogéneo, cuyo estudio científico y sistemático requiere definir a priori entidades homogéneas en cuanto a sus características significativas. Son por lo tanto, esenciales para entender los cambios espaciales de esas características del suelo (Atlas de Suelos de la República Argentina, 1990). La información que se obtiene de los levantamientos de suelos, es fundamental para programar adecuadamente el uso de cualquier territorio.

La cartografía de suelos es la parte de la geografía que tiene como tarea la representación a escala de los tipos de suelos de un territorio determinado. El trabajo cartográfico está muy vinculado con los sistemas de clasificación de los suelos, se pueden definir las leyes que rigen su distribución y el área que ocupan, sirviendo al mismo tiempo de fundamento para la evaluación de los distintos tipos de suelos (López *et al.*, 2010).

Además de la cartografía de los suelos, el estudio de la diversidad es otro aspecto de los suelos que ha sido estudiado recientemente. El concepto de diversidad es de uso habitual en los ámbitos de la ecología y de la biología de la conservación. La diversidad de las especies biológicas y de cualquier recurso natural como el suelo puede ser estimada sin dificultad si sus elementos o componentes son diferenciados en categorías (Ibáñez y Saldaña, 2011). Huston (1984) abordó dos cuestiones básicas: 1) la diversidad no sólo implica contar el número de taxa sino la abundancia relativa de cada uno y 2) siempre existe una incertidumbre respecto al número de objetos que incluyen en una categoría. En otras palabras, en la caracterización y definición de las especies biológicas, así como en la de los edafotaxa, existe algún criterio más o menos arbitrario a la hora de ser incluido en una clase u otra.

De acuerdo con lo anterior nada impide que se pueda abordar el estudio de la diversidad; el único requisito que se impone es que se proceda a una categorización previa al análisis (Ibáñez y Saldaña, 2011). La importancia de medir la diversidad de los suelos es que nos permite emitir recomendaciones en favor de la conservación, o identificar áreas susceptibles a perturbaciones ambientales que afectan directamente o indirectamente las propiedades del suelo. Además, el cambio en la diversidad del número de taxa, en la distribución de la abundancia o en la dominancia de los suelos nos alerta de procesos empobrecedores (Magurran, 1988). Por último, el estudio de la diversidad de los suelos permite analizar e interpretar cuantitativamente los factores que influyen en el funcionamiento del paisaje y la diversidad, con especial énfasis en la estructura del paisaje y los patrones espaciales (Turner y Gardner, 1991).

Desde 1996 se ha acumulado información geopedológica de la cuenca del Piricua en el “Curso de Campo de Suelos y Geomorfología con un enfoque paisajístico” (posgrados en Geografía, Ciencias Biológicas y Ciencias de la Tierra de la UNAM). Se trata de una cuenca pequeña (<100 km²), tributaria del río Tuxpan, y ésta a su vez del Balsas, que presenta una morfoedafología compleja en un área reducida, pero con muchos elementos comunes a los paisajes volcánicos del centro del país. Se cuenta con muchos datos de descripciones de suelos de campo que hacen factible realizar un análisis de la diversidad edáfica (edafodiversidad), lo cual motivó en parte la realización de esta tesis. El análisis de la edafodiversidad en esta tesis fue realizada con parámetros que son utilizados en estudios ecológicos, como es el caso del índice de Shannon-Weaver y las curvas de acumulación. Con base en lo anterior, esta investigación se enfocó en la caracterización de suelos de la cuenca del río Piricua, para representar la distribución geográfica del suelo a través de la elaboración de un mapa morfopedológico, que permitirá representar la edafodiversidad de la cuenca y servirá como marco de referencia para conocer, preservar y programar eficientemente el uso del territorio.

Objetivos

General

- Analizar la distribución geográfica y edafodiversidad de la cuenca del río Piricua, Tuxpan, Michoacán, estableciendo sus relaciones morfopedológicas.

Particulares

- Caracterizar la cuenca del río Piricua desde una perspectiva geomorfológica.
- Caracterizar los suelos de la cuenca del río Piricua.
- Crear una base de datos de los perfiles descritos en la cuenca y clasificar los suelos con base en la WRB (2007).
- Elaborar un mapa morfopedológico.
- Identificar y delimitar los edafopaisajes y analizar su variabilidad.

Hipótesis

En la cuenca del río Piricua, la interacción entre la geomorfología y los factores formadores de suelo varía dependiendo de las geoformas específicas, por lo que habrá diferencias en la diversidad edáfica. La diversidad edáfica será mayor en las laderas y montañas que en los piedemontes y planicies, debido a que en las primeras la dinámica geomorfológica es mayor que en las últimas.

2. Marco Conceptual

2.1 Suelo

Según la primera definición científica de Dokuchaev (1899), el suelo es “un cuerpo natural, formado por la acción común del material parental, el relieve, el clima, los organismos, vivos y muertos, y la edad de la superficie geológica”. La distribución de estos factores formadores obligatorios del suelo, más el factor antropogénico optativo, determinan en gran parte la distribución espacial de los suelos (Krasilnikov *et al.*, 2011).

Otra definición del suelo más actual de acuerdo con la FAO en el 2003, menciona que la palabra suelo es conceptualizada como un cuerpo superficial que se encuentra en la parte más externa de la corteza terrestre continental y que está formado por una mezcla de componentes minerales y orgánicos, pero que también tiene una fase líquida y otra gaseosa. Este cuerpo es tridimensional, dinámico y en continua transformación determinada por la influencia del clima y los organismos, condicionada por la acción del relieve y la litología a través del tiempo. Por su posición el suelo es la interfaz o conexión entre la atmósfera, la hidrósfera, la litósfera y la biósfera. Las funciones del suelo incluyen también los servicios tales como almacenar carbón, agua nutrimentos, depurar los ecosistemas y preservar la diversidad biológica (FAO 2003, Porta 2003).

2.2 Factores formadores del suelo

A finales del siglo, los científicos Hilgard en los Estados Unidos y el ruso Dukuchaev sugirieron por separado que la pedogénesis principalmente estaba controlada por el clima y la vegetación (Jenny, 1941). Esta idea se basó en la observación de que los suelos de áreas espacialmente separadas tenían desarrollos comparables cuando su clima y vegetación eran similares. En 1941, Hans Jenny amplió estas ideas basadas en las observaciones de estudios anteriores que examinaban los procesos en la formación del suelo. Postuló que los tipos de suelos que se desarrollan en un área particular en gran parte son determinados por cinco factores según la siguiente ecuación:

$$S = f(\text{cl o r p t})$$

En donde: S es suelo, cl es clima, "o" a los organismos, "r" al relieve, "p" al material parental y "t" al tiempo.

Esta ecuación es muy importante pues representa que para una determinada combinación de los factores formadores sólo puede existir un tipo de suelo (esto es, que la misma combinación de factores originará siempre el mismo tipo de suelo independientemente del lugar geográfico en que se encuentre). Igualmente importante es que la magnitud de cualquiera de las propiedades del suelo, tales como pH, contenido en arcillas, porosidad, etcétera, está determinada por la combinación de estos factores formadores.

Este enfoque ha permitido que diversos grupos de suelos pudieran ser vistos como cronosecuencias, hidrosecuencias (por ejemplo, catenas de suelos diferentes debido a las variaciones en la humedad inducida por la topografía) y así sucesivamente (Fanning & Fanning, 1989).

Uno de los conceptos básicos en la edafogeografía es el de catena, un agrupamiento de suelos, los cuales, aunque diferentes desde el punto de vista del sistema natural de clasificación, están relacionados en su ubicación topográfica y se repiten en la misma relación uno a otro en cualquiera de las condiciones similares (Krasilnikov *et al.*, 2011).

2.2.1. Clima

El clima como factor de formación del suelo no es un tema reciente, más bien fue parte del paradigma que dio origen a la moderna ciencia del suelo, la cual fue planteada por Dokuchaev a mediados del siglo XIX en Rusia, donde tuvo todos los elementos para estudiar y definir la influencia del clima en la formación de los suelos. Llegó a la conclusión de que la acción del clima determinaba la distribución regular de los suelos sobre la superficie terrestre. Sin embargo, para el caso particular de los suelos en México sería difícil llegar a ese tipo de conclusiones debido a la gran variación de materiales parentales, relieves, meso y microclimas y patrones de vegetación (Krasilnikov *et al.*, 2011).

Los principales factores que determinan el clima son: temperatura, precipitación, humedad, presión atmosférica y radiación solar. Los procesos que ocurren en los suelos están claramente influenciados por el clima, especialmente por la precipitación y la temperatura. Al combinar el factor clima con el relieve o material parental, se generan interrelaciones que afectan las características de los suelos.

En las regiones áridas y semiáridas, caracterizadas por una precipitación mínima o ausente, los suelos presentan características propias de este tipo de clima, claramente definidas por procesos específicos como carbonatación, salinización y gypsificación.

En regiones moderadamente húmedas, con precipitaciones de 500 a 1200 mm³/año, los suelos presentan procesos específicos como la argilización, la pérdida de carbonatos y la lixiviación de bases intercambiables.

En regiones muy húmedas, con precipitaciones mayores a 1500 mm³/año, se producen procesos como lavado o lixiviación, gleyzación, ferralitización etc., que les dan a estos suelos características propias de su medio (Núñez, 2000).

El clima también determina el tipo de intemperismo y el grado de descomposición de las rocas, el tipo y características de las formaciones vegetales, el tipo y grado de actividad de los organismos inferiores que habitan el suelo (Núñez, 2000).

2.2.2 Organismos

Como organismos se incluye a la vegetación, los animales del suelo (meso, macro y microscópicos). Como fuente de residuos vegetales, la vegetación es uno de los factores más importantes en la formación del suelo. El aporte de materiales vegetales, su mineralización y transformación, el modo como se incorporan al suelo ya convertidos en material humificado, afecta el desarrollo de los horizontes superficiales modificando su pH, color, estructura, grado de agregación, retención de humedad, actividad biológica, reciclaje de nutrientes y fertilidad natural. Entre clima y vegetación se dan relaciones ecológicas que afectan muchos procesos pedogenéticos. La temperatura, y la relación entre precipitación y evapotranspiración, condicionan especialmente el tipo de vegetación que se desarrolla en un área, lo que a su vez condiciona la cantidad y tipo de materia orgánica aportada al suelo (Núñez, 2000).

2.2.3 Relieve

El relieve comprende las irregularidades de la superficie terrestre, dictadas por la geomorfología del paisaje (Chorlrey *et al.*, 1984) e interactúa con los otros factores formadores (clima y biota) de manera dinámica, determinando diferentes unidades del suelo (Jenny, 1994). De igual manera, el relieve es resultado de los agentes de modelado del paisaje (intemperismo y erosión), los que a su vez repercuten en la diversidad de suelos en una región.

El relieve afecta el desarrollo pedogenético de varias formas. Entre los parámetros más importantes están la altitud, la forma, magnitud y orientación de la pendiente, y la posición del terreno con respecto al paisaje (Brady y Weil, 2009). Estos parámetros inciden en la temperatura superficial (Chaplot *et al.*, 2000), el régimen de humedad (Galicía *et al.*, 1999) y la textura del suelo (Forth, 2008), así como en los procesos de intemperismo, erosión, adición, remoción y lavado interno del perfil del suelo (Krasilnikov *et al.*, 2011).

2.2.3.1 Altitud

La elevación tiene efectos sobre variables climáticas y florísticas del paisaje que inciden en el desarrollo de los suelos. En lugares de baja elevación el clima tiende a ser cálido y las temperaturas ambientales, por ende, favorecen velocidades de reacción altas en el suelo, que aceleran el intemperismo y la pedogénesis (Duchaufour, 1970). Además, la vegetación en estas zonas aporta materia orgánica que se mineraliza rápidamente (Liu *et al.*, 2007). Contrariamente, el clima en regiones con elevaciones altas es generalmente frío y por lo tanto la velocidad de reacción en el suelo es más baja (Ritter, 2000); en consecuencia, el proceso de intemperismo y el desarrollo pedogenético es más tardado en dichos lugares (Krasilnikov *et al.*, 2011).

2.2.3.2 Pendiente

El gradiente de la pendiente se expresa en % o grados. Hay geoformas que tienen pendientes características o rangos de pendiente específicos (Zinck, 2012). Varía de baja

pendiente (planicies) a alta pendiente (escarpes). En altas pendientes hay más erosión, menor acumulación de humedad y consecuentemente menos intemperismo (Siebe C, comunicación personal, Curso Ciencias de la Tierra, UNAM, 2012).

2.2.3.3 Morfología

La forma de las laderas, debido a su asociación con la pendiente, ha sido considerada generalmente como el perfil de ladera (Douglas, 1977). En un corte perpendicular (planta) a la misma se miden los ángulos y distancias de ladera y, por lo general, se observa una serie de irregularidades, que corresponden a concavidades y convexidades, que obedecen principalmente a la litología del substrato a los diferentes procesos que inciden en la morfología de la ladera (Kirkby, 1976 y Toy, 1977).

2.2.4 Material parental

El material parental puede ser cualquier roca, detrito orgánico, material de origen antropogénico e incluso un antiguo paleosuelo, que se encuentra en la superficie de la Tierra y que está sujeto al intemperismo, desde luego también se incluyen los productos de los procesos de sedimentación, los cuales son disgregados y transportados por agentes como el agua, el viento, el hielo o gravedad (Krasilnikov *et al.*, 2011).

La composición física, química y mineralógica del material parental es importante para determinar las características del suelo, especialmente durante las primeras etapas de su desarrollo.

Conforme el tiempo transcurre las diferencias se van acentuando hasta que se pierden completamente las características del material de origen y se obtiene un producto complejo denominado suelo (Krasilnikov *et al.*, 2011).

Actualmente, la ciencia del suelo considera potencialmente tres orígenes para los materiales, que al intemperizarse llegan a construir un suelo:

2.2.5 Tiempo

El tiempo de duración de la edafogénesis es uno de los cinco factores formadores de suelo en la fórmula de Dokuchaev-Jenny y constituye un agente que influye en la diferenciación espacial de la cobertura edáfica. No obstante, el papel del tiempo en la distribución geográfica de los suelos es más difícil de percibir en comparación con otros agentes, como el clima, la biota, el relieve o el material parental.

Los procesos de edafogénesis, como la acumulación de la materia orgánica, el intemperismo, la iluviación, entre otros, pueden ser enmarcados por sus propiedades cronológicas específicas, como la duración, velocidad y tiempo característico. El tiempo característico se refiere al período requerido para que los resultados o productos del proceso alcancen una abundancia máxima (climax) y ya no aumenten más. Targulian y Sokolov (1978), y Arnold *et al.*, (1990) consideran que el tiempo característico de un proceso

pedogenético se refiere al período en el cual se alcanza un estado estático o de cuasi-equilibrio con el ambiente, de tal forma que produce propiedades pedogénéticas perdurables en el tiempo.

2.3 Procesos pedogenéticos

La pedogénesis puede ser definida como el proceso de desarrollo del suelo. El proceso de formación dominante en cada sitio refleja el balance entre los procesos pedogenéticos de pérdida, ganancia, redistribución interna y cambios químicos y físicos. La morfología del perfil y las propiedades del suelo son el resultado de la acción, por largos períodos de tiempo, de los factores que desencadenan determinados procesos actuando en un volumen de suelo que se comporta como un sistema abierto a la materia y la energía que intercambia con el ambiente (Chadwick y Graham, 2000).

2.3.1 Pedoturbación

Proceso por el cual el suelo se mezcla físicamente. La pedoturbación hace que los suelos sean más uniformes (homogéneos) con la profundidad, lo cual tiende a anular el efecto de otros procesos que facilitan la formación de distintos horizontes

2.3.2 Iluviación y eluviación

Los procesos de eluviación e iluviación están estrechamente relacionados. Eluviación es el proceso de separación o remoción de constituyentes de un horizonte de suelo, capa o zona por lixiviación, casi siempre por agua (Jackson, 1964); horizontes donde la eluviación ha sido el proceso dominante pueden ser referidos como eluviales, horizontes E. Iluviación se puede definir como el proceso de recepción o acumulación de materiales movidos por eluviación (Jackson, 1964) y un horizonte donde este proceso es importante puede ser llamado un horizonte iluvial.

2.3.3 Humificación

Los restos vegetales de cualquier naturaleza, hojas, ramas muertas que bajo una vegetación permanente caen al suelo, constituyen la principal fuente de la materia orgánica del suelo: estos restos que forman la hojarasca entran a un proceso de transformación fundamentalmente de tipo biológico denominado humificación, dando lugar a un producto conocido como sustancias húmicas o humus. El humus está formado por un conjunto de compuestos orgánicos coloidales de color oscuro que, en general, proceden de neoformaciones microbianas y establecen enlaces más o menos estables, con los elementos minerales del suelo (arcillas e hidróxidos de hierro y aluminio) (Duchaufour, 1970).

2.3.4 Mineralización

La mineralización de la materia orgánica humificada se refiere a la formación de compuestos minerales, en general solubles (fosfatos, sulfatos, nitratos etc.) o gaseosos (CO₂ y NH₃), por la acción de microorganismos particularmente activos. La mineralización produce la desaparición de los compuestos orgánicos del suelo, resultando un proceso contrario a la humificación.

2.4. Clasificación del suelo

La esencia de cualquier clasificación es colocar un nombre en una entidad definible, en este caso una unidad básica de suelo. Una vez hecho esto, es posible colocarlos en un sistema ordenado y establecer interrelaciones entre ellos (Beckmann, 1984).

La FAO conjuntamente con otras organizaciones como el Centro Internacional de Información y Referencias en Suelo (ISRIC) y la Sociedad Internacional de Ciencias del Suelo, desde 1960 comenzaron una serie de acciones para lograr un lenguaje único en la clasificación de suelos que sirva de referencia para el intercambio de tecnologías, el conocimiento de las características de los suelos de una región y otra, etc. Entre las principales contribuciones para cumplir con el objetivo están, por ejemplo: la *Leyenda para el Mapa Mundial del Suelo* FAO-UNESCO (FAO-UNESCO, 1974, 1988), la *Taxonomía del Suelo* (USDA Servicio de Conservación de Suelos 1975, 1999) y los mapas de suelos como por ejemplo: *El Mapa Mundial del Suelo* (FAO UNESCO, 1970-1981; FAO, 2002), *Mapa de Suelos de la Comunidad Europea* (ECSC-EEC-EAEC, 1985), y *El Atlas de Suelo de Europa* (EC, 2005).

Algunas nuevas aportaciones internacionales en cuanto a sistemas de información y clasificación de suelos se han sumado. Tal es el caso de *Field Book for Describing and Sampling Soils* y *Claves para la Taxonomía de Suelos* (USDA Servicio de Conservación de Suelos, 2003), *Base de Datos Actualizada Global y Nacional de Suelos y Terreno* (ISRIC, 2005) y la segunda edición de *Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo* (IUSS Grupo de Trabajo (WRB, 2006) con una actualización en el 2006 (WRB, 2007) y otra más reciente (WRB, 2015).

La primera edición de la WRB, publicada en 1988, comprendía 30 grupos de suelos de referencia (GSR). La segunda edición, publicada en 2006, y la tercera, de 2015, tienen 32 GSR.

2.5. Geografía de suelos

La geografía de los suelos se ha ido desarrollando como una subdisciplina independiente estrechamente vinculada con los estudios de la génesis del suelo. En los años 1920 el término geografía de suelos se estableció en la literatura del idioma inglés por Wolfanger, (1930) (Krasilnikov *et al.*, 2011).

Una de las líneas de investigación de los estudios edafogeográficos es la estática cuyo objetivo principal es la distribución espacial de los suelos desde el punto de vista de la teoría de los factores estáticos, por lo que la distribución espacial de los suelos se explica a partir de la distribución de los factores-formadores del suelo (Jenny, 1941; Yaalon, 1971; Arnold, 1994; Kozlovskiy, Goryachkin, 1996, Krasilnikov *et al.*, 2011). La fuente de información sobre la distribución espacial de los suelos es el levantamiento de suelos. La implementación de criterios geomorfológicos en el levantamiento permite mejorar la identificación y la delimitación de suelos, al mismo tiempo que la racionalidad del enfoque geopedológico contribuye a compensar o substituir parcialmente lo que Hudson (1992) llama la adquisición de conocimiento tácito para la aplicación del paradigma suelo-paisaje. El análisis

geopedológico integrado facilita la lectura del paisaje, porque el contexto geomorfológico controla, en una amplia proporción, los tipos de suelo asociados en una clase de paisaje (Hudson, 1992).

Un levantamiento de suelos describe las características de los suelos en un área específica, clasifica los suelos de acuerdo a un sistema de clasificación estándar. La geomorfología contribuye a esta actividad mediante la selección de sitios de descripción. El uso de criterios geomorfológicos facilita la elección de sitios representativos, independientemente del esquema de muestreo implementado. En el muestreo orientado, los sitios de observación se pre-seleccionan en base a criterios geomorfológicos dentro de las unidades delimitadas por interpretación de fotografías aéreas o imágenes de satélite (Zinck, 2012).

La información colectada en el levantamiento de suelos ayuda en el desarrollo de planes de uso de la tierra evalúa y predice el efecto del uso de la tierra en el medio ambiente (Rossiter, 2002).

2. 6 Regionalización Edáfica

Entre los principales objetivos de la geografía de suelos uno de los más importantes es la regionalización edáfica (Dantin Cereceda, 1913; Glazovskaya, 1973), la cual tiene una gran importancia tanto teórica como práctica. Teóricamente le permite encontrar las reglas regionales de la distribución de suelos en el espacio, mientras que para las tareas prácticas constituye la base de las actividades del manejo, conservación y restauración del suelo. Es indispensable la agrupación de suelos en regiones con base en cierta uniformidad de los factores formadores del suelo dentro de cada región (Hudson, 1992). El suelo refleja sus factores formadores, por lo cual siempre se encuentra cierta correspondencia entre los mapas edáficos, topográficos, geológicos, climáticos y de vegetación, así que la regionalización edáfica está relacionada con las regiones naturales en general. Por este motivo las regiones edáficas casi siempre se delinean según los límites de las regiones climáticas, fisiográficas o biogeográficas. Lo más tradicional en regionalización edafogeográfica, es delinear las zonas, provincias y regiones edáficas según el clima, lo cual no significa que el clima sea el factor más importante, sino que la distribución de los climas es un factor regular y predecible. Por varios años el clima fue el factor principal para la regionalización edáfica; sin embargo, la regionalización edáfica basada en el clima no es perfecta. Varios autores indicaban que otros factores, como el relieve y los materiales parentales pueden afectar la distribución espacial de los suelos prácticamente en todas las escalas (Arnold, 1994; Zinck, 2012). Además, el clima también varía en el espacio, especialmente en zonas montañosas.

2.7 Medidas de diversidad

Peet en 1974, propuso dos categorías para los índices de diversidad:

Tipo I: Son más sensibles a los cambios de la abundancia de las especies raras de la comunidad muestreada, un ejemplo de ese tipo de índices de diversidad es Shannon.

El índice de diversidad de Shannon es la medida de diversidad más popular, de manera estricta esta función sólo puede ser usada en muestras tomadas aleatoriamente de una comunidad grande, en la que es conocido el número de especies. En la práctica para comunidades biológicas la diversidad no excede el valor de 5.

Tipo II: Son índices más sensibles a los cambios de abundancia de las especies dominantes, Simpson es un ejemplo de este tipo de índice.

El índice de Simpson es una medida de diversidad no paramétrica, Simpson (1949) propone que la diversidad está inversamente relacionada con la probabilidad de que dos individuos extraídos aleatoriamente en una muestra sean de la misma especie. Por lo tanto, a medida que el valor de Simpson se incrementa la diversidad decrece por lo que este índice está fuertemente recargado hacia las especies más abundantes de la muestra, mientras que es menos sensible a la riqueza de especies. El intervalo de Simpson oscilará de 0 (baja diversidad) a 1 (alta diversidad) (Magurran, 1988).

De acuerdo con esta división, las alternativas para medir o estimar la diversidad son varias, por lo que es necesario decidir cuál de ellos emplear atendiendo a la siguiente pregunta: ¿En el análisis se desea dar mayor énfasis a las especies dominantes o a las raras?

Además de los índices de diversidad, Magurran (1988) propuso la categoría de modelos de abundancia. Estos modelos describen la distribución de la abundancia y van desde aquellos que representan situaciones donde hay una elevada uniformidad hasta aquellos que caracterizan los casos en los que la abundancia de las especies es muy desigual. Esta observación permitió el desarrollo de modelos de abundancia, los cuales son defendidos por muchos autores, entre los que se incluyen May (1975, 1981) y Southwood (1978), como proveedores de las únicas bases sólidas para el estudio de la diversidad. Una distribución de abundancia de especies utiliza toda la información acumulada y es la descripción matemática más completa de los datos.

Los índices y los modelos de abundancia utilizados para estimar la diversidad ofrecen un marco conceptual novedoso para analizar la génesis de los suelos en un contexto paisajístico, sin excluir la edafogénesis clásica, sino abarcándola y enriqueciéndola (Krasilnikov *et al.*, 2011). En este sentido, Saldaña e Ibáñez (2004) realizaron el análisis de la pedodiversidad en tres terrazas fluviales en el río Henares (Centro de España) aplicando índices de riqueza, índices de diversidad y modelos de distribución de abundancia, encontrando que hay una alta correlación entre los índices utilizados (Shannon-Weaver, Margalef y Menhinick), por lo que sugieren utilizar un índice único (Shannon-Weaver) para

resumir toda la información sobre la diversidad, siempre y cuando cumplan con los criterios de aplicabilidad.

2.7.1 Índice de diversidad de Shannon.

Se utilizó el índice de diversidad de Shannon para analizar la edafodiversidad en esta tesis como lo plantearon Saldaña e Ibáñez (2004); al cumplir con los criterios de aplicabilidad, este índice asume que todos los tipos de suelo son seleccionados al azar por lo que todos los suelos están representados en la muestra lo que permite un análisis detallado sobre la dinámica, distribución y conservación de los suelos de la cuenca. Además de proporcionar una expresión (numérica) instantánea y comprensible de la edafodiversidad.

2.7.2 Modelo de abundancia (curvas de acumulación).

Esta herramienta es potencialmente útil en el análisis de la riqueza específica de muestras de diferente tamaño llamadas curvas de acumulación de taxas o curvas de rango-abundancia, describen la riqueza y abundancia relativa de taxas (Soberón y Llorente, 1993). Para complementar el resultado obtenido con el índice de Shannon se utilizaron las curvas de acumulación en esta tesis, una de las ventajas de ese método es que representan los resultados de una manera gráfica, lo que ayuda a interpretar los datos de forma sencilla.

De acuerdo con lo antes mencionado se decidió utilizar el índice de diversidad de Shannon y las curvas de acumulación (rango-abundancia) para analizar la edafodiversidad en este trabajo.

3. Área de estudio

3.1 Localización

La zona de estudio se localiza en el nororiente del Estado de Michoacán, colindando con los municipios de Ciudad Hidalgo al Noroeste, con Zitácuaro al Sureste, con Jungapeo al Sur y con Irimbo al Norte. Las coordenadas extremas son: 100°29' y 100°35' de longitud Oeste y 19°31' y 19°36' de latitud Norte (INEGI, 1998). La cuenca del río Piricua tiene una extensión de 82 km² aproximadamente Figura 1.

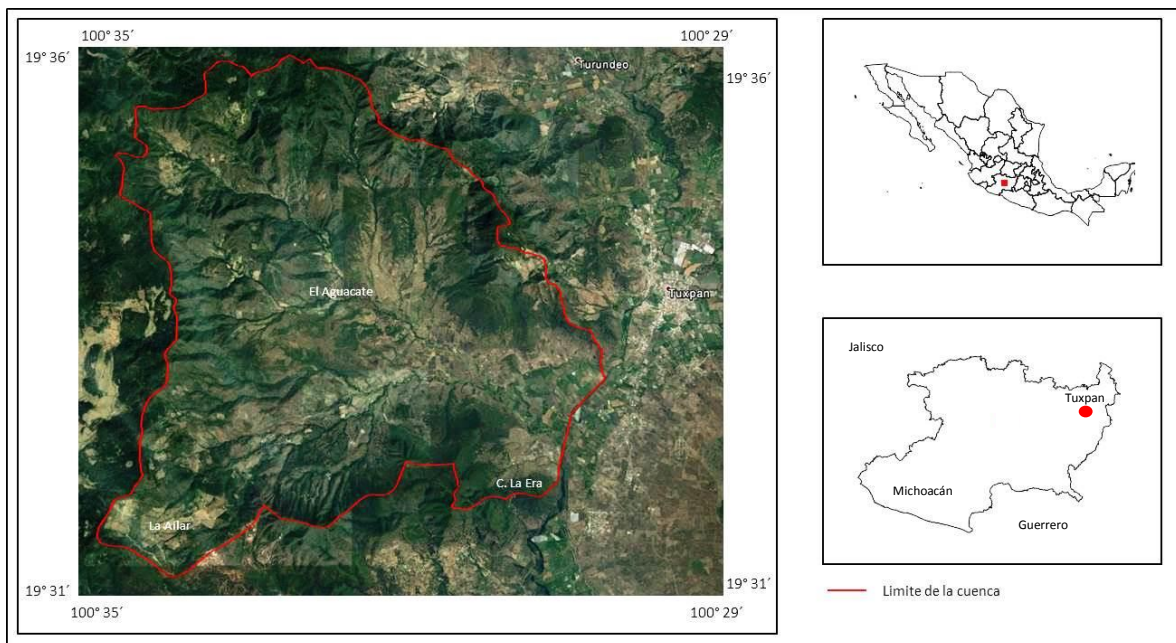


Figura 1. Localización del área de estudio, Cuenca del río Piricua (línea roja).

3.2 Fisiografía

La zona de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico también conocido como la Sierra Volcánica Transversal, una de las provincias con mayor variación de relieve y de tipos de rocas. (INEGI, 2008).

3.3 Altimetría

La altitud del parteaguas de la cuenca fluctúa entre 2,500 y 2,960 metros sobre nivel del mar, correspondiendo la máxima (2,960 m.s.n.m.) al Cerro de Peña ubicado en la porción Noroeste. Las unidades de lomerío y piedemonte están entre 1,766 y 2,000 m.s.n.m. La planicie aluvial que se encuentra en la parte central de la cuenca, donde se forma un sistema de terrazas y llanuras de inundación, tiene elevaciones entre 1,593 y 1,700 m.s.n.m. (Fig. 2).

