



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

RELACIÓN ENTRE LOS DESLIZAMIENTOS Y
CAMBIOS EN LA CUBIERTA DE USO Y VEGETACIÓN
ENTRE LOS AÑOS 1983 Y 2014 EN EL ARROYO LA
CIÉNEGA, VOLCÁN NEVADO DE TOLUCA, MÉXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A :

YARUMMY ÁLVAREZ RUÍZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. GABRIEL LEGORRETA PAULÍN

2015

Ciudad Universitaria, D. F.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Álvarez

Ruíz

Yarummy

15 52 31 69

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

304082418

2. Datos del tutor

Dr.

Gabriel

Legorreta

Paulín

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Rosa Irma

Trejo

Vázquez

4. Datos del sinodal 2

Dr.

César Antonio

Ríos

Muñoz

5. Datos del sinodal 3

Dr.

José Fernando

Aceves

Quesada

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Oswaldo

Núñez

Castillo

7. Datos del trabajo escrito

Relación entre los deslizamientos y cambios en la cubierta de uso y vegetación entre los años 1983 y 2014 en el arroyo La Ciénega, Volcán Nevado de Toluca, México.

63 p

2015

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, máxima casa de estudios de este país, por haberme dado la oportunidad de pertenecer a su institución y permitirme formarme como profesionista. A la Facultad de Ciencias, por la formación científica que obtuve en mi paso por esta institución.

Agradezco al proyecto SEP-CONACYT CB-2011-01 #167493, por otorgar el financiamiento de este trabajo así como la beca.

Al Dr. Gabriel Legorreta Paulín, un profundo agradecimiento por compartir conmigo su amplio conocimiento, por brindarme su apoyo y su más sincera amistad.

Al Dr. J. Fernando Aceves Quesada quién fungió como coasesor en esta tesis, gracias por haberme transmitido su conocimiento y por su ayuda incondicional.

A los integrantes del jurado, a la Dra. Irma Trejo Vázquez, Dr. César Antonio Ríos Muñoz, M. en C. Oswaldo Núñez por sus comentarios y correcciones para mejorar este trabajo.

A mi madre Beatriz Ruíz Hernández que me ha dado todas las herramientas para llegar hasta aquí, a mi familia, a mi tío Héctor, a mi tía Delfina, a mi tía Viky de Aguascalientes, quiénes me han apoyado siempre.

A mi novio, mi compañero de vida, J. Francisco Hernández, por todo el apoyo, por toda la confianza por toda la comprensión

INDICE

RESÚMEN.....	1
I. Introducción	2
II Antecedentes y marco teórico.	3
II.I. Cambio en la cubierta de vegetación y de uso del suelo.....	5
II.II Causas de la deforestación.....	7
II.III Efectos de la deforestación.....	8
II.IV Deslizamientos.....	9
II.V Clasificación de deslizamientos propuesta por Hutchinson (1988).....	10
II.VI. Causas de los deslizamientos.....	11
II.VII Relación entre deslizamientos y el cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo.....	12
III Planteamiento del problema.....	16
IV. Objetivos	17
V. Hipótesis.....	17
Capítulo 1. Área de estudio: marco geográfico, geológico y geomorfológico.....	18
1.1 Localización.....	18
1.2 Clima	20
1.3 Hidrografía.....	22
2.4 Suelos	23
1.5 Vegetación y Uso de suelo.....	25
1.6. Marco Geológico.....	27
1.7. Geomorfología	29
Capítulo 2. Método.....	31
2.1 Delimitación del área de estudio.....	32
2.2 Fotointerpretación, delimitación y clasificación de la cobertura y usos del suelo.....	32
2.2.1 Cubierta de vegetación y de uso del suelo del año 1983.....	32
2.2.2 Cubierta de uso y de vegetación del año 2014.....	35
2.2.3 Evaluación de los cambios en la cubierta de uso del suelo y de vegetación entre el año 1983 y 2014.....	37
2.3 Fotointerpretación, delimitación y clasificación de los deslizamientos.....	37
2.3.1 Inventario de deslizamientos 1983.....	37

2.3.2. Inventario de deslizamientos 2014.	37
2.3.3 Evaluación de los cambios entre los inventarios de deslizamientos los años 1983 y 2014.	38
2.4 Evaluación de la relación entre el cambio de la cubierta de uso del suelo y vegetación y el cambio de deslizamientos entre 1983 y 2014.	38
Capítulo 3. Resultados, discusión y conclusiones: cambios de cubierta de uso del suelo y de vegetación y deslizamientos entre 1983-2014 y su relación.	39
3.1 Resultados del cambio de cubierta de uso de suelo y vegetación entre 1983 y 2014.	39
3.2 Resultados del cambio entre los inventarios de deslizamientos de 1983 y 2014.	43
3.3 Resultados de la relación entre la cubierta de vegetación y de uso del suelo con los deslizamientos entre el año 1983 y 2014.	47
Anexo a. Cartografía e imagen de satélite utilizada en el estudio.	52
Anexo b. Características de la imagen satelital Landsat 8.	52
Anexo c. Fotografías aéreas utilizadas en el estudio.	53
Anexo d. Mapas disponibles en el CD-ROM:	
Anexo d1. Tabla del inventario de deslizamientos.	
Anexo d2. Mapa Inventario de deslizamientos 1983.	
Anexo d3. Mapa Inventario de deslizamientos 2014.	
Anexo d4. Mapa Cubierta de uso del suelo y de vegetación 1983.	
Anexo d5. Mapa Cubierta de uso del suelo y de vegetación 2014.	
Anexo d6. Mapa Cambios de cubierta de uso del suelo y de vegetación entre 1983 y 2014.	
Anexo d7. Mapa Ganancia y pérdida de cubierta de uso del suelo y de vegetación.	
Bibliografía.	54

RESÚMEN

Este trabajo consiste en relacionar la remoción de la cubierta vegetal y del uso del suelo con deslizamientos ocurridos en el arroyo La Ciénega que se encuentra en el costado oriental del Volcán Nevado de Toluca. La remoción completa de la vegetación arbórea para el establecimiento de pastos y cultivos genera una inestabilidad de las formaciones superficiales expresada por una gran cantidad de deslizamientos (Sinun & Douglas, 1998). Para fines de éste estudio la vegetación cumple un importante papel en términos de la prevención de deslizamientos. Un deslizamiento es un movimiento de masa de rocas, de escombros o de suelo por una pendiente (Sassa *et al.*, 2007).

El método consiste en realizar fotointerpretación de fotografías aéreas de 1983 y realizar una clasificación supervisada de una imagen satelital del 2014 junto con salidas a campo para obtener la cubierta vegetal y uso del suelo, y a su vez el inventario de deslizamientos. La clasificación que se utilizó para el inventario de deslizamientos es la propuesta por Hutchinson en 1988 (Selby, 1993). Una vez obtenidas las categorías de las cubiertas vegetales y uso del suelo, así como el inventario de deslizamientos para las dos fechas propuestas, se realizó una sobreposición para obtener la concentración de deslizamientos por cada categoría de cubierta vegetal y uso del suelo.

El análisis muestra que la categoría con mayor cambio es la forestal semidenso pues para el año 2014 ha aumentado su área en un 36.17%, para el mismo año la categoría con mayor reducción es forestal denso, con un decremento del 7.14% y cambia en su mayoría a forestal semidenso. Este cambio de uso del suelo se ve también reflejado en la cantidad de deslizamientos pues se observa que en 1983 dentro de la categoría forestal semidenso había sólo 5 deslizamientos, pero para el año 2014 se incrementan a 101 deslizamientos. Estos cambios e incrementos detectados, no sólo en estas categorías, permiten concluir la relación estrecha de incremento de deslizamientos y el cambio de uso de suelo en el área de estudio.

I. Introducción

Como resultado de la gran diversidad del relieve y del uso del suelo en México, la combinación de varios factores externos (actividad volcánica, terremotos, lluvias intensas, pendientes abruptas, uso antrópico del suelo, etc.) e internos (alto grado de meteorización, ángulo de fricción interna del suelo, cohesión, litología, etc.) desencadenan la inestabilidad de las laderas. Esto es sobre todo muy común en los sistemas fluviales de las áreas de montaña, (CENAPRED, 2001b; Legorreta et al., 2014). Tal es el caso de la provincia fisiográfica del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM), que se extiende por 1.000 kilómetros en dirección este-oeste desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México, y que cuenta con muchos estratovolcanes y campos monogenéticos (Verma, 1987; CENAPRED 2001c) cuyos sistemas fluviales son muy propensos a deslizamientos debido a condiciones tales la tala inmoderado y cambio radicales en el uso del suelo en años recientes aunado a un relieve montañoso de pendientes fuertes, donde los materiales volcánicos parentales han sido intemperizados a través de los años por las altas precipitaciones estacionales, y el hidrotermalismo. Este cambio de uso de suelo y su relación con los deslizamientos es observado en el área de estudio que es la cuenca endorreica La Ciénega. La cuenca se localiza en el costado este del Volcán de Nevado de Toluca (VNT) y se extiende desde el borde del cráter hasta la planicie del Valle de Toluca. En el área, la actividad extractiva de madera se ha desarrollado considerablemente, y responde al aprovechamiento del recurso, a la apertura de espacios para fines agrícolas y ganaderos, así como a la creación de caminos para extraer material. Esto en conjunto favorece los procesos de deslizamientos y caídas de rocas, que se depositan en el fondo de los canales (Espinosa, 2003; Aceves y Martínez, 2012). A pesar de la importancia de dicho proceso en el área de estudio, hay poca cartografía de inventarios de deslizamientos, y de evaluación de su relación con el cambio de la cubierta vegetal y uso del suelo. Así por ejemplo, a pesar de la destrucción de vidas y bienes materiales en 1940, en el valle inferior la cuenca endorreica La Ciénega, por la coalescencia de pequeños procesos gravitacionales cuyos depósitos aumentaron el poder destructivo de flujos de escombros, aún no existen medidas preventivas en la parte media y superior de la cuenca, ni tampoco inventarios de

procesos gravitacionales o mapa de peligros. Por lo anterior, ésta investigación se enfoca al análisis de la distribución de deslizamientos como resultado de precipitación extraordinaria en términos de su relación con el cambio de cubierta vegetal y uso del suelo en el sistema fluvial de la cuenca endorreica La Ciénega entre los años de 1983 y 2014.

En el área de estudio, se realizaron los inventarios de deslizamientos de las dos fechas propuestas para evaluar y describir la distribución de deslizamientos en las cubiertas vegetales y de uso del suelo. La definición y cartografía tanto de deslizamientos como de usos del suelo se realizó por varios medios, como compilación y generalización cartográfica, la morfometría, el conocimiento heurístico del área de estudio y sus procesos, la verificación y validación con trabajo de campo y utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Precepción remota (PR). Este análisis dividió la cuenca en 8 coberturas vegetales y usos de suelo (agrícola, bosque denso, bosque fragmentado, bosque semidenso, otros usos no forestales, asentamiento humano, páramo de altura y erial) a las cuales se les identificaron y asignaron 4 tipos de deslizamientos (deslizamiento de escombros, deslizamiento de flujo, deslizamiento superficial y deslizamientos de asentamiento profundo). El estudio muestra que los deslizamientos tienden a incrementar en número conforme se incrementa el cambio de cubierta vegetal y uso del suelo.

II Antecedentes y marco teórico.

Durante las últimas décadas, el hombre, se ha convertido en el principal desencadenador de transformaciones de los ecosistemas. Su impacto global ha sido evaluado desde diversas perspectivas entre las que destacan la pérdida de biodiversidad y el calentamiento global, entre muchas otras consecuencias ambientales de mayor relevancia regional tales como la alteración de ciclos hidrológicos, ciclo de carbono, introducción de especies exóticas y pérdida de hábitats, entre otros (Vitousek *et al.*, 1997).

En la actualidad los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en las cubiertas del suelo y la deforestación son importantes y necesarios porque proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.*,

2001). El cambio de uso de suelo ha sido reconocido alrededor del mundo como uno de los principales factores que influyen en el desencadenamiento de deslizamientos, entendiéndose como deslizamiento a un movimiento de masa de rocas, de escombros o de suelo por una pendiente (Sassa *et al.*, 2007).

En México, los ecosistemas forestales de coníferas y de latifoliadas tienen un gran valor debido a que albergan una extensa diversidad de organismos, regulan el clima, el procesamiento de contaminantes, la depuración de las aguas, la actuación como reservorio de carbono, y previenen la erosión y las inundaciones, etc. (Gómez-Baggethun y De Groot, 2007), y que para fines de éste estudio se enfatiza el hecho de que protege al suelo contra la erosión y los deslizamientos a través de dos componentes: la influencia hidrológica y la mecánica. Hidrológicamente, la vegetación influye sobre la velocidad y el volumen del flujo de agua mediante los procesos de intercepción, flujo radicular, evaporación de gotas en las hojas, evapotranspiración e infiltración; mecánicamente, la vegetación aumenta la fortaleza y resistencia al corte tangencial del suelo y el arrastre de material en el cual está creciendo y por lo tanto contribuye a su estabilidad (Selby, 1993; León, 2001).

Estudiar la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de uso del suelo es una tarea prioritaria para entender los procesos de remoción en masa. Por una parte, nuestro país está entre los de mayor deforestación a nivel mundial; la situación de los bosques en México es crítica (Masera, 1996). Basado en la comparación de mapas de cubierta vegetal y cambio de uso de suelo de todo el territorio Mexicano entre 1976 y 2000, la tasa de deforestación fue calculada en 0.25 y 0.76% por año para los bosques templados y bosques tropicales, respectivamente (Mas *et al.*, 2004). Por otra parte, los deslizamientos se han constituido como uno de los fenómenos naturales más destructivos que afectan a los humanos, causando a diferentes escalas grandes catástrofes, tales como víctimas humanas y pérdidas económicas tanto en zonas urbanas como rurales (Glade y Crozier, 2004).

Los estudios de carácter local en la cuenca de La Ciénega son escasos, se encuentra el trabajo de Peña (2006), en donde hace un análisis de vulnerabilidad social a inundaciones en la cuenca La Ciénega, identificando los componentes de tipo físico y socioeconómico que la generan, por otro lado Toscana y Valdéz (2013) realizaron una investigación de carácter social en donde se recopilaban las memorias que tienen los habitantes del poblado

Santa Cruz Pueblo Nuevo en torno al desastre ocurrido en 1940 en su localidad. Franco *et al.* (2006a) realizaron un análisis del cambio en el uso del suelo del Parque Nacional del Nevado de Toluca en el período 1972-2000, siendo el bosque de pino el más afectado, sin embargo, se ha recuperado el bosque de oyamel y de latifoliadas en aproximadamente 2,400 ha.

II.I. Cambio en la cubierta de vegetación y de uso del suelo.

La cubierta de vegetación y los usos del suelo constituyen la expresión conjunta de las plantas oriundas o introducidas y la utilización antrópica que se hace del medio biofísico de un área. Es una de las más importantes manifestaciones espaciales de los paisajes naturales y culturales de un territorio (Lambin *et al.*, 2001).

Los cambios de la cubierta de vegetación y de los usos del suelo figuran dentro de las primeras causas del cambio climático, ya que contribuyen de manera significativa a procesos como el aumento de gas de efecto invernadero en la atmósfera, el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad o bien a la erosión de los suelos. El cambio de cubiertas vegetal y de uso del suelo, es consecuencia de la interacción de las actividades humanas con el medio natural (Vitousek, 1997).

Es frecuente encontrar los términos "cubierta", "cobertura" y "uso del suelo" por lo que se hace una revisión del significado de cada uno de ellos, con base en algunos autores (Ramírez, 2001, Galicia *et al.*, 2007 y Mölders, 2012):

Cubierta del suelo (en inglés, land cover), representa al material o elemento que cubre el suelo, y se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del terreno que puede ser identificada visualmente en campo, o a través de medios de percepción remota (Ramírez, 2001, Galicia *et al.*, 2007 y Mölders, 2012).

Cobertura (en inglés, coverage), se utiliza especialmente en relación con la vegetación, y se define como el porcentaje del área que cubre en la superficie del suelo la proyección de un tipo de vegetación particular, es decir, la densidad de la cubierta (Ramírez 2001, Galicia *et al.*, 2007 y Mölders, 2012).

Uso del suelo (en inglés, *land use*): expresa el aprovechamiento o los fines económicos que se les da a las diversas cubiertas (Ramírez 2001, Galicia *et al.*, 2007 y Mölders, 2012).

Los usos del suelo son varios y espacialmente diferentes. Se distribuyen en complicados patrones espaciales y temporales, por lo que resulta conveniente agruparlos en:

1) Los usos forestales se refieren a la utilización de especies forestales cultivadas o manejadas para la obtención de diferentes productos. Agrupan actividades que el ser humano realiza en bosques templados, selvas lluviosas y secas, y matorrales; en donde se lleva a cabo la extracción de madera y leña, la producción de carbón y el aprovechamiento de flores, frutos, hojas, látex, taninos, fibras, semillas, celulosa y tierra de hoja para uso doméstico y comercial (Galicia *et al.*, 2007; INEGI, 2009).

2) Los usos agrícolas, los cuales se refieren al uso que el ser humano da a los suelos al dedicarlos al cultivo, y lo que produce lo utiliza ya sea como alimentos, forrajes, ornamental o industrial. Éstos pueden ser el uso agrícola de temporal o de tipo nómada (maíz, frijol y hortalizas), así como los cultivos permanentes o semipermanentes (plantaciones forestales y agroforestales) (Galicia *et al.*, 2007; INEGI, 2009).

3) Los usos pecuarios o ganaderos se refieren a las actividades que implican la explotación ganadera, que es la cría de ganado para la obtención de diferentes productos (carne, leche, huevo, etc.); sin embargo, la dimensión espacial del uso y su expresión en el paisaje es variada y depende del tipo de ganado y su intensidad de aprovechamiento (Galicia *et al.*, 2007; INEGI, 2009).

4) Otros usos de amplia distribución son los usos urbanos, que se refieren a la creación de infraestructura que el humano realiza para formar sus pueblos y ciudades, incluyendo el uso habitacional, comercial, industrial y de servicios.

5) Finalmente, están los usos mineros, que se basan en la extracción de rocas y metales del subsuelo, favoreciendo la formación de minas subterráneas y canteras (Galicia *et al.*, 2007; INEGI, 2009).

Si la cubierta del suelo es identificada a partir de la observación directa sobre la superficie de la tierra, el uso del suelo es visto a través de las actividades que las personas realizamos en una determinada cubierta para producir, modificar o realizar un mantenimiento. Este es el motivo por el cual el vínculo entre la cubierta vegetal y uso del suelo se da a través de las intervenciones humanas sobre el terreno (Jansen and Di Gregorio, 2002).

El cambio de uso del suelo representa la modificación de los elementos biofísicos que interactúan sobre la superficie, o de las actividades que ahí se llevan a cabo, pues, tanto la cubierta vegetal como el uso, son dinámicos en tiempo y espacio, este cambio puede ser una alteración de los elementos existentes o la intensificación de su utilización. Estas variaciones son, en gran medida, causadas por la interacción de las actividades humanas y el entorno (Bocco y Mendoza, 1999). Los cambios de uso del suelo requieren ser analizados en diferentes escalas geográficas con técnicas de fotointerpretación, análisis de imágenes de satélite y trabajo de campo (Galicia *et al.*, 2007).

La deforestación, que es el cambio de uso de suelo de una superficie arbolada a otra que carece de árboles, desencadena la pérdida de cubierta vegetal (INEGI, 2009).

La remoción completa de la vegetación arbórea para el establecimiento de pastos y cultivos genera una inestabilidad de las formaciones superficiales expresada por una gran cantidad de movimientos en masa (Sinun y Douglas, 1998).

II.II Causas de la deforestación.

Las causas de la deforestación son complejas. Incluye aspectos económicos, por ejemplo la expectativa de ganancia por usos alternativos del suelo; demográficos, la necesidad de ocupar suelo para la agricultura; políticos, las normas que regulan la tenencia de la tierra y técnicos, como la aptitud del suelo para desarrollar diferentes actividades (Masera, 1996).

En general para entender el proceso de deforestación es necesario la identificación de “factores puntuales” según Masera (1996) son la agricultura, la ganadería, la tala, por

mencionar algunos; y el análisis de las políticas que brindan incentivos para la remoción de la vegetación. Históricamente tres principales factores han incentivado la deforestación en el país: 1) un marco institucional y económico contrario al sector forestal; 2) presión para convertir los bosques a zona de agricultura y ganadería; por último 3) la industria forestal ineficiente y la técnica deficiente de sistemas de manejo de bosques naturales.

En los bosques, un factor dominante del proceso de deforestación son los incendios forestales. Estos incendios son, en su inmensa mayoría, provocados para aumentar la productividad de los pastos del sotobosque que se utilizan para el pastoreo de ganado o para reclamar los árboles como madera muerta en áreas que no tienen permisos de aprovechamiento. La tala clandestina de madera y la apertura de tierras para la agricultura comercial son también factores importantes de pérdida del recurso forestal (Maser, 1996).

Las opciones que se consideraran para lograr una reducción de la deforestación incluye: 1) la conservación de áreas naturales protegidas; 2) el manejo de bosques naturales templados y tropicales; 3) la promoción de estufas eficientes de leña para la cocción doméstica; 4) programas de restauración forestal; 5) plantaciones forestales para pulpa y papel; y 6) sistemas agroforestales (Maser, 1996).

Los aspectos más interesantes de esta propuesta son, por un lado el mostrar que el deterioro no debe ser irreversible y por otro lado, que existen formas de conseguir un balance entre conservación forestal y desarrollo económico (Maser, 1996).

II.III Efectos de la deforestación.

Los efectos de la deforestación sobre la estabilidad de los taludes pueden no ser inmediatos. Inicialmente se produce un cambio hidrológico y un aumento de la erosión superficial y de la infiltración, pero los efectos desastrosos se observan, cuando la infraestructura radicular original se descompone, generalmente entre 2 a 5 años después de la deforestación.

Suárez 1998; reportó que en árboles de raíces profundas a los 30 meses después de la deforestación, la resistencia a la tensión de las raíces disminuyó entre 65 y 86% dependiendo de la especie. Las raíces más pequeñas que son las que tienen mayor resistencia a la tensión o

al desprendimiento y son las primeras en descomponerse. La rapidez con que se descompone depende de la especie de árbol y de las condiciones del sitio y del suelo.

II.IV Deslizamientos.

Los deslizamientos, en sentido amplio, están íntimamente ligados a las condiciones geológicas y estructurales del relieve, a la influencia del clima, principalmente los referidos a la humedad, y en cierto grado, a la influencia antrópica (p.ej. deforestación, cambios en el uso de suelo, crecimiento urbano desmedido) (CENAPRED, 2001b). Por lo anterior, resulta fundamental su estudio. En este trabajo se hace referencia a cuatro tipos de deslizamientos en particular: de asentamiento profundo, flujo de escombros, deslizamientos de escombros y deslizamiento superficial, es debido a que son los que se presentan en la cuenca La Ciénega. Estos deslizamientos se agrupan en el concepto de deslizamiento.

El término deslizamiento, según la definición de Cruden (1991), denota “el movimiento de una masa de roca, escombros o tierra por una pendiente”. Varnes (1978) define un deslizamiento como “un movimiento hacia abajo y hacia afuera de los materiales transportados en la pendiente bajo la influencia de la gravedad”. Por lo que de manera genérica en la Figura 1 se muestra un esquema de las partes de un deslizamiento del tipo asentamiento profundo a manera de ejemplo. Existen otros tipos de deslizamientos como el de flujo de escombros en los que sólo se observan algunos de estos elementos, por ejemplo: la cabecera, el cuerpo y el depósito, sólo la cabecera y el cuerpo ó sólo la cabecera.

Escarpe principal. Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla. **Escarpe secundario.** Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve. **Cabeza.** Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal. **Cima.** El punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal. **Corona.** El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal. **Superficie de falla.** Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo

de la superficie de falla no se mueve. **Pie de la superficie de falla.** La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno. **Base.** El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla. **Punta o uña.** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima. **Costado o flanco.** Un lado (perfil lateral) del movimiento. **Superficie original del terreno.** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento. **Derecha e izquierda.** Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

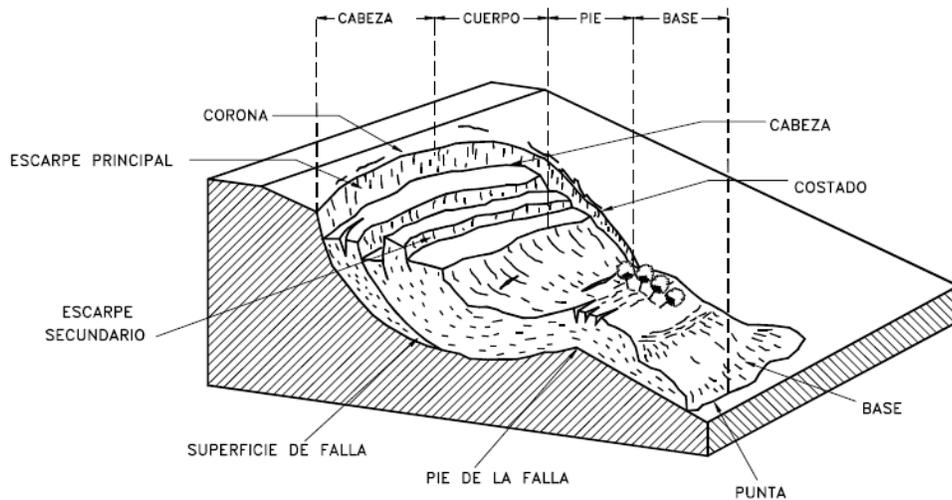


Figura 1. Esquema y nomenclatura del tipo de deslizamiento asentamiento profundo (Suárez, 1998).

II.V Clasificación de deslizamientos propuesta por Hutchinson (1988).

Una gran variedad de materiales y procesos están involucrados en los deslizamientos con una consecuente variedad de tipos de movimientos. Para distinguir los diferentes tipos se requiere considerar los siguientes criterios: velocidad y mecanismo de movimiento; material; modo de deformación, geometría del deslizamiento y contenido de agua. Existen disponibles muchos criterios, por lo tanto existen varias clasificaciones y también conflictos en la aplicación de los términos (Selby, 1993). La clasificación que se utiliza en este estudio es la

propuesta por Hutchinson (1988). La clasificación está enfocada principalmente en la morfología de los movimientos de ladera, considera también al mecanismo, el material y la velocidad de movimiento (Van Westen., 2014). El esquema de clasificación propuesto por Hutchinson incluye varios tipos, a continuación sólo se mostrarán los observados en la zona de estudio:

- Deslizamiento de escombros (debris slide). Movimiento relativamente rápido pendiente abajo del suelo y la roca, que toma lugar característicamente en uno o más límites discretos de una superficie de desliz que define el movimiento de la masa. Este tipo es el que prevalece en la zona de estudio.

- Movimiento de escombros en forma de flujo (debris flow). Término que cubre cinco tipos de deslizamientos en forma de flujo, que se diferencian marcadamente por el mecanismo: deslizamientos de lodo no-periglacial (non-periglacial mudslides), deslizamientos de lodo periglacial (periglacial mudslides), deslizamientos de flujo (flow slides), flujo de escombros (debris flow) y sturzstrom (flujos muy rápidos de detritos secos). De estos 5 tipos, el flujo de escombros es el que se presenta en la zona de estudio.

- Caída (fall). Descenso de masas de suelo o roca de cualquier tamaño desde altas pendientes o riscos que son, más o menos independientes y extremadamente rápido. Observado sólo en la parte alta de la cuenca.

- Movimientos de pendiente complejos (complex slope movement). La combinación de uno o más tipos de movimientos descritos anteriormente.

II.VI. Causas de los deslizamientos.

Las laderas pueden encontrarse en condiciones potencialmente inestables, de manera que los deslizamientos se inicien ante el efecto de factores externos, tales como lluvia y temblores, los que ocasionan un incremento en la tensión o esfuerzo de los materiales; ó se inicien ante factores internos tales como geología, tipo de suelo, cohesión, etc. los que reducen la resistencia de los materiales (Selby, 1993).

Las causas que ocasionan los deslizamientos son muy variadas y dependen mucho de las condiciones geográficas de cada lugar. Cruden y Varnes (1996) las clasificaron en causas

de índole geológica, causas por procesos físicos, causas morfológicas, y causas de origen antrópico (Tabla 1).

Tabla 1. Causas de los deslizamientos con base en Cruden y Varnes (1996).

Causas de índole geológica	Causas por procesos físicos
Materiales débiles Materiales sensibles Materiales intemperizados Materiales con fisuras y diaclasas Discontinuidades orientadas adversamente (esquistocidad, planos de inclinación) Discontinuidades estructurales (fallas, discordancias, contactos) Permeabilidad contrastante Contraste de materiales con diferente plasticidad	Precipitación intensa Derretimiento rápido de nieve o hielo Eventos de precipitación extraordinarios Actividad sísmica Erupciones volcánicas Gelifracción Expansión e hidratación de arcillas
Causas morfológicas	Causas de origen antrópico
Levantamientos tectónicos o volcánicos Erosión glacial Erosión pluvial al pie de las laderas Erosión marina al pie de los acantilados Erosión glacial al pie de las laderas Erosión en márgenes laterales Erosión subterránea Remoción de la vegetación (por incendios y sequías)	Excavación de las laderas o del pie de las laderas Incremento de peso en las laderas Deseccación de cuerpos de agua Deforestación Irrigación Actividad minera Vibraciones artificiales

II.VII Relación entre deslizamientos y el cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo.

