



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía



PROCESOS GRAVITACIONALES EN EL MUNICIPIO
DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN
DEL TERRITORIO.

PRESENTA

JUAN JAVIER PINEDA TOVAR

GENERACIÓN

2005-2010

DIRECTOR DE TESIS

Dr. LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ

REVISORES

DR. MIGUEL ÁNGEL BALDERAS.

MTRA. DOLORES MAGAÑA.

TOLUCA, MÉXICO, JUNIO DE 2014

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por la dicha de ser su hijo, por darme la vida, y estar presente en cada momento de mi vida, y darme la dicha de cumplir cada una de mis metas y sueños.

A MIS PAPAS GREGORIA Y JUAN JAVIER, por brindarme su apoyo y confianza en esta etapa de mi vida profesional, gracias a ustedes soy lo que soy ahora, y sin su apoyo ninguno de mis sueños y objetivos sería posible. Gracias por aguantarme en mis momentos de enojo y depresión.

AL DR. LUIS MIGUEL, con afecto, le estoy eternamente agradecido por la paciencia en la dirección de este trabajo, por apoyarme en el proceso de la elaboración de este trabajo y el tiempo dedicado a mi persona en las revisiones.

A MI FAMILIA, a mis tíos y primos, por estar al pendiente de mí y del apoyo que eh tenido en mi superación personal y profesional.

AL DR. MIGUEL A. BALDERAS Y A LA MTRA. DOLORES MAGAÑA, por la dedicación y el tiempo empleada para el mejoramiento de la investigación.

A LOS PROFESORES DE LA FACULTAD, por compartir de sus conocimientos y experiencias en el transcurso de la licenciatura, al igual de su paciencia por aguatarnos 4 años y medio de la carrera.

A LA GENERACIÓN 2005-2010 TURNO VESPERTINO, por encontrar en cada uno de ustedes a compañeros y amigos, con los cuales fue posible convivir durante nuestra formación profesional, agradezco su amistad y el apoyo. En especial a Damaris Yesai y Montserrat Itzel, sin olvidar a José Hugo, Víctor Hugo Cordero, Cecilia Sánchez, y Yasmin Guadalupe, que estuvieron ahí durante el proceso de este trabajo y me apoyaron en cada momento durante y después de la carrera. GRACIAS.

A TI, gracias por compartir tus sueños, tus anhelos e ilusiones, por iluminar con tu presencia mi vida y llenarla de alegría, te deseo lo mejor, se feliz y disfruta cada día al máximo.

A LOS AMIGOS Y COLEGAS, por alentarme a continuar y no dejar mi trabajo de investigación, por los comentarios que en su momento realizaron y me han servido para ser mejor persona, les agradezco por los gratos e ingratos momentos compartidos.

A JUAN RICARDO JUÁREZ PALACIOS, gracias por forjarme en la vida profesional, por la oportunidad que me ha dado y por el crecimiento que eh tenido en el aspecto profesional y personal.

TAMBIÉN A TI, te agradezco por consultar esta investigación, espero que sea de utilidad en tus actividades.

ATENTAMENTE

Juan Javier Pineda Tovar

Si algunos de ustedes les falta sabiduría, pídanse a Dios, y él se las dará, pues Dios da a todos generosamente sin menospreciar a nadie.

Pero que pidan con fe, sin dudar, porque quien duda es como las olas del mar, agitadas y llevadas de un lado a otro por el viento.

El que es así no espera nada del señor, ya que es un hombre interiormente dividido e inconstante en su manera de proceder.

Que el hermano de condición humilde se gloríe cuando es exaltado y el rico se alegre cuando es humillado, porque pasara como una flor de campo; apenas sale el sol y calienta con fuerza, la hierba se seca, su flor se marchita y desaparece su hermosura. Lo mismo sucederá con el rico en sus empresas.

Feliz el hombre que soporta la prueba, porque después de haberla superado, recibirá la corona de vida del Señor prometió a los que lo aman.

Santiago 1:5-12

RESUMEN

En la presente investigación se realiza un análisis para establecer áreas susceptibles a procesos gravitacionales mediante la aplicación de un análisis multicriterio en el municipio de Lerma de Villada en el Estado de México.

La interpretación y análisis de los resultados permitieron establecer sitios que posee el municipio de Lerma a movimientos en masa, permitiendo ubicar zonas susceptibles a los procesos gravitacionales e identificar el tipo de movimiento; y con ello, establecer medidas de corrección o de mitigación.

El análisis multicriterio, es un método que permite relacionar un conjunto de alternativas bajo múltiples criterios y objetivos en conflicto, ayudando a la toma de decisiones para establecer correcciones a una problemática.

Palabras Claves: vulnerabilidad, procesos gravitacionales, análisis multicriterio, Lerma de Villada.

ABSTRACT

In the present investigation an analysis to establish areas susceptible to gravitational processes by applying multi-criteria analysis in the municipality of Lerma of Villada in the State of Mexico.

The interpretation and analysis of the results allowed establishing sites that owns the municipality of Lerma to mass movements, allowing locate areas susceptible to gravitational processes and identify the type of motion, and thus, establish corrective action or mitigation.

Multicriteria analysis is a method that relates a set of alternatives on multiple criteria and conflicting objectives, helping to establish decision making corrections to a problem.

Keywords: vulnerability, gravitational processes, multi-criteria analysis, Villada Lerma.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
JUSTIFICACIÓN	10
HIPÓTESIS	11
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS PARTICULARES	11
METODOLOGÍA	12
ANTECEDENTES	19
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO PROCESOS GRAVITACIONALES	21
PROCESOS GRAVITACIONALES	23
PROCESOS ENDÓGENOS	37
PROCESOS EXÓGENOS	39
CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO DE LA SIERRA DE LAS CRUCES	41
CAPITULO III CARTOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE LERMA	48
MAPA ALTIMÉTRICO O HIPSOMÉTRICO	51
MAPA DE PENDIENTES	54
MAPA DE CLIMAS	56
MAPA DE ISOYETAS	60
MAPA DE EDAFOLOGÍA	63
MAPA DE ÓRDENES DE DRENAJE	71
MAPA DE USO DE SUELO	75
MAPA DE EROSIÓN	81
CAPITULO IV: PROCESOS GRAVITACIONALES DEL MUNICIPIO DE LERMA	85
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	98

INTRODUCCIÓN

Describir o estudiar un espacio geográfico, conlleva a elaborar una representación usando los principios geográficos, auxiliado de las disciplinas o ciencias independientes a ella.

Los procesos gravitacionales o movimientos en masa, representan una serie de movimientos descendentes de material sólido o arenoso, bajo la influencia de la gravedad. Esta acción depende de diversos factores físicos, como la geología, hidrología, edafología, grado de erosión y pendiente, esta última siendo la principal causa del deslizamiento de roca o suelos, favoreciendo el desplazamiento de los materiales.

El municipio de Lerma de Villada, es analizado y evaluado bajo un enfoque multicriterio, para ubicar áreas susceptibles a procesos gravitacionales o movimiento en masa. Se localiza en la zona central del W del Estado de México, en la transición de la Sierra de las Cruces a la cuenca de Toluca, se identifica una altitud de los 2,500 a 3,500 msnm aproximadamente, ubicando climas templados en las partes bajas del municipio y templado sub-húmedo en la cabecera municipal.

Dentro del municipio se encuentran dos edificios volcánicos, que pertenecen a la Sierra de las Cruces, en estas dos regiones se localizan diferentes aspectos litológicos, que hacen territorialmente al municipio un espacio con anomalías en los aspectos de drenaje y geomorfología, debido a que hay formaciones de flujos lávicos y piroclásticos, como de pómez y cenizas, ubicando también estructuras volcánicas menores y series de fallas en el área de estudio.

El municipio de Lerma ha ido evolucionando territorialmente, debido a las distintas acciones endógenas y exógenas, que se desarrollan en el territorio, la más frecuente es la degradación de los suelos por erosión, ya que los cambios de uso de suelo para la actividad agrícola son más frecuentes, y la adaptación de laderas para el uso urbano; construcción de viviendas, escuelas, vialidades y extracción minera, colaborando al desarrollo de pendientes mayores a los 15°.

El municipio no posee un instrumento regulatorio que planifique las acciones antrópicas, lo que genera alteraciones al relieve, desequilibrando la estabilidad de cada una de las laderas de las distintas elevaciones y formaciones que presenta el municipio de Lerma cuenta dentro de su territorio, y a los

distintos factores que interceden en el deterioro de los elementos que actúan como mitigadores de los procesos gravitacionales.

Con base en lo anterior se realizó un análisis de los elementos que conforman el territorio del municipio de Lerma, relacionando cada uno de ellos, para interpretar y analizar la susceptibilidad que tiene el territorio para el desarrollo de procesos gravitacionales, y finalmente, realizar propuesta de medidas de mitigación.

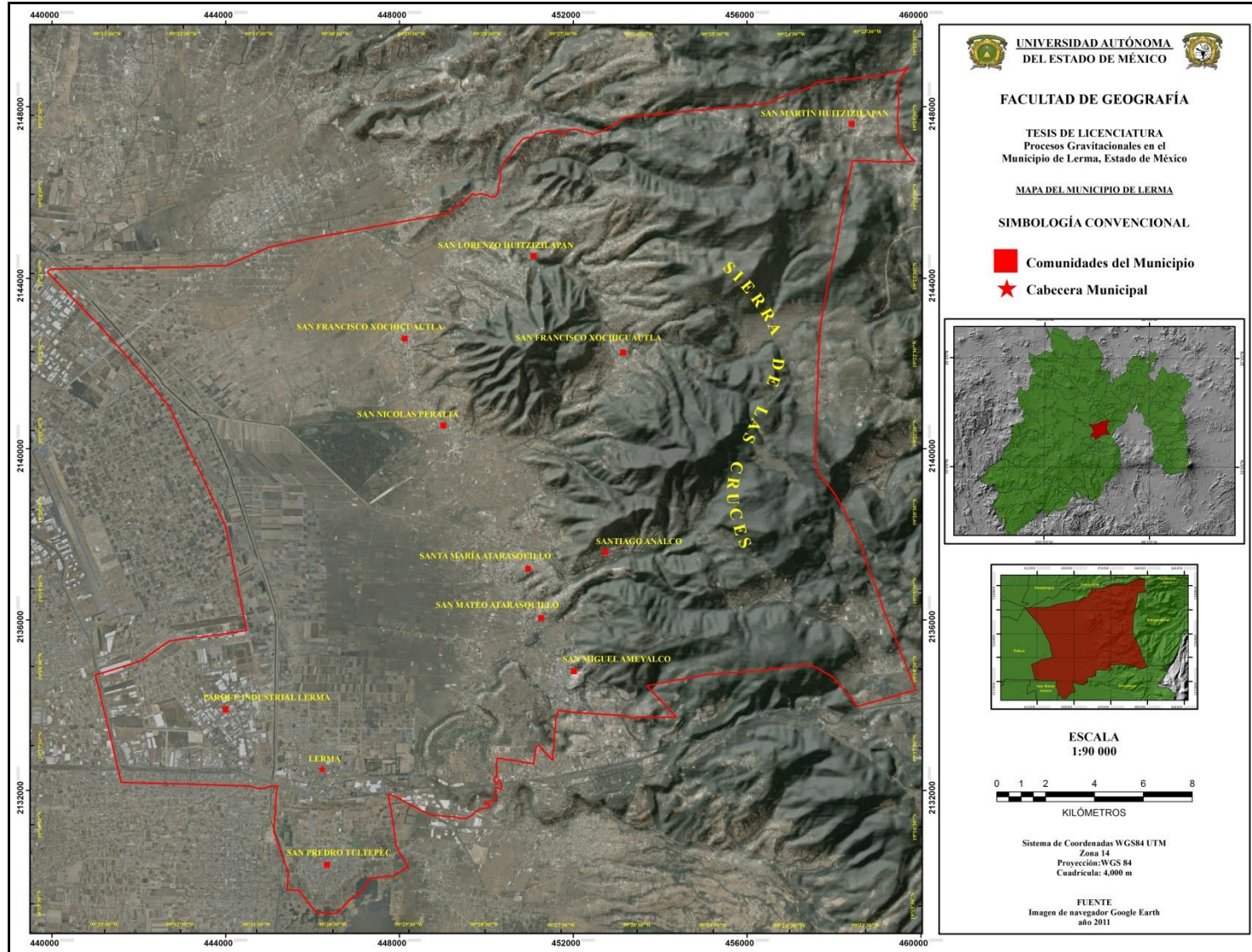
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El análisis de riesgo por procesos gravitacionales en el municipio de Lema, radica en la percepción social que existe en la población por la ocurrencia de dichos eventos, aunado a esto las características físicas (topografía, geología, edafología, clima, etcétera) que en el sitio se encuentra, propician el realizar una zonificación de áreas susceptibles por estos procesos geomorfológicos.

El tipo de suelo que se encuentra en el municipio, se caracteriza por la alta acumulación de agua y la cantidad de material no consolidado que posee, puede determinar la aceleración de los procesos debido a la estructura que tienen, ya que cada uno muestra inestabilidad debido a las condiciones del territorio como lo es el grado de pendiente, la deforestación, los cambios geométricos en la topografía, la sobrecarga de los suelos, los depósitos eólicos, aluviales y coluviales, debido a la modificación de su lugar de reposo causa la inestabilidad y da origen al deslizamiento de material cuesta abajo.

La Sierra de las Cruces al oriente del municipio (mapa 1), es propensa a procesos gravitacionales en zonas de inestabilidad de laderas, por lo que es necesario establecer zonas con mayor susceptibilidad a la inestabilidad de laderas y caída de material no consolidado.

La percepción de los riesgos en la sociedad y en el ámbito profesional se percibe de distintas formas, relacionan a la sociedad con su medio físico y ambiental, solo que con criterios diferentes, unos con la comprensión de la conducta espacial de la población, entre su ámbito físico ambiental, y otros la relación entre el estímulo y respuesta del medio social, toman en cuenta el cálculo del valor de los bienes expuestos a dicho riesgo, analizan el tipo de vivienda y su nivel económico, y determinan el posible daño y vulnerabilidad social.



Mapa 1. Ubicación de la Sierra de las Cruces, Google Earth 2011

JUSTIFICACIÓN

La investigación propuesta sobre procesos gravitacionales en el municipio de Lerma, tiene la finalidad de evaluar y analizar las zonas propensas, además de conocer la exposición en la que se encuentra la población. Crear medidas de prevención para la mitigación del peligro por la inestabilidad de laderas. El municipio presenta movimientos y desprendimientos repentinos, afecta la infraestructura y bienestar de la población, por tal motivo es importante conocer las características de los factores físicos que intervienen en la aparición de los movimientos gravitacionales.

El geógrafo tiene la capacidad de caracterizar y analizar las relaciones existentes entre los factores que interactúan en el espacio a través de la representación gráfica de la zona de estudio. La generación de cartografía es un elemento importante para el análisis de los procesos de gravitacionales, ya que en ella se representa la distribución espacial de los elementos condicionantes como lo son: el relieve, los suelo y roca, las pendientes con mayor o menor grado de inclinación, densidad de la vegetación y la distribución de los procesos hidroclimáticos por medio de isotermas e isoyetas.

De manera que se evidencia la aplicación de las competencias y habilidades propias del geógrafo, aplicando metodologías teóricas para llegar a una zonificación y su localización, proponiendo medidas preventivas, ya que la formación y características del territorio es parte fundamental del conocimiento de un geógrafo, tomando en cuenta que analiza, estudia la evolución y formación e interrelaciones hombre-naturaleza dentro del espacio de la superficie terrestre, estudiando aspectos que afectan directa o indirectamente al territorio, con fundamentos teóricos expuestos por distintos especialistas e instituciones especialistas en este tema. Es por ello que es un profesionalista que tiene la capacidad de interpretar y analizar los factores físicos, sociales y económicos, en su distribución y relación espacial.

CENAPRED (2001), establece que el impacto que este tipo de riesgo provoca, es de mayor magnitud en países de escasos recursos debido al alto grado de vulnerabilidad, para prevenir desastres futuros asociados a inestabilidad de laderas, es esencial que todos los miembros de las comunidades conozcan el fenómeno, así como mantener atención en las manifestaciones que le preceden y factores que lo generen. En el estudio de peligros que se relacionen con la inestabilidad de las laderas debe involucrarse la participación de grupos interdisciplinarios especialistas que analicen no solamente el proceso como tal, también los efectos socioeconómicos derivado del proceso.

De manera que la presente investigación servirá de apoyo a las instituciones públicas, municipales y estatales encargadas de mitigar y proteger a la sociedad de los riesgos, creando estrategias y contingencias para disminuir las secuelas de los procesos geomorfológicos o, en este caso, los procesos de remoción en masa.

HIPÓTESIS

En el municipio de Lerma se localizan factores condicionantes y desencadenantes, como los procesos hidroclimáticos, sobre la parte oriente de esta región, la distribución de la población, y la falta de conciencia ha resultado el exponer áreas potenciales a procesos gravitacionales, dando como resultado riesgos a remoción en masa y en donde la falta de medidas preventivas, hacen vulnerables a la sociedad.

OBJETIVO GENERAL

- ✚ Evaluar los factores que determinan el origen de los procesos gravitacionales, y determinar con un mapa de proceso gravitacionales, las áreas donde se puedan presentar en el Municipio de Lerma, Estado de México.

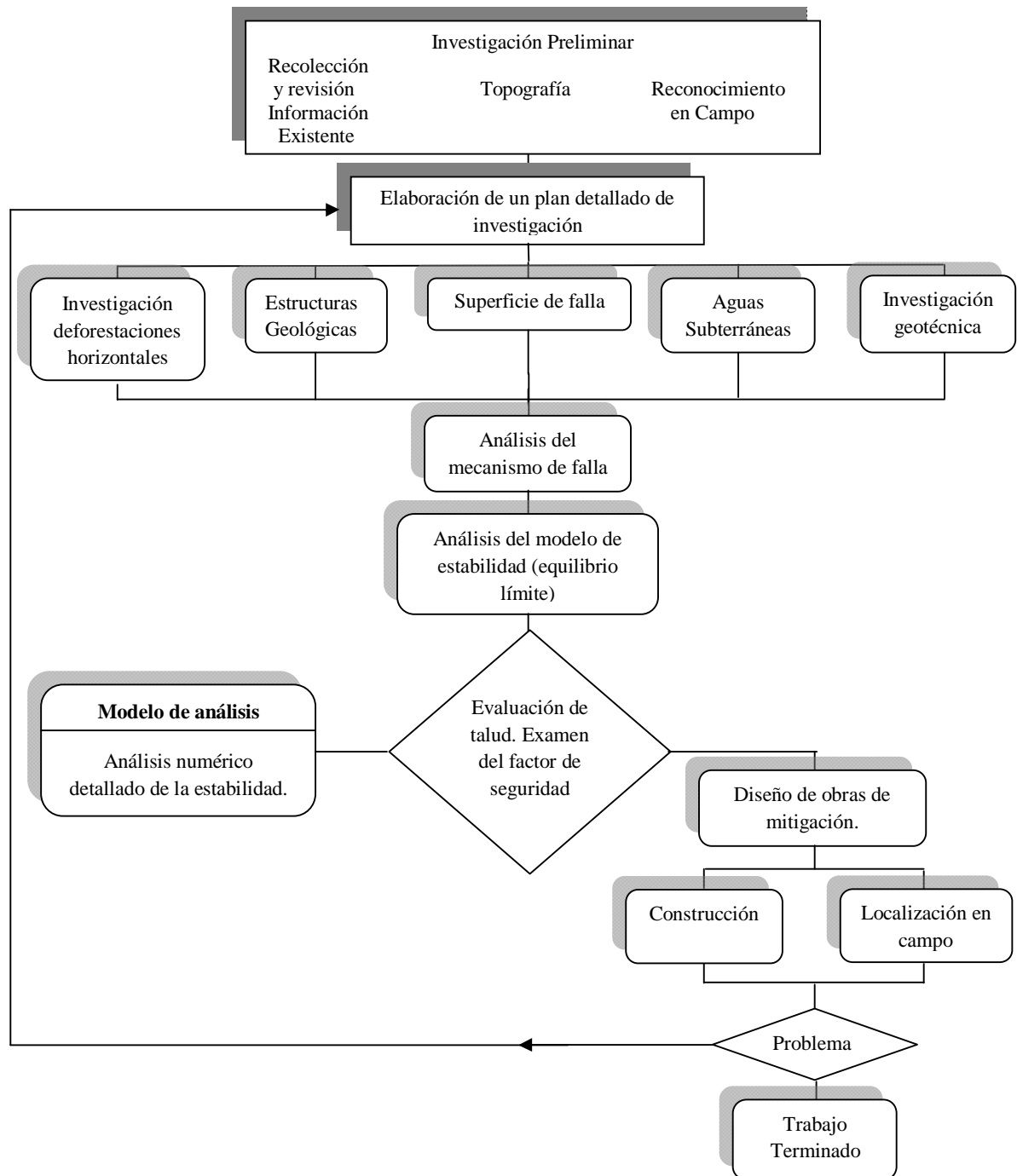
OBJETIVOS PARTICULARES

- ✚ Relacionar y evaluar los factores que condicionan el desarrollo de los procesos gravitacionales.
- ✚ Proponer medidas de mitigación para arraigar los procesos gravitacionales en el municipio.
- ✚ Clasificar cada proceso gravitacional, y establecer las áreas en donde pueden desarrollar los deslizamientos, caídas de roca, remoción de tierra, etc., por medio de las características del territorio municipal.

METODOLOGÍA

Para definir las áreas de riesgo por procesos gravitacionales, se toman en cuenta criterios que autores han propuesto para el estudio del mismo tema.

Figura 1: Diagrama de Flujo para la investigación y análisis de deslizamiento (Japan Landslide Society, 1996) mencionado por Suárez (2001).



La investigación preliminar ayuda a conocer aspectos que se hayan estudiado anteriormente, y dan una idea más clara de las características físicas y las condiciones en las que se encuentran el territorio, y si estas son factores para el desarrollo de los deslizamientos de suelo, y para complementar este trabajo los trabajos en la topografía y trabajo de campo son esenciales para fortalecer la base teórica y la descripción de la problemática que se encuentre en el espacio geográfico.

Con base a la investigación de gabinete, y el conocer la tipología del territorio y ubicando áreas con características en el cual se desarrolle un proceso de deslizamiento, se planea con detalle una investigación y trabajo de campo, para describir los factores bióticos y abióticos, como aspecto forestal, geológico (tipo de roca y sistemas de fallas), hidrología, particularidades del suelo y topografía, para relacionar y analizar que analogía hay entre cada una de ellas, dando valores numéricos que se les asignaron por sus características físicas y el cómo intervienen en el desarrollo del proceso natural.

Caracterizando los factores y correlacionándolos se tendrá como resultado la vulnerabilidad que hay en el territorio de procesos de remoción en masa y con ello se tendrán localizadas las zonas con peligro al proceso y se propondrán medidas de mitigación para el tipo de problema que se halla identificado y así disminuir el riesgo social del municipio.

Un conjunto de principios geológicos y geomorfológicos son expresados de diferente manera. Una de ellas es la cartográfica, la elaboración y uso del mapa; que es un instrumento conciso y esquematizado que aporta la representación gráfica en un plano del relieve.

La cartografía es la principal fuente de revisión del estudio de los procesos geomorfológicos, es por ello que para evaluar y determinar la peligrosidad de procesos gravitacionales en el municipio de Lerma se llevaran a cabo los siguientes mapas.

Basado en la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la carta topográfica E14A38 (1999), las cartas temáticas con las que cuenta el municipio, y el plano geológico de Mooser; se derivaron los siguientes mapas:

a. Mapa geológica

Integra los elementos tectónicos que intervienen en la superficie terrestre a su formación, distribución de las distintas rocas que se ubican en el territorio del municipio, y características

referentes a la naturaleza y origen de las rocas, ayuda a establecer los tipos de estructuras y saber si el material es resistente, a procesos de erosión, entre otros.

b. Mapa altimétrica o hipsométrica

Enuncia de manera inmediata y clara el relieve y diferencia las unidades geomorfológicas, los rangos geométricos, los lineamientos de las mismas y en general la distribución espacial del relieve, reside en obtener las elevaciones máximas y mínimas en el mapa topográfico, expresándola mediante distintas tonalidades de color. Para su elaboración se retomaran los criterios utilizados por (Lugo, 1988).

- ✓ Por medio de las curvas de nivel de la carta topográfica con clave E14A38 escala 1:50,000
- ✓ Obtener las altitudes máximas y mínimas en el mapa topográfico original.
- ✓ Definir los intervalos de valores al concluir la delimitación del relieve.
- ✓ Elaboración del Modelo Digital de Elevación (MDE), definir los intervalos finales.
- ✓ La elección de la tonalidad de los colores de acuerdo con el Sistema Internacional para la secuencia de los tonos.

Se obtuvo la localización de las principales geoformas que poseen una altitud mayor y su orientación, proporcionando además la distribución espacial sobre el municipio.

c. Mapa de pendientes

Ayudará a determinar las zonas que están expuestas a los deslizamientos, conforme al grado de pendiente, se elaborara mediante el modelo digital de elevación (MDE) con el programa ArcGis, mediante su extensión 3D, y la herramienta **slope**, que establece el grado de pendientes, y mediante una reclasificación se establecerán 6 rangos de pendientes, tomando en cuenta los criterios de Lugo (1988) mencionado por Hernández (2007), radica en la transformación de las distancias entre las curvas de nivel en valores de pendientes, y quedan de la siguiente manera: 0 ó 3°, 3 ó 6°, 6 ó 15°, 15 ó 30°, 30 a 45° y mayores a 45°.

d. Mapa de edafología

Da a conocer la composición natural de los suelos del territorio municipal, proporciona información respecto a las características morfológicas, físicas y químicas de los suelos del territorio, se definen los perfiles de suelo más representativos y da conocer las características de cada uno de sus unidades edáfica. Permite establecer que suelos son más propensos a sufrir erosión u otro proceso geomorfológico por su génesis.