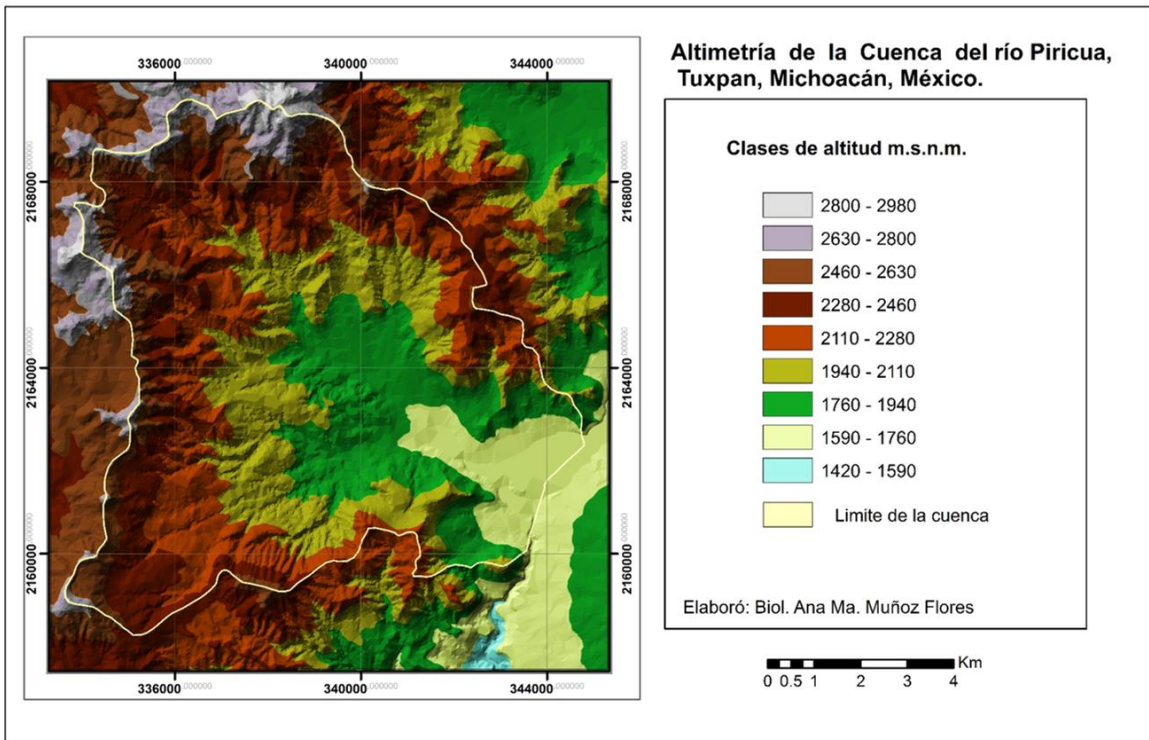


Figura 2. Mapa altimétrico de la Cuenca del río Piricua.

3.4 Geología

La cuenca es de origen volcánico. Los edificios de composición dacítica se formaron en el Plioceno recubriendo al basamento de rocas sedimentarias del Cretácico y a los sedimentos derivados de la erosión de estas rocas. El oriente de la cuenca está circundado por volcanes en escudo y flujos de lava del Cuaternario de andesita basáltica (Blatter *et al.*, 2001; Siebe *et al.*, 2007) (Fig. 3).

La estratigrafía general de la región se encuentra comprendida desde el Mesozoico hasta el Reciente. El Mesozoico está representado por rocas metamórficas que se presentan como facies de esquistos verdes los cuales están reportados con edades de 227.5, 188.3 y 156.3 Ma. (de Cserna, 1983), en algunas partes estas facies están intrusionadas por diques ácidos de rocas volcánicas Terciarias y Cuaternarias. Sobre estas facies metamórficas sobreyacen en forma discordante calizas del Cretácico superior cubiertas por andesitas terciarias y basaltos cuaternarios. Esta se presenta en forma de pequeños lomeríos.

Durante el Terciario se forman los derrames andesíticos, esta unidad cubre a esquistos Mesozoicos y subyace discordantemente a rocas volcánicas Terciarias, a basaltos Terciarios y Cuaternarios. Las lavas andesíticas fueron datadas por método de U-Pb en zircones dando una edad de 4.2 \pm 0.5 Ma. Por el método de K-Ar en hornblenda se estima una edad de 6.0 a \pm 0.7 Ma. (Petersen 1989 y Siebe 2007).

Dentro del Terciario también se desarrolla una toba ácida, esta unidad está compuesta por riolitas, formando fragmentos pumicíticos del tamaño de Lapilli. Presenta una morfología de lomeríos, en menor proporción se presentan depósito de tipo ignimbríticos y riocácíticos los cuales presentan pequeños fragmentos de roca, fracturamiento columnar, estructura masiva y textura fluida con una morfología de cerros y montañas con pendientes escarpadas (Petersen 1989 y Siebe 2007).

En el Cuaternario se formó basalto, brecha volcánica basáltica, fragmentos de lapilli y bloques; esta unidad conforma una morfología de volcán en escudo, ubicado inmediatamente al este de la cuenca, en la margen opuesta del río Tuxpan (cerro Tapia) y tiene una edad de 500 mil años (Blatter *et al.*, 2001)

Lo anterior se refiere de manera general a la región. Específicamente dentro de la cuenca estudiada afloran cuatro tipos de roca/sedimento: aluvial, dacita, dacita asociada a brecha volcánica de tipo ácida y toba basáltica, como muestra la Fig. 3.

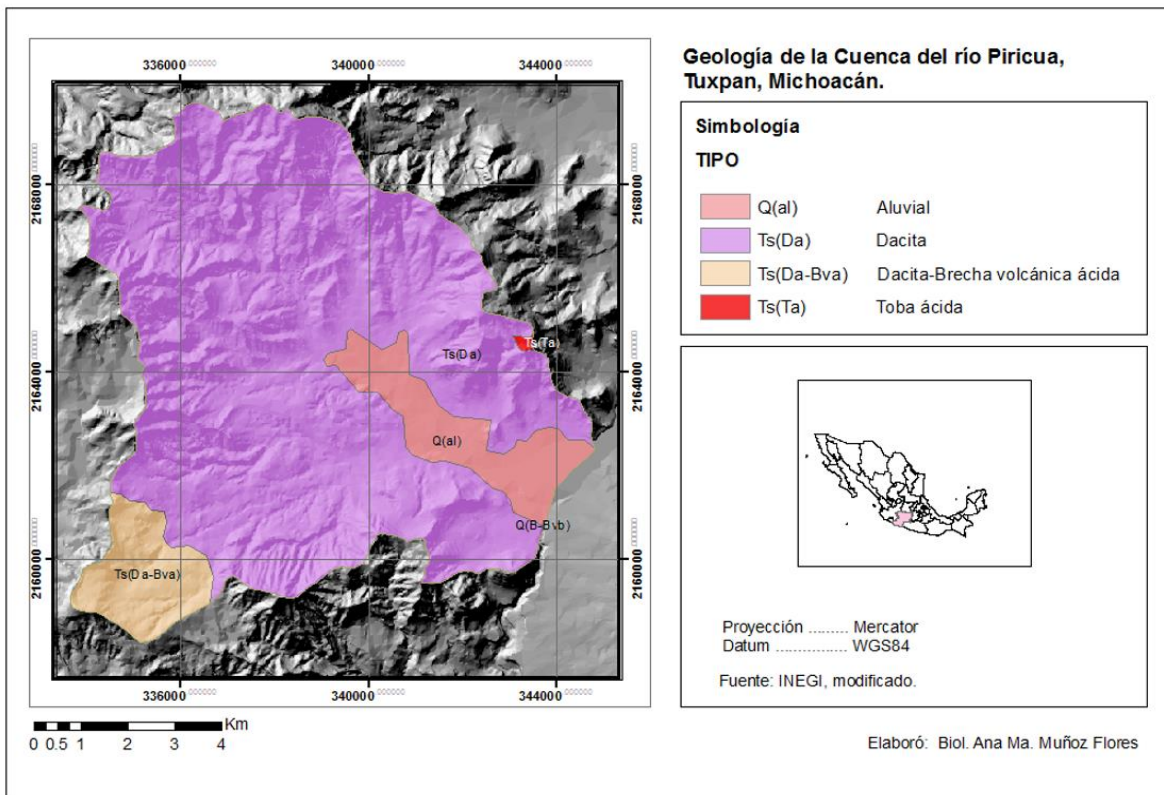


Figura 3. Mapa geológico de la Cuenca del río Piricua, INEGI (1989).

3.5 Edafología

Existen mapas edafológicos para la zona a escalas 1:50,000 y 1: 250,000 de INEGI (1999 y 2007). Los tipos de suelo dominantes en la cuenca son los Andosoles, los Luvisoles y los Vertisoles, de acuerdo con mapas con la clasificación FAO 1998, (Fig. 4 y 5), que corresponde a la porción centro-oeste. En las porciones bajas que corresponden a la zona inundable de acuerdo con el gradiente altitudinal en la cuenca se localizan de forma dominante a los Fluvisoles y los Vertisoles (Fig 31 y 32). En la zona Sur-Oeste los Lixisoles, en la zona de lomeríos se encuentran Calcisoles, Leptosoles, Luvisoles y Kastanozem. Y distribuidos en toda la cuenca están los Feozems, los Cambisoles y los Regosoles.

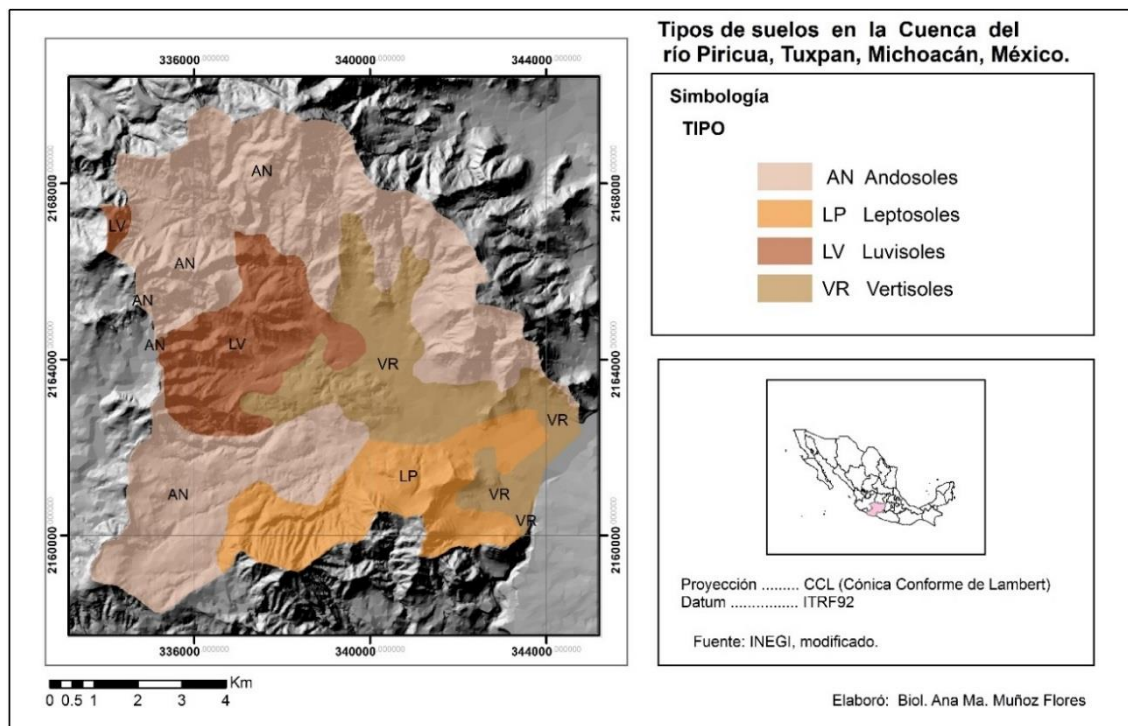


Figura 4. Mapa edafológico escala 1: 250 000 de la Cuenca del río Piricua.

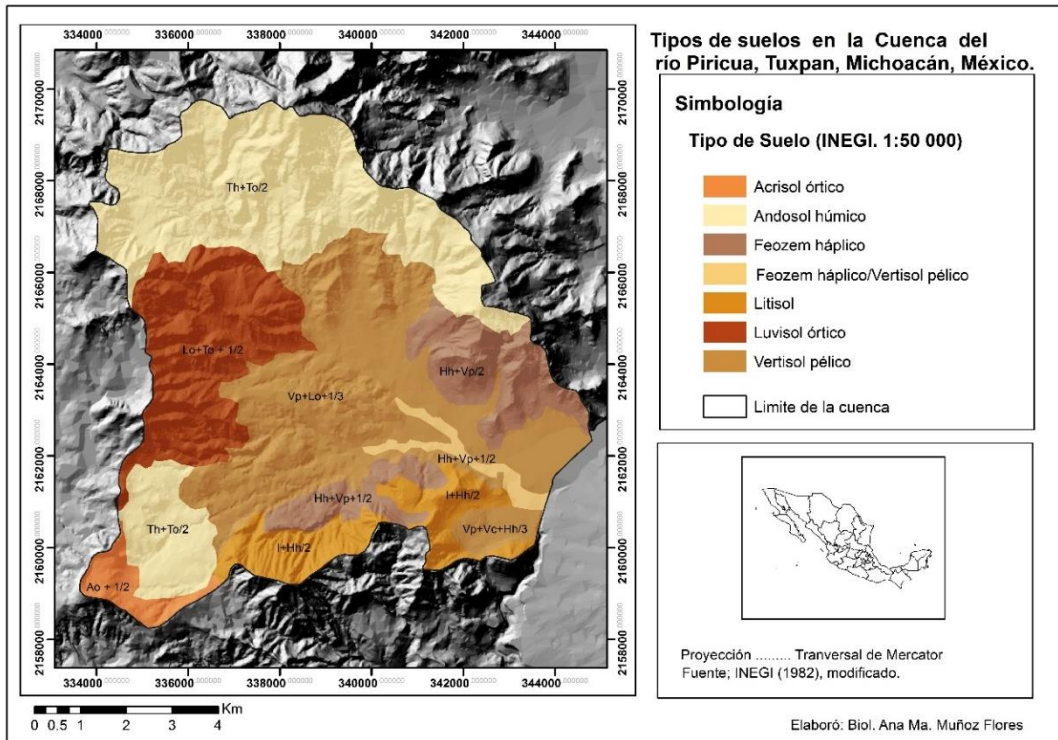


Figura 5. Mapa edafológico escala 1: 50 000 de la Cuenca del río Piricua.

3.6 Hidrología

La cuenca estudiada pertenece a la Región Hidrológica 18 Río Balsas. El río Piricua es afluente del río Tuxpan, el cual corre de norte a sur pasando por la ciudad de Tuxpan, en la parte oriental del estado de Michoacán (Fig. 6). Respecto a las aguas subterráneas, por la cuenca también corre el acuífero Ciudad Hidalgo-Tuxpan, cuenta con un gran número de corrientes tanto intermitentes como perennes, sus principales corrientes alimentadoras son del río Balsas y del Tuxpan (INEGI, 2001). Aunque en los mapas topográficos de INEGI el río troncal de la cuenca estudiada aparece con el nombre de "Piricua", la gente de la zona lo conoce más bien con el nombre de "El Aguacate". En esta tesis se adopta la denominación de los mapas de INEGI.

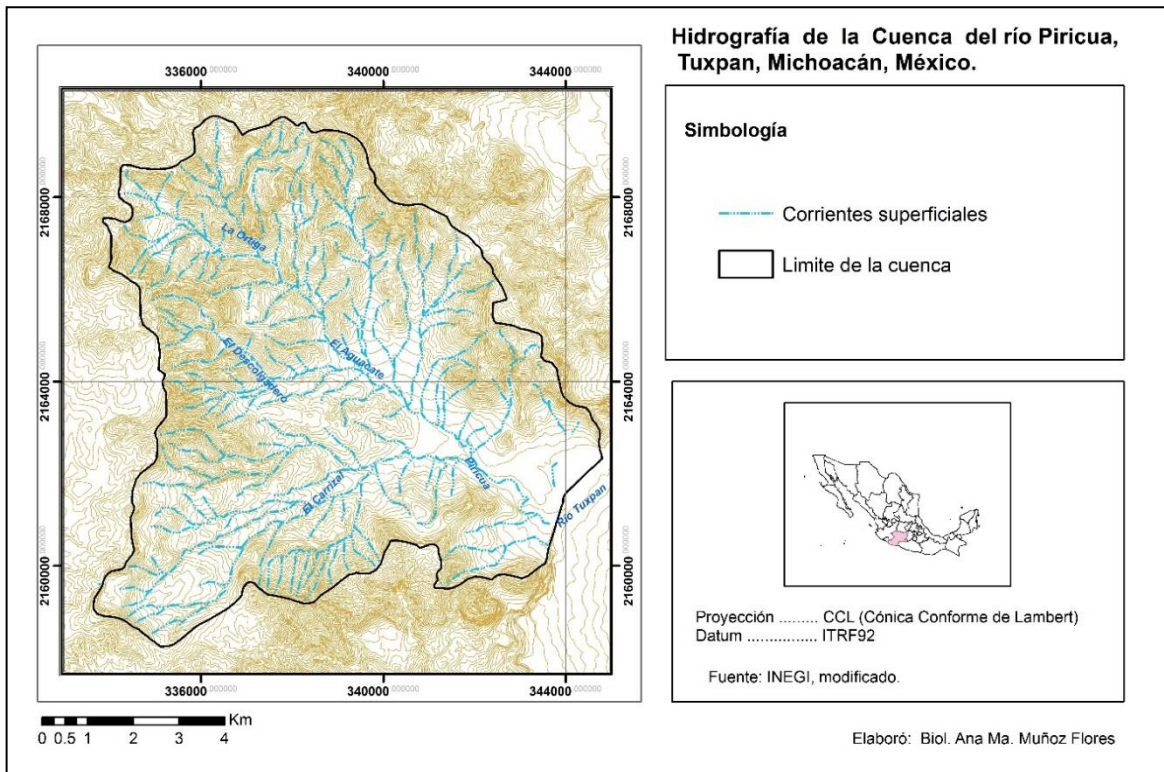


Figura 6. Principales corrientes superficiales de la cuenca.

3.7 Clima

La cuenca de río Piricua presenta 2 tipos de climas (Fig. 8) representados por las estaciones climatológicas Presa Tuxpan y Presa Agostitlán en las normales climatológicas entre los años 1951-2010. Las clasificaciones están basadas en el sistema de clasificación Köppen, modificado por García (1981).

La estación climática Presa Tuxpan ubicada a 1,747 m.s.n.m ubicada a 0.60 km al E del límite oriente de la cuenca en el punto de confluencia del río Piricua con el Tuxpan; presenta un clima tipo (A)C(w1) Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y una precipitación anual de 738 mm.

La segunda estación climática, Presa Agostitlán, se encuentra a 2,520 m.s.n.m, a 4.3 km al W del límite occidental de la cuenca estudiada. Tiene un clima de tipo C(w2) Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y una precipitación anual de 1,349 mm (Fig. 7).

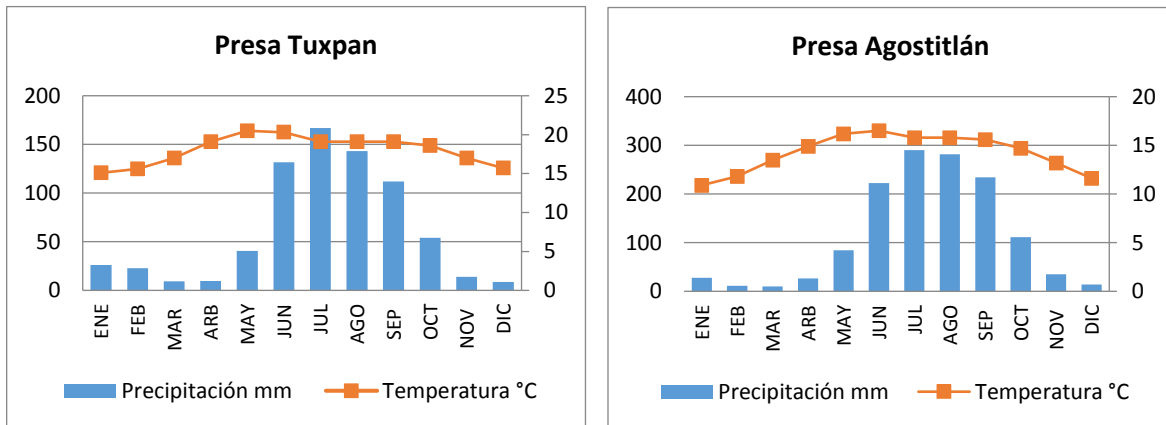


Figura 7. Climograma de las estaciones Presa Tuxpan y Agostitlán.

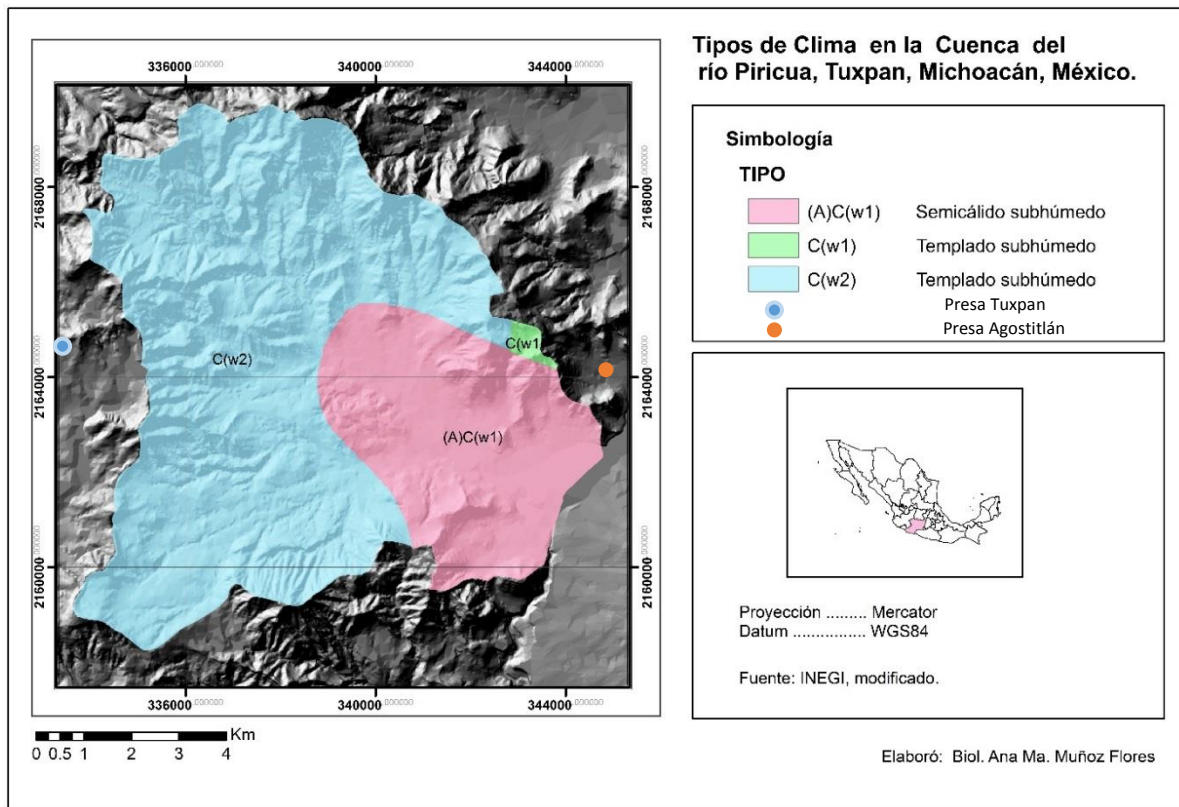


Figura 8. Mapa climático de la Cuenca.

3.8 Vegetación

De acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1978) en la zona de estudio se encuentran cinco tipos de vegetación (original) (Cuadro 1 y Figura 9).

Cuadro 1. Tipos de vegetación de la zona de estudio y especies representativas.

Tipo de Vegetación	Especies representativas
Bosque de Pino-Encino	<i>Pinus</i> sp, <i>Quercus</i> sp, <i>Arbutus</i> sp, <i>Abies</i> sp.
Bosque de Táscate	<i>Juniperus</i> sp.
Bosque de Galería	<i>Salix</i> sp, <i>Alnus</i> sp.
Selva baja caducifolia	<i>Bursera</i>
Tular	<i>Typha</i> sp.

3.8.1 Bosque de Pino-Encino

Presenta distintas asociaciones de *Pinus* y *Quercus* en las partes altas (>2000 m) con un estrato arbóreo mayor a 20 m. Otras especies representativas son el madroño (*Arbutus* sp.), el oyamel (*Abies* sp.) y el capulín (*Prunus serotina* var. *capuli*). En sitios húmedos se presentan helechos y las epífitas *Tillandsia* y *Bromelia*.

3.8.2 Bosque de Táscate

Se distribuye en la parte media (1800 a 2000 m) y está dominado por arboles del género *Juniperus* sp que presentan tallas de 8 a 15 m. Esta vegetación representa una zona de transición entre el bosque de pino-encino y la selva baja caducifolia.

3.8.3 Selva baja caducifolia

Se localiza en la parte baja (1600 m) y en las laderas pedregosas expuestas hacia el sur (1900 m). El estrato arbóreo no sobrepasa los 10 m de altura y se caracteriza por presentar una temporada seca bien marcada que puede prolongarse hasta 8 meses. El género *Bursera* es relevante por ser esta zona parte de su centro de origen y diversificación.

3.8.4 Bosque de galería

Se desarrolla en el borde de los ríos y arroyos, presenta árboles que forman galerías y sobrepasan los 20 m de altura debido a su cercanía con el agua. Las especies representativas son el sauce (*Salix* sp.) y el aile (*Alnus* sp.). Son de importancia ecológica porque forman corredores biológicos y sitios de abastecimiento de agua para los animales.

3.8.5 Tular

Presente en los sitios inundados de la planicie (1700 m) y constituido por plantas herbáceas de cerca de 2 m de alto. Se compone básicamente de plantas de tule (*Typha* sp.), carrizo (*Phragmites* sp.) y cola de caballo (*Equisetum* sp.). Importante filtro de materia orgánica.

Todos los tipos de vegetación presentan distintos grados de perturbación originados por actividades agrícolas, pastoreo y extracción de leña, mismos que se manifiestan por la presencia de vegetación secundaria. En algunos casos la sucesión se ha detenido formando matorrales o huizachales de *Acacia farnesiana*, una especie exótica de origen africano que es favorecida por la presencia del ganado, el cual dispersa sus frutos (Reporte del curso Tuxpan, 2013).

3.9 Uso del suelo

El municipio tiene 2,187 unidades de producción en una extensión de 17,642.94 hectáreas, 1,615 de estas unidades tienen actividad agropecuaria o forestal y abarcan el 36% de la extensión mencionada. En cuanto a la tenencia de las tierras, el 77% es propiedad privada, el 21% es ejidal y el 2.1% es comunal (Plan Estatal de Desarrollo Urbano, 2008-2012).

3.9.1 Principales cultivos

Los principales cultivos que se presentan en la zona son: maíz, trigo, frijol, jitomate y tomate. Frutos como durazno, guayaba, y aguacate, además se practica una floricultura dedicada principalmente al cultivo de gladiolas. También se encuentran zonas bajas destinadas a cultivos anuales y pastizales en las superficies cumbreles de las montañas y lomeríos (Plan Estatal de Desarrollo Urbano, 2008-2012).

3.9.2 Ganadería

En cuanto a la actividad ganadera, se cuenta con: 301 unidades de producción de ganado bovino, sobre todo para fines de leche y carne, 523 cabezas de ganado porcino, 25,257 cabezas de aves de corral y 75 unidades de producción de ganado caprino, también existen parcelas abandonadas que son usadas para pastoreo (Plan Estatal de Desarrollo Urbano, 2008-2012).

3.9.3 Industria Forestal

La industria forestal registrada en Michoacán consta de 1,259 aserraderos, 417 astilladoras, 1,261 talleres de cajas de empaque, 625 fábricas de muebles, 5 fábricas de triplay, 3 fábricas de tableros y 1 fábrica de papel, que suman 3,571 industrias con una capacidad de transformación de 13,725,000 m³/año (Plan Estatal de Desarrollo Urbano, 2008-2012).

3.9.4 Problemática vinculada a los bosques

Cabe destacar que uno de los problemas más graves que aquejan a los bosques en el estado de Michoacán es el de la tala ilegal. Indudablemente que en materia de inspección y vigilancia forestal urge un cambio drástico de política. Sin embargo, además de luchar para acabar con la impunidad, es indispensable atender la problemática considerando estrategias que tomen en cuenta los aspectos sociales y económicos de la tala clandestina (Plan Estatal de Desarrollo Urbano, 2008-2012).

Dentro del área de estudio los bosques han ido recuperando su cobertura y esto se ha asociado a el aumento de migración campesina a los E.U.A. en el período del 1975 a 2000 (López *et al.*, 2006). Para el caso de Tuxpan en las últimas tres décadas ha experimentado cambios en el uso del suelo predominando la conservación y restauración (Arredondo *et al.*, 2008). Actualmente existe un área reforestada de 90.42 hectáreas, dentro de las cuales se plantaron pino (75% de los árboles), cedro (2%) y otras especies (22%). De ésta extensión reforestada, 3.2 hectáreas pretenden ser explotadas antes del 2020 (Plan Estatal de Desarrollo Urbano, 2008-2012).

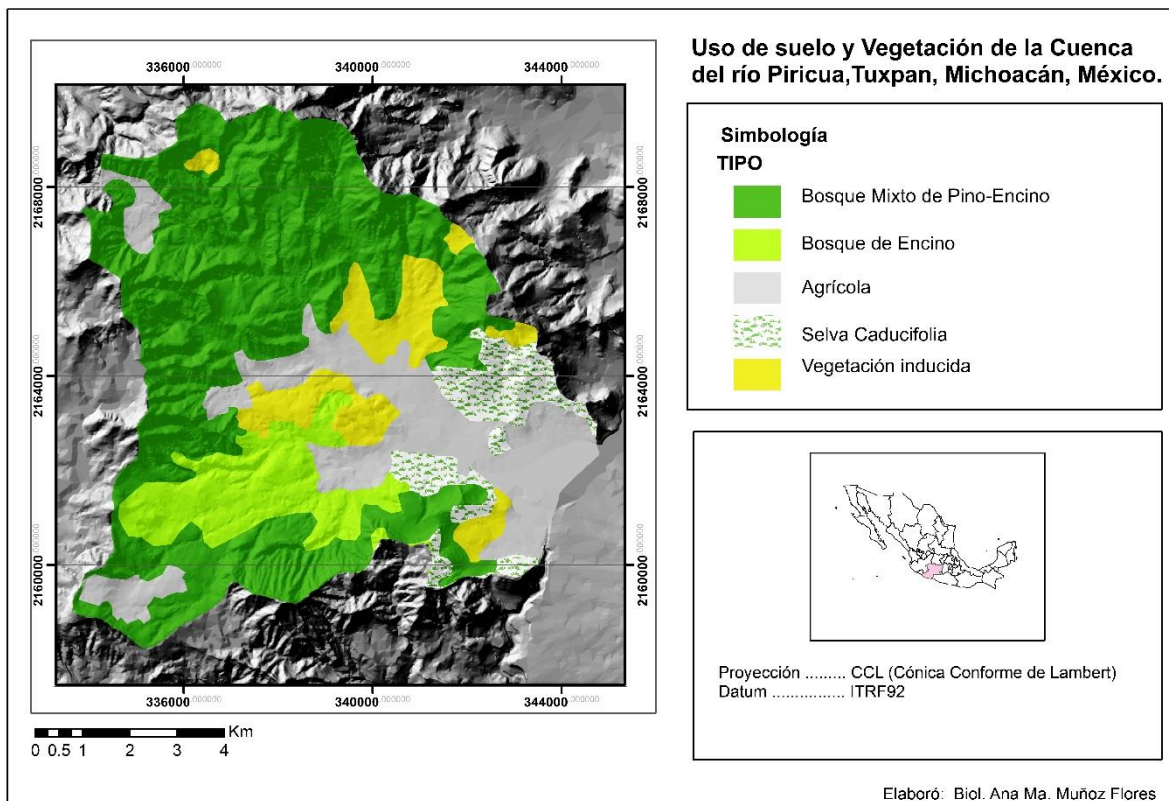


Figura 9. Uso de suelo y tipos de vegetación.