La vegetación, tanto en el deslizamiento como en el área arriba del deslizamiento es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales en la estabilidad de laderas: a) en primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y b) da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces (Suárez, 1998) y sus efectos se representan en la Figura 2.

Efectos que produce la vegetación sobre la estabilidad de laderas:

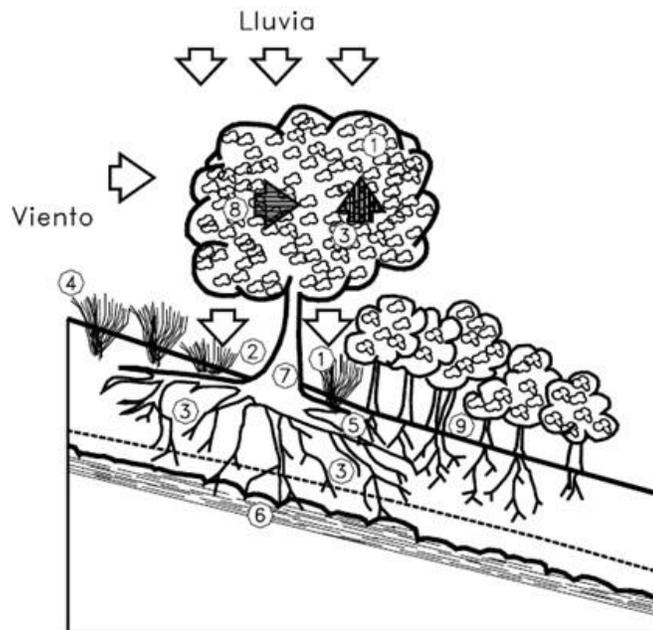


Figura 2. Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera (Suárez, 1998).

- 1a). Intercepta la lluvia. El follaje reduce la cantidad y la intensidad de lluvia que llega al suelo ya que la lluvia es interceptada por el follaje. Parte del agua retenida es acumulada en el follaje para luego ser evaporada. La retención de agua en el follaje demora o modifica el ciclo hidrológico. Este fenómeno disminuye el poder erosivo de la escorrentía del agua.
- 2 a). Aumenta la capacidad de infiltración. El agua retenida no acumulada retorna a la tierra por goteo o flujo, desde el follaje.
- 3a). Extrae la humedad del suelo. La evapotranspiración es un efecto combinado de evaporación y transpiración. La humedad se pierde por evaporación desde la superficie del suelo y como transpiración a través de la vegetación. Su efecto es una disminución de la humedad en el suelo. Cada tipo de vegetación con un determinado tipo de suelo, tiene un determinado potencial de evapotranspiración. En ocasiones la vegetación produce un efecto de mantener la humedad por debajo del límite de saturación mejorando la estabilidad de las laderas.
- 4a). Grietas por desecación. La presencia de vegetación, debido a la humedad que guarda, previene la formación de grietas por desecación.

- 5b). Raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al corte. Forma una red densa entretejida en los primeros 30 a 50 cm de suelo, y esta red crea una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.
- 6b). Anclan el suelo superficial a mantos más profundos. Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan las capas del suelo que se extienden a través de la ladera. Las raíces actúan como pilas de refuerzo.
- 7b). Aumentan el peso sobre la ladera. Según Selby (1993) los árboles incrementan la estabilidad en pendientes menores a un ángulo de 34° , pero donde la pendiente es mayor los árboles pueden ser perjudiciales a la estabilidad y aumentar la tensión de corte producido por el peso. Así que la sobrecarga puede causar un impacto benéfico o adverso dependiendo de las condiciones de suelo y de la pendiente.
- 8b). Transmiten al suelo fuerza del viento. El serpenteo del viento o remolinos, a través de los troncos de los árboles, genera una influencia desestabilizante por el choque del viento (Gray y Leiser, 1982). El efecto del viento en la mayoría de los bosques es muy pequeño (Selby, 1993).
- 9b). Retienen las partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión. Una materiales de los suelos inestables. Este efecto es más pronunciado donde la superficie crítica de falla se encuentra en la zona de raíces.

Las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades del suelo. Suárez 1998 explica el efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo en tres formas (Figura 3):

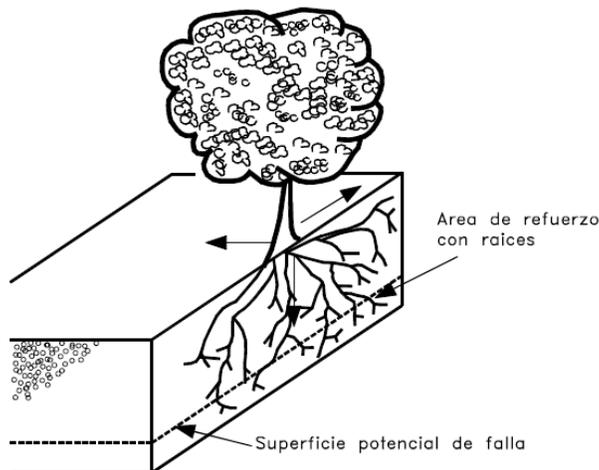


Figura 3. Refuerzo de superficie de falla por las raíces de los árboles (Suárez, 1998).

Al cambiar el uso del suelo, por ejemplo a través de la deforestación, se puede afectar la estabilidad de una ladera de varias formas:

- a. Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial.
- b. Elimina el factor de refuerzo de las raíces.
- c. Facilita la infiltración masiva de agua.

La vegetación puede actuar como una barrera protectora entre el suelo y los elementos naturales que estimulan la erosión o los deslizamientos. Las mismas partes de las plantas sirven como elementos de protección de laderas, por ejemplo: con el tiempo las raíces de las plantas incrementan el refuerzo mecánico por la mayor cohesión del suelo, disminuyen la presión de poros mediante la evapotranspiración y con ello incrementan la estabilidad del terreno (León, 2001). Las plantas exhiben diferentes formas y estructuras, pero en general los que son útiles en la estabilidad de las laderas según Suárez, 1998 y Norris *et al.*, 2008 son:

1. La raíz, provee anclaje, absorbe agua y nutrientes desde el suelo, y acumula líquidos.
2. El tallo, da soporte a las partes aéreas, conduce y produce nuevos tejidos.
3. Las hojas, interceptan la precipitación e inician la evapotranspiración lo que produce disminución de humedad.

III Planteamiento del problema.

Actualmente el Volcán Nevado de Toluca es un área verde semi-conservada, con un ciclo hidrológico sumamente importante y también constituye un reservorio de suministros forestales. Sin embargo, el impacto antrópico en el medio ambiente es innegable. La combinación de actividades económicas como la explotación forestal, la agricultura de temporal y la industria de la extracción, han generado un rápido y agresivo cambio en el uso del suelo.

En el VNT, se presentan frecuentemente procesos de remoción en masa que generan grandes cantidades de sedimentos que inducen una condición de peligro constante a la población, sus bienes y en general a toda la infraestructura del área.

Los estudios de carácter local en la cuenca de La Ciénega son escasos, entre ellos por ello, es importante la generación de nuevo conocimiento que pueda ser utilizado no solo para el manejo de recursos naturales y así obtener los beneficios que proveen, sino que también sean vistos como un medio con el que se reduce el riesgo frente a los deslizamientos. En la generación de este nuevo conocimiento es importante localizar geográficamente los diferentes deslizamientos, el número de éstos y su tipo para tener un registro de ellos, y generar mayor información acerca de éste fenómeno natural.

En la parte baja del arroyo La Ciénega se encuentra un abanico aluvial, compuesto por antiguos flujos de escombros, en dónde se ubica la localidad Santa Cruz Pueblo Nuevo, perteneciente al Municipio Tenango del Valle (Estado de México). Ésta localidad es afectada constantemente por deslizamientos y flujos de escombros. Por ejemplo, el 24 de junio de 1940 una lluvia torrencial provocó un flujo de escombros de gran tamaño que destruyó la localidad (Peña, 2006; Aceves y Martínez, 2012). Pocas medidas preventivas han sido tomadas por los habitantes o las autoridades locales para restringir o delimitar las zonas de riesgo.

IV. Objetivos

Objetivo general.

Conocer y relacionar el impacto del cambio de la cubierta de uso y de vegetación sobre el número de deslizamientos y generar un inventario de deslizamientos, reciente e histórico en el arroyo la Ciénega, Edo. de México.

Objetivos particulares.

- ❖ Realizar la descripción y cartografía de los cambios de la cubierta de uso y de vegetación en el arroyo La Ciénega en el período 1983 – 2014.
- ❖ Identificar y describir deslizamientos y zonas propensas a deslizamientos en el arroyo La Ciénega.
- ❖ Relacionar la distribución y la cantidad de deslizamientos con el cambio de cubierta de uso y de vegetación.

V. Hipótesis.

La intensidad de la influencia del cambio de uso del suelo en la formación de deslizamientos dependerá del tipo de uso de suelo en que se presente, con la hipótesis nula que refuta que el cambio de uso del suelo no detona deslizamientos.

Capítulo 1. Área de estudio: marco geográfico, geológico y geomorfológico.

1.1 Localización

El área de estudio es la cuenca endorreica, La Ciénega, que se localiza en el costado este del Volcán Nevado de Toluca (VNT). El Volcán Nevado de Toluca ($19^{\circ}06'30''$ N; $99^{\circ}45'30''$ O; 4,680 msnm) se sitúa en el sector central de la provincia fisiográfica del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM), misma que se extiende de las costas de Colima y Nayarit al estado de Veracruz (Caballero y Capra, 2011) (Figura 4a).

La cuenca se ubica a 22 km al suroeste de la Ciudad Toluca de Lerdo, Estado de México y a 80 km al suroeste de la Ciudad de México (Figura 4b).

La cuenca La Ciénega, se extiende desde el borde oriental del cráter del VNT hasta el Cerro El Pedregal y el Cerro Tetepétl ó derrame de Lavas Tenango. La cuenca abarca un área de 28 km^2 y tiene como coordenadas extremas limítrofes: $19^{\circ}07'$ y $19^{\circ}04'N$, $99^{\circ}44'$ y $99^{\circ}37'$ O. El área de estudio es de forma alargada en dirección E-O, con una longitud de 12 km, un ancho promedio de 2.5 km y su pendiente media es de 7° ; sin embargo, se registran valores más altos, como son el cerro Tepehuisco (30° a 60°) y la zona montañosa de mayor altitud de la cuenca con pendientes máximas de 30° a 70° (Figura 4c).

La cuenca pertenece en un 5% del área al municipio Toluca, y el 95% del área restante pertenece al municipio Tenango del Valle. En la desembocadura del río la Ciénega, que corresponde al municipio Tenango del Valle, se ubica un asentamiento urbano llamado Santa Cruz Pueblo Nuevo, con 1,634 habitantes (INEGI, 2010).

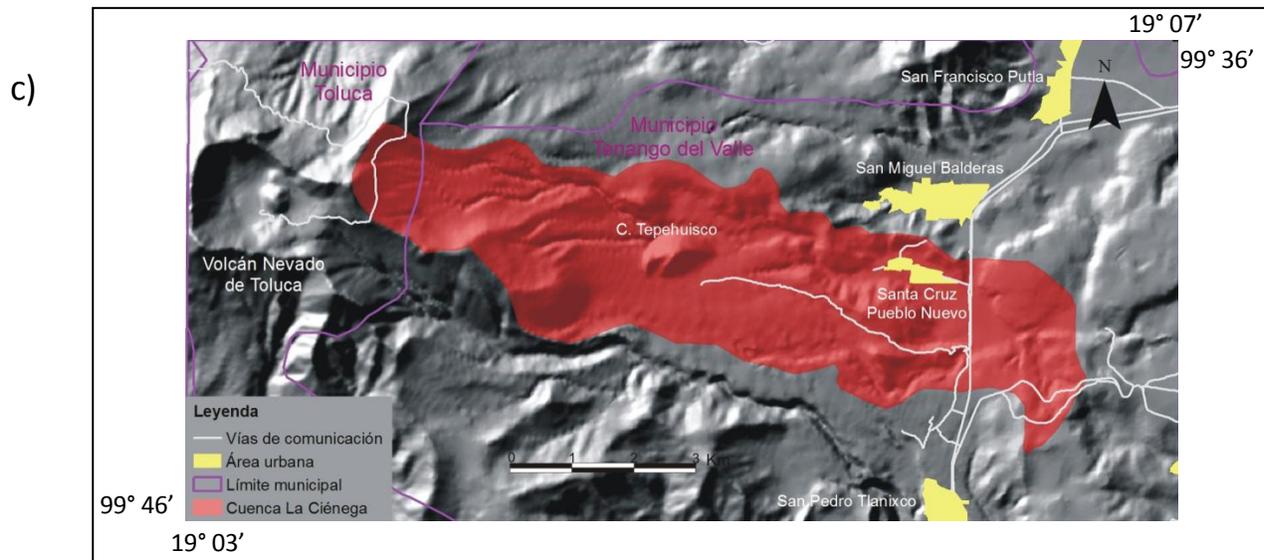
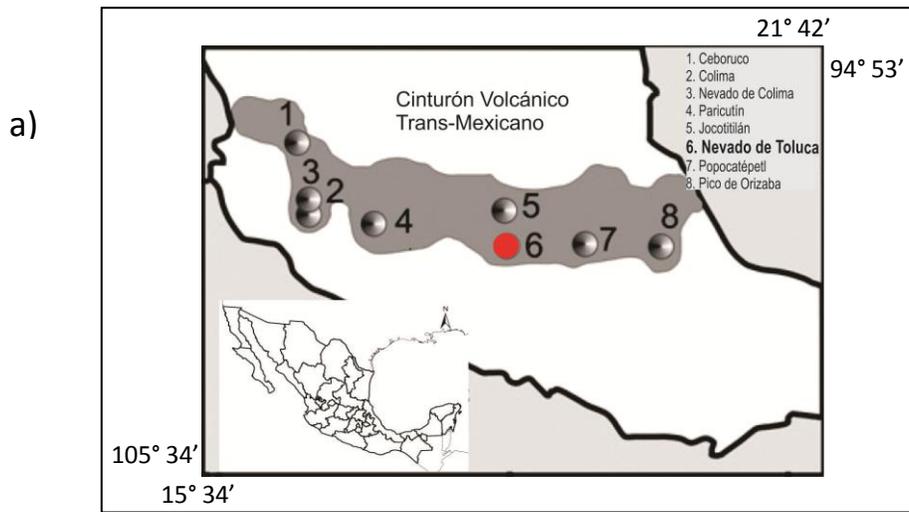


Figura 4a. Ubicación del VNT en el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano. Modificado de Caballero y Capra, (2011). b. Localización del Estado de México. c. Cuenca La Ciénega, localidades cercanas y vías de comunicación.

1.2 Clima

Conforme al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (2004), se reporta en la parte alta de la cuenca (>4000 m s.n.m.), un clima E(T)H y en la parte media (3,000 a 4,000 m s.n.m.) y baja (<3000 m s.n.m.) un clima C(E)(w₂)(w), INEGI, (2001) (Figura 5).

El clima E(T)H, es un clima frío de altura, con temperatura media anual entre -2 y 5° C, y la temperatura media del mes más caliente entre 0° y 6.5° C (INEGI, 2001). Con base en la estación Nevado de Toluca, localizada en 19° 07' N y 99° 45' O la precipitación total anual es de 1,228.3 mm en promedio; el mes más húmedo es julio con 243.5 mm; y el mes más seco es marzo con 12.4 mm (gráfica 1). Este clima se encuentra en una pequeña extensión de la parte más alta de la cuenca, de los 4,000 m s.n.m. en adelante.

El clima C(E)(w₂)(w) semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, está presente en la mayor parte de la cuenca. La temperatura media anual oscila entre 11° y 14°C. Según datos de la estación meteorológica Tenango, ubicada en 19°06' N y 99° 37' O, la precipitación total anual es de 827.8 mm en promedio; el mes más húmedo es julio con 147.5 mm; y el mes más seco es febrero con 7.9 y las temperaturas máximas se presentan de abril a septiembre (14 °C) (gráfica 2).

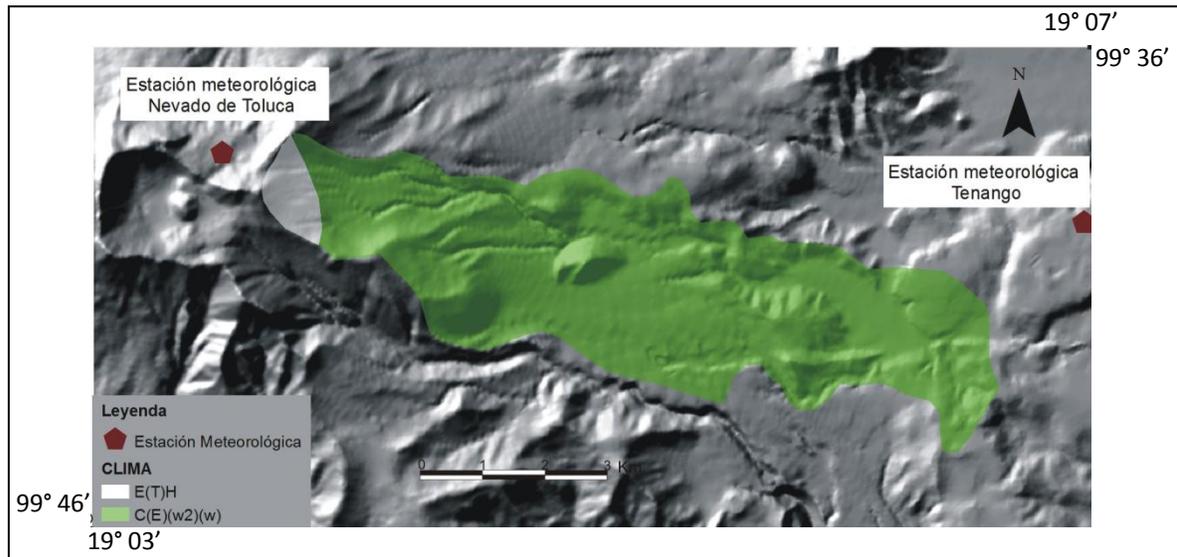
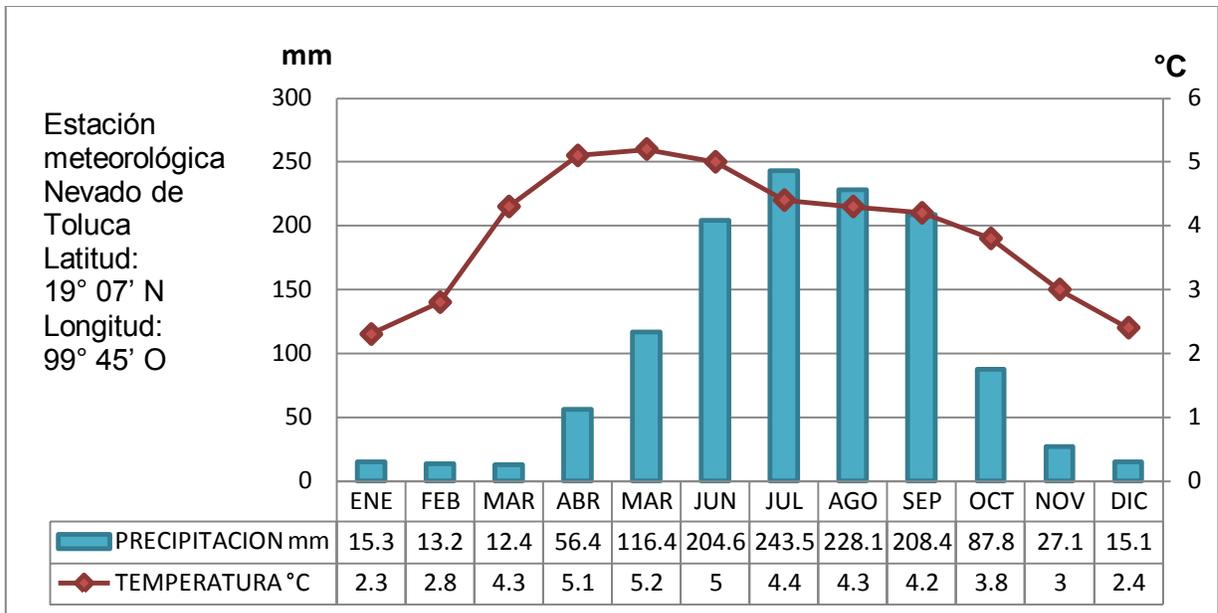
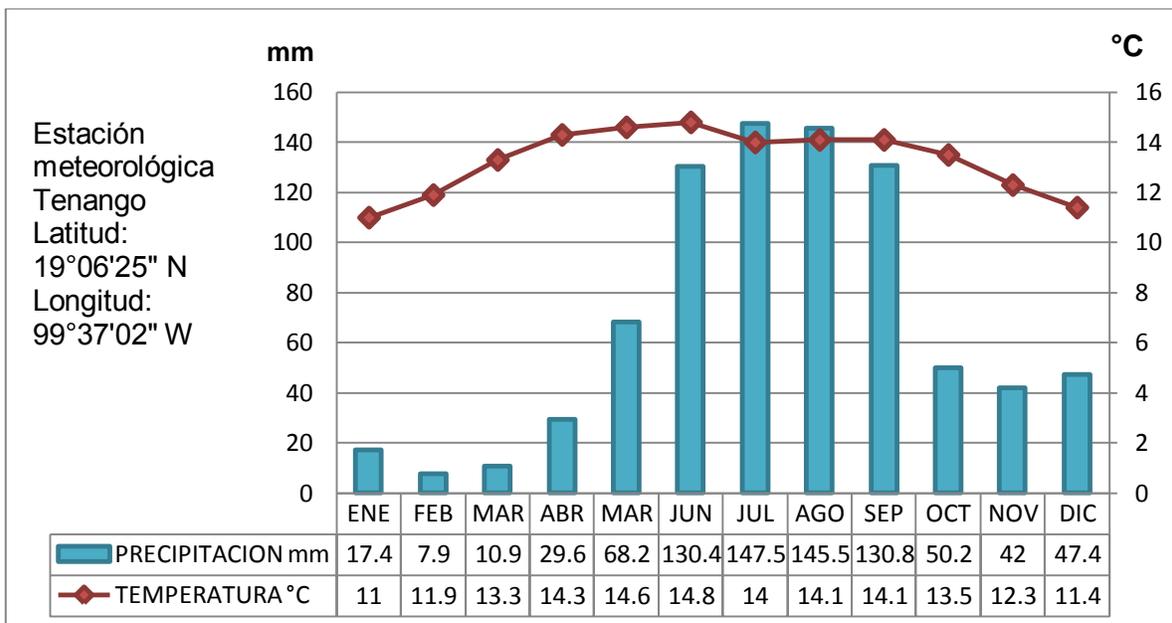


Figura 5. Mapa de clasificación climática de Köppen modificado por García (2004) en la cuenca La Ciénega (INEGI, 2001).



Gráfica 1. Precipitación y temperatura de la estación meteorológica Nevado de Toluca por mes. Periodo: 1951-2010 (SMN, 2014).



Gráfica 2. Precipitación y temperatura de la estación meteorológica Tenango por mes. Periodo: 1951-2010 (SMN, 2014).

1.3 Hidrografía

De acuerdo con INEGI (2001), la zona de estudio se enmarca dentro de la Región Hidrológica #12, Lerma-Santiago (RH12), la parte que pertenece al Estado de México, se le denomina Cuenca Lerma-Toluca (12A). A la vez, ésta se divide en diez subcuencas: Almoloya – Oztolotepec, (12Aa); Oztolotepec - Atlacomulco, (12Ab); Atlacomulco - Paso de Ovejas, (12 Ac); Tlalpujahuá, (12Ag); Jaltepec, (12Ah); La Gavia (12Ai); Tejalpa (12Aj); Verdigué (12Ak); Oztolotepec (12Al) y Sila (12Am). El río la Ciénega pertenece a la subcuenca Almoloya – Oztolotepec (Figura 6).

El río La Ciénega se origina, a una altura máxima 4,450 m s.n.m. en la vertiente oriental del VNT y en los manantiales del Cerro del Tepehuisco a 3,400 metros de altitud. Desciende en un trayecto de 12.58 km hasta concentrarse en la parte baja de la cuenca, en el derrame Tenango a 2,800 m s.n.m. En la parte baja, el río ha formado un cono aluvial en el que se encuentra el poblado de Santa Cruz Pueblo Nuevo.

El drenaje es de tipo dendrítico subparalelo, con sentido E-O, conformado por corrientes de tipo intermitente y perenne; durante el periodo de lluvias algunas actúan como colectores y otras se convierten en vertederos. La Ciénega es un río de cuarto orden de corrientes bajo el criterio de Strahler.

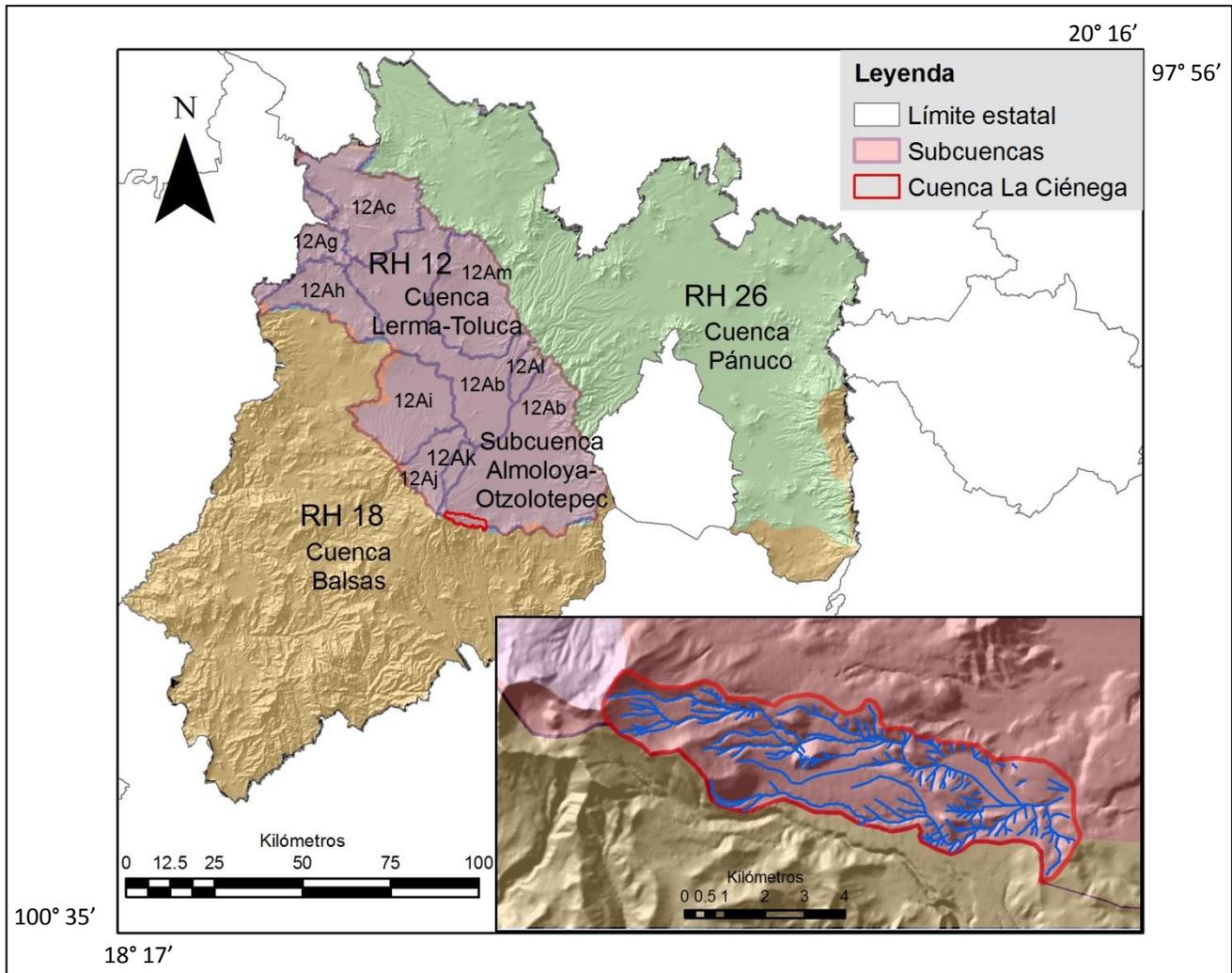


Figura 6. Mapa hidrológico de la Cuenca La Ciénega. Se muestran las 3 regiones hidrológicas (RH 26, RH 12 y RH18) que se encuentran en el Estado de México, y dentro de la RH12 se presentan las subcuencas, en donde se ubica la subcuenca Almoloya-Otzolotepec (12Ab), en la que se sitúa la cuenca La Ciénega, (ver texto para identificar las claves 12An).