Se elaboró mediante la digitalización de la carta edafológica del INEGI, con clave E14A38 (1970), con el software AutoCAD y ArcGis; en el primero se realizó el proceso de digitalización, y con la herramienta **topology**, se ejecutó la unión de cada uno de los tipos de suelos, editando el mapa en ArcGis.

e. Mapa de climas

La ayuda de esta carta es conocer los factores climatológicos que puedan intervenir en el territorio, como lo es la temperatura y precipitación, este último un factor potencial para desencadenar procesos gravitacionales, tomado en cuenta los suelos y las pendientes que se encuentren en el territorio. Se tomaran en cuenta las cartas de isoyetas e isotermas, para conocer la cantidad de agua que cae en el territorio y el comportamiento que pueda tener esta para el desencadenamiento de este procesos geomorfológico.

Se elaboró mediante la información vectorial escala 1:1,000,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1999), mediante la función Geoprocessing, y su herramienta **clip**, se realiza el corte para la extracción de los climas del municipio.

f. Mapa de órdenes de drenaje

Se representa el proceso evolutivo de la zona de estudio, ya que se infiere en el drenaje, se obtienen las zonas erosivas y acumulativas, las corrientes de mayor orden pueden ser un indicador de grietas, fallas y fracturas, mediante los patrones de drenaje, es posible determinar el control estructural del relieve, la resistencia del material y las geoformas. La carta se elaboró por medio de órdenes numéricas fundamentadas en la Ley de Horton, citado por Hernández (2007).

- ✓ Utilizando los cauces perennes e intermitentes.
- ✓ La clasificación de los órdenes, se consideró los que no presentan afluentes, denominándolo de primer orden, las que de la unión de dos de primer orden, formaron una segunda y así de manera sucesiva, obteniendo de sexto orden.

g. Carta de uso de suelo

Represente el uso del suelo que hay en el municipio, determinando áreas donde la actividad humana ha intervenido para la degradación de las zonas forestales y de los suelos por su aprovechamiento agrícola y ganadera.

Se elaboró mediante la relación de la información cartográfica vectorial de uso de suelo Serie IV del INEGI, 1999 y digitalización de ortofoto perteneciente al municipio de Lerma, y con las herramientas de la función geoprocessing en el software ArcGis, una u intersecta la información generada de la ortofoto a la de la capa de uso de suelo del INEGI.

h. Carta de erosión

Se representa la degradación territorial de los suelos, debido a que es uno de los principales actores para desencadenar los deslizamientos de suelo, ya que son procesos naturales causados por aguas superficiales, fuerzas eólicas (aire) y se puede ver incrementado por actividades antropogénicas. Para realizar el plano se tomaron en consideración aspectos físicos del territorio municipal (geología, edafología, geformas, uso de suelo y pendientes), a estas características se les da un valor y se interrelacionan por medio de un análisis multicriterio para obtener el rango de erosión: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

La interrelación de los criterios que se tomó en cuenta para determinar el grado de erosión, fue por valores numéricos, los factores que son determinantes en la erosión del territorio se le dio una ponderación máximo 10 y el menor de 1, establecidas por sus particularidades de cada uno de los aspectos físicos, que determina las áreas del territorio que tienen un alto o mínimo valor de erosión.

- 1. ANÁLISIS MULTICRITERIO:** se define como el conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El fin básico de las técnicas de (Evaluación de Análisis Multicriterio) EMC es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y

objetivo en conflicto (Voodd, 1983: 21, establecido por Cano y Delgado 2005: 43). Generando soluciones por la jerarquización de las alternativas de acuerdo al grado de sugestión. La toma de decisiones en el multicriterio se entiende como ñuna variedad de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para la ayuda a los centros decisores que describen, evalúan, ordenan, jerarquizan, seleccionan y dan valores o intensidad de preferencia, tomando en cuenta varios criterios. Los criterios pueden representar diferentes aspectos de la teología; objetivos, metas valores de referencia, niveles de aspiración y utilidadö (Colson y de Bruin, 1989: 1201, mencionado por *Cano, J y Delgado, M, 2005: 43*).

La decisión multidimensional y los modelos de evaluación, de los cuales la EMC forma parte, proveen un conjunto de herramientas para el análisis de las complejas propiedades entre las alternativas de selección. La estructura matemática utilizada para describir la toma de decisiones multidimensional está basada en la teoría de la optimización multi-objetivo, en la cual los objetivos complementarios y conflictivos son descritos como un problema de decisiones con múltiples objetivos (Carver, 1991, *mencionado por Cano, J y Delgado, M, 2005: 43*).

La EMC se sitúa en el ámbito de la teoría de la decisión, dicha teoría puede orientarse en dos direcciones: la positiva (descriptiva) y la normativa (prescriptiva). La primera concierne principalmente al campo de la lógica, la psicología y la sociología, basado en el enfoque ñen la elaboración de una serie de construcciones teóricas y articulaciones lógicas que pretenden explicar y predecir el comportamiento de los agentes decisores realesö (Romero, 1993, *mencionado por Cano, J y Delgado, M, 2005: 44*).

El análisis multicriterio, nos permite una relación entre múltiples criterios, lo cual nos cede establecer una serie de relaciones entre aspectos físicos (geología, edafología, clima, uso de suelo, etc.), que determinan este proceso geomorfológico, ponderando valores numéricos según sus particularidades de cada uno de sus aspectos, y así con la relación de cada uno de esos aspectos determinar las áreas que puedan ser de riesgo a procesos gravitacionales.

- 2. MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR INESTABILIDAD DE LADERAS:** se mostrara las zonas con mayor susceptibilidad a estos procesos geomorfológicos, dándonos la posibilidad de establecer el grado de riesgo que tiene el municipio a los procesos de remoción en masa dentro de su límite territorial.

El criterio de elaboración para esta carta va ser con relación a los factores que determinen este proceso como lo son la geología, la edafología, la erosión, el uso de suelo, la precipitación y el

clima, y con ellos sus características, dándole a cada una de ellas un valor determinando según sus particularidades en la susceptibilidad de los procesos de remoción en masa, se relacionara cada una de ellas, determinando área con riesgos por sus características de cada uno de los factores que se tomaron en cuenta, concluyendo con las áreas a riesgo por proceso.

Tabla 1

Ejemplo de ponderaciones a las características físicas para elaborar el mapa de procesos gravitacionales.

PENDIENTES	
TIPO	PONDERACIÓN
0 a 3	1
3 a 6	2
6 a 15	3
15 a 30	4
30 a 45	5
>45	6

USO DE SUELOS	
TIPO	PONDERACIÓN
Agricultura de Humedad	5
Agricultura de Temporal	6
Bosque de Encino	1
Bosque de Oyamel	1
Bosque Pino	1
Pastizal Cultivado	4
Vegetación Acuática	2
Zonas Urbanas	3

EDAFOLOGÍA	
TIPO	PONDERACIÓN
Andosol	1
Cambisol	4
Feozem	1
Luvisol	2
Vertisol	3
Litosol	5

EROSION	
GRADO	PONDERACIÓN
Muy Bajo	1
Bajo	2
Medio	3
Alto	4
Muy alto	5

ANTECEDENTES

La aplicación de los estudios de procesos gravitacionales o de remoción en masa son aprovechados en la investigación, ya que la consulta bibliográfica es un gran soporte teórico y metódico, por las aplicaciones en temáticas de riesgo, cartografía, caracterización, los procedimientos aplicados en distintas partes del mundo, permiten conocer los logros y resultados obtenidos mediante la aplicación de conocimientos y antecedentes que se utilizaron para la elaboración de sus investigaciones.

Suárez, 2001, el trabajo sobre "Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales", da a conocer las características de los procesos gravitacionales, los tipos de procesos, las partes que lo componen, las distintas formas de poder clasificar los procesos gravitacionales y los criterios que son necesarios para llevarlo a cabo.

Fausto, 2002, realizó un trabajo de procesos gravitacionales en la Sierra de Guadalupe en la Ciudad de México D.F, el cual a través de un análisis geomorfológico describe y clasifica los tipos de procesos que se han llevado a cabo en el área de estudio y las características por las que se han ocasionado estos riesgos geológicos.

CENAPRED, 2007. Institución que tiene como objetivo el dar a conocer las características y medidas de prevención de los riesgos naturales a las que está expuesta la población nacional, es por ello que describe los aspectos de cada uno de estos riesgos que hacen vulnerable a la población a sufrir un percance que puede ser de consecuencias graves.

Vences, 2007, realizó la caracterización de los aspectos físicos del Cerro de Coatepec, Estado de México, en la cual analizo la problemática por remoción en masa, donde describe y argumenta que tipo de procesos se están dando y las características que presentan visualmente dentro del área de estudio.

Hernández, 2008, realizó una caracterización de los procesos geomorfológicos en el Municipio de Lerma, donde da un análisis del territorio y obtiene las características geomorfológicas que tiene dentro de la misma y de la evolución en la misma.

García, 2008, elaboró el trabajo de "Evaluación de Riesgo por Caída de Bloques en Santiago Miltepec, Toluca. Estado de México", la cual a través de estudios geológicos y geomorfológicos evaluó el peligro que existe en la zona por caída de bloques y el riesgo que existe hacia la población.

Cada uno de los trabajos ha ayudado a conocer diferentes aspectos y criterios con los cuales se determinan y estudian los procesos gravitacionales, lo que ayuda a conocer diferentes características físicas del territorio que debemos tomar en cuenta y relacionarlas para estudiar y un analizar de cada uno de ellos, con el objetivo de establecer el grado de riesgo que se encuentra en el territorio.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO PROCESOS GRAVITACIONALES

El estudio de los riesgos se aborda de acuerdo con los fundamentos teóricos y metodológicos de cada ciencia. Las ciencias naturales, con base en parámetros geológicos, geofísicos, biológicos, climáticos y ecológicos, proporcionan elementos básicos para el conocimiento de la génesis, evolución, dinámica y ciclos de ocurrencia de los peligros (amenazas) naturales que inducen a situaciones de desastre, (Frausto, 2002).

El presente Capítulo se ha dividido en tres subcapítulos con el fin de destacar:

- A) Procesos Gravitacionales
- B) Procesos Endógenos
- C) Procesos Exógenos
- D) Vulnerabilidad Social
- E) Riesgo

Para llegar al conocimiento de las formas del relieve, están debe estudiarse con base en principios morfológicos, genéticos, cronológicos y dinámica. Los parámetros morfológicos se refieren a la expresión del relieve; cada forma posee un significado. El origen de las formas del relieve se debe a la interacción de las fuerzas internas terrestres con los procesos externos. La edad relativa o absoluta del relieve se relaciona con la morfología. Por último, los parámetros de la dinámica reflejan la evolución-espacio temporal de la forma del relieve (Toscana, 1998).

La geomorfología tiene corrientes teóricas a través de los tiempos y con ello cada uno de los aspectos que estudia esta ciencia. Uno de ellos son los procesos gravitacionales. En época actual los avances tecnológicos y el desarrollo científico que ha mostrado el hombre relacionados con esta rama, ha dado una mayor efectividad en los estudios geomorfológicos en nuestro país y en el mundo, que tienen mayor veracidad en los estudios y análisis de procesos que se dan en el Planeta Tierra. Mediante fotografías aéreas, imágenes de satélite, GPS, software, entre otros, han impactado el estudio creando un interés por el análisis de la actividad terrestre, para prevenir los riesgos sociales y con esto demostrar que los conocimientos geomorfológicos son recientes y que retoman una mayor fuerza entre las ciencias.

Para el desarrollo de un estudio de riesgo de origen geomorfológico, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos (Campos, 1994):

- ❖ Estudio geológico de la zona
- ❖ Estudio de la topografía
- ❖ Clases o tipos de desastres a los que ha estado expuesta la zona.
- ❖ Efecto de desastres anteriores
- ❖ Posibles efectos de desastres actuales o futuros de acuerdo con el estado actual de las características de la zona
- ❖ Número de habitantes
- ❖ Número y calidad de las construcciones
- ❖ Construcciones ubicadas en la zona de mayor peligro
- ❖ Preparación de la población en materia de seguridad
- ❖ Medidas que se hayan tomado para mitigar el efecto de los desastres
- ❖ Extensión de la zona y accesibilidad de la misma
- ❖ Dispersión de la población
- ❖ Clase de caminos y condiciones de los mismos
- ❖ Posibilidad o no de caminos alternos

En la actualidad los estudios de procesos gravitacionales han tomado una relevancia significativa para los investigadores, debido a la actividad del hombre, esto por la modificación que ha sufrido el paisaje terrestre por el ser humano, exponiéndose de forma tal que en nuestro país se han suscitado desastres donde actúan las modificaciones estructurales del relieve que el humano ha creado en su espacio geográfico.

La superficie de la Tierra nunca es plana, si no consiste en laderas de muchas variedades diferentes (Tarbuck y Lutgens, 2005). Son factores diferentes los que intervienen en la actividad de un procesos gravitacional, uno de ellos es el relieve de la tierra ya que tiene una combinación de pendientes de diferente inclinación y forma (Seco, 1982), sobre éstas son donde la actividad gravitacional predomina, debido a que como su nombre lo dice son procesos sujetos a la gravedad.

A) PROCESOS GRAVITACIONALES

En el planeta Tierra se desarrollan procesos geodinámicas que afectan a la superficie de la tierra ocasionando movimientos del terreno con diferente magnitud e intensidad, siendo un factor de riesgo al afectar de forma directa o indirecta al ser humano y sus actividades.

Los procesos por los cuales se pueden producir deslizamientos y caídas gravitacionales son variados como la erosión, disolución, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas y precipitaciones intensas, estos movimientos del terreno son el reflejo del carácter dinámico del medio geológico y de la evolución natural del relieve, otro factor es desencadenado por el hombre al interferir con la naturaleza y modificar las condiciones con sobrecargas y cambios geométricos del terreno (Tarbucks y Lutgens, 2005).

En la actualidad se tiene diversidad de definiciones sobre los procesos de remoción en masa, como Rice, 1983, define a los movimientos en masa, como la transferencia de materiales de vertientes desplazándose hacia abajo como un cuerpo coherente variando la capa de desplazamiento de pocos centímetros a metros. Autores como Tarbuck y Lutgens, 2005, define a estos procesos como el movimiento pendiente abajo de roca, regolito y suelo, bajo la influencia directa de la gravedad.

Thornbury (1969) indica que Sharpe (1938), reconoció cuatro clases de procesos gravitacionales, clasificándolos de la siguiente manera:

- **Flujo lento:** Determinados por el movimiento cuesta abajo del suelo y de detritos rocosos.
- **Flujo rápido:** Caracterizado por las corrientes terrosas, corriente de barro y derrumbamiento de detritos.
- **Deslizamientos:** Desmoronamientos, deslizamientos de detritos, caída de detritos, deslizamiento de rocas y talud de rocas, se menciona que por lo general son movimientos perceptibles e involucran masa relativa seca de detritos rocosos, o masas individuales de rocas o bloques.
- **Hundimientos:** Se manifiestan por medio de desplazamientos hacia abajo del material terroso superficial, sin una superficie libre y sin desplazamiento horizontal o por el hundimiento progresivo del fondo de una cuenca de acumulación siendo este paralelo el procesos de depositación de sedimentos.

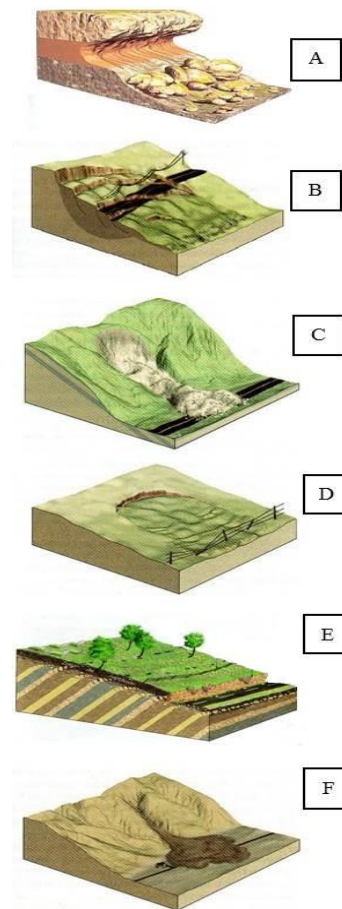
Se tienen definidos elementos constitutivos según Suárez (2001) para las laderas:

- I. **Altura:** Distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta definida en los taludes artificiales, pero su cuantificación es complicada en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- II. **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendientes en la parte inferior.
- III. **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- IV. **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie de talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- V. **Pendiente:** Medida de inclinación de talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación $m/1$, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

En la ciencia geomorfológica se tiene una clasificación para los tipos de procesos de remoción en masa o gravitacionales:

- A. **Desprendimiento:** cuando el movimiento implica la caída libre de fragmentos sueltos de cualquier tamaño, característico de pendientes muy empinadas donde el material suelto no puede mantenerse sobre la superficie.
- B. **Desplomes:** desprendimiento hacia debajo de una masa de roca o de material no consolidado, que se mueve como una unidad a lo largo de una superficie curva.
- C. **Deslizamientos:** material que se encuentra coherente y su movimiento es a lo largo de una superficie bien definida, que puede ser una falla, una superficie de estratificación o una diaclasa aproximada a la paralela de la pendiente.
- D. **Flujo:** el material se desplaza pendiente abajo en forma de un fluido viscoso, la

Figura 1.1: Tipos de Procesos Gravitacionales
(Tarbuck y Lutgens, 2005).



mayor parte saturada de agua y se mueve siguiendo una forma de lengua o labulo.

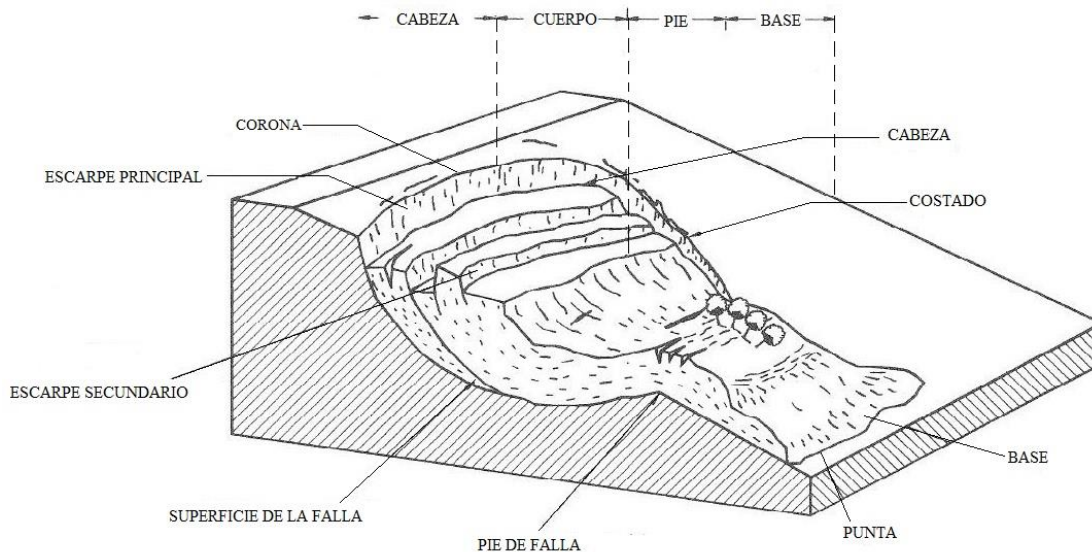
- E. **Reptación:** proceso gravitacional que implica el movimiento descendente gradual del suelo y regolito
- F. **Soliflucción:** proceso gravitacional que se da cuando el suelo está saturado de agua, la masa empapada fluye pendiente abajo a una velocidad de unos pocos centímetros.

Los deslizamientos poseen características durante y después de su actividad es por ello que existe una clasificación de sus partes después de que se haya suscitado dicho procesos, las partes son según Suárez (2001):

1. **Escarpe principal:** Corresponde a la superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimientos, causado por el desplazamiento del material fuera de terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
2. **Escarpe secundario:** Corresponde a la superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferenciales dentro de la masa que se mueve.
3. **Cabeza:** Corresponde a la parte superior del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
4. **Cima:** El punto más alto del contacto entre el material perturbador y el escarpe principal.
5. **Corono:** El material que se encuentra en el sitio, inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.
6. **Superficie de falla:** Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen del material desplazado. Corresponde al volumen del suelo de bajo de la superficie de falla no se mueve.
7. **Pie de la superficie de falla:** Corresponde a la línea de interceptación (algunas veces tapadas) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
8. **Base:** Corresponde al área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
9. **Punta o uña:** Corresponde al punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
10. **Costado o flanco:** Corresponde al lado (perfil lateral) del movimiento.
11. **Superficie original del terreno:** Corresponde a la superficie que existía antes de que se representara el movimiento.

12. **Derecha e izquierda:** Para describir un deslizamiento se prefiere utilizar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observando desde la corona mirando hacia el pie.

Figura 1.2: Nomenclatura de un deslizamiento (Suárez, 2001)



Es apto conocer o identificar indicadores los cuales muestran un indicio de inestabilidad de laderas, el Centro Nacional de Prevención de Desastre (CENAPRED) da 10 indicadores para la identificación de estos procesos geomorfológicos:

- Manantiales, filtraciones o suelos saturados en áreas que no estén húmedas.
- Desarrollo de grietas o abultamiento en el terreno, ya sea artificial o natural.
- Movimiento de suelos que dejan al descubierto la cimentación de su estructura.
- Estructuras secundarias o añadidas (terrazas, marquesinas, etc.) que se han movido o inclinado con relación a la estructura principal.
- Inclinación o agrietamiento de pisos y cimentaciones de concreto.
- Ruptura de tubos de agua y otras estructuras subterráneas.
- Inclinación de postes telefónicos y eléctricos, arboles, muros de contención y muros.
- Cercas o postes desalineados.
- Carreteras que se hunden de repente.
- Cuando el nivel del agua de un arroyo se incrementa rápido, posiblemente acompañado por incrementos en la turbidez del agua.

- Cuando el nivel del agua en los arroyos descienden súbitamente, a pesar de que está lloviendo o ha llovido recién.
- Puertas y ventanas que no cierren con facilidad y espacios visibles entre los marcos de las mismas.

Otra condicionante es el movimiento lento, de partículas de los suelos o fragmentos de rocas (Seco, 1982), para reconocer en campo una reptación de acuerdo con (Ortiz y Zamorano, 1999), mencionado por (Sánchez, 2007), se debe registrar las siguientes características:

- a) Áreas permanentes o constantes saturadas de agua, tomando en cuenta el periodo seco del año.
- b) Sinuosidad, levantamiento y hundimiento en el terreno provocados por la expansividad de arcilla o materiales que podrán desplazarse, el área sinuosa se vería ampliada por las sequias (contracción de arcilla) o por saturación de agua (expansión).
- c) Bloqueo en el drenaje o manantiales
- d) Vegetación densa en la estación seca del año
- e) Actividades del hombre que hagan uso de agua que genere o acelere la formación de flujos por saturación inducida
- f) La inclinación de árboles y muros, son señales del comienzo de desplazamiento y la inestabilidad existente
- g) Grietas en continuo aumento sobre pisos y paredes de casas o sobre carreteras u obras en cemento. (Burton, 1978), citado por (Frausto, 2002), propone 7 variables en relación con la amenaza:

1. Magnitud (alta-baja)
2. Velocidad de emplazamiento, ambas pueden ser cuantificadas instrumentalmente (sismógrafos, pluviómetros, o diseños técnicos propios para cada fenómeno) o descrito por inferencias estadísticas.

La velocidad con la que se mueven las laderas varían dependiendo del tipo de movimiento, de la inclinación del terreno y la cantidad de agua. La caída y flujos alcanzan grandes velocidades, más sin embargo los flujos son más peligrosos debido a que generalmente involucra grandes cantidades de material, cubriendo grandes extensiones territoriales ocasionando grandes catástrofes.

Para identificar el grado de peligro de un problema de inestabilidad de laderas, se debe partir del hecho que mientras mayor sea la velocidad del movimiento, mayor es su capacidad destructiva (tabla 1.1).

Tabla 1.1. Escala de velocidad de los movimientos de laderas (WP/WLI, 1995)

Velocidad	Descripción de velocidad	Naturaleza de impacto
	Extremadamente lento	No hay daño a las estructuras construidas con criterios de ingeniería formales.
0.06 m/año ó 0.016 m/año	muy lento	Algunas estructuras permanentes no son dañadas y sufren agrietamientos por el movimiento, pueden ser reparadas.
1.5 m/año ó 1.6 m/año	lento	Carreteras y estructuras poco sensibles pueden sobrevivir a través de trabajo de mantenimiento constante
1.5 m/año ó 1.6 m/año	moderado	Estructuras poco sensibles pueden sobrevivir
1.5 m/año ó 13 m/mes	rápido	Posible escarpe y evacuación, estructuras, posesiones y equipos destruidos.
0.3 m/min ó 3m/min	muy rápido	Perdida de algunas vidas, gran destrucción.
3 m/min ó 5 m/min	extremadamente rápido	Catástrofe de gran violencia

CENAPRED 2000-2007 Fascículo de Inestabilidad de Laderas

3. Frecuencia (frecuente-raro)
4. Duración (largo-corto), los cuales se caracterizan por medio de análisis estadísticos o cronológicos.
5. Espaciamiento temporal (regular-irregular) distinguiendo entre fenómenos en secuencia o al azar (esporádicos).
6. Extensión espacial (limitado-ilimitado).
7. Dispersión espacial (difuso-concentrado), que presenta patrones puntuales, lineales o en áreas.