4. Métodos

4.1 Revisión documental

Se realizó una recopilación de información relacionada con el área de estudio, consultando artículos, libros, tesis, anuario estadístico del INEGI, informes de instituciones gubernamentales e información cartográfica: carta topográfica, 1999. Ciudad Hidalgo. E14a25. Escala 1:50 000. Carta geológica, 1999. Ciudad Hidalgo. E14a25. Escala 1:50 000. Carta de uso del suelo y vegetación. 1985, escala 1:250 000. Carta edafológica, 1999. Ciudad Hidalgo. E14a25. Escala 1:50 000. Carta de hidrología superficial 2001, escala 1:1000,000. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Serie II, escala 1:250 000 (Continuo Nacional). México. 2007. Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales E1401. Escala 1:250,000. Serie I. 1989. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación serie IV escala 1:250 000. Conjunto de datos vectoriales Edafológico. Escala 1:250,000. Serie II (continuo Nacional). 2007. Y el conjunto de datos vectoriales climas. Esc. 1:1 000 000. 2001. Todo ello con la finalidad de contar con toda la información posible para caracterizar la cuenca y elaborar la cartografía propia de la cuenca.

Por otro lado, se hizo una revisión exhaustiva de las hojas de descripción de campo de perfiles de suelo realizadas en un periodo de 18 años como parte del “Curso de Campo de Suelos y Geomorfología con un enfoque paisajístico” (posgrados en Geografía, Ciencias Biológicas y Ciencias de la Tierra de la UNAM), con objeto de crear una base de datos con la que se hizo el análisis del presente trabajo. Se revisaron, además de las hojas de descripción de campo, la ubicación de los perfiles (disponible por medio de GPS con precisión de +/- 5 m de 2003 en adelante) y la clasificación en el sistema WRB.

4.1.2 Delimitación de la unidad de paisaje (cuenca)

Se realizó una caracterización del medio físico del área de estudio. Se comenzó con la delimitación de la cuenca tomando como mapa base la carta topográfica escala 1:50 000 clave E14A25, Ciudad Hidalgo (INEGI, 1999), con el fin de establecer los límites naturales identificando los parteaguas. Finalmente, se trazó toda la red fluvial (ríos, arroyos).

4.1.3 Fotointerpretación para el levantamiento geopedológico

Para identificar las principales formas del relieve (geoformas) se utilizaron las siguientes fotografías aéreas verticales B/N de INEGI de mayo de 1989, escala 1:75 000, L-152 E14-1 No. 7-9; y de INEGI de mayo de mayo de 1989, escala 1:37 000, L-303 E14A25 No. 6-8, para delimitar las unidades geomorfológicas de mapeo mediante técnicas de fotointerpretación estereoscópica, utilizando los siguientes criterios (Fig. 10).

- Pendiente: En el análisis del relieve, la noción de pendiente juega un papel esencial. Toda porción de la superficie terrestre presenta una inclinación que es necesario valorar: no existe pendiente nula (Derruau, 1958). Por lo que las rupturas y cambios de pendientes fueron parte fundamental para la delimitación entre geoformas.
- Forma: se distinguieron elevaciones y depresiones dividiendo las primeras en elevaciones escarpadas y redondeadas, así también se distinguieron formas por su localización utilizando como base el modelo de ladera de Ruhe (1960).
- Tamaño: se distinguieron órdenes de estructuras, clasificando como ordenes menores a las grandes estructuras y con órdenes superiores a las que se albergaban en ellas siguiendo la lógica de las escalas anidadas.
- Texturas y tonos: los cambios de estos rasgos dentro de la imagen suelen ser rasgos de apoyo para distinguir entre una geoforma y otra.
- Uso de suelo: para distinguir áreas con vegetación, áreas de cultivo y áreas urbanas.

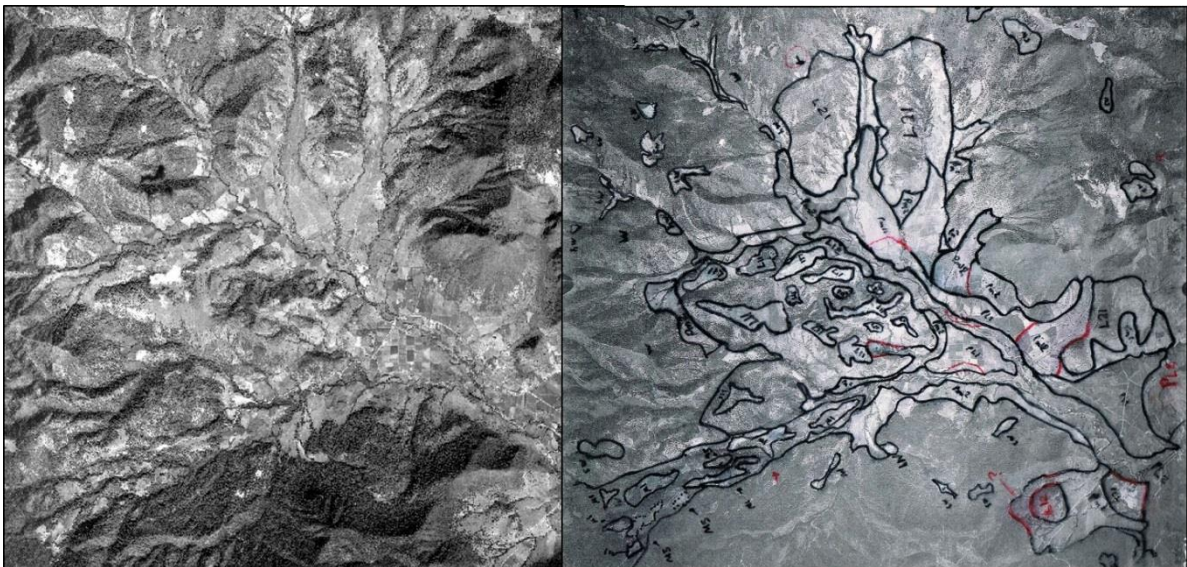


Figura 10. Fotointerpretación de la cuenca en fotografías aéreas de INEGI escala 1:37 000 y 1:75 000.

En la Figura 10, se observa la fotointerpretación final la cual se corrigió en varias ocasiones con el propósito de tener límites detallados entre las geoformas verificando esta información en campo posteriormente por si se tenía que hacer alguna corrección.

4.1.4 Clasificación de geoformas

Para generar la clasificación de las geoformas se utilizó el sistema taxonómico propuesto por Zinck (1988). Identificando las categorías de grupo y subgrupo en el área de estudio (Cuadro 2):

Cuadro 2. Sistema taxonómico de las geoformas (Zinck, 1988).

Nivel	Categoría	Concepto genérico	Definición
4	Grupo	Paisaje geomorfológico	Gran porción de terreno caracterizada por sus rasgos fisiográficos; corresponde a una repetición de tipos de relieve similares o a una asociación de tipos de relieve disímiles (valle, altiplanicie, lomerío, montaña, etc).
3	Subgrupo	Relieve	Tipo de relieve originado por una determinada combinación de topografía y estructura geológica.
2	Subfamilia	Forma de terreno	Tipo básico de geoforma caracterizado por una combinación única de geometría, historia y dinámica.

4.2 Trabajo de campo

Con la finalidad de cubrir la mayor parte del área de estudio, se trazaron diferentes catenas a partir de la información generada de la fotointerpretación, las observaciones restantes se colocaron tratando de representar a estas mismas unidades geomorfológicas (montaña, lomerío, piedemonte, planicies, etc). La autora de esta tesis participó en los trabajos de campo del “Curso de Campo de Suelos y Geomorfología con un enfoque paisajístico” de los años 2012 y 2013, ambos realizados durante una semana mediados de junio. Además, se tuvo acceso a la base datos acumulados en todos los cursos impartidos, antes de 2012 y después de 2013. Se registró un total de 299 perfiles edáficos en un período de 1996 hasta 2016. Cada uno de ellos fue descrito morfológicamente con base en el *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo* (Siebe *et al.*, 2006). Los aspectos que se consideraron en la descripción morfológica son los que a continuación se presentan:

Cuadro 3. Propiedades morfológicas evaluadas en campo.

Propiedad
Textura
Color
Densidad aparente
Estructura
Estabilidad de agregados
Humedad
Materia orgánica
Porosidad
Profundidad de raíces
Capacidad de intercambio catiónico total
Bases intercambiables
pH
Humus
Reacción al aluminio activo
Reacción a los carbonatos (CaCO_3)

De cada sitio se levantó la siguiente información:

- Localización geográfica: utilizando un GPS, marca garmin modelo Xtrail 20
- Altitud: utilizando un GPS, marca garmin modelo Xtrail 20
- Pendiente: con clinómetro
- Tipo de cultivo o vegetación: por observación directa
- Clima: por consulta bibliográfica
- Pedregosidad en superficie: observación directa
- Material parental: por identificación directa en campo
- Forma del relieve: por identificación directa en campo
- Tipo de erosión: observación directa
- Actividades humanas: por identificación directa en campo

Con los datos obtenidos en el levantamiento de campo se analizó el grado de desarrollo morfológico de cada perfil por identificación de procesos pedogenéticos y se realizó una evaluación edafo-ecológica de sitio (Siebe *et al.*, 2006).

Con base en la descripción de rasgos del perfil y en las propiedades inferidas a partir del *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo* (Siebe *et al.*, 2006), se clasificaron los suelos de acuerdo con el sistema de la World Reference Base for Soil Resources de la FAO (WRB, 2007).

4.3 Trabajo de gabinete

4.3.1 Elaboración de la base de datos

La base de datos se elaboró a partir de las observaciones obtenidas por los estudiantes en el Curso de Campo Suelos y Geomorfología con un enfoque paisajístico, el cual inició en el año 1996. Se contó con la información de los años 1996, 1999, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016; de los años faltantes 1997, 1998 y 2000 no se logró conseguir la información. En total un período de 18 años con 299 descripciones en dicho período.

Una parte importante de este trabajo de compilación fue la localización precisa de cada uno de los perfiles descritos, con objeto de asociarlos correctamente en los mapas a las geoformas en las que efectivamente se encuentran. Cabe destacar que en los perfiles de 1996 y 1999 se detectaron algunos errores de localización, ya que en esos años no se contaba con aparatos GPS de posicionamiento satelital, sólo con la ubicación realizada por los alumnos directamente en la cartografía existente, por lo que fue necesario reubicar los sitios con información directa de las hojas de descripción, con la ayuda de la Dra. Christina Siebe G. y el Dr. Lorenzo Vázquez S.

Aun contando con coordenadas GPS, en algunos casos fue necesario corregir la localización de los perfiles ya que los autores de la descripción habían utilizado un datum diferente al de la base de datos construida en esta tesis (WGS 84). Se pudo detectar inconsistencias asociadas a esto, lográndose las correcciones necesarias.

Es importante mencionar que para los perfiles de 1996 y 1999 la localización puede tener errores, aunque en todos los casos se logró situar los puntos dentro de la unidad geomorfológica correcta (es decir, en la geoforma que se anota en la hoja de descripción como sitio de descripción del suelo). En cambio, para todos los puntos del 2001-2016 la precisión de la localización corresponde a la de los aparatos GPS, que en general es <50 m para todos los datos y de <10 m (comúnmente entre 3 y 5 m) para los años 2003-2016.

Se construyó una base de datos en Excel con los elementos obtenidos en las hojas de descripción de campo como coordenadas (UTM, datum WGS 84), localidad, clima, altitud, pendiente, geoforma, uso de suelo, clasificación WRB entre otros.

Con base en las observaciones de campo y la fotointerpretación, se realizaron las correcciones pertinentes de algunos puntos de muestreo en los que tenían algún dato incorrecto como ubicación y clasificación de suelo.

4.3.2 Reclasificación de acuerdo con la WRB 2007

Una vez verificada y corregida la ubicación de los puntos de muestreo con sus unidades geomorfológicas correspondientes, el siguiente paso fue homogeneizar las clasificaciones de los tipos de suelo a nivel de gran grupo (GSR), prefijos y sufijos, ya que estaban clasificados con distintas fuentes en las hojas de descripción, tomando como base la World Reference Base for Soil Resources (WRB 2007).

4.3.3. Digitalización del mapa morfopedológico

El mapa morfopedológico se elaboró partiendo del resultado de la fotointerpretación geomorfológica y de la base de datos de suelos antes mencionada. El mapa se trazó utilizando el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS. 10.2, donde se digitalizaron un total de 93 polígonos, los cuales se delimitaron visualmente mediante la fotointerpretación previa tratando de hacer los trazos con el mayor detalle posible para los polígonos, asimismo con ayuda del modelo digital de elevación MDE obtenido en la página web del INEGI (continuo de elevaciones mexicano 3.0, CEM 3.0). Sin embargo, no se pudo distinguir entre las terrazas intermedias y bajas y la planicie de inundación de los ríos (todas ellas claramente distinguibles en campo), debido a la escala de las fotografías aéreas, por lo que estas tres geoformas fueron englobadas en una misma unidad de mapeo.

4.3.4. Análisis de la edafodiversidad con base en el índice de diversidad Shannon y el método de la curva de acumulación (rango-abundancia).

Es importante establecer que el término “abundancia (p)” en este trabajo hace referencia al *número total de perfiles* de suelo por unidad geomorfológica de la cuenca. Por otra parte, el término “rango (S)” se refiere a los *tipos de suelos* por unidad geomorfológica ordenados de manera jerárquica en el caso de las curvas de acumulación.

- Índice de Shannon

El índice de diversidad de Shannon se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i * \ln(p_i)$$

Donde p_i es la abundancia proporcional de la especie i , es decir el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra (N).

Adquiere valores entre cero cuando hay una sola especie y el logaritmo de S (S =tipo de suelo), cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

- Curvas de acumulación o curvas rango-abundancia

Whittaker (1965) sugirió el uso de curvas de acumulación para determinar patrones de distribución de la abundancia de taxas. Se obtienen al ordenar jerárquicamente a los taxas presentes en cada unidad de muestreo. Se coloca primero la de mayor abundancia y con base en este criterio, se obtiene un perfil de abundancias por rango, de ahí su nombre. En estas curvas, las abundancias se representan en escala logarítmica y presentan la enorme ventaja de resumir gran cantidad de información en poco espacio (Barrientos *et al.*, 2016).

Para obtener las curvas de acumulación se aplicaron los siguientes criterios; el eje X pertenece a los tipos de suelo es decir el Rango (riqueza), posteriormente se ordenaron de manera jerárquica de acuerdo con el número de perfiles de suelo según la unidad geomorfológica (primer orden) en la que están presentes, en seguida se aplicó el logaritmo natural a cada tipo de suelo obteniendo así la abundancia.

5. Resultados

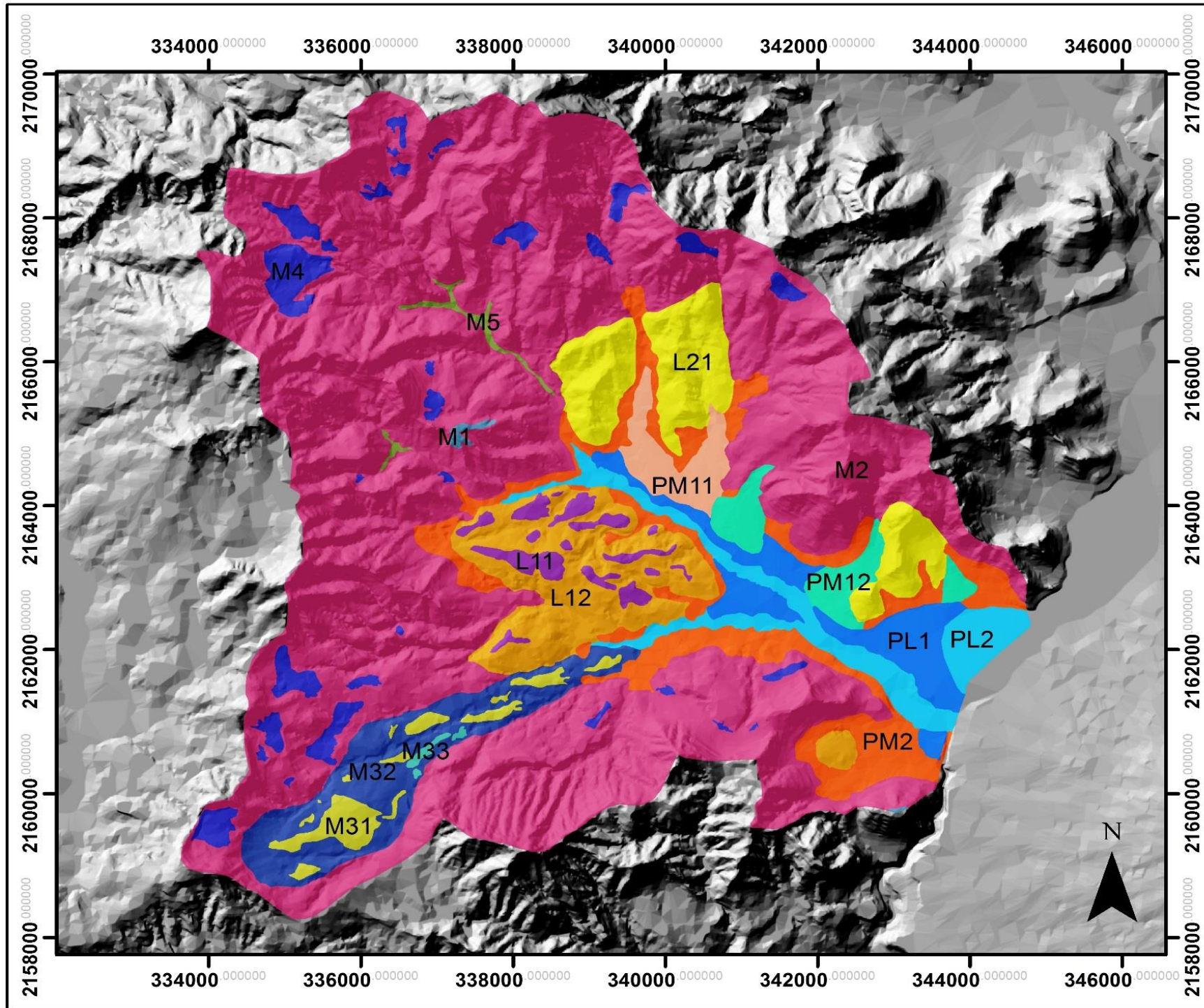
5.1 Análisis de las unidades morfoedológicas

En el mapa geomorfológico (Fig. 11) se identificaron y delimitaron cuatro principales grupos de unidades geomorfológicas a las que se le dominaron de primer orden: montaña (**M**), lomerío (**L**), piedemonte (**PM**) y planicie aluvial (**PL**), los cuales se subdividen en geoformas de segundo orden y tercer orden. A las unidades y subunidades descritas se les asignó una clave para su identificación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Unidades geomorfológicas identificadas.

Primer orden	Segundo orden	Tercer orden
Montaña (M)	Superficie cumbral (M1)	
	Ladera con pendiente fuerte (M2)	
	Ladera con pendiente moderada (avalancha) (M3)	Superficie cumbral (M31)
		Ladera de barranco (M32)
		Ladera cóncava coluvial (M33)
	Escalón cóncavo (M4)	
	Relleno coluvio-aluvial (M5)	
Lomerío (L)	Redondeado (L1)	Superficie cumbral (L11)
		Lomo de ladera (L12)
	Escarpado (L2)	Lomo de ladera (L21)
Piedemonte (PM)	Abanico aluvial (PM1)	Antiguo (PM11)
		Joven (PM12)
	Coluvial (PM2)	
Planicie aluvial (PL)	Terraza alta (PL1)	
	Terrazas bajas/llanura de inundación (PL2)	

Unidades Geomorfológicas



Proyección Mercator
 Datum WGS84

Elaboró: Biol. Ana Ma. Muñoz Flores

Simbología

	1°	2°	3°	
Montaña M		Superficie cumbral		
		Ladera con pendiente fuerte		
		Ladera con pendiente moderada (avalancha)	Superficie cumbral	
		M3	Ladera de barranco	
			Ladera cóncava coluvial	
		Escalón cóncavo		
		Relleno coluvio-aluvial		
Lomerío L		Redondeado	Superficie cumbral	
		L1	Ladera	
		Escarpado	Ladera	
Piedemonte PM		Abanico aluvial	Antiguo	
		PM1	Joven	
		Coluvial		
Planicie aluvial PL		Terraza alta		
		Terrazas bajas/llanura de inundación		

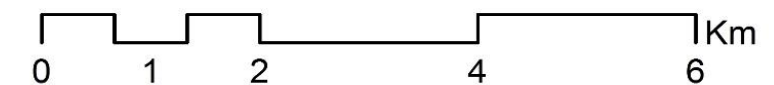


Figura 11. Mapa de unidades Geomorfológicas.

5.1.1 Montaña

La unidad de montaña es la más extensa de la cuenca, se localiza en la periferia de la cuenca, presenta pendiente fuerte y una altitud máxima de 2,700 m.s.n.m. En esa unidad se identificaron las geoformas representadas en el perfil de la Figura 12, presenta una litología de dacitas y brecha volcánica, siendo esta unidad el parteaguas de la cuenca. En la porción suroeste se localiza el depósito de avalancha de rocas dacíticas y brecha volcánica ácida. La montaña cuenta con un total de 116 descripciones de perfiles de suelo a partir de los cuales se identificaron diez tipos de suelos.

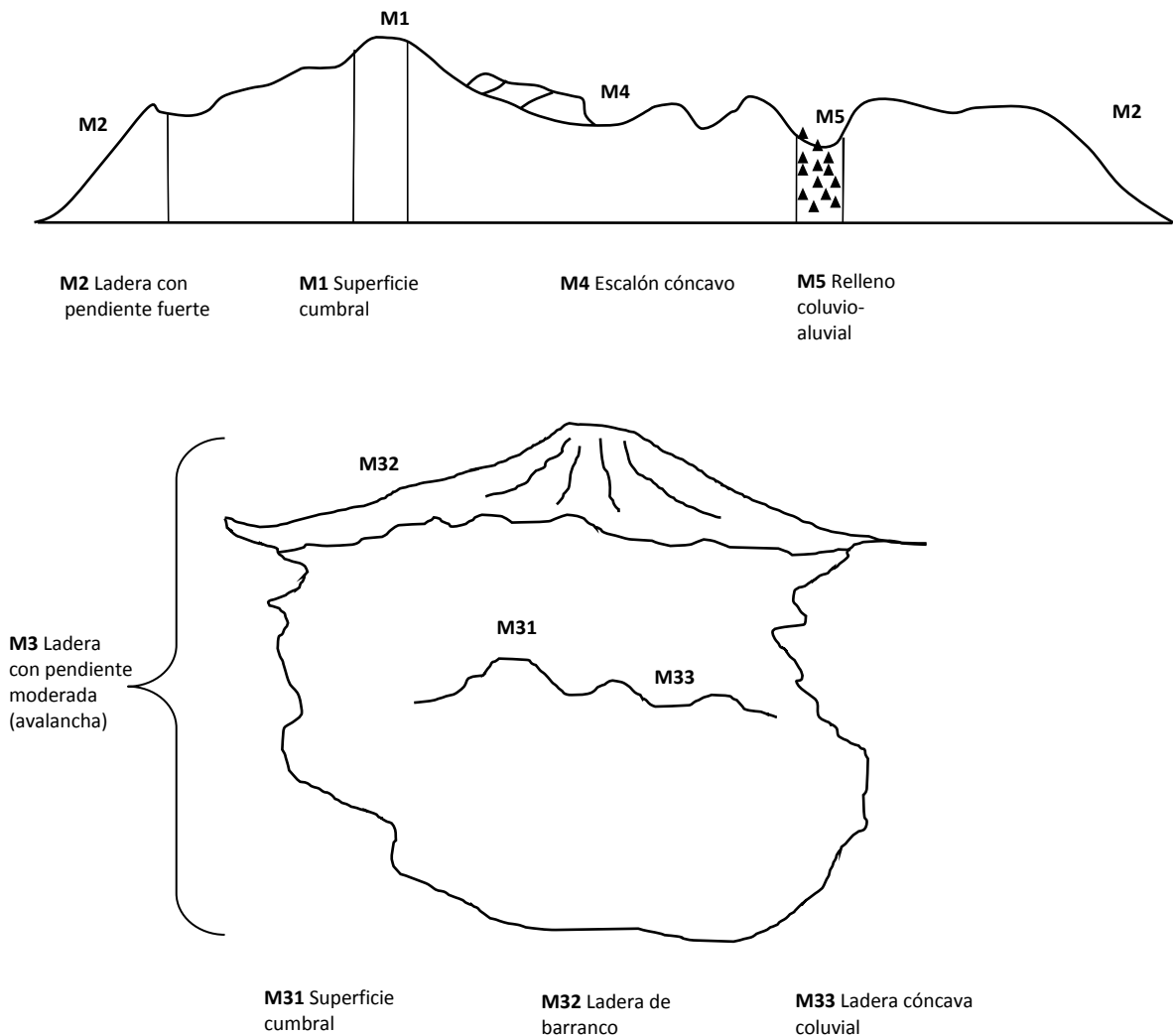


Figura 12. Diagrama que representa la Unidad de montaña (M).

5.1.1.1 Superficie cumbral M1.

En la unidad montaña se presentan cinco subunidades o formas menores. Debido a cuestiones de escala de trabajo, en el mapa de unidades geomorfológicas la unidad M1 se integró dentro de la unidad M2. Cuenta con seis descripciones de perfiles, la vegetación que presenta es matorral espinoso y zonas con uso agrícola. Los tipos de suelos identificados para la subunidad M1 son Feozem con dos perfiles; Leptosol, Regosol, Lixisol y Luvisol, con una observación cada uno. Se trata de suelos con poco desarrollo en el caso de los Leptosoles y Regosoles. Localmente puede presentarse un horizonte mólico (Feozems) y el calificador esquelético. También localmente pueden estar presentes tipos más evolucionados (Lixisol, Luvisol) (Fig. 13).

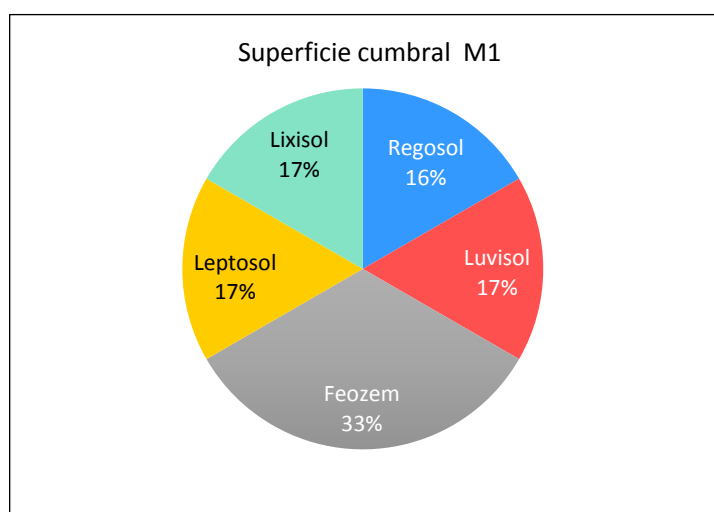


Figura 13. Grupos de suelos de referencia de la unidad de superficie cumbral (montaña) M1. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos de un Grupo con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=6).

5.1.1.2 Ladera con pendiente fuerte M2.

La subunidad M2 es la que tiene mayor variabilidad de suelos en la unidad de montaña, presentando ocho tipos de suelos. De 59 perfiles descritos, 24 corresponden a Feozem, 10 son Regosoles, 8 Cambisoles, 6 Andosoles, 4 Leptosoles, 4 Lixisoles, 2 Vertisoles y un Calcisol. La altitud va desde 1,826 hasta 2612 m.s.n.m y la pendiente de 8° a 45°, aunque en general dominan las pendientes fuertes. Por sus características fisionómicas es una zona con vegetación más conservada, dominada por bosques templados en las partes altas o selva baja caducifolia en las partes bajas. Debido a su cubierta forestal, la acumulación de materia orgánica humificada es un proceso fundamental que se refleja en horizontes A gruesos, lo que explica la dominancia del grupo de los Feozems, así como la frecuencia del calificador mólico. No obstante la cubierta forestal, debido a las fuertes pendientes en muchas laderas prevalece la inestabilidad geomórfica (erosión laminar y remoción en masa)

y los perfiles de suelo someros, por lo cual abundan los Regosoles, Leptosoles y Cambisoles delgados, a menudo con alta pedregosidad. Los calificadores que dominan son mólico, éutrico y esquelético (Fig. 14).

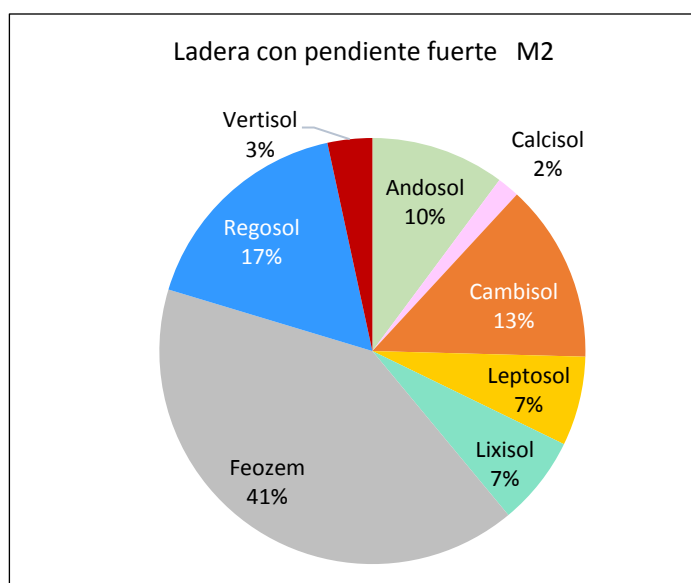


Figura 14. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Ladera con pendiente fuerte (montaña) M2. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=59).

5.1.1.3 Ladera con pendiente moderada (avalancha), superficie cumbral M31.

La subunidad M3 fue sub-dividida en tres elementos menores M31, M32 y M33, esto de acuerdo con la variación de su forma y la pendiente. La subunidad M31 (Fig. 15), superficie cumbral (avalancha) presenta 6 tipos de suelos diferentes, el más abundante es el de tipo Lixisol con seis perfiles, Luvisol cuatro, Andosol tres, Feozem dos, Cambisol y Regosol ambos con uno. El rango de altitud va de 1980 a 2300 m.s.n.m y la pendiente más inclinada es de 10°. La vegetación que presenta es de Bosque de Pino-Encino y algunas zonas son de uso agrícola. Una de las características que destacan es el desarrollo de perfiles profundos que además presentan revestimientos de arcilla (Luvisol, Lixisol), por lo que el calificador cutánico está presente en la mayoría de las descripciones, producto de la migración de arcillas de horizontes superficiales a horizontes más profundos (argiluvación). Son sitios de acumulación, ganancia y enriquecimiento de sustancias por ello el calificador hiperéutrico en la mayoría de las descripciones, es decir que presentan una saturación de bases de 50% o más en todo el espesor de 20-100 cm del suelo superficial. Localmente se presentan condiciones reductoras (manchas y motas) al menos temporariamente (o estuvieron saturados en el pasado) asociadas a sitios de poca inclinación o depresiones topográficas, teniendo el calificador stágnico en varias descripciones. El clima (precipitación-humedad) y el relieve juegan entonces un papel importante en la génesis del suelo; actuando de manera

significativa el intemperismo químico y el desarrollo de perfiles profundos en zonas de pendiente baja o moderada de esta unidad.