1.4 Suelos

Según INEGI (1976 a, b), se pueden encontrar principalmente cinco unidades de suelos en la zona de estudio: andosoles (T), regosoles (R), litosoles (I) fluvisoles (F) y feozem (H) (Figura 7).

El andosol es el tipo de suelo que cubre la mayor parte del área, con un 77%; y de acuerdo a la Síntesis de Información Geográfica del Estado de México, (INEGI, 2001), los andosoles son suelos derivados de la intemperización de cenizas volcánicas, con una alta capacidad de retención de agua y fijación de fósforo. Tienen una fuerte tendencia a la acidez. En general, son de textura media (contenido de arcilla y arena menor de 35% y 65%, respectivamente), por lo cual son muy susceptibles a la erosión y para su mejor conservación deben ser usados con fines forestales.

El litosol es un suelo muy somero (menor de 10 cm de profundidad) limitado por un estrato duro y continuo (fase lítica), cubre un 9% del área y se presenta en la parte alta del volcán, a partir de los 4,100 m s.n.m., en el Cerro Tepehuisco (3,420 m s.n.m.) y en las laderas y barrancos. La delgada capa que presenta es de textura media y su espesor está condicionado a la pendiente, ya que ésta influye directamente sobre la escasa acumulación de los materiales edáficos, y son muy susceptibles a la erosión. Aunado a esto, otras limitantes para su uso y manejo son la pedregosidad y los afloramientos rocosos superficiales (INEGI, 2001).

El fluvisol abarca un 8% del área, y se limita al cauce principal de la cuenca y a la desembocadura, su formación se debe al acarreo de materiales por escurrimientos desde las partes altas de las sierras y que son depositados en las laderas; o bien, por el arrastre y depositación de materiales ocasionado por los ríos. La limitante física que afecta su uso y manejo son la abundante presencia de gravas de forma redondeadas (INEGI, 2001).

El regosol está presente en un 4% del área total, ubicado en el Cerro del Pedregal. El regosol es un suelo poco desarrollado cuya formación generalmente depende de la litología, pues se derivan de la roca que les subyace (INEGI, 2001).

Por último el feozem sólo cubre 2% del área total, se caracteriza por presentar un horizonte A mólico, es decir, un horizonte superficial oscuro con moderado a alto contenido de materia orgánica y un espesor superior a los 25 cm; y saturación de bases mayor de 50%, por lo tanto el contenido de nutrientes (calcio, magnesio y potasio) es elevado. La formación de estos suelos es generada en gran medida por el intemperismo de las rocas de origen ígneo extrusivo (INEGI, 2001).

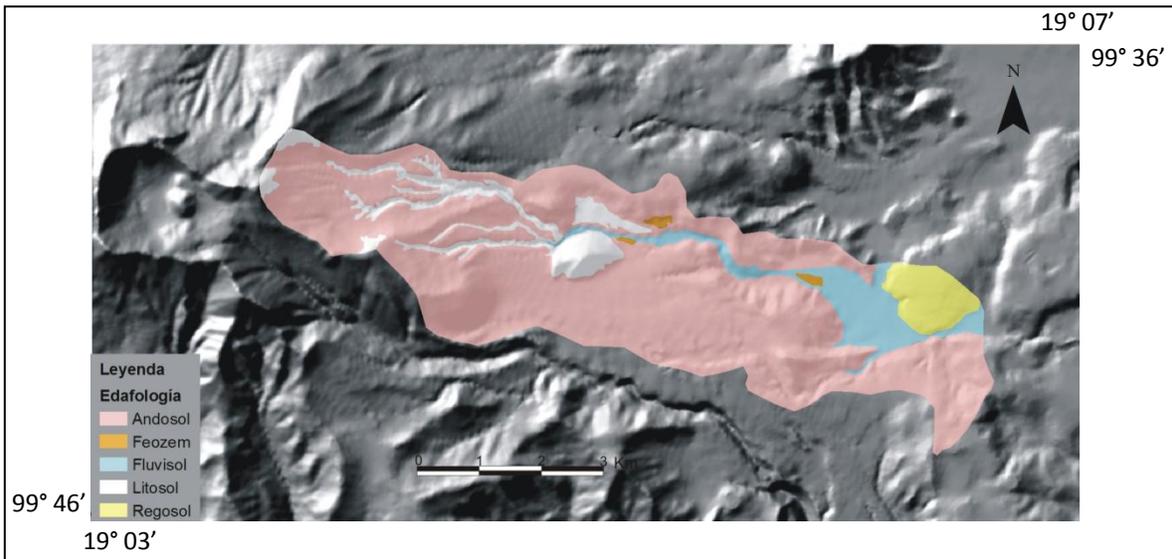


Figura 7. Distribución de los diferentes tipos de suelo en la Cuenca la Ciénega. Se observa que el andosol es el predominante en el área.

1.5 Vegetación y Uso de suelo.

Se utilizaron las cartas de vegetación y uso del suelo, INEGI (1976, a, b), como referentes de los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo que se encuentran en el área de estudio (Figura 8). De acuerdo a estas cartas temáticas la categoría uso pecuario - pastizal ocupa el 2.5% del área total, la categoría erial ocupa 0.8%, páramo de altura 4.2%, forestal bosque de pino 40.9%, vegetación secundaria-matorral inerme 7%, uso agrícola 41.1 %, forestal bosque de oyamel 2.8%, cuerpos de agua 0.16%, forestal bosque de encino 0.3% y por último la categoría erosión hídrica fuerte 0.3%.

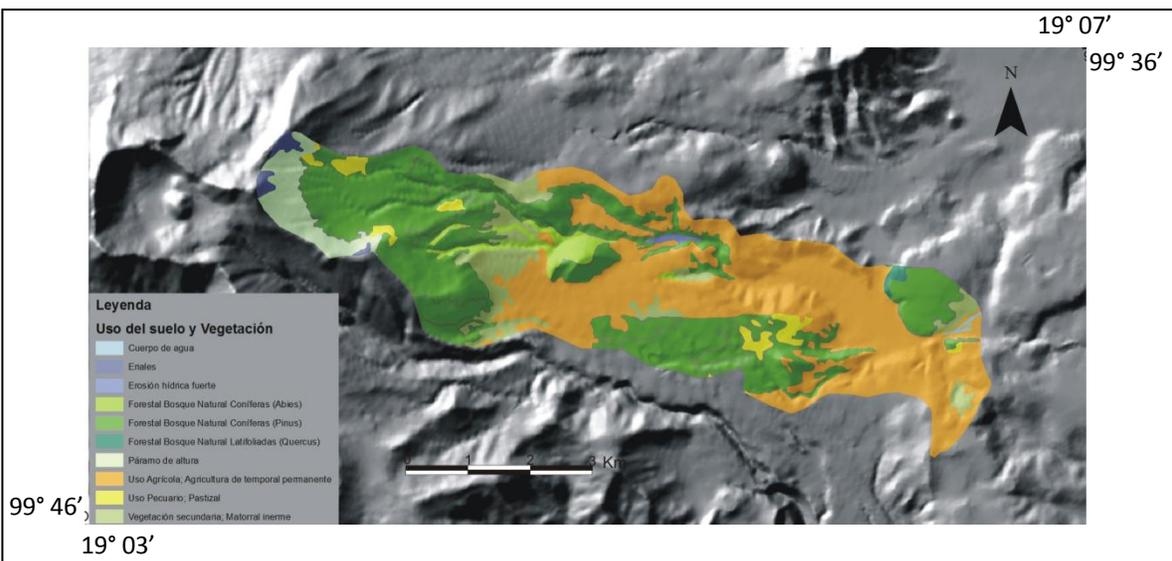


Figura 8. Distribución de los tipos de vegetación y usos de suelo en la Cuenca la Ciénega.

Según Vela et al. (1976) entre los 2,800 a 3,200 m s.n.m. se encuentra el bosque de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus ayacahuite*; de 3,000 a 3,200 m s.n.m. se halla el bosque de *Pinus montezumae*; de 3,000 a 3,500 m s.n.m. se ubica el bosque de *Abies religiosa*; de 3,500 a 4,000 m s.n.m. se localiza el bosque de *Pinus hartwegii* y de los 4,000 m s.n.m. hacia arriba está el zacatonal alpino (Figura 9).

El bosque de *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* se caracteriza por tener suelos más o menos someros de drenaje superficial rápido y suelo profundo de drenaje lento, se ubica en las zonas con mayor humedad. (Miranda y Hernández-X., 1963). El estrato arbustivo puede presentar individuos de *Baccharis conferta* y *Eupatorium glabratum*. En el estrato herbáceo se encuentran *Lupinus mexicanus* y *Senecio salignus* (Zúñiga, 2006).

El bosque de *P. montezumae* presenta el mismo suelo que el de *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* (Miranda y Hernández-X, 1963). El estrato arbustivo se encuentra compuesto por *B. conferta*. Dentro de las especies del estrato herbáceo están *Alchemilla procumbens*, *E. glabratum*, *Festuca amplissima*, *L. mexicanus*, *Penstemon gentianoides*, *Phacelia platicarpa*, *S. angulifolius*, *S. callosus*, *S. cinerarioides* y *S. salignus* (Zúñiga 2006).

El bosque de *Abies religiosa*, presenta suelos profundos (Miranda y Hernández-X, 1963). En el estrato arbustivo se encuentran: *Arenaria lanuginosa*, *F. amplissima*, *Geranium potentillaefolium*, *P. gentianoides*, *P. platycarpa* y *S. callosus* (Zúñiga 2006).

El bosque de *P. hartwegii* se encuentra en suelos poco profundos y con humedad baja (Miranda y Hernández-X, 1963). En el estrato herbáceo se encuentran: *A. procumbens*, *Calamagrostis toluensis*, *F. amplissima*, *F. hephaestophila*, *L. montanus*, *Muhlenbergia nigra*, *Oxalis alpina*, *P. gentianoides*, *P. platycarpa*, *Plantago toluensis*, *S. bellidifolius* y *S. callosus* (Zúñiga 2006).

En el zacatonal alpino predominan gramíneas altas (60-120 cm) y amacolladas. El suelo es de ceniza volcánica y piedra pómez que aflora en las laderas con pendiente pronunciada. Las plantas dominantes de las diferentes asociaciones del zacatonal son: *Arenaria bryoides*, *Blepharoneuron tricholepis*, *C. toluensis*, *Draba jorulensis*, *D. nivicola*, *Festuca lívida*, *F. toluensis*, *Trisetum spicatum* y *P. toluensis*. Hay especies codominantes como *E. proteliflorum* y *L. mexicanus* (Zúñiga 2006).

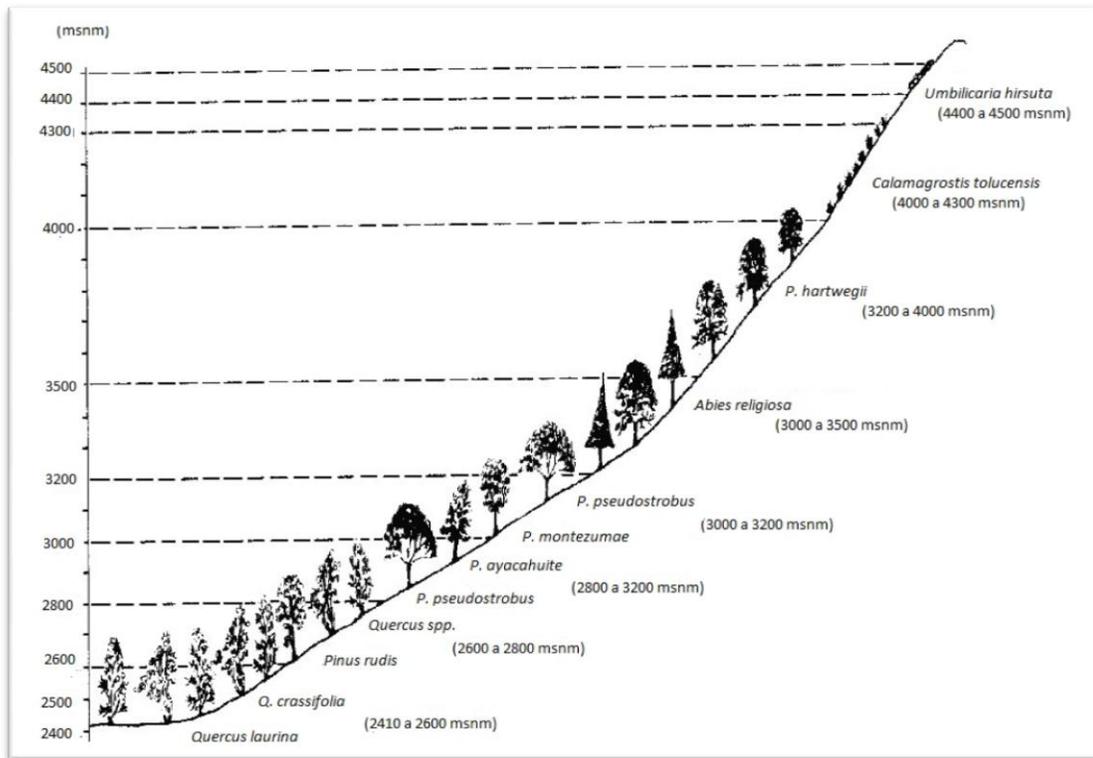


Figura 9. Perfil de vegetación para el Volcán Nevado de Toluca (tomado de Ludlow, 2004).

1.6. Marco Geológico

El origen geológico del Volcán Nevado de Toluca está dado por la provincia volcánica del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM). El cual cuenta con una extensión aproximada de 1,000 km y una anchura entre 80 y 230 km, con una orientación general E-O, a lo largo del paralelo 20° N (Demant, 1978; Caballero y Capra, 2011). Formado por aproximadamente 8,000 estructuras volcánicas, de los cuales los más conocidos son los grandes estratovolcanes como el Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, La Malinche y Nevado de Toluca. (Demant, 1978). Su mayor actividad se manifiesta durante el Cuaternario (Aceves, 1997; García-Palomo 2000).

El Nevado de Toluca, es un estratovolcán del Plioceno-Holoceno tardío, formado principalmente por lavas andesíticas y dacíticas, (García-Palomo *et al.* 2002). Este volcán tuvo una erupción explosiva hace aproximadamente 25,000 años antes del presente de tipo vulcaniano que cubrió sus laderas con lahares y una capa de pómez, denominada Pómez Toluca Inferior. Posteriormente, hacia 11,600 años antes del presente sobrevino una segunda erupción violenta, de tipo pliniano la cual produjo una gran cantidad de material de

pómez dacítica, conocida como tripartita de grano fino o Pómez Toluca Superior, la que es posible que se haya extendido hacia el valle de México, cubriendo una superficie de 2,000 km² (Bloomfield, 1974, 1975; Bloomfield and Valastro, 1977).

Hacia el Este del VNT destaca la Sierra Chichinautzin con su cadena de volcanes monogenéticos de menos de 30,000 años de antigüedad (Bloomfield, 1975), sobresale por su juventud la mesa Tenango también llamado lavas Tenango ó basalto Tenango, con edad entre 8,000 y 9,000 años antes del presente (Aceves, 1997). Este edificio volcánico, constituye la parte oeste de la Sierra Chichinautzin y está localizado en la porción este de la zona de estudio. El Basalto Tenango, sitio dónde se cierra la cuenca La Ciénega, corresponde a la erupción de un magma poco explosivo, dentro de un anillo piroclástico, que se ha formado sobre la abertura del conducto, y que fue rápidamente cubierto por lava. El aspecto masivo de la colada da testimonio de la viscosidad de la lava, y está igualmente relacionado con el escaso contenido de gases (Aceves, 1997).

Las lavas tenango son un conjunto de tres lavas; dos de ellas se ubican en el cerro El Pedregal y la tercera corresponde al cerro Tetépetl. Ocupan un área de 16.5 km² y se elevan a unos 250 m sobre la planicie, con una longitud promedio de 2.3 km y un volumen de 0.15 km³ (Flores, 2002), figura 9.

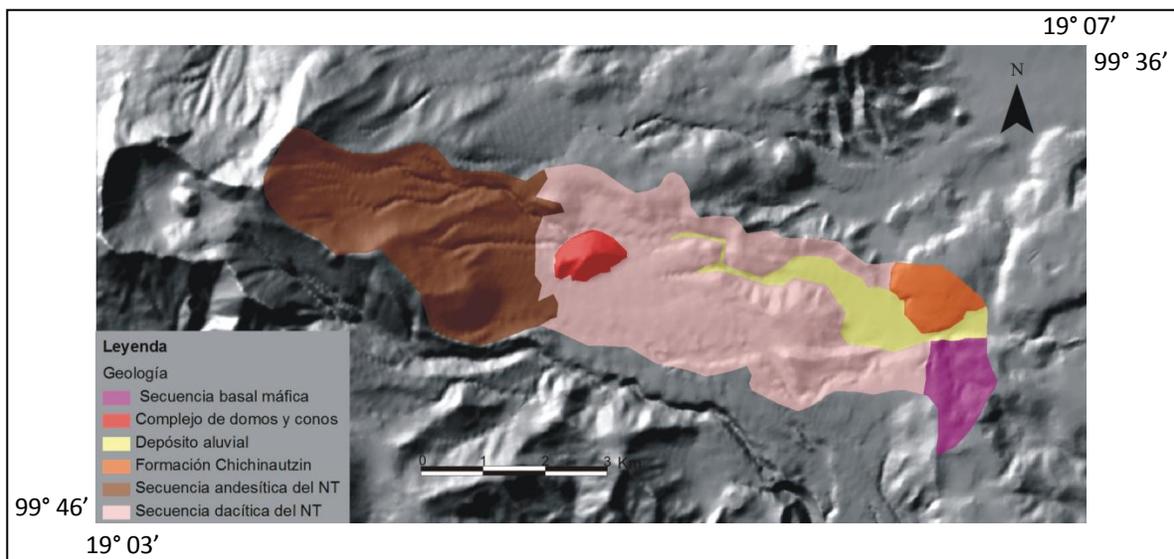


Figura 9. Mapa Geológico de la cuenca La Ciénega. Se observa el predominio de las lavas dacíticas y andesíticas, y al este sobresale el Basalto Tenango.

1.7. Geomorfología

La forma del Nevado de Toluca se debe a las últimas etapas eruptivas y a la erosión principalmente de tipo fluvioglacial. La cima del volcán ha sido afectada por procesos glaciales. En los flancos externos del actual cráter se han formado glaciares rocosos, morrenas y flujos de escombros. El piedemonte se encuentra formado por depósitos de flujos piroclásticos y sedimentarios, cubiertos por material pumítico de caída libre (Aceves, 1997).

Las laderas norte y este del volcán, están formadas por un piedemonte volcánico compuesto por abanicos aluviales coalescentes de materiales piroclásticos; que se hallan afectados de manera importante por la formación y el desarrollo de torrentes, durante la época de lluvias que favorecen la caída de roca y suelo, deslizamientos, flujos de lodo, subsidencia e inundaciones (Espinoza, 2003).

Basado en el mapa de Aceves (1997), se describen tres clases básicas del relieve de la zona de estudio. La primera clase: *I. Edificio Principal del Volcán Nevado de Toluca*, esta subdividida en: a) Cono volcánico, ubicado por arriba de los 4,000 m s.n.m., parcialmente destruido por las explosiones peleanas y plinianas que han dejado en su cima una pequeña caldera, las laderas del cono volcánico se encuentran cubiertas de pómez y formas de origen glacial, como glaciares rocosos y morrenas; además se encuentran disectadas por grandes circos glaciales; b) Ladera superior localizada entre los 3,600 y los 4,000 m s.m.n. y c) Ladera inferior localizada entre los 3,300 y 3,600 m s.m.n., se encuentran cubiertas en su mayor parte por tefra y depósitos glaciales.

La segunda clase corresponde al *II. Margen del Nevado de Toluca*, está conformada por la a) Ladera de pómez, que forma el piedemonte de las laderas al E y NE del volcán, la cual está asociada a las dos erupciones del Nevado de Toluca, de hace 24,000 y 11,000 años. Estas dos erupciones originaron las formaciones Pómez Toluca Inferior y Pómez Toluca Superior respectivamente. A su vez dentro del Margen del Nevado de Toluca se encuentra un b) Domo volcánico de composición dacítica, nombrado Cerro Tepehuisco. También, dentro de la clase II Margen del Nevado de Toluca, se encuentran c) Campos de lavas: éstas formas se hallan asociadas a los campos volcánicos monogenéticos

cuaternarios, principalmente de la Sierra de Chichinautzin, donde predominan las coladas fluidas.

Una última clase *III. Nivel de base*, formado por la planicie acumulativa de tipo aluvial y lacustre ubicado en la desembocadura del arroyo La Ciénega y en dónde en temporadas de secas se desarrolla la agricultura. Figura 11.

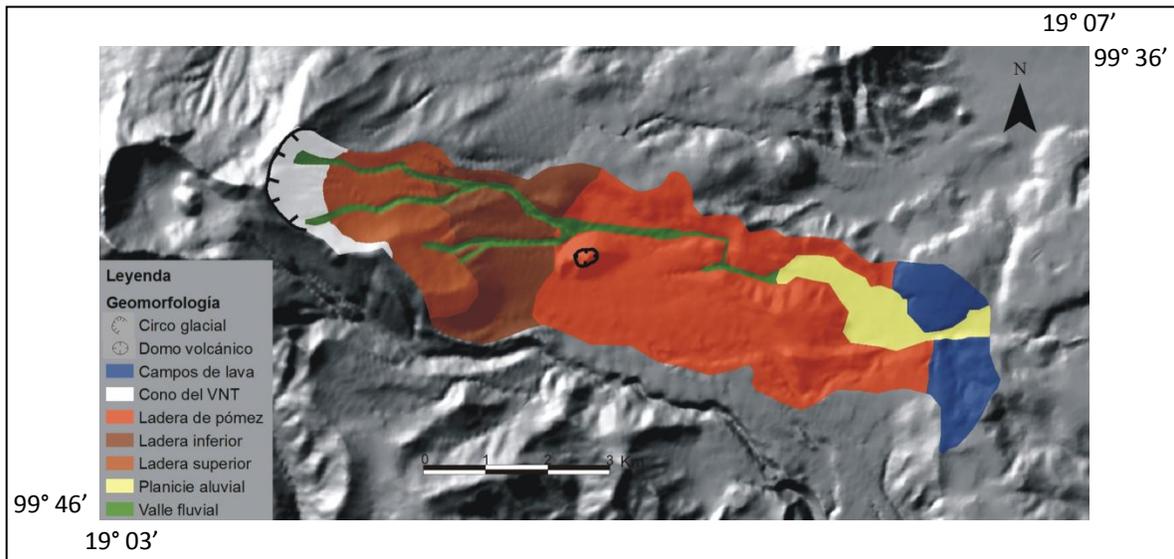


Figura 11. Mapa Geomorfológico de la Cuenca La Ciénega. Se distingue el cono volcánico, así como la ladera superior, inferior y de pómez, la planicie aluvial y los campos de lava al este donde cierra la cuenca.

Capítulo 2. Método.

La investigación constó de tres fases para alcanzar los objetivos, la primer fase consiste en la delimitación del área de estudio; la segunda fase es la obtención de los cambios de cubierta vegetal y de uso de suelo y la realización del inventario de deslizamientos y la tercer fase consiste en relacionar el cambio de cubierta con la presencia de deslizamientos. El método se simplifica en el siguiente diagrama de flujo (Figura 12).

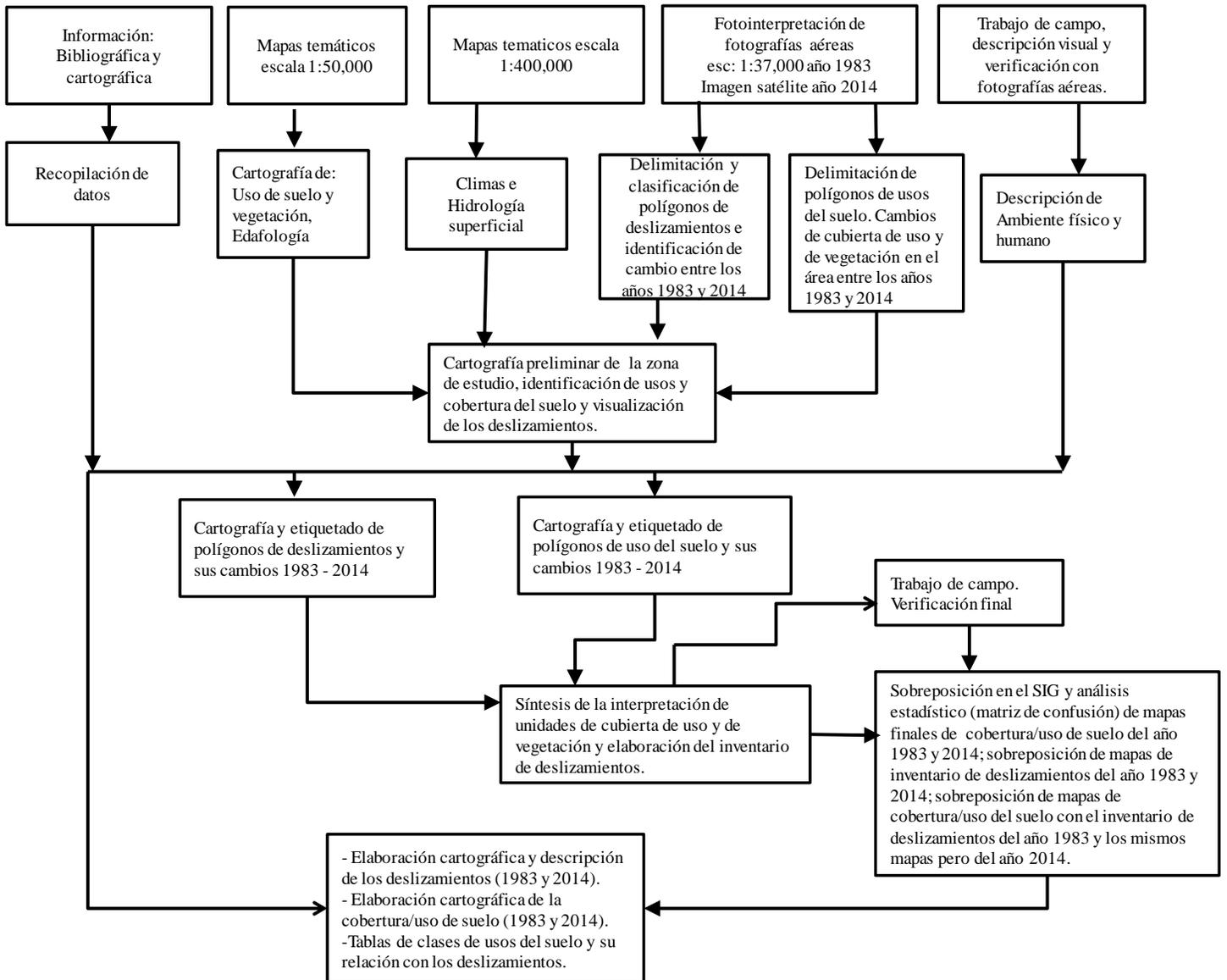


Figura 12. Diagrama de flujo

2.1 Delimitación del área de estudio.

En esta etapa se delimitó el área de estudio, considerando como fronteras las líneas de parteaguas de las microcuencas de los ríos Las Cruces, Santiaguito, El Zaguán y Arroyo Grande, figura 6. Se recopiló la información bibliográfica y cartográfica disponible sobre topografía, geología, edafología, hidrología, geomorfología, climas y vegetación y uso del suelo e información de los censos de INEGI. Además se obtuvieron fotografías aéreas y una imagen de satélite Landsat. Toda ésta información proporciona una visión global preliminar del área de estudio.

La información cartográfica de uso del suelo, edafológica, hidrología, climas, geología y geomorfología se digitalizó con el apoyo del Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 9.3 Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.).

2.2 Fotointerpretación, delimitación y clasificación de la cobertura y usos del suelo.

Para cumplir con el objetivo de realizar la descripción y cartografía de los cambios de cubierta de uso y de vegetación en la cuenca La Ciénega en el período 1983 – 2014 se utilizó un análisis multitemporal (Chuvienco, 2008), el cual describe a continuación.