Se mostrara los agentes y condiciones específicas de peligro y situaciones o eventos asociados al desastre en las amenazas naturales (tabla 1.2).

Tabla 1.2. Agentes y Condiciones específicas de peligro y situaciones asociados al desastre natural, según Burton, (1978 citado por Frausto, 2002).

Agentes (condiciones/procesos)	Eventos (peligrosos específicos)
AMENAZAS NATURALES	
Atmosférico Temperatura, lluvia, presión, vientos, relámpagos, nieve granizo.	Tormentas de nieve y granizo, tornados, sequias, tormentas de lluvia y viento, ciclones tropicales y tormentas eléctricas e incendios
Hidrológicos-geomorfológicos Corrientes fluviales, deshielo, agua subterránea, cambios del nivel del mar.	Inundaciones en riberas fluviales y en la costa, obturación natural de cauces, avance de glaciares, erosión.
Geológicos-Geomorfológicos Sismicidad, volcanismo, tectonismo, movimientos en masa, radioactividad y geotérmicos.	Terremotos, erupciones volcánicas, derrumbes, deslizamientos, avalanchas, flujos, subsidencias, yacimientos geológicos.
Biológicos y sanitarias Virus, bacterias, protozoo, algas, plantas, insectos y animales.	Epidemia, plagas, transmisión de enfermedades sexuales, ñinvasionesö de plantas, animales e insectos.

La investigación de una ladera, talud o deslizamiento consiste en obtener toda la información posible sobre las características topográficas, geológicas y geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y un diseño efectivo de solución (Suárez, 2001). Para las metas de la investigación es necesario conocer parámetros que determinan la estabilidad de las laderas de acuerdo con el autor Suárez (2001):

I.A.1. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS (Suárez, 2001)

La conformación topográfica del talud: altura, pendiente, curvatura, largo y ancho, actúan en forma conjunta o separada, afectan la estabilidad de un talud, por cuanto determinan los niveles de esfuerzos totales y las fuerzas de gravedad que provocan los movimientos.

Entre los parámetros topográficos a estudiar se puede mencionar los siguientes:

I.A.1.1. Pendientes

La superficie terrestre muestra diferentes tipos de relieve en donde se encuentran combinaciones de pendientes de diferente inclinación y forma, y cada formación presenta un ángulo de pendiente a partir del

cual el talud puede mostrar una inestabilidad (Seco, 1982) menciona dos maneras de analizar las pendientes.

I.A.1.1.a Procesos que originan las pendientes (génesis).

Donde actúan los procesos endogenéticos y exogenéticos, para la formación de las pendientes.

Atendiendo a la génesis de las pendientes, se clasifican como:

- ❖ Tectónicas: son causadas por los movimientos tectónicos que dan lugar a los plegamientos y fallamientos, dando origen a pendientes de diferentes inclinaciones.
- ❖ Denudativa: actividad de agentes destructivos sobre la superficie terrestre, provocando la aparición de pendientes denudativas.
- ❖ Acumulativas: actividad constituida de los procesos exogenéticos, dando lugar a superficies inclinadas.

I.A.1.1.b Procesos que modelan la pendiente.

Formada la pendiente, actúan sobre ella un conjunto de procesos que se denominan Procesos de Pendiente, donde la gravedad tiene un papel fundamental en la transformación de las pendientes.

Es por ello que se puede definir a la pendiente como una superficie en la cual la acción de la gravedad cumple con un papel fundamental en el traslado del material.

Seco relaciona los principales tipos de procesos de pendientes con su intensidad o velocidad con que ocurre y con la composición del material movilizado (tabla 1.3).

Tabla 1.3. Tipos de Procesos de Pendientes según Seco (1982).

Intensidad	Partículas de suelo y fragmentos de roca	Agua
Generalmente imperceptibles	Deflución	Soliflucción
Perceptibles ↓ Rápido		Corriente de fango. Deslizamiento de Tierra

Perceptible Rápido ↓ Muy Rápido	Deslizamiento de bloques Derrumbes	
---	---------------------------------------	--

I.A.1.2. Curvatura

Se define como la concavidad o la convexidad ya sea tanto en sentido longitudinal como transversal y afecta el equilibrio de la masa en sí, así como la capacidad de infiltración y de erosión por efecto en la velocidad de agua de escorrentía (Suárez, 2001).

I.A.1.3. Largo-ancho

Entre más largo sea un talud, mayor recorrido tendrán las aguas de escorrentía sobre éste y por lo tanto el talud estará más expuesto a la erosión superficial Suárez (2001).

I.A.1.3. Áreas de infiltración arriba del talud

Identificar áreas de concentración de agua arriba de talud, que coinciden con depresión topográficas o zonas de regado intenso. Entre más extensión sea la zona que aporte agua al talud, será mayor la cantidad de agua que está afectando la estabilidad del talud Suárez (2001).

I.A.2. PARÁMETROS GEOLÓGICOS

Define las características o propiedades del suelo o roca. La formación geológica determina la presencia de materiales duros o de baja resistencia y las discontinuidades pueden facilitar la ocurrencia de movimientos a lo largo de ciertos planos de debilidad. Los elementos geológicos principales que se deben estudiar son los siguientes:

I.A.2.1. Formación geológica

Elementos de origen ígneo-metamórfico poseen un comportamiento diferente a los suelos de origen sedimentario, aluviones y coluviones.

I.A.2.2. Estructura y discontinuidades

En los suelos residuales y rocas la estratificación y las discontinuidades actúan como planos de debilidad o como conductores de corriente de agua subterránea y las características de estas pueden facilitar los movimientos.

I.A.2.3. Meteorización

La descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamiento.

Los movimientos de laderas o deslizamientos de gran intensidad, causan una gran cantidad de víctimas y pérdidas económicas, según el Banco Mundial en las últimas dos décadas los muertos en el mundo han superado los 3 millones, con más de 800 millones de damnificados, entre los años 90 y 96 los desastres naturales han superado los 40000 millones de dólares en pérdidas. Los daños asociados a un determinado proceso geológico dependen de:

- ✚ La velocidad, magnitud y extensión.
- ✚ La posibilidad de prevención, predicción y tiempo de alerta.
- ✚ La posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo.

Tabla 1.4. Procesos Geológicos y Meteorológicos que pueden causar Riesgo (Suarez, 2001).

Procesos Geodinámicas Externos	<ul style="list-style-type: none">• Deslizamientos y desprendimientos• Hundimientos y subsidencias• Erosión• Expansividad y colapsabilidad de suelos
Procesos Geodinámicas Internos	<ul style="list-style-type: none">• Terremotos y tsunamis• Vulcanismo• Diapirismo
Procesos Meteorológicos	<ul style="list-style-type: none">• Lluvias torrenciales y precipitaciones intensas• Inundaciones y avenidas• Procesos de arroyada• Huracanes• Tornados

I.A.3. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS (Suárez, 2001)

Los cambios en el régimen del agua subterránea actúan como detonadores de movimientos de laderas o taludes y estos se encuentran generalmente, relacionados con las lluvias y la hidrología superficial. En un estudio de deslizamiento se deben tener en cuenta los parámetros relacionados con la hidrogeología, con los siguientes factores:

I.A.3.1. Características de las lluvias

La ocurrencia de periodos lluviosos intenso produce ascensos en los niveles piezométricos y la saturación disminuye la tensiones capilares.

I.A.3.2. Régimen de aguas subterráneas

El nivel del agua freática puede fluctuar de manera considerable con el tiempo y modificar la resistencia de los materiales y el estado de esfuerzos.

Es importante determinar las áreas de recarga y descarga, partiendo de la base de conocimiento de cima regional y análisis del terreno, incluyendo el tipo y distribución de la roca, fallas, fracturas, manantiales y humedales.

I.A.4. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (Suárez, 2001)

I.A.4.1. Resistencia al cortante

Representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento. Los parámetros de ángulo de fricción y cohesión determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno.

I.A.4.2. Sensitividad

La sensitividad se define como la relación de la resistencia pico al corte entre una muestra inalterada y otra remoldeada.

I.A.4.3. Expansividad

La expansividad de un suelo se puede medir por medio de ensayos de presión de expansión o expansión libre o por su relación con los límites de plasticidad. La expansividad de suelos arcillosos en los rellenos de juntas puede generar deslizamientos de rocas. Los suelos arcillosos pueden al tener contacto con el agua expandir su volumen produciéndose movimientos de extensión dentro de la masa del suelo.

I.A.4.3. Erosionabilidad

La erosionabilidad es la factibilidad con la cual el suelo puede ser desprendido y transportado por acción del agua. Este factor puede afectar la estabilidad de un talud, en cuanto produce cambios topográficos desestabilizantes o genera conductos internos de erosión.

I.A.5. PARÁMETROS AMBIENTALES Y ANTRÓPICOS

El clima ejerce una influencia en la rata de meteorización. Según Suárez, 2001 las reacciones químicas se duplican con cada 10°C de aumento de la temperatura. Factores tales como: evaporación, fuerzas sísmicas, vegetación y modificación causadas por el hombre, puede producir alteración del talud lo cual afecta su inestabilidad.

Los parámetros para el estudio de los deslizamientos son particulares y que se relacionan durante los sucesos de esta actividad, es por ello que al conocer las diferentes características debemos tomarlas en cuentas y si cada una de ellas tienen una relación para que se efectúa cada una de ellas.

I.A.5.1. Vegetación

El tipo de vegetación tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple con dos funciones, el primero es determina el contenido de agua en la superficie y da consistencia por el esqueleto de sus raíces. Segundo lugar como controlador de infiltraciones teniendo un efecto directo en el régimen de aguas subterráneas y la actúan posterior es como secador del suelo, al tomar el agua que requiere para vivir. Factores que la vegetación proporciona para prevenir los deslizamientos Suárez (2001):

1. Intercepta la lluvia
2. Aumenta la capacidad de Infiltración

3. Extrae la humedad del suelo
4. Grietas de desecación
5. Raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al cortante
6. Alcanzan el suelo superficial a manto más profundos
7. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión

Los parámetros y características que desencadenan los deslizamientos en una zona de estudio pueden variar, como puede ser factor la geología, la topografía del lugar, la edafología, la hidrología, el clima, geología y uso de suelo, teniendo fuentes desencadenantes de remoción en masa variables Suárez (2001), (tabla 1.5).

Tabla 1.5. Parámetros que se requiere determinar en el estudio de un deslizamiento Suárez (2001).

Tema	Parámetros	Características
Topografía	Localización con coordenadas	Planta de localización de ríos, cañadas, depresiones, humedades, vegetación, vías, escarpes, áreas de deslizamiento, etc.
	Líneas de Nivel	Levantamiento con líneas de nivel que permitan determinar las áreas deslizadas o en procesos de movimiento. Identificar los escarpes, levantamientos y otras anomalías.
	Cambios Topográficos	Localizarlos y correlacionarlos con la geología, aguas lluvias o subterráneas, posibles deslizamientos anteriores, procesos antrópicos, etc. Localizar focos de erosión, evidencia de movimientos, hundimientos o levantamientos del terreno. Ratas de cambio de la topografía con el tiempo.
	Perfiles	Curvatura, convexidad. Correlacionarlos con la geología y con 1 plano de líneas de nivel. Calcular pendientes y alturas. Localizar los perfiles de plano en planta.
	Drenaje Superficial	Si es continuo. Si es intermitente. Parámetros del sistema
Geología	Formación Geológica	Litología y características de cada formación. Secuencias de las formaciones. Profundidad a la cual aparece roca sana. Presencia de coluviones. Caracterización de suelo residual. Presencia de minerales susceptibles a alteración.
	Estructuras en tres dimensiones	Estratificación. Espesor y características de cada manto. Plegamiento. Rumbo y buzamiento de los planos o foliaciones. Cambios de rumbo o buzamiento. Relación entre rumbos y buzamientos con la pendiente de talud. Fallas, brechas y zonas de corte.
	Discontinuidades	Rumbo. Buzamiento. Separación entre discontinuidades, Aspereza. Abertura. Material de relleno. Continuidad, Fricción y Cohesión.
	Meteorización	Profundidad. Características (químicas y mecánicas). Elaboración de perfiles de meteorización.
	Fracturación	Tamaño de los bloques. Formación de Bloques. Posibilidades de deslizamiento o volteo.
Agua Subterránea	Altura del nivel de agua	Niveles normales, aislados y suspendidos. Planos de líneas de nivel freático y líneas de flujo.
	Fluctuaciones	Fluctuaciones del nivel de agua con el tiempo y su relación con las lluvias. Variación de los niveles en el momento exacto de una lluvia. Fluctuación a lo largo del año
	Caracterización	Altura capilar, presión de poros y presiones artesianas. Velocidad y dirección del movimiento del agua. Indicaciones superficiales de afloramientos de agua, zonas húmedas y diferencias de la vegetación. Química de las aguas subterráneas, sales disueltas, contaminación, presencia de aceites. Efectos de las actividades humanas sobre el nivel freático. Posibilidades de fugas de ductos de servicios públicos. Características del drenaje interno.
Mov. De	Tipo de falla	Caído, flujo, deslizamiento de rotación o traslación, etc. y caracterización

Falla	Caracterización	Profundidad y forma de la superficie de falla. Dirección del movimiento, rata de movimiento, áreas y volumen.
Factores Externos	Sísmica	Aceleración de diseño-intensidad y magnitud, profundidad de epicentros, distancia de los epicentros. Relación con fallas geológicas cercanas, cambios sísmicos con el tiempo, presencia de suelos susceptibles a sufrir cambios por vibraciones. Presencia de volcanes.
	Vegetación	Especies presentes, cobertura, caracterización del follaje y las raíces. Comportamiento de evapotranspiración.
	Clima Regional	Clima, lluvias, vientos, temperaturas (media y extremo horaria y diaria)-cambios barométricos.
	Intervención antrópica	Modificación causada por el hombre, áreas de deforestación, localización de piscinas, tubería de acueducto y alcantarillado, irrigación, minería, cortes y relleno, etc.
Mecánica de Suelos	Propiedades Mecánicas	Erosionabilidad, granulometría-plasticidad-clasificación, resistencia la corte (ángulo de fricción y cohesión), permeabilidad, sensibilidad y Expansibilidad.
Agua Superficial	Precipitación	Precipitación máxima y mínima y promedio, anual mensual y diaria. Lluvia máxima en una hora. Forma (lluvia granizo o nieve), horario y duración de las lluvias.
	Cuenca Tributaria	Área, pendiente y cobertura vegetal.
	Escorrentía	Tiempo de concentración y cálculo del caudal máximo para diseño.
	Infiltración	Infiltración en % relacionado con la precipitación.

Los factores que influyen en el comportamiento geomecánico de los materiales de laderas, se presentando sub-ramas ya que cada uno de estos factores contribuye de distinta manera la presencia de procesos de remoción en masa (tabla 1.6).

Tabla 1.6. Factores influyentes en el comportamiento geomecánico de los materiales de ladera (Modificado de Varnes, 1988).

Reducción a la Resistencia al Corte	Aumento de los esfuerzos de corte	
Condiciones Iniciales: <ul style="list-style-type: none"> - Composición, textura y estructura. - Fracturas y Fallas. - Planos de estratificación y de foliación - Zonas de brechas. - Rocas masivas sobre materiales plásticos. - Alternancia de materiales con diferentes permeabilidad 	Actuación de esfuerzos transitorios: <ul style="list-style-type: none"> - Movimiento sísmico. - Vibraciones por voladuras, maquinaria y tráfico. - Deslizamiento cercano. 	
	Cambios en los materiales por meteorización y reacciones físicos-química: <ul style="list-style-type: none"> - Desintegración física de rocas - Hidratación de minerales arcillosos - Desecación de arcilla y de rocas arcillosas. - Disolución y lavado de materiales. - Plastificación de Arcilla 	Pérdidas de confinamiento lateral y en la base de las laderas: <ul style="list-style-type: none"> - Erosión del pie de las laderas por ríos, arroyos, olas, mareas, etc. - Erosión interna o subterránea. - Disolución y lavado de material. - Labores minerales. - Presencia de materiales plásticos infrayacentes.
		Cambios en la morfología: <ul style="list-style-type: none"> - Deslizamientos - Grandes Fallas
		Sobrecargas Naturales:

<p>Cambio en las fuerzas intergranuales debidas al agua en poros y fracturas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precipitaciones - Deshielo - Lagos y Embalses - Riesgo - Deforestación 	<ul style="list-style-type: none"> - Peso de la lluvia, nieve y agua de acuíferos. - Acumulación de derrubios coluviones o masas deslizadas. - Vegetación. <p>Sobrecargas antrópicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rellenos, escombreras y acopio de materiales. - Edificios y otras estructuras. - Cultivos y riego de laderas.
<p>Cambios en la estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Por fisuración en pizarras y arcillas sobre-consolidadas. - Por relajación de tensión en laderas rocosas en valles o excavaciones. - Por remodelo de suelos finos (arenas, loess) arcillas y sensitivas. 	<p>Otras acciones antrópicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Excavaciones - Retirada de elementos de contención - Construcción de embases y lagos <p>Presión Lateral</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agua en grietas y cavidades - Hielo en grietas - Presencia de materiales expansivos - Movilización de esfuerzos residuales
<p>Debilitamiento de la resistencia debido a procesos de creep.</p> <p>Acciones de las raíces de los árboles y arbustos</p> <p>Excavación de madrigueras de animales.</p>	<p>Procesos Volcánico</p>

B) PROCESOS ENDÓGENOS

Los factores endógenos se encargan de crear las grandes formas de relieve, con procesos que suceden en la corteza, y manto superior; son identificables por la formación irregular de la superficie terrestre; los continentes, los sistemas de montaña, las depresiones oceánicas entre otras. Estos procesos se manifiestan mediante fuerzas tectónicas (sismicidad, vulcanismo, magmatismo, ruptura de rocas y su deformación, entre otras); y los procesos externos relacionados con el clima y las fuerzas de gravedad, son las que nivelan este relieve, las montañas son rebajadas y las depresiones rellenas con sedimentos; ambos fenómenos poseen distinta velocidad en su proceso (Lugo, 1991 y Hernández 2007).

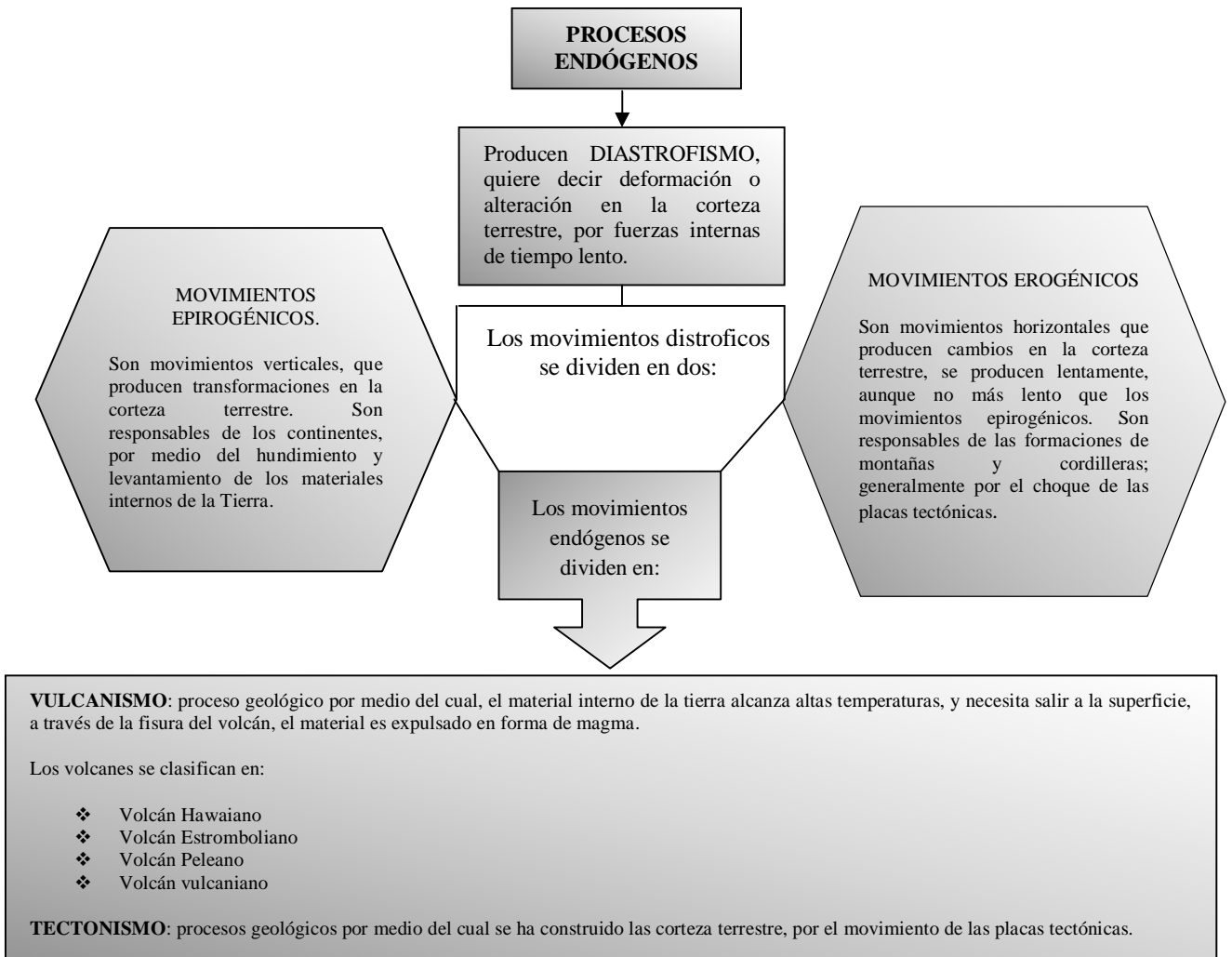


Figura 1.3: Procesos Endógenos (Herrera, 2012)

C) PROCESOS EXÓGENOS

La transformación permanente de la superficie terrestre se realiza por la acción del proceso exógeno, condicionado, por los endógenos, por el clima y la gravedad. Son tres tipos principales de métodos externos los que se encargan de la nivelación de la superficie terrestre: el intemperismo o meteorización, la erosión o denudación y la acumulación, Lugo (1988).

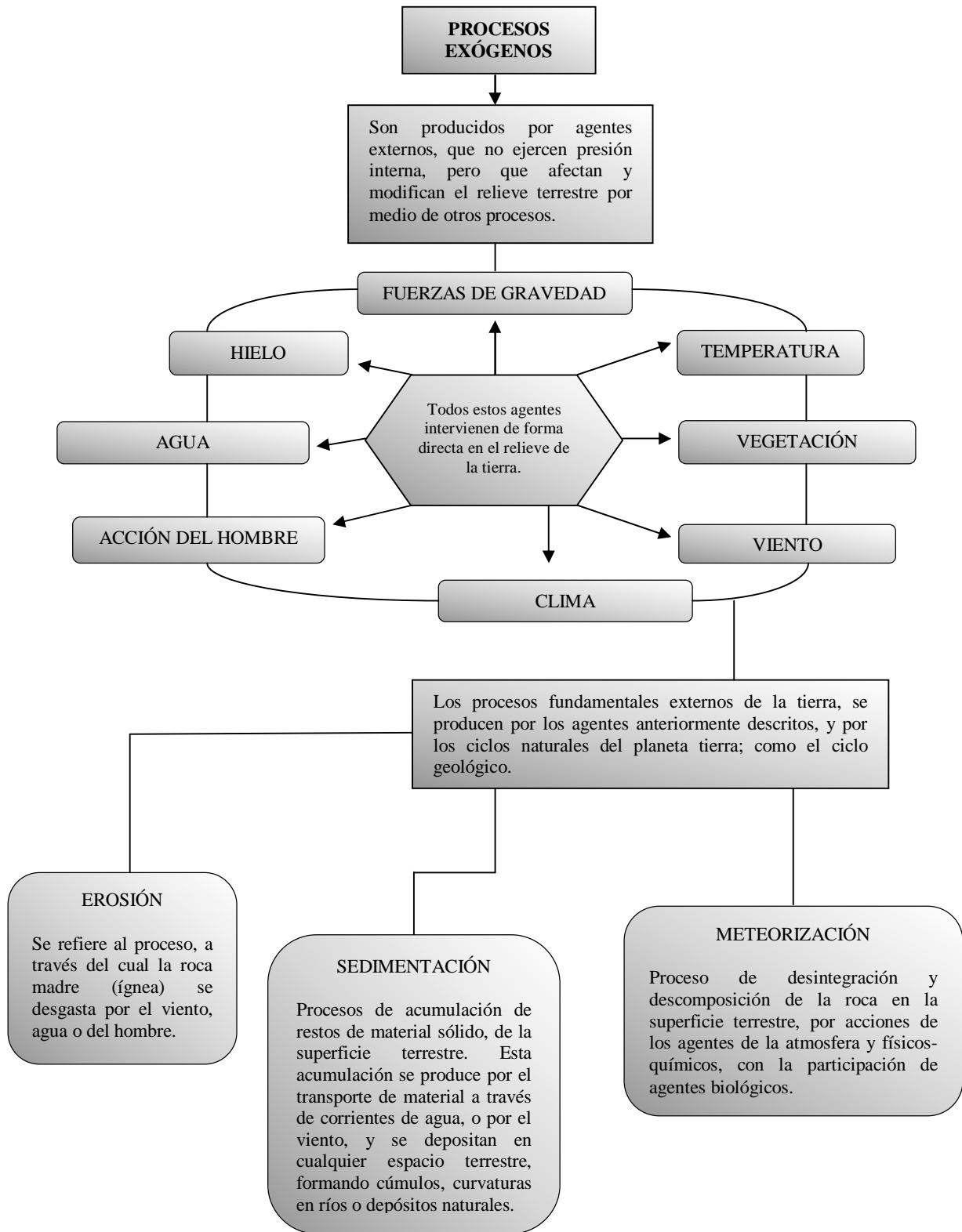
Los procesos exógenos, son el resultado de la fuerza externa, cuya fuente principal de energía es la energía solar. La segunda fuente de energía de los procesos exógenos, no tienen un carácter extra-planetario como la anterior, nos referimos a la aceleración gravitacional o gravedad, Seco (1982).

