



**Universidad Autónoma del Estado de México**

**Facultad de Geografía**



**Caracterización del relieve en el Estado de México con un criterio termo-pluviométrico**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**LICENCIADO EN GEOGRAFÍA**

**Presenta**

Josías Segundo Morales

**GENERACIÓN**

2013-2018

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. en G. Luis Miguel Espinosa Rodríguez

**REVISORES**

Mtra. Anaíd Pérez Pérez

Mtra. Marisol de la Cruz Jasso

**TOLUCA, MÉXICO, OCTUBRE DEL 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

De la abundancia del corazón habla la boca. S. Mateo 12:34

Primeramente, agradezco a Dios por la vida, sabiduría, inteligencia y gracia que desde que desde siempre me ha otorgado.

A mi familia:

A mis padres Brígido Segundo y Florencia Morales por el modo de educarme, sustentarme, apoyarme desde el primer día de mi existencia hasta la culminación de mí licenciatura.

A mis hermanos en general por su apoyo y ánimos que cada día me daban para ser cada día mejor.

A la Universidad Autónoma del Estado de México especialmente de la Facultad de Geografía por alojarme en sus instalaciones estos cinco años.

A mis maestros que durante estos nueve semestres procuraron trasmitirme el mayor conocimiento posible. Especialmente al Dr. Luis Miguel Espinosa y a la Mtra. Inocencia Cadena por su asistencia constante en los últimos semestres de mi Licenciatura.

A mi asesor de tesis Dr. Luis Miguel Espinosa por el asesoramiento constante desde el inicio del proyecto hasta su culminación. A mis revisoras; Mtra. Anaid Pérez y Marisol de la Cruz.

A mis compañeros de generación por la distracción y los momentos de convivencia en las prácticas de campo.

## **DEDICATORIA**

La vida está llena de oportunidades y solo pocas de ellas se quedan en nuestras manos para hacerlos realidad.

J. Segundo.

Este trabajo de tesis es dedicado a mi familia ya antes mencionada, a mi universidad y sobre todo a mí mismo, este último por el esfuerzo, entrega y pasión por mi ciencia que es la Geografía.

# Índice

<b>Resumen</b> .....	7
<b>Introducción</b> .....	8
<b>Problemática</b> .....	10
<b>Problema de Investigación</b> .....	11
<b>Justificación</b> .....	12
<b>Objetivos</b> .....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos.....	13
<b>Metodología</b> .....	14
<b>Antecedentes</b> .....	16
<b>Marco teórico – conceptual</b> .....	25
La corriente posibilista .....	25
Región .....	26
Teoría general de Sistema (TGS).....	27
Evolución del paisaje .....	30
Climas del pasado .....	34
<b>Marco Conceptual</b> .....	48
Geología.....	49
Climatología.....	53
Hidrología.....	55
Geomorfología .....	57
Edafología.....	59
<b>Capítulo II Caracterización física del Estado de México</b> .....	63
Geología.....	65
Fisiografía .....	70
Hipsometría .....	73
Climas.....	76
Geomorfología .....	79
Edafología.....	84
<b>Capítulo III Regiones Morfoclimáticas en el Estado de México</b> .....	91
<b>Capítulo IV Características de las geoformas en el perfil topográfico</b> .....	107
<b>Capítulo V Unidades morfoclimáticas en el Estado de México</b> .....	127
<b>Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones</b> .....	139

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Regiones morfogénicas en base a la temperatura y precipitación según Peltier .....	18
<b>Figura 2:</b> Zonas y subzonas morfoclimáticas según Tricart y Cailleux .....	19
<b>Figura 3:</b> Zonas morfoclimáticas según Büdel.....	20
<b>Figura 4:</b> Ciclo erosivo según Davis.....	31
<b>Figura 5:</b> Valle en forma de “U” .....	39
<b>Figura 6:</b> Geformas por movimiento glaciario.....	40
<b>Figura 7:</b> Formas resultantes por procesos glaciares.....	40
<b>Figura 8:</b> Evolución de una Cárcavas .....	42
<b>Figura 9:</b> Rocas tipo hongo .....	42
<b>Figura 10:</b> Arcos.....	43
<b>Figura 11:</b> Formación de Ripples .....	43
<b>Figura 12:</b> Tipos de Dunas.....	43
<b>Figura 13:</b> Valles en “V” .....	44
<b>Figura 14:</b> Sinuosidad de los meandros .....	45
<b>Figura 15:</b> Abanico aluvial .....	45
<b>Figura 16:</b> Modelado kárstico .....	46
<b>Figura 17:</b> Llanuras aluviales.....	46
<b>Figura 18:</b> Deltas .....	47
<b>Figura 19:</b> Ciclos geológicos.....	50
<b>Figura 20:</b> Origen de las fallas.....	53
<b>Figura 21:</b> Textura de los suelos.....	61
<b>Figura 22:</b> Localización de la zona de estudio. ....	64
<b>Figura 23:</b> Geología del Estado de México. ....	69
<b>Figura 24:</b> Provincias fisiográficas del Estado de México.....	72
<b>Figura 25:</b> Hipsometría del Estado de México.....	75
<b>Figura 26:</b> Climas del Estado de México .....	78
<b>Figura 27:</b> Geomorfología del Estado de México .....	83
<b>Figura 28:</b> Edafología del Estado de México .....	90
<b>Figura 29:</b> Regiones morfoclimáticas 1980 Estado de México .....	100
<b>Figura 30:</b> Regiones morfoclimáticas 1985 Estado de México .....	101
<b>Figura 31:</b> Regiones morfoclimáticas 1990 Estado de México .....	102
<b>Figura 32:</b> Regiones morfoclimáticas 1995 Estado de México .....	103
<b>Figura 33:</b> Regiones morfoclimáticas 2000 Estado de México .....	104
<b>Figura 34:</b> Regiones morfoclimáticas 2005 Estado de México .....	105
<b>Figura 35:</b> Regiones morfoclimáticas 2010 Estado de México .....	106
<b>Figura 36:</b> Área designada para el perfil topográfico de la región Semiárido.....	113
<b>Figura 37:</b> Área designada para el perfil topográfico de la región Frio Lluvioso .....	117
<b>Figura 38:</b> Área designada para el perfil topográfico de la Región Templado húmedo ...	122
<b>Figura 39:</b> Unidades morfoclimáticas Estado de México .....	133
<b>Figura 40:</b> Unidad morfoclimática “Cima” .....	134
<b>Figura 41:</b> Unidad morfoclimática “valles en U” .....	135
<b>Figura 42:</b> Unidad morfoclimática “Laderas” .....	136