2.2.1 Cubierta de vegetación y de uso del suelo del año 1983.

Para obtener la cubierta de uso y de vegetación de 1983 se escaneó la carta de vegetación y uso de suelo de INEGI 1976 a y b (carta que se obtuvo de fotografías aéreas tomadas en mayo de 1972), se digitalizó y etiquetó en pantalla con el software Arc GIS 9.3 para poder etiquetar las clases de cubierta. Con este procedimiento se obtuvo como resultado una capa digital en formato shapefile, que fue utilizada como base temática cartográfica. A la par las 7 fotografías aéreas de 1983 fueron digitalizadas y georeferenciadas. Para la georeferencia se utilizaron 80 puntos de control para todas las fotografías; con ellas se realizó un fotomosaico digital, sobre el cual se sobrepuso la capa vectorial del uso de suelo que previamente se hizo, para así ajustar los polígonos de la carta de 1976 con las fotografías aéreas del año 1983. Todo éste procedimiento se realizó con el software Arc GIS 9.3. Ésta sobreposición se utilizó para obtener los polígonos finales de

cubierta de uso y de vegetación del año 1983. También se digitalizó la información recabada de la fotointerpretación de las fotografías aéreas de 1983 con el estereoscopio de espejos.

Al realizar la fotointerpretación se consideraron criterios que permitieron reconocer los elementos a identificar (tamaño, forma, tono, textura y patrón) (Verstappen, 1977; Zonneveld, 1979; Deagostini, 1984) en cada una de las fotografías aéreas.

La leyenda ocupada en éste estudio para las categorías empleadas en el etiquetado de los polígonos de cubierta de uso y de vegetación está basada en la clasificación de la carta de uso del suelo de INEGI 1976 a y b, y en la clasificación propuesta por Franco 2006a, quién a su vez se basó en Ramírez, 2001 para definir el criterio de densidad.

Las cartas de uso del suelo de 1976 a y b constan de cuatro categorías principales de uso: agrícola, pecuario, forestal y asociaciones especiales de vegetación. El sistema de clasificación considera la combinación de claves en función de la dominancia de las especies. De acuerdo con la metodología de CETENAL, se maneja el índice de abundancia-dominancia de Braun Blanquet que, en términos generales, indica el grado de importancia de cada una de las especies de la comunidad cuando se coloca de izquierda a derecha en primer lugar la especie dominante (Franco *et al.*, 2006b). La identificación de la densidad de cobertura consistió en la separación de unidades a partir de la diferencia en la densidad de cobertura arbórea mediante estereoscopia para el año 1983; para ello se utilizó el esquema de reclasificación propuesto por Ramírez, 2001, que parte de dividir a los bosques como: bosques densos, aquellos formados por árboles cuyas copas se tocan; semidensos árboles cuyas copas no se tocan entre sí pero que cubren por lo menos 40% de la superficie; y bosques fragmentados, aquellos que se encuentran afectados al grado que quedan sólo manchones de la vegetación forestal. De esta manera se reclasificó la leyenda de INEGI, se generalizó estableciendo categorías que muestran la dominancia del bosque, su cobertura y uso de suelo, tabla 2.

Tabla 2. Reclasificación de la leyenda de uso de suelo y vegetación.

INEGI	Franco <i>et al.</i> , 2006a	Este estudio
<p>Agrícola</p> <p>Agrícola con cualquier asociación forestal</p> <p>Agrícola con pastizal</p> <p>Agrícola con matorral</p>	Agrícola	Agrícola
Cualquier cobertura forestal sin asociación	Bosque denso + especie forestal dominante	Bosque denso
<p>Pastizal con cualquier asociación forestal.</p> <p>Matorral con cualquier asociación forestal</p> <p>Erosión con cualquier asociación forestal</p>	Bosque fragmentado + especie forestal dominante	Bosque fragmentado
<p>Cualquier cobertura forestal con cualquier asociación vegetal no forestal</p> <p>Cualquier cobertura forestal con erosión</p> <p>Cualquier cobertura forestal con agricultura</p>	Bosque semidenso + especie forestal dominante	Bosque semidenso
<p>Agua</p> <p>Erosión</p> <p>Erosión con pastizal</p> <p>Erosión con agricultura</p> <p>Erosión con matorral</p> <p>Pastizal</p> <p>Pastizal con agricultura</p> <p>Matorral</p> <p>Matorral con agricultura</p> <p>Matorral con pastizal</p> <p>Matorral con erosión</p>	Otros usos no forestales	Otros usos no forestales
Asentamiento humano	-----	Asentamiento humano
Páramo de altura	-----	Páramo de altura
Erial	-----	Erial

2.2.2 Cubierta de uso y de vegetación del año 2014.

Para obtener la cubierta de uso del suelo y de vegetación del año 2014 se realizó la clasificación supervisada sobre la imagen satelital Landsat 8 del año 2014 (Path 26, Row 47). La imagen de 2014 se obtuvo corregida geoméricamente y registrada en el sistema de coordenadas UTM 14N y datum WGS84; y se realizaron visitas a campo.

Para cada una de las categorías de cubierta del terreno se obtuvieron por lo menos 3 campos de entrenamiento entre los cuales se procuró incluir campos con diferentes exposiciones de la cobertura para registrar las variaciones de la reflectancia ocasionadas por sombras, pendientes distintas y variaciones de la cubierta vegetal. Posteriormente se realizó una clasificación supervisada con el algoritmo de máxima probabilidad implementado en el software ERDAS Imagine 9.1, utilizando las bandas 1-7 de las imágenes. Una vez clasificada la imagen se filtró con la función Fuzzy Convolution utilizando una ventana de 5 x 5 celdas para disminuir el efecto de “sal y pimienta”. Posteriormente el mapa obtenido de la clasificación supervisada se convirtió a formato vectorial y se editó para disminuir incoherencias en la clasificación, con el apoyo de fotografía aéreas del año 1983 y la información recabada durante los recorridos de campo. Así por ejemplo, dado que el uso del suelo denominado asentamiento humano fue una condición localizada y con una firma espectral similar a la del erial (desprovisto de vegetación), se decidió no incluirla en la clasificación supervisada, digitalizándola manualmente y agregándola al mapa clasificado final para evitar sobreestimaciones de área para esta clase temática.

El mapa temático de 2014 se validó utilizando la información recabada en los puntos de control terrestre (figura 13) y mediante la construcción de una matriz de confusión con una exactitud global del 84%. Los puntos de observación se hicieron mediante un muestreo dirigido a través de puntos referenciados geográficamente en el terreno así como las caracterizaciones cualitativas de éstos.

En este estudio la unidad de muestreo son los polígonos de las clases de cubierta de uso y vegetación. A cada uno de estos polígonos se le asignó una cantidad de puntos de muestreo de manera proporcional; es decir que de acuerdo a la extensión de la clase se estableció el porcentaje de ocupación con respecto al área total de la cuenca en estudio. De esta manera la clase con mayor extensión obtuvo una mayor cantidad de puntos de

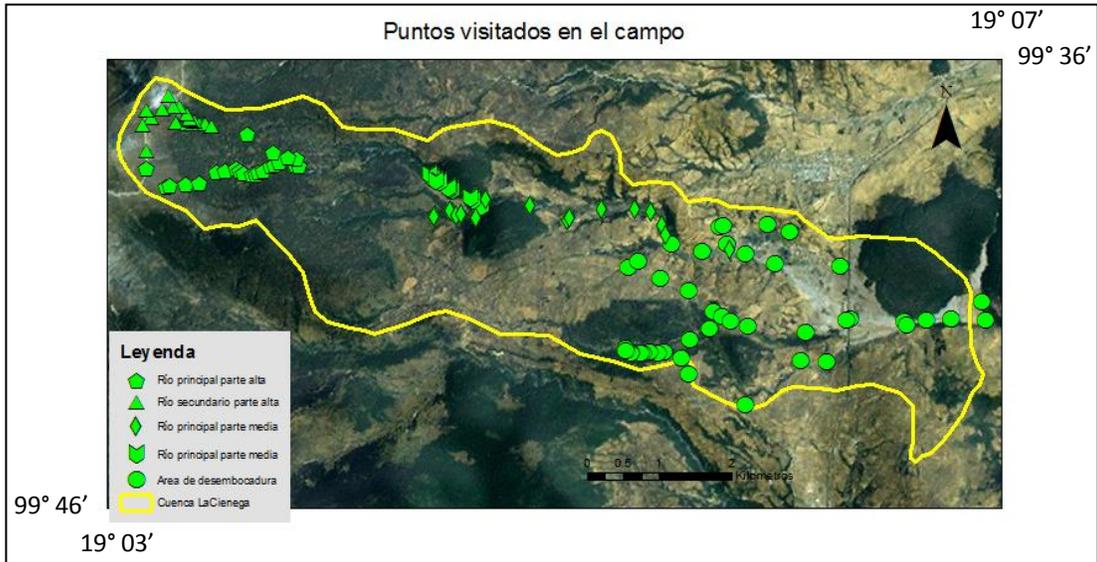


Figura 13. Recorrido realizado en la Cuenca La Ciénega en el año 2012 y 2014.

muestreo. De acuerdo con Chuvieco (2008), el tamaño de la muestra depende del nivel de confianza que quiera otorgarse a la estimación, del error tolerable en la estimación y de la propia heterogeneidad de la variable. Para determinar el tamaño de la muestra, se aplicó la ecuación descrita por Mc Grew and Morrone, 2000: $n = \frac{Z^2 \rho(1-\rho)}{E^2}$ donde **n** es el tamaño de la muestra, **Z** es el intervalo de confianza, **ρ** es un valor determinado de probabilidad y **E** es el error permitido del muestreo. Así, para el área de estudio se estimó un tamaño de muestra de 139. Este tamaño se obtuvo al considerar un 90% de intervalo de confianza (**Z**), asumiendo una probabilidad del 85% en los aciertos un máximo de error permitido **E** del 5%. Con el tamaño de muestra se hizo un levantamiento de 139 puntos de verificación con GPS durante 2 visitas en el año 2012 y 1 visita en el año 2014. Para cada punto fue preciso registrar tanto la categoría de cobertura/uso del suelo como la posición en coordenadas UTM (WGS 84).

Para estimar la exactitud de la clasificación supervisada fue construida la matriz de confusión con el módulo evaluación de la exactitud (accuracy assesment), en ERDAS Imagine 9.1. Para elaborar la matriz de confusión se hizo el cruce entre los puntos de verificación y la imagen de cambio de cubierta de uso de suelo y vegetal. Las columnas usualmente representan los datos de referencia o de campo, mientras que las filas indican los datos de la clasificación supervisada (Congalton and Green, 1999).

2.2.3 Evaluación de los cambios en la cubierta de uso del suelo y de vegetación entre el año 1983 y 2014.

Con el fin de analizar detalladamente la dinámica de cambio en la cubierta vegetal y uso del suelo, una vez ya teniendo las capas del año 1983 y 2014 se sobrepusieron para así obtener por cada categoría los cambios, para cruzar la información mediante la herramienta intersección del en el software Arc Gis 9.3, y así obtener las categorías que han cambiado o que se han mantenido a lo largo del tiempo. Por último se construyó una matriz de transición (Sánchez, *et al.*, 2003).

2.3 Fotointerpretación, delimitación y clasificación de los deslizamientos

Los deslizamientos fueron cartografiados a partir de fotografías aéreas para el año 1983, de imagen satelital para el año 2014 y trabajo de campo para crear un único mapa histórico de inventario de deslizamientos (Legorreta *et al.*, 2013 y Legorreta *et al.*, 2014).

2.3.1 Inventario de deslizamientos 1983.

Para obtener el inventario del año 1983 se recurrió al uso de las fotografías aéreas de INEGI, escala 1:37, 000. Se hizo la fotointerpretación de las fotografías aéreas con el estereoscopio de espejos, sobre el acetato se trazaron y se clasificaron los escarpes principales asociados al fenómeno de deslizamiento, la clasificación empleada corresponde a la clasificación propuesta por Hutchinson (1988). Esta clasificación también fue utilizada para la creación del inventario del año 2014. Los elementos fotointerpretados fueron pasados al formato digital, con base en los rasgos morfológicos visibles en la topografía y con ayuda del modelo digital de terreno, todo ello dentro del SIG Arc GIS 9.3. La comprobación de los distintos deslizamientos registrados, se realizó en las diferentes visitas al área de estudio.

2.3.2. Inventario de deslizamientos 2014.

Para obtener el inventario del año 2014 se usó de imagen Landsat 8 y se hicieron observaciones de campo en el año 2012 y 2014 que permitieron identificar, georeferenciar y caracterizar movimientos de ladera que fueron incorporados al inventario. El trabajo de

campo consistió en el levantamiento de información en 51 puntos de verificación en el arroyo principal y 36 en un arroyo secundario. En estas salidas a campo se generó una base de puntos de los sitios visitados, con ayuda de un GPS. Para cada punto se registraron el tipo de proceso, su posición y la información que describe las condiciones físicas del entorno de cada punto que se registró. Durante los recorridos se tomaron fotografías digitales para ilustrar los deslizamientos y los tipos de vegetación.

Los datos del GPS se exportaron al software Arc GIS 9.3 dónde se creó un archivo vectorial con los puntos visitados para ubicar los deslizamientos y se generó un nuevo archivo vectorial en dónde se digitalizaron los polígonos de los deslizamientos, a los que se les digitalizaron 3 secciones, la cabecera, zona de evacuación y depósito, información que constituye el mapa del inventario de deslizamientos. Además se incluyeron deslizamientos que se detectaron directamente en la imagen satelital.

2.3.3 Evaluación de los cambios entre los inventarios de deslizamientos los años 1983 y 2014.

Para evaluar la dinámica de cambio entre el inventario de deslizamientos del año 1983 y el inventario de 2014, se sobrepusieron las capas vectoriales y se utilizó la herramienta intersección del software Arc Gis 9.3 para cruzar la información y obtener los nuevos deslizamientos y el aumento de área de algunos otros en formato vectorial.

2.4 Evaluación de la relación entre el cambio de la cubierta de uso del suelo y vegetación y el cambio de deslizamientos entre 1983 y 2014.

Para conocer si existe alguna relación entre la presencia de deslizamientos y la ausencia de cubierta de uso y vegetación, se sobrepusieron los mapas de los diferentes años a fin de observar el número de deslizamientos y el tipo dentro de cada categoría de cubierta de uso y vegetación.

Capítulo 3. Resultados, discusión y conclusiones: cambios de cubierta de uso del suelo y de vegetación y deslizamientos entre 1983-2014 y su relación.

Los mapas obtenidos de cubiertas del suelo para 1983 y 2014 y sus cambios, así como también los mapas de inventario de deslizamientos para 1983 y 2014 y sus cambios, han sido elaborados a escala 1:10,000, pero debido a sus dimensiones (150 cm de ancho por 70 cm de alto) se han incluido en esta tesis como archivos pdf en el disco anexo.

3.1 Resultados del cambio de cubierta de uso de suelo y vegetación entre 1983 y 2014.

Los cambios en la cubierta y uso se pueden observar en la tabla 3, la cual muestra el cambio en km² e indica el cambio en porcentajes. La tendencia general es una disminución en las cubiertas naturales.

Tabla 3. Cambio de cubierta de uso y vegetación entre 1983 y 2014. Se incluye el número de deslizamientos por cada categoría.

Leyenda	1983 (km ²)	%	No. de deslizamientos	2014 (km ²)	%	No. de deslizamientos	Cambio	%
Agrícola	11.27	40.07	19	11.34	40.33	22	0.07	0.26
Asentamiento humano	0.10	0.37	0	0.29	1.02	0	0.18	0.64
Erial	0.22	0.78	1	0.91	3.24	2	0.69	2.41
Forestal fragmentado	5.44	19.34	4	1.76	6.27	33	-3.68	-12.86
Forestal denso	6.58	23.40	86	1.68	5.99	----	-4.90	-17.14
Forestal semidenso	1.24	4.40	5	11.57	41.16	101	10.34	36.17
Otros usos no forestales	2.06	7.33	0	0.40	1.41	0	-1.66	-5.82
Páramo de altura	1.21	4.30	0	0.62	2.20	0	-0.59	-2.06

Por ejemplo en 1983 la zona forestal semidenso cubre 1.24 km² con una presencia de sólo 5 deslizamientos, pero para 2014 su área se incrementó a 11.57km² y el número de deslizamientos se elevó a 101.

Tabla 4. Matriz de transición de la cobertura y uso de suelo 1983-2014 (km²).

		Año 2014								
Tipo de cobertura		Agricultura	Asentamiento humano	Erial	Forestal denso	Forestal semidenso	Forestal fragmentado	Otros usos no forestales	Paramo de altura	Total
Año 1983	Agricultura	8.49	0.20	0.12	0.03	2.33	0.08	0.01	0	11.26
	Asentamiento humano	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
	Erial	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.22
	Forestal denso	0.16	0.00	0.04	0.91	4.79	0.59	0.08	0.01	6.58
	Forestal semidenso	0.01	0.00	0.00	0.04	0.31	0.76	0.10	0.01	1.24
	Forestal fragmentado	1.34	0.00	0.01	0.63	3.40	0.07	0.00	0.00	5.44
	Otros usos no forestales	1.10	0.00	0.02	0.06	0.49	0.18	0.20	0.00	2.06
	Páramo de altura	0.00	0.00	0.47	0	0.14	0.02	0.00	0.58	1.21
	Total	11.34	0.29	0.91	1.68	11.57	1.76	0.40	0.62	0.40*

*Exactitud global del 40%, es decir el 60% de la cubierta vegetal y de uso del suelo cambió.

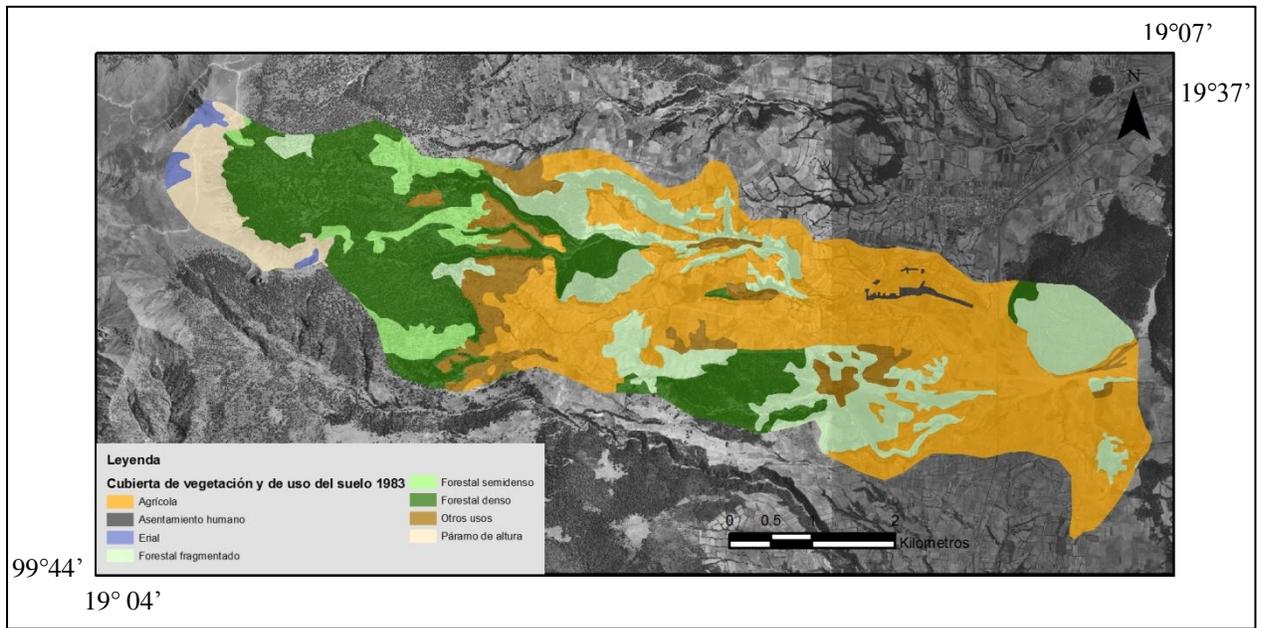


Figura 14. Mapa de la cubierta de vegetación y de uso del suelo en el año 1983. Se observa que en el área predomina el uso forestal y bosque denso junto con el área agrícola.

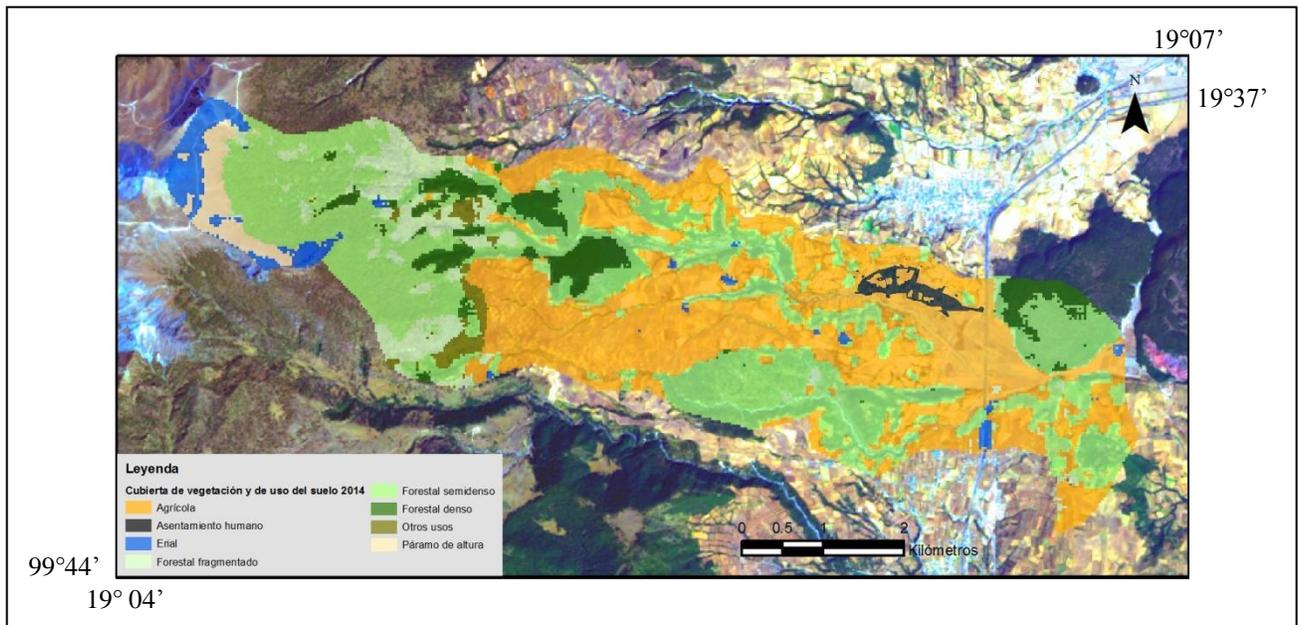


Figura 15. Mapa de la cubierta de vegetación y de uso del suelo en el año 2014. Se observa que en el área predomina el uso forestal bosque semidenso junto con el área agrícola.

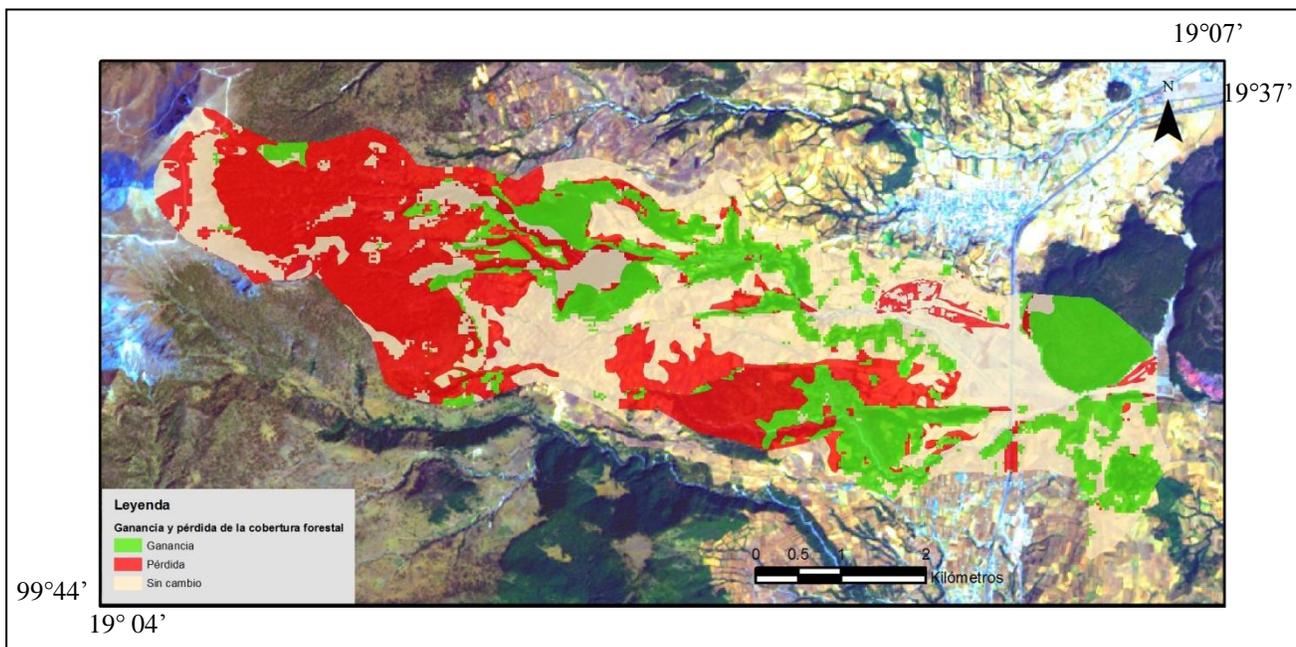


Figura 16. Mapa de ganancias y pérdidas de cobertura forestal. Se mantiene sin cambios 10.9 km², se han perdido 9.8 km² y se ha ganado 7.2 km².

3.2 Resultados del cambio entre los inventarios de deslizamientos de 1983 y 2014.

En total se inventariaron en la zona 114 deslizamientos en el año 1983 y 154 deslizamientos en el año 2014, tabla 5 (ver anexo, inventario de los deslizamientos en la Cuenca La Ciénega del año 1983 y 2014). La distribución de los deslizamientos no es uniforme, existen zonas con alta densidad de deslizamientos y zonas con baja o nula presencia de éstos. La zona donde se concentra un gran número de deslizamientos es en la zona de entre 3,200 a 3,900 m s.n.m. El resto de deslizamientos se encuentran en zonas sin un rango específico de elevación, localizados sobre las laderas de los valles producto de la erosión de los arroyos y por la creación de caminos figura 17 y 18.

En la tabla 5 se muestran los cambios de deslizamientos entre las diferentes fechas, por ejemplo, se observa un aumento en la cantidad de deslizamientos en 1983 hubieron 59 deslizamientos de escombros pero en el año 2014 aumentó a 73, siendo el tipo de deslizamiento más frecuente, pues en 1983 ocupa el 51.75% y en 2014 continua siendo el predominante con el 47.40% del total de deslizamientos.

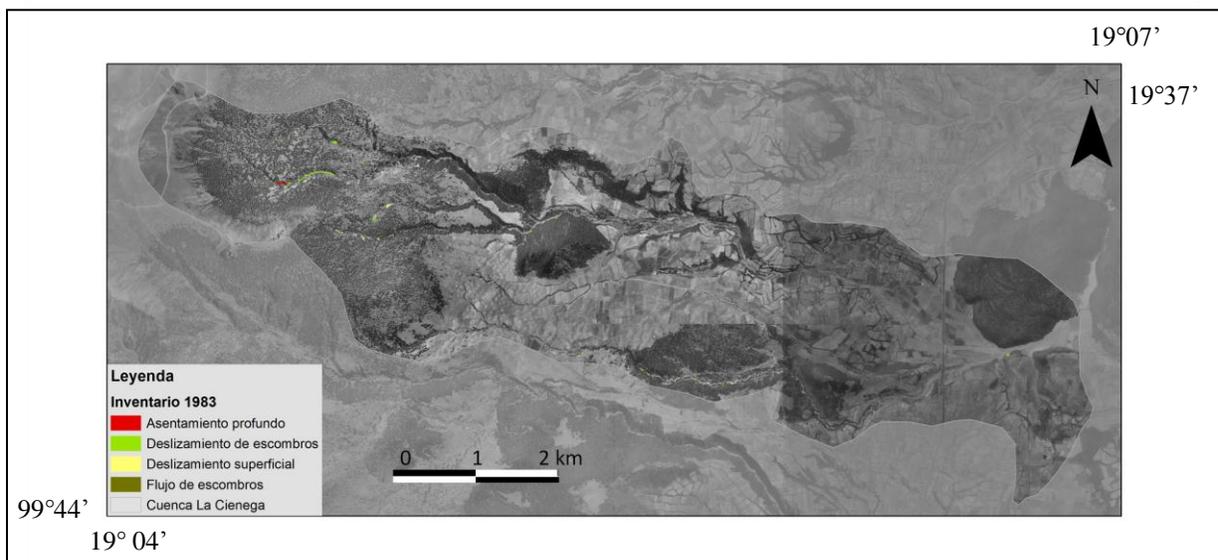


Figura 17 . Localización de los deslizamientos registrados en el inventario correspondiente al año 1983

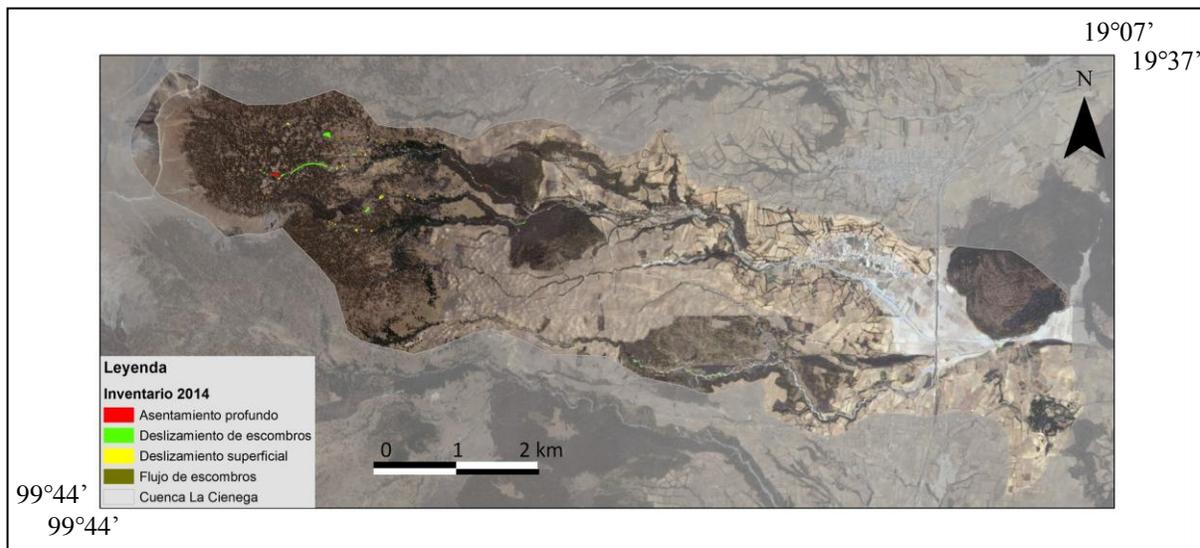


Figura 18 . Localización de los deslizamientos registrados en el inventario correspondiente al año 2014.