Los principales procesos exógenos que intervienen en el desencadenamiento de procesos gravitacionales, son factores como procesos fluviales, glaciares, marinos, biogénicos, marinos, etc., teniendo agentes que trabajan sobre la superficie terrestre creando erosión, acumulación, disolución entre otros, (tabla 1.7).

Tabla 1.7. Principales Procesos Exógenos (Seco, 1982).

PROCESOS EXÓGENOS	AGENTES	TRABAJO
Fluvial	- Corrientes temporales - Corrientes estacionales - Corrientes permanentes	Erosión y Acumulación
Marino	- Olas - Corrientes - Mareas	Abrasión y Acumulación
Lacustres	- Olas - Corrientes - Mareas	Abrasión y Acumulación
Glacial	- Glaciares	Erosión y Abrasión
Eólicos	- Viento	Deflación, Acumulación y Corrosión
De Pendiente	- Agua - Gravedad	Denudación y Acumulación
Cársico	- Aguas superficiales y sub-terráneas	Disolución y Acumulación
Biogénico	- Animales y Vegetales	Erosión y Acumulación
Antrópico	- Hombre	Erosión, Denudación y Acumulación
Cósmico	- Meteoritos	Erosión y Acumulación

Figura 1.3: Procesos Exógenos (Herrera, 2012)

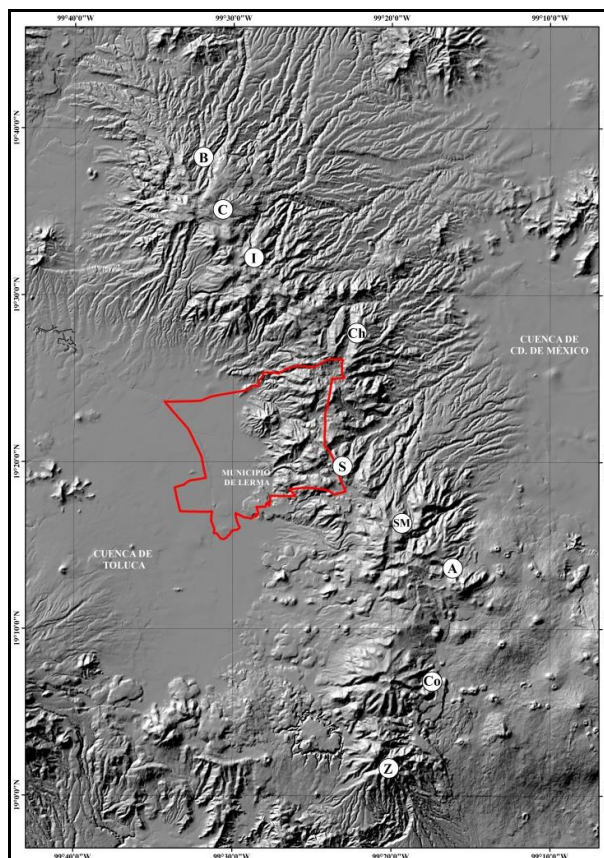


CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO DE LA SIERRA DE LAS CRUCES

La Sierra de las Cruces se encuentra al oriente del Eje Neovolcánico Transversal, constituye el límite morfológico entre las cuencas de México de 2200 msnm y de Toluca de 2400 msnm. Tiene una longitud de 110 Km; y un ancho de 47 Km al N, y 27 Km al S. En la sierra se encuentra conformado por ocho estratovolcanes, de sur a norte encontramos Zempoala, La Corona, San Miguel, Salazar, Chimalpa, Iturbide, la Bufa, la Catedral, y además de encontrarse otras estructuras menores como lo es el volcán del Ajusco (figura 2.1). Los volcanes tuvieron periodos de actividades alternadas, del plioceno al pleistoceno, siendo afectado por varios sistemas de fallas. Según estudios realizados a este sistema de montaña se encuentra dividida en tres grandes bloques norte, centro y sur, siendo delimitados por fallas con dirección de E-W, presentan diferentes altitudes, pendientes, densidad y dirección de morfolineamientos. Identificando tres sistemas de fallas: N-S, NE-SW y E-W, interactuando con fallas normales desde el pleistoceno hasta reciente tiempo, debido a esto la sierra de las cruces ha tenido un arreglo morfoestructurar y en su configuración del basamento de la cuenca de México.

Figura 2.1. Localización de la Sierra de las Cruces



Se puede observar toda la longitud de la Sierra de las Cruces y la división de las cuencas de México y Toluca, en donde se ubica al municipio de Lerma en la parte central de la sierra, ubicando a dos estratovolcanes de los ocho ya mencionados, se encuentra Salazar y Chimalpa.

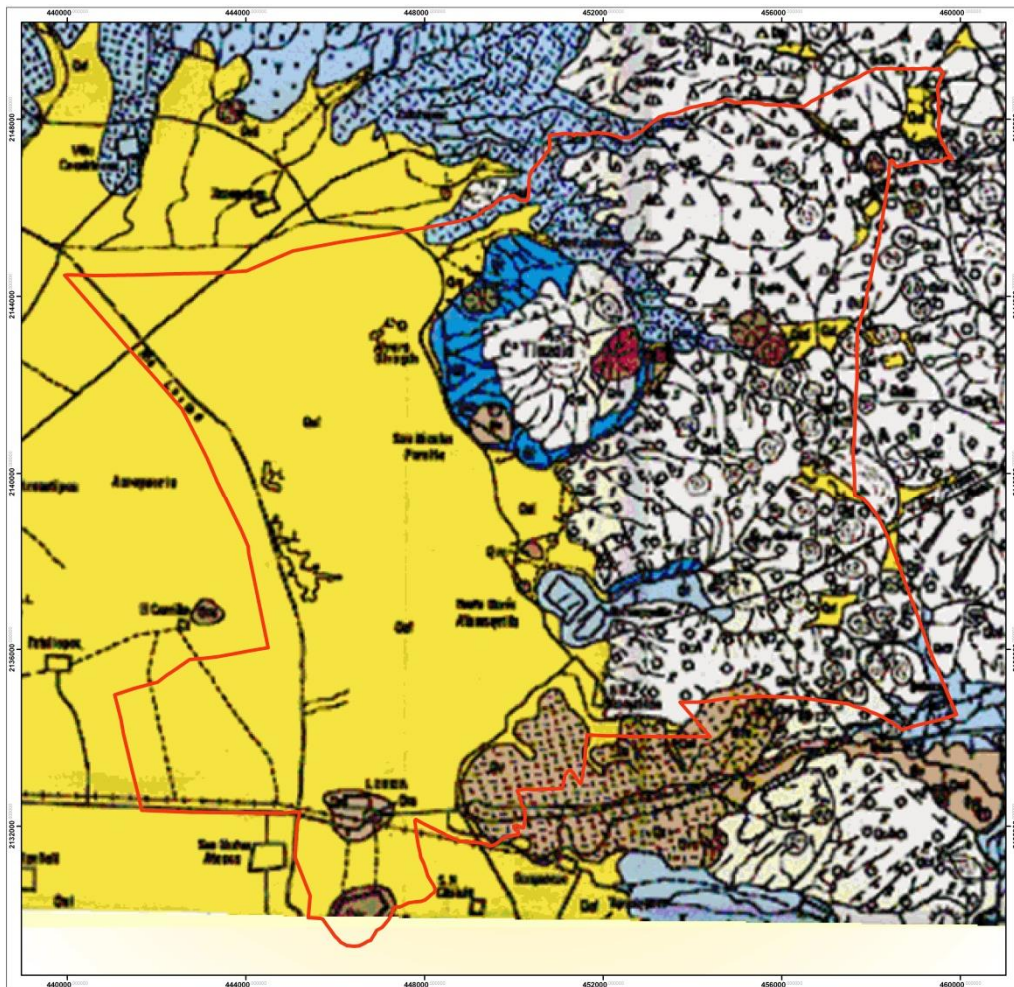
En el municipio de Lerma se encuentra en la zona centro, encontrando en ella dos sub-zonas, la cual se clasifica por medio de las densidades de corrientes, y estas abarcan la zona de Salazar-Chimalpa, las sub-zonas son las siguientes:



- ✓ Subzona CII. Esta región engloba las laderas occidentales de los volcanes Salazar y Chimalpa. Se caracteriza por una densidad de drenaje moderado, de textura media y con patrones de drenaje radial, angular enrejado y dendrítico. Esta variación obedece a las diferentes litologías como flujo de lava y piroclástico, así como la presencia de estructuras volcánicas menores y fallas.
- ✓ Subzona CIII. Se encuentra en las laderas orientales de los volcanes Chimalpa y Salazar, donde se encuentran abanicos de gran espesor, formados por flujos de detritos y de lodo, y en menor cantidad flujos de pómez y cenizas. El drenaje que se encuentra es poco denso, muy espaciado y de textura gruesa, donde se encuentran anomalías en el drenaje debido a la estructura de las fallas con una dirección NE-SW.

Hernández (2007) cita a Mosser, (1996), el cual describe 6 complejos en la Sierra de las Cruces, que se subdividen en otras unidades:

- Complejo El Rehilete con 6 unidades
- Complejo Chimalpa con 6 unidades
- Complejo Bobashi con 3 unidades
- Complejo Salazar con 3 unidades
- Complejo San Miguel con 10 unidades
- Complejo Tlalli-Zempoala con 4 unidades

El espacio municipal de Lerma comprende los complejos de Salazar, Chimalpa y Bobashi, y sus unidades correspondientes son: Caldera exterior Salazar, Caldera Acazulco, domos finales Cerro Santiago; Caldera Huitzililapa; Domo Bobashi, respectivamente (mapa 2.1).




Universidad Autónoma del Estado de México


FACULTAD DE GEOGRAFÍA

TESIS DE LICENCIATURA
 "Procesos Gravitacionales en el Municipio de Lerma, Estado de México"

PLANO GEOLÓGICO

Clave

- Logos, Pisos
- Salto de Calera o Cuzco
- Mérida
- Caldera
- Exposición de escarpes de falla activada
- Falla normal
- Cabalgadura
- Derribe con Coahuila
- Colapso
- Transparencia moderna
- Hummock
- Crietas tectónicas
- Q2
- Q3
- Q4
- Q5
- Q6
- Q7
- Q8
- Q9
- Q10
- Q11
- Q12
- Q13
- Q14
- Q15
- Q16
- Q17
- Q18
- Q19
- Q20
- Q21
- Q22
- Q23
- Q24
- Q25
- Q26
- Q27
- Q28
- Q29
- Q30
- Q31
- Q32
- Q33
- Q34
- Q35
- Q36
- Q37
- Q38
- Q39
- Q40
- Q41
- Q42
- Q43
- Q44
- Q45
- Q46
- Q47
- Q48
- Q49
- Q50
- Q51
- Q52
- Q53
- Q54
- Q55
- Q56
- Q57
- Q58
- Q59
- Q60
- Q61
- Q62
- Q63
- Q64
- Q65
- Q66
- Q67
- Q68
- Q69
- Q70
- Q71
- Q72
- Q73
- Q74
- Q75
- Q76
- Q77
- Q78
- Q79
- Q80
- Q81
- Q82
- Q83
- Q84
- Q85
- Q86
- Q87
- Q88
- Q89
- Q90
- Q91
- Q92
- Q93
- Q94
- Q95
- Q96
- Q97
- Q98
- Q99
- Q100

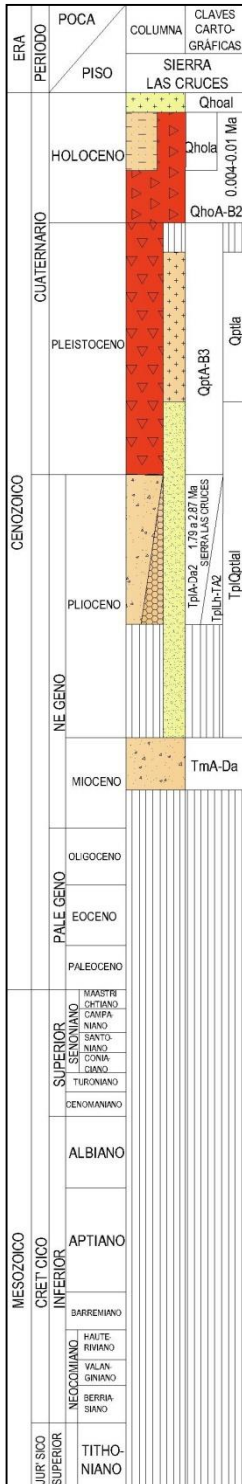
T

Aluviales modernos	Q1	Depósitos secundarios
Aluviales intermedios del tipo fanaluvial	Q2	Depósitos secundarios
Aluviales antiguos	Q3	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q4	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q5	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q6	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q7	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q8	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q9	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q10	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q11	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q12	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q13	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q14	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q15	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q16	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q17	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q18	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q19	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q20	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q21	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q22	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q23	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q24	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q25	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q26	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q27	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q28	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q29	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q30	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q31	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q32	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q33	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q34	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q35	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q36	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q37	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q38	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q39	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q40	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q41	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q42	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q43	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q44	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q45	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q46	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q47	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q48	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q49	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q50	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q51	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q52	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q53	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q54	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q55	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q56	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q57	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q58	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q59	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q60	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q61	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q62	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q63	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q64	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q65	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q66	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q67	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q68	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q69	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q70	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q71	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q72	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q73	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q74	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q75	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q76	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q77	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q78	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q79	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q80	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q81	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q82	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q83	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q84	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q85	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q86	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q87	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q88	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q89	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q90	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q91	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q92	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q93	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q94	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q95	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q96	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q97	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q98	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q99	Depósitos secundarios
Aluviales muy antiguos	Q100	Depósitos secundarios

FUENTE:
 Extracción del mapa geológico de la cuenca Toluca Estratigrafía, Tectónica Regional y Aspectos geotérmicos
COMISSION FEDERAL DE ELECTRICIDAD CFE

Mapa 2. Plano Geológico

Figura 2.2
Marco Geológico de la
Sierra de las Cruces.



La Sierra de las Cruces sobre la secuencia andesítica-dacítica descrita como la formación Xochitepec (TmA-Da), que está parcialmente cubierto por la formación de las cruces (TplA-Da2), así como por una serie de derrames de composición andesítico-dasítico, con variación hasta riodacitas, está cubierta por lahares y tobas andesíticas de la formación Zempoalan (TplLh-TA2), y por derrames de andesíticas basálticas de la formación Ajusco (QptA-B3), al sur de la sierra, cubren a la formación las Cruces del Plioceno tardío, por lo que se infiere una edad del Pleistoceno medio. Los aparatos volcánicos que presentan un vulcanismo de tipo andesítico-basáltico, fueron definidos como formación Jumento (QhoA-B2), con edades de 0.004 a 0.01 Ma (SGM, 2012).

El material de este campo contribuye a la formación de los sedimentos lacustres que conforma la Cuenca Toluca-Ixtlahuaca, descrito como formación Ixtapantongo (Qptla), consistente en secuencia de tobas y rocas clásticas semiconsolidadas que incluyen conglomerados, areniscas y limotitas (SGM, 2012).

El municipio se encuentra inmerso en tres complejos de la sierra de las cruces (tabla 2.1), (Hernández, 2007).

Tabla 2.1. Complejos y unidades de la Sierra de las Cruces, Municipio de Lerma.

Complejos y Unidades de la Sierra de las Cruces	
Complejo	Unidades
Salazar	Caldera Exterior Salazar
	Caldera Acazolco
	Domos Finales C. Santiago
Chimalpa	Caldera de Huitzilapan
Bobashi	Domo Bobas

El complejo con mayor extensión es la de Salazar, se encuentra un antiguo volcán ubicado al E de la localidad, que lleva dicho nombre, teniendo una caldera como evidencia, corresponde a una geología volcánica del cuaternario, presentando domos reolíticos, continuando

NNE de la localidad, y la presencia de una falla con dirección SSE con origen visible al W del domo la Campana, que pertenece a la misma unidad, La fosa del complejo de Salazar se encuentra dominada por los fracturamientos en Z, corresponde a depósitos de la formación Tarango, que se encuentra conformado por un abanico volcánico, presentan depósitos aluviales del cuaternario, característicos de zonas volcánicas (Hernández, 2007).

La unidad Caldera Acazulco se encuentra en el espacio municipal en el Domo la Virgen, corresponde a vulcanitas del cuaternario, encontrándose el cuerpo de la caldera S de la misma, en ella existe la presencia de la falla con dirección SSE, tal vez asociada a la que se encuentra presente en la unidad Domos finales cerro Santiago, y por último el Norte de la caldera se relaciona un domo riolítico.

En la unidad Domos finales, se hace referencia a la formación del Domo Santiago, correspondiendo a vulcanitas del cuaternario, presenta domos alineados ENE y ESE, líneas de falla, así como el relicto de un antiguo volcán al Norte de donde se encuentra la localidad de Santiago Analco, en el mismo lugar hay presencia de tubas en talud, estas tobas fueron formadas por caída de ceniza, durante la intensidad actividad volcánica del Cuaternario.

El Complejo Chimalpa, le corresponde a la Caldera Huitzilapan se muestra el relicto antiguo de un volcán destruido, dicha unidad corresponde a vulcanitas del Cuaternario, hay también presencia de domos riolíticos alineados, resaltando el de Los Manzanos, siendo unos de los dos puntos con mayor elevación altitudinal del municipio, en el flanco NW, W y SW de está, se presenta depósitos de tobas de la formación.

El complejo con menor superficie territorial municipal es el de Bobashi, corresponde a vulcanitas del Cuaternario, con presencia de domos riolíticos alineados, en el cual existen depósitos aluviales.

El cono conocido como El Molcajete, da origen a una colada lávica, cubriendo las porciones SE, S y SW de San Miguel Ameyalco, haciendo mención que el cono no se encuentra dentro del territorio municipal, se nombra para referencia debido a que parte de la actividad se encuentra dentro de la misma. El cono cinerítico y el domo de la formación Chichinautzin, ubicado en las inmediaciones de la comunidad La Concepción Xochicuatla, y el cono denominado La Verónica rodeado de otro conos cineríticos de menor dimensión como lo es el cono cinerítico

llamado el Cenizo y otro más ubicado en San Nicolás Peralta de igual manera los conos de la formación Chichinautzin que se encuentran en las localidades de Lerma, San Pedro Tultepec y Santa María Atarasquillo.

Las tobas en la formación Tarango que caracteriza a las Sierras Mayores, crean extensos abanicos volcánicos compuestos por flujos piroclásticos de composición intermedia a ácida, estratos de pómez, depósitos fluviales y paleosuelos, para el municipio enfatizan las que se encuentran en Atarasquillo, compuestas por un abanico volcánico y el piedemonte que va hacia el sur de San Pedro Huitzilapan a la Concepción Xochicuautla formando por flujos piroclásticos.

El domo paralelo al cono cinerítico de la Verónica de vulcanistas de cuaternario nombrado por Mooser *et al.* (1996) mencionado por Hernández (2007), como el cerro Tlazala, presenta una línea de falla al norte del mismo, se encuentra rodeada de tobas en taludes, formadas por caída de cenizas, durante la intensa actividad volcánica del cuaternario.

En un último lugar, la zona de depósitos aluviales y lacustres del cuaternario, son extensos rellenos aluviales con espesores máximos de 300 metros, y lacustres con espesores máximos de 200 metros, originados por vulcanismo actual y representado por aluviones, cabe destacar que algunos conos de la formación Chichinautzin, se encuentran en esta zona y presentan lineamientos, tales son los casos de los que se ubican en San Pedro Tultepec, alineado al N con el Lerma (Mooser et al. 1996 mencionado por Hernández, 2007).

CAPITULO III

CARTOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE LERMA

La cartografía es una de las herramientas de la geografía más antigua y más importantes, independientemente de sus definiciones que se le han atribuido a lo largo de la historia, siendo el recurso de expresión gráfica de una porción de la superficie terrestre, de la cual el hombre se ayuda para la ubicación de aspectos físicos, biológicos y sociales.

La representación cartográfica, es la mejor herramienta con la cual se puede caracterizar las formas del relieve que se encuentran dentro de un espacio geográfico, las elevaciones y las geoformas, dando la oportunidad de un estudio morfométricos del relieve, volúmenes, elevaciones, pendientes, entre otros. En el siguiente capítulo se elaboraron los siguientes mapas:

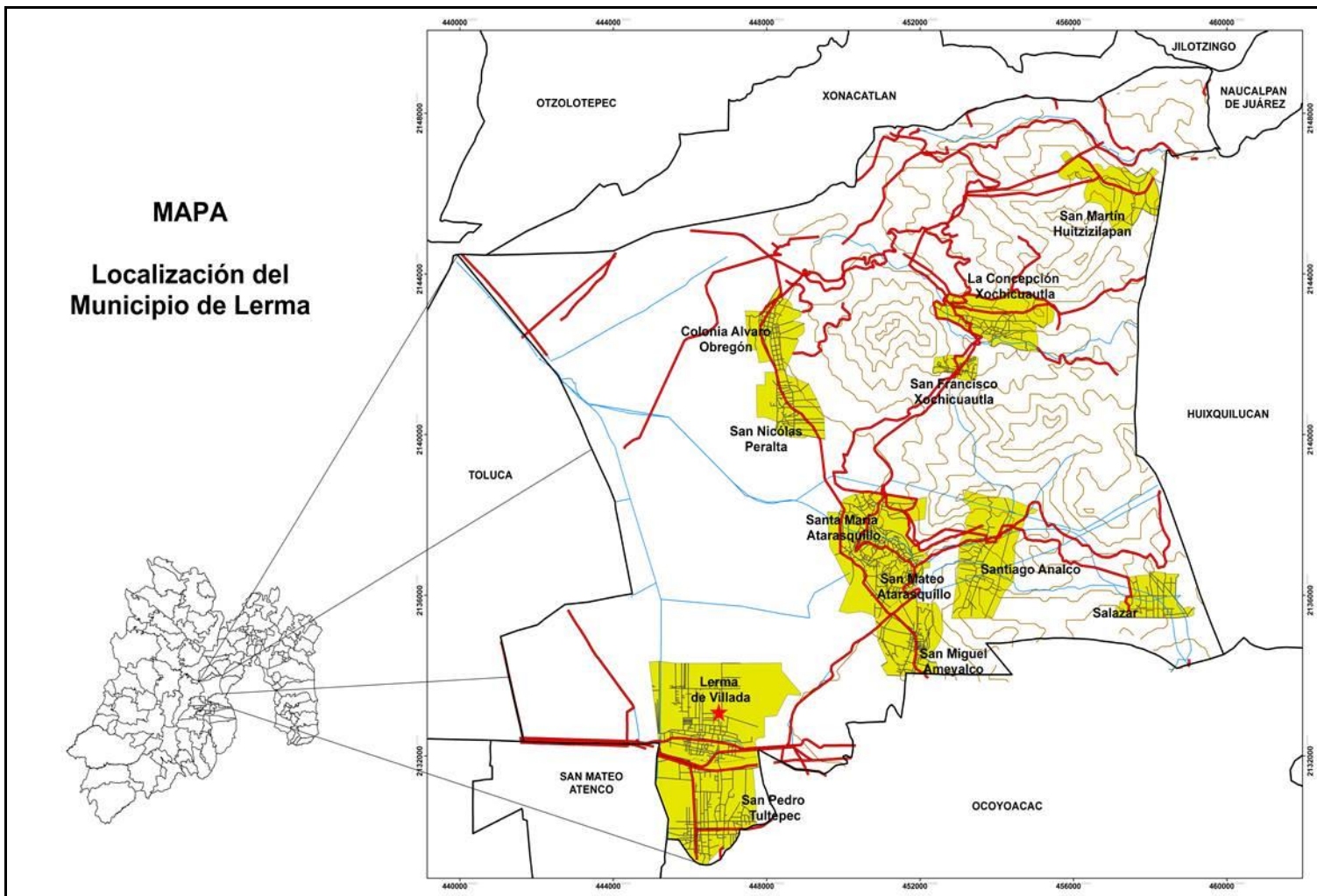
- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1) Localización | 6) Ordenes de drenaje |
| 2) Hipsométrico | 7) Uso de Suelo |
| 3) Pendientes | 8) Erosión |
| 4) Clima | |
| 5) Edafología | |

La importancia de la representación gráfica del territorio es el conocer la ubicación de la misma debido a que con ella determinamos los rasgos físicos, biológicos y sociales que se relacionan entre sí, y determinar las zonas en los cuales debemos tener un mayor énfasis por la relación de las características antes mencionadas.

MAPA DE LOCALIZACIÓN

El municipio de Lerma cuenta con una extensión de 228.64km², con ubicación en las coordenadas 19°26´ Norte y 19°13´ Sur, en la latitud Norte; al este 99°23´, y al oeste 99°33´, en longitud oeste. Colindando al norte con los municipios de Xonacatlán; al este con los municipios de Naucalpan de Juárez y Huixquilucan; al sur con los municipios de Ocoyoacac y San mateo Atenco; y hacia el oeste colinda con la capital del Estado de México. Ocupa el 0.94% de la superficie estatal, teniendo como principales localidades a: Lerma de Villada, San Pedro Tultepec, San Miguel Ameyalco, San Mateo Atarasquillo, Santa María Atarasquillo, San Nicolás Peralta, Colonia Álvaro

Obregón, La concepción Xochicautla, San Francisco Xochicautla, San Martín Huitzilapan y Salazar (mapa 4) (Prontuario del Municipio de Lerma, INEGI 2008).