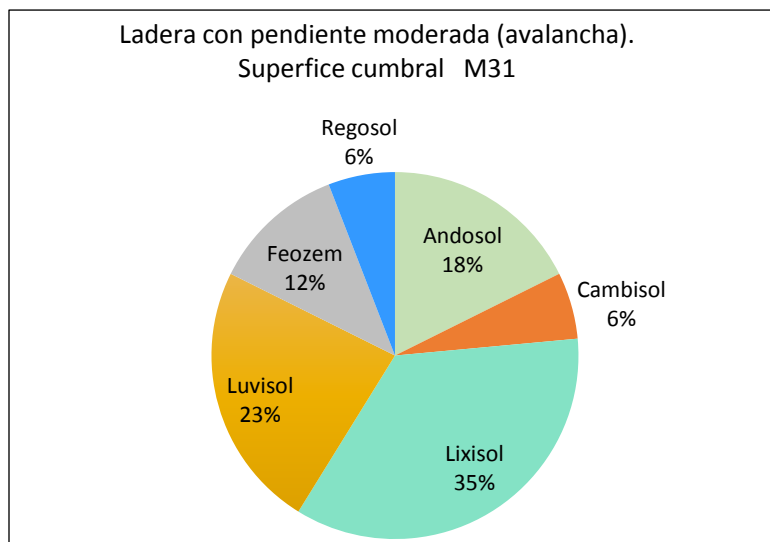


Figura 15. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Ladera con pendiente moderada (avalancha), superficie cumbre M31. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=17).

5.1.1.4 Ladera con pendiente moderada (avalancha), ladera de barranco M32.

El elemento M32 (Fig. 16) presenta siete tipos de suelos, el más abundante es el Feozem con cinco perfiles descritos, Cambisol con cuatro, Lixisol y Regosol con tres cada uno, Stagnosol con dos y Calcisol y Luvisol con uno. Hay distintas condiciones que propician el desarrollo de estos suelos, en el caso de los Feozems que están formados en materiales no consolidados, con colores oscuros en el primer horizonte por la cantidad de humus y materia orgánica. De igual manera los Lixisoles presentan en este sitio un desarrollo avanzado de migración de arcillas (iluviación) por lo que el intemperismo químico profundo está presente en esta unidad. Por otro lado, la presencia de suelos como Cambisoles y Regosoles en general se asocia a pendientes fuertes en las laderas de estas barrancas donde la fuerte dinámica geomorfológica (erosión, procesos menores de remoción en masa) genera perfiles con poco o moderado desarrollo. La presencia de Calcisoles en la zona de menor altitud de esta unidad sugiere que la menor cantidad de precipitación propicia la acumulación de carbonatos secundarios; en esa franja de transición hacia los climas menos húmedos y cálidos de la parte baja de la cuenca se presenta con frecuencia vegetación perturbada debido al pastoreo. Los calificadores presentes son vértico, asociado a la presencia de grietas y slickensides producto de la expansión-contracción de las arcillas

expandibles; y los rasgos stágnicos, por la presencia de machas y motas asociadas a un subsuelo impermeable o compactado por el pastoreo.

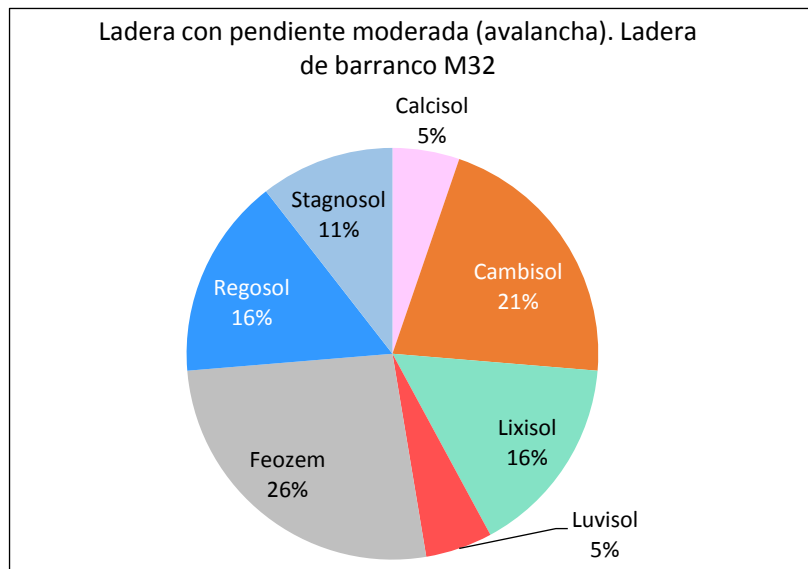


Figura 16. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Ladera con pendiente moderada (avalancha), ladera de barranco M32. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=19).

5.1.1.5 Ladera con pendiente moderada (avalancha), ladera cóncava coluvial M33.

Esta unidad consiste de concavidades e incluso pequeñas depresiones dentro de la ladera de avalancha, donde prevalece la acumulación coluvial y el drenaje subsuperficial a menudo es deficiente. La litología de la geoforma es de depósito de avalancha dacítico. La pendiente es suave (9°) con una altitud promedio de 2,100 m.s.n.m. Se reconocieron suelos de tipo Lixisol con dos perfiles registrados, Feozem y Stagnosol con uno (Fig. 17), éste último relacionado con mal drenaje y condiciones reductomórficas. Debido al número de observaciones no se puede decir que sea un sitio diverso en comparación con las unidades antes mencionadas. Por las características geomorfológicas de baja pendiente y suelo profundo, el uso de suelo es agrícola. Los calificadores que destacan son cutánico, síltico y por ultimo crómico.

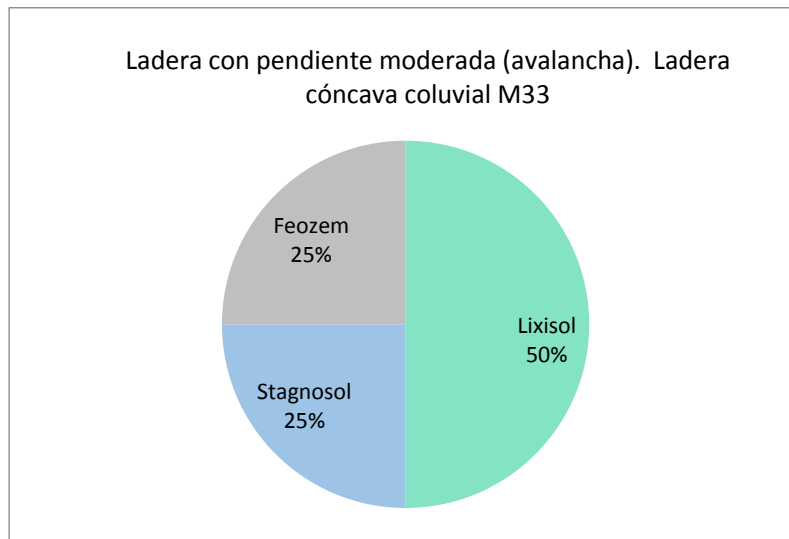


Figura 17. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Ladera con pendiente moderada (avalancha), ladera cóncava coluvial M33. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=4).

5.1.1.6 Escalón cóncavo M4.

La formación de esta unidad es producto de procesos de remoción en masa de gran magnitud, probablemente avalanchas detríticas, por los cuales una parte de la masa de la montaña se desplaza a una cota inferior. Este tipo de procesos gravitacionales se relacionan con precipitaciones extraordinarias y/o con sismos de gran magnitud, ya que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo al deslizamiento (Gray y Sotir, 1996; TRAGSA Y TRAGSATEC, 1994). En el sitio de donde se desprendió la masa queda una gran “cicatriz” en forma de anfiteatro, cuya morfología cóncava en planta y perfil favorece la subsecuente acumulación de coluvión en la parte más baja del anfiteatro. Éste sector bajo aparece como un rellano o “escalón” que capta material coluvial y presenta condiciones contrastantes con respecto a las fuertes pendientes que dominan en la unidad de montaña.

En la unidad M4 se han descrito cuatro tipos de suelos: Feozem con cuatro perfiles, Andosol tres, Cambisol dos, y Regosol uno. Es un sitio cuyas pendientes suaves oscilan entre 1° y 11°, el punto más alto es de 2,583 m.s.n.m, es decir bajo climas templados húmedos. En general en esta unidad hay una relativa estabilidad geomórfica que permite la preservación in situ de cenizas volcánicas y su transformación en andosoles, así como la acumulación de materia orgánica humificada y el desarrollo de Feozems. Pero por su morfología también propicia la acumulación episódica de coluvión, por causas naturales o antrópicas, y la presencia de suelos profundos pero de bajo o moderado grado de desarrollo (Cambisoles y Regosoles). Por sus características físicas la unidad M4 es utilizada para la agricultura (dominantemente

de huertos frutales) y el pastoreo. Los calificadores taxonómicos que presentan los suelos son sílticos, mólicos y colúvicos.

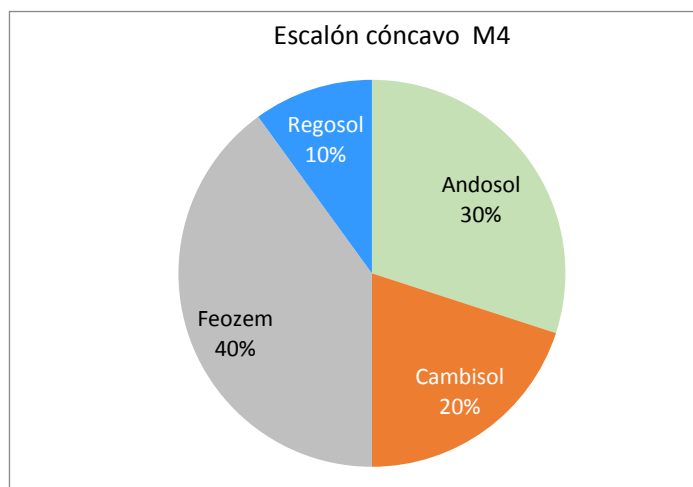


Figura 18. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Escalón cóncavo M4. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=10).

Por último, en la unidad M5 (Relleno coluvio-aluvial) solo se ha descrito un perfil y se trata de un Fluvisol éútrico, claramente asociado a los depósitos aluviales y coluviales del fondo de los valles de montaña.

5.1.2 Lomerío

La unidad de lomerío dentro de la cuenca se ubica en la zona noroeste formada por dacitas y andesitas; se caracteriza por una repetición de colinas redondeadas y escarpadas como se observa en la Figura 19, con cimas entre 1,800 y 2,000 m.s.n.m (Fig. 2). Las pendientes son de 0° a 40° y los procesos erosivos principalmente son de tipo hídrico (precipitaciones de 1,077 a 1,360 mm) en gran medida asociados con la deforestación y el uso de suelo agropecuario desde época prehispánica. En esta unidad geomorfológica se describieron un total de 53 perfiles. Es uno de los sitios con amplia variabilidad de suelos como la unidades de montaña. Del total de 12 GSR que ocurren en toda la cuenca, tan solo en esta unidad se registraron 9 GSR en las 53 descripciones.

Se subdivide en dos tipos: el de morfología redondeada (L1), que se caracteriza por superficies cumbrales amplias, cartografiables; y el escarpado (L2), con pendientes fuertes y cimas en cresta no cartografiables a la escala de análisis.

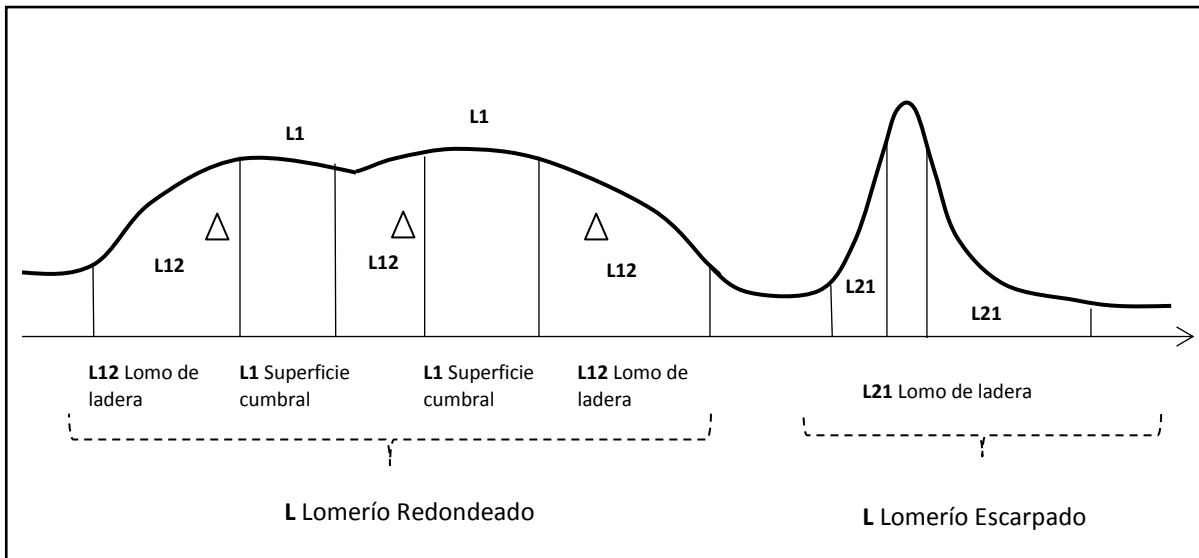


Figura 19. Diagrama que representa la Unidad de lomerío (L).

5.1.2.1 Lomerío redondeado, superficie cumbral L11.

Por su configuración la unidad de lomerío redondeado fue dividida en dos subunidades. La superficie cumbral (L11) tiene seis tipos de suelo; Feozem con cuatro descripciones, Regosol y Stagnosol con tres, Leptosol con dos, Cambisol y Luvisol con uno (Fig. 20). Presenta pendiente suave que fluctúa entre los 0° y 6°, por lo que es una unidad relativamente estable desde el punto de vista morfodinámico, donde la erosión es de baja intensidad facilitando con esto el desarrollo del suelo. El proceso pedogenético con mayor dominancia es la acumulación de materia orgánica humificada (Feozem), el intemperismo químico y formación de estructura (Cambisol) y la retención prolongada de agua superficial, lo que propicia en algunos sitios la formación de rasgos reductomórficos (Stagnosol); así como migración de arcillas por el flujo vertical del agua a través del perfil (eluviación-iluviación) (Luvisol). Las superficies cumbrales se han cultivado y poblado desde tiempo prehispánico, por lo cual en algunos sectores el suelo se ha erosionado y es muy delgado (Leptosol), la cubierta vegetal presente es bosque de pino-encino con perturbación antrópica. Dos de los calificadores más importantes son stágnico y vértico.

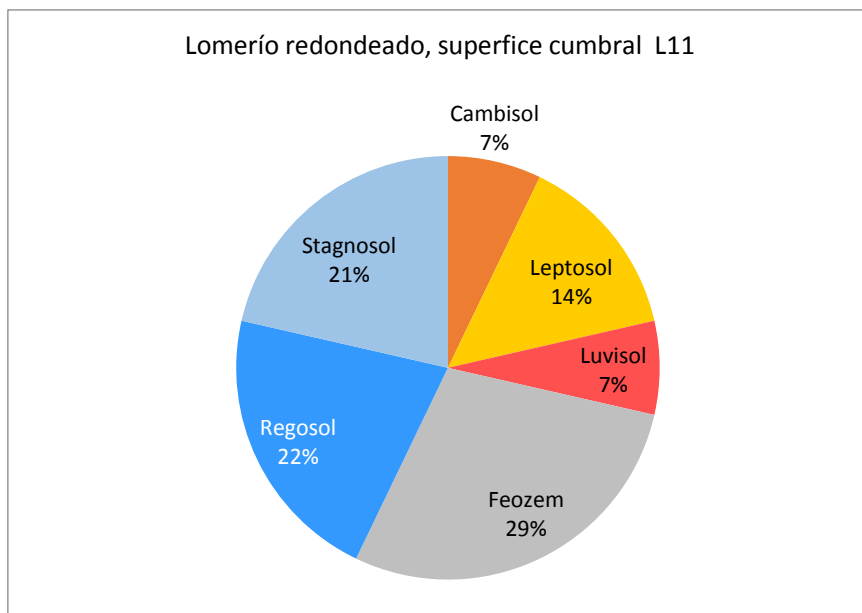


Figura 20. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Lomerío redondeado, superficie cumbral L11. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=14).

5.1.2.2 Lomerío redondeado, lomo de ladera L12.

La subunidad L12 corresponde a lomo de ladera de Lomerío redondeado. Por su inclinación en el rango de 15° y 28° se considera como una forma poco estable (Figuras 20 y 21), donde un cambio de uso de suelo inadecuado puede potencialmente provocar erosión intensa o deslizamientos de suelo. En esta unidad, debido a su altitud, hay una menor precipitación, por lo tanto es un sitio seco dentro de la cuenca. Se describieron 21 perfiles y se identificaron ocho tipos de suelos, siendo el Luvisol el dominante con ocho registros, Feozem con cuatro, Cambisol tres, Kastanozem dos, Calcisol, Leptosol, Regosol y Vertisol con uno. Algunos rasgos importantes que podemos mencionar en esta subunidad son la presencia de cutánes que indican iluviación de arcillas (Luvisol); la presencia de carbonatos de calcio secundarios, asociados a la presencia de rocas sedimentarias con clastos de caliza como parte de las rocas del lomerío (Calcisol y Kastanozem); la acumulación de materia orgánica en sitios dominados por bosques de *Juniperus* o *Quercus* (Feozem); y la fuerte erosión del perfil en algunos sitios de fuerte pendiente afectados por deforestación, pastoreo y/o cultivo (Leptosol y Regosol). Son comunes los calificadores hypostángico, hyperéutrico y crómico.

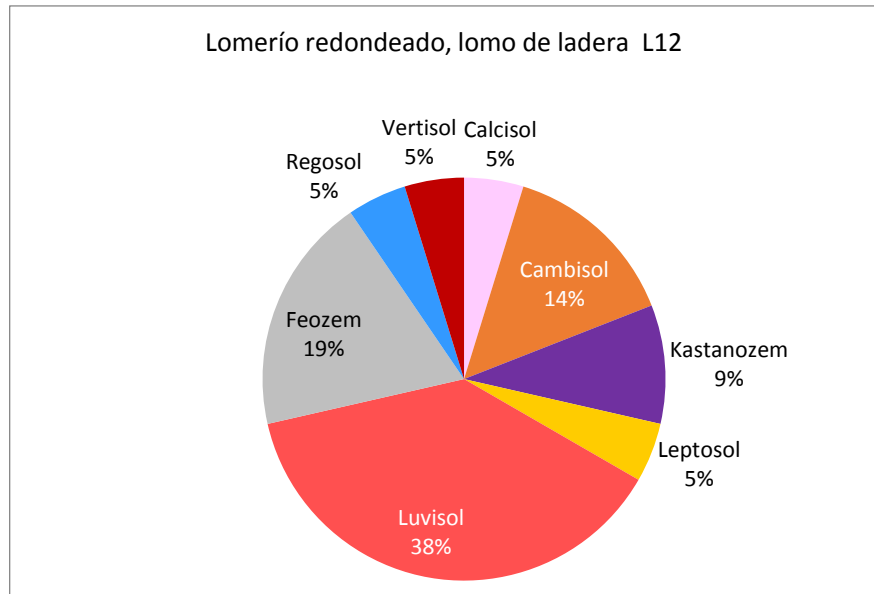


Figura 21. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Lomerío redondeado, lomo de ladera L12. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=21).

5.1.2.3 Lomerío escarpado, lomo de ladera L21.

El lomerío escarpado L21 (Fig. 22) presenta pendientes que oscilan de 11° hasta 40°, lo que lo hace un sitio inestable, con una morfodinámica intensa (movimientos en masa, deslizamientos, erosión hídrica). Se presentan siete tipos de suelos, siendo el Leptosol el dominante con siete registros, debido a la fuerte inclinación que propicia constantes deslizamientos de suelo y erosión hídrica y no permite el desarrollo profundo del suelo; Feozem con cuatro; Cambisol tres; y Kastanozem, Luvisol, Regosol, y Vertisol con uno. Con calificadores como léptico, esquelético e hyperéutrico. Se presenta matorral espinoso producto de fuerte alteración antrópica; sin embargo, parte de la unidad está moderadamente conservada y la cubierta ahí es de bosque de enebro y de selva baja caducifolia con distintos grados de perturbación antrópica.

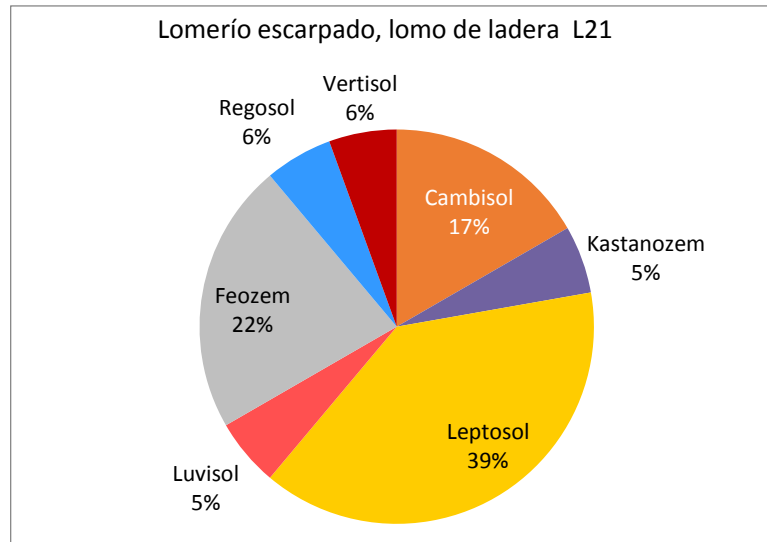


Figura 22. Grupos de suelos de referencia de la unidad de Lomerío escarpado, lomo de ladera L21. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=18).

5.1.3 Piedemonte

El piedemonte (Fig. 23) es una unidad de origen acumulativo que se ubica entre los lomeríos o la montaña, por un lado, y la planicie aluvial, por otro lado. Está formado por depósitos coluviales y aluviales provenientes de las montañas y lomeríos. Las pendientes suaves a moderadas (entre 3° y 20°) favorecen la acumulación de sedimentos como resultado de procesos coluviales, gravitacionales y fluviales. Se distinguen dos tipos de piedemonte por su génesis. Un primer tipo se forma en lugares donde una corriente fluvial de la montaña desemboca en terrenos de menor pendiente, distribuyéndose los depósitos en forma de abanico (Piedemonte de abanico aluvial, PM1). Otro tipo se forma al pie de las laderas por acumulación de coluvión, es decir materiales que han sido acarreados desde dichas laderas por procesos de erosión hídrica (splash, escorrentía difusa y formas incipientes de escorrentía concentrada) o por remoción en masa (piedemonte coluvial, PM2). El uso de suelo en los piedemontes es agrícola y de pastoreo (pastizales y matorrales).

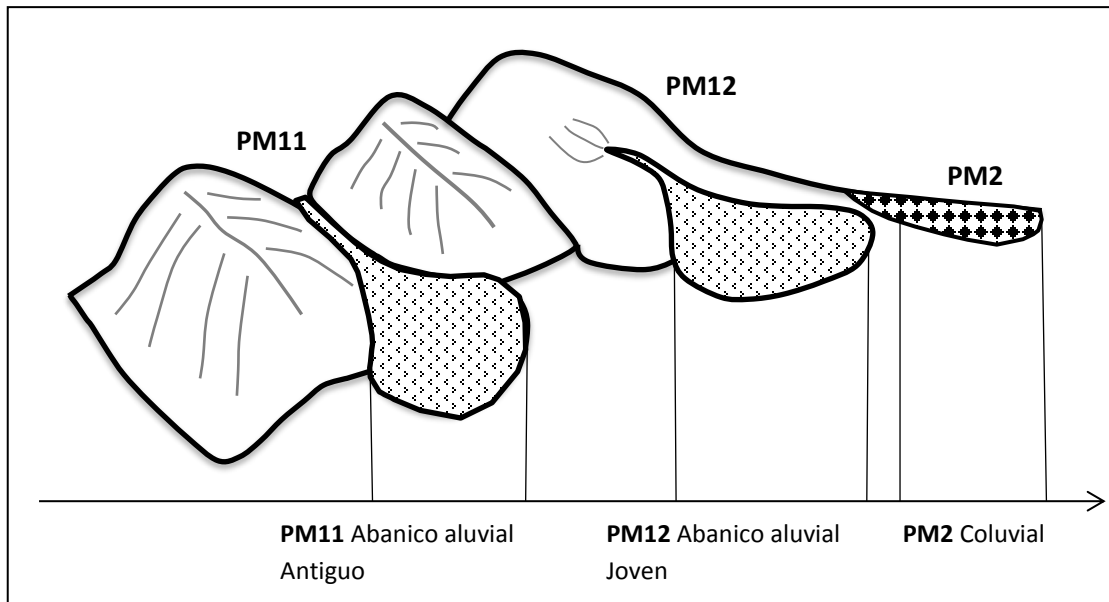


Figura 23. Diagrama que representa la Unidad de Piedemonte (PM).

5.1.3.1 Abanico aluvial antiguo y joven (piedemonte) PM11 y PM12.

El piedemonte de abanicos aluviales fue subdividido en dos subunidades atendiendo a la edad de los depósitos y al tipo de material que lo forma. La subunidad PM1 corresponde a abanicos aluviales antiguos, presenta una pendiente suave que varía entre 3° y 11° . La cobertura está constituida por algunos manchones de matorral xerófilo y pastizal inducido. Se identificaron cinco tipos de suelo destacando por su extensión al Feozem con siete perfiles descritos, Regosol con cinco, Vertisol tres, Cambisol dos y un Fluvisol. Las propiedades pedológicas que dominan son la vérticas y stágnicas, así como endoesqueléticas y éutricas. Debido a que es una formación antigua hay una mayor variabilidad de suelos en comparación con el abanico aluvial joven de la subunidad PM12 (Fig.25), que tiene dos tipos: Vertisol, que es el dominante con cinco observaciones, y un Feozem. Los calificadores que dominan son húmico, éutrico y pélico. La pendiente en promedio es de 5° por lo que se pueden considerar como unidades estables, presentan un uso agrícola y urbano.

La presencia de un Fluvisol o de Regosoles indica actividad acumulativa relativamente reciente. En cambio la abundancia de Vertisoles o suelos con tendencia vértica sugiere que la evolución de largo plazo bajo condiciones de estabilidad geomórfica conduce a la formación de arcillas 2:1 y al desarrollo de rasgos vérticos.

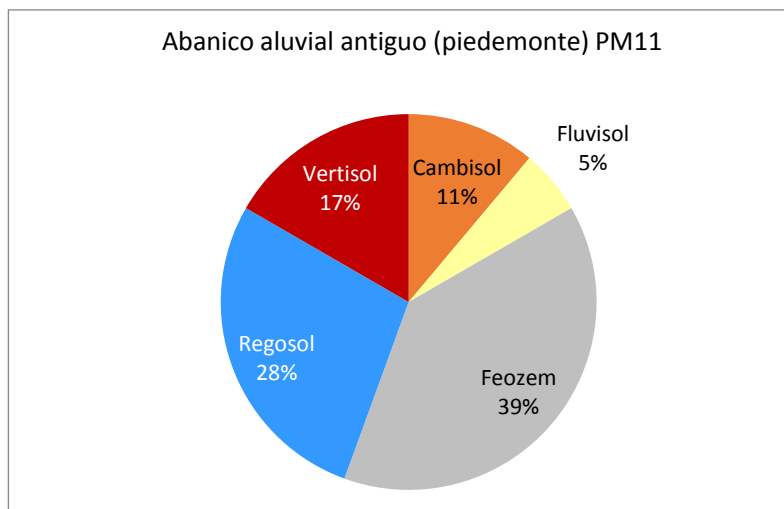


Figura 24. Grupos de suelos de referencia de la unidad Abanico aluvial antiguo (piedemonte) PM11. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=18).

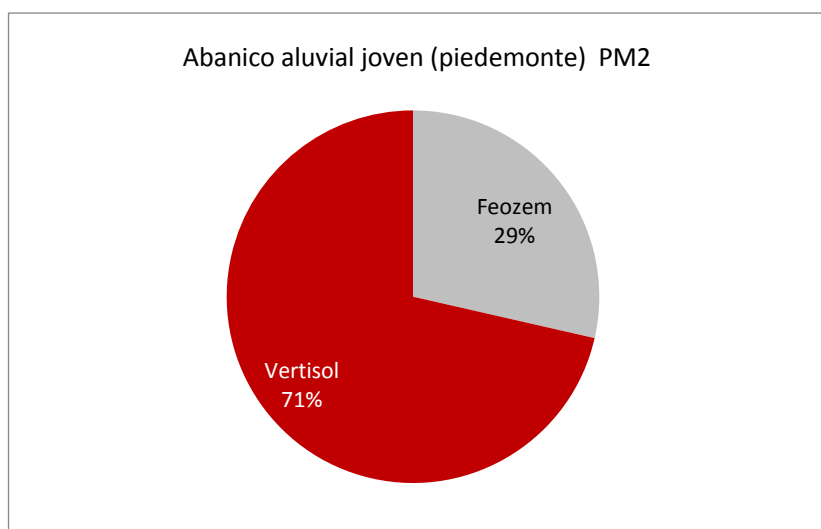


Figura 25. Grupos de suelos de referencia de la unidad Abanico aluvial joven (piedemonte) PM12. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=7).

5.1.3.2 Piedemonte coluvial PM2.

La sub-unidad PM2 Piedemonte coluvial (Fig. 26), tiene como origen la acumulación por la escorrentía difusa y localmente por procesos gravitacionales, procedente de las partes altas de la montaña y lomerío. Esta sub-unidad se localiza sobre todo en la parte central de la cuenca, alrededor de laderas de montaña y de lomerío, presenta una pendiente que oscila entre 1° y hasta 12°. El uso de suelo es agrícola (maíz, frijol, zarzamora, guayaba), pecuario

(pastizal y matorral) y urbano. Esta unidad cuenta con una amplia variedad de suelos ya que se detectaron siete GSR en total, donde el Vertisol es el que domina con 13 descripciones, seguido del Feozem con nueve, Cambisol con seis, Luvisol con cuatro, Regosol con tres, un Leptosol y un Calcisol. Dominan entonces los horizontes de diagnóstico vérticos, seguidos de los mólicos, y los calificadores colúvico, pélico, húmico, éutrico, stágnico, cutánico, entre otros.

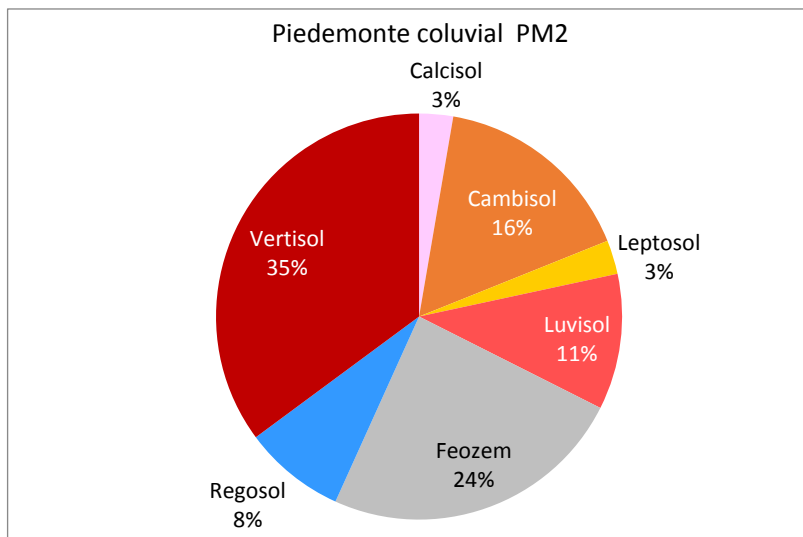


Figura 26. Grupos de suelos de referencia de la unidad Piedemonte coluvial PM2. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=37).