Tabla 5. Muestra información recabada del inventario de deslizamientos del año 1983 y 2014 tal como los tipos de deslizamientos registrados, la cantidad y el área en m².

Tipología	1983			2014		
	Número de deslizamientos	Área en m ²	% Respecto al total de deslizamientos	Número de deslizamientos	Área en m ²	% Respecto al total de deslizamientos
Asentamiento profundo	4	2,507.00	3.51	5	3,395.65	3.25
Flujo de escombros	22	2,473.76	19.30	37	4,857.00	24.03
Deslizamiento de escombros	59	16,372.07	51.75	73	22,833.00	47.40
Deslizamientos superficial	29	4,816.00	25.44	39	7,208.50	25.32
Total	114	2,6169.00	100.00	154	38,296.00	100

Esta relación de cantidad por número de deslizamientos puede resultar engañosa si no se contrasta con las dimensiones que tienen cada uno de estos en realidad. Por ejemplo aunque deslizamientos de asentamiento profundo tiene un conteo de 4 casos en 1983 y 5 casos en 2014, este tipo es la expresión más impresionante de los deslizamientos, debido a sus dimensiones. En 1983 el de mayor área fue 2,221.5 m² y en 2014 es 2,874.3 m². Por

otro lado el deslizamiento con menor área es del tipo deslizamiento de escombros, el más frecuente, pero con 5 m² de área.

En la tabla 6 se muestra intervalos del área por año de los deslizamientos, y se puede observar que del año 1983 a 2014 hubo un aumento, debido a la expansión de algunos y a la formación de unos nuevos. El área de mayor frecuencia oscila entre 0 y 150 m².

Tabla 6. Rangos de área de los deslizamientos en general por año.

	1983	2014
Rango (m ²)	Número de casos	Número de casos
0-50	41	52
0-100	26	27
100-150	13	20
150-200	6	13
200-250	7	7
250-300	7	7
300-400	4	9
400-600	2	6
600-1000	3	4
1000-2000	3	3
1000-6000	2	3

Una vez teniendo el inventario de deslizamientos por año, se realizó el cruce de información para obtener los cambios sucedidos entre 1983 y 2014.

En la figura 19 se muestra la sobreposición de los inventarios de deslizamientos realizados para cada año. En general se observa un aumento de área de algunos deslizamientos así como la formación de nuevos.

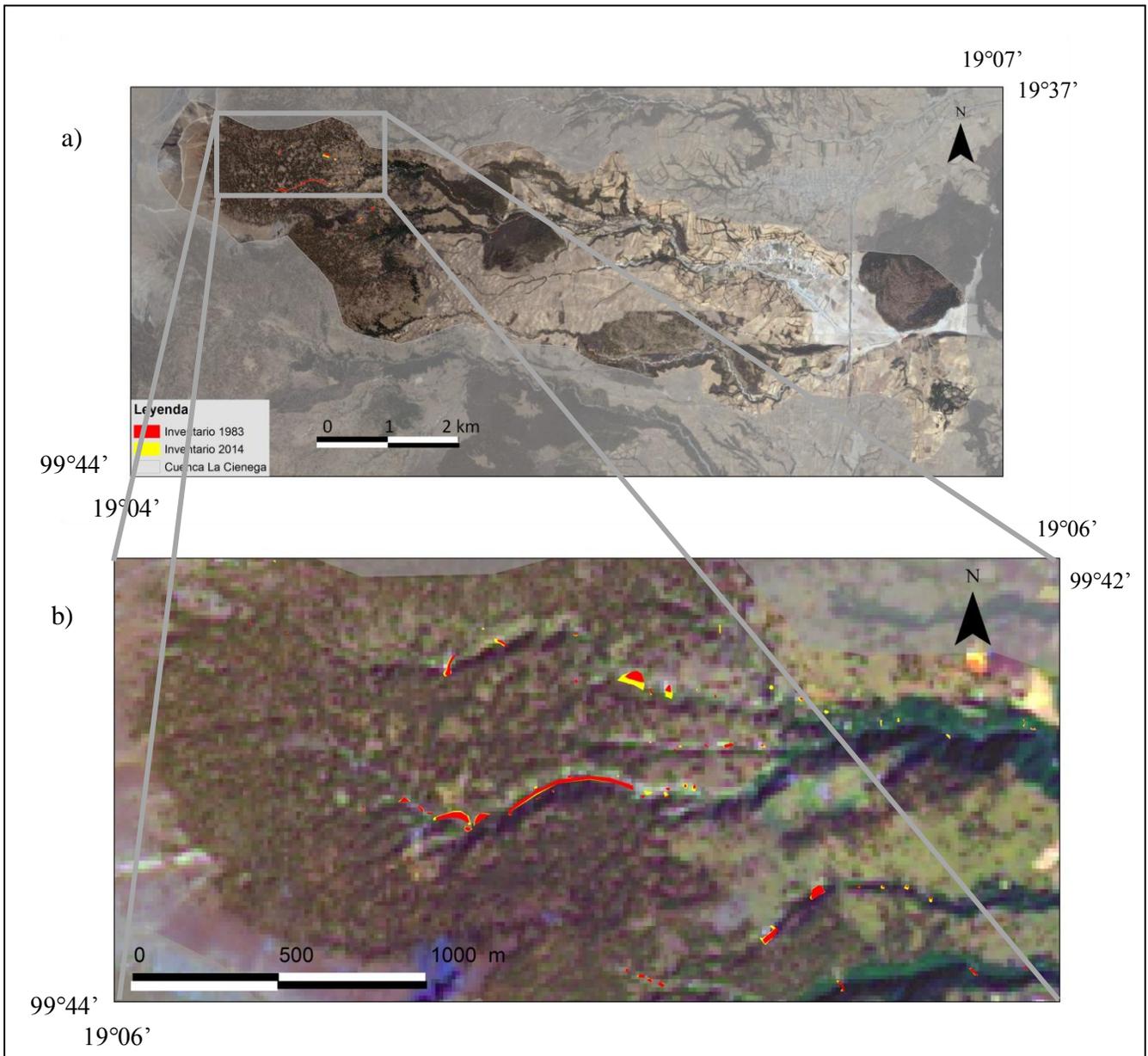


Figura 19. a) Mapa a escala 1:40,000 de comparación entre el inventario de deslizamientos de 1983 y 2014. b) Visualización a escala 1:10,000, se observa el aumento de área de los deslizamientos.

En la tabla 7 se muestran los cambios observados entre el inventario de deslizamientos del año 1983 y 2014.

Tabla 7. Casos de cambio entre el inventario de deslizamientos del año 1983 y 2014.

Tipo de deslizamiento	No. de casos de cambio	Tipo de cambio
Asentamiento profundo	4	Aumento de área
	1	Se formó recientemente
Deslizamiento superficial	29	Aumento de área
	6	Se formaron recientemente
	1	Flujo de escombros
	1	Deslizamiento de escombros
Flujos de escombros	14	Aumento de área
	5	Se formaron recientemente
Deslizamiento de escombros	42	Aumento de área
	4	Se formaron recientemente

3.3 Resultados de la relación entre la cubierta de vegetación y de uso del suelo con los deslizamientos entre el año 1983 y 2014.

Para conocer si existe alguna relación entre el cambio de coberturas y uso de suelo y la incidencia de deslizamientos, se hizo una sobreposición por año de esta información. Lo que generó información por unidad de cobertura y uso de suelo, la cantidad y tipo de deslizamientos asociados a esa unidad en particular.

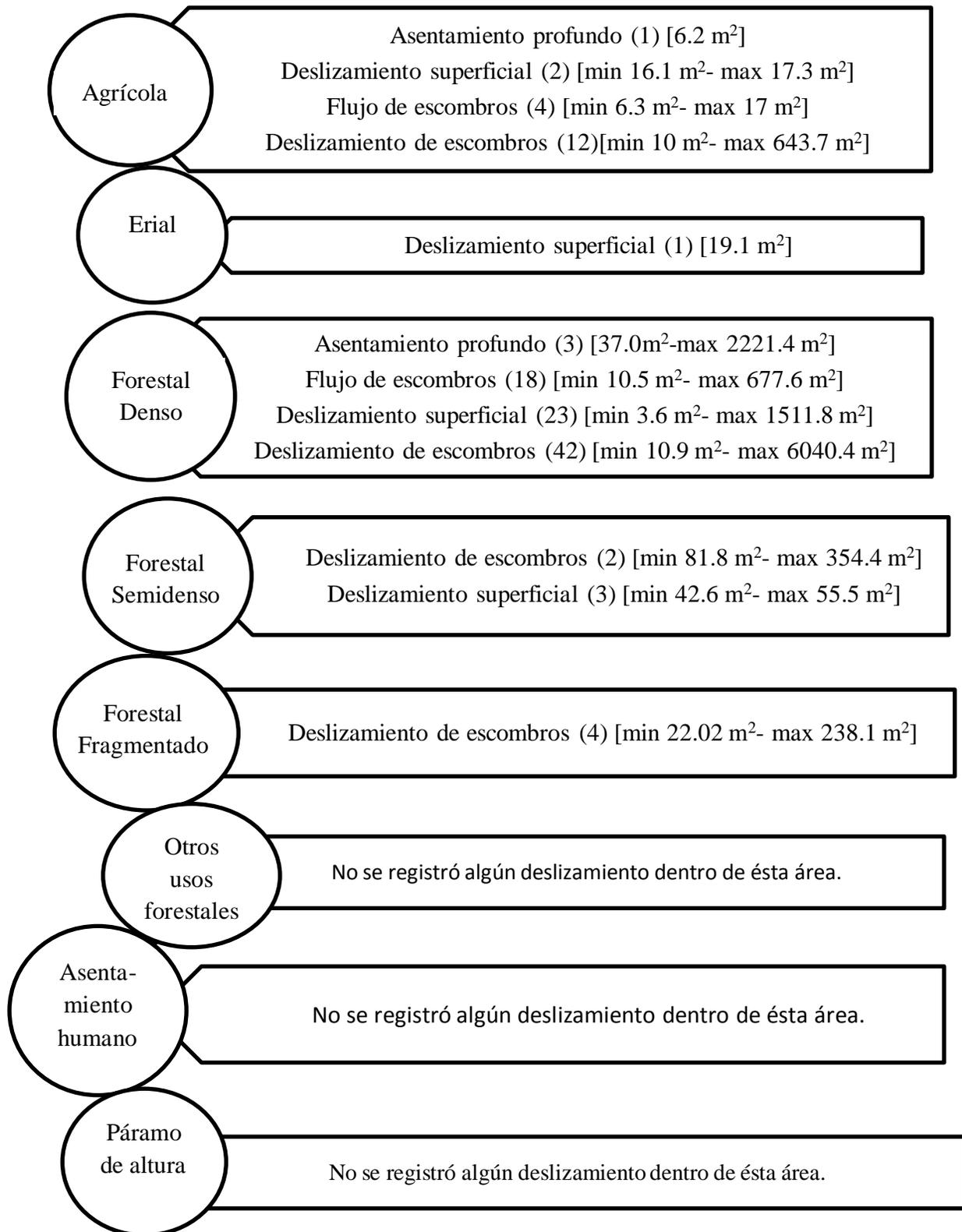


Figura 20. En función de la categoría de cubierta de vegetación y uso de suelo, año 1983, se muestran los deslizamientos identificados además se muestra el área mínima y máxima de ellos.

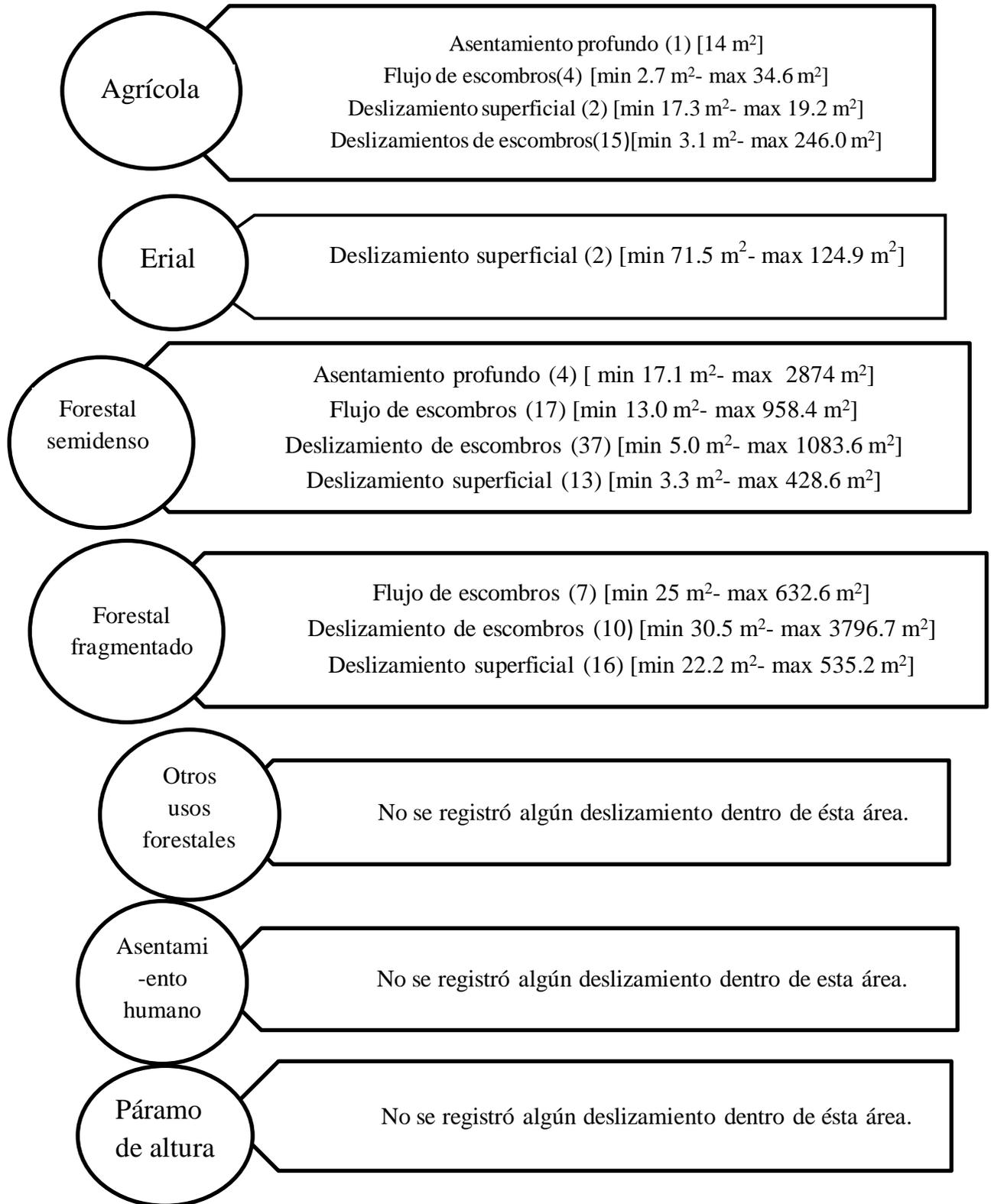


Figura 21. En función de la categoría de cobertura y uso de suelo, año 2014, se muestran los deslizamientos identificados además se muestra el área mínima y máxima de ellos.

Se observa un cambio importante entre las categorías forestal denso, semidenso y fragmentado, aunado a esto se observa un cambio en la cantidad de deslizamientos concentrados en cada categoría de cubierta (tabla 3). Es notable que la categoría forestal semidenso para el año 2014 ha aumentado su área en un 36.17%, para el mismo año la categoría con mayor reducción es forestal denso, con un decremento del 7.14% y cambia en su mayoría a forestal semidenso (tabla 3). En forestal fragmentado se observa un decremento del 12.86%, cambia principalmente a forestal semidenso también, hay una ganancia de vegetación. En cuanto a la cantidad de deslizamientos de acuerdo con la categoría se observa que en 1983 dentro de la categoría forestal semidenso hay 5 deslizamientos, forestal denso 86 y fragmentado 4, pero en el año 2014 hay 101 deslizamientos en forestal semidenso, sin presencia en forestal denso y 33 en forestal fragmentado, esto está asociado a que entre 1984 y 2014 hay un cambio importante entre las siguientes categorías porque de forestal denso y de forestal fragmentado cambia a forestal semidenso. Forestal semidenso es la categoría con mayor cambio de cubierta y con mayor aumento en número de deslizamientos, entre las demás categorías, por lo tanto entre mayor intensidad en el cambio de cubierta vegetal y uso de suelo mayor número de deslizamientos.

La categoría agrícola muestra un ligero incremento de área, aumentó 0.26% entre 1983 y 2014. Dentro de esta categoría en 1983 habían 19 deslizamientos y para el 2014 esta cifra aumentó a 22 deslizamientos, se formaron 3 deslizamientos nuevos. La categoría asentamiento humano incrementó el doble de su área, en 1983 ocupaba 0.1 km² y en 2014 ocupaba 0.29 km², indica un aumento considerable en la población. No hay presencia de deslizamientos dentro de esta categoría, ya que está localizada en el abanico aluvial, donde desemboca el arroyo La Ciénega (tabla 3).

La categoría otros usos no forestales, que incluye matorral y pastizal, muestra un decremento del 5.82%. Esta categoría se volvió un área agrícola en su mayoría, no hay presencia de deslizamientos. La categoría erial, muestra un aumento del 2.4% en su área, es decir mayor área desprovista de vegetación (tabla 3).

En el año 1983 predominan los deslizamientos de escombros con 59, y para el 2014 se mantiene este predominio con 73. El tipo menos frecuente es el asentamiento profundo,

en 1983 existían 4 y en 2014 se incrementó a 5. Cabe mencionar que aunque sólo se formó uno el área afectada por deslizamientos aumentó (tabla 5).

Los tipos flujo de escombros y deslizamiento superficial aumentaron en cantidad y en área: 1983 habían 22 y 29 respectivamente y en el 2014 se presentan 37 flujos de escombros y 39 deslizamientos superficiales, mientras que el área del tipo flujo de escombros aumentó el doble (de 2,473.76 m² a 4,857 m²) y del tipo deslizamiento superficial aumentó un 66% (tabla 5). El rango de área en el que se encuentran la mayoría de los deslizamientos para 1983 y 2014 es de 0 a 150m² (tabla 6).

En general, los cambios ocurridos entre 1983 y 2014, son principalmente el aumento de área entre los deslizamientos. En segundo lugar, es la formación de nuevos deslizamientos. Por ejemplo se formó 1 asentamiento profundo, se formaron 6 deslizamientos superficiales, 5 flujos de escombros y 4 deslizamientos de escombros. Y sólo se presentó un caso en donde se ha formado un nuevo deslizamiento sobre uno ya existente. Este deslizamiento de flujo de escombros se formó en el 2014 sobre un deslizamiento superficial ya existente en 1983 (tabla 7).

El desarrollo de esta investigación permitió conocer con mayor detalle la cubierta vegetal y usos de suelo de la cuenca La Cienega, en el costado este del VNT, y cambios sucedidos entre 1983 y 2014. Además permitió conocer los tipos de deslizamientos presentes en los años de este estudio e identificar los cambios ocurridos entre ambas fechas. Al realizar el cruce entre información de cobertura y uso de suelo e inventario de deslizamientos por año, se ha generado información acerca de la relación que existe entre estos dos eventos.

Un estudio de cambios permite conocer la dinámica que ha tenido un territorio, ya que es a partir de éste que se puede conocer, en el caso de cubierta de uso de suelo y vegetación, la pérdida de vegetación, el deterioro ambiental y el grado de explotación que se ha realizado sobre la superficie, mientras que el caso de deslizamientos, se puede conocer si se han formado deslizamientos nuevos o aumentado de área, y a su vez saber que hay mayor cantidad de material no consolidado, que puede ser arrastrado pendiente abajo, generando situaciones de peligro para los habitantes de la zona.

Anexo a. Cartografía e imagen de satélite utilizada en el estudio.

NOMBRE	CLAVE	TEMA	FUENTE	AÑO	ESCALA
Volcán Nevado de Toluca	E14A47	Carta Topográfica, Carta Uso de suelo, Carta Edafológica	INEGI	1976	1:50,000
Tenango de Arista	E14A48	Carta Topográfica Carta Uso de suelo, Carta Edafológica	INEGI	1976	1:50,000
Climas	----	Carta Estatal de Climas	INEGI	2001	1: 400,000
Hidrología superficial	----	Carta Estatal de Hidrología superficial	INEGI	2001	1: 400,000
Mapa Geológico del Nevado de Toluca y áreas cercanas.	----	Mapa Geológico	García-Palomo <i>et al.</i>	2000	Croquis presentado en el artículo.
Mapa Geomorfológico	----	Mapa Geomorfológico	Aceves	1997	Croquis presentado en el artículo.
Imagen satelital	----	Imagen	USGS	2014	----

Anexo b. Características de la imagen satelital Landsat 8.

Procesamiento:	Nivel 1 T-Corrección geométrica
Tamaño de píxel:	Bandas OLI multiespectrales 1-7,9: 30-metros Bnda OLI pancromática 8: 15-metros Bandas TIRS 10-11: tomadas en 100 metros, pero remuestreadas a 30 metros para que coincida con las bandas multiespectrales de OLI
Características de los datos:	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de datos GeoTIFF • Remuestreo por convolución cúbica (CC) • Norte arriba (MAP) de orientación • Proyección cartográfica: Universal Transversal Mercator (UTM) (estereográfica polar de la Antártida). • Datum al Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84. • 12 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global

	para OLI. • 41 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para TIRS • Los valores de píxel en 16 bits
Entrega de datos:	Archivo comprimido .Tar.gz y de descarga a través de HTTP
Tamaño de archivo:	Aproximadamente 1 GB (comprimido), aproximadamente 2 GB (sin comprimir)

Anexo c. Fotografías aéreas utilizadas en el estudio.

NO. DE FOTO	FUENTE	ZONA	ESCALA	FECHA	LÍNEA
004	INEGI	E14A-47	1:37,000	Dic. 83	317
006	INEGI	E14A-47	1:37,000	Dic. 83	318
007	INEGI	E14A-47	1:37,000	Dic. 83	318
008	INEGI	E14A-47	1:37,000	Dic. 83	318
004	INEGI	E14A-48	1:37,000	Dic. 83	319
006	INEGI	E14A-48	1:37,000	Dic. 83	319
007	INEGI	E14A-48	1:37,000	Dic. 83	319

Bibliografía.

- Aceves, J. F. (1997). Geología y geomorfología del Volcán Nevado de Toluca. Tesis de Maestría en Ciencias (Geología). Ciudad de México: UNAM.
- Aceves, J. F., y Martínez, V. M. (2012). Gravitational processes in the eastern flank of the Nevado de Toluca, México. Proceedings of the 10th Anniversary of ICL, (pág. 7). Kyoto.
- Blommfield, K. (1974). Reconocimiento geológico en el Nevado de Toluca, México. Instituto de Geología, UNAM. Serie de divulgación, 2:38-42.
- Bloomffield, K. (1975). Late-Quaternary monogenetic volcano field in Central México. Geological Rundschau, 64:476-497.
- Bloomfield, K. and Valastro, S. (1977). Late Quaternary tephrochronology of Nevado de Toluca, central México. Institute of Geological Sciences, Overseas geology and Mineral Resources, 1-15.
- Bocco, G. y M. Mendoza. (1999). Evaluación de los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo en Michoacán (1975-1995). Lineamientos para la ordenación ecológica de su territorio. Informe Técnico. Proyecto No. 9606042. Programa SIMORELOS – CONACYT. Departamento de Ecología de los Recursos Naturales. Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia. 58 p.
- Caballero, L., y Capra, L. (2011). Textural analysis of particles from El Zaguán debris avalanche deposit, Nevado de Toluca volcano, México: Evidence of flow behavior during emplacement. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 200: 75-82.
- Campos T.M.P. Andrade M.H.N. Vargas Jr E.A. (1991). Unsaturated Colluvium over rock slide in a forested site in Rio de Janeiro, Brazil. Proceedings of the sixth international symposium on Landslides, New Zealand.
- CENAPRED. (2001a). Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de gobernación, México.
- CENAPRED. (2001b). Inestabilidad de laderas. Segunda edición. Serie fascículos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaría de gobernación, México.
- CENAPRED. (2001c). Las cenizas volcánicas del Popocatepetl y sus efectos para la aeronavegación en infraestructura aeroportuaria. Instituto de Geofísica, UNAM, Mexico.
- Chuvieco, E., (2008). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel. Barcelona, España.
- Congalton, R.G. and Green K., (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Lewis Publisher, Boca Raton, Florida. 137 p.

- Cruden D.M. (1991). A simple definition of a landslide. *IAEG Bull.*, 43, 27-29.
- Cruden, D. M. and Varnes D.J. (1996). Landslide types and processes; In A. K. Turner y R.L. Schuster (Editores); *Landslides; Investigation and mitigation*, Transportation Research Board; Special Report 247; National Academy Press; Washington D.C.; pp. 36-75.
- Deagostini Routin, D. (1984). *Introducción a la Fotogrametría*. Centro Interamericano de Fotointerpretación. Bogotá, Colombia: 267 p.
- Demant, A. (1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problema de interpretación. *Revista Instituto de Geología*, 2: 172-178.
- Espinosa Rodríguez, L. M. (2003). Elementos geomorfológico-cuantitativos del piedemonte nororiental del volcán Nevado de Toluca. *Ciencia Ergo Sum*. Universidad Autónoma del Estado de México., 10(2): 187.195.
- Flores Olvera, P. (2002). *Geomorfología de la Cuenca de Tenango y áreas adyacentes, Estado de México*. Ciudad de México: Tesis de Maestría en Geografía, UNAM.
- Franco M, S. Regil G, C. González, E. y Nava, B. (2006a). Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el periodo 1972-2000. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM., 61:38-57.
- Franco M., S. Regil G. H. H., y Ordóñez D. J. A. (2006b). Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera y Bosques* 12(1), 17-28.
- Galicia L., García-Romero A., Gómez-Mendoza L. y Ramírez M. (2007). La degradación de los recursos forestales en México. Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Academia Mexicana de Ciencias*. Vol. 58. Num. 4.
- García-Palomo, A., Macías, J. L., Arce, J. L., Capra, L., Garduño, V. H., and Espíndola, J. M. (2002). *Geology of Nevado de Toluca Volcano and surrounding areas, central México*. Geological Society of America.
- García-Palomo, A., Macías, J., and Garduño, V. (2000). Miocene to Recent structural evolution of the Nevado de Toluca volcano region, Central México. *Tectonophysics*, 318: 281-302.
- Glade, T., and Crozier, M. J. (2004). The Nature of Landslide Hazard Impact. En T. Glade, M. Anderson, & M. J. Crozier, *Landslide Hazard and Risk* (págs. 43-74). England: John Wiley and Sons.
- Gómez-Baggethun, E., & De Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Revista Científica y Técnica Ecología y Medio Ambiente*, Ecosistemas España 16 (3): 4-14.