Mapa 4. Ubicación del Municipio de Lerma

MAPA ALTIMÉTRICO O HIPSOMÉTRICO

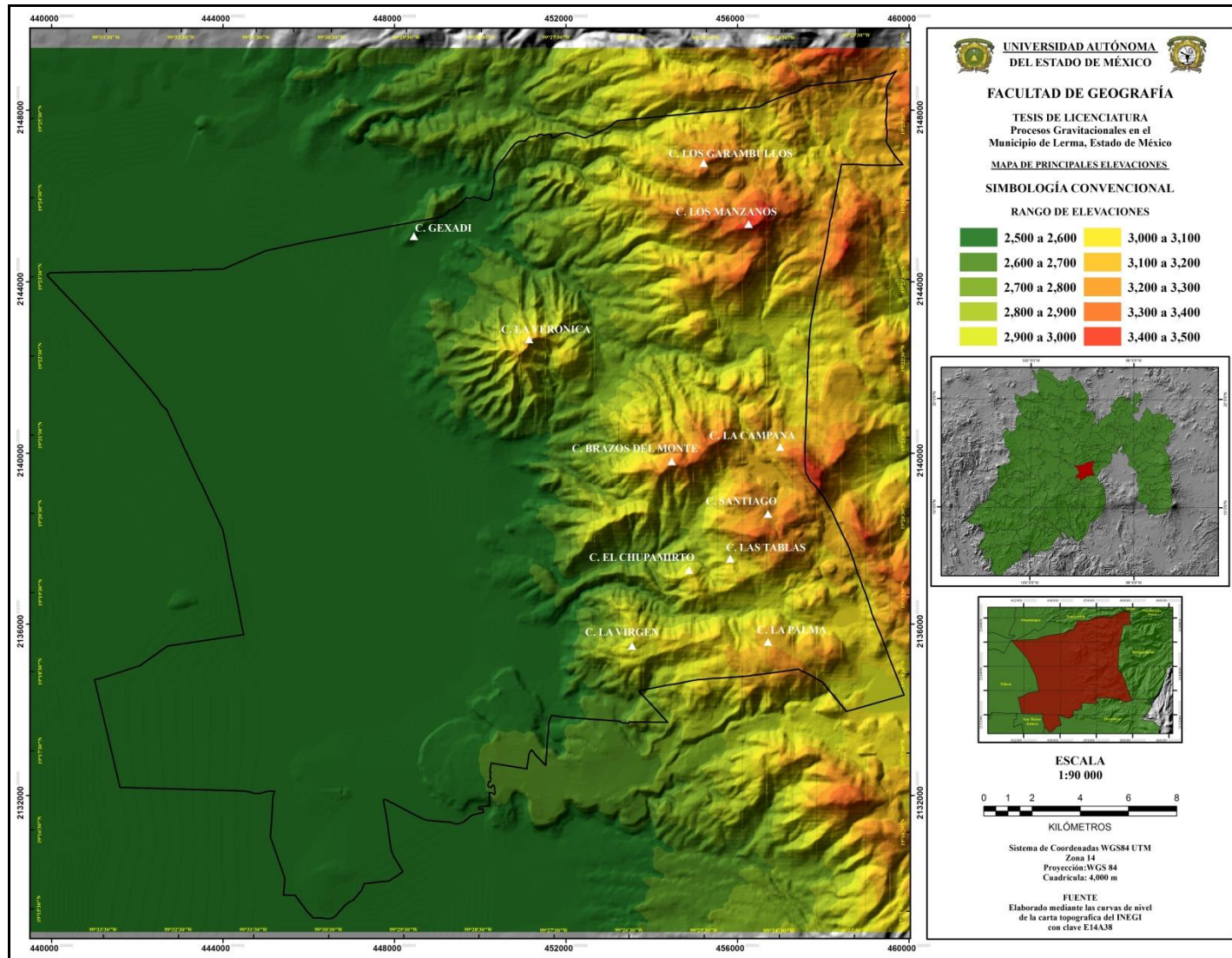
Dentro del territorio municipal, se encuentra una distribución del relieve que comprende dos grandes unidades, planicie y montaña, con menores proporciones se distinguen las unidades de pie de monte y coladas lávicas (mapa 5).

Los rangos altitudinales que presenta el municipio de Lerma, van de los 2,550 msnm, en lo que es la planicie del territorio municipal, y teniendo dos puntos con las mayores altitudes de 3,380 a los 3,400 se ubican a los domos de la Campana el cual se ubica en los límites del municipio de Lerma y Huixquilucan, y el domo del cerro los manzanos que se encuentra al noreste NE del municipio de Lerma y al Suroeste SW del poblado de San Martín Huitzilapan, siendo las mayores elevación que presenta el municipio. Las elevaciones de 2,570 a 2,600 msnm cubren las porciones de la Sierra de las cruces de norte a sur. La zona se encuentra sujeta a procesos acumulativos e inundación, debido a las corrientes que provienen de las montañas depositando el material transportado a las zonas planas, es por ello que las zonas planas son compuestas por depósitos aluviales y lacustres, la mayoría de las corrientes son afluentes que alimentan al Río Lerma al oeste W, y cruzando de norte a sur el municipio.

Las altitudes de entre los 2,600 a 2,900 se establecen las unidades de colada lávica, y hacia el Norte la distancia entre las curvas de nivel disminuye, formándose el pie de monte, encontrándose la primera al S del territorio municipal, la segunda al norte y en las inmediaciones de la capilla de Huitzilapan, rodeando el cono del cerro de la Verónica; perteneciendo a la formación Tarango, estando compuesta por flujos piroclástico y abanicos volcánicos, los flujos también forman el flujo piroclástico donde se asientan las poblaciones de Santa María y San Mateo Atarasquillo, originados del N del cerro de la Virgen y el W del domo el Chupamirto.

A los 2,900 msnm son distinguibles las unidades de montaña, el domo la Virgen con 2,950 msnm, presenta una geomorfología convexa en la ladera oeste, siendo parte de la planicie. En el caso del cerro la Verónica es un cono cinerítico asociado con un domo riolítico que se encuentra paralelo la primera con 3,040msnm y el segundo con 3,160 msnm, sienta esta elevación la que origina los arroyos modeladores a las geformas en función de fallas y fracturas que hay en ellas. A partir de los 3,100 msnm son evidentes la presencia de zonas acumulativas de material erosionado, formando valles intermontanos, presentes en Salazar y alrededor del domo la Campana.

La evidencia del lineamiento entre el domo la Campana y el domo la Palma, ubicado al noreste de Salazar, obedece a una línea de falla con dirección SSE, originado por fracturamiento en (z), proceso que origino la formación de la Sierra de las Cruces (Hernández, 2007).



Mapa 5. Hipsométrico

MAPA DE PENDIENTES

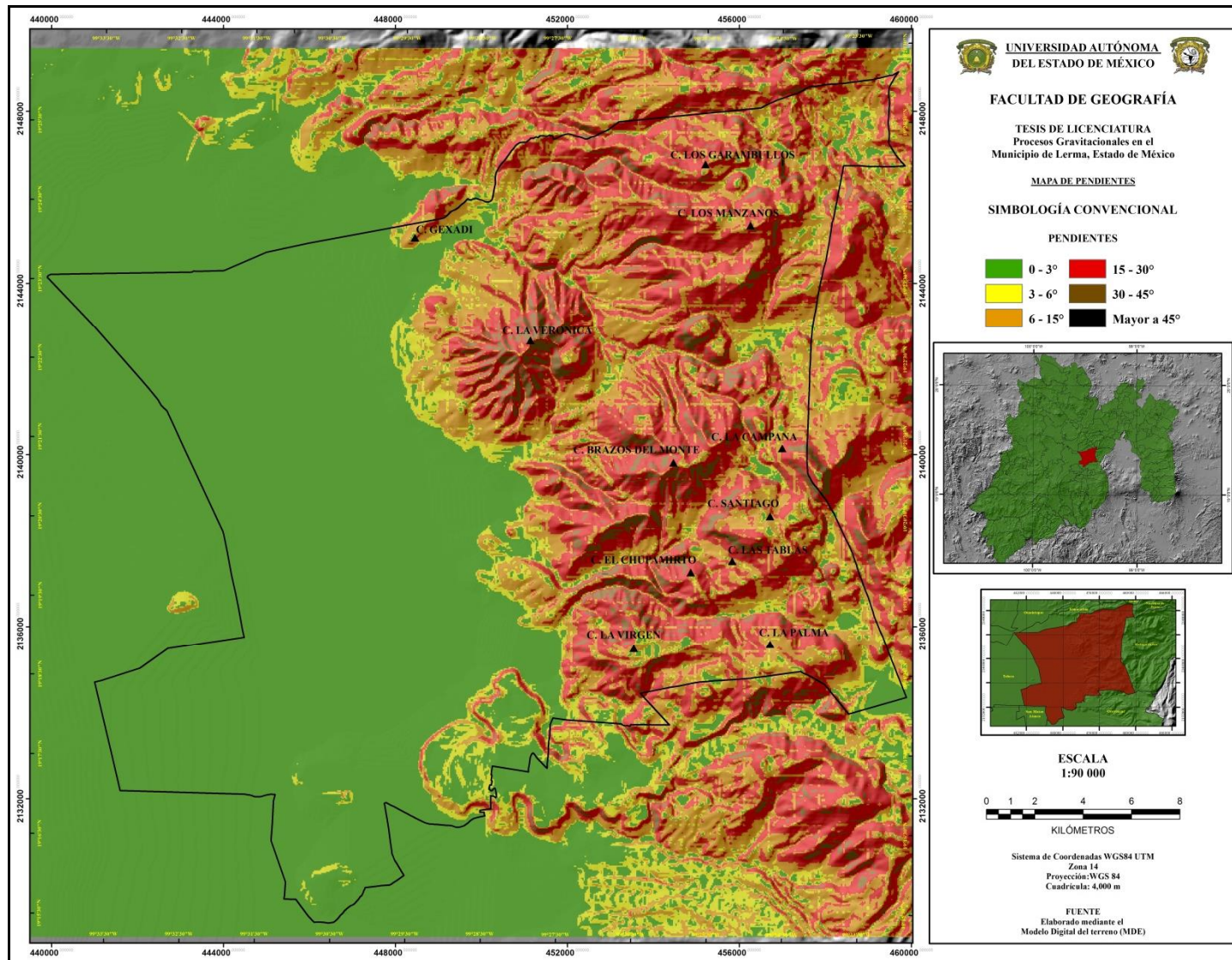
Mediante los rangos que se determinan para conocer el grado de pendientes, se conoce la relación que hay que guarda los procesos de erosión-acumulación y la dinámica, así como los procesos de carácter tectónico y la relación con remoción en masa. Los rangos de 0° a 3° se encuentran en la planicie aluvial, que cubre del NW, W y SW del municipio, sujeta a procesos de acumulación e inundación, se caracteriza en este rango de pendientes por presentar llanuras de inundaciones, toda vez que las corrientes disminuyen la capacidad de erosión y favorecen a la de acumulación.

El rango de 3° a 6° le corresponde a pendientes suaves, mostrándose en el municipio en coladas lávicas, en los alrededores del cono cinerítico La Verónica y en la unidad de montaña, estos último corresponden a valles intermontanos.

En el cono cinerítico de La Verónica predominan las pendientes de 15° a los 45°, que favorecen los procesos de erosión, corrimientos, reptación y modelado del relieve por acción fluvial, alcanzando pendientes de 45° en algunas zonas, se encuentra rodeada de piedemonte con pendientes de 3° a 15°, beneficiando a procesos de acumulación y de manera particular a la formación de conos de eyección.

Al N y NE del territorio municipal prevalecen las pendientes de los 15° a los 45°, corresponden a la unidad de montaña, presentando algunos sitios de acumulación teniendo pendientes de 3° a 15°, y tomando en cuenta el fin de este estudio debemos tomar en cuenta las pendientes mayores a 45° debido a que estas son susceptibles a procesos gravitacionales. De igual manera en la parte NE, E y SE, se caracteriza por pendientes de 15° a 45°, teniendo algunos espacios con ruptura de la pendiente como es el caso del domo la Campana, indicando la presencia de una línea de falla.

En el norte del territorio se presenta zonas de acumulación, presentan valles intermontanos a los alrededores del mismo. Resalta la pendiente mayor de 45° que rodea al domo Santiago, debido a que se muestra como una ruptura de pendientes por la variaciones que presenta, que es de los 6° a los 15° en algunos sitios y de los 15° a 30° en otros (Hernández, 2007).



Mapa 6. Pendientes

MAPA DE CLIMAS

Al paso del tiempo se han desencadenado una serie de desastres de origen hidrometeorológicos dentro de los cuales se encuentran los huracanes, lluvias extraordinarias e inundaciones, estos procesos generan una serie de condiciones en el ambiente causantes de procesos gravitacionales desde pequeños deslizamientos de suelos sobre carreteras hasta el desprendimiento de rocas, que causan graves daños a la infraestructura sociedad como se ha visto en los últimos días, ocasionando pérdidas de vidas humanas y pérdidas económicas.

El clima es uno de los elementos que determina procesos geológicos y geomorfológicos. La mayor parte del territorio mexicano posee un clima de tipo monzónico, es decir con dos estaciones: una de invierno seco y otra de verano lluvioso, la temporada de lluvias inicia entre mayo y junio y termina en octubre, al menos en el centro y sur del país.

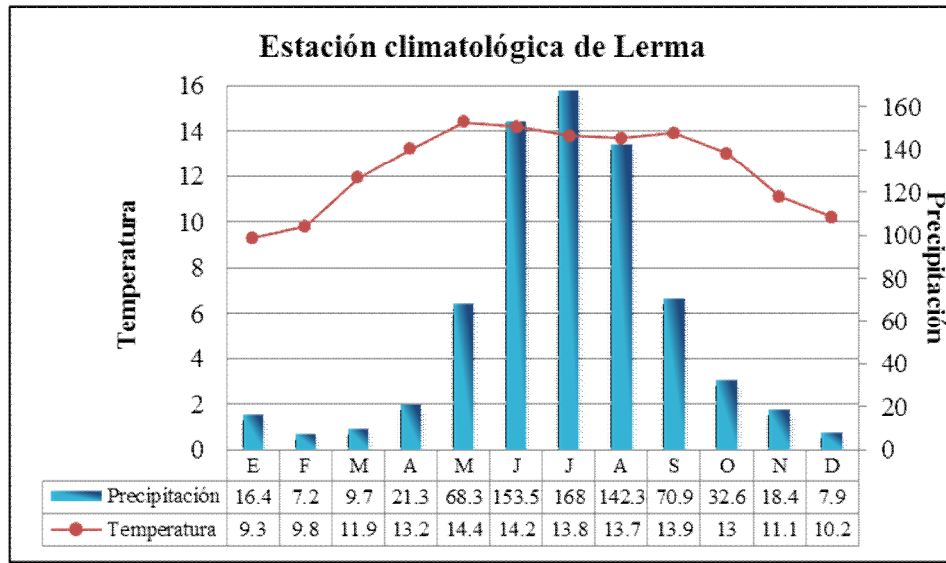
En el municipal de Lerma se encuentran dos tipos de clima, templado subhúmedo con lluvias en verano, se extiende de noroeste a suroeste y en la centralidad del municipio ocupa el 70.45% de la superficies municipal encontrándose en el valle e inicio de la elevaciones territorial, y semifrío subhúmedo con lluvias en verano, se extiende de noreste a sureste en la totalidad de la parte montañosa del municipio, ocupando el 29.55% del territorio municipal.

En el municipio se localizan estaciones meteorológicas, una se encuentra en las afueras de las centralidad del municipio y la otra se encuentra en el poblado de Santa María Atarasquillo (mapa 7), donde presentan los meses con mayor precipitación de Junio a Septiembre, con una precipitación anual de 716.5mm y 906.6 mm y los meses con mayor emisión térmica (temperatura se dan en los meses de marzo a junio, con una oscilación térmica anual de 12.4°C y 14.5°C, (tabla. 3.1).

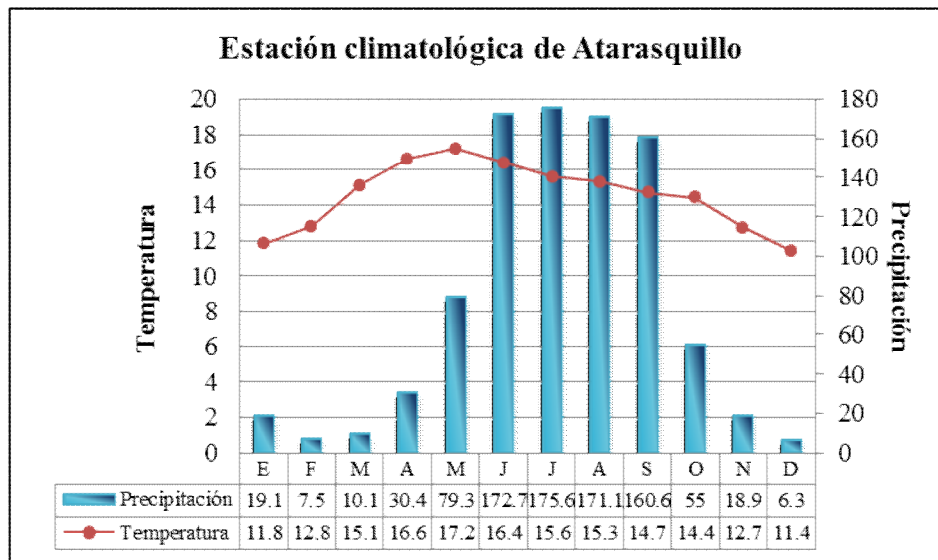
Tabla 3.1. Tabla de datos de precipitación y temperatura, de las estaciones meteorológicas de Lerma y Atarasquillo (García, 2001).

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LERMA													
LONGITUD: -99° 30'													
LATITUD: 19° 17'													
Elevación: 2,608msnm													
Clima: Cb(w2)(w)(i)g													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual

Temperatura	9.3	9.8	11.9	13.2	14.4	14.2	13.8	13.7	13.9	13	11.1	10.2	12.4
Precipitación	16.4	7.2	9.7	21.3	68.3	153.5	168	142.3	70.9	32.6	18.4	7.9	716.5



ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA DE ATARASQUILLO													
LONGITUD: -99° 27'													
LATITUD: 19° 19'													
Elevación: 2,568msnm													
Clima: Cb(w2)(w)(i)g													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
Temperatura	11.8	12.8	15.1	16.6	17.2	16.4	15.6	15.3	14.7	14.4	12.7	11.4	14.5
Precipitación	19.1	7.5	10.1	30.4	79.3	172.7	175.6	171.1	160.6	55	18.9	6.3	906.6



Por ubicarse en el Hemisferio Norte, las temperaturas más elevadas se dan en los meses de abril a octubre, debido a que el sol se encuentra desplazado hacia el N, en donde la primavera se presenta en verano. Las temperaturas de menor rango se dan de noviembre a marzo, por las latitudes que hay en el municipio se pueden presentar climas templados subhúmedos.

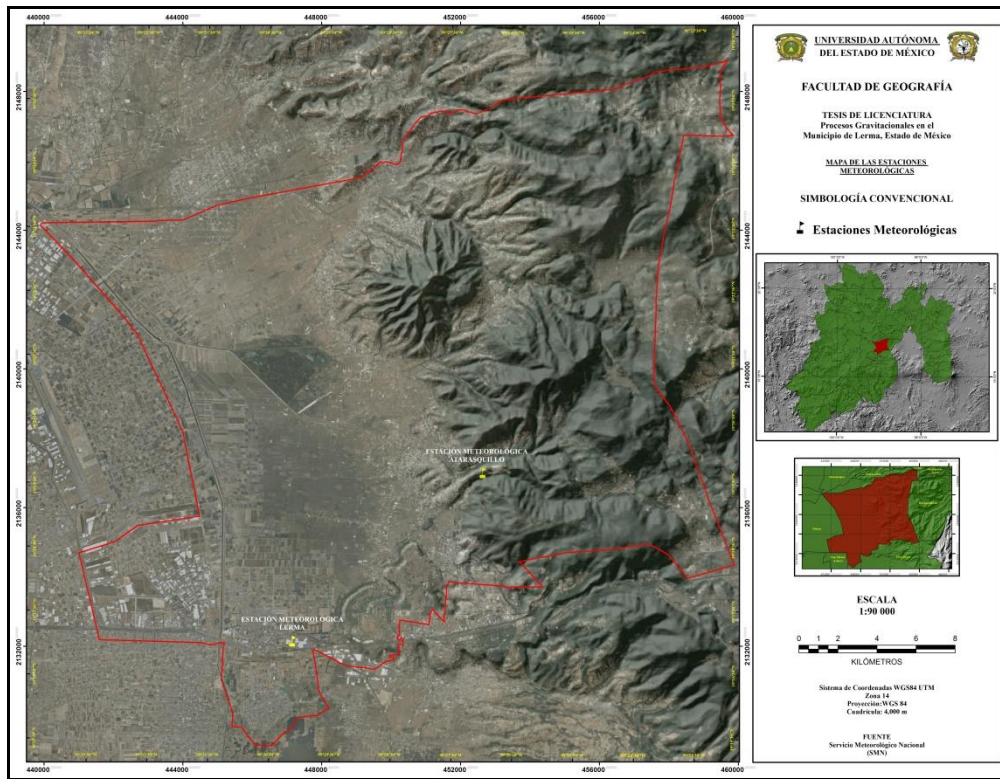
En los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre, la presión atmosférica es baja y eso atrae vientos con alta humedad de los océanos, llamándose procesos monzónicos, lo cual ocasiona lluvias convectivas, orográficas, así como lluvias por la presencia de huracanes.

A partir del mes de septiembre las temperaturas comienzan a descender, debido a la entrada del equinoccio de otoño en el Hemisferio Norte y a partir de ese momento el sol comienza a desplazarse hacia el hemisferio sur, lo que inicia el soplar de los vientos fríos provenientes del N (vientos del oeste y polares) y los frentes fríos (masas de aire frío).

Sin embargo, existen anomalías climáticas y meteorológicas que ocurren en estos meses debido a los ajustes que presenta el sistema atmosférico al presentarse la corriente de El Niño como ocurrió en los primeros meses del año 2010 en que se presentaron precipitaciones extraordinarias que rebasaron los promedios anuales de lluvia, pues se registraron en diferentes sectores de las cuencas datos de más de 1,700 mm de lluvia, este dato se puede comprobar en la estación de Atarasquillo, en el cual se incrementó sustancialmente los mm de precipitación.

El Niño (EN) se caracteriza por un debilitamiento a gran escala de los vientos alisios y el calentamiento de las capas superficiales en la zona ecuatorial oriental y central del Océano Pacífico, los episodios ocurren de manera irregular en intervalos de 2-7 años, con periodo aproximado de 3-4 años, con duración de 12-18 meses. (NOAA, 2010). Tiene como efecto el aumento de las precipitaciones. Lo que conlleva a una saturación de agua en el suelo y subsuelo provoca remoción en masa.

Mapa 7. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas del Municipio de Lerma (Google Earth, 2012).



De noroeste a suroeste y en la centralidad del municipio de Lerma, se encuentra un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (mapa 8), las características prevalecen en localizarse en las zonas montañosas o llanuras con altitudes a 800 ó 1,000 msnm, en donde la temperatura media para los meses más fríos oscila entre -3 y 18°C, y el de mayor temperatura mayor a los 6.5°C, presentando el mes cálido antes del solsticio de verano y las precipitaciones en el verano, a mitad del año, caracterizado al territorio por la cubierta de bosque en este tipo de clima.

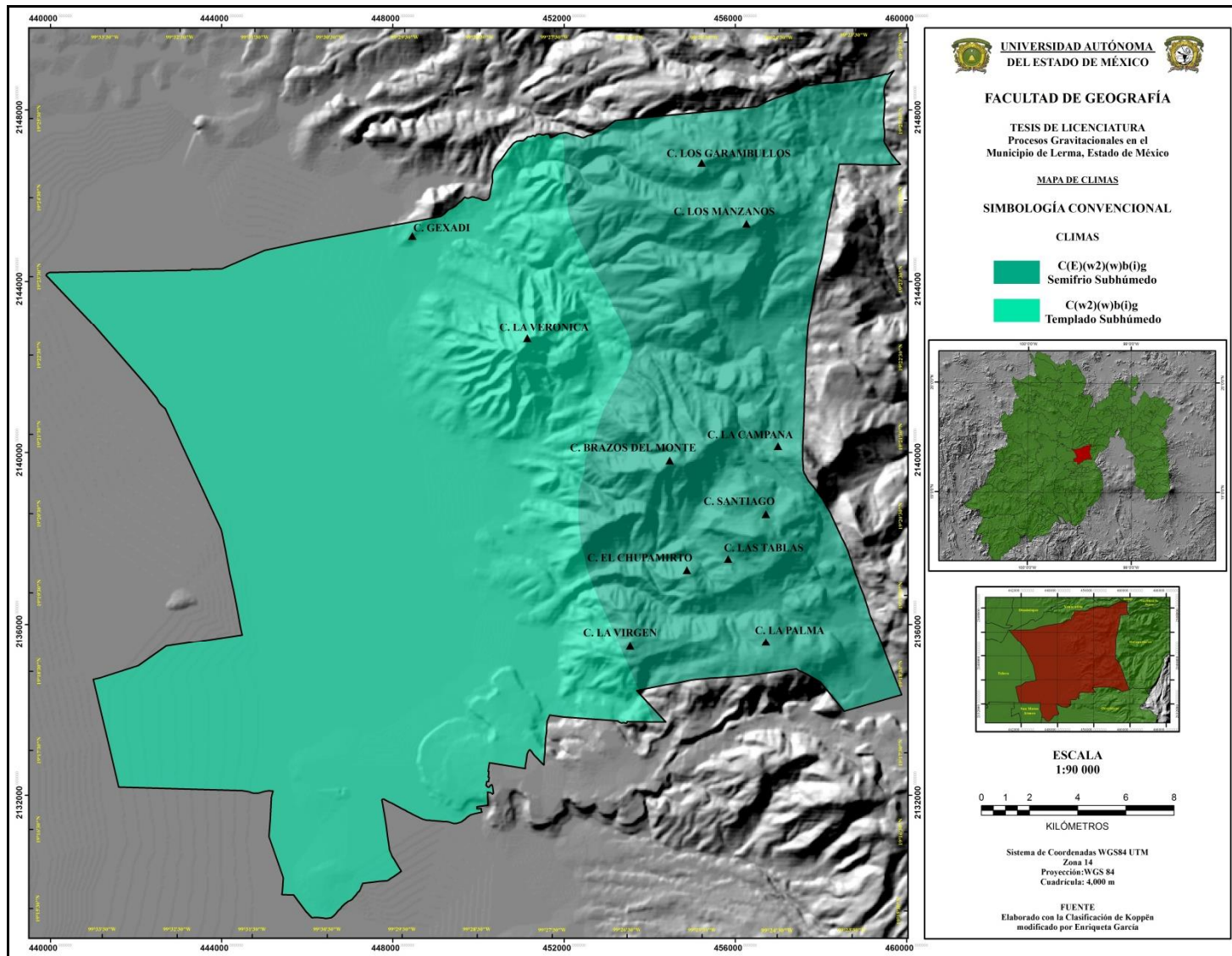
Estos climas se encuentran en la mayor parte de las elevaciones del centro y sur de México, y en la porción sur del Altiplanicie mexicana en donde la precipitación orográfica aumenta en verano por los movimientos convectivos del aire y por la influencia de los ciclones tropicales; encontrándose también en las porciones del norte y centro de la Sierra Madre Occidental y norte de la Oriental.