5.1.4 Planicie aluvial

La planicie aluvial (Fig. 27) está formada por una secuencia de terrazas escalonadas, llanuras de inundación y lechos fluviales constituidos por depósitos de aluvión proveniente del río Piricua y otras corrientes que conforman el sistema fluvial de la cuenca. Excepto por los escalones entre terrazas, la unidad presenta una pendiente casi llana que varía entre 0° y 5°; con lo cual la energía del relieve es baja. El uso de suelo es agrícola comercial, principalmente se cultiva maíz, hortalizas (calabazas, pepinos, chayotes), zarzamora, gladiolas y guayabas. Se conservan remanentes de la vegetación original como lo es el bosque de galería en el borde de las corrientes fluviales. En esta unidad se abrieron y describieron 68 perfiles que representan el 23% del total de las observaciones hechas en la cuenca. La mayor parte de estos perfiles están dispuestos en forma de catenas, esto con la finalidad de poder realizar un análisis más detallado de la diversidad de suelos a lo largo de cronosecuencias (desde la unidad más antigua, la terraza más alta, hasta la más joven, la llanura de inundación activa). Debido a las dimensiones reducidas de las terrazas más jóvenes que las hacen imposibles de cartografiar a la escala de este trabajo, la unidad de primer orden Planicie aluvial se dividió solamente en dos subunidades para efectos del

mapa: por un lado la Terraza alta (PL1) y por otro lado el complejo de terrazas medias y bajas y llanura de inundación (PL2). Sin embargo, a escala del terreno se hicieron observaciones detalladas del suelo en cada una de las terrazas y la llanura de inundación (Figura 27).

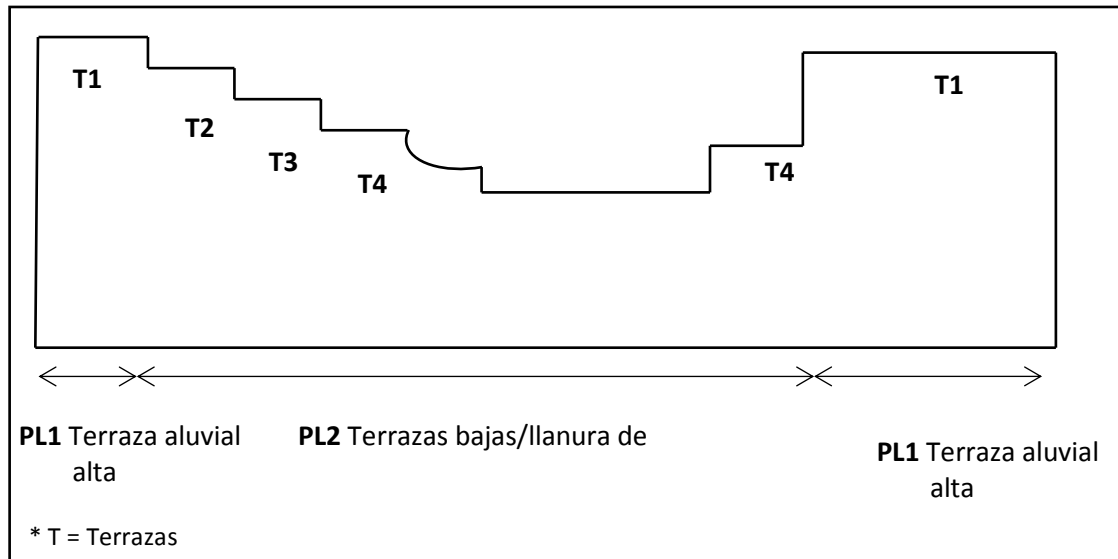


Figura 27. Diagrama que representa la Unidad de Planicie aluvial (PL).

5.1.4.1 Terraza alta (planicie aluvial) PL1.

Los suelos que dominan en la Terraza alta PL1 (Fig. 28) son los Vertisoles con 17 descripciones, seguidos de los Feozem con 4. Esta relativa homogeneidad se debe a que es la unidad aluvial más antigua y ha permanecido largo tiempo estable desde el punto de vista geomorfológico, permitiendo así que la cubierta edáfica evolucione y se uniformice. Una característica sobresaliente es la textura arcillosa, la estructura de tipo prismática que rompe en angular en bloques, así como la presencia distintiva de grietas abiertas y profundas y las facetas de fricción-presión (o slickensides) en las caras de los agregados, lo que en conjunto indica procesos de neoformación de arcillas de tipo 2:1 (smectitas) y de pedoturbación y permite clasificar a la mayoría de los perfiles dentro del grupo de los Vertisoles. Dominan calificadores como pélico, grúmico, mázico, húmico, claramente asociados a rasgos de los Vertisoles, así como éutrico. En otros casos la presencia de horizontes de diagnóstico mólicos indica que se trata de Feozems. Es interesante notar que tres de los cuatro Feozems se desarrollaron sobre horizontes vérticos sepultados (Feozems taptovérticos), lo que indica una muy marcada tendencia al desarrollo de Vertisoles en esta unidad, solo interrumpida en algunos sitios por la adición de material coluvial más joven. El uso de suelo es de agricultura comercial (maíz para elote, flores, hortalizas), con algunos huertos de guayaba y urbano.



Figura 28. Grupos de suelos de referencia de la unidad Terraza alta (planicie aluvial) PL1. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=21).

5.1.4.2 Terrazas bajas/llanura de inundación (planicie aluvial) PL2.

En la unidad PL2 (Fig. 29) incluye una cronosecuencia de geoformas con hasta tres terrazas (por debajo de la terraza alta PL1) y la llanura de inundación activa, por lo cual es de esperar también una cronosecuencia de suelos, es decir, diversidad asociada a la edad. Se han hecho 47 observaciones, de las cuales 25 corresponden a Fluvisoles, once a Feozems, seis a Cambisoles, tres a Vertisoles, dos a Regosoles. El suelo dominante en la llanura de inundación y la terraza más baja es Fluvisol. Se trata de sitios con dinámica fluvial activa o muy reciente, por ende con material flúvico muy joven, asociado a los calificadores endoesquelético y arénico. En la llanura de inundación destacan los procesos de reductomorfía y la presencia de texturas francas y arenosas. En las terrazas medias dominan los horizontes de diagnóstico mólicos (Feozem) o cámbicos (Cambisol), con una clara tendencia vértica en muchos casos (calificador vértico), y ocasionalmente incluso horizontes vérticos propiamente dichos (Vertisol).

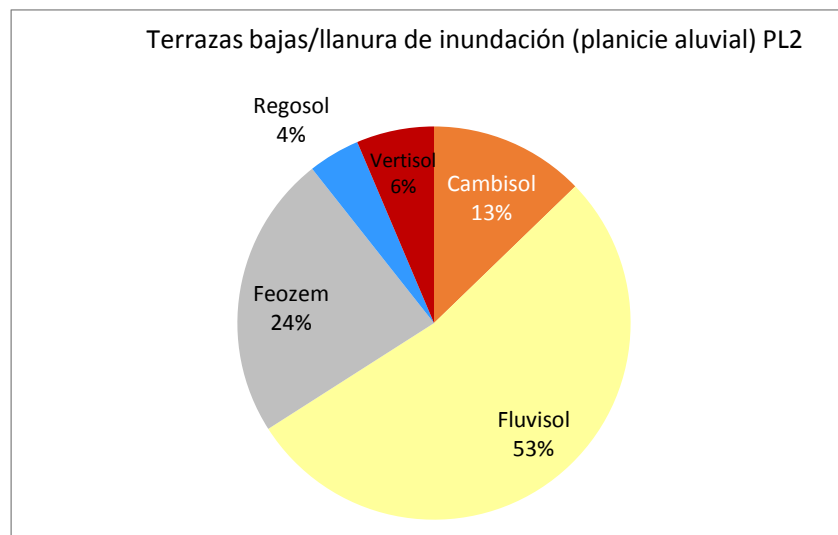


Figura 29. Grupos de suelos de referencia de la unidad Terrazas bajas/llanura de inundación (planicie aluvial) PL2. El porcentaje se refiere al número de perfiles descritos con respecto al total de perfiles descritos en toda la unidad geopedológica (n=47).

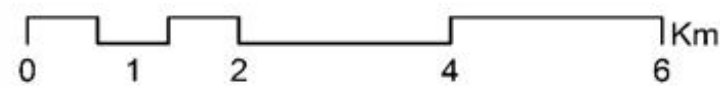
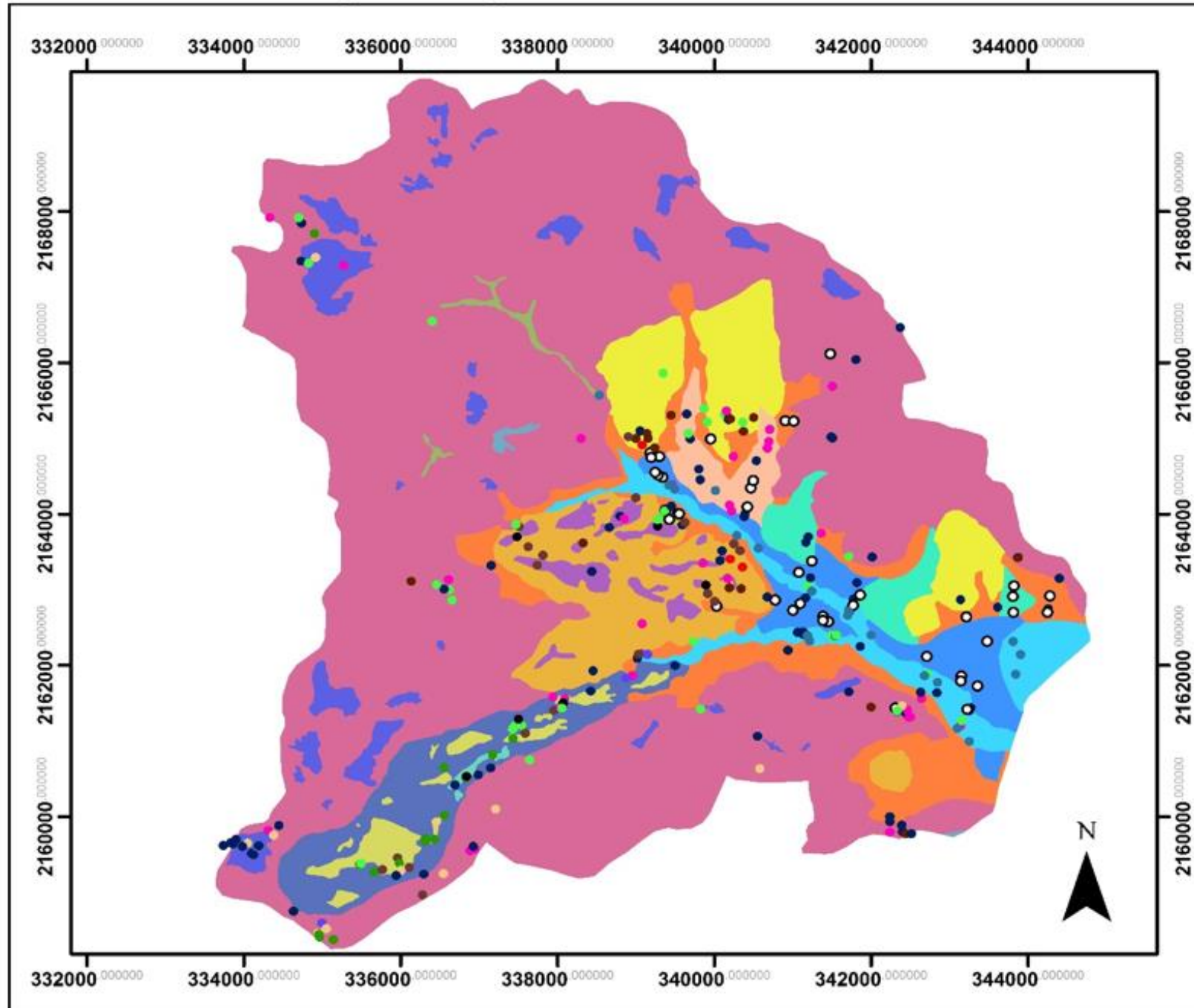
5.2 Relación entre tipos de suelos y unidades geomorfológicas

La base de datos de perfiles descritos entre 1996 a 2016 consta de un total de 299 descripciones (fig. 30). Los perfiles fueron clasificados y reclasificados como se mencionó en la metodología, obteniendo como resultado 12 tipos de suelos o Grupos de Suelos de Referencia o GSR (WRB, 2006, 2007) en la cuenca (Fig. 31). La superficie ocupada por las unidades geomorfológicas de primer orden se observa en el cuadro 5. El GSR Feozem es el de mayor número de registros con 83 (28%), seguido de Vertisol con 45 registros (15%), Cambisol con 36 (12%), Regosol con 31 (11%) y Fluvisol con 26 (9%), entre los más comunes.

Cuadro 5. Superficie en Km² ocupada por unidad geomorfológica de la cuenca.

Unidades geomorfológicas	Superficie en Km ²
Montaña	58.25
Lomerío	9.83
Piedemonte	8.34
Planicie aluvial	5.33
Total	81.75

Unidades Morfopedológicas



Proyección Mercator
Datum WGS84

Elaboró: Biol. Ana Ma. Muñoz Flores

Leyenda

- | | |
|--------------|-------------|
| ● Andosol | ● Leptosol |
| ● Calcisol | ● Lixisol |
| ● Cambisol | ● Luvisol |
| ● Feozem | ● Regosol |
| ● Fluvisol | ● Stagnosol |
| ● Kastanozem | ○ Vertisol |

1°	2°	3°	Tipo de suelo (GSR)	
Montaña M	Superficie cumbral M1		Feozem, Leptosol, Lixisol, Luvisol y Regosol	
	Ladera con pendiente fuerte M2		Andosol, Calcisol, Cambisol, Leptosol, Lixisol, Feozem, Regosol y Vertisol	
	Ladera con pendiente moderada (avalancha) M3	Superficie cumbral M31		Andosol, Cambisol, Lixisol, Luvisol, Feozem y Regosol
		Ladera de barranco M32		Calcisol, Cambisol, Feozem, Lixisol, Luvisol, Regosol, Stagnosol
	Ladera cóncava coluvial M33		Feozem, Lixisol y Stagnosol	
Escalón cóncavo M4		Andosol, Cambisol, Feozem y Regosol		
Relleno coluvio-aluvial M5			Fluvisol	
Lomerío L	Redondeado L1	Superficie cumbral L11	Cambisol, Feozem, Leptosol, Luvisol, Regosol y Stagnosol.	
		Ladera L12	Calcisol, Cambisol, Feozem, Kastanozem, Leptosol, Luvisol, Regosol y Vertisol	
	Escarpado L2	Ladera L21	Cambisol, Feozem, Kastanozem, Leptosol, Luvisol, Regosol y Vertisol	
Piedemonte PM	Abanico aluvial PM1	Antiguo PM11	Cambisol, Feozem, Fluvisol, Regosol y Vertisol	
		Joven PM12	Feozem y Vertisol	
	Coluvial PM2		Calcisol, Cambisol, Feozem, Leptosol, Luvisol, Regosol y Vertisol	
Planicie aluvial PL	Terraza alta PL1		Feozem y Vertisol	
	Terrazas bajas/llanura de inundación PL2		Cambisol, Feozem, Fluvisol, Regosol y Vertisol	

Figura 30. Mapa Morfopedológico de la Cuenca del Río Piricua.

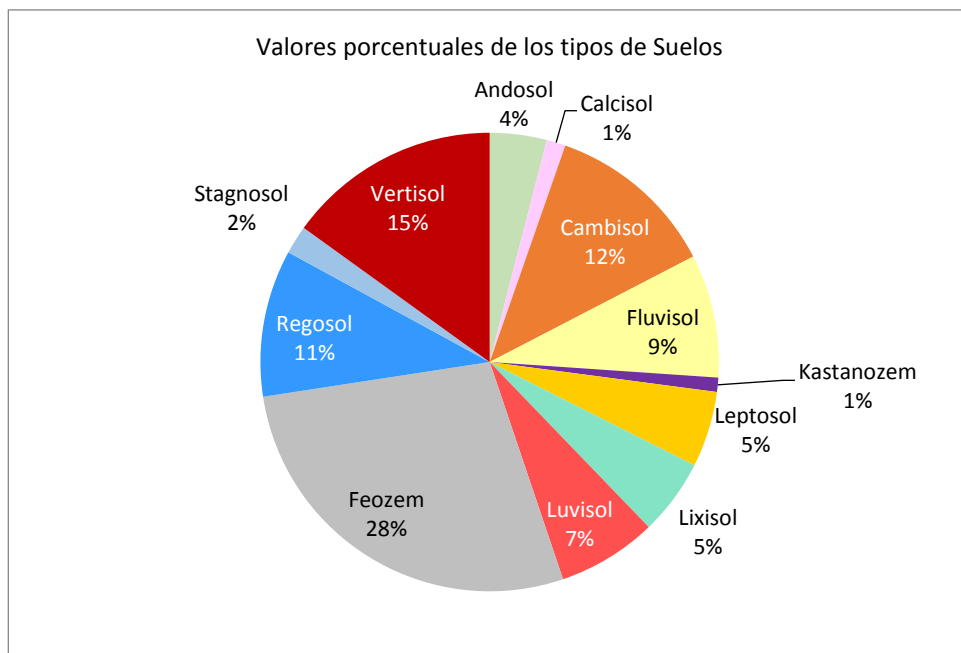


Figura 31. Total de registros de Grupos de Suelos de Referencia (GSR) en la cuenca del Río Piricua sus respectivos valores porcentuales n=299.

A continuación se analizan las relaciones entre los distintos GSR identificados y las características generales de las unidades geomorfológicas en las que se encuentran.

5.2.1 Feozems

Este GSR cuenta con 83 registros (28% del total) en la cuenca. A nivel nacional es el cuarto tipo de suelo más abundante de acuerdo con lo reportado por el INEGI (2004). Son de profundidad muy variable, cuando son muy profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego de temporal. Los que tiene menos profundidad se sitúan en laderas que por su posición son más propensos a erosionarse. Sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o ganadería. Se distribuyen en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas (INEGI, 2004 y WRB, 2007).

Este suelo es el de mayor abundancia y distribución dentro de la cuenca, presente en todas las unidades geomorfológicas (Fig. 32) y sobre todos los materiales litológicos de la cuenca (Fig. 3).

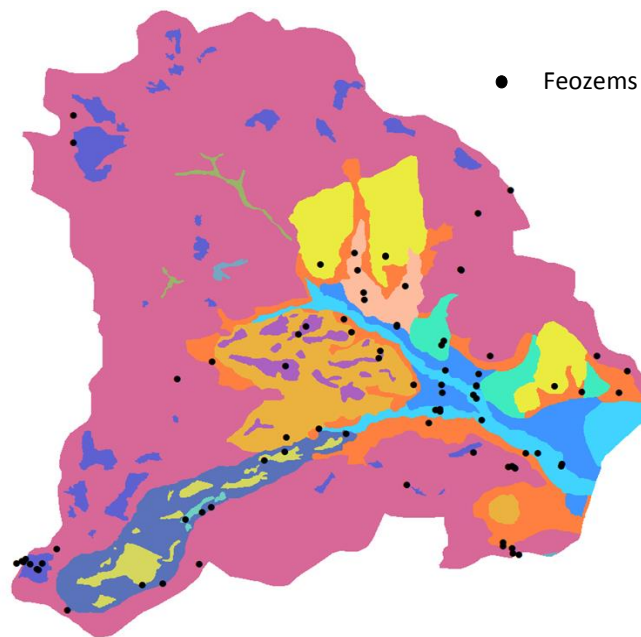


Figura 32. Distribución de los suelos de tipo Feozem.

5.2.2 Vertisoles

Los Vertisoles representan el 15% (45 perfiles) de los perfiles descritos en la cuenca. Este GSR se distribuye típicamente en bajas posiciones del paisaje tales como fondos de lagos secos, cuencas de ríos, terrazas inferiores de ríos, principalmente en climas tropicales, subtropicales, semiáridos a subhúmedo y húmedo. Son suelos muy arcillosos con alta proporción de arcillas expandibles y grietas anchas y profundas. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo ya que son muy fértiles. Tienen baja susceptibilidad a la erosión debido a su posición en el relieve (INEGI, 2004 y WRB, 2007).

Como se observa en la Figura 33 los vertisoles de la cuenca están distribuidos en la parte más baja, en la zona de terrazas (PL1 y PL2) y en los piedemontes (PM), lo que permite la acumulación de materiales y la estabilidad para su desarrollo, resultando en perfiles profundos que acumulan cantidades importantes de materia orgánica por efecto de la pedoturbación. Además de ser la zona con mayor productividad agrícola.

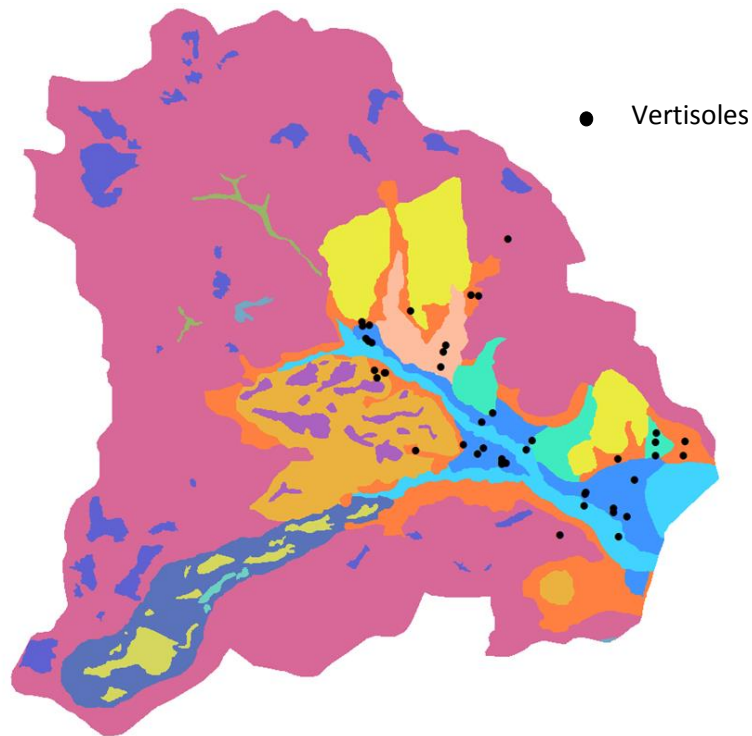


Figura 33. Distribución de los suelos de tipo Vertisol.

5.2.3 Cambisoles

Con el 12% (36 perfiles) de los perfiles descritos en la cuenca están los Cambisoles, suelos jóvenes, poco desarrollados y que se pueden encontrar en cualquier tipo de clima excepto en zonas áridas. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos, hierro o manganeso. Son muy abundantes, se destinan a muchos usos y sus rendimientos dependen del clima en donde se encuentren. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión (INEGI, 2004 y WRB, 2007).

En la cuenca los Cambisoles (Fig. 34) se encuentran distribuidos ampliamente tanto en las zonas formadas por material aluvial en las terrazas bajas (PL2), en los piedemontes coluviales (PM2) de origen dacítico, también en la zona de lomeríos (L1 y L2) y en la montaña en relieves cóncavos (M4) y en lomos de ladera (M2). Su distribución es muy similar a la de los Feozems.

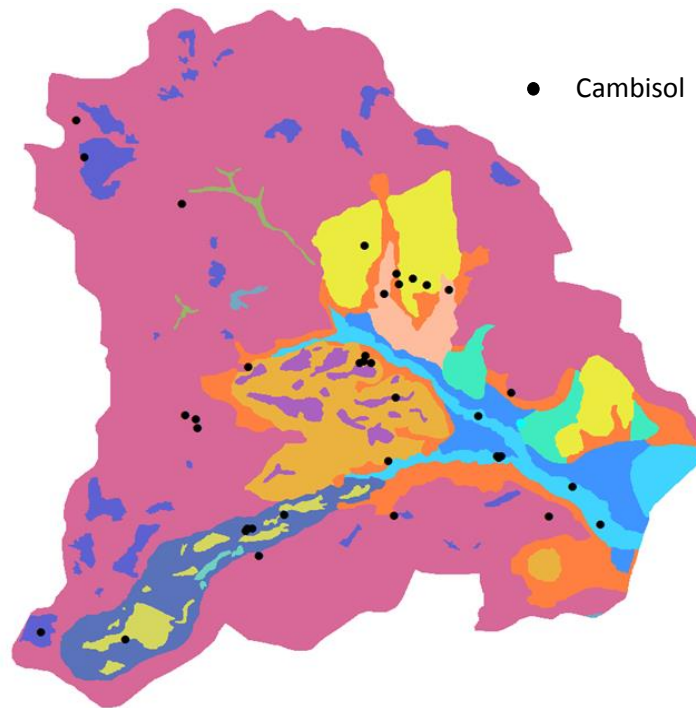


Figura 34. Distribución de los suelos de tipo Cambisol.

5.2.4 Regosoles

El 11% (31 perfiles) de las observaciones pertenecen a los Regosoles. En México este tipo es el segundo más importante por su extensión. Son suelos de desarrollo incipiente en materiales no consolidados, no tienen horizonte mólico, no son muy someros ni muy ricos en gravas. Se distribuyen en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos. Su fertilidad es variable y su productividad está condicionada por la profundidad y pedregosidad (INEGI, 2004 y WRB, 2007).

Cabe destacar que la distribución de estos suelos es muy similar a la de los cambisoles, la diferencia es que casi no están presentes en la parte más baja de la cuenca, en la planicie aluvial (Fig. 35). Con frecuencia consisten de material coluvial o aluvial proveniente de las zonas más altas, como es el caso de los Piedemontes y la Planicie aluvial. Pero también están asociados a sitios muy inestables de lomos de ladera de Montaña y Lomeríos, donde los procesos erosivos y movimientos en masa producen perfiles con un grado desarrollo muy incipiente.

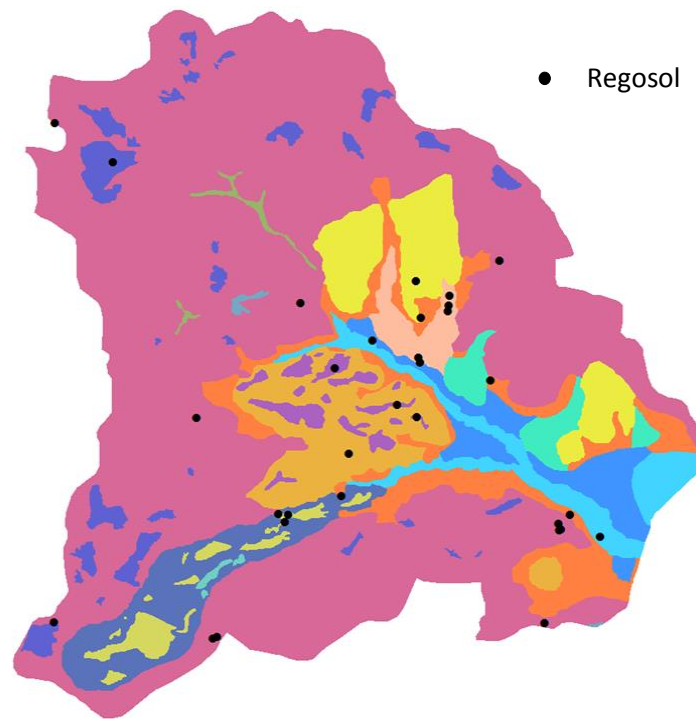


Figura 35. Distribución de los suelos de tipo Regosol.

5.2.5 Fluvisoles

Nueve por ciento (26 perfiles) de los suelos descritos son Fluvisoles. Genéticamente son suelos jóvenes, en depósitos aluviales, se distribuyen en las planicies aluviales, abanicos aluviales, valles y marismas costeras. Muchos Fluvisoles bajo condiciones naturales se inundan periódicamente. Se caracterizan por estar formados por materiales acarreados por el agua. Son suelos muy poco desarrollados medianamente profundos. Perfiles con evidencia de estratificación, con rasgos reductomórficos comunes. Se encuentran en todos los climas y regiones de México cercanos siempre a lechos fluviales (INEGI, 2004 y WRB, 2007).

En la cuenca estudiada se encuentran en la parte Sur-Este, sobre todo en la llanura de inundación y secundariamente en las terrazas aluviales más bajas (PL2) (Fig. 36), debido a la naturaleza aluvial acumulativa actual o muy reciente de estas unidades. Los depósitos aluviales sucesivos van estratificando los suelos, destacando el tipo de textura arenosa o franca arenosa presente en la mayoría de los perfiles, así como las condiciones stágnicas y gleycas en las partes más bajas (llanura de inundación). Para fines de clasificación dominan el material de diagnóstico Flúvico, seguido del horizonte de diagnóstico mólico. No obstante

su bajo grado de desarrollo, en muchos casos los fluvisoles son utilizados para la agricultura y en zonas inundables para el pastoreo.

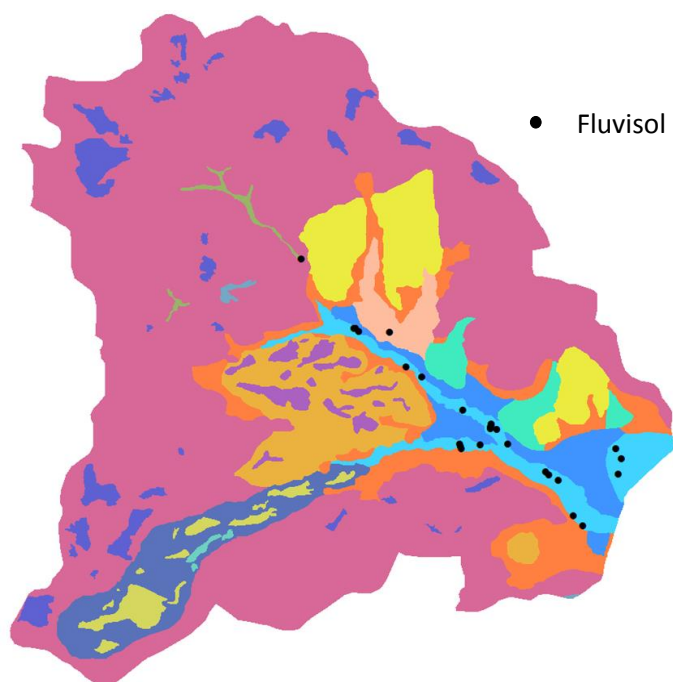


Figura 36. Distribución de los suelos de tipo Fluvisol.

5.2.6 Luvisoles

El 7% (21 perfiles) de los perfiles descritos corresponde a Luvisoles. Estos suelos tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) y presentan un horizonte de diagnóstico árgico con arcillas de alta actividad y alta saturación de bases en ciertas profundidades. El material parental incluye depósitos eólicos, aluviales y coluviales. Se distribuyen en zonas llanas o suavemente inclinadas. Son suelos fértiles y apropiados para un rango amplio de usos agrícolas (INEGI, 2004 y WRB, 2007).

La distribución de los luvisoles (Fig. 37) está muy asociada al lomerío redondeado (L12) y a la superficie cumbral de la avalancha (M31), siendo la pendiente baja o moderada un factor destacado para el proceso pedogénético, ya que se requieren condiciones de estabilidad geomorfológica para su desarrollo.