<b>Figura 43:</b> Unidad morfoclimática “Piedemonte” .....	137
<b>Figura 44:</b> Unidad morfoclimática “Valles en V” .....	138

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Regiones morfogenéticas según Peltier.....	17
<b>Tabla 2:</b> Zonas morfoclimáticas según Büdel.....	21
<b>Tabla 3:</b> Regiones morfoclimáticas modificados de Modificado por Peltier; Strahler y Wilson.....	22
<b>Tabla 4:</b> Concepción de los sistemas y características generales .....	28
<b>Tabla 5:</b> Acontecimientos morfológicos con relación a las edades geológicas .....	36
<b>Tabla 6:</b> Variables utilizadas para el desarrollo de la investigación.....	48
<b>Tabla 7:</b> Tipo y características de los climas.....	54
<b>Tabla 8:</b> Procesos y características geomorfológicas en el relieve .....	58
<b>Tabla 9:</b> Tipo y características de los suelos. ....	60
<b>Tabla 10:</b> Rocas Ígneas.....	67
<b>Tabla 11:</b> Rocas Sedimentarias. ....	68
<b>Tabla 12:</b> Rocas Metamórficas.....	68
<b>Tabla 13:</b> Área de las provincias fisiográficas.....	71
<b>Tabla 14:</b> Proceso de la formación de los suelos con relación al clima. ....	85
<b>Tabla 15:</b> Tipo de Suelos en el Estado de México.....	85
<b>Tabla 16:</b> Matriz de suelo del Estado de México.....	89
<b>Tabla 17:</b> Criterios Morfoclimáticos según Peltier.....	92
<b>Tabla 18:</b> Criterios Morfoclimáticos según Modificados de Peltier, Strahler y Wilson. ....	93
<b>Tabla 19:</b> Criterios Morfoclimáticos según Summerfield.....	94
<b>Tabla 20:</b> Comparación de los criterios y regiones morfoclimáticas. En donde TMA (°C) representa a la temperatura media anual en grados Centígrados y pp (mm) a la Precipitación total anual en milímetros. ....	96
<b>Tabla 21:</b> Número de estaciones climatológicas del Estado de México 1980-2010.....	98
<b>Tabla 22:</b> Área (km <sup>2</sup> ) de las regiones Morfoclimáticas en el Estado de México en periodos de 5 años 1980-2010.....	107
<b>Tabla 23:</b> Descripción geomorfológica de la región morfoclimática semiárido. ....	115
<b>Tabla 24:</b> Descripción geomorfológica de la región morfoclimática Frio Lluvioso. ....	120
<b>Tabla 25:</b> Descripción geomorfológica de la región morfoclimática Templado Húmedo. ....	125
<b>Tabla 26:</b> Análisis de las unidades morfoclimáticas.....	132

## Índice de Gráficas

<b>Gráfica 1:</b> Área de la región Morfoclimática árido .....	109
<b>Gráfica 2:</b> Área de la región Morfoclimática Frio Lluvioso. ....	109
<b>Gráfica 3:</b> Área de la región Morfoclimática periglacial .....	110
<b>Gráfica 4:</b> Área de la región Morfoclimática Semiárido .....	110
<b>Gráfica 5:</b> Área de la región Morfoclimática Templado Húmedo. ....	111
<b>Gráfica 6:</b> Relación de las coberturas de las regiones Morfoclimáticas 1980-2010.....	111
<b>Gráfica 7:</b> Perfil topográfico de la Región Morfoclimática Semiárido 2010.....	113