En la parte de noreste a sureste, en la extensión de las elevaciones de la sierra de las cruces, se encuentra un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, registrando valores de

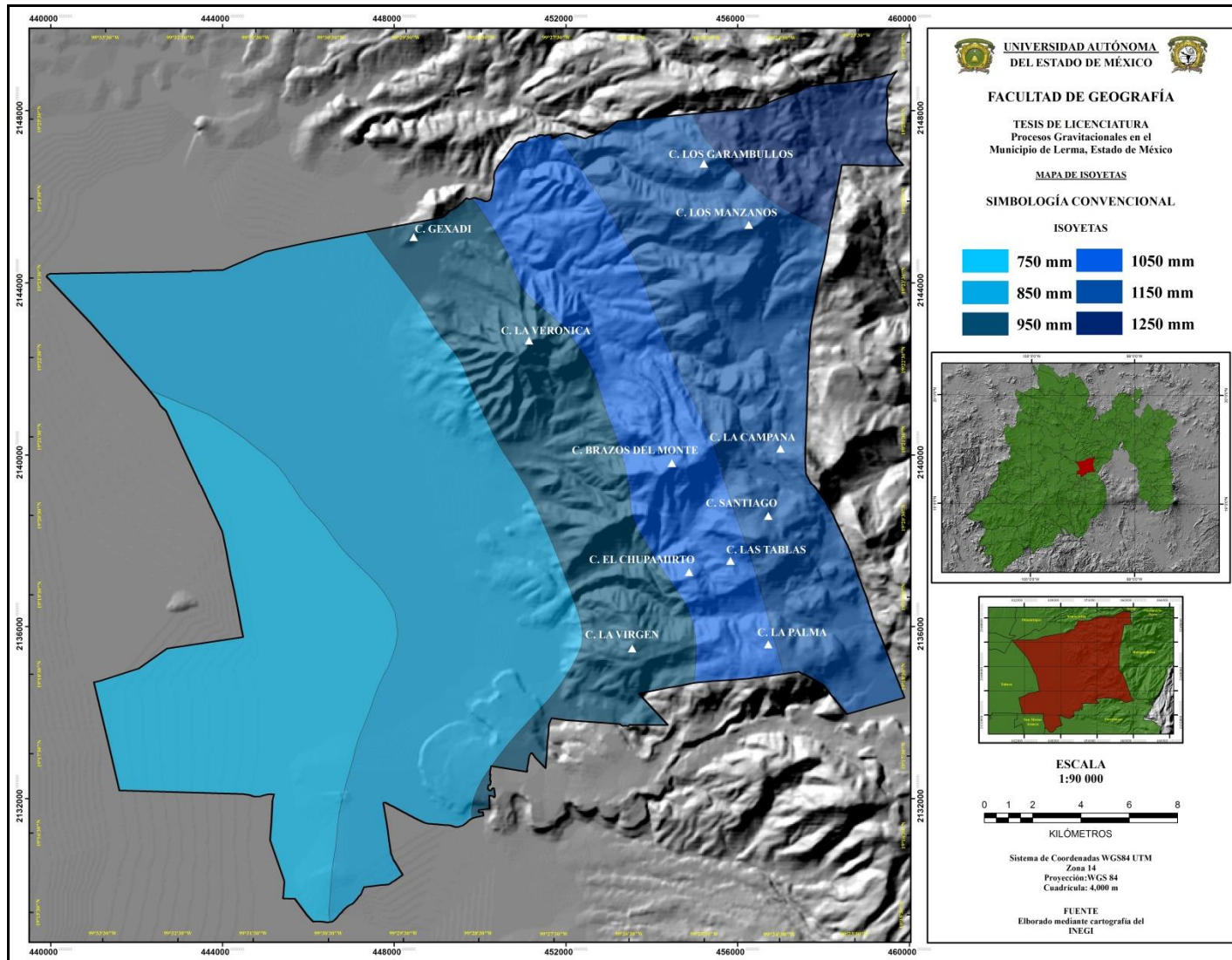
precipitación del mes más seco inferior a los 40mm y un porcentaje de lluvia en invierno menor de 5. El rango de lluvias son de 700 a 1,000mm, presentando la máxima incidencia de lluvia en el mes de junio, con rangos que oscilan 160 y 170mm, registrando las mínimas en los meses de febrero y diciembre con valores menores de 10mm. El rango de la temperatura es menor a los 12°C, en donde los meses más cálidos son abril, mayo y junio, con rangos de 13 a 14°C, los meses más fríos son enero y febrero, con rangos que fluctúan entre 8 y 9°C.

MAPA DE ISOYETAS

La precipitación es un factor causante de los movimientos de ladera debido a la relación con el ablandamiento de los suelos, los cuales están descubiertos al aire libre, acumulando exceso de humedad en su estructura granulométrica ocasionando su degradación y erosión. La precipitación mínima del municipio, es de 750mm que se caracteriza en el valle y la máxima es de 1,250mm ubicado al noreste en los límites con Jilotzingo y Naucalpan de Juárez, y presenta 4 valores más de cantidad de agua acumulada en el territorio de la localidad (mapa 9).



Mapa 8. Clima



Mapa 9. Isoyetas

MAPA DE EDAFOLOGÍA

En principio la Edafología como Ciencia se encarga del estudio de los suelos, desde su origen, estructura, características, distribución, química entre diversos elementos más. La definición de Suelo como tal ha sido difícil concretarla, Fitz Patricks formula una descripción más que una definición: "Suelo es el continuo de espacio - tiempo que forma la parte superior de la corteza terrestre". Esta definición incluye como suelos las arenas del desierto y las superficies desnudas de las rocas de las montañas.

El conocimiento de las características Físico ó Químicas de los suelos que se localizan en el área de estudio, constituyen una gran herramienta para la determinación de las zonas potenciales a sufrir algún tipo de proceso gravitacional. De acuerdo a la carta Edafológica del INEGI (1970) (E14A38 a escala 1:250,000), el municipio de Lerma se encuentra constituido por seis grupos de suelos (Tabla 3.2), distribuidos tanto en la parte montañosa (Sierra de las Cruces) como en el Valle del municipio.

Tabla 3.2. Grupos de suelos localizados en el Municipio de Lerma, INEGI.

GRUPO	TIPO	CLASE
<i>Andosol</i>	T	<ul style="list-style-type: none">• Th+To+I/2
<i>Cambisol</i>	B	<ul style="list-style-type: none">• Be+To+I/2
<i>Feozem</i>	H	<ul style="list-style-type: none">• Hh+Vp/2• Hg+Gm/2• Hh+Lc/2
<i>Leptosol</i>	I	<ul style="list-style-type: none">• I+Lc/3
<i>Luvisol</i>	L	<ul style="list-style-type: none">• Lc+Bc+2• Lc+Bc+To/3• Lc+To/3• Lc/3• Lc+I/3
<i>Vertisol</i>	V	<ul style="list-style-type: none">• Vp+Hh/3• Vp+We/3

De los cuales una gran parte están cubiertos por vegetación, producto de actividades agrícolas de temporal con cultivos anuales, permanentes, semipermanentes y agricultura de humedad y de riego.

Las características y ubicación principal de cada uno de ellos se refieren de acuerdo en la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB, 2007).

ANDOSOL

Estos suelos se forman a partir de eyecciones o vidrios volcánicos y en condiciones normales sustentan bosque de pino, oyamel y encino, además, pueden desarrollarse en materiales ricos en silicatos bajo meteorización acida en climas húmedo e hiperhúmedo. Son suelos muy susceptibles a la erosión y se localizan en las partes altas de la sierra de las cruces.

Los andosoles se caracterizan por su alto potencial para la producción agrícola, son fáciles de cultivar y tienen buenas propiedades de enraizamiento y almacenamiento de agua, fuertemente hidratados son difíciles de labrar por su baja capacidad de carga y adhesividad, (WRB, 2007).

Existen cuatro divisiones de andosol mencionadas por Patrics las cuales se mencionan enseguida:

- **Andosol ócricos (To):** Tienen un horizonte A ócrico y un horizonte B cámbico, consistencia embarrosa y/o textura que es migajón limoso o más fina.
- **Andosol mólicos (Tm):** Tienen un horizonte A mólico, consistencia embarrosa y/o textura de migajón limoso o más fina.
- **Andosol húmicos (Th):** Estos tienen un horizonte úmbrico, consistencia embarrosa y/o una textura de migajón limoso o más fino.
- **Andosol vítricos (Tv):** Estos no tienen consistencia embarrosa y/o son de textura más gruesa que migajón limoso.

Tabla 3.3. Desarrollo del suelo Andosol, (WRB, 2007)

Connotación	Suelos negros de paisajes volcánicos
Material Parental	Vidrios, Ceniza, Tufa, Pómez y materiales ricos en silicatos.
Desarrollo	Acumulación de complejos Órgano-minerales por meteorización, como alofano, imogolita y ferrihidrita

CAMBISOL

Los cambisoles combinan suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente. Existe una transformación del material parental por la formación de su estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos.

Por lo general se encuentran situados en terrenos llanos a montañosos en todos los climas con un amplio rango de tipos de vegetación, constituye buenas tierras agrícolas, para pastoreo y uso forestal. En pendientes escarpadas es mejor conservarlos bajo bosque.

Para los cambisoles existen nueve divisiones mencionadas por Patrics, iniciando con el cambisol éútrico, dístricos, húmicos, gléyicos, gélicos, cálcicos, crómicos, vérticos y ferrálicos.

En la zona de estudio se localizan los cambisols éútricos los cuales son ricos en nutrientes en (Ca, Mg, K y Na), 125cm de profundidad.

Tabla 3.4. Características del suelo Cambisol, (WRB, 2007)

Connotación	Se identifica por lo menos una diferencia entre horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato.
Material Parental	Materiales de textura media a fina derivados de un amplio rango de rocas.
Desarrollo	Originados por meteorización ligera a moderada del material parental y por ausencia de cantidades apreciables de arcilla iluvial, materia orgánica, compuestos de Al y/o Fe.

FEOZEM

Son suelos caracterizados por la presencia de una capa superficial muy oscura, suave y rica en materia orgánica y nutriente. En este suelo se puede producir casi todo tipo de vegetación y ocupan la mayor parte de la planicie del Valle de México, en donde fueron utilizados para el cultivo agrícola.

La mayor parte de estos suelos presentan un perfil AC o AB, caracterizado por un horizonte que varía de color oscuro a pardo oscuro, el contenido de materia orgánica es menor a 5% y en la parte norte suele presentar condiciones ricas en calcio. Las texturas van de francas a limosas y por

ello retienen cantidades moderadas de agua y presentan drenajes lentos, donde es utilizada para la agricultura han perdido en gran medida su estructura por la constante labor de barbecho.

Para los Feozems existen cuatro divisiones (Patrics, 2007) las cuales son:

- **Feozems háplicos:** Tienen un horizonte A mólico.
- **Feozems calcáreos:** Tienen un horizonte A mólico y son calcáreos entre 20 y 25 cm de profundidad desde la superficie.
- **Feozems lúvicos:** Con un horizonte A mólico y un horizonte B argílico.
- **Feozems gléyicos:** Tienen un horizonte A mólico y un horizonte B argílico, mostrando propiedades hidromórficas dentro de los primeros 50 cm de profundidad.

LITOSOL

Se localizan en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, se encuentran en sierras, barrancas, lomeríos y en algunas planicies. Se caracteriza por tener una profundidad menor a los 10cm, y limitado por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión son muy variables dependiendo de otros factores ambientales.

El uso de estos suelos va depender principalmente del estrato vegetativo que los cubra; en un bosque o selva, su uso será forestal, y en el caso de ser matorrales o pastizales el uso que se les da es de pastoreo regularmente limitado y en algunos casos se destinan a la agricultura, sobre todo para cultivos de maíz o el nopal, condicionando a la suficiente presencia de agua.

LUVISOL

Este tipo de suelo tiene un mayor contenido de arcillas en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos que lleva a un horizonte subsuperficial árgico, además de su alta actividad de arcilla tienen una alta saturación de bases a ciertas profundidades.

Este grupo de Luvisoles son suelos fértiles y apropiados para el uso agrícolas, por el alto contenido de limo son susceptibles al deterioro de la estructura cuando se labran mojados con maquinaria pesada, además, en pendientes fuertes requieren medidas de control de la erosión.

Los horizontes eluviales de algunos Luvisoles están tan empobrecidos que se forma una estructura laminar desfavorable, el subsuelo denso ocasiona condiciones reductoras temporarias con un patrón de color stágnico.

Los Luvisoles en la zona templada se cultivan ampliamente con granos pequeños, remolacha azucarera y forraje, en áreas en pendiente se usan para huertos, forestales y pastoreo. El pastoreo extensivo o cultivos forestales provocan una gran erosión sobre suelos formados por la meteorización de calizas.

Tabla 3.5. Características del suelo Cambisol, (WRB, 2007)

Connotación	Suelos con diferenciación pedogenética de arcilla, especialmente migración de arcilla entre un suelo superficial con menor y un subsuelo con mayor contenido de arcilla,
Material Parental	Contiene materiales no consolidados incluyendo till glaciario, y depósitos eólicos, aluviales y coluviales. Se localizan principalmente en tierras llanas o suavemente inclinadas en regiones templadas frescas y cálidas.
Desarrollo	Con diferenciación pedogenética del contenido de arcilla, aunado a un bajo contenido en el suelo superficial y un mayor contenido en el subsuelo sin lixiviación marcada de cationes básicos o meteorización avanzada de arcillas de alta actividad. Los Luvisoles muy lixivados pueden tener un horizonte eluvial álbico entre el horizonte superficial y el horizonte subsuperficial árgico, pero no tienen las lenguas albelúvicas de los Albeluvisoles.

VERTISOL

Se caracterizan por ser suelos muy arcillosos con alta proporción de arcillas expandibles, estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan. El nombre Vertisoles (del latín vertere, dar vuelta) se refiere al reciclado interno constante del material de suelo.

Se localizan generalmente en Depresiones y áreas llanas a onduladas, principalmente en climas tropicales, subtropicales, semiáridos a subhúmedo y húmedos con una alternancia clara de estación seca y húmeda.

Tabla 3.6. Características del suelo Cambisol, (WRB, 2007)

Connotación	Suelos pesados arcillosos, que se mezclan; del latín vertere, dar vuelta.
Material Parental	Sedimentos que contienen elevada proporción de arcillas expandibles producidas por neo formación a partir de meteorización de rocas.
Desarrollo	Por expansión y contracción alternada de arcillas expandibles resultan grietas profundas

	en la estación seca y formación de slickensides y agregados estructurales cuneiformes en el suelo subsuperficial.
--	---

Los suelos que hay en el municipio, se caracterizan por tener materiales volcánicos, esto hace que estos estratos edafológicos sean ricos en materia orgánica y en algunos casos hacer uso de ellos para la actividad agrícola, lo cual provoca la destrucción de la capa forestal y desnudar los suelos siendo vulnerables a los tipos de erosión, y 6 de los siete suelos tienen características erosivas y ayudado de la topografía hace ser susceptible a procesos de remoción en masa en el territorio municipal.

La distribución de los suelos dentro del municipio de Lerma se da de la siguiente manera: al NE y NW, se localizan el Andosol, Cambisol, Feozem, Luvisol, y Vertisol, ubicados el C. Gexadi, C. Los Garambullos, C. Los Manzanos, y C. La Verónica. Al SE y SW, se localizan de igual manera los suelos antes mencionados, la diferencia es la ubicación del Litosol. El suelo con más extensión territorial es el Andosol Húmico con un 30.77% del total de la superficie municipal, el siguiente es Vertisol Pélico con el 20.42% del territorio, y el que menos extensión territorial tiene es Cambisol Eútrico teniendo solo el 1.29% del total de la superficie del municipio de Lerma (tabla 3.7).

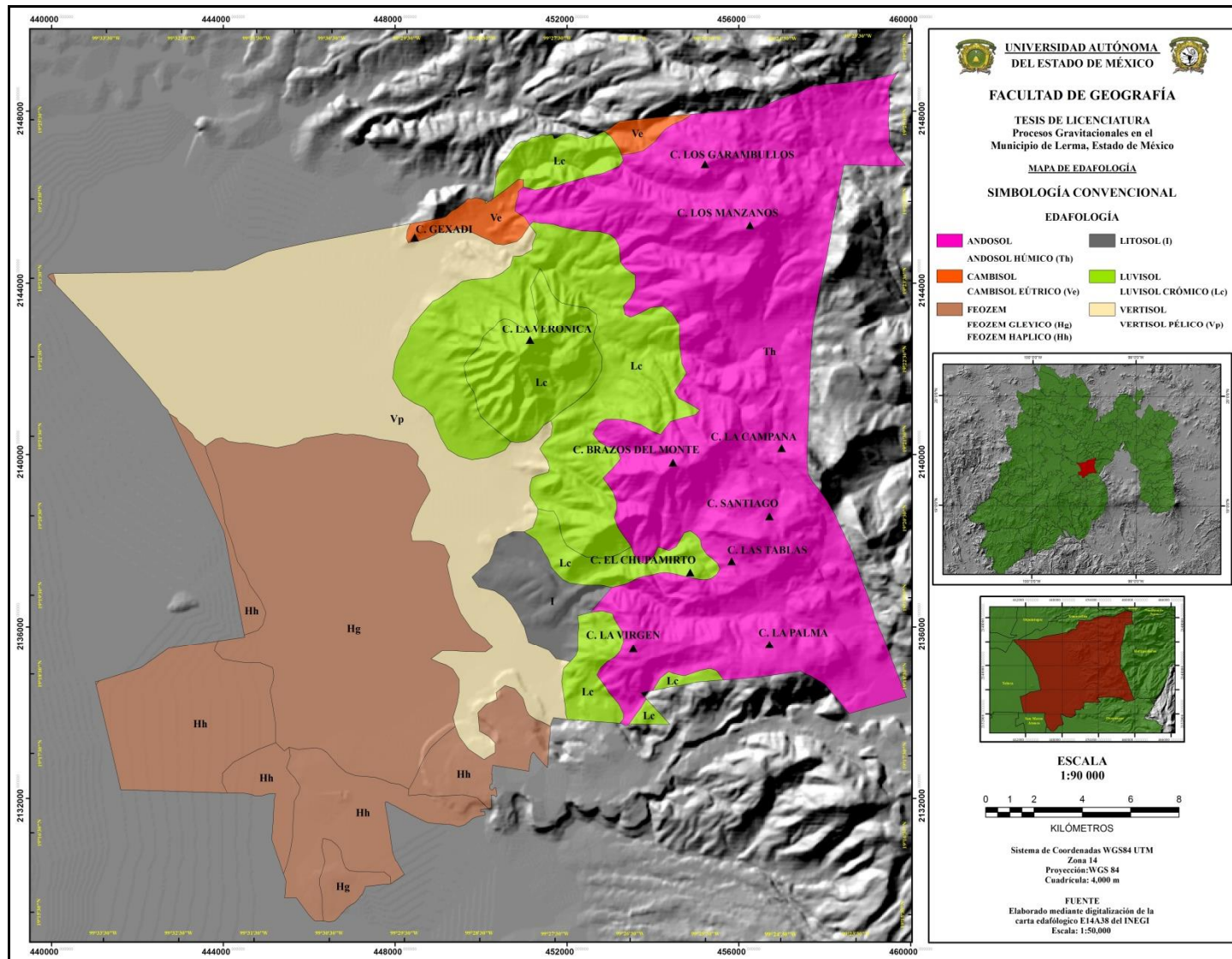
Tabla 3.7. Superficie de los suelos

ESTRATO EDAFOLÓGICO	HECTAREAS
Andosol húmico	7,008.51
Cambisol eútrico	285.77
Feozem gleyco	3,617.30
Feozem háplico	2,646.61
Litosol	436.80
Luvisol crómico	3,803.64
Vertisol p éllico	4,512.95

No todos los suelos favorecen los procesos gravitacionales por sus particularidades como lo es la retención, la permeabilidad, la erosión, la absorción y la dureza son factores para determinar si los suelos son susceptibles a movimientos de ladera (tabla 3.8).

Tabla 3.8. Favorecen o no favorecen a los procesos de remoción en masa.

Tipo de Suelo	Características
Andosol húmico	Correlacionando los mapas de edafología, pendiente y erosión, este tipo de suelo se ubica en las zonas con una pendiente que va de los 0 a 30°, y en una zona erosiva de bajo, medio y alto, lo que hace que en algunas zonas sean susceptibles a procesos de deslizamiento, sobre todos en las área en donde se encuentran pendientes de 15 a 30°, ya que estos suelos tienen la característica de ser muy erosivos, siendo esto una características para que los procesos de deslizamiento se desarrollen en un área geográfica.
Cambisol eútrico	Estos suelos tienen de moderada a alta susceptibilidad erosiva, ubicado al norte del municipio, se localiza en un área en donde la pendiente va de los 3 a los 45° de pendiente y con un grado de erosión de medio a alto, ayudados en estas dos características se puede definir que estos suelos tienen susceptibilidad a procesos gravitacionales; y además tomando en cuenta que el uso de suelo es agrícola y de pastizal inducido.
Feozem gleyco y háplico	Estos suelos no pueden presentar movimientos de laderas, debido a que estos suelos se encuentran en la planicie del municipio, en donde el uso es agrícola, urbano e industrial, tienen características de ser erosivos cuando se encuentran en laderas o pendientes, y en las partes planas son menos erosivos.
Litosol	Por las características de estos suelos, son aptos para presentar procesos gravitacionales, debido a que son fértiles y se encuentran en pendientes que van de los 15 a los 45°, y como se sabe este rango hace ser susceptibles a movimientos de laderas, en el municipio este tipo de suelo se encuentra en la porción centra en un área pequeña en donde la pendiente tienen un rango de 0 a 30° hacia el Suroeste de la elevación llamada C. brazos del monte, en esta área se encuentra el poblado de San Mateo Atarasquillo y Santa María Atarasquillo, en donde se ha presentado procesos de deslizamientos de suelo.
Luvisol crómico	Estos suelos suelen desarrollarse sobre materiales no consolidados como depósitos eólicos, aluviales y coluviales, y si se encuentran en pendientes mayores a los 15°, necesitan tener un cuidado especial. Tomando en cuenta el plano de pendientes vemos que se localiza en un área en donde se encuentran pendientes de 0° a mayor de 45°, grados y un grado de erosión de bajo a muy alto,
Vertisol pélico	Son suelos que contienen alto material arcilloso expansible y extremadamente plástico al humedecerse, pero cuando los suelos se seca son muy duros, observándose grietas de contracción, es por eso cuando los suelos están secos la infiltración de agua es inicialmente rápido, pero cuando estos suelos se encuentran totalmente humedecidos, las grietas se cierran y el índice de infiltración de ser rápido pasa a ser nulo, y se inundan muy fácilmente, es por eso que estos suelos son aptos para la agricultura, sobre todo para el desarrollo del arroz.



Mapa 10. Edafología

MAPA DE ÓRDENES DE DRENAJE

El municipio de Lerma se encuentra dentro de la vertiente poniente de la Sierra de las Cruces, por lo que todos los afluentes provienen del río Lerma, existiendo 6 cuencas que abarcan la superficie municipal (mapa 11). En el plano de Órdenes de Drenaje mediante los afluentes se infieren las líneas de fallas y/o fracturas, modeladores del relieve.

La cuenca del arroyo seco, contiene corrientes de hasta 4 órdenes, la longitud de los cauces de primer y segundo orden es corta, intensificando los procesos erosivos, el cuarto orden es el de mayor longitud, lo que permite la deposición de materiales transportados, la red de drenaje forma una cuenca de tipo dendrítica.

En la parte alta del arroyo San Mateo se desarrollan afluentes de primer y segundo orden, tienden a ser de pequeña longitud, el tercer orden rodean un domo riolítico, dando la forma circular al cauce, que presenta corrientes de primer orden, de pequeña longitud indicando el cambio de material que corresponde a tobas de la formación Tarango, en el cual se originan procesos erosivos. El drenaje de esta cuenca es de tipo dendrítico, presentando también áreas de forma radial, debido a la ubicación de domos, ubicando al E de la cuenca. Se distinguen también lineamientos en la parte central de esta cuenca, indicando asimetría en los valles, algunos de ellos paralelos.