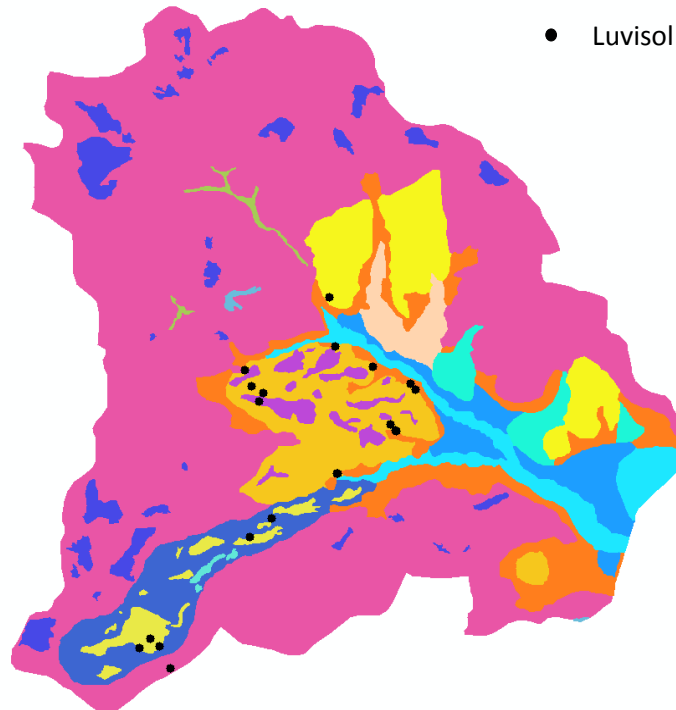


Figura 37. Distribución de los suelos de tipo Luvisol.

5.2.7 Lixisoles

Con el 5% (16 perfiles) de las observaciones están los Lixisoles, que se desarrollan principalmente sobre materiales no consolidados, de textura fina y que han sufrido fuerte alteración y lavado. Predominan en zonas antiguas de pendientes moderadas o bajas, ya que su largo desarrollo implica estabilidad geomórfica. Sin embargo es común encontrarlos en sitios sujetos a una fuerte erosión, de modo que el horizonte árgico puede estar presente en superficie o muy cerca de ella. Debido a su composición mineralógica (dominancia de arcillas caoliníticas con baja capacidad de intercambio catiónico) la agricultura es posible solo con frecuentes aplicaciones de fertilizantes, labranza mínima y un cuidadoso control de la erosión. Por lo tanto, los cultivos perennes son los más adecuados para estos suelos (FAO, 1998).

La presencia de los Lixisoles dentro de la cuenca (Fig. 38) está muy asociada al lomo de ladera con pendiente moderada (avalancha) M32, formada por brecha volcánica de composición dacítica, así como a superficies cumbrales de la misma avalancha y a zonas de depósitos coluvio-aluviales.

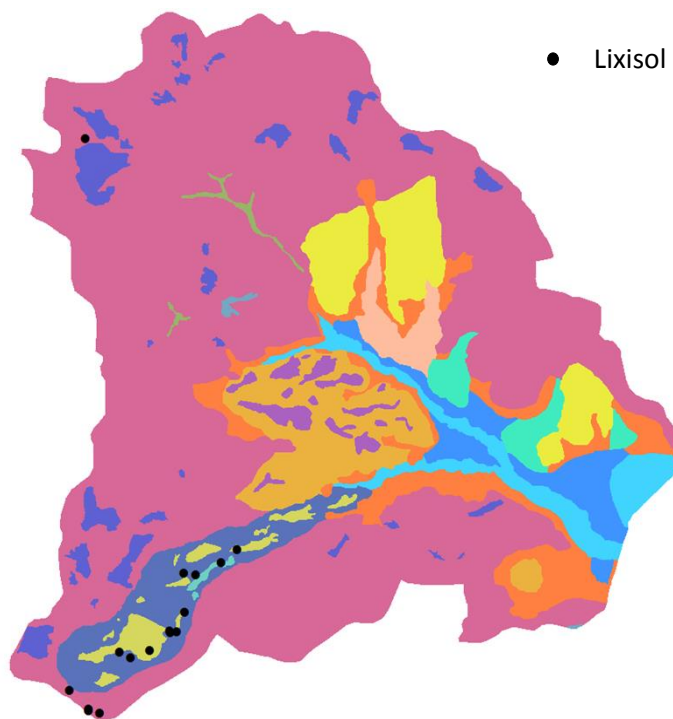


Figura 38. Distribución de los suelos de tipo Lixisol.

5.2.8 Leptosoles

Corresponde a Leptosoles el 5% (16 perfiles) de las descripciones de campo. Éstos son los suelos más abundantes en el país, se encuentran en todos los climas y con diversos tipos de vegetación. Son muy someros, sobre roca continua, extremadamente pedregosos. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión son muy variables dependiendo de otros factores ambientales. El uso de suelo depende principalmente de la vegetación que los cubre (INEGI, 2004 y WRB, 2007).

Debido a la fuerte pendiente del lomerío escarpado L21, y la montaña M2 con registros de hasta 38°, los procesos geomorfológicos como el movimiento en masas (fragmentos de rocas y deslizamientos) y la erosión hídrica, no permiten el desarrollo de un suelo profundo. También se tiene registro en las superficies cumbreales del lomerío redondeado L11 en el cual domina roca de tipo dacita; el uso de suelo (dominantemente para pastoreo) durante varios siglos ha conducido a una profunda erosión del perfil del suelo en algunos sitios. (Fig. 39).

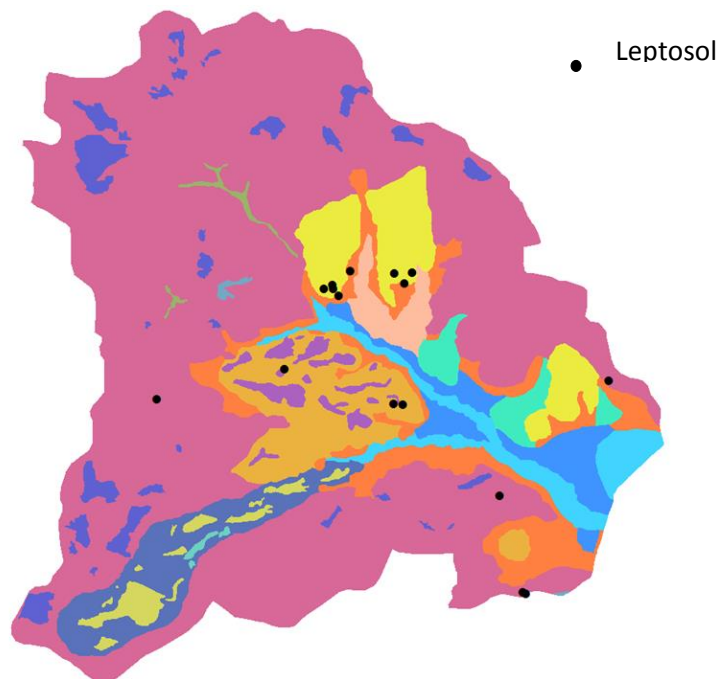


Figura 39. Distribución de los suelos de tipo Leptosol.

5.2.9 Andosoles

Con el 4% (12 perfiles) de las observaciones están los Andosoles, que son suelos desarrollados a partir de ceniza volcánica, la cual se ha intemperizado produciendo altos contenidos de alófono. Tienen alta capacidad de retención de humedad. En condiciones naturales presentan vegetación de bosques o selva. Generalmente presentan bajos rendimientos agrícolas debido a que retienen considerablemente el fósforo y éste no puede ser absorbido por las plantas (INEGI, 2004 y WRB, 2007).

Dentro de la cuenca se han descrito Andosoles en las zonas de montaña (M2 y M32) dentro de las laderas con fuertes pendientes con vegetación de Bosque de Pino-Encino y algunas superficies cumbreles con cultivos, formadas por depósito de avalancha detrítica de dacita (Fig. 40). Predominan los calificadores éutrisílico y fólico. En la cuenca estudiada no hay volcanes jóvenes que pudieran haber aportado cenizas, pero sí hay numerosos conos volcánicos del Cuaternario tardío alrededor, a pocos kilómetros. Solo existen Andosoles en unas cuantas partes de la cuenca donde las pendientes moderadas o la presencia de vegetación boscosa permitieron que las cenizas no se erosionaran y ahí se desarrollara un suelo a partir de ellas.

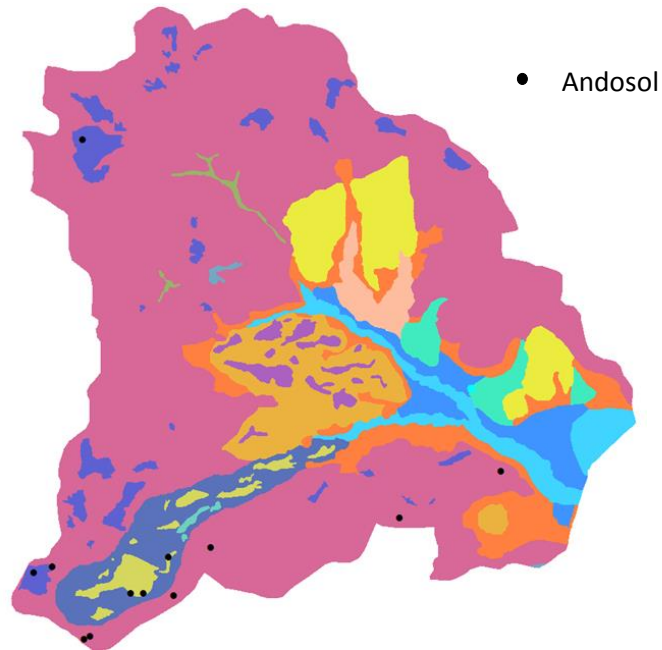


Figura 40. Distribución de los suelos de tipo Andosol.

5.2.10 Stagnosol

El 2% (6 perfiles) corresponde al suelo de tipo Stagnosol, son suelos con una capa de agua estancada que muestra rasgos reductomórficos, causados por el agua superficial. Están periódicamente mojados y moteados en el suelo superficial y subsuperficial. Su capacidad agrícola es limitada por su deficiencia de oxígeno como resultado del agua estancada (WRB, 2007).

El proceso pedogenético dominante es entonces la pseudogleización. Estos suelos están presentes en las superficies cumbreles del lomerío redondeado y de la avalancha L11 y M31 (Fig. 41), debido a que las pendientes suaves de esas geoformas y el carácter arcilloso de los horizontes subsuperficiales propician un lento movimiento lateral y vertical del agua y la saturación de una parte del perfil durante la época de lluvias. Se ha observado que el uso para pastoreo y la consecuente compactación del suelo favorecen a la pseudogleización. Con un buen manejo estos sitios se podrían utilizar cultivar con frutales o tener un uso forestal.

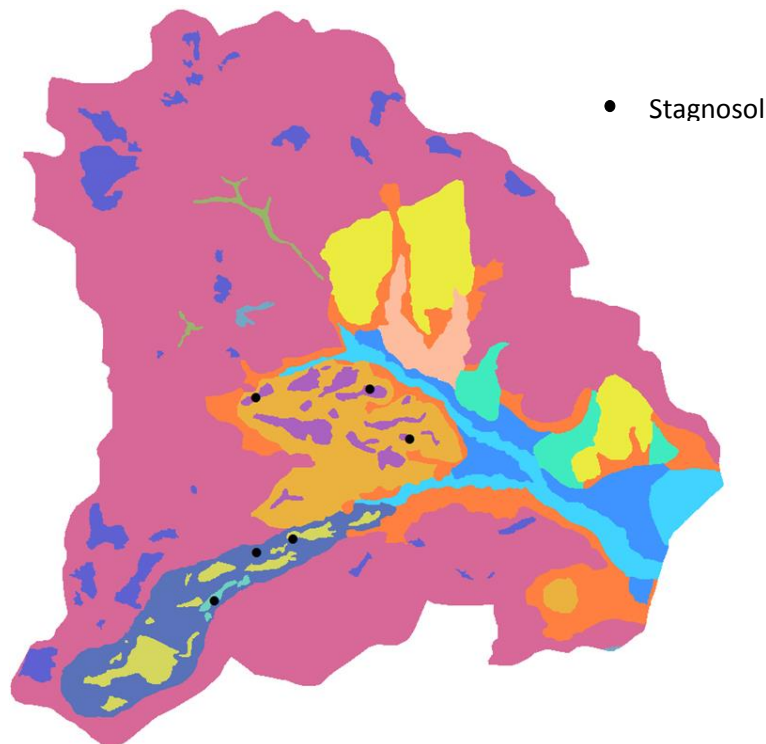


Figura 41. Distribución de los suelos de tipo Stagnosol.

5.2.11 Calcisol

Los Calcisoles representan el 1% (4 perfiles) de los perfiles descritos. Son suelos minerales con acumulación secundaria de material calcáreo. Se encuentran en ambientes áridos y semiáridos pero también en climas algo más húmedos con fuerte estacionalidad de la lluvia y balance hídrico negativo, como los del centro de México. Con frecuencia están asociados con materiales parentales calcáreos. En general el uso de suelo es para pastoreo extensivo (WRB, 2007).

En la cuenca estudiada se tienen 4 registros de Calcisoles (Fig. 42), tres de ellos desarrollados en piedemontes coluviales (PM2) de origen dacítico, al pie de unidades de lomerío redondeado en la parte centro-sur de la cuenca. Esta localización se debe a que el lomerío redondeado presenta, debajo de los estratos de lava más superficiales, una serie de capas de conglomerado y arenisca que contienen fragmentos de rocas calcáreas, junto con otras rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas. La disolución de estos fragmentos calcáreos y la re-precipitación del carbonato de calcio en los suelos de la

superficie, en las partes bajas de las laderas del lomerío, explican la formación de estos Calcisoles. El uso de suelo en estas zonas es de pastoreo intensivo.

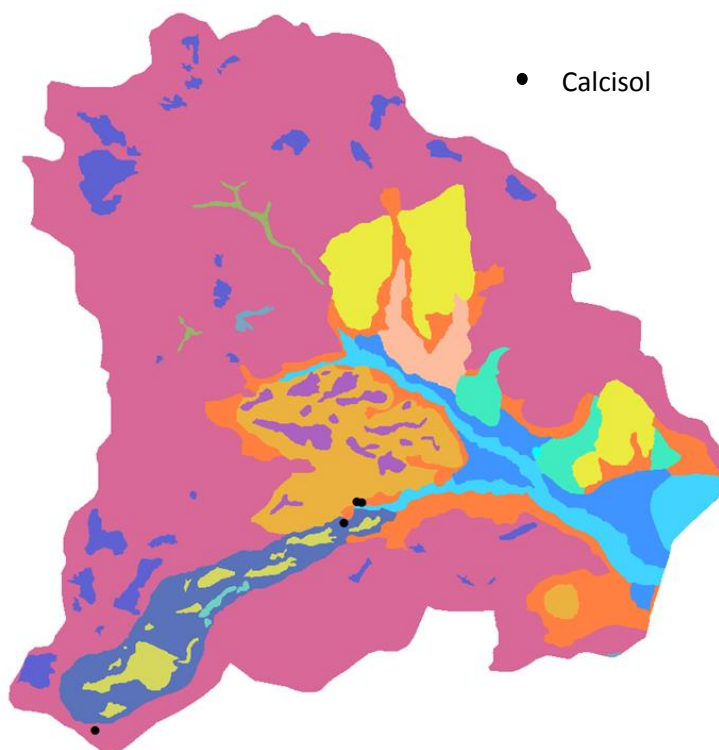


Figura 42. Distribución de los suelos de tipo Calcisol.

5.2.12 Kastanozem

Los Kastanozem representan el 1% (3 perfiles) de las observaciones de campo. Son suelos con horizonte superficial rico en humus, y acumulación de carbonatos secundarios, potencialmente ricos; si bien la falta de humedad es una limitante para alcanzar niveles altos de producción (WRB, 2007).

No son suelos dominantes dentro de la cuenca, se encuentran solamente en el lomerío redondeado (L12) y parte del escarpado (L21) (Fig. 43) en la porción central de la cuenca, aparentemente en relación con la proximidad al sustrato que contiene rocas calcáreas mencionado en el caso de los Calcisoles. Las propiedades que resaltan son la formación de carbonatos secundarios por la disolución y precipitación de carbonatos de calcio en los horizontes subsuperficiales (horizonte de diagnóstico cálcico), y la acumulación de materia orgánica humificada en el horizonte superficial (horizonte de diagnóstico mólico). En estas zonas el uso de suelo es de pastoreo, matorral xerófilo y relictos de bosque de sabino (*Juniperus sp.*).

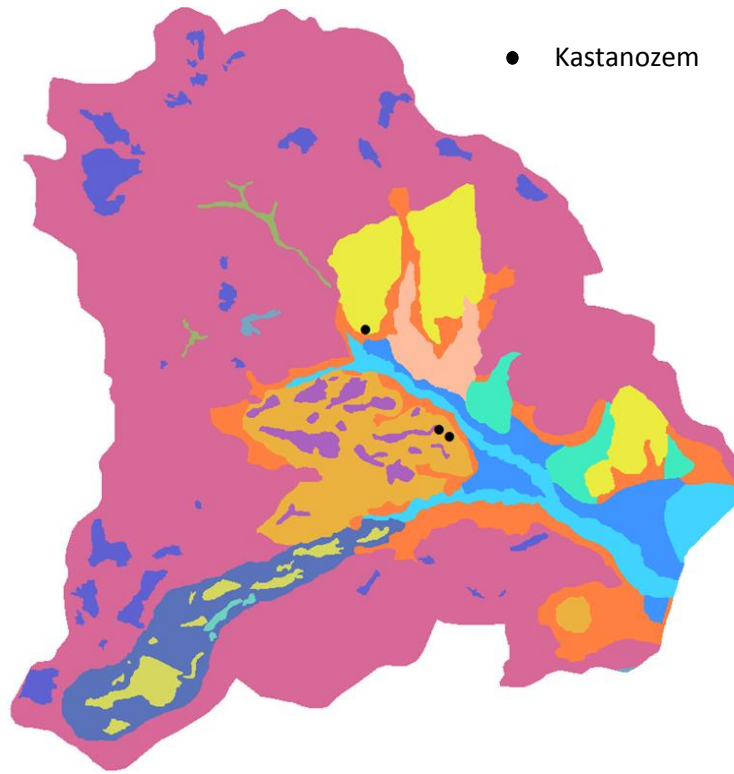


Figura 43. Distribución de los suelos de tipo Kastanozem.

5.3 Análisis de la edafodiversidad

Se cálculo el índice de Shannon y las curvas de acumulación para todas las unidades geomorfológicas de primer orden (Montaña, Lomerío, Piedemonte y Planicie aluvial), como se observa a continuación.

5.3.1 Edafodiversidad en la unidad de Montaña (M).

S	n Abundancia	p_i	$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$
Fluvisol	1	0.01	0.04
Vertisol	2	0.02	0.07
Calcisol	2	0.02	0.07
Stagnosol	3	0.03	0.09
Leptosol	5	0.04	0.14
Luvisol	6	0.05	0.15
Andosol	12	0.10	0.23
Cambisol	15	0.13	0.26
Regosol	16	0.14	0.27
Lixisol	16	0.14	0.27
Feozem	38	0.33	0.37
Total	N 116		$H' = 1.96$

Cuadro 6. Montaña (M). Donde S es el tipo de suelo es decir la riqueza, p_i es la abundancia proporcional del tipo de suelo i, esto es el número de perfiles del suelo i dividido entre el número total de perfiles de la muestra (N) y H' es el índice de Shannon.

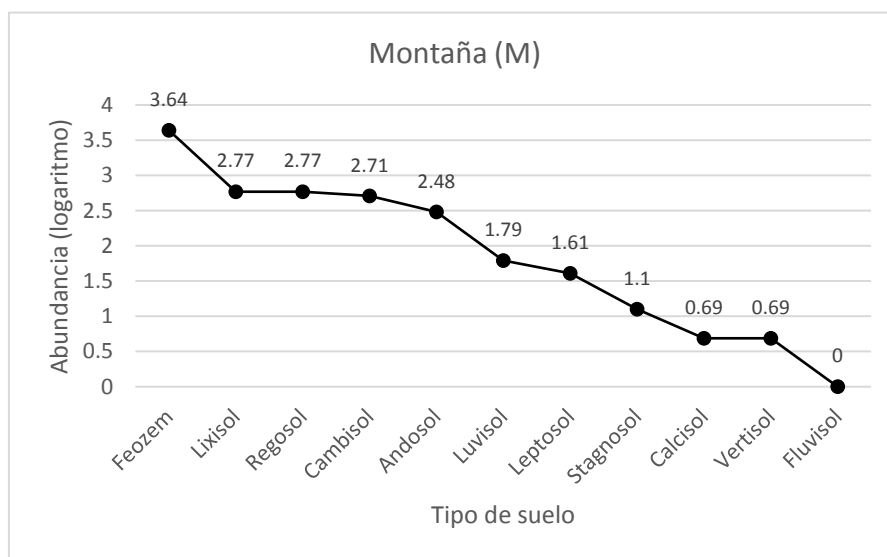


Figura 44. Curva de acumulación considerando el eje X como el rango (riqueza) de tipos de suelos (S) y el eje Y como la abundancia proporcional (logaritmo) en la unidad de Montaña (M).

Como se observa en el cuadro 6 y figura 44, la mayor edafodiversidad se encuentra en la unidad de montaña con ocho tipos de suelos, en específico el suelo de tipo Feozem que cuenta con el valor más alto de abundancia en toda la cuenca, es decir tiene el mayor número de observaciones, esto puede deberse a la fuerte dinámica geomorfológica que ocurre en esta unidad, particularmente los movimientos en masa como factor importante para su desarrollo, esto verifica la hipótesis planteada en esta investigación. En contraste el suelo de tipo Fluvisol es que tiene menor presencia en esta unidad al ser un suelo formado por depósitos aluviales por lo que están presentes en las zonas más bajas de la cuenca es decir el factor relieve juega un papel importante en este caso.

5.3.2 Edafodiversidad en la unidad de Lomerío (L).

Lomerío (L)			
S	n Abundancia	p_i	$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$
Calcisol	1	0.02	0.07
Vertisol	2	0.04	0.12
Kastanozem	3	0.06	0.16
Stagnosol	3	0.06	0.16
Regosol	5	0.09	0.22
Cambisol	7	0.13	0.27
Luvisol	10	0.19	0.31
Leptosol	10	0.19	0.31
Feozem	12	0.23	0.34
Total	N 53		H'=1.96

Cuadro 7. Lomerío (L). Donde S es el tipo de suelo es decir la riqueza, p_i es la abundancia proporcional del tipo de suelo i, esto es el número de perfiles del suelo i dividido entre el número total de perfiles de la muestra (N) y H' es el índice de Shannon.

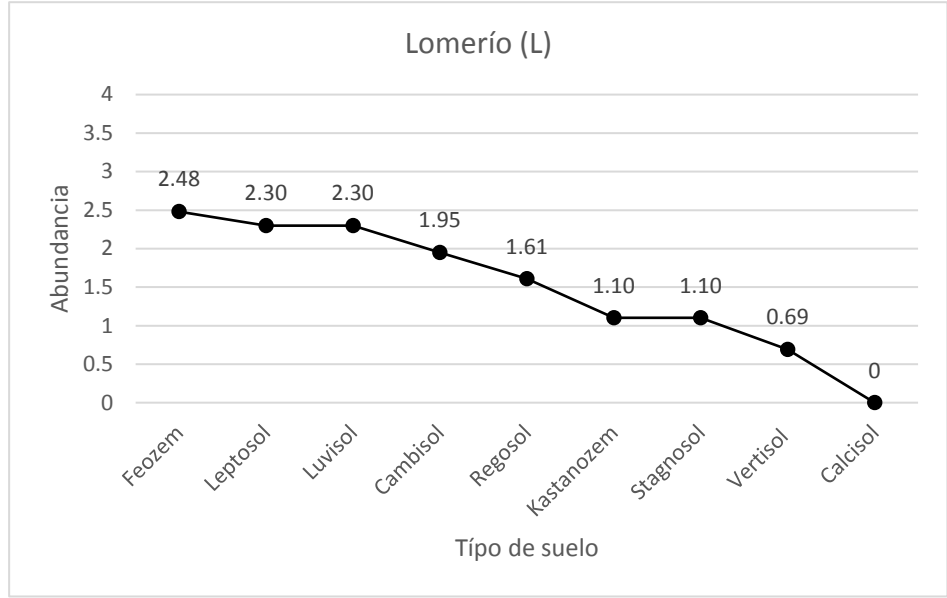


Figura 45. Curva de acumulación considerando el eje X como el rango (riqueza) de tipos de suelos (S) y el eje Y como la abundancia proporcional (logaritmo) en la unidad de Lomerío (L).

Dentro de la unidad de lomerío figura 45, cuadro 7, ocurre de manera similar a la unidad de montaña, es decir, los procesos geomorfológicos (deslizamientos y remoción en masa) son los que determinan el desarrollo de los suelos presentes en esta unidad por la inestabilidad del terreno debido a la forma del relieve en L12 (lomo de ladera, redondeado) y L21 (lomo de ladera, escarpado). Cabe mencionar que en el caso de los suelos en los lomeríos redondeados su formación ha sido directamente por el material parental de facies metamórficas sobreyacen en forma discordante, cubiertas por andesitas y basaltos. Además de esto se puede inferir que la variabilidad de suelos se debe a que es una zona de transición climática (entre los tipos (A)C(w1) Semicálido subhúmedo y Cw2 Templado subhúmedo), también a las condiciones de erosión (hídrica, presencia de cárcavas). De acuerdo con el índice de Shannon y la curva de acumulación (Whittaker, 1965), es un sitio con una importante edafodiversidad a pesar del cambio de uso de suelo que afecta directamente la vegetación original y promueve la erosión.

5.3.3 Edafodiversidad en la unidad de Piedemonte (PM).

Piedemonte (PM)			
S	n Abundancia	p_i	$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$
Calcisol	1	0.02	0.07
Fluvisol	1	0.02	0.07
Leptosol	1	0.02	0.07
Luvisol	4	0.06	0.18
Cambisol	8	0.13	0.26
Regosol	8	0.13	0.26
Feozem	18	0.29	0.36
Vertisol	21	0.34	0.37
Total	N 62		H'=1.64

Cuadro 8. Piedemonte (PM). Donde S es el tipo de suelo es decir la riqueza, p_i es la abundancia proporcional del tipo de suelo i, esto es el número de perfiles del suelo i dividido entre el número total de perfiles de la muestra (N) y H' es el índice de Shannon.

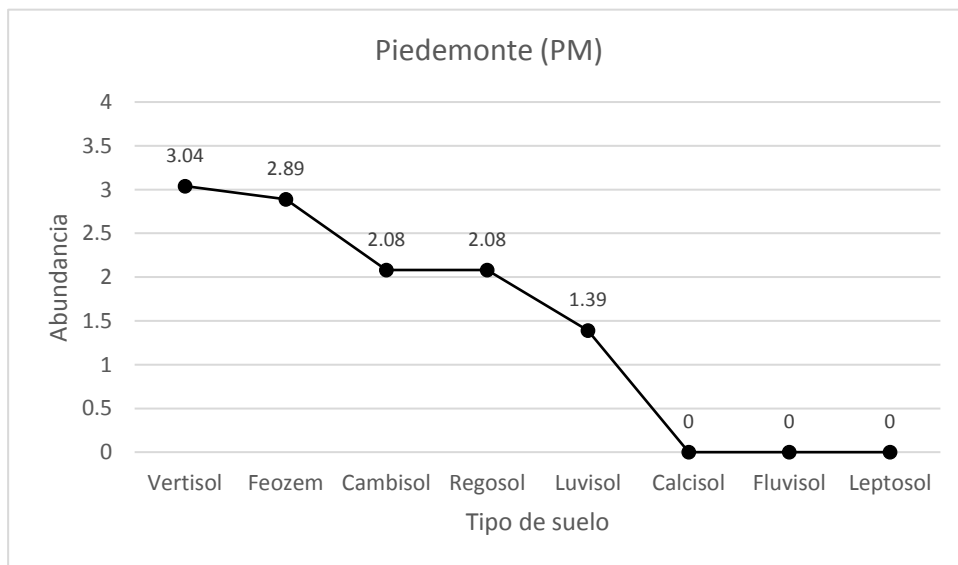


Figura 46. Curva de acumulación considerando el eje X como el rango (riqueza) de tipos de suelos (S) y el eje Y como la abundancia proporcional (logaritmo) en la unidad de Piedemonte (PM).

Con respecto a la unidad de Piedemonte (fig. 46 y cuadro 8). El hecho de que los abanicos antiguos presenten una amplia diversidad de suelos sugiere que la actividad acumulativa en ellos ha recurrido en ciertos sectores, creando un mosaico de sectores de distinta antigüedad, aportando condiciones favorables para el desarrollo de estos suelos. Por lo que se han podido desarrollar suelos como los de tipo Vertisol con el valor más alto de acuerdo con el índice de Shannon y la curva de acumulación en esta unidad geomorfológica.

5.3.4 Edafodiversidad en la unidad de Planicie aluvial (PL).

Planicie aluvial (PL)			
S	n Abundancia	pi	H' = - Σ pi * ln(pi)
Regosol	2	0.03	0.11
Cambisol	6	0.10	0.23
Feozem	13	0.22	0.33
Vertisol	17	0.29	0.36
Fluvisol	21	0.36	0.37
Total	N 59		H'=1.4

Cuadro 9. Planicie aluvial (PL). Donde S es el tipo de suelo es decir la riqueza, pi es la abundancia proporcional del tipo de suelo i, esto es el número de perfiles del suelo i dividido entre el número total de perfiles de la muestra (N) y H' es el índice de Shannon.

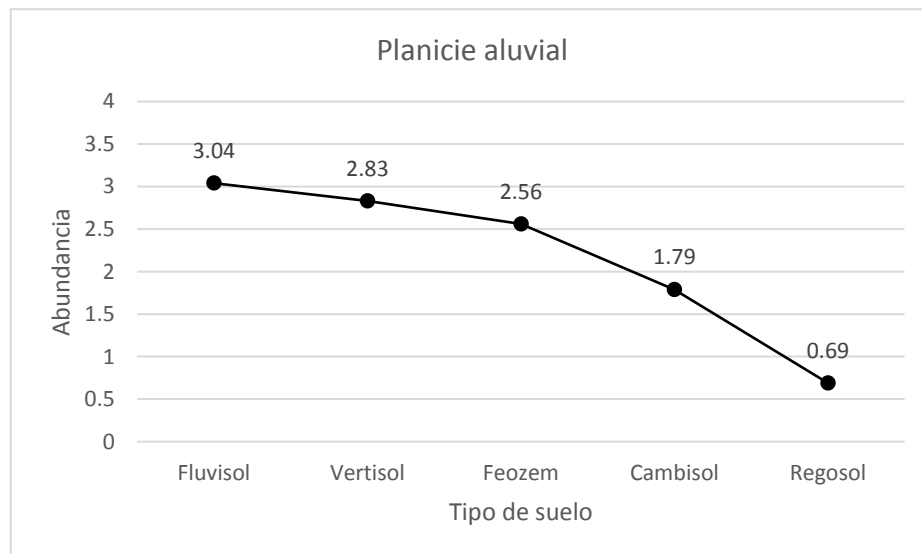


Figura 47. Curva de acumulación considerando el eje X como el rango (riqueza) de tipos de suelos (S) y el eje Y como la abundancia proporcional (logaritmo) en la unidad de Planicie aluvial (PL).

El suelo de tipo Fluvisol fue de mayor diversidad en la planicie aluvial (cuadro 9, figura 47). De manera particular en la terraza alta (PL1) cuenta con solo dos tipos de suelos (Vertisol y Feozem) en contraste de la terraza bajas/llanura de inundación (PL2) que presentan cinco tipos de suelos siendo el Fluvisol el más abundante puede deberse a la distinta dinámica fluvial, ya que en la llanura de inundación aun ocurren eventos de desborde y acumulación de aluvión. Además, al ser la zona con menor altitud de la cuenca, el relieve propicia las condiciones para acumular y distribuir materiales provenientes de las partes más altas (montañas y lomeríos) de la zona de estudio. En cambio la terraza alta se encuentra estable desde hace varios milenios y el suelo ha evolucionado sin la influencia de eventos geomorfológicos, uniformizándose con el paso del tiempo. Al hacer una comparación con

los resultados de Saldaña e Ibañez (2004), la edafodiversidad de suelos aumenta de las terrazas bajas (jóvenes) a las terrazas altas (antiguas) debido a los procesos de evolución donde mencionan que las estructuras geomorfológicas antiguas y superficies estables propician las condiciones para que los suelos tengan mayor desarrollo.