- Gray D. and Leiser A. (1982). *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*. Malabar. Krieger Publishing Company.
- HHutchinson, J. N. 1988. General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides* (Ed: Bonnard, C.), Vol. 1, pp 3-35. Rotterdam: Balkema
- INEGI, (1921). Censo general de habitantes. Estado de México.
- INEGI. (1976a). Carta Edafológica. Volcán Nevado de Toluca. E14A47. Escala 1:50,000.
- INEGI. (1976b). Carta Edafológica. Tenango. E14A48. Escala 1:50,000.
- INEGI. (2001). *Síntesis de Información Geográfica del Estado de México*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México
- INEGI. (2009). *Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación: Escala 1:250,000. Serie III*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI. (2010). XIII Censo General de Población y Vivienda. (2010). Estado de México, resultados por localidad, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- Jansen, Louisa J.M. and Di Gregorio, Antonio. (2002). Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 91, Issues 1–3, September 2002, Pages 89–100.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Helmut, J. G., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, PS, Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, PS. Richards, J. F., Skånes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, A. T., Vogel, C., Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 261-269.
- Legorreta Paulín, G.; Bursik, M.; Ramírez-Herrera, M. T.; Contreras, T.; Polenz, M.; Lugo Hubp, J.; Paredes Mejía, L. M.; Arana Salinas, L. (2013). Landslide inventory mapping and landslide susceptibility modeling assessment on the SW flank of Pico de Orizaba volcano, Puebla-Veracruz, Mexico. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Volume 57, Number 3, September 2013, pp. 371-385(15).
- Legorreta Paulín, G.; Bursik M.; Pouget S.; Lugo Hubp J.; Paredes Mejía, L. M. y Aceves Quesada F. (2014). Inventario multitemporal, análisis de susceptibilidad y estimación de volumen de deslizamientos en el flanco SW del volcán Pico de Orizaba, Puebla-Veracruz. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen 66. Número 2, p. 343-354.
- León P. J. D. (2001). *Estudio y control de erosión hídrica*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.
- Ludlow, B. (2004). *El Holoceno en la ciénega de Almoloya, Estado de México, una reconstrucción ambiental*. Ciudad de México.: Tesis de Doctorado en Ciencias, UNAM, 105 pp.

- Mas, J., Velázquez, A., Días-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., Pérez-Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nation wide multivariate spatial database for México. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(4), 249-261.
- Masera, O. (1996). Deforestación y degradación forestal en México. Cuaderno de Trabajo 19, GIRA, A.C. México.
- McGrew J. Chapman y Monroe Charles B. (2000). *An Introduction to statistical problem solving in geography*. Second edition. McGraw-Hill. United States of America. 254 p.
- Miranda, F., y Hernández-X. (1963). Los tipos de Vegetación de México y su clasificación. Ciudad de México.: *Bol. Soc. Bot. Mex.* 28:24-179.
- Mölders Nicole. (2012). *Land-Use and Land-Cover Changes. Impact on Climate and Air Quality*. Springer. EUA. 189pp.
- Norini, G., Gropelli, G., Capra, L., and De Beni, E. (2004). Morphological analysis of Nevado de Toluca Volcano (México): new insights into the structure and evolution of an andesitic to dacitic stratovolcano. *Geomorphology*.
- Norris Joanne E, Stokes Alexia, Mickovski Slobodan B., Cammeraat Erik, Van Beek Rens, Nicoll Bruce C y Achim Alexis. (2008). *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. Springer. Dordrecht, The Netherlands.
- Palacio P., J. L. (1988). Destrucción de tierras en el flanco oriental del Nevado de Toluca, el caso de la cuenca del Arroyo El Zaguán. *Boletín Instituto de Geografía UNAM.*, 18: 7-29.
- Peña Villada, E. (2006). Análisis de vulnerabilidad social a inundaciones en la Cuenca La Ciénega, parte alta de la Cuenca del Río Lerma. Ciudad de México: Tesis de Maestría, UNAM.
- Ramírez Ramírez, María Isabel. (2001). Cambios en las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México, 1971-1994-2000. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, núm. 45, agosto, pp 39-55.
- Sánchez, J., Bocco, G., Fuentes, J. y Velázquez A. (2003). Análisis de cobertura y uso del terreno en el contexto de su dinámica-temporal. En Velázquez, A.; Torres, A. y Bocco, G. las enseñanzas de San Juan. *Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*. (pág. 595). Ciudad de México.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sassa, K., Fukuoka, H., and Wang, G. (2007). *Progress in Landslide Science*. New York: Springer.
- Selby, M. J. (1993). *Hillslope Materials and Processes*. England: 2nd ed. Oxford University Press.
- Sinun, W., and Douglas, I. (1998). Impact of conversion of upland forest to tourism and agricultural land uses in the Gunung Kinabalu Highlands, Sabah, Malaysia. En J. Kalvoda, & C. Rosenfeld, *Geomorphological Hazard in High Mountain areas*. (págs. 121-131). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- SMN. (2014). Sistema Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/>
- Suárez Díaz, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia.: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Toscana Aparicio, A., y Valdéz Pérez, V. (2013). Representaciones sociales del desastre de 1940 en Santa Cruz Pueblo Nuevo, Estado de México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
- USGS, (2014). Landsat 8. Obtenido en sitio web: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>. Accesado en junio 2014.
- Van Westen C. (2014). Introducción a los deslizamientos. Tipos y causas. . International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Biblioteca Médica Nacional. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/unesco/Amenazas/Presentaciones%20Powerpoint/04%20Amenaza%20por%20Deslizamientos/Amenaza%20por%20Deslizamientos.PDF>. .Accesado en septiembre 2014.
- Varnes D.J. (1978). Slope movements, type and processes. In: Schuster R.L. & Krizek R.J. (Eds.), Landslides analysis and control. Washington Transportation Research Board, Special Report 176. National Academy of Sciences , WA , 11-33.
- Vela, L., Boyás, J., Hernández, A., Mancera, A., y Rodríguez, A. (1976). El Nevado de Toluca. *Ciencia Forestal*, 1: 53-61.
- Verma, S.P. (1987): Mexican Volcanic belt: Present state of knowledge and unsolved problems. *Geofísica Internacional* 26: 309–340.
- Verstappen, H. TH., 1977. The use of Aerial Photographs in Geomorphological Mapping. ITC Text Book VII-5, Enschede, The Netherlands: 177 pp.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., and Melillo, J. M. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277, 494-499.
- Zonneveld, I.S., (1979). Land Evaluation and Land(Scape) Science. Lectures of Land(Scape) Science, Land(Scape) Survey and Land Evaluation (Pragmatic Land Classification). Textbook VII.4. ITC. Enschede, the Netherlands: 134 p.
- Zúñiga, S. S. (2006). Diagnóstico del estudio de la vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México. Ciudad de México.: Tesis de Licenciatura en Biología, UNAM.65 pp.

Anexo. Inventario de deslizamientos de la Cuenca La Ciénega. Ver mapa cambio en el inventario de deslizamientos 1983-2014.

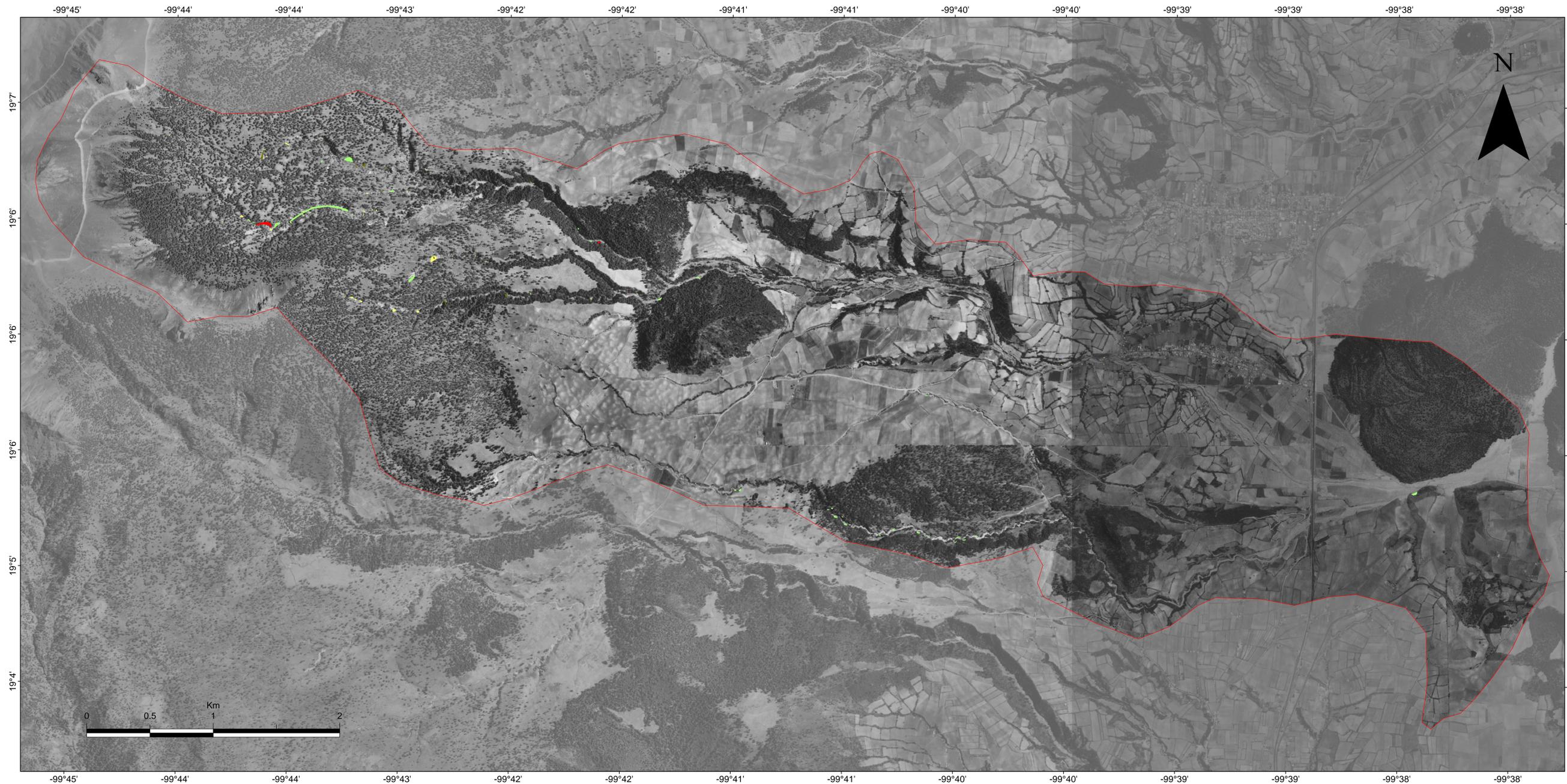
No.	Tipo	X	Y	Area (m)
1	Flujo de escombros	426365.59	2112671.15	149.08
2	Deslizamiento de escombros	426333.33	2112706.74	37.26
3	Flujo de escombros	424342.29	2113402.87	295.11
4	Flujo de escombros	424345.77	2113381.97	632.68
5	Flujo de escombros	424277.29	2113392.48	129.14
6	Deslizamiento de escombros	424447.67	2113399.29	30.59
7	Flujo de escombros	424515.38	2113375.02	57.68
8	Deslizamiento de escombros	424004.04	2113429.96	103.90
9	Deslizamiento de escombros	424001.58	2113600.52	103.80
10	Flujo de escombros	424532.04	2113624.32	139.65
11	Deslizamiento superficial	424590.28	2113679.03	55.95
12	Deslizamiento superficial	424720.63	2113407.45	176.34
13	Deslizamiento superficial	423662.63	2113622.77	51.69
14	Deslizamiento superficial	423709.44	2113579.47	125.98
15	Deslizamiento superficial	423729.83	2113571.40	428.63
16	Deslizamiento superficial	424386.76	2113190.85	63.76
17	Deslizamiento de escombros	424276.42	2113206.06	37.58
18	Deslizamiento superficial	424690.28	2113191.79	153.43
19	Flujo de escombros	424198.75	2113427.32	116.04
20	Deslizamiento superficial	424237.09	2113442.77	155.75
21	Deslizamiento superficial	424336.89	2113006.89	71.54
22	Deslizamiento superficial	424332.93	2113016.86	187.20
23	Deslizamiento superficial	424436.73	2113038.44	322.42
24	Deslizamiento superficial	424404.82	2113047.58	254.68
25	Deslizamiento de escombros	424265.66	2113015.97	67.57
26	Deslizamiento de escombros	424267.60	2113022.72	225.56
27	Deslizamiento superficial	424922.17	2113317.78	170.94
28	Deslizamiento de escombros	424829.37	2113364.74	201.96
29	Flujo de escombros	425123.60	2113278.15	115.25
30	Deslizamiento de escombros	425370.55	2113228.97	138.40
31	Deslizamiento superficial	425186.86	2113288.13	96.77
32	Deslizamiento de escombros	425681.14	2113256.12	126.85
33	Deslizamiento de escombros	425129.53	2112675.65	147.52
34	Deslizamiento superficial	425305.44	2112630.03	184.90
35	Deslizamiento superficial	425217.59	2112675.61	224.17
36	Deslizamiento de escombros	424200.56	2113046.58	224.72
37	Deslizamiento de escombros	423979.94	2113074.39	205.49

38	Deslizamiento superficial	424158.25	2113082.56	36.41
39	Flujo de escombros	423855.64	2113040.35	82.06
40	Flujo de escombros	423862.75	2113032.07	167.94
41	Deslizamiento superficial	422898.40	2113869.79	44.30
42	Deslizamiento de escombros	423468.31	2112946.40	122.17
43	Deslizamiento de escombros	426498.08	2112377.02	84.43
44	Flujo de escombros	426999.79	2112518.18	94.55
45	Deslizamiento de escombros	428116.50	2110603.08	86.52
46	Deslizamiento de escombros	428412.14	2110456.94	124.27
47	Flujo de escombros	428350.74	2110461.03	25.27
48	Deslizamiento de escombros	425891.99	2113035.30	33.30
49	Deslizamiento de escombros	426203.31	2112809.83	202.76
50	Asentamiento profundo	426196.28	2112788.09	420.79
51	Deslizamiento de escombros	426133.13	2112797.02	157.09
52	Deslizamiento de escombros	426076.83	2112835.23	26.13
53	Deslizamiento de escombros	426037.36	2112899.31	344.43
54	Deslizamiento de escombros	426132.87	2112347.05	18.08
55	Deslizamiento de escombros	426138.10	2112334.30	105.17
56	Deslizamiento de escombros	426361.17	2112387.81	58.37
57	Asentamiento profundo	426341.06	2112409.41	17.13
58	Asentamiento profundo	426431.32	2112376.06	69.36
59	Deslizamiento de escombros	426674.35	2112335.26	450.12
60	Deslizamiento de escombros	427452.68	2112490.54	40.14
61	Asentamiento profundo	427966.53	2112284.30	14.03
62	Deslizamiento de escombros	430183.65	2111868.83	70.84
63	Deslizamiento superficial	422681.23	2112767.60	22.30
64	Deslizamiento superficial	423222.69	2112968.79	44.04
65	Deslizamiento de escombros	423226.17	2112952.46	44.93
66	Deslizamiento superficial	423374.30	2112994.61	387.58
67	Deslizamiento de escombros	423434.58	2112963.26	254.89
68	Asentamiento profundo	423559.29	2112935.26	2874.36
69	Deslizamiento superficial	423607.41	2112888.73	339.19
70	Deslizamiento de escombros	423652.50	2112929.42	1083.67
71	Flujo de escombros	423652.87	2112930.09	43.85
72	Deslizamiento superficial	423763.05	2112944.14	106.80
73	Deslizamiento de escombros	423865.42	2113001.49	72.78
74	Deslizamiento de escombros	423918.49	2113026.94	65.26
75	Deslizamiento de escombros	424249.53	2113007.71	100.41
76	Deslizamiento de escombros	423982.49	2113043.26	6641.67
77	Deslizamiento superficial	430411.87	2111779.47	19.26
78	Deslizamiento superficial	430109.98	2112183.06	17.32

79	Deslizamiento de escombros	432636.50	2110773.63	70.82
80	Deslizamiento de escombros	432636.17	2110784.97	643.80
81	Deslizamiento de escombros	431226.59	2110295.99	16.55
82	Deslizamiento de escombros	429848.40	2111814.65	73.12
83	Flujo de escombros	429392.82	2111940.22	2.71
84	Deslizamiento de escombros	429387.10	2111931.98	3.10
85	Deslizamiento de escombros	429296.94	2110430.78	25.82
86	Deslizamiento de escombros	429175.80	2110450.25	243.50
87	Deslizamiento de escombros	429079.87	2110418.99	253.44
88	Deslizamiento de escombros	429031.08	2110437.04	337.13
89	Deslizamiento de escombros	429008.74	2110400.30	175.74
90	Deslizamiento de escombros	428837.74	2110434.42	57.49
91	Deslizamiento de escombros	428802.96	2110448.89	75.50
92	Deslizamiento de escombros	428715.64	2110477.91	409.98
93	Deslizamiento de escombros	428767.93	2110451.72	72.96
94	Deslizamiento de escombros	429651.92	2110595.74	55.34
95	Flujo de escombros	428787.72	2111587.19	34.70
96	Deslizamiento de escombros	428782.51	2111567.13	135.33
97	Deslizamiento de escombros	428932.30	2111678.75	12.72
98	Deslizamiento de escombros	428924.93	2111683.35	13.71
99	Deslizamiento de escombros	429234.54	2111458.78	18.81
100	Deslizamiento de escombros	429629.23	2111276.96	10.16
101	Deslizamiento superficial	422806.26	2113641.25	44.53
102	Deslizamiento superficial	422943.23	2113606.54	38.43
103	Deslizamiento superficial	422942.55	2113610.01	4.56
104	Deslizamiento superficial	422804.44	2113644.92	5.79
105	Deslizamiento superficial	422956.38	2113603.77	4.08
106	Deslizamiento superficial	423040.23	2113568.44	3.36
107	Deslizamiento superficial	423050.10	2113564.63	5.31
108	Flujo de escombros	424274.26	2113406.49	13.51
109	Flujo de escombros	424532.53	2113607.99	25.05
110	Flujo de escombros	423539.17	2113488.62	958.48
111	Flujo de escombros	423529.85	2113455.78	247.85
112	Flujo de escombros	424482.34	2113192.82	88.72
113	Deslizamiento de escombros	424563.62	2113195.30	401.53
114	Deslizamiento superficial	424342.75	2113035.03	124.99
115	Flujo de escombros	425649.19	2113275.74	127.52
116	Deslizamiento superficial	424888.04	2112658.28	1683.21
117	Flujo de escombros	424891.64	2112665.90	320.09
118	Deslizamiento de escombros	424714.37	2112498.29	1675.77
119	Flujo de escombros	424976.09	2112318.01	289.33

120	Flujo de escombros	424983.33	2112295.95	68.40
121	Deslizamiento de escombros	426978.59	2112504.59	320.12
122	Flujo de escombros	425473.78	2112354.44	42.41
123	Flujo de escombros	425461.24	2112367.19	294.66
124	Flujo de escombros	427105.46	2112573.96	27.57
125	Flujo de escombros	427107.89	2112584.67	16.12
126	Deslizamiento de escombros	426958.16	2110865.66	47.04
127	Flujo de escombros	426920.99	2110851.96	9.80
128	Deslizamiento de escombros	427271.90	2110815.39	153.36
129	Deslizamiento de escombros	427309.81	2110815.50	246.51
130	Deslizamiento de escombros	427106.02	2110814.78	9.13
131	Deslizamiento de escombros	427107.20	2110817.55	43.97
132	Deslizamiento de escombros	427312.73	2110807.39	21.65
133	Deslizamiento de escombros	428034.11	2110670.55	171.60
134	Deslizamiento de escombros	428002.38	2110659.74	64.04
135	Deslizamiento de escombros	428063.06	2110603.57	626.75
136	Deslizamiento de escombros	428139.74	2110543.20	358.52
137	Flujo de escombros	428178.68	2110550.94	11.84
138	Flujo de escombros	428213.39	2110518.41	18.83
139	Flujo de escombros	428200.19	2110518.63	10.55
140	Flujo de escombros	428274.54	2110533.30	47.41
141	Flujo de escombros	428440.89	2110455.79	28.26
142	Deslizamiento de escombros	428521.13	2110504.24	181.81
143	Deslizamiento superficial	424765.84	2112235.57	322.98
144	Deslizamiento superficial	424577.49	2112245.34	535.25
145	Flujo de escombros	424191.11	2112372.12	110.39
146	Deslizamiento superficial	424274.46	2112335.33	167.39
147	Deslizamiento superficial	424316.86	2112319.10	246.00
148	Deslizamiento superficial	424243.30	2112349.64	281.27
149	Deslizamiento de escombros	425655.00	2112380.19	88.15
150	Flujo de escombros	427112.95	2113113.48	8.01
151	Flujo de escombros	427120.35	2113117.63	6.39
152	Deslizamiento de escombros	427018.55	2113115.33	5.00
153	Deslizamiento de escombros	425041.98	2112677.97	78.18
154	Deslizamiento de escombros	424214.59	2113437.08	3796.71

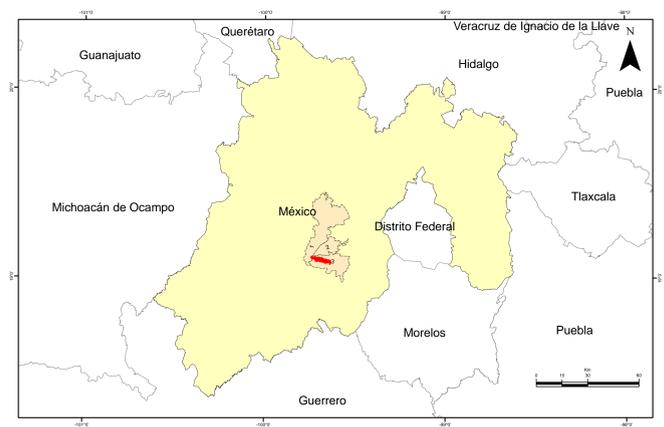
Inventario de deslizamientos 1983



Leyenda

Inventario de deslizamientos 1983

- Asentamiento profundo
- Deslizamiento de escombros
- Deslizamiento superficial
- Flujo de escombros
- Cuenca La Ciénega



Ubicación de la zona de estudio

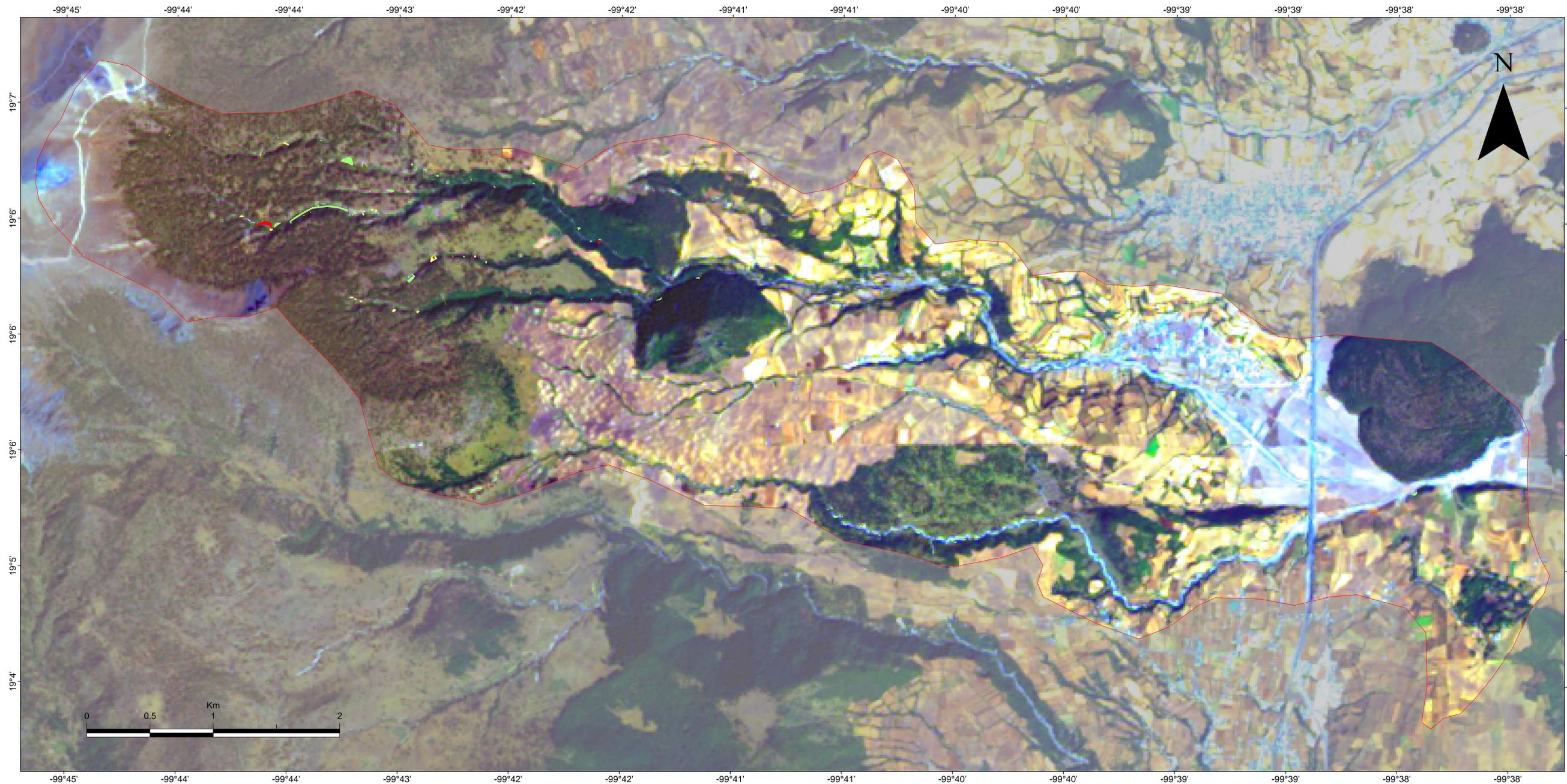
Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

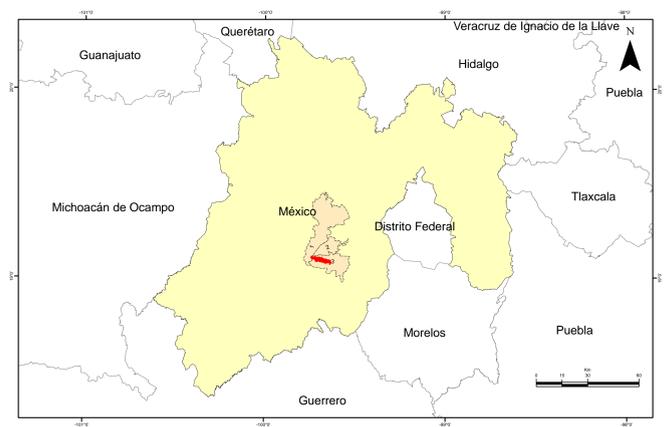
Inventario de deslizamientos 1983



Leyenda

Inventario de deslizamientos 2014

- Asentamiento profundo
- Deslizamiento de escombros
- Deslizamiento superficial
- Flujo de escombros
- Cuenca La Ciénega



Ubicación de la zona de estudio

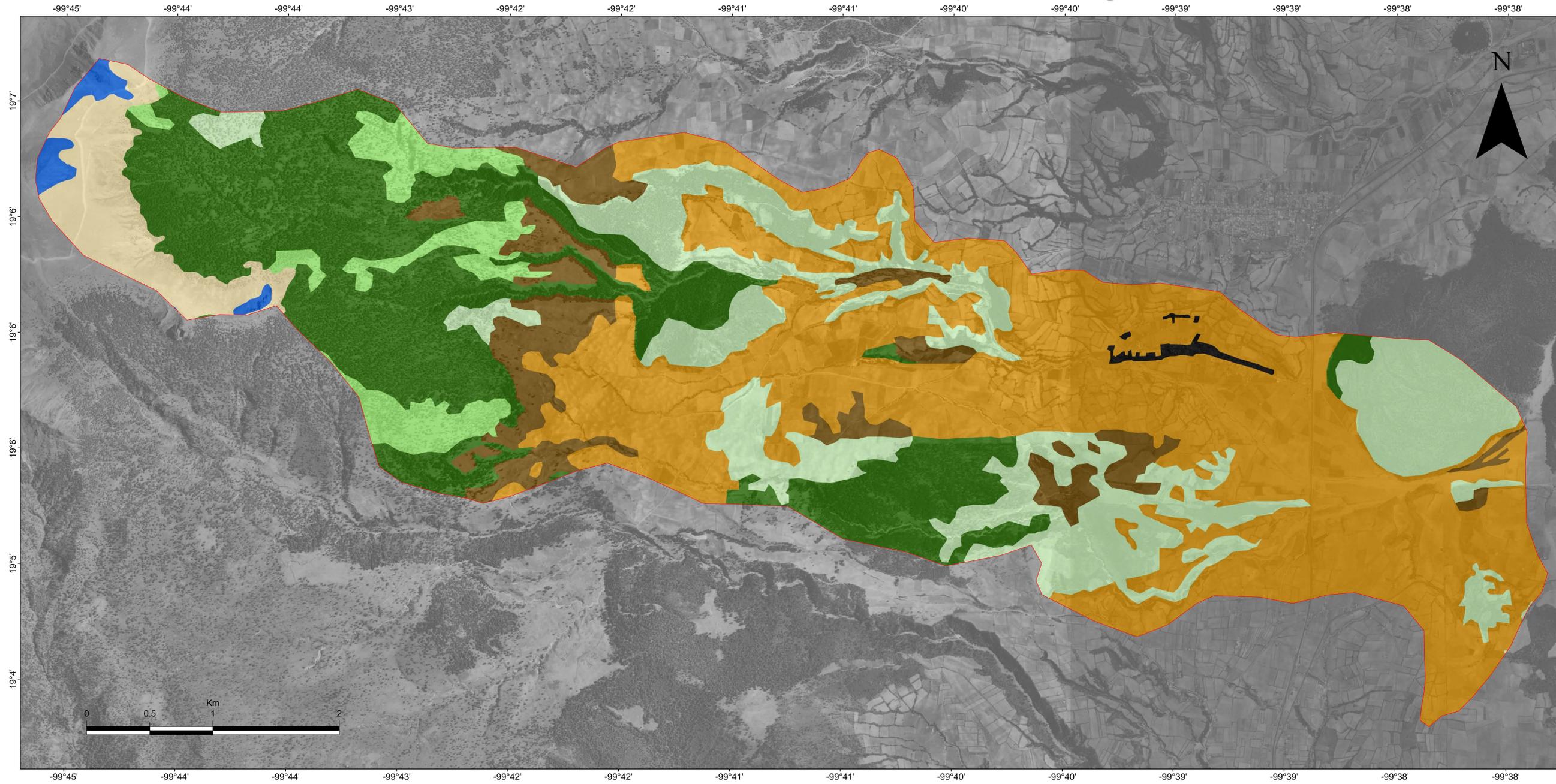
Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