El arroyo el Jilguero tiene un origen en el domo la Campana, donde se observan lineamientos entre éste y los afluentes del arroyo San Mateo, dejando al descubierto la línea de falla que existe en la zona, el cauce continua rodeando al domo Santiago haciendo un cambio de dirección de NW a SW, dicha geoforma corresponde a un domo, denotando la resistencia del material con escasas corrientes de primer orden, continuando su recorrido hacia el W, observando algunos lineamientos tanto al N como al S del cauce principal, en el área de tobas se desarrollan corrientes de primer orden, los afluentes del cauce principal terminan como corrientes de quinto orden.

En la vertiente N, NW y W del domo brazo del monte, inician las corrientes de primer orden que vierten sus aguas hacia el Arroyo San Lorenzo y hacia el arroyo que recoge las aguas provenientes del cono cinerítico la Verónica el cual de igual manera desarrolla corrientes de primer orden de pequeña longitud, dando inicio a procesos erosivos de alta intensidad. El cauce principal

que recolecta las agua de los dos sitios, termina en quinto orden, resaltando que el tamaño de la cuenca es menor al de las anteriores pero desarrolla igualmente corrientes de hasta quinto orden. La cuenca presenta un patrón de drenaje de tipo dendrítico, solamente alrededor del domo Santiago, se desarrollan de tipo radial, asociado a la presencia de domos.

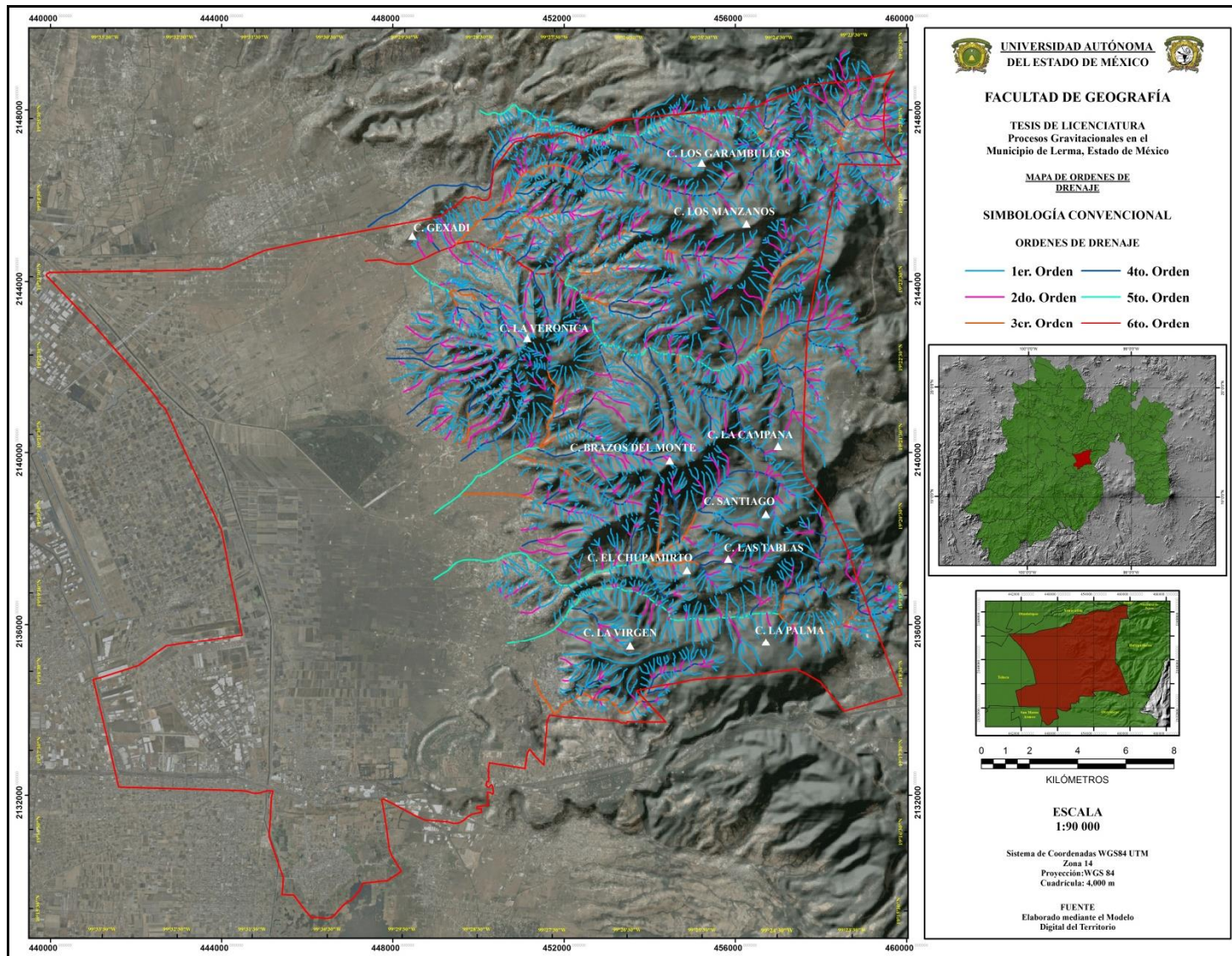
El costado SW, W y NW del cono cinerítico la Verónica, manifiesta el patrón de drenaje radial, generando procesos erosivos de alta intensidad, provocado por corrientes de primer, segundo y tercer orden que se desarrollan por la acción fluvial, sin descartar la presencia de material no consolidado como lo es la toba y procesos tectónicos. El mayor desarrollo de corrientes de la cuenca finaliza en una de cuarta orden, la cual puede a ver sido formada por abanicos aluviales debido al desplazamientos de la actividad erosiva por la acumulación.

La cuenca del arroyo San Lorenzo es el de mayor extensión superficial del territorio municipal, por ello desarrolla corrientes de sexto orden. El origen de la cuenca esta al N del domo La Campana y se desarrollan corrientes de longitud pequeña y erosivas, y al N del domo Brazo del Monte se originan algunos afluentes, mostrando algunas de ellas líneas de fracturamientos. El arroyo San Lorenzo presenta varios afluentes, sobresaliendo el arroyo Comalero, que hasta la intersección con el primero desarrolla corrientes de cuarta orden, pero sobresale la concentración de corrientes erosivas; El arroyo Dando que se origina en la vertiente S del domo Los Manzanos, de los cuales se originan corrientes de pequeña longitud de primer y segundo orden, indicando procesos erosivos del lugar llegando a formar corrientes de quinto orden, que junto al cauce principal dan origen a los de sexto orden de la cuenca. El arroyo flor de gallo, que se origina al N del domo Los manzanos, concentrando corrientes de primer orden de pequeña longitud, finalizando en el cauce principal con una corriente de cuarto orden.

La cuenca flor de gallo se desarrolla sobre un relicto de volcán y sobre el piedemonte formado por flujos piroclástico de la formación Tarango, aunando a esto una falla al N del cono cinerítico La Verónica, favorecen a la formación de corrientes erosivas. La cuenca manifiesta un patrón de drenaje de tipo dendrítico, en la porción N del domo asociado al cono cinerítico La Verónica, mostrando un patrón de drenaje de tipo radial, característico en los domos y conos volcánicos.

El arroyo salto del agua, tiene origen al NE del territorio municipal y manifiesta un patrón de drenaje de tipo dendrítico, presenta una dirección SW, durante el trayecto tiene cambios de

trayectoria hacia el W y hacia NW donde forma una curvatura y retoma el hacia el WNW, sobresalen lineamientos al N del domo Los Garambullos y en la parte alta de la cuenca, de igual manera las corrientes de primer orden resaltan por la propia longitud y por estar en contacto directo con las de quinto orden, siendo el máximo orden desarrollada en esta cuenca.



Mapa 11. Órdenes de Drenaje

MAPA DE USO DE SUELO

Los usos de suelo son los tipos de utilización humana de una superficie terrestre, incluyendo el subsuelo y el suelo que le correspondan, en particular su urbanización y edificación. Proporciona información de los cuales se pueden identificar zonas en donde son susceptibles a procesos erosivos debido a la acción del hombre dentro de su territorio. El cambio en el uso de suelo es debido a las actividades para satisfacer una necesidad de la vida del ser vivo, uno de ellos es el cambio de uso de suelo vegetativo, por el agrícola, la vegetación es removida para sembrar maíz, frijol, papá, entre otros productos agrícolas, o para la actividad minera, en donde es necesario cortar y desprender suelo para la creación de material de construcción.

En el municipio de Lerma, debido a que la sierra de las cruces tiene un uso de suelo vegetativo, se ha cambiado su uso a agricultura (humedad riego y humedad), esto por las características que mantiene en toda su superficie. La actividad agrícola ha ocasionado que el ecosistema del territorio municipal, vaya presentando áreas degradadas, y de gran intensificación en los procesos erosivos, y de igual manera dar paso a cambios de uso de suelo por la actividad minera, que no se ha intensificado pero afecta los recursos forestales.

Al NW del municipio, se localiza un uso de suelo agrícola en su mayoría, es una planicie en donde se lleva acabo agricultura de humedad, y de se encuentran dispersamente viviendas formando pequeños poblados, además de ubicar una zona con vegetación popal tular. Al SW se localizan las áreas urbanas, la cabecera municipal de Lerma, la zona industrial y algunos pueblos pequeños, y actividad agrícola; humedad, riego y temporal. Al NE y SE en donde se encuentra ubicado la sierra de las cruces se ubican los bosque de pino, pino-encino, encino y oyamel, de acuerdo con las características de elevación estos tipos de vegetación predominan en este tipo de altitudes, también se localizan pequeñas comunidades rurales y uso agrícola de temporal, esto último ha ocasionado la degradación de las áreas forestales, ocasionando que el rango de erosión aumente creando cárcavas y algunos pequeños deslizamientos de tierra sin ninguna consecuencia.

El municipio tiene 8 usos de suelo (mapa 12), el más predominante es la agricultura de temporal con cultivos anuales, permanentes y semipermanentes, la cual se distribuye norte a sur en el municipio, en las laderas, cumbres y planicies del territorio municipal.

Tabla 3.9. Superficie de uso de suelos

USO DE SUELOS	HECTAREAS
Agricultura de humedad	6,683.00
Agricultura de riego	636.94
Agricultura de temporal	7,200.53
Bosque de encino	599.24
Bosque de oyamel	3,129.40
Bosque de pino	1,147.57
Bosque de pino-encino	176.41
Pastizal inducido	1,121.89
Popal tular	305.29
Áreas urbanas	1,311.31

AGRICULTURA DE HUMEDAD: Son cultivos de características de sistemas de riego manteniendo húmedas el suelo para el desarrollo de los cultivos. Abarca el noroeste y suroeste del municipio de Lerma, en donde se encuentran parcelas de agricultura. En esta área del municipio se caracteriza por presentar proceso de erosión fluvial y eólico, ya que en temporadas de siembra el suelo esta descubierto dejándolo a merced de los factores climáticos que se encuentran en el municipio.

AGRICULTURA DE RIEGO: Cultivos que les aportan agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro que necesitan, y que favorece su crecimiento.

AGRICULTURA DE TEMPORAL: Son cultivos que se cosechan cada año y en temporadas, como los son el maíz, trigo, avenas, etc. Se extiende desde el noreste y sureste del municipio en las centralidades de la misma, se caracteriza por encontrarse en las zonas con mayor perturbación a la biodiversidad de la zona, y siendo relacionado con la ocupación de las áreas urbanas en las zonas de estudio.

ASENTAMIENTOS HUMANOS: Son asentamientos de construcciones o necesidades del hombre, casas, carreteras, centros comerciales, etc. Se localizan al suroeste, sureste, noreste y en la centralidad del municipio, en donde se encuentran comunidades como lo son San Miguel Ameyalco, San Pedro òEl Llanitoö, Santa María Atarasquillo, San Mateo Atarasquillo, Nicolás Peralta, San Martín Huitzilapan, Salazar, Lerma, entre otras comunidades que van creciendo en el municipio.

BOSQUE DE ENCINO: Se caracteriza por su riqueza de formas, su diversidad de especies, su multiplicidad microclimática y por su deliciosa y fastuosa amalgama de colores de las flores del sotobosque.

Se encuentra en la zona montañosa de México, donde predomina el clima templado y semihúmedo; sin embargo en ocasiones algunas especies se encuentran en altitudes bajas. Tiene poca distribución en la población debido a la destrucción de la zona forestal para suelos agrícolas en el territorio, tanto el bosque de encino y el de pino encino, son los que más afectados se han visto con las actividades del hombre en el municipio de Lerma. Se localizan en las partes altas del municipio.

BOSQUE DE OYAMEL O ABIES: Este tipo de vegetación está prácticamente confinado a sitios de alta montaña, por lo común entre 2400 y 3600 m de altitud, pues entre estas costas se localiza cuando menos un 95% de la superficie.

Los bosques de oyamel que se observan en México están confinados a laderas de cerros, a menudo protegidas de la acción de vientos fuertes y de insolación intensa, en muchos sitios se hallan limitados a cañadas o barrancas más o menos profundas que ofrecen un microclima especial. No se desarrollan sobre terrenos planos o poco inclinados, pero tal hecho quizá está en función de la escasez de estos terrenos en la zona montañosa y en parte a la influencia humana. Se encuentran en pendientes de 17 a 60% para el Valle de México.

En cuanto la exigencia climática los bosques de oyamel constituyen una unidad relativa, bien definida, pues requieren para su desarrollo, de condiciones húmedas elevadas. La precipitación media anual es por lo común superior a 1000 mm, distribuida en 100 o más días con lluvia apreciable. El número de meses secos no es mayor a 4, las nevadas se presentan casi todos los años hacia el límite altitudinal superior de la comunidad, pero a 2500 msnm, pueden faltar por completo. Las temperaturas medias anuales varían de 7 a 15°C, si se toman en cuenta los límites altitudinales habituales del bosque, pero en algunos sitios pueden ser aparentemente del orden de 20°C. Las temperaturas mínimas extremas son inferiores raramente a los -12°C, el promedio anual de días con heladas generalmente superior a los 60 y estas pueden presentarse de septiembre a marzo a niveles inferiores y en cualquier mes del año más arriba de los 3000 m de altitud. La oscilación diaria de la temperatura tiene un promedio anual de 11 a 16°C.

El bosque de oyamel se encuentra en sustratos geológicos variados, predominantes en los sustratos de origen volcánico, sobre todo en basaltos y andesitas. Se localizan Se localizan al noreste, sur y sureste, en los límites territoriales del municipio, se encuentran perturbadas por acciones humanas pero con un presencia considerable al sur de Lerma.

BOSQUE DE PINO: El bosque de pino se localiza en elevaciones por arriba de los 2 400 m.s.n.m y alcanza altitudes de hasta 2 900, cota donde suele mezclarse con el oyamel para formar rodales en los que ni el *pinus* ni el *abies* resultan claramente dominantes. Los pinares son comunidades donde el estrato más importante es el arbóreo, con alturas promedio entre los 20 y 30 m. Las condiciones climáticas de los bosques de pinos poseen límites absolutos de distribución, marcan tolerancia de temperatura media anual entre 6 y 28°C, así como entre clima totalmente libre de heladas y otro en que este fenómeno puede presentarse en todos los meses del año. En cuanto a la humedad se encuentran en sitios donde llueven solamente 350mm en promedio anual, concentrados prácticamente en 5 meses y otras comunidades de pinos requieren más de 1000mm de precipitación anual, distribuidos en 7 a 11 meses. Restringiendo la caracterización climática al área de las grandes masas forestales de pino, pueden aproximarse los límites entre 10 y 20°C de temperatura media anual y entre 600 y 1000mm de lluvia al año, lo cual correspondería al tipo Cw de la clasificación de Koëppen modificado por Enriqueta Gracia.

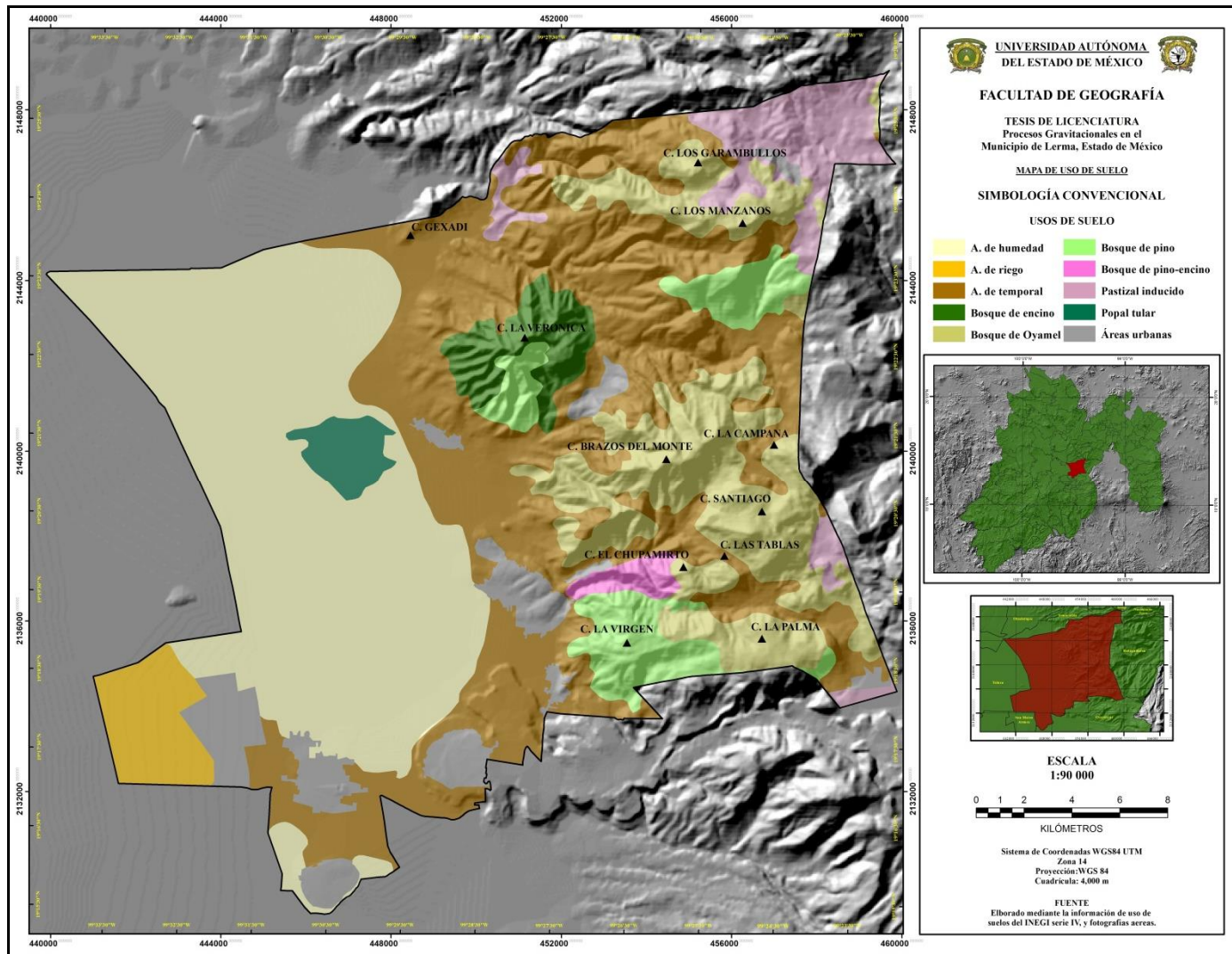
Por lo que se refiere al sustrato geológico, es notable la preferencia que muestran los pinares de México por áreas cubiertas por roca ígneas, tanto antiguas como recientes. También se les encuentra a menudo sobre gneis y esquistos, así como sobre margas, areniscas, lutitas y calizas, aunque sobre estas últimas con mucho menos frecuencia. Es común observar que el contacto entre roca ígnea y sedimentaria marina corresponde a un límite neto entre el pinar y otra comunidad vegetal. Se caracterizan por estar en un horizonte de humus de unos 10 a 30cm y el suelo se halla siempre cubierto de hojas de pino, lo cual se traduce en una superficie resbalosa que a menudo dificulta la travesía, sobre todo en pendientes pronunciadas. Se encuentra al noreste del municipio con una porción muy pequeña, como se ha mencionado anteriormente por la intervención y ocupación de actividades humanas a estado sufriendo modificaciones el terreno y deforestación de las áreas verdes al este del municipio, ya que debido a las características de relieve es donde más afectación a tenido la intervención del hombre para el establecer actividades que satisfagan sus necesidades socialmente.

PASTIZAL CULTIVADO: Esta comunidad de la perturbación que produce el hombre al abrir zonas en donde la vegetación prístina era el Bosque de pino-encino, para sustituirla por este otro tipo de comunidad y sostener así hatos de borregos en un régimen de ganadería extensiva. Las principales áreas de pastizal cultivado se ubican hacia la parte oriental de la cuenca a alturas inferiores a los 3000 m.s.n.m y superiores a los 2400 m.s.n.m. No suele presentar prominencia arbustiva ni arbórea y cubre el sustrato casi en su totalidad, con una altura de 10 a 15cm, y una disposición horizontal cerrada. Las especies dominantes pertenecen a las familias Poaceae, Cyperaceae y Asteraceae.

POPAL-TULAR: Esta comunidad es un ecosistema de la cual depende de la húmeda.

Figura 3.2. Vegetación acuática Popal-Tular.



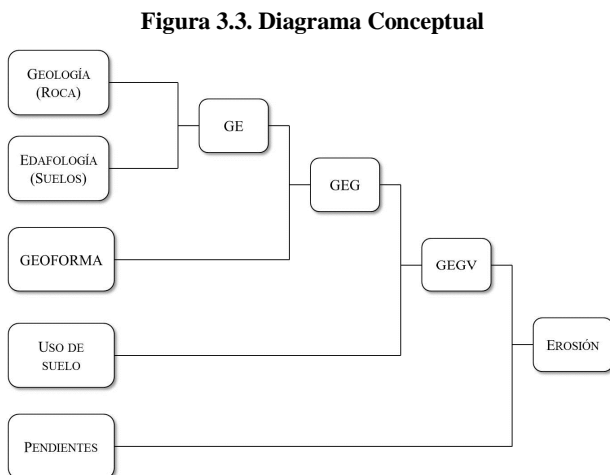


Mapa 12: Uso de Suelo

MAPA DE EROSIÓN

El desarrollo y las actividades de los pobladores ha ocasionado que la cubierta vegetal este degradándose con cierta continuidad en el territorio municipal, las acciones son las mineras y las agrícolas esta última la de mayor importancia, ocasionando que las laderas estén descubiertas y contribuyan a la erosión de suelo.

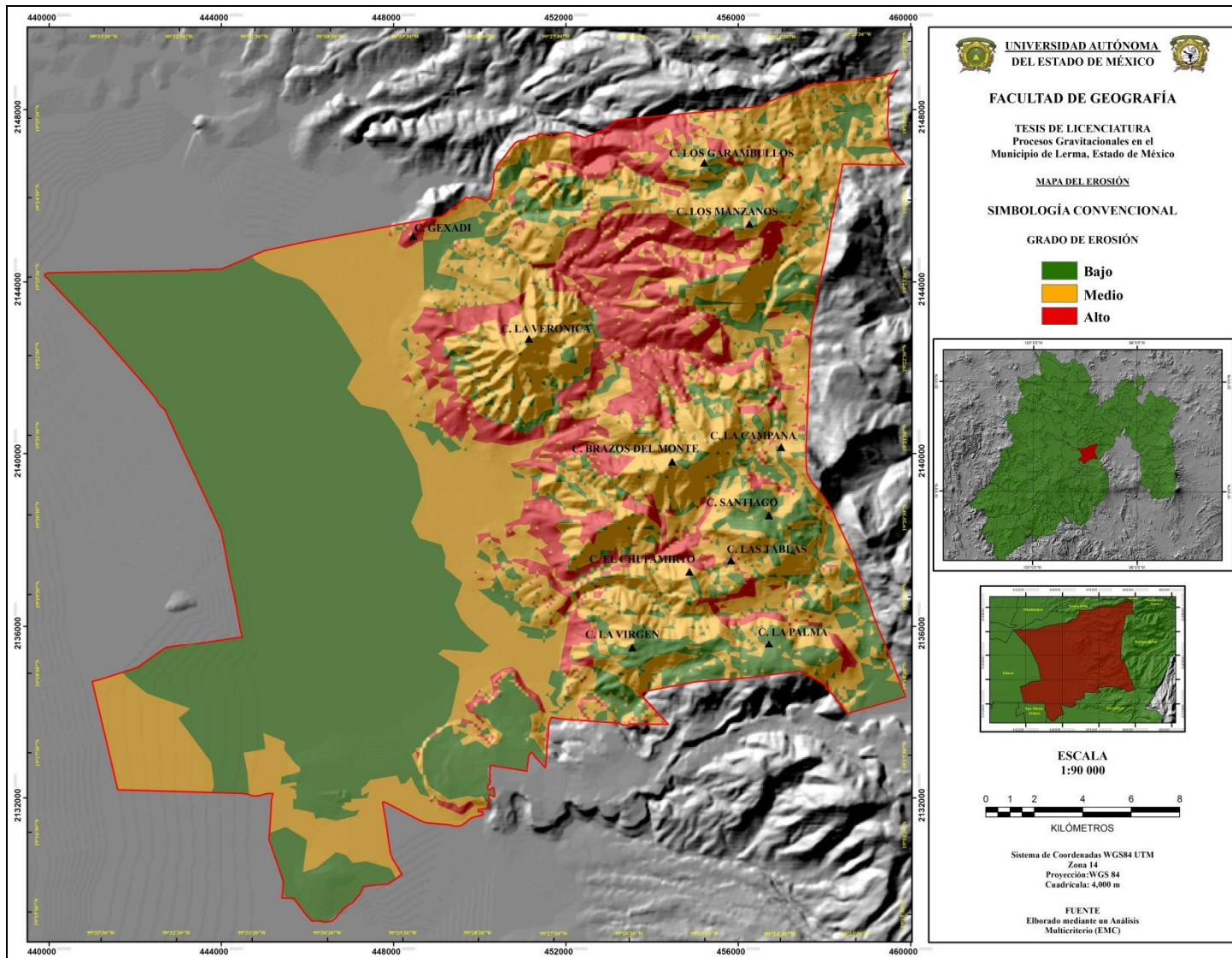
El plano se realizó a través del análisis multicriterio tomando en cuenta una relación de características físicas del territorio se llegó a el grado de erosión del municipio de Lerma (mapa 13), esto en base a la evaluación multicriterio, se relacionaron aspectos físicos del municipio dando un valor por sus características y cómo actúan en los procesos erosivos (figura 3.3) .