6. Conclusiones

- Se analizaron 299 descripciones de perfiles, identificando en total 12 tipos de suelos, todos clasificados con la Base Referencial Mundial del Recurso suelo WRB 2007, ubicados en cuatro unidades geomorfológicas de primer orden (Montaña, Lomerío, Piedemonte y Planicie aluvial) y 19 subunidades de segundo y tercer orden. El tipo Feozem fue el suelo con mayor número de descripciones (83) y el de menor número de registros fue el Kastanozem (3).
- Las intensas dinámicas geomorfológicas de la cuenca junto con los factores formadores del suelo están determinando la elevada edafodiversidad, específicamente el factor relieve ya que diversos tipos de suelo están asociados a geoformas específicas, por lo que la hipótesis planteada en esta tesis cumple con lo propuesto.
- En la unidad de montaña los procesos geomorfológicos principales son la remoción en masa debido a fuerte pendiente e inestabilidad del terreno, por lo que es la unidad con una mayor edafodiversidad, de acuerdo con el índice de Shannon y la curva de acumulación (Whittaker, 1965).
- La formación de suelos en los lomeríos redondeados ha sido directamente por el material parental. En el lomerío escarpado hay desarrollo de suelo debido a la presencia de vegetación. Al igual que la unidad de montaña los procesos de remoción en masa son los más evidentes. Asimismo, es una zona de transición de clima. El resultado del índice de Shannon y la curva de acumulación (Whittaker, 1965) es un sitio con una importante edafodiversidad en todas las subunidades.
- Los Piedemontes están formados por acumulación de materiales coluviales (incluyendo depósitos producidos por la escorrentía y por la remoción en masa) y fluviales por lo que se han podido desarrollar suelos como los de tipo Vertisol que es el suelo más abundante de acuerdo con el índice de Shannon y la curva de acumulación (Whittaker, 1965).
- La terraza alta (PL1) es la de menor diversidad, con amplia abundancia de suelo Vertisol. Esto puede deberse a estabilidad del terreno desde hace varios milenios. En el caso de la Terraza media y la llanura de inundación la dinámica fluvial es un factor importante para la formación de suelos, ya que episódicamente ocurren en ellas eventos acumulativos y erosivos asociados a la actividad de los ríos.

7. Bibliografía

- Arnold R. W., Szabolcs I., Targulian V.O. 1990. *Global soil change. Report on IIASA-ISSS-UNEP Task force on the role of soil in global change*. International Institute for Applied Systems Analysis. Luxemburg. Austria.
- Arnold, R. W. 1994. *Soil geography and factor functionality: interacting concepts*. En: R. Amundson et al. (ed). *Factors of soil formation: a fifteenth anniversary retrospective*. SSSA Spec. Publ. 33. SSSA, Madison, WI. 99-109 pp.
- Arredondo C., Muñoz J. y García A. 2008. *Recent changes in landscape dynamics trends in tropical highlands, Central Mexico*. *Interciencia* 33(8), 569-577 pp.
- Atlas de suelos de la República de Argentina. 1990. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires. Argentina.
- Barrientos M. R., Leirana A. J., Navarro J. 2016. *Métodos gráficos para la exploración de patrones de diversidad en Ecología*. Universidad Autónoma de Yucatán. Biociencias. Vol.9. No. 2. México 11-13 pp.
- Beckmann, G. G. 1984. *The place of "genesis" in the classification of soils*. *Austral. J. Soil Res.* 22: 1-14.
- Blatter, D. L., Carmichael, I.S.E., Deino, A. L., Renne, P. R. 2001. *Neogene volcanism at the front of the central Mexican volcanic belt; basaltic andesites to dacites, with contemporaneous shoshonites and high-TiO₂ lava*. *Geological Society of America Bulletin* 113, 1324-1342.
- Brady, N. C., Weil R. R. 2009. *Elements of the nature and properties of soil*. 3^a ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, N.J.
- Buol, S. W., Hole F.D. McCracken, R. J. 1974. *Soil genesis and classification*. Iowa State Univ. Press, 2nd print. Ames.
- Chadwick, O. A y Graham R. C., 2000. *Pedogenic Processes*. En (Ed.) M. E. Summer. *Hand Book of Soil Science*. CRS Press. Boca Raton. 41-72 pp.
- Chaplot, V., Christian W., Curmi, P. 2000. *The use of auxiliary geophysical data to improve a soil-landscape model*. *Soil Science* 165:961-970 pp.
- Chorley, R. J., Shumm, S. A., Sugden, D. E. 1984. Chapter 9: *Weathering and erosion*, In: *Geomorphology*. Methuen Co. London. 203-229 pp.

- Cserna, Z. de, 1983, Hoja Tejupilco 14 Q-g (9). *Resumen de la Geología de la Hoja Tejupilco, estados de Guerrero, México y Michoacán: México, D.F.*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas de México serie 1:100 000.
- Daniels, R. B. and R. D. Hammer. 1992. *Soil Geomorphology*. New York, John Wiley.
- Derrau, M. 1958. *Précis de Géomorphologie*, Deuxième Edition, Masson et Cie., Editeurs, Paris.
- Duchaufour, Ph. 1970. *Précis pédologie*. 3^{ème} ed. Mason. París.
- Douglas. I. 1977. *Humid Landforms*. Australian National University Press. Camberra, 288 p.
- Fanning D. S., Fanning M. C.B., 1989. *Soil, Morphology, Genesis, and Clasification*. WILEY. U.S.A. 287-290 pp.
- FAO. 1998. *World Reference Base for Soil Resources*, by ISSS–ISRIC–FAO. World Soil Resources Report No. 84. Rome.
- FAO. 2003. *Evaluación de la degradación de la Tierra en Zonas Áridas*. Borrador 42 pp.
- FAO. 2009. *Guía para la descripción de suelos*. 4^{ta} ed. Roma, Italia. 2-3 pp.
- FAO-ISRIC-ISSS. 1988. *World reference base for soil resources*. Rome.
- FAO-ISRIC-ISSS. 2006. *World reference base for soil resources*. Rome.
- Forman, R.T.T. 1995. *Some general principles of landscape and regional ecology*. Landscape Ecology. 10: 133-142.
- Forth, H.D. 2008. *Fundamentals of soil science*. 9th ed. John Wiley and sons. New York, N.Y.
- Galicia L., López-Blanco J. Zarco-Arista, A. E., Filips V., García-Oliva, F. 1999. *The relationship between solar radiation interception and soil wáter content in a tropical deciduous forest in México*. Catena 36:153-164.
- Gama-Castro, J., Carreón-Freyer, D., Palacios-Mayorga, S. y Solleiro-Rebolledo, E. 1998. *Génesis, identificación y uso de los suelos de México: Distribución, propiedades, clasificación y manejo de suelos residuales y transportados con aplicaciones a la ingeniería civil*. Documento técnico 19, Instituto Mexicano del transporte. 144 p.
- García E. 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. UNAM. México. D.F.
- Gobierno del Estado de Michoacán. 2008-2012. *Plan de Desarrollo Urbano de Tuxpan Michoacán*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. México.

- Gray y Sotir, 1996; TRAGSA Y TRAGSATEC, 1994. *Descripción de los Movimientos en Masa*.
- Gueye S. K., 2008. *Almacén y dinámica del carbono en suelos de ladera en un gradiente microclimático en Tuxpan, Michoacán*. Tesis de licenciatura Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gueye S., K. 2010. *Potencial de captura de carbono en suelos de ladera en la subcuenca del río Piricua en Tuxpan, Michoacán*. Tesis de Maestría. Posgrado en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hudson, B. D. 1992. *The soil survey as paradigm-based science*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 56, 836-841.
- Huston, M.A. 1984. Biological diversity. *The coexistence of species in changing landscape*. Cambridge. Univ. Press. Cambridge.
- Ibáñez, J.J., García-Álvarez, A. 2002. *Diversidad: biodiversidad edáfica y geodiversidad*. *Edafología*. 9:329-385 pp.
- Ibáñez, J.J., Saldaña A. 2011. *Geografía de los suelos en México: Edafodiversidad; concepto, estimación y utilidad en el análisis global de los suelos*. Las prensas de ciencias UNAM, México. 145-172 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática). 2004. *Guía para la interpretación de cartografía edafología*. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática). 1985. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación*, 1:250 000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática) 1999. *Carta topográfica*. Ciudad Hidalgo. E14a25. Escala 1:50 000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática) 1999. *Carta Geológica*. Ciudad Hidalgo. E14a25. Escala 1:50 000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática) 1999. *Carta Edafológica*. Ciudad Hidalgo. E14a25. Escala 1:50 000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática) 2001. *Carta de Hidrología superficial* 1:1000,000.
- INEGI. 1989. *Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales* E1401. Escala 1:250,000. Serie I.
- INEGI. 1989a. *Fotografías aéreas*. Zona E141, línea de vuelo 152. 151.78 D. F. Fotos 07 a 09. Escala 1:75 000. Mayo, México.

- INEGI. 1989b. *Fotografías aéreas*. Zona E14A25, línea de vuelo 303. 153.38 D. F. Fotos 06 a 08. Escala 1:37 000. Noviembre, México.
- INEGI. 2001. *Conjunto de datos vectoriales climas*. esc. 1:1 000 000.
- INEGI. 2007. *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación serie IV* escala 1:250 000.
- INEGI. 2007. *Conjunto de datos vectoriales Edafológico*. Escala 1:250,000. Serie II (continuo Nacional).
- INEGI. 2008. *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México*. Geografía de México.
- INEGI. *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Serie II, escala 1:250 000* (Continuo Nacional). México. 2007.
- INEGI. 1998. *Cuaderno Estadístico Municipal de Tuxpan*, Estado de Michoacán. INEGI.
- International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). 2005. *Updated global and national soils and terrain digital databases (SOTER)*.
- IUSS Working Group WRB, 2007. *World Reference Base for Soil Resources*, 2006, first update.2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Jackson, M. L. 1964. *Chemical composition of soils*. 2nd. Ed. Reinhold Corp. New York. 71-141 pp.
- Jenny, H. 1941: *Factors of soil formation*. McGraw-Hill, New York.
- Jenny, H. 1994. *Topography as a soil forming factor*. Chapter V. In: Factors of soil formation. 2nd ed. Dover Publ. Inc. New York, N. Y. 89-103 pp.
- Krasilnikov P. Jiménez N. F. J., Reyna T. T., García. C.E.N. 2011. *Geografía de Suelos de México*. Las prensas de ciencias UNAM, México.
- Kirkby, M.J. 1976. Hydrograph modelling strategies. Chapter 3 in Processes in Physical and Human Geography (ed. by R. Peel, M. Chisholm and P. Haggett). Heinemann.
- Laatsch W. V. Schlichting E. 1959. *Bodentypus und Bodensystematik*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. Vol. 87 (132).
- Liu, S. L. Guo, X. D., Fu, B.J., Lian, G., Wang, J. 2007. *The effect of environmental variables on soil characteristics at different scales in the transition zone of the Loess Plateau in China*. Soil Use and Management 23:92-99.

- López B.J. Galicia S. L., García G. G.1996. *Aplicación de un SIG para la caracterización morfológica y la delimitación de unidades de ladera de una cuenca tropical estacional en Chamela, Jalisco, México*. Investigaciones Geográficas Boletín, núm 4. Insituto de Geografía. UNAM. Mexico 2 p.
- López E., Bocco G., Mendoza M. y Aguirre J.R 2006. *Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS –based approach in Central Mexico*. *Agricultural Systems*, 90, 62-78 pp.
- López, D., Morell, F., Balmaseda, C., Hernández, A. 2010. *La Rosita. I Características y distribución de los suelos Cultivos Tropicales*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) La Habana, Cuba. Vol. 31 (1) 41-47.
- Lugo H, J. 2011. *Diccionario geomorfológico*. Instituto de geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Magurran, A.E., 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Croom Helm, London. 179 pp.
- Margalef, R. 1958. *Information theory in ecology*. *Gen. Syst.* 3, 36– 71.
- May, R. M. 1975. *Patterns of species abundance and diversity* en: M. L. Cody y J. M. Diamond (eds). *Ecology and evolution of communities*. Belknap Press-Harvard University Pres. Mass. 545 pp.
- May, R. M. 1981. *Patterns in multi-species communities*. En R. M. May (ed). *Theoretical ecology. Principles and applications*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, G. B. 489 pp.
- McBratney, A.B., 1995. *Pedodiversity*. *Pedometron* 3, 1 – 3.
- Menhinick, E.A. 1964. *A Comparison of some Species-Individuals Diversity Indices Applied to samples of Field Insects*. *Ecology*, 45 (4): 859-861.
- Núñez. S. J. 2000. *Fundamentos de la edafología*. 3a ed. EUNED, San José, Costa Rica. 24 p.
- Olivares M., L., D. 2014. *Inferencias sobre el uso de canales Mayas en la zona Pich. Campeche, mediante estudios de suelos*. Tesis de Licenciatura. UNAM-CIGA. México.
- Paul, E. A. and F. E. Clark (eds.) 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*, 2nd ed. San Diego, CA, Academic Press.
- Peet, R. K. 1974. *The measurement of species diversity*. *Annu. Rev. Ecol. Syst* 5:285-307.

- Petersen, M.D., 1989. *Geology and tectonics of the Jungapeo, Michoacán, Mexico area and its relationship to the Mexican Volcanic Belt*. Master's thesis, Brigham Young University, Provo, Utah, 26 p.
- Porta, J., M. López-Acevedo y C. Roquero. 2003. *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente*. 3° Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Porta, J; López, A.M y Poch, M.R.2008. *Introducción a la edafología: Uso y protección del suelo*. Madrid: ediciones mundi-prensa. 451pp.
- *Randal J.S. and Sharon A. Soil. Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Reporte Tuxpan 2012. *Curso de Campo de Suelos y Geomorfología con un enfoque paisajístico*. Posgrado en Geografía. Reporte final, inédito. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM.
- Reporte Tuxpan 2013. *Curso de Campo de Suelos y Geomorfología con un enfoque paisajístico*. Posgrado en Geografía. Reporte final, inédito. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM.
- Ritter, M. E. 2000. *The physical environment: an Introduction to Physical Geography*. Chapter 11: The soil system.
- Rossiter. D. 2002. *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo*. International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC). Holanda.
- Ruhe, R. V. 1960. *Soil Development Sequences and Energy Models*. Soil Sci. 115:183-193.
- Ruhe, R.V. 1975. *Geomorphology*. Houghton Mifflin, Boston. MA.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. LIMUSA. México. D.F.
- Saldaña A. y Ibañez J.J. 2004. *Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terraces of the Henares River (central Spain)*. Geomorphology 62 (2004) 123–138.
- Schaetzl R.J., y Anderson S. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge & New York, Cambridge.
- SEMARNAT 2002b. *Informe de la situación del medio ambiente en México*. Compendio de estadísticas ambientales. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Siebe C. Goff F. Armieta M. A. Counce D., Poreda R., Chipper S. 2007. *Geology and hydrogeochemistry of the Jungapeo CO₂-rich thermal springs, State of Michoacán, México*. Journal of Volcanology and Geothermal Research Vol. 163 (1) 33 p.

- Siebe Ch., Jahan R and Stahr K. 2006. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de los suelos en el campo*. UNAM. México.
- Simpson, E. H. 1949. *Measurement of diversity*. Nature. 163:688.
- Soberón, J. Y J. Llorente. 1993. *The use of species accumulation functions for the prediction of species richness*. Conservation biology, 7: 480-488.
- Southwood, T. R. E. 1978. *Ecological Methods*. Chapman and Hall. London.
- Stahr, K. and Renger, M. 1986: Böden: *Eigenschaften–Potentiale–Gefährdung.- Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung: Bodenschutz – Räumliche Planung und Strategien.- Heft 21: 1-10, Bonn, Germany.*
- Stone, R, P., Hilborn D. 2000. *Universal soil loss equation (USLE)*. Fact Sheet.
- Tapia V., G. y López B., J. 2001. *Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100,000*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v 19, núm 1, p. 50-65.
- Targulian V. O., Sokolov I. A. 1978. *Structure and functional approach to a soil; "Soil memory" and "Soil moment"*. In: Mathematical modeling in ecology, 17-33. Nauka. Moscow.
- Tidem, S.J.; O'Neil, R.V.; Conley, W.; Conley, M.R.; Humphries, H.C. 1991. Pattern and Scale: statistics for landscape ecology. En: M.G. Turner y R.H. Gardner (eds.) *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York. Pp. 17-49.
- Toy, J. T. 1997. *Erosion Research techniques, erodibility and sediment delivery*. Geo-Books, Norwich. 86 pp.
- USDA. 1975. *Claves para la Taxonomía de suelos*. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. USA.
- USDA. 2003. *Claves para la Taxonomía de suelos*. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. USA
- Verstappen. H. Th. Van Zuidam, R. A. 1991. *The ITC sytem of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards*: ITC Publication. 10. 89 p.
- Whittaker RH. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. Science 147: 250–260.
- Whittaker, R.H., 1977. *Evolution of species diversity in land communities*. In: Hecht, M.K., Steere, W.C., Wallace, B. (Eds.), *Evolutionary biology*, vol. 10. Plenum, New York, pp. 1 – 67.

- WRB [IUSS Working Group WRB]. 2006. *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- WRB [IUSS Working Group WRB]. 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- WRB [IUSS Working Group WRB]. 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Wolfanger L. A. 1930. *The major soil divisions of the United States: A pedologic-geographic survey*. John Wiley Sons. New York. 150 p.
- Yaalon, D. H. 1971. *Soil-forming processes in time and space*. In: *Paleopedology: origin, nature and dating of paleosols*. Israel University Press, Jerusalem, Israel. 29-39 pp.
- Zinck J., A. 2012. *Geopedología*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. ITC. Netherlands.
- Zinck, J. A. 1988. *Physiography and soils*. Lecture notes. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).

Sitios web consultados

<https://www.gob.mx/conagua>

<http://edafologia.ugr.es/iluv/index.htm>

<http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mich>

<https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/FAO/Lixisol.htm>

<http://geoedufercor.blogspot.com/p/capitulo-vii.html>

<http://www.ccba.uady.mx/bioagro/V9N2/BC%209.2%20Metodos%20graficos%20FL.pdf>

<https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/FAO/Lixisol.htm>

8. ANEXO

Base de datos de los perfiles del suelo descritos en la cuenca del Río Piricua, Tuxpan, Michoacán (Curso de Campo de Suelos y Geomorfología con un enfoque paisajístico, años 1996 a 2016).

Nota: del año 2016 solamente se incluyen en esta base de datos 4 perfiles localizados en la unidad de Planicie aluvial.

#	CLAVE GEOFORMA	ID	AÑO	UTM X	UTM Y	ALTITUD msnm	PENDIENTE °	Clasificación del suelo (WRB, 2007)	GSR
1	PM2	TUX 96-01	1996	339733	2162314	1820	6	haplic Cambisol (calcaric, hypereutric)	Cambisol
2	PM12	TUX 96-02	1996	343820	2163050	1810	11	mollic Vertisol (humic, eutric)	Vertisol
3	PM12	TUX 96-03	1996	343815	2162700	1760	7	mollic Vertisol (humic, eutric, pellic, chromic)	Vertisol
4	M33	TUX 96-04	1996	336750	2160620	2160	7	cutanic stagnic Lixisol (siltic, chromic)	Lixisol
5	M2	TUX 96-05	1996	341718	2161650	1826	22	haplic Feozem (episkeletic)	Feozem
6	PL2	TUX 96-06	1996	342000	2162400	1720	3	hypogleyc Fluvisol (hypereutric)	Fluvisol
7	M32	TUX 96-07	1996	337941	2161580	2296	7	epileptic epistagnic Regosol (hypereutric)	Regosol
8	M2	TUX 96-08	1996	342000	2161450	1880	36	mollic Leptosol (eutric)	Leptosol
9	PL2	TUX 96-09	1996	341862	2162250	1735	2	haplic Feozem (endoskeletal)	Feozem
10	M31	TUX 96-10	1996	337587	2161106	2020	2	cutanic epistagnic Luvisol (hypereutric)	Luvisol
11	M2	TUX 99-01	1999	335140	2158374	2440	17	cutanic Lixisol (hypereutric, profundic, siltic, chromic)	Lixisol
12	M2	TUX 99-02	1999	336400	2166550	2100	22	haplic Cambisol (hypereutric, rhodic)	Cambisol
13	M2	TUX 99-03	1999	338300	2165000	2100	14	epistagnic Regosol (epieutric, episkeletic)	Regosol
14	L21	TUX 99-04	1999	339156	2165001	1950	26	haplic Leptosol (hypereutric)	Leptosol
15	PM2	TUX 99-05	1999	339183	2164812	1895	8	hypostagnic mollic calcic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
16	M2	TUX 99-06	1999	337645	2160750	2020	23	haplic Cambisol (hypereutric)	Cambisol
17	PM2	TUX 99-07	1999	339825	2161420	1900	7	stagnic Cambisol (distic, episiltic)	Cambisol
18	M32	TUX 99-08	1999	339500	2162000	1800	25	hypovertic endostagnic Feozem (pachic, skeletal, endosiltic)	Feozem
19	PL2	TUX 99-09	1999	343273	2161440	1690	1	vertic Feozem (endoskeletal, siltic)	Feozem
20	PL2	TUX 99-11	1999	343250	2160995	1670	2	haplic Fluvisol (hypereutric, endoskeletal, hypereutric)	Fluvisol
21	M31	TUX 01-01	2001	337432	2161032	2091	-	haplic Lixisol (profundic, chromic)	Lixisol
22	PL1	TUX 01-02	2001	341096	2162818	1780	0	hypostagnic mollic Vertisol (humic, hypereutric, pellic)	Vertisol
23	PM2	TUX 01-03	2001	340939	2162199	2158	4	thaptovertic epistagnic Feozem (episiltic)	Feozem
24	PL1	TUX 01-04	2001	341078	2163230	1785	4	mollic Vertisol (humic, pellic, hypereutric)	Vertisol

25	PM12	TUX 01-05	2001	341200	2163700	1820	-	hypostagnic Feozem (episkeletic)	Feozem
26	PM2	TUX 01-06	2001	343215	2162640	1740	5	mollic Vertisol (humic, hypereutric, pellic, siltinovic)	Vertisol
27	L21	TUX 01-07	2001	343140	2162869	1750	26	haplic Feozem (episkeletic)	Feozem
28	M2	TUX 01-08	2001	341716	2163439	2000	20	haplic Cambisol (humic, hypereutric, skeletic, siltic)	Cambisol
29	PL2	TUX 01-09	2001	340562	2163549	1800	1	haplic Fluvisol (eutric)	Fluvisol
30	M2	TUX 01-10	2001	340552	2161064	1940	10	haplic Feozem (episkeletic)	Feozem
31	M2	TUX 01-11	2001	340581	2160634	2140	35	mollic Andosol	Andosol
32	M2	TUX 01-12	2001	334997	2158596	2450	8	mollic Calcisol	Calcisol
33	M2	TUX 01-13	2001	337210	2160101	2130	43	mollic Andosol	Andosol
34	M2	TUX 01-14	2001	342372	2166466	2360	9	haplic Feozem (episkeletic)	Feozem
35	M2	TUX 01-15	2001	341806	2166042	2150	35	haplic Feozem (endoskeletal)	Feozem
36	M2	TUX 01-16	2001	341478	2166119	2060	25	mollic Vertisol (hypereutric)	Vertisol
37	L12	TUX 01-17	2001	338453	2161927	1960	26	hypostagnic Feozem (episkeletic, siltic, chromic)	Feozem
38	L12	TUX 01-18	2001	339078	2162551	1920	28	haplic Regosol (episkeletic)	Regosol
39	L12	TUX 01-19	2001	340360	2163300	1820	23	calcic Kastanozem	Kastanozem
40	M33	TUX 02-01	2002	337175	2160821	2130	9	cutanic Lixisol (hypereutric, siltic, chromic)	Lixisol
41	M2	TUX 02-02	2002	342390	2159890	1845	30	hypoandic Feozem (endoskeletal)	Feozem
42	M2	TUX 02-03	2002	342400	2159800	1885	22	mollic Leptosol	Leptosol
43	PL1	TUX 02-04	2002	343150	2161860	1740	1	mollic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
44	PL2	TUX 02-05	2002	343250	2161400	1730	2	vertic Feozem (pachic)	Feozem
45	PL2	TUX 02-06	2002	343140	2161200	1720	2	haplic Regosol (eutric)	Regosol
46	PL2	TUX 02-07	2002	343100	2161170	1710	1	haplic Fluvisol (oxyaquic, hypereutric, skeletal)	Fluvisol
47	PM2	TUX 02-08	2002	342240	2160000	1840	6	hypoandic luvic Feozem (endoskeletal)	Feozem
48	PM2	TUX 02-09	2002	344260	2162750	1760	11	haplic Feozem (pachic, densic)	Feozem
49	PM2	TUX 02-10	2002	344250	2162700	1740	8	grumic mollic Vertisol (hypereutric)	Vertisol
50	PM2	TUX 02-11	2002	344280	2162919	1840	20	mollic Vertisol (humic, hypereutric)	Vertisol
51	M2	TUX 02-12	2002	344400	2163150	1850	36	haplic Feozem (endoskeletal, chromic)	Feozem
52	M2	TUX 03-01	2003	334941	2158459	2420	20	eutrisilic silandic (fulvic) mollic Andosol (hypereutric, endoskeletal)	Andosol
53	M1	TUX 03-02	2003	334964	2158409	2420	13	cutanic stagnic Lixisol (eutric, clayic, endosiltic, chromic)	Lixisol
54	L21	TUX 03-03	2003	339053	2165100	2005	13	leptic hypostagnic Feozem	Feozem
55	L21	TUX 03-04	2003	339141	2165066	1980	28	haplic Leptosol (eutric)	Leptosol
56	L21	TUX 03-05	2003	339240	2164876	1910	20	hypostagnic mollic Leptosol (eutric)	Leptosol
57	PM2	TUX 03-06	2003	339301	2164761	1880	6	mazic Vertisol (humic, eutric)	Vertisol

58	PL1	TUX 03-07	2003	339340	2164487	1857	3	hypostagnic mollic Vertisol (humic, eutric, pellic)	Vertisol
59	PL2	TUX 03-08	2003	339422	2164379	1850	1.5	hypostagnic mollic Fluvisol (eutric, endoskeletal, arenic)	Fluvisol
60	L11	TUX 03-09	2003	338798	2163974	1920	6	epileptic stagnic Feozem	Feozem
61	L12	TUX 03-10	2003	339344	2163951	1896	23	stagnic Cambisol (hypereutric, episiltic)	Cambisol
62	PM2	TUX 03-11	2003	339373	2164051	1870	6	endoleptic epistagnic Vertisol (eutric, novi)	Vertisol
63	M1	TUX 03-12	2003	334331	2167920	2515	4	haplic Regosol (eutric)	Regosol
64	M2	TUX 03-13	2003	334736	2167844	2380	42	vitric Feozem (endoskeletal, episiltic)	Feozem
65	PM11	TUX 03-14	2003	339803	2164594	1860	8	vertic stagnic Feozem (endoskeletal)	Feozem
66	PM2	TUX 03-15	2003	339534	2164005	1840	6	hypostagnic Vertisol (humic, eutric)	Vertisol
67	L11	TUX 04-01	2004	340170	2163151	1870	-	haplic Regosol (episkeletic)	Regosol
68	L12	TUX 04-02	2004	340191	2163025	1859	-	mollic Leptosol	Leptosol
69	L11	TUX 04-03	2004	339852	2163361	1921	-	leptic stagnic Cambisol	Cambisol
70	L11	TUX 04-04	2004	338438	2163243	2220	-	vertic Feozem	Feozem
71	PM2	TUX 04-05	2004	340016	2162834	1847	-	cutanic Luvisol (hypereutric, chromic)	Luvisol
72	PM2	TUX 04-06	2004	340030	2162782	1842	-	haplic Vertisol (pellic)	Vertisol
73	PL1	TUX 04-07	2004	343358	2161727	1726	0	mollic endoclayic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
74	PL2	TUX 04-08	2004	343226	2161418	1713	1	hypostagnic mollic Vertisol (hypereutric, pellic, novic)	Vertisol
75	PL2	TUX 04-09	2004	343156	2161271	1702	0	fluvic Cambisol (hypereutric, endoskeletal)	Cambisol
76	M2	TUX 04-10	2004	333739	2159620	2612	21	thaptoluvic Feozem (hypereutric, episiltic)	Feozem
77	M4	TUX 04-11	2004	334100	2159515	2571	-		Feozem
78	M31	TUX 04-12	2004	335477	2159369	2360	2	cutanic andic stagnic Lixisol (hypereutric, profundic, clayic, chromic)	Lixisol
79	PM11	TUX 04-13	2004	340713	2165131	1905	6	haplic Cambisol (endoskeletal)	Cambisol
80	PM11	TUX 04-14	2004	340465	2164345	1867	-	haplic Vertisol (pellic, eutric)	Vertisol
81	PM11	TUX 04-15	2004	340390	2164000	1817	-	haplic Feozem (hyperskeletal)	Feozem
82	M2	TUX 04-19	2004	342437	2161379	1867	-	haplic Feozem (hyperskeletal)	Feozem
83	M2	TUX 04-20	2004	342452	2161357	1863	-	haplic Feozem (episkeletic)	Feozem
84	M2	TUX 04-21	2004	342401	2161405	1873	-	haplic Feozem (episkeletic)	Feozem
85	M2	TUX 04-22	2004	342331	2161393	1893	-	haplic Feozem (pachic)	Feozem
86	M2	TUX 04-23	2004	342403	2159804	1886	-	haplic Feozem	Feozem
87	M2	TUX 04-24	2004	342443	2159772	1877	-	haplic Leptosol (eutric)	Leptosol
88	M2	TUX 04-26	2004	342308	2161438	1850	-	haplic Vertisol (pellic)	Vertisol
89	PL1	TUX 05-01	2005	341774	2162872	1753	1	hypotenic thaptovetric Feozem (siltic)	Feozem
90	PL1	TUX 05-02	2005	341779	2162880	1759	1	hypotenic thaptovetric Feozem (siltic)	Feozem