Cubierta de uso del suelo y de vegetación 1983



Leyenda

- Cuenca La Ciénega
- Cubierta de uso y vegetación 1983**
- Agrícola
- Asentamiento humano
- Erial
- Forestal denso
- Forestal semidenso
- Forestal abierto
- Otros usos no forestales
- Páramo de altura



Ubicación de la zona de estudio

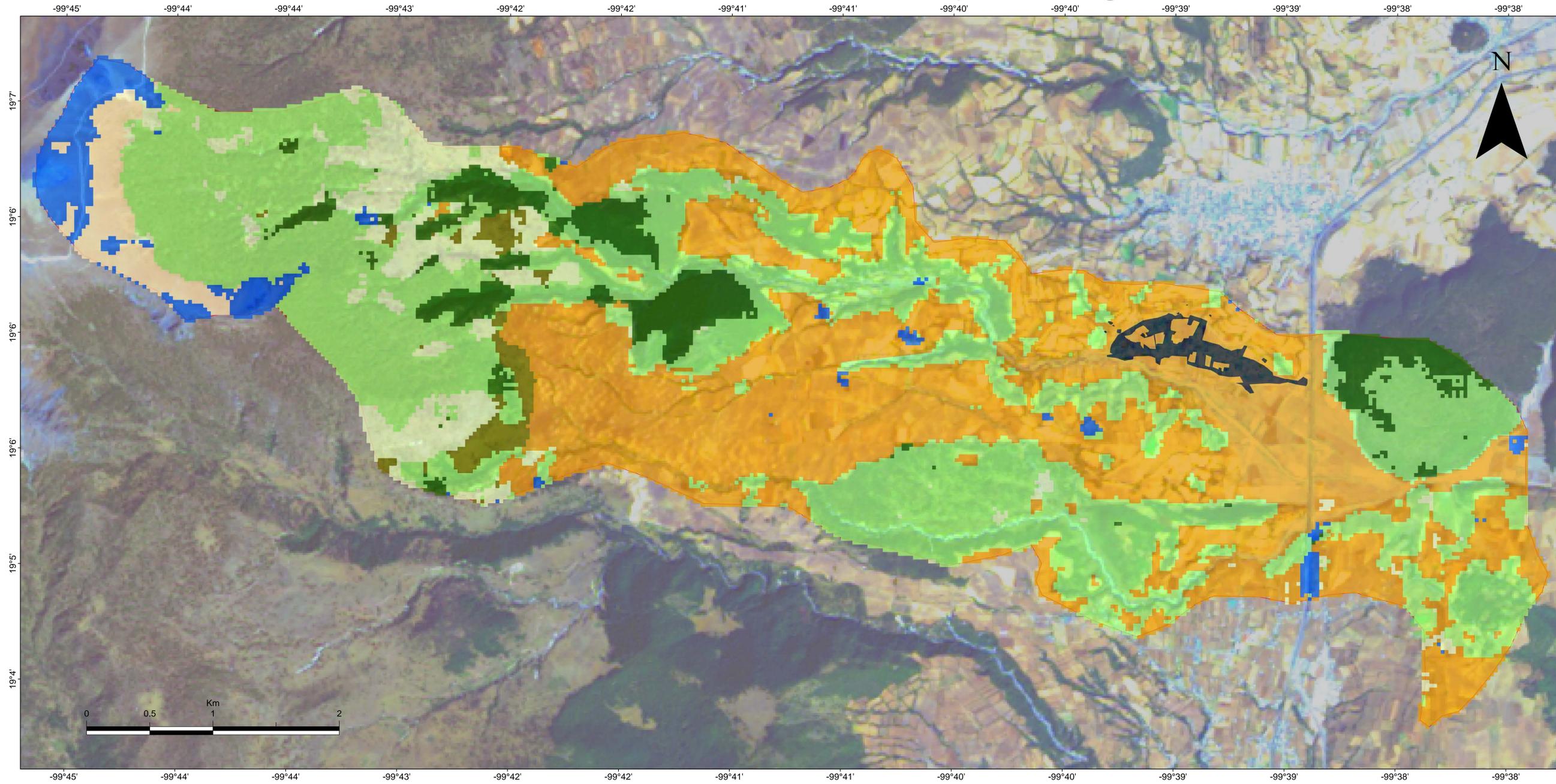
Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

Cubierta de uso del suelo y de vegetación 2014



Legenda

Cubierta de uso del suelo y vegetación 2014

- Agricultura
- Asentamiento humano
- Erial
- Forestal denso
- Forestal semidenso
- Forestal fragmentado
- Otros usos no forestales
- Paramo de altura
- Cuenca La Ciénega



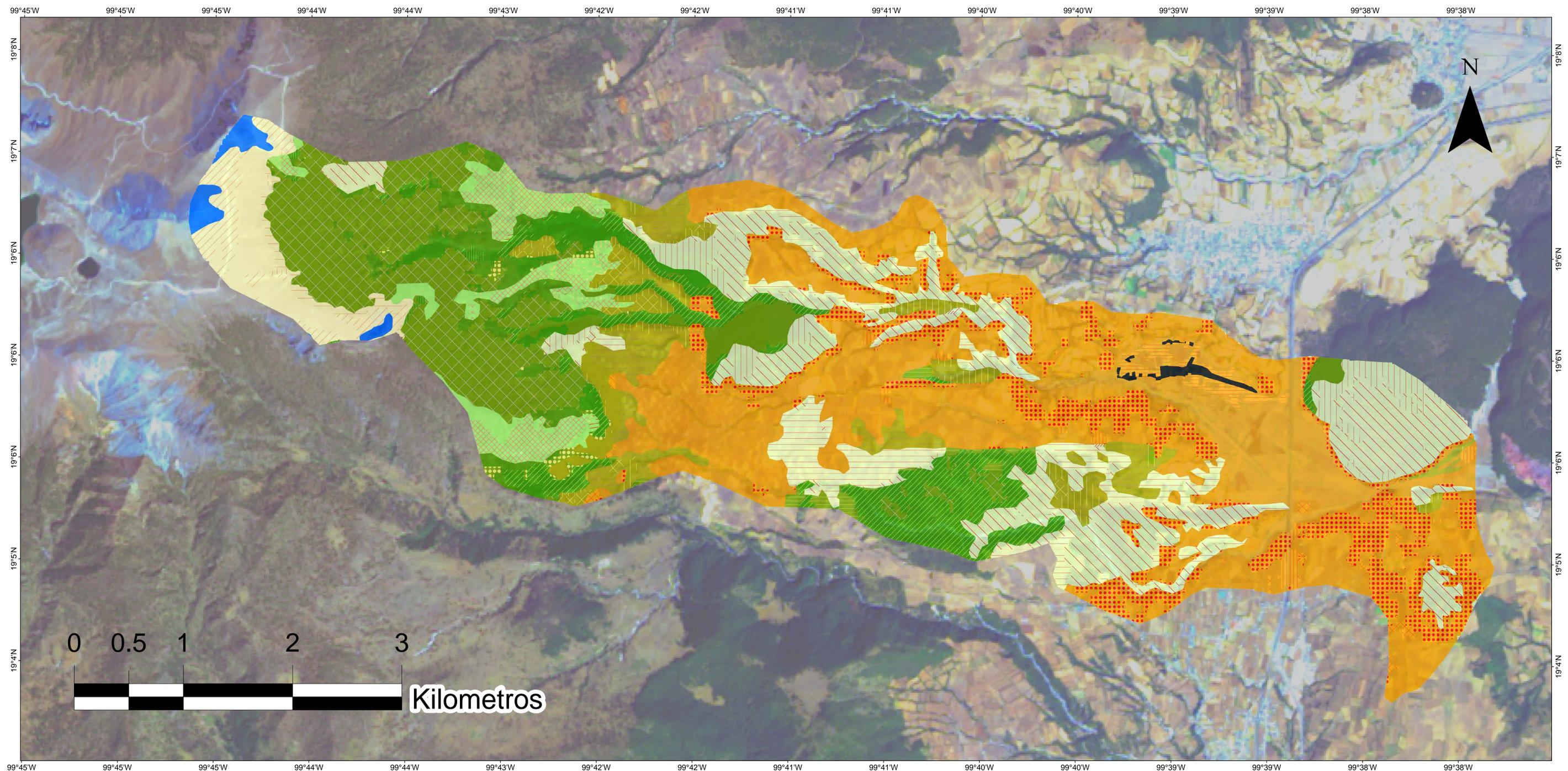
Ubicación de la zona de estudio

Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz



Cambio de cubierta de uso de suelo y de vegetación 1983-2014

Leyenda

Sin cambio

- Agrícola
- Asentamiento humano
- Erial
- Forestal denso
- Forestal semidenso
- Forestal fragmentado
- Otros usos no forestales
- Páramo de altura

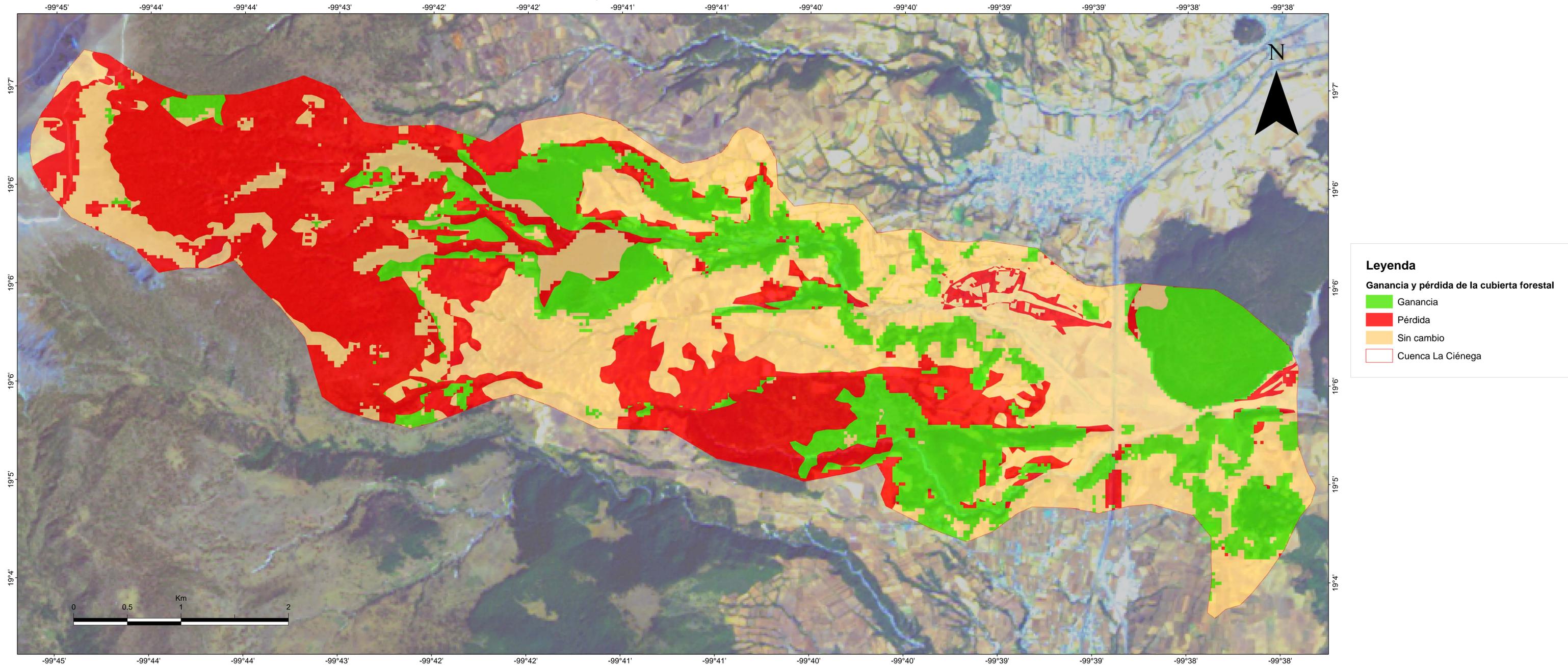
Cambio

- Agricultura a asentamiento humano
- Agricultura a erial

- Agricultura a forestal denso
- Agricultura a forestal fragmentado
- Agricultura a forestal semidenso
- Agricultura a otros usos forestales
- Forestal denso a agricultura
- Forestal denso a erial
- Forestal denso a forestal denso
- Forestal denso a forestal fragmentado
- Forestal denso a forestal semidenso
- Forestal denso a otros usos no forestales
- Forestal denso a páramo de altura
- Forestal fragmentado a agricultura
- Forestal fragmentado a erial
- Forestal fragmentado a forestal denso
- Forestal fragmentado a forestal semidenso
- Forestal fragmentado a otros usos no forestales
- Forestal semidenso a agricultura
- Forestal semidenso a erial
- Forestal semidenso a forestal denso
- Forestal semidenso a forestal fragmentado
- Forestal semidenso a forestal páramo de altura
- Forestal semidenso a forestal semidenso
- Forestal semidenso a otros usos no forestales
- Otros usos no forestales a agricultura
- Otros usos no forestales a erial
- Otros usos no forestales a forestal denso
- Otros usos no forestales a forestal fragmentado
- Otros usos no forestales a forestal semidenso
- Páramo de altura a erial
- Páramo de altura a forestal fragmentado
- Páramo de altura a forestal semidenso

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

Ganancia y pérdida de la cubierta forestal



Ubicación de la zona de estudio

Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

Anexo. Inventario de deslizamientos de la Cuenca La Ciénega. Ver mapa cambio en el inventario de deslizamientos 1983-2014.

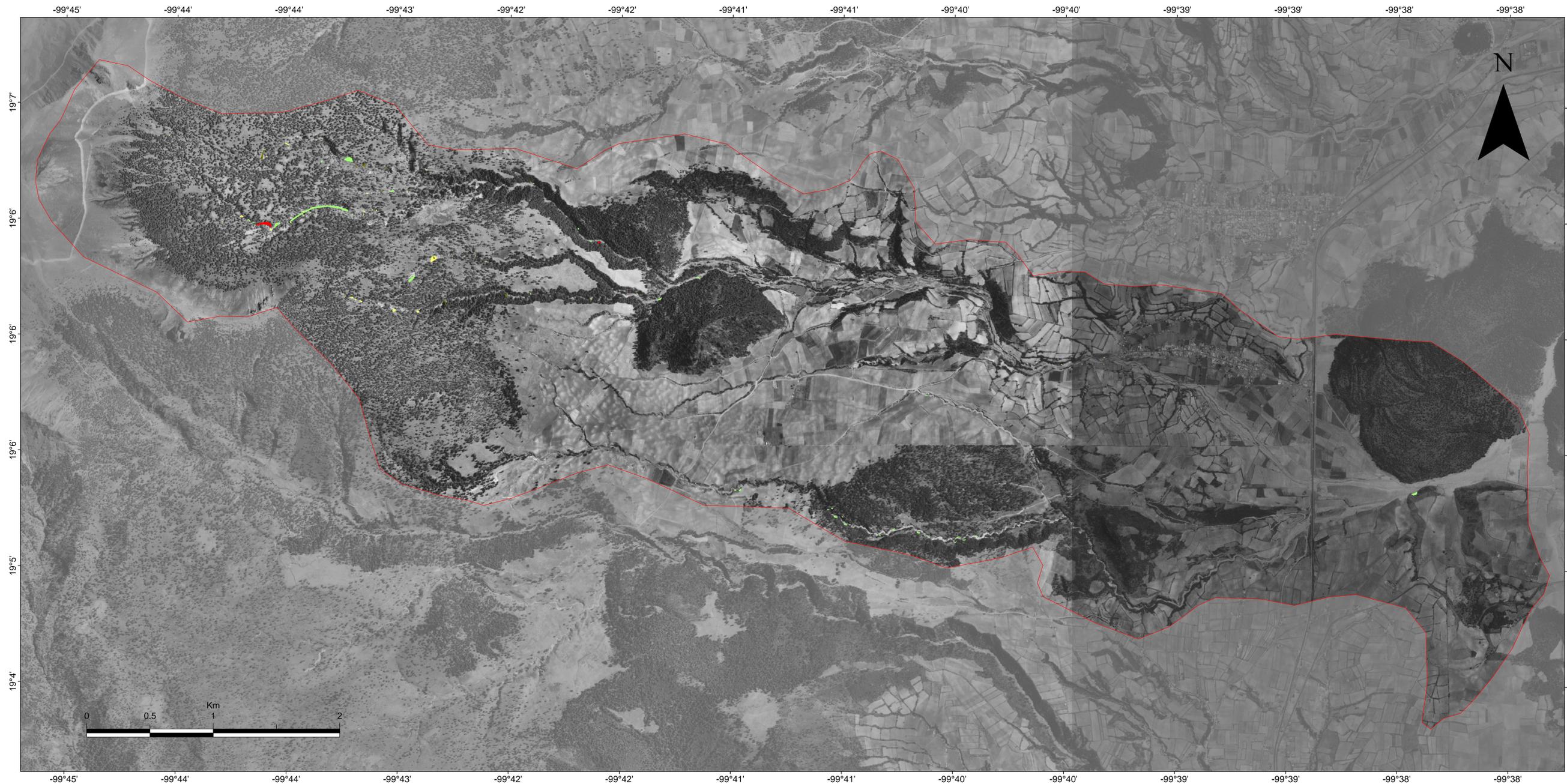
No.	Tipo	X	Y	Area (m)
1	Flujo de escombros	426365.59	2112671.15	149.08
2	Deslizamiento de escombros	426333.33	2112706.74	37.26
3	Flujo de escombros	424342.29	2113402.87	295.11
4	Flujo de escombros	424345.77	2113381.97	632.68
5	Flujo de escombros	424277.29	2113392.48	129.14
6	Deslizamiento de escombros	424447.67	2113399.29	30.59
7	Flujo de escombros	424515.38	2113375.02	57.68
8	Deslizamiento de escombros	424004.04	2113429.96	103.90
9	Deslizamiento de escombros	424001.58	2113600.52	103.80
10	Flujo de escombros	424532.04	2113624.32	139.65
11	Deslizamiento superficial	424590.28	2113679.03	55.95
12	Deslizamiento superficial	424720.63	2113407.45	176.34
13	Deslizamiento superficial	423662.63	2113622.77	51.69
14	Deslizamiento superficial	423709.44	2113579.47	125.98
15	Deslizamiento superficial	423729.83	2113571.40	428.63
16	Deslizamiento superficial	424386.76	2113190.85	63.76
17	Deslizamiento de escombros	424276.42	2113206.06	37.58
18	Deslizamiento superficial	424690.28	2113191.79	153.43
19	Flujo de escombros	424198.75	2113427.32	116.04
20	Deslizamiento superficial	424237.09	2113442.77	155.75
21	Deslizamiento superficial	424336.89	2113006.89	71.54
22	Deslizamiento superficial	424332.93	2113016.86	187.20
23	Deslizamiento superficial	424436.73	2113038.44	322.42
24	Deslizamiento superficial	424404.82	2113047.58	254.68
25	Deslizamiento de escombros	424265.66	2113015.97	67.57
26	Deslizamiento de escombros	424267.60	2113022.72	225.56
27	Deslizamiento superficial	424922.17	2113317.78	170.94
28	Deslizamiento de escombros	424829.37	2113364.74	201.96
29	Flujo de escombros	425123.60	2113278.15	115.25
30	Deslizamiento de escombros	425370.55	2113228.97	138.40
31	Deslizamiento superficial	425186.86	2113288.13	96.77
32	Deslizamiento de escombros	425681.14	2113256.12	126.85
33	Deslizamiento de escombros	425129.53	2112675.65	147.52
34	Deslizamiento superficial	425305.44	2112630.03	184.90
35	Deslizamiento superficial	425217.59	2112675.61	224.17
36	Deslizamiento de escombros	424200.56	2113046.58	224.72
37	Deslizamiento de escombros	423979.94	2113074.39	205.49

38	Deslizamiento superficial	424158.25	2113082.56	36.41
39	Flujo de escombros	423855.64	2113040.35	82.06
40	Flujo de escombros	423862.75	2113032.07	167.94
41	Deslizamiento superficial	422898.40	2113869.79	44.30
42	Deslizamiento de escombros	423468.31	2112946.40	122.17
43	Deslizamiento de escombros	426498.08	2112377.02	84.43
44	Flujo de escombros	426999.79	2112518.18	94.55
45	Deslizamiento de escombros	428116.50	2110603.08	86.52
46	Deslizamiento de escombros	428412.14	2110456.94	124.27
47	Flujo de escombros	428350.74	2110461.03	25.27
48	Deslizamiento de escombros	425891.99	2113035.30	33.30
49	Deslizamiento de escombros	426203.31	2112809.83	202.76
50	Asentamiento profundo	426196.28	2112788.09	420.79
51	Deslizamiento de escombros	426133.13	2112797.02	157.09
52	Deslizamiento de escombros	426076.83	2112835.23	26.13
53	Deslizamiento de escombros	426037.36	2112899.31	344.43
54	Deslizamiento de escombros	426132.87	2112347.05	18.08
55	Deslizamiento de escombros	426138.10	2112334.30	105.17
56	Deslizamiento de escombros	426361.17	2112387.81	58.37
57	Asentamiento profundo	426341.06	2112409.41	17.13
58	Asentamiento profundo	426431.32	2112376.06	69.36
59	Deslizamiento de escombros	426674.35	2112335.26	450.12
60	Deslizamiento de escombros	427452.68	2112490.54	40.14
61	Asentamiento profundo	427966.53	2112284.30	14.03
62	Deslizamiento de escombros	430183.65	2111868.83	70.84
63	Deslizamiento superficial	422681.23	2112767.60	22.30
64	Deslizamiento superficial	423222.69	2112968.79	44.04
65	Deslizamiento de escombros	423226.17	2112952.46	44.93
66	Deslizamiento superficial	423374.30	2112994.61	387.58
67	Deslizamiento de escombros	423434.58	2112963.26	254.89
68	Asentamiento profundo	423559.29	2112935.26	2874.36
69	Deslizamiento superficial	423607.41	2112888.73	339.19
70	Deslizamiento de escombros	423652.50	2112929.42	1083.67
71	Flujo de escombros	423652.87	2112930.09	43.85
72	Deslizamiento superficial	423763.05	2112944.14	106.80
73	Deslizamiento de escombros	423865.42	2113001.49	72.78
74	Deslizamiento de escombros	423918.49	2113026.94	65.26
75	Deslizamiento de escombros	424249.53	2113007.71	100.41
76	Deslizamiento de escombros	423982.49	2113043.26	6641.67
77	Deslizamiento superficial	430411.87	2111779.47	19.26
78	Deslizamiento superficial	430109.98	2112183.06	17.32

79	Deslizamiento de escombros	432636.50	2110773.63	70.82
80	Deslizamiento de escombros	432636.17	2110784.97	643.80
81	Deslizamiento de escombros	431226.59	2110295.99	16.55
82	Deslizamiento de escombros	429848.40	2111814.65	73.12
83	Flujo de escombros	429392.82	2111940.22	2.71
84	Deslizamiento de escombros	429387.10	2111931.98	3.10
85	Deslizamiento de escombros	429296.94	2110430.78	25.82
86	Deslizamiento de escombros	429175.80	2110450.25	243.50
87	Deslizamiento de escombros	429079.87	2110418.99	253.44
88	Deslizamiento de escombros	429031.08	2110437.04	337.13
89	Deslizamiento de escombros	429008.74	2110400.30	175.74
90	Deslizamiento de escombros	428837.74	2110434.42	57.49
91	Deslizamiento de escombros	428802.96	2110448.89	75.50
92	Deslizamiento de escombros	428715.64	2110477.91	409.98
93	Deslizamiento de escombros	428767.93	2110451.72	72.96
94	Deslizamiento de escombros	429651.92	2110595.74	55.34
95	Flujo de escombros	428787.72	2111587.19	34.70
96	Deslizamiento de escombros	428782.51	2111567.13	135.33
97	Deslizamiento de escombros	428932.30	2111678.75	12.72
98	Deslizamiento de escombros	428924.93	2111683.35	13.71
99	Deslizamiento de escombros	429234.54	2111458.78	18.81
100	Deslizamiento de escombros	429629.23	2111276.96	10.16
101	Deslizamiento superficial	422806.26	2113641.25	44.53
102	Deslizamiento superficial	422943.23	2113606.54	38.43
103	Deslizamiento superficial	422942.55	2113610.01	4.56
104	Deslizamiento superficial	422804.44	2113644.92	5.79
105	Deslizamiento superficial	422956.38	2113603.77	4.08
106	Deslizamiento superficial	423040.23	2113568.44	3.36
107	Deslizamiento superficial	423050.10	2113564.63	5.31
108	Flujo de escombros	424274.26	2113406.49	13.51
109	Flujo de escombros	424532.53	2113607.99	25.05
110	Flujo de escombros	423539.17	2113488.62	958.48
111	Flujo de escombros	423529.85	2113455.78	247.85
112	Flujo de escombros	424482.34	2113192.82	88.72
113	Deslizamiento de escombros	424563.62	2113195.30	401.53
114	Deslizamiento superficial	424342.75	2113035.03	124.99
115	Flujo de escombros	425649.19	2113275.74	127.52
116	Deslizamiento superficial	424888.04	2112658.28	1683.21
117	Flujo de escombros	424891.64	2112665.90	320.09
118	Deslizamiento de escombros	424714.37	2112498.29	1675.77
119	Flujo de escombros	424976.09	2112318.01	289.33

120	Flujo de escombros	424983.33	2112295.95	68.40
121	Deslizamiento de escombros	426978.59	2112504.59	320.12
122	Flujo de escombros	425473.78	2112354.44	42.41
123	Flujo de escombros	425461.24	2112367.19	294.66
124	Flujo de escombros	427105.46	2112573.96	27.57
125	Flujo de escombros	427107.89	2112584.67	16.12
126	Deslizamiento de escombros	426958.16	2110865.66	47.04
127	Flujo de escombros	426920.99	2110851.96	9.80
128	Deslizamiento de escombros	427271.90	2110815.39	153.36
129	Deslizamiento de escombros	427309.81	2110815.50	246.51
130	Deslizamiento de escombros	427106.02	2110814.78	9.13
131	Deslizamiento de escombros	427107.20	2110817.55	43.97
132	Deslizamiento de escombros	427312.73	2110807.39	21.65
133	Deslizamiento de escombros	428034.11	2110670.55	171.60
134	Deslizamiento de escombros	428002.38	2110659.74	64.04
135	Deslizamiento de escombros	428063.06	2110603.57	626.75
136	Deslizamiento de escombros	428139.74	2110543.20	358.52
137	Flujo de escombros	428178.68	2110550.94	11.84
138	Flujo de escombros	428213.39	2110518.41	18.83
139	Flujo de escombros	428200.19	2110518.63	10.55
140	Flujo de escombros	428274.54	2110533.30	47.41
141	Flujo de escombros	428440.89	2110455.79	28.26
142	Deslizamiento de escombros	428521.13	2110504.24	181.81
143	Deslizamiento superficial	424765.84	2112235.57	322.98
144	Deslizamiento superficial	424577.49	2112245.34	535.25
145	Flujo de escombros	424191.11	2112372.12	110.39
146	Deslizamiento superficial	424274.46	2112335.33	167.39
147	Deslizamiento superficial	424316.86	2112319.10	246.00
148	Deslizamiento superficial	424243.30	2112349.64	281.27
149	Deslizamiento de escombros	425655.00	2112380.19	88.15
150	Flujo de escombros	427112.95	2113113.48	8.01
151	Flujo de escombros	427120.35	2113117.63	6.39
152	Deslizamiento de escombros	427018.55	2113115.33	5.00
153	Deslizamiento de escombros	425041.98	2112677.97	78.18
154	Deslizamiento de escombros	424214.59	2113437.08	3796.71