Este modelo se realizó para la relación cada una de las características del territorio y con cada una de las ponderaciones que se le establecieron a través de sus particularidades y así obtener las áreas en donde se tiene mayor o menor grado de erosión.

Al E se localiza el mayor grado de erosividad, debido a que se encuentran las áreas forestales y degradación con mayor actividad, por el cambio de uso de suelo. En el pie de monte el grado erosivo es alto, debido a que la actividad agrícola se ha ido desarrollando, estableciéndose con frecuencia, debido a las características y particularidades que presenta los aspectos edafológicos del territorio en estos sitios. Al W se ubican áreas con un grado de erosión de baja a media, se encuentra en una planicie, esta parte del territorio municipal según se dice que era una laguna, pero

se ha convertido en un área para el desarrollo de la agricultura de temporal, de riego y de humedad, así como el establecimiento de urbanización, y actividades industriales.



Este mapa resultante muestra indica el grado de erosión con respecto a la superficie del municipio de Lerma, los representado en el mapa tiene una coherencia con respecto al territorio, ya que los rangos mayores se localizan al NE y SW, desarrollándose en las laderas de la sierra, debido por cortes realizados para cambio de uso de suelo (actividad agrícola mayormente), provocando que la erosión sea intensa en estas áreas del municipio.

El rango de erosión media se localiza en las cumbres, laderas y pie de monte, la intensidad erosiva no es mayor debido a que en estas partes se localiza una cubierta vegetal mayor de donde se presenta una actividad erosiva mucho mayor, ayudando a la conservación de los suelos. Los grados de erosión menores se presentan en las planicies, laderas y las cubres de las montañas; es por eso que la resultante del mapa de erosión indican el grado el cual presenta los suelos y el área en donde se encuentra, ayudados por imágenes y la carta de uso del INEGI serie IV, las áreas tienen relación con el tipo de grado de erosión.

CAPITULO IV

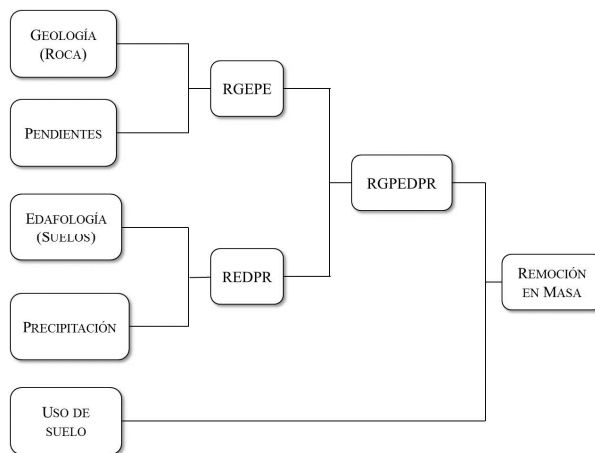
PROCESOS GRAVITACIONALES DEL MUNICIPIO DE LERMA

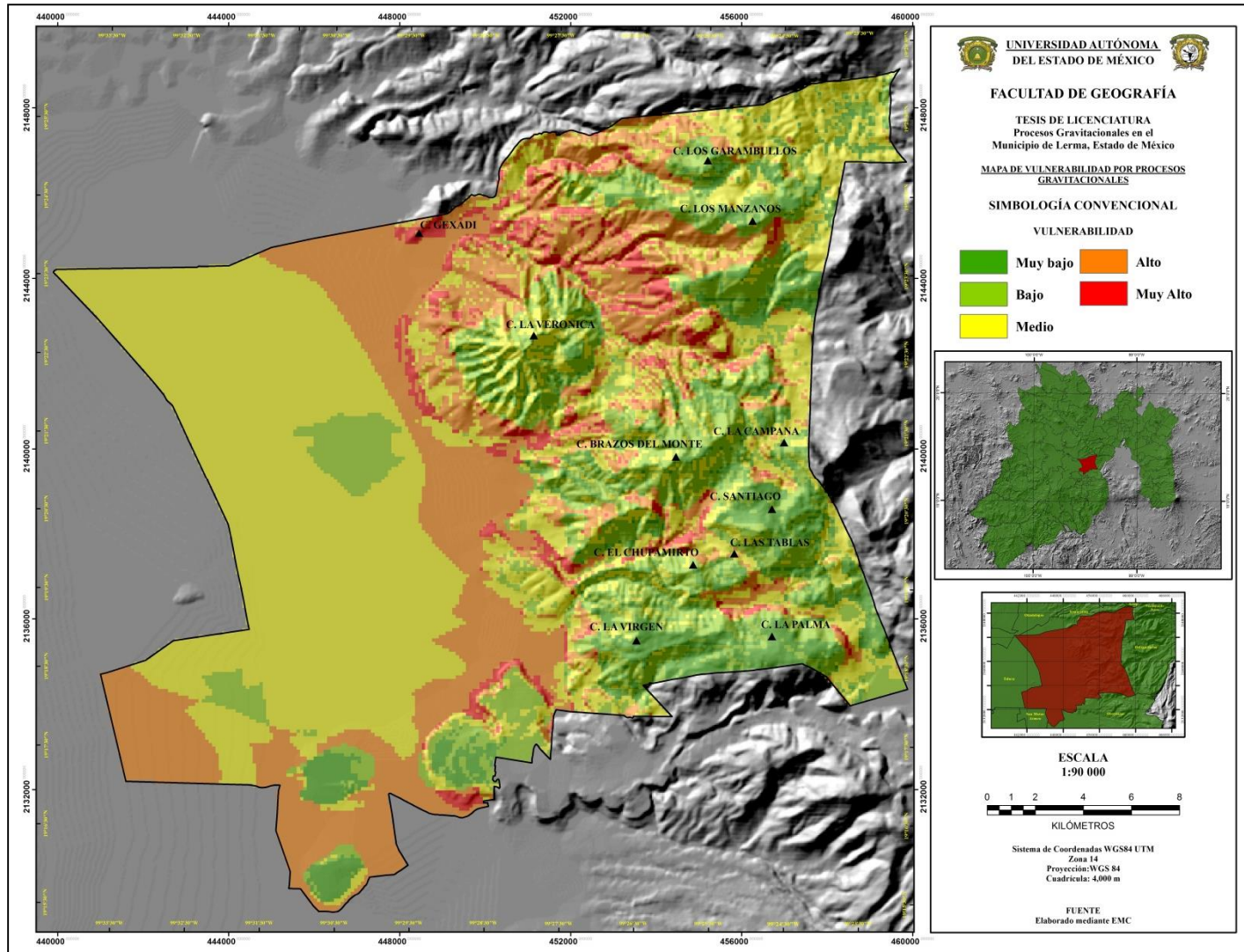
Las características geomorfológicas y las actividades que el hombre lleva a cabo en el municipio, se han convertido en un factor esencial para la degradación de los suelos y la estructura de la Sierra de las Cruces, provocando la poca resistencia a procesos hidroclimáticos, identificando susceptibilidad a caída de roca, deslizamiento, flujo y reptación.

La urbanización, deforestación para aprovechamiento de material maderable, explotación minera, etc., han ocasionado que los suelos estén teniendo un grado de degradación ocasionando erosión y la exposición de pendientes, esto originan el riesgo a caída de rocas o deslizamientos de tierra, haciendo suelos frágiles por actividades antropogénicas.

La Sierra de las Cruces se encuentra al este del municipio, ubicando las elevaciones más significativas del territorio y donde la actividad del hombre ha degradado la estructura de la sierra y del suelo haciendo cortes y creando pendientes mayores a 15°, provocando desprendimiento de rocas y degradación en suelos. En la entidad se localizan áreas con riesgo muy alto y muy bajo (plano 13), las zonas con menor riesgo son en las partes altas de la sierra en donde la vegetación no tiene un grado de degradación considerable, y la estructura topográfica y suelos no han sufrido cambios por el hombre. El plano de riesgo se realizó por medio de un análisis multicriterio, tomando en cuenta la geología, pendientes, precipitación, edafología y uso de suelo, estos factores se relacionaron, como la geología-pendientes llamando al plano RGEPE (figura 4.1), con valores del 1-5.

Figura 4.1 Diagrama conceptual procesos gravitacionales.





Plano 13. Riesgo a procesos gravitacionales

El alto grado de peligro por procesos gravitacionales o deslizamientos, se localizan al NE y SE del municipio Lerma, ya que en estos puntos se localiza la Sierra de las Cruces, aunque no en toda la extensión de la elevación se establecen riesgos por deslizamiento o caída, pero si se ubican zonas con vulnerabilidad a los procesos geomorfológicos que se describen en este trabajo, debido a la alteración por cortes de ladera y al desarrollo de los procesos erosivos. Debido a las necesidades del hombre la degradación de la topografía y de los suelos son evidentes en esta entidad, y el crecimiento urbano no ha sido la excepción para que los procesos de degradación vayan avanzando lentamente en el territorio municipal de Lerma.

Relacionando los aspectos físicos que se han descrito anteriormente, las zonas de mediano a muy alto riesgo, tienen características particulares que ayudan a que las áreas con este grado de vulnerabilidad sean susceptibles a los procesos de remoción en masa, una de las características es la pendiente, y esta relacionándola con los cambios de uso de suelo pueden dar como resultado procesos de deslizamiento de suelos y en su caso de rocas, parte de la Sierra de las Cruces que se ubica dentro del municipio ha sufrido alteración para la elaboración de vías de comunicación o accesos a pequeños pueblos de la localidad, por la extracción forestal, actividades agrícolas, mineras y el que más se ha desarrollado la urbanización, esta última ha ido creciendo constantemente ya que por las cercanía a la Ciudad de México, se han ido construyendo fraccionamientos privados, o casas particulares, estableciéndolas en pendientes y ocasionando que el drenaje degrade un poco más el suelo que ya es erosivo debido a la deforestación que en ella se ha ocasionado.

Las áreas con mayor riesgo a procesos gravitacionales son las que se representan con color rojo y naranja, las cuales con el modelo digital de elevación se observan en los pies de monte, donde regularmente los cambios de uso de suelo o de la estructura de las elevaciones son modificados por un factor antropogénico, ya sea para la apertura de vías de comunicación o bien la creación de terrenos para la actividad agrícola.

En las mediaciones de la sierra se localizan área con alto, medio y bajo riesgo, en estas zonas la vegetación se ha mantenido aunque se han llevado modificaciones en ella por tala de árboles, para la apertura de áreas agrícolas, vías de comunicación y uso urbano. Éste último caso refiere a la ubicación de casas habitación entre las laderas y pendientes, ya que la percepción de riesgo por procesos de deslizamiento o de caída de material rocoso son desconocidos para cierta parte de los habitantes de los distintos poblados que se ubican en laderas y pies de monte.

En las cumbres de la sierra se localizan las áreas con poco riesgo, debido a la conservación y a la poca apertura de zonas para la actividad agrícola, uno de los factores es el clima, ya que en estas altitudes los cultivos no llegan a tener un desarrollo óptimo,

En el municipio se identifican susceptibilidad a caída de roca, deslizamiento, flujo y reptación. De acuerdo a la clasificación de Pedraza (1996), el primero de los procesos gravitacionales es la caída, continua el deslizamiento, el flujo y la reptación en este orden se hará el análisis territorial.

CAÍDA

Al E de la población de Santiago Analco y NW del poblado de Salazar se localiza una franja de escarpe, se ubica en una zona donde la inclinación de la ladera ayuda a el descenso del material a través del aire, rebotando o rodando, lo cual se caracteriza por las formaciones de derrubios, a pie de escarpe se encuentra una franja de vegetación podría amortiguar si es que material rocoso se desprende, pero después de esta pared de vegetación hay zonas de cultivo en una pendiente mayor a los 15° ayudando al desplazamiento

Al EW de la población de Santa María Atarasquillo, en el cerro conocido como el chupamirto, se observan procesos por caída de roca, se exhibe una pared escarpada superior a los 100 metros y con una pendiente de 90° aproximadamente, en ellas se encuentran bloques desprendidos, a su lado se ubica la vía de comunicación que va al poblado de Santiago Analco (figura 4.2).

Figura 4.2

Desprendimiento de rocas EW de Santiago Analco (carretera Analco-Atarasquillo)





Entre los domos de Santiago y la Campana se encuentra un escarpe donde se observan bloques de rocas fracturadas que se encuentran en pendientes de 30° y 45° , haciéndolas vulnerables al desplome, ya que en algunos puntos el material geológico está en posición vertical y la caída ocasionara que este material recorriera gran distancia por las características topográficas en donde se está ubicada, aunque en algunas de ellas la presencia de vegetación puede ayudar a que estos bloques no recorran grandes distancias.

DESLIZAMIENTOS

A lo largo de la carretera Jorge Jiménez Cantú se observan como la actividad del hombre ha favorecido al desarrollo de los procesos de deslizamiento, provocados en su mayoría por los cortes de pendientes y también dando un indicador en la vegetación ya que los estratos arbóreos que se encuentran en estas pendientes, ya se observa un cabeceo, esto es un indicador en donde el tronco ya no tiene una posición recta, si no que ya ha tomado una posición con dirección hacia donde se encuentra la pendientes, si es cierto que este indicador nos muestra que hay procesos lentos de deslizamiento, es una línea preventiva que debemos tomar en cuenta (figura 4.3)

Figura 4.3

Cortes a la pendiente para la elaboración de una vía de acceso y construcción de casas habitacionales.



Muestra de ellos son los cortes de pendientes que se realizaron para la elaboración de una vía de acceso, hacia la calle de la Santos Degollado y aun esta obra no se han concluido dejándola abandonada, a su lado de este corte, ya se ha presentado un procesos de deslizamiento, el cual, tuvo consecuencias, ya que una casa habitacional fue sepultada por la gran cantidad de suelo que se deslizo (figura 4.4).

Figura 4.4

Cortes a la pendiente para la elaboración de una vía de acceso y construcción de casas habitacionales.





En la carretera Atarasquillo-El Charco, se observa como la intervención del hombre va favoreciendo las condiciones del terreno para un posible deslizamiento, debido a que las pendientes tienen una inclinación mayor de 15° , provocando que la vegetación se incline a la dirección pendiente abajo, en algunos sectores el suelo (figura 4.5).

Figura 4.5

Deslizamiento sobre la carretera Atarasquillo-El Charco



A lo largo de la antigua carretera a Xochicuautila, se observan cómo se ha ido adecuando la sierra mediante cortes de pendientes para la construcción de sus hogares y de escuelas, también se observan terrazas artificiales y mamposterías sin ninguna salida de drenaje (figura 4.6).

Figura 4.6

Antigua carretera a Xochicuautla



REPTACIÓN

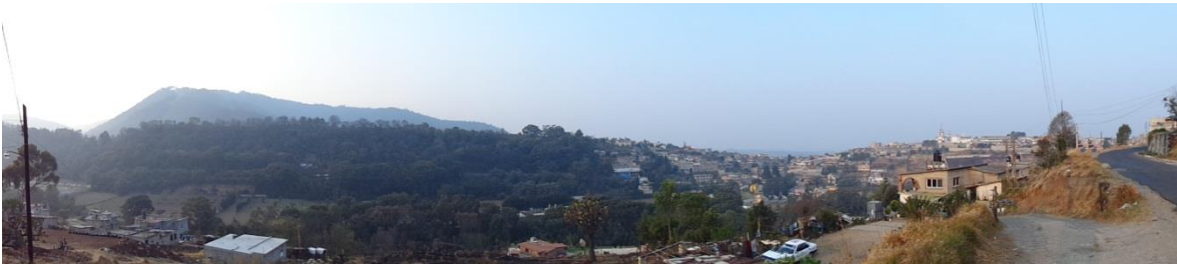
Este proceso geomorfológico es muy común en la extensión territorial del municipio, sobre todo en las vías de acceso a los poblados, ya que por medio de los cortes de pendiente que hay a lo

largo de todas estas vías de comunicación se observan como la vegetación ya no se mantiene de forma recta, ya que presenta una inclinación y las pendientes varias de 15 a 35° sobre las carreteras.

Sobre la carretera que lleva a la comunidad de Analco se encuentra una extensión de pendiente en la cual la vegetación ya presenta un cabeceo con dirección hacia la carretera, y sobre esta vía se observan las raíces salidas de la vegetación debido a la erosión que los suelos están presentando, este indicador nos hace ver que los procesos que se están llevando en este lugar son lentos (figura 4.7).

Figura 4.7

Vulnerabilidad a proceso de reptación por la inclinación de la vegetación y pendientes mayores a 15°, sobre la carretera Atarasquillo-Analco





Al NE de la Parroquia de la Señora de la Asunción, en Santa María Atarasquillo, se observan área con procesos de reptación, debido al encorvamiento de la vegetación, a lo largo de esta zona muestran inclinaciones y rupturas en la estructura, en este punto ya se ha llevado un proceso de deslizamiento de alta magnitud, y los demás se han estado dando de baja intensidad, pero que se observan a lo largo de esta área.

En la comunidad de San Mateo Atarasquillo, se localizan laderas con pendientes de 15° a 30° , en donde se establecen casas habitación, en ellas se observan corrientes erosivas, y es notable en la vegetación en el encorvamiento o el cabeceo del estrato vegetal, dándonos un indicativo que el procesos se está dando a una escala menor y lenta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La identificación de los sitios con vulnerabilidad a procesos gravitacionales, se realizó con base en un análisis multicriterio, la cual involucró las características físicas, biológicas y sociales; características que influyen en el progreso de estos procesos geomorfológicos, por medio de ponderaciones, que se establecieron por sus características para el desarrollo a los procesos gravitacionales.

El origen de la Sierra de las Cruces se debe a la actividad del Arco Tarasco, que a su vez se encuentra influenciado por la tectónica de Sistema Volcánico Transversal, mostrando de esta manera que las elevaciones y en la mayoría de los domos que se encuentran en la unidad geomorfológica de montaña, presentan un lineamiento con rumbo SSE, y sobre algunas es evidente la existencia de fallas, fracturas y escarpes.

Estos procesos geomorfológicos son debidos a la relación de aspectos físicos que se desarrollan en un espacio geográfico, por medio de esta conjunción de elementos es como dependerá el desprendimiento de roca o de suelo sea rápida o lenta, dentro del municipio, evolucionan lentamente, debido a los usos de suelo, ya que si bien se ha degradado para zonas agrícolas las pendientes en algunas zonas se mantiene con estratos vegetativos, sin embargo el tronco de los arboles ya tiene un cabeceo hacia la vía de acceso o en donde se presenta el corte de las vertientes.

En el municipio se desarrollan ciertas características para la evolución de los procesos gravitacionales, y son las siguientes:

- ❖ Topografía: la Sierra de las Cruces es un límite natural entre las cuencas de México con elevaciones de los 2200 msnm y de la capital mexiquense, elevaciones de 2400 msnm, entre estas dos cuencas se localizan dos volcanes llamados Salazar y Chinipas, que se ubican al E del municipio de Lerma.

En el municipio se encuentran elevaciones que van de los 2570 msnm a 3430 msnm, esta última localizada al NE de la Concepción Xochicuatla, teniendo estas características de elevaciones en el territorio, se puede establecer componentes en los cuales el territorio tenga vulnerabilidad a procesos de remoción en masa, sobre todo ahora que se ha ido degradando debido a la actividad minera y agrícola que se desarrolla en el espacio geográfico de Lerma.

- ❖ Pendiente: este modelado territorial es el factor que más sobresale para la evolución de los procesos de remoción en masa, debido a que es el declive o inclinación respecto a la horizontal de un terreno, también dependerá a los suelos y al grado de pendiente que tenga el terreno, que puede ser desde el 0° a mayor de 45°.
- ❖ Debido a la extracción de material para construcción, en el municipio se encuentra minas, y actividad agrícola, ocasionan cortes de pendiente, y el grado de estos en ocasiones son mayores a más de 45°, y también para abrir vías de comunicación hacia los poblados.
- ❖ Edafología: el aspecto edafológico es un factor que influye en el desarrollo de los procesos de remoción en masa, esto va depender si los suelos se encuentran en un estado óptimo o han tenido cambio de uso de tener vegetación a usarlo para uso agrícola, esto degrada los suelos haciéndole más vulnerables a procesos de reptación y deslizamientos.
- ❖ Debido a que en el municipio de Lerma los suelos estaban cubiertos por vegetación, no tenían un grado de degradación significativa, sin embargo a inicios de los años 90, el cambio de uso de suelos en el territorio inicio debido a la necesidades sociales como vías de comunicación, áreas para actividades agrícolas, explotación forestal y áreas de urbanización, debido a que por las cercanías al Distrito Federal los municipios del estado que se encuentran conurbados a esta ciudad, han tenido un crecimiento en la población, provocando degradación de los suelos debido a las actividades sociales que se han desarrollado en Lerma.
- ❖ Erosión: la erosión es un factor que va depender de los usos de suelo, ya que si los suelos se encuentra cubierto por una capa vegetal debido a que los escurrimientos no se desarrollan tan rápidamente, sin embargo los suelos descubiertos y en donde hacen un corte o

deforestan el grado de erosión suele aumentar, con ello los hacen más vulnerables a la erosión hídrica y eólica.

En el municipio por medio de las actividades agrícolas, mineras y de construcción los usos de suelos se han modificado, esto ha provocado que en áreas del municipio se tengan áreas de erosión hídrica y también eólica, lo que ocasiona que los suelos sean más vulnerables deslizamientos por la degradación que han tenido en su estructura.

En las unidades de montañas se manifiesta con mayor intensidad los procesos tectónicos volcánicos; se evidencian con la existencia de fallas, algunas de ellas presentan escarpe, en lo que se aprecia la formación de derrubios, formado por caídas de rocas, ayudado por las pendientes que se encuentran y oscilan entre 30° y 45°.

Se concluye que en el territorio del municipio de Lerma existen factores que condicionan y desencadenan los procesos gravitacionales. Los factores que intervienen en el desarrollo de los procesos gravitacionales son físicas-biológicas y demográficas, ya que por el poco consentimiento de la población, por satisfacer sus necesidades, la explotación de los recursos geológicos y forestales que hay en el municipio de Lerma, se tienen áreas con vulnerabilidad a caída de rocas, deslizamientos y reptación, comprobando la hipótesis establecida.

BIBLIOGRAFÍA.

- Bloom, A. (1982) La Superficie de la Tierra, Editorial Omega, Barcelona, España, pág. 40-52
- CENAPRED (2001) Fascículo de Riesgo, México
- Frausto, O. (2002) Análisis geomorfológico enfocados a los procesos de ladera en la Sierra de Guadalupe, México, Tesis de Grado de Maestro, Departamento de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández, E. (2007) Procesos Geomorfológicos en las vertientes del Municipio de Lerma. Tesis de Licenciatura, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hubp, J. (1989) Diccionario Geomorfológico, UNAM, México
- Iturralde, M. Los Riesgos Naturales de Origen Geológico: Causas y Consecuencias, Museo Nacional de historia Natural, La Habana, Cuba. Obtenido de la pág. De Internet: <http://www.medioambiente.cu/museo/riesgo.pdf>.
- Palma, G. (2008) Evaluación de Riesgo por Caída de Bloques en Santiago Miltepec, Toluca. Estado de México, Tesis de Licenciatura, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Palomo, A. Zamorano, J. López, C. García, A. Valerio, V. Ortega, R. Macías, J (2008) El arreglo morfoestructural de la sierra de las Cruces, México central, Revista Mexicana de ciencias Geológicas, v25, Número 1. México.
- Sánchez, D. (2007) Remoción en masa en el Cerro de Coatepec, Estado de México. Tesis de Licenciatura, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Seco, H. (1982) Geomorfología, procesos exogenéticos, Volumen II, Universidad de La Haba, Cuba, Editorial Ministerio de Educación Superior.
- SNET Servicio Nacional de Estudios Territoriales: Consultado en la página de internet: <http://www.snet.gob.sv/ver/riesgo>.
- Suárez, J. (2001) Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos Ltda. Bucaramanga, Colombia.
- Tarbuck, E. y F. Lutgens (2005) Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física, Editorial Pearson Prentice Hall, Madrid, España, pág. 426-478.
- Torres, N. (2008) Las Inundaciones en San Mateo Atenco, Estudio basado en Cartografía Participativa y análisis de Vulnerabilidad, Tesis de Licenciatura, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, pág. 8-14.
- Toscana, A. (1998) Análisis geomorfológico detallado del volcán Ajusco y zonas adyacentes, Tesis de Licenciatura, Departamento de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gracia, E. (1964) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, México D.F, Sexta Edición, pág 16-45.

- Prontuario de información geográfica municipal de los estados unidos mexicanos:
Consultado en la página de internet: <http://mapserver.inegi.gob.mx/webdocs/prontuario/>.