91	PL2	TUX 05-03	2005	341720	2162708	1746	3	haplic Feozem (endoskeletal)	Feozem
92	PL2	TUX 05-04	2005	341716	2162736	1745	2	haplic Fluvisol (oxyaquic, hypereutric, endoskeletal)	Fluvisol
93	M2	TUX 05-05	2005	341507	2165689	2045	22		Regosol
94	L21	TUX 05-06	2005	340502	2165277	1930	34	lithic Leptosol (hypereutric, skeletal)	Leptosol
95	PM11	TUX 05-07	2005	340536	2164705	1871	5.5	hypstagnic Feozem (skeletal)	Feozem
96	M4	TUX 05-09	2005	334050	2159650	2572	8		Andosol
97	M2	TUX 05-10	2005	336945	2159571	2380	40	haplic Regosol (eutric, endoskeletal)	Regosol
98	M1	TUX 05-11	2005	336280	2158965	2348	14	cutanic Luvisol (clayic, chromic)	Luvisol
99	M31	TUX 05-12	2005	336454	2159930	2211	7	eutrisilic silandic Andosol (hypereutric, silty)	Andosol
100	M31	TUX 05-13	2005	338092	2161559	1980	10		Regosol
101	L12	TUX 05-14	2005	339042	2162148	1867	18	cutanic calcic Luvisol (hypereutric, endosilty, chromic)	Luvisol
102	PM2	TUX 05-15	2005	339148	2162145	1326	10	protovertic luvic Calcisol (endosilty)	Calcisol
103	M2	TUX 05-16	2005	342481	2161314	1830	36	haplic Regosol (hypereutric, skeletal)	Regosol
104	M2	TUX 05-17	2005	342460	2161413	1840	35	haplic Regosol (hypereutric, skeletal)	Regosol
105	M2	TUX 05-18	2005	342393	2161466	1845	32	aluandic eutrisilic folic Andosol (hypereutric, endoskeletal)	Andosol
106	M31	TUX 06-01	2006	336555	2160014	2221	10	cutanic endostagnic Lixisol (hypereutric, silty, chromic)	Lixisol
107	M31	TUX 06-02	2006	338075	2161504	2000	20	stagnic Feozem (silty)	Feozem
108	M2	TUX 06-03	2006	336885	2159550	2370	38	endoleptic Regosol (hypereutric, endoskeletal)	Regosol
109	M4	TUX 06-04	2006	334126	2159502	2568	10	thaptoandic Cambisol (coluvic, humic, hypereutric, silty)	Cambisol
110	M1	TUX 06-05	2006	333859	2159640	2616	5	haplic Feozem (endoskeletal)	Feozem
111	L21	TUX 06-06	2006	339000	2165000	2120	0	haplic Leptosol (eutric, skeletal)	Leptosol
112	L21	TUX 06-07	2006	339081	2164912	1930	15	hipocalcic Kastanozem (silty)	Kastanozem
113	PM2	TUX 06-08	2006	339196	2164749	1880	8	mollic, calcic Vertisol (humic, hypereutric, pellic)	Vertisol
114	PL1	TUX 06-09	2006	339282	2164516	1855	0	mazic Vertisol (humic, hypereutric, pellic)	Vertisol
115	PM2	TUX 06-10	2006	342642	2161562	1740	11	stagnic Regosol (hypereutric, thaptovertic)	Regosol
116	PL2	TUX 06-11	2006	342840	2161638	1730	0	paravertic Feozem (pachic, endoskeletal)	Feozem
117	PL2	TUX 06-12	2006	342848	2161776	1720	0	haplic Fluvisol (hypereutric)	Fluvisol
118	PL1	TUX 06-13	2006	342710	2162119	1740	4	stagnic Vertisol (humic, hypereutric, pellic)	Vertisol
119	L11	TUX 06-14	2006	338660	2163822	1856	0	vertic protostagnic Feozem (endokeltic, silty)	Feozem
120	L12	TUX 06-15	2006	339460	2163935	1870	20	endostagnic Cambisol (hypereutric, thaptoluvic)	Cambisol
121	PM2	TUX 06-16	2006	339366	2164042	1855	10	stagnic Cambisol (hypereutric, thaptomollic)	Cambisol
122	PM11	TUX 06-17	2006	340497	2164444	1842	0	haplic Vertisol (eutric, pellic)	Vertisol
123	PL1	TUX 07-01	2007	343145	2161795	1730	1	grumic endomazic Vertisol (eutric, pellic)	Vertisol

124	PL2	TUX 07-02	2007	342716	2161886	1715	0	fluvic Cambisol (epieutric, endoskeletal)	Cambisol
125	PL2	TUX 07-03	2007	342680	2161863	1717	0	haplic Fluvisol (endeskeletal)	Fluvisol
126	PM2	TUX 07-04	2007	342633	2161646	1730	7	stagnic Feozem (clayic, endeskeletal) thaptovertic	Feozem
127	M2	TUX 07-05	2007	342499	2161318	1830	36	haplic Regosol (distic, skeletal)	Regosol
128	M2	TUX 07-06	2007	342331	2161399	1875	32	folic Cambisol (dystric endoskeletal)	Cambisol
129	L11	TUX 07-07	2007	338849	2163937	1918	6	thapto vertic protostagnic Regosol (eutric)	Regosol
130	PM2	TUX 07-08	2007	338999	2164216	1880	12	protostagnic Luvisol (clayic)	Luvisol
131	PM11	TUX 07-09	2007	340382	2163967	1810	5	protovertic protostagnic Feozem (ruptic, endoeskeletal)	Feozem
132	PM11	TUX 07-10	2007	340705	2165119	1905	6	haplic Regosol (endoeskeletal)	Regosol
133	L11	TUX 07-11	2007	338327	2163618	1978	2	haplic Leptosol (eutric, skeletal)	Leptosol
134	M32	TUX 07-12	2007	337148	2160646	2105	27	protovertic protostagnic Feozem (ruptic, endoeskeletal)	Feozem
135	M31	TUX 07-13	2007	335496	2159381	2320	8	andic Cambisol (cutanic, thaptovertic)	Cambisol
136	M33	TUX 07-14	2007	336838	2160532	2153	2	haplic Stagnosol (dystric)	Stagnosol
137	M32	TUX 07-15	2007	338425	2161661	1955	8	stagnic Feozem (endoeskeletal)	Feozem
138	L12	TUX 07-16	2007	339068	2162153	1853	25	hypercalcic Calcisol (siltic)	Calcisol
139	PM2	TUX 07-17	2007	339018	2162094	1846	12	haplic Feozem (endoeskeletal)	Feozem
140	PL1	TUX 08-01	2008	341002	2162729	1775	1	grumic mollic Vertisol (humic, hypereutric, pellic)	Vertisol
141	PL2	TUX 08-02	2008	341062	2162435	1760	1	haplic Feozem (endoeskeletal)	Feozem
142	PL2	TUX 08-03	2008	341198	2162358	1775	3.2	hypogleyic mollic, Fluvisol (humic, hypereutric)	Fluvisol
143	M31	TUX 08-04	2008	336317	2159678	2270	5	cutanic Lixisol (eutric, profundic)	Lixisol
144	M32	TUX 08-05	2008	337458	2161200	2060	30	haplic Cambisol (orthoeutric, endosiltic)	Cambisol
145	M32	TUX 08-06	2008	338074	2161501	1999	9	mollic, Stagnosol (manganiferrous, epieutric, thaptovertic)	Stagnosol
146	L21	TUX 08-07	2008	340131	2165316	1996	22	leptic Cambisol (epieutric, colluvic)	Cambisol
147	L21	TUX 08-08	2008	339953	2164993	1895	12	haplic Vertisol (pellic, novic)	Vertisol
148	PM11	TUX 08-09	2008	339820	2164454	1855	3.5	thaptovertic Feozem epieutric	Feozem
149	L21	TUX 08-10	2008	340184	2165270	1996	31	hypovermic Feozem (epieskeletal)	Feozem
150	M1	TUX 08-11	2008	336135	2163113	2464	0	lithic mollic Leptosol (humic, eutric)	Leptosol
151	M2	TUX 08-12	2008	336621	2163000	2210	35	folic Cambisol (orthoeutric, endoeskeletal, rhodic)	Cambisol
152	PM2	TUX 08-13	2008	337154	2163321	2067	10	endostagnic Feozem (siltic)	Feozem
153	M2	TUX 08-14	2008	336656	2162862	2300	43	haplic Cambisol (humic, epiclayic)	Cambisol
154	L11	TUX 08-15	2008	339893	2163061	1900	1	hypovermic mollic, Stagnosol (mangni-ferric, eutric)	Stagnosol
155	L12	TUX 08-16	2008	339917	2162948	1864	12	cutanic Luvisol (eutric, rhodic)	Luvisol
156	PM2	TUX 08-17	2008	340004	2162846	1835	3	cutanic Luvisol (hyperuetric, chromic)	Luvisol

157	M32	TUX 09-01	2009	336311	2159708	2275	7	cutanic, endostagnic, Lixisol (hypereutric, profundic, siltic, endoclayic, chromic)	Lixisol
158	M32	TUX 09-02	2009	337544	2161207	2062	5	endovertic Cambisol (colluvic, eutric, ruptic, siltic)	Cambisol
159	M32	TUX 09-03	2009	338956	2161866	1882	8	haplic Regosol (eutric, epicalcic, skeletal)	Regosol
160	L21	TUX 09-04	2009	339348	2165862	2056	22	leptic Cambisol (hypostagnic, hypovortic, eutric, endoskeletal, siltic, densic)	Cambisol
161	PM2	TUX 09-05	2009	339449	2165309	1926	13	haplic Leptosol (eutric)	Leptosol
162	PM11	TUX 09-06	2009	339692	2164994	1900	6	vertic Feozem (endoskeletal)	Feozem
163	PM11	TUX 09-07a	2009	340222	2164039	1829	5	haplic Regosol (eutric, skeletal)	Regosol
164	PM11	TUX 09-07b	2009	340195	2164117	1826	4.5	haplic Regosol (eutric)	Regosol
165	PL1	TUX 09-08	2009	339246	2164551	1860	8	grumic mazic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
166	PL2	TUX 09-09	2009	339456	2164392	1844	2	haplic Feozem (pachic, limnic)	Regosol
167	PL2	TUX 09-10	2009	339443	2164383	1845	1	mollic Fluvisol (eutric, siltic)	Fluvisol
168	PL2	TUX 09-11	2009	339495	2164328	1835	-	haplic Fluvisol (eutric, endoskeletal)	Fluvisol
169	M2	TUX 09-12	2009	342513	2159775	1860	45	haplic Feozem (siltic)	Feozem
170	M2	TUX 09-13	2009	342240	2159796	1902	35	haplic Regosol (eutric, endoskeletal)	Regosol
171	PM2	TUX 09-14	2009	342240	2159934	1352	8	stagnic Feozem (endoskeletal, siltic)	Feozem
172	M1	TUX 09-15	2009	333835	2159657	2620	17	haplic Feozem (pachic, skeletal)	Feozem
173	M4	TUX 09-16	2009	334126	2159499	2561	11	vitric Feozem (pachic, siltic, thaptoandic)	Feozem
174	M2	TUX 09-17	2009	335051	2158518	2473	13	eutrisilic silandic folic Andosol (eutric, siltic, novic)	Andosol
175	M2	TUX 09-18	2009	336927	2159607	2385	43	haplic Feozem (siltic, endoeskeletal)	Feozem
176	M4	TUX 09-19	2009	334190	2159615	2581	16	luvic Feozem (endoclayic cutanic)	Feozem
177	L11	TUX 09-20	2009	339854	2163352	1924	3	epistagnic Regosol (densic, endoeskeletal)	Regosol
178	L12	TUX 09-21	2009	340328	2163515	1832	25.5	calcic Luvisol (ruptic, hypereutric, novic)	Luvisol
179	PL1	TUX 09-22	2009	341164	2162893	1773	3	mollic Feozem (antric, episkeletic)	Feozem
180	M2	TUX 10-01	2010	334729	2167343	2472	34	hypoandic Feozem (endoskeletal, humic)	Feozem
181	M4	TUX 10-02	2010	334827	2167317	2410	11	haplic Cambisol (coluvic, endoskeletal, humic)	Cambisol
182	M4	TUX 10-03	2010	334915	2167393	2388	1	eutrisilic silandic Andosol (coluvic, hypotrophic, siltic)	Andosol
183	M2	TUX 10-04	2010	341507	2165005	2100	20	vertic hypoluvic Feozem (abruptic, clayic)	Feozem
184	M2	TUX 10-04 (BIS)	2010	341489	2165019	2095	-	haplic Feozem (hyposkeletal)	Feozem
185	PM2	TUX 10-05	2010	340905	2165233	1918	10	stagnic Vertisol (albic, mesotrophic, pellic, novic)	Vertisol
186	PM11	TUX 10-06	2010	340676	2164872	1883	4	thaptovertic stagnic Regosol (hypereutric, endoskeletal)	Regosol
187	L21	TUX 10-07	2010	340363	2165215	1963	40	leptic hypostagnic Cambisol (humic, eutric)	Cambisol
188	L21	TUX 10-08	2010	340371	2165094	1894	11	stagnic Leptosol (eutric, episkeletic)	Leptosol
189	PM2	TUX 10-09	2010	340242	2164760	1850	1	coluvic endostagnic Regosol (distric, hypoclayic)	Regosol

190	L11	TUX 10-10	2010	340073	2163387	1892	-	haplic Feozem (clayic)	Feozem
191	L12	TUX 10-11	2010	340097	2163514	1869	32	luvic Feozem (endocalcaric, clayic)	Feozem
192	L12	TUX 10-12	2010	340249	2163605	1812	30	calcic Luvisol (chromic, siltic)	Luvisol
193	PL2	TUX 10-13	2010	340288	2163716	1804	4	haplic Fluvisol (eutric, endostagnic)	Fluvisol
194	PL1	TUX 10-14	2010	341436	2162576	1760	2	mollic Vertisol (humic, pellic)	Vertisol
195	PL2	TUX 10-15	2010	341134	2162441	1800	2	vertic Feozem (endoskeletal)	Feozem
196	PL2	TUX 10-16	2010	341137	2162411	1756	3	fluvic Feozem (endostagnic)	Feozem
197	PL2	TUX 10-17	2010	341188	2162396	1785	3	mollic Fluvisol eutric (epiesqueletic, arenic)	Fluvisol
198	PL2	TUX 10-18	2010	341215	2162321	1750	1	hypogleyc Fluvisol (eutric, endoskeletal)	Fluvisol
199	M2	TUX 10-19	2010	333899	2159699	2612	25	haplic Feozem (chromic)	Feozem
200	M2	TUX 10-20	2010	334955	2158442	2475	25	cutanic Lixisol (profundic, clayic, rhodic)	Lixisol
201	M31	TUX 10-21	2010	335959	2159457	2327	6	cutanic bathytagmic Luvisol (hypereutric, prototransportic)	Luvisol
202	M31	TUX 10-22	2010	336109	2159329	2295	10	cutanic Luvisol (humic, rhodic)	Luvisol
203	M32	TUX 10-23	2010	336296	2159239	2252	35	haplic Feozem (pachic, endoskeletal)	Feozem
204	M2	TUX 10-24a	2010	336546	2159247	2274	25	eutrosilic folic Andosol (eutric, clayic)	Andosol
205	PL2	TUX 10-25	2010	343844	2161882	1720	0	subaquatic gleyc Fluvisol (eutric, arenic)	Fluvisol
206	M2	TUX 11-01	2011	334699	2167920	2448	40	haplic Cambisol (humic, hypereutric)	Cambisol
207	M2	TUX 11-02	2011	334901	2167708	2410	30	cutanic Lixisol (hypereutric, profundic, chromic)	Lixisol
208	M4	TUX 11-03	2011	335270	2167287	2331	9	colluvic, hypoendostagnic Regosol (eutric, escalic, thaptoandic, thaptomollic)	Regosol
209	PM2	TUX 11-04	2011	341014	2165228	1910	6	hypostagnic Vertisol (hypereutric, novic)	Vertisol
210	PM11	TUX 11-05	2011	340695	2164959	1905	7	hypostagnic Regosol (humic, eutric, siltic)	Regosol
211	PM11	TUX 11-06	2011	340422	2164095	1825	5	haplic Vertisol (humic, mesotrophic, pellic)	Vertisol
212	PL1	TUX 11-07	2011	341457	2162577	1764	1	mazic hypostagnic Vertisol (hyperreturic, pellic)	Vertisol
213	PL2	TUX 11-08	2011	341493	2162398	1754	7	vertic Cambisol	Cambisol
214	PL2	TUX 11-09	2011	341518	2162369	1745	0	fluvic Cambisol (eutric, endoskeletal, siltic)	Cambisol
215	PL2	TUX 11-10	2011	341541	2162386	1743	0	mollic Fluvisol (oxyaquic, eutric, endoskeletal, epiarenic)	Fluvisol
216	PL2	TUX 11-11	2011	341556	2162400	1738	0	vertic Cambisol (humic, eutric, novic)	Cambisol
217	L11	TUX 11-12	2011	337742	2163324	2041	/	cutanic gleyc Luvisol humic chromic	Luvisol
218	L12	TUX 11-13	2011	337815	2163456	2032	10	cutanic vertic stagnic Luvisol (ruptic, endoskeletal, siltic)	Luvisol
219	L12	TUX 11-14	2011	337627	2163567	1975	20	cutanic stagnic Luvisol (hyporuptic, humic, hypereutric, chromic, novic)	Luvisol
220	PM2	TUX 11-15	2011	339553	2164003	1847	5	stagnic Vertisol (humic, hypereutric)	Vertisol
221	M31	TUX 11-16	2011	335778	2159286	2300	9	eutrosilic silandic Andosol siltic (bathy thapto lixic)	Andosol
222	M32	TUX 11-17	2011	335659	2159267	2312	20	cutanic stagnic Lixisol (manganiferic, humic, profundic, siltic, chromic)	Lixisol
190	L11	TUX 10-10	2010	340073	2163387	1892	-	haplic Feozem (clayic)	Feozem

191	L12	TUX 10-11	2010	340097	2163514	1869	32	luvic Feozem (endocalcaric, clayic)	Feozem
192	L12	TUX 10-12	2010	340249	2163605	1812	30	calcic Luvisol (chromic, siltic)	Luvisol
193	PL2	TUX 10-13	2010	340288	2163716	1804	4	haplic Fluvisol (eutric, endostagnic)	Fluvisol
194	PL1	TUX 10-14	2010	341436	2162576	1760	2	mollic Vertisol (humic, pellic)	Vertisol
195	PL2	TUX 10-15	2010	341134	2162441	1800	2	vertic Feozem (endoskeletal)	Feozem
196	PL2	TUX 10-16	2010	341137	2162411	1756	3	fluvic Feozem (endostagnic)	Feozem
197	PL2	TUX 10-17	2010	341188	2162396	1785	3	mollic Fluvisol eutric (epiesqueletic, arenic)	Fluvisol
198	PL2	TUX 10-18	2010	341215	2162321	1750	1	hypogleyc Fluvisol (eutric, endoskeletal)	Fluvisol
199	M2	TUX 10-19	2010	333899	2159699	2612	25	haplic Feozem (chromic)	Feozem
200	M2	TUX 10-20	2010	334955	2158442	2475	25	cutanic Lixisol (profundic, clayic, rhodic)	Lixisol
201	M31	TUX 10-21	2010	335959	2159457	2327	6	cutanic bathystagnic Luvisol (hypereutric, prototransportic)	Luvisol
202	M31	TUX 10-22	2010	336109	2159329	2295	10	cutanic Luvisol (humic, rhodic)	Luvisol
203	M32	TUX 10-23	2010	336296	2159239	2252	35	haplic Feozem (pachic, endoskeletal)	Feozem
204	M2	TUX 10-24a	2010	336546	2159247	2274	25	eutrosilic folic Andosol (eutric, clayic)	Andosol
205	PL2	TUX 10-25	2010	343844	2161882	1720	0	subaquatic gleyc Fluvisol (eutric, arenic)	Fluvisol
206	M2	TUX 11-01	2011	334699	2167920	2448	40	haplic Cambisol (humic, hypereutric)	Cambisol
207	M2	TUX 11-02	2011	334901	2167708	2410	30	cutanic Lixisol (hypereutric, profundic, chromic)	Lixisol
208	M4	TUX 11-03	2011	335270	2167287	2331	9	colluvic, hypostagnic Regosol (eutric, escalic, thaptoandic, thaptomollic)	Regosol
209	PM2	TUX 11-04	2011	341014	2165228	1910	6	hypostagnic Vertisol (hypereutric, novic)	Vertisol
210	PM11	TUX 11-05	2011	340695	2164959	1905	7	hypostagnic Regosol (humic, eutric, siltic)	Regosol
211	PM11	TUX 11-06	2011	340422	2164095	1825	5	haplic Vertisol (humic, mesotrophic, pellic)	Vertisol
212	PL1	TUX 11-07	2011	341457	2162577	1764	1	mazic hypostagnic Vertisol (hyperreturic, pellic)	Vertisol
213	PL2	TUX 11-08	2011	341493	2162398	1754	7	vertic Cambisol	Cambisol
214	PL2	TUX 11-09	2011	341518	2162369	1745	0	fluvic Cambisol (eutric, endoskeletal, siltic)	Cambisol
215	PL2	TUX 11-10	2011	341541	2162386	1743	0	mollic Fluvisol (oxyaquic, eutric, endoskeletal, epiarenic)	Fluvisol
216	PL2	TUX 11-11	2011	341556	2162400	1738	0	vertic Cambisol (humic, eutric, novic)	Cambisol
217	L11	TUX 11-12	2011	337742	2163324	2041	/	cutanic gleyc Luvisol humic chromic	Luvisol
218	L12	TUX 11-13	2011	337815	2163456	2032	10	cutanic vertic stagnic Luvisol (ruptic, endoskeletal, siltic)	Luvisol
219	L12	TUX 11-14	2011	337627	2163567	1975	20	cutanic stagnic Luvisol (hypruptic, humic, hypereutric, chromic, novic)	Luvisol
220	PM2	TUX 11-15	2011	339553	2164003	1847	5	stagnic Vertisol (humic, hypereutric)	Vertisol
221	M31	TUX 11-16	2011	335778	2159286	2300	9	eutrosilic silandic Andosol siltic (bathy thapto lixic)	Andosol
222	M32	TUX 11-17	2011	335659	2159267	2312	20	cutanic stagnic Lixisol (manganiferic, humic, profundic, siltic, chromic)	Lixisol

223	M32	TUX 11-18	2011	335768	2159300	2303	33	hypocutanic Luvisol (manganiferic, hyperuetric, endoskeletal, siltic)	Luvisol
224	M31	TUX 11-19	2011	337952	2161405	2034	9	stagnic Cambisol (siltic, eutric, endoskeletal)	Luvisol
225	M32	TUX 11-20	2011	338043	2161437	2015	27	haplic Regosol (eutric, epieskeletal)	Regosol
226	M32	TUX 11-21	2011	338055	2161434	1993	30	haplic Cambisol (hypereutric, endoskeletal)	Cambisol
227	L12	TUX 11-22	2011	339591	2163856	1854	15	haplic Feozem (siltic, endodensic)	Feozem
228	PM2	TUX 11-23	2011	339626	2163890	1811	12	cutanic leptic Luvisol (abruptic)	Luvisol
229	M2	TUX 12-01	2012	336554	2163009	2113	22	endoleptic Feozem (endoskeletal, siltic)	Feozem
230	M2	TUX 12-02	2012	336458	2163069	2230	24	haplic Cambisol (eutric, endoskeletal, chromic)	Cambisol
231	M2	TUX 12-03	2012	336612	2163134	2185	19	coluvic Regosol (eutric, episiltic)	Regosol
232	L11	TUX 12-04	2012	337484	2163699	2039	1	haplic Stagnosol (eutric)	Stagnosol
233	L12	TUX 12-05	2012	337510	2163833	2011	21	cutanic Luvisol (hyperuetric, episiltic, chromic)	Luvisol
234	PM2	TUX 12-06	2012	337470	2163864	1993	5	haplic Cambisol (humic, eutric, endoskeletal)	Cambisol
235	PL1	TUX 12-07	2012	341386	2162649	1759	2	mazic hypoepestagnic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
236	PL2	TUX 12-08a	2012	341192	2163054	1757	-	vertic Cambisol (hypereutric, endoclayic, colluvic)	Cambisol
237	PL2	TUX 12-08b	2012	341226	2163158	1755	5	vertic Feozem (endoclayic)	Feozem
238	PL2	TUX 12-09	2012	341243	2162982	1751	1	haplic Fluvisol (oxyaquic, hypereutric, endoarenic)	Fluvisol
239	PM12	TUX 12-10	2012	341244	2163377	1774	5	grumic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
240	PM12	TUX 12-11	2012	341167	2163627	1796	5	vertic Feozem (episiltic, novic)	Feozem
241	PM2	TUX 12-12	2012	341365	2163747	1814	9	haplic Regosol (hypereutric, endoskeletal)	Regosol
242	PM11	TUX 12-13	2012	339667	2165066	1888	11	hypovetic hypostagnic Cambisol (eutric, endoskeletal)	Cambisol
243	L21	TUX 12-14	2012	340154	2165364	1983	23	epileptic Regosol (hypereutric)	Regosol
244	PM2	TUX 12-15	2012	339871	2165394	1928	11	vertic stagnic Cambisol (eutric, endoskeletal)	Cambisol
245	M31	TUX 12-16	2012	335983	2159386	2303	6	endostagnic Lixisol (chromic, profundic)	Lixisol
246	M31	TUX 12-17	2012	336002	2159289	2281	11	eutrosilic silandic Andosol (eutric, thixotropic, siltic)	Andosol
247	M31	TUX 12-18	2012	335942	2159223	2269	36	endoleptic Feozem (endoskeletal)	Feozem
248	M32	TUX 12-19	2012	338874	2161831	1877	15	hypocalcic Calcisol (siltic)	Calcisol
249	L12	TUX 12-20	2012	339035	2162149	1858	17	cutanic calcic Luvisol (abruptic, hypereutric)	Luvisol
250	M2	TUX 13-01	2013	334309	2159818	2588	41	colluvic Regosol (eutric, endoskeletal, siltic)	Regosol
251	M4	TUX 13-02	2013	334379	2159756	2570	3	mollic Andosol (hypereutric, siltic)	Andosol
252	M2	TUX 13-03	2013	334446	2159883	2556	30	haplic Feozem (siltic)	Feozem
253	M2	TUX 13-04a	2013	343876	2163428	1880	32	haplic Feozem (pachic)	Feozem
254	M2	TUX 13-04b	2013	343869	2163426	1880	32	hyperskeletal Leptosol (eutric)	Leptosol
255	PM2	TUX 13-05	2013	343615	2162768	1764	5	vertic Feozem (hypostagnic)	Feozem

256	PM12	TUX 13-06	2013	343808	2162912	1769	5	mollic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
257	PL2	TUX 13-07	2013	343906	2162143	1733	0	gleyic Fluvisol (orthoeutric, arenic)	Fluvisol
258	PL2	TUX 13-08	2013	343810	2162315	1711	0	gleyic mollic Fluvisol (hypereutric)	Fluvisol
259	PL1	TUX 13-09	2013	343481	2162318	1734	2	mazic Vertisol (humic, hypereutric, pellic)	Vertisol
260	L11	TUX 13-10	2013	340342	2163015	1882	4	stagnic Leptosol (eutric, epieskeletal)	Leptosol
261	L12	TUX 13-11	2013	340674	2162903	1811	19	endostagnic luvic Feozem (clayic)	Feozem
262	PM2	TUX 13-12	2013	340776	2162865	1790	10	stagnic mollic Vertisol (eutric, pellic, novic)	Vertisol
263	L12	TUX 13-13	2013	340202	2163406	1856	21	calcic luvic Kastanozem (endoskeletal)	Kastanozem
264	L21	TUX 13-14	2013	338904	2165022	1930	30	cutanic hypostagnic Luvisol (hypereutric, epieskeletal, epiclayic)	Luvisol
265	M5	TUX 13-15	2013	338534	2165572	1921	2	haplic Fluvisol (eutric)	Fluvisol
266	PM11	TUX 13-16	2013	340015	2164312	1840	3	stagnic calcic Fluvisol (eutric, siltic)	Fluvisol
267	M31	TUX 13-17	2013	336434	2159700	2265	5	cutanic endostagnic Lixisol (orthoeutric, profundic, chromic)	Lixisol
268	M32	TUX 13-18	2013	337504	2161288	2065	20	luvic Stagnosol (ruptic, hypereutric, endosiltic)	Stagnosol
269	M32	TUX 13-19	2013	337428	2161158	2070	32	haplic Cambisol (endoskeletal, epistilic)	Cambisol
270	M2	TUX 14-01	2014	334640	2158749	2516	24	vertic, cutanic Lixisol (ruptic, hypereutric, profundic, endoclayic, rhodic)	Lixisol
271	M2	TUX 14-02	2014	334632	2158750	2506	25	haplic Feozem	Feozem
272	M4	TUX 14-03	2014	333984	2159608	2583	2	haplic Feozem (siltic)	Feozem
273	M32	TUX 14-04	2014	336552	2160650	2183	26	cutanic hypostagnic Lixisol (hypereutric, clayic, chromic)	Lixisol
274	M33	TUX 14-05	2014	336692	2160419	2156	3	hypogleyc Feozem (oxyaquic, siltic)	Feozem
275	M32	TUX 14-06	2014	336990	2160554	2164	33	haplic Feozem (endoskeletal, clayic)	Feozem
276	L11	TUX 14-07	2014	339276	2163842	1916	0	luvic Stagnosol (eutric)	Stagnosol
277	L12	TUX 14-08	2014	339425	2163930	1884	22	hypostagnic Vertisol (hypereutric, pellic, novic)	Vertisol
278	PM2	TUX 14-09	2014	339453	2164105	1842	5	stagnic Feozem (siltic)	Feozem
279	L12	TUX 14-10	2014	339275	2163930	1896	25	hypostagnic Cambisol (hypereutric, epieskeletal, episiltic)	Cambisol
280	PM12	TUX 14-11	2014	341862	2162930	1777	5	mollic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
281	PL1	TUX 14-12	2014	341819	2163094	1773	5	thaptovertic bathystagnic Feozem (pachic, endosiltic)	Feozem
282	PL1	TUX 14-13	2014	341387	2162594	1763	1	grumic, mazic, hypostagnic Vertisol (hypereutric, pellic)	Vertisol
283	PL2	TUX 14-14	2014	341771	2162793	1758	5	grumic, mazic, mollic, hypostagnic Vertisol (pellic, hypereutric)	Vertisol
284	PL2	TUX 14-15	2014	341701	2162661	1752	0	haplic Fluvisol (endoskeletal, arenic, hypereutric)	Fluvisol
285	PL2	TUX 14-16	2014	341715	2162712	1742	1	haplic Fluvisol (oxyaquic, hypereutric, arenic)	Fluvisol
286	L21	TUX 14-17	2014	340181	2165247	2003	35	haplic Feozem	Feozem
287	L21	TUX 14-17(BIS)	2014	340204	2165259	2007	38	mollic Leptosol (eutric)	Leptosol
288	PM2	TUX 14-18	2014	339909	2165219	1951	3	hypovertic Cambisol (colluvic, clayic)	Cambisol

289	PM11	TUX 14-19	2014	339648	2165323	1916	4.5	vertic stagnic Feozem (abruptic, endoclayic, novic)	Feozem
290	M2	TUX 14-20	2014	342014	2163432	1865	21	leptic protovertic hypostagnic Feozem (skeletic, siltic)	Feozem
291	PL1	TUX 15-09	2015	341390	2162565	1763	2	grumic, mazic Vertisol (aric, hypereutric, pellic)	Vertisol
292	PL2	TUX 15-10	2015	341175	2162755	1748	3	protovertic, stagnic, Feozem (loamic)	Feozem
293	PL2	TUX 15-11A	2015	341775	2162645	1736	<1	protovertic, Feozem (endoskeletal, abruptic, clayic)	Feozem
294	PL2	TUX 15-11b	2015	341808	2162651	1739	<1	orthofluvic Fluvisol (hypereutric, endoskeletal, arenic)	Fluvisol
295	PL2	TUX 15-12	2015	341711	2162686	1737	1.5	haplic Fluvisol (hypereutric, skeletal, arenic, oxyaquic)	Fluvisol
296	PL1	TUX 16-11	2016	342703	2162085	1746	1	grumic, mazic Vertisol (hypereutric, pellic, endoloamic)	Vertisol
297	PL2	TUX 16-12	2016	342685	2161905	1724	2	haplic Vertisol (mesotrophic, pellic, novic, endruptic)	Vertisol
298	PL2	TUX 16-13	2016	342633	2161912	1721	7	orthofluvic Fluvisol (eutric, epiloamic, endoarenic)	Fluvisol
299	PL2	TUX 16-14	2016	342658	2161891	1719	<1	orthofluvic Luvisol (arenic, oxyaquic)	Luvisol