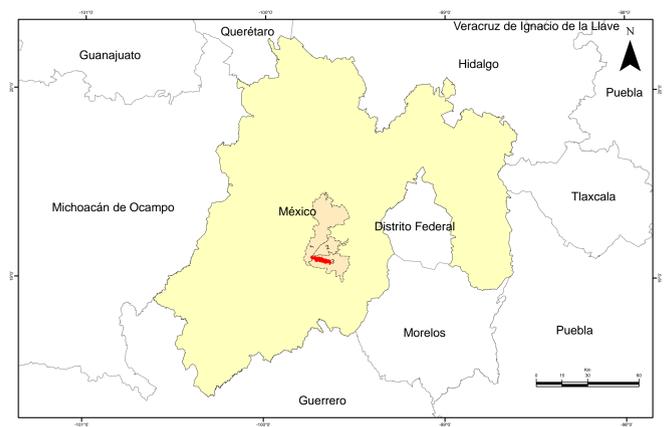
Inventario de deslizamientos 1983



Leyenda

Inventario de deslizamientos 1983

- Asentamiento profundo
- Deslizamiento de escombros
- Deslizamiento superficial
- Flujo de escombros
- Cuenca La Ciénega



Ubicación de la zona de estudio

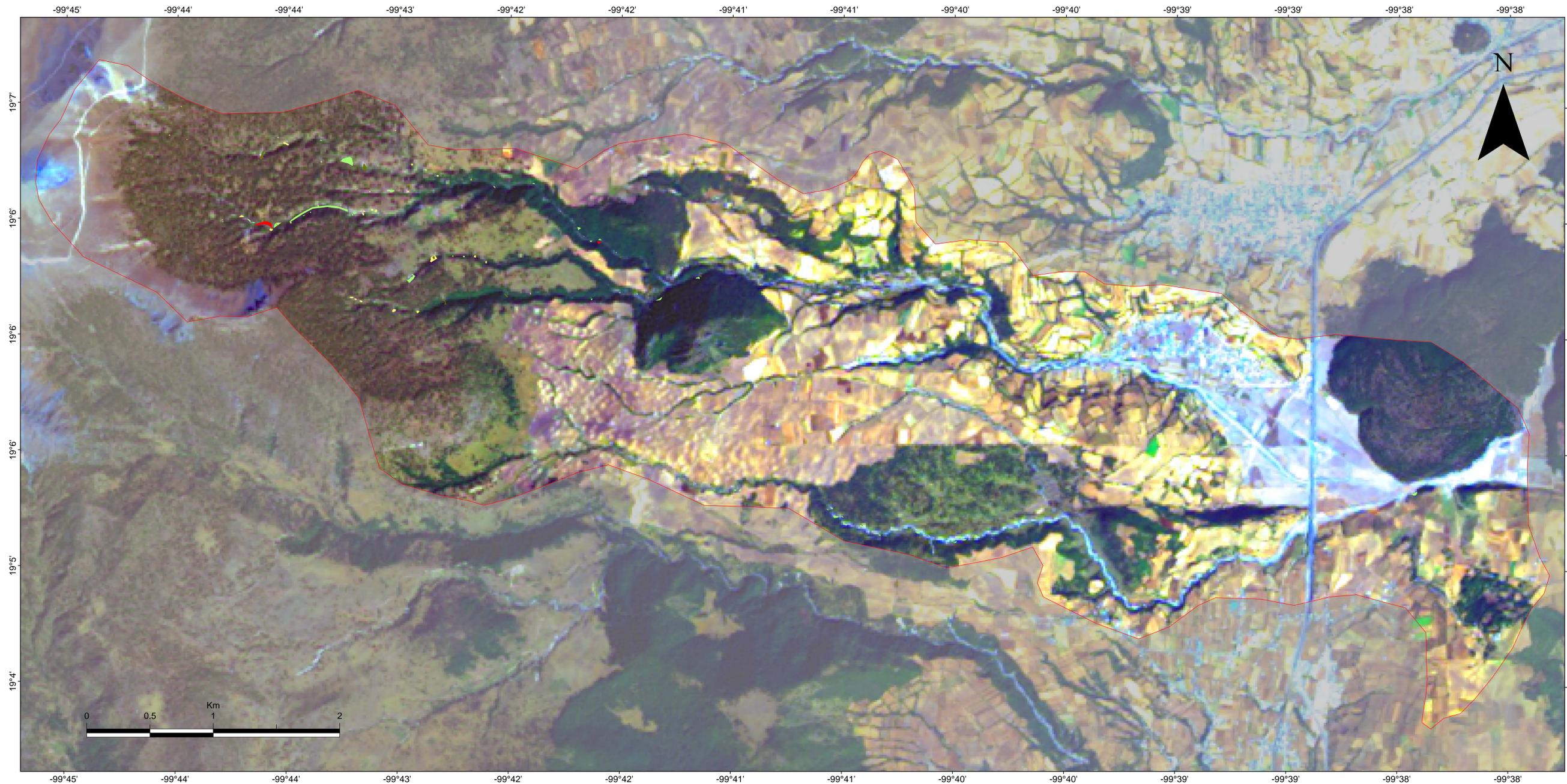
Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

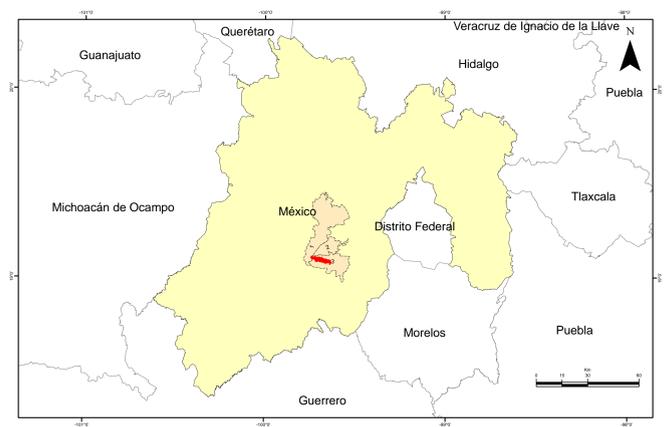
Inventario de deslizamientos 1983



Leyenda

Inventario de deslizamientos 2014

- Asentamiento profundo
- Deslizamiento de escombros
- Deslizamiento superficial
- Flujo de escombros
- Cuenca La Ciénega



Ubicación de la zona de estudio

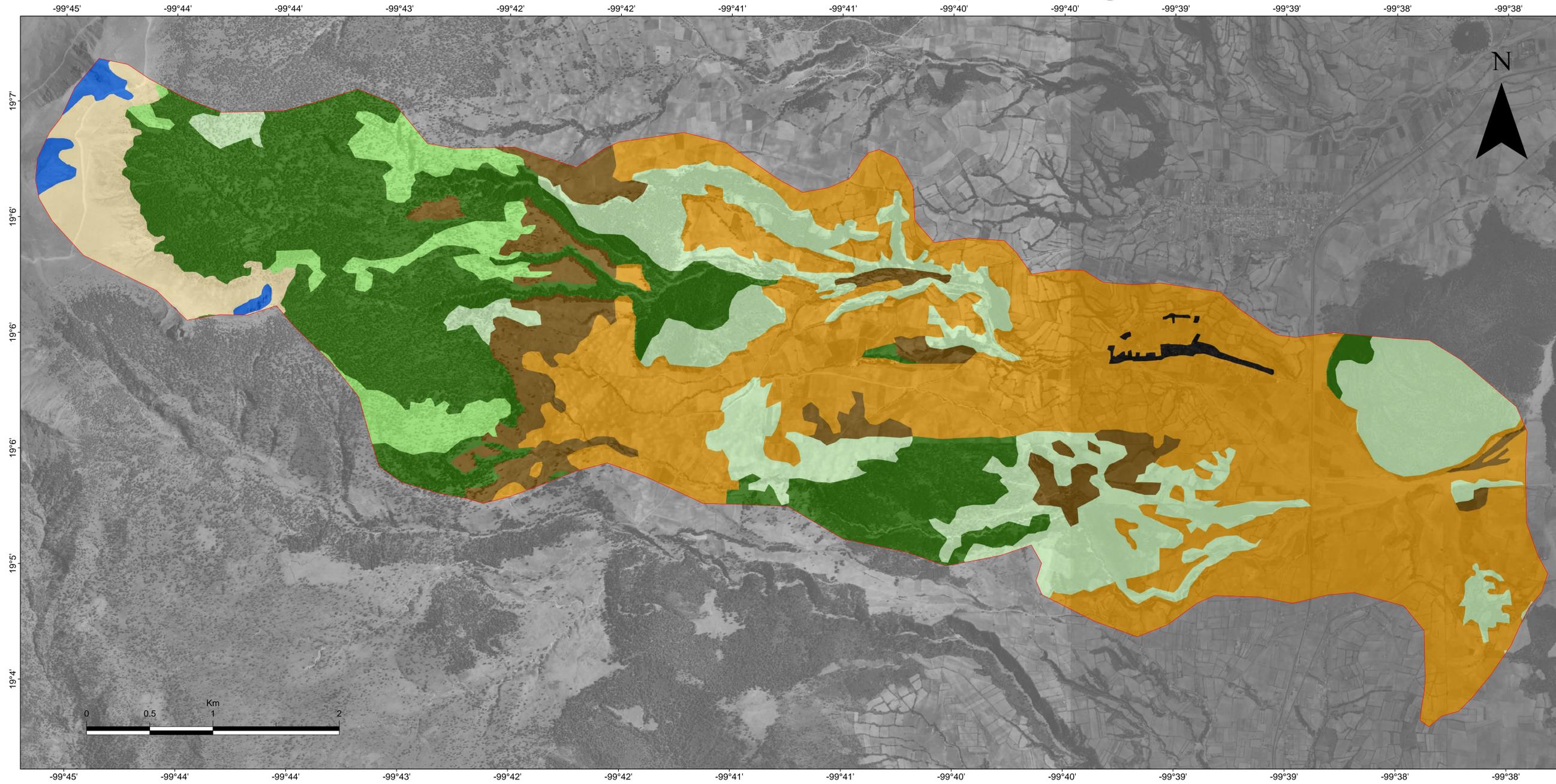
Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

Cubierta de uso del suelo y de vegetación 1983



Leyenda

- Cuenca La Ciénega
- Cubierta de uso y vegetación 1983**
- Agrícola
- Asentamiento humano
- Erial
- Forestal denso
- Forestal semidenso
- Forestal abierto
- Otros usos no forestales
- Páramo de altura



Ubicación de la zona de estudio

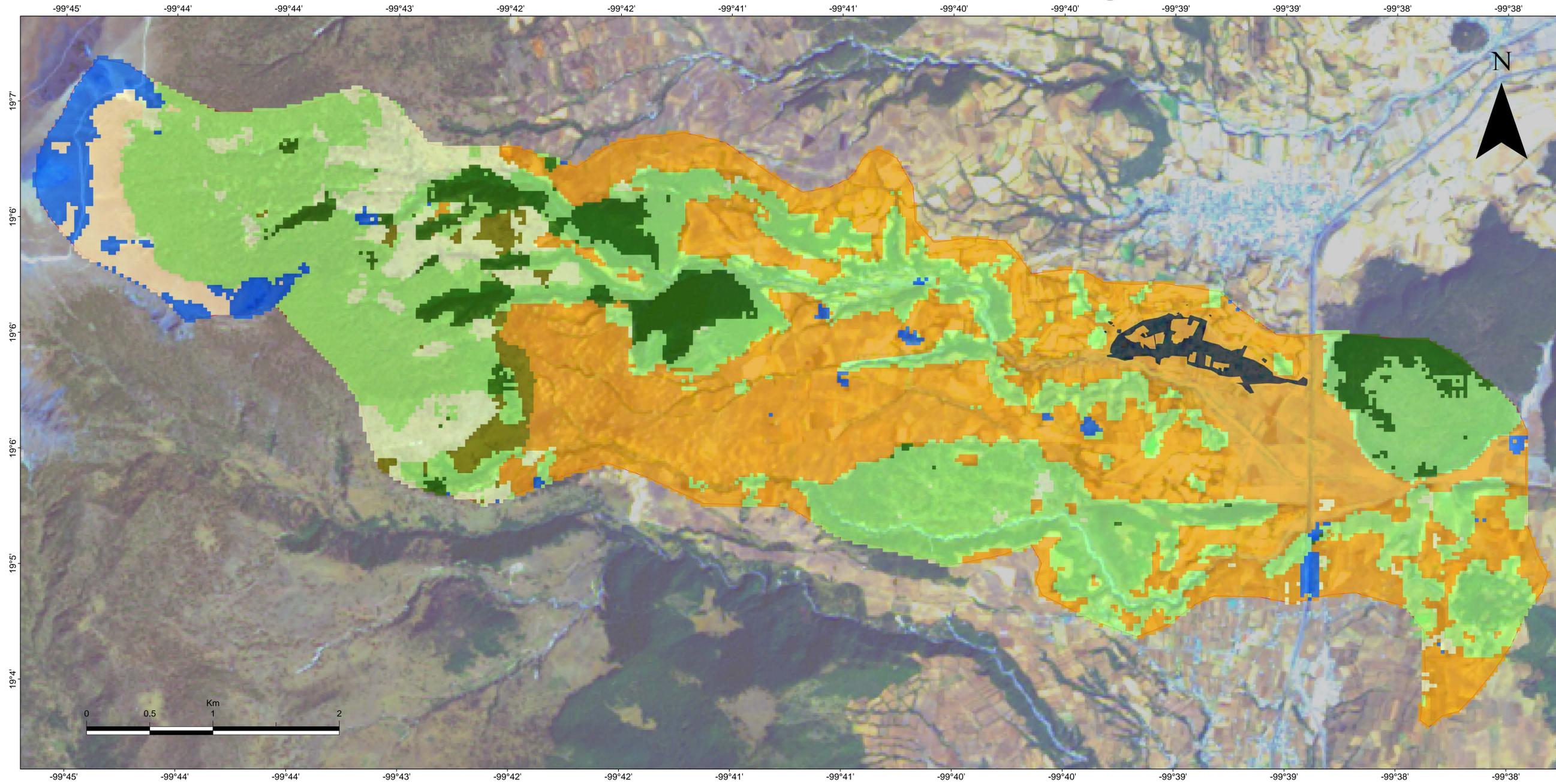
Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

Cubierta de uso del suelo y de vegetación 2014



Legenda

Cubierta de uso del suelo y vegetación 2014

- Agricultura
- Asentamiento humano
- Erial
- Forestal denso
- Forestal semidenso
- Forestal fragmentado
- Otros usos no forestales
- Paramo de altura
- Cuenca La Ciénega



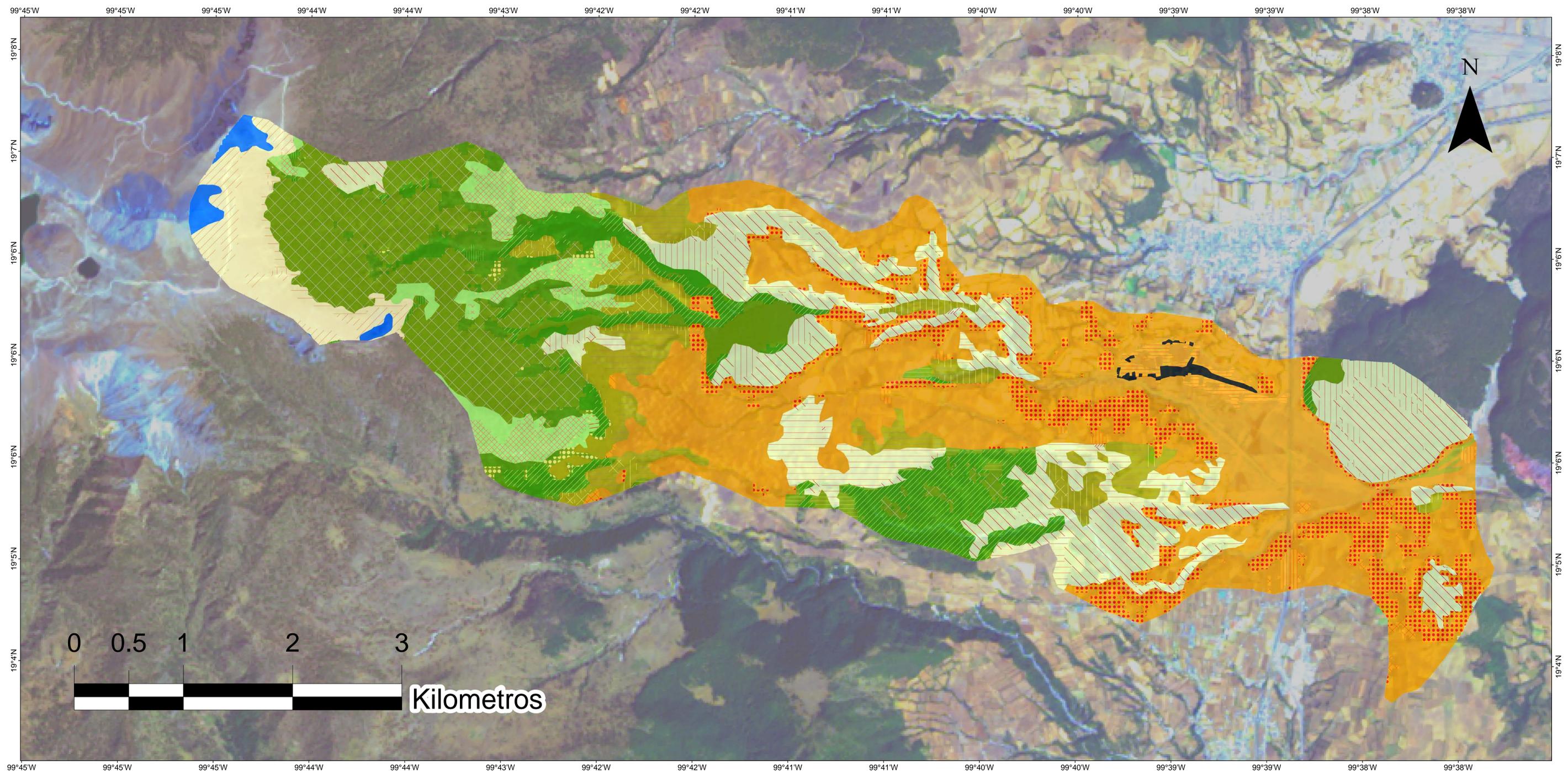
Ubicación de la zona de estudio

Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz



Cambio de cubierta de uso de suelo y de vegetación 1983-2014

Leyenda

Sin cambio

- Agrícola
- Asentamiento humano
- Erial
- Forestal denso
- Forestal semidenso
- Forestal fragmentado
- Otros usos no forestales
- Páramo de altura

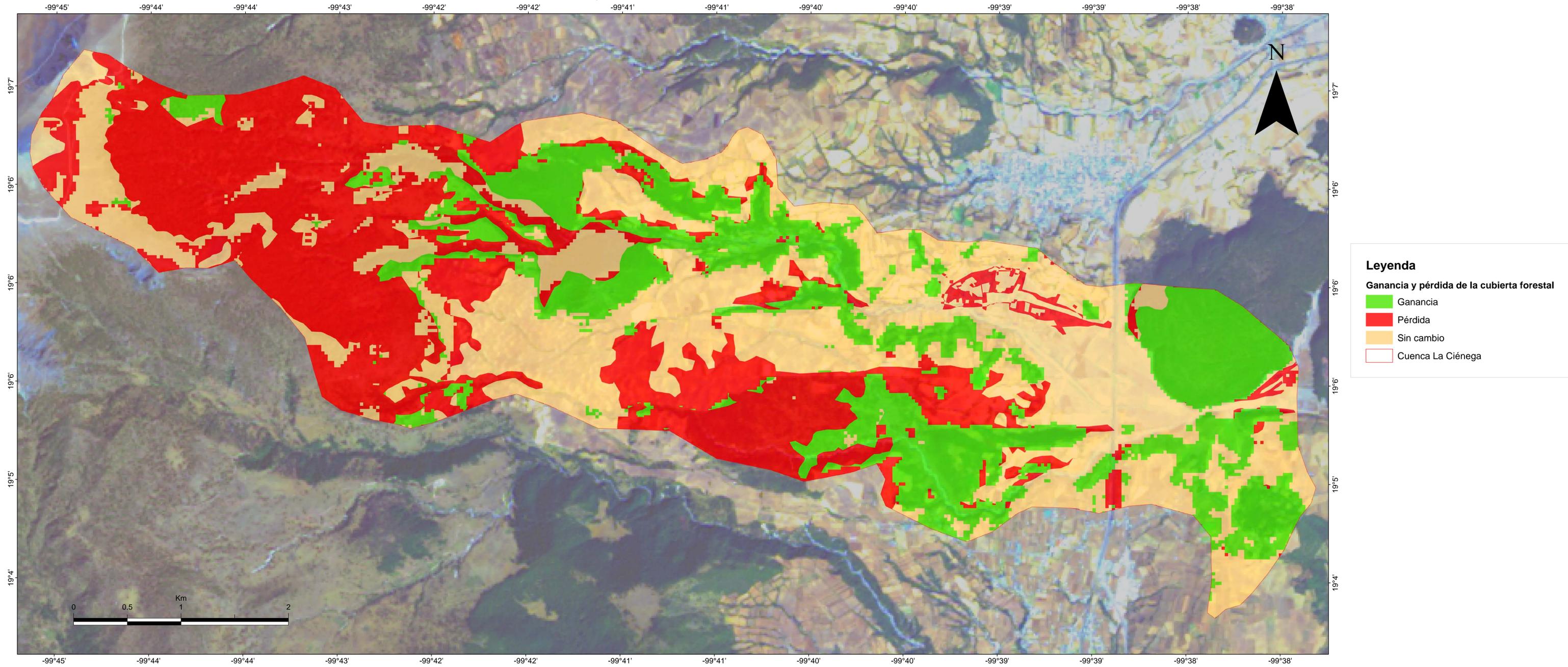
Cambio

- Agricultura a asentamiento humano
- Agricultura a erial

- Agricultura a forestal denso
- Agricultura a forestal fragmentado
- Agricultura a forestal semidenso
- Agricultura a otros usos forestales
- Forestal denso a agricultura
- Forestal denso a erial
- Forestal denso a forestal denso
- Forestal denso a forestal fragmentado
- Forestal denso a forestal semidenso
- Forestal denso a otros usos no forestales
- Forestal denso a páramo de altura
- Forestal fragmentado a agricultura
- Forestal fragmentado a erial
- Forestal fragmentado a forestal denso
- Forestal fragmentado a forestal semidenso
- Forestal fragmentado a otros usos no forestales
- Forestal semidenso a agricultura
- Forestal semidenso a erial
- Forestal semidenso a forestal denso
- Forestal semidenso a forestal fragmentado
- Forestal semidenso a forestal páramo de altura
- Forestal semidenso a forestal semidenso
- Forestal semidenso a otros usos no forestales
- Otros usos no forestales a agricultura
- Otros usos no forestales a erial
- Otros usos no forestales a forestal denso
- Otros usos no forestales a forestal fragmentado
- Otros usos no forestales a forestal semidenso
- Páramo de altura a erial
- Páramo de altura a forestal fragmentado
- Páramo de altura a forestal semidenso

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

Ganancia y pérdida de la cubierta forestal



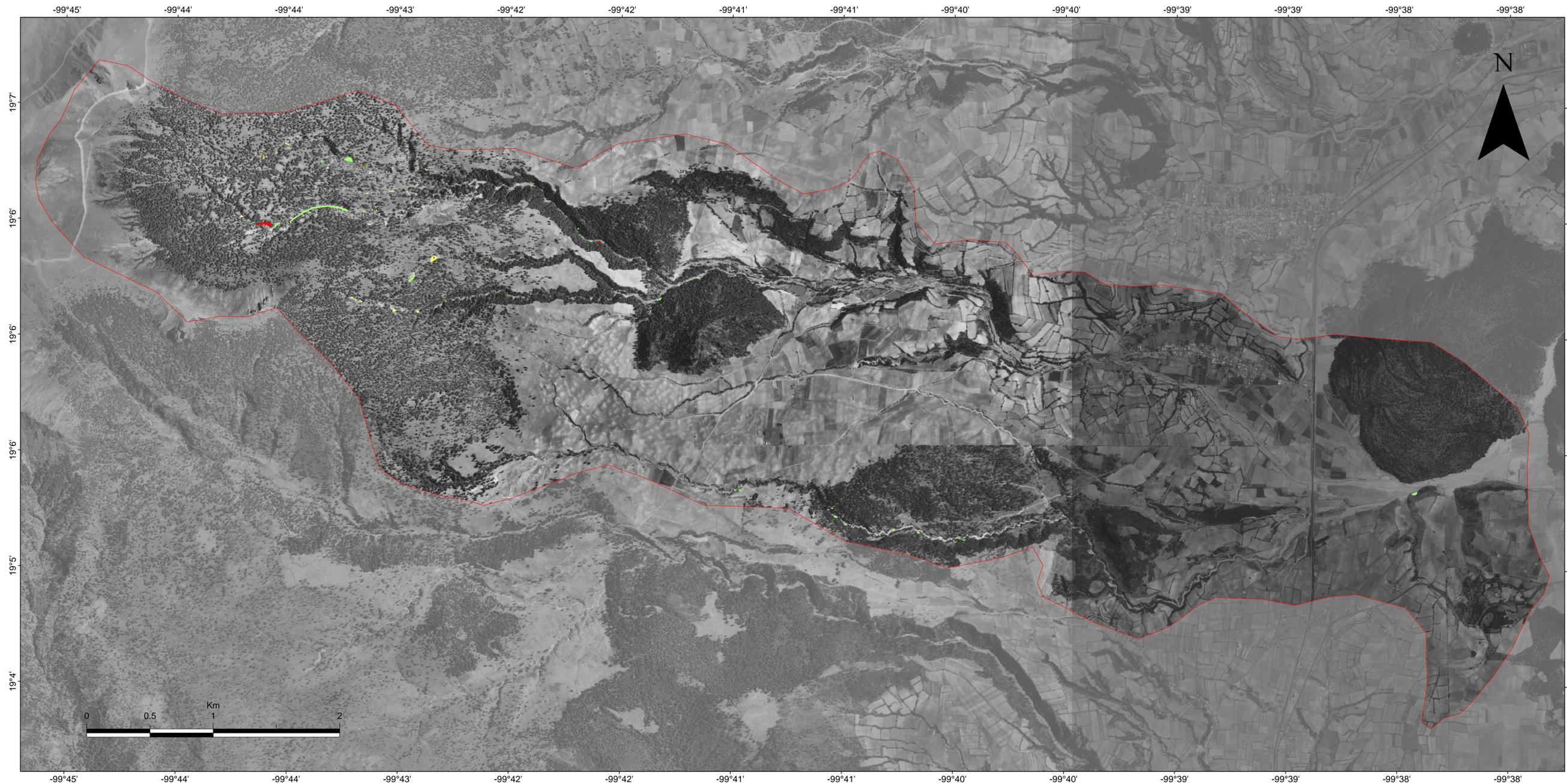
Ubicación de la zona de estudio

Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz

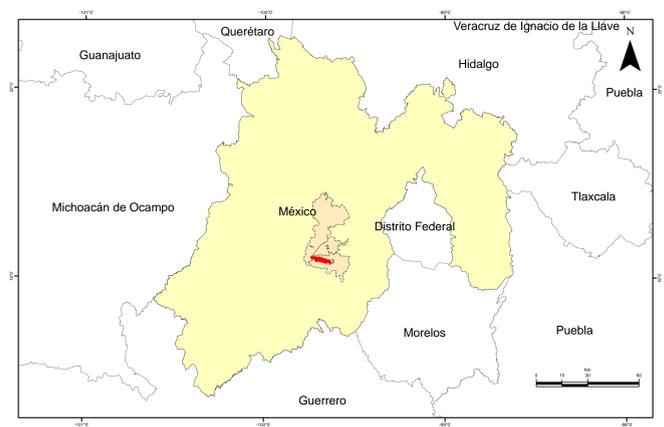
Inventario de deslizamientos 1983



Leyenda

Inventario de deslizamientos 1983

- Asentamiento profundo
- Deslizamiento de escombros
- Deslizamiento superficial
- Flujo de escombros
- Cuenca La Ciénega



Ubicación de la zona de estudio

Municipios del Edo. de México

- 1.- Toluca
- 2.- Calimaya
- 3.- Tenango del valle

Coordenadas geográficas WGS84
Escala 1:10,000

Elaboró Yarummy Álvarez Ruíz