<b>Gráfica 8:</b> Características de la simetría del relieve de la región morfoclimática Semiárido.	116
<b>Gráfica 9:</b> Perfil topográfico de la Región Morfoclimática Frio Lluvioso 2010.	117
<b>Gráfica 10:</b> Características de la simetría del relieve de la región morfoclimática Frio Lluvioso	121
<b>Gráfica 11:</b> Perfil topográfico de la Región Morfoclimática Templado húmedo.	122
<b>Gráfica 12:</b> Características de la simetría del relieve de la región morfoclimática Templado húmedo.	126

## **Resumen**

En la presente investigación se realiza una caracterización del relieve para el Estado de México bajo criterios termo-pluviométricos mediante la aplicación de la metodología propuesta por Peltier (1950), Strahler (1965) y Wilson (1968) que está basado en el análisis termopluiométrico y procesos geomorfológicos.

De los resultados de la regionalización se partió para identificar unidades morfoclimáticas con base a un perfil topográfico realizado en los límites de cada región.

Los resultados se representan en un mapa por cada unidad morfoclimática y se analizan por medio de una tabla que contiene la unidad morfoclimática, la región a la que pertenece, su altitud, el agente encargado de erosionar o modificar al relieve y la caracterización del proceso.

## **Palabras claves**

Caracterización, relieve, termopluiométrico, clima, regiones.

## **Abstract**

In the present investigation, a relief characterization for the State of Mexico is carried out under thermo-pluviometric criteria by applying the methodology proposed by Peltier (1950), Strahler (1965) and Wilson (1968), which is based on thermopluiometric analysis and geomorphological processes.

The results of the regionalization were used to identify morphoclimatic units based on a topographic profile carried out in the limits of each region

The results are represented on a map for each morphoclimatic unit and analyzed by means of a table that contains the morphoclimatic unit, the region to which it belongs, its altitude, the agent in charge of eroding or modifying the relief and the characterization of the process.

## **Keywords**

Characterization, relief, thermopluiometric, climate, regions.

## Introducción

Una caracterización del relieve bajo un concepto termo-pluviométrico tiene relevancia no solo en el contexto local sino también a una escala internacional dado que es una delimitación del relieve actual influenciado o modelado por el tipo de precipitación y temperatura que existe en cada tipo de clima que había en tiempos pasados y actuales, esto tiene dos factores; causa-efecto, el primero, basado en los paleoclimas o climas del pasado caracterizado por glaciaciones principalmente. El segundo, las características del relieve actual es resultado del modelado de factores exógenos del pasado “clima”, la precipitación y la temperatura como los agentes modeladores más importantes.

El Estado de México se localiza dentro de dos provincias fisiográficas: Eje Volcánico transversal y La Sierra Madre del Sur, caracterizado por presentar morfología de montañas, valles, planicies y depresiones cada una de estas como sistema geomorfológico; dentro de estas dos provincias se encuentran cinco Subprovincias Fisiográficas (Depresión del Balsas, Lagos y volcanes de Anáhuac, llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo, Mil cumbres y por último Sierra y valle Guerrerenses), el clima por su parte modela estas estructuras morfológicas de acuerdo al tipo de material que la conforma (INEGI 2017).

Por otro lado, las regiones a través de los tiempos se han convertido en un método para las delimitaciones de áreas homogéneas en el territorio y para caracterizar al relieve, es por ello, que la región es uno de los estudios principales de la Geografía dado que dentro de ellas se encuentran agentes que tienen una interacción diaria como lo son la población con el espacio físico (relieve-clima). Para Immanuel Kant (1724-1804) la región está ligada meramente con el espacio, y dentro de la geografía el espacio geográfico es el objeto de estudio.

Al tener el panorama general de la morfología que presenta el Estado de México y la importancia de la región dentro del campo geográfico, la unión de estas dos variables permite delimitar regiones morfoclimáticas, que ayuda a caracterizar al relieve de un modo termo-pluviométrico, esto por medio de un análisis de antecedentes de trabajos realizados en el contexto internacional, nacional y local.

por consiguiente, se realizó el marco teórico conceptual que se caracteriza por contener las definiciones de las variables utilizadas, (Clima, región, relieve, erosión, litología, tipo de suelo, entre otros.) buscar su localización y distribución espacial dentro del área de estudio. Por último, la metodología se desarrolló de acuerdo con los objetivos señalados, los resultados obtenidos se presentan por medio de cartografía temática de las variables antes mencionadas, junto con la delimitación de las regiones y unidades morfoclimáticas bajo un criterio termo-pluviométrico.

## **Problemática**

La caracterización del relieve en el Estado de México bajo criterios termo-pluviométricos es un tema en el cual el factor exógeno como la precipitación y temperatura modifica al relieve. Dentro de la República Mexicana no existe una delimitación propia en el tema relieve bajo criterios termo-pluviométricos y ligado a aspecto morfoclimático o bien, de una relación de los factores climáticos con el relieve. Los estudios sobre esta temática se desarrollaron a nivel mundial con: Peltier (1950), Tricart y Cailleux (1965), Büdel (1968) y Summerfield (1991).

Por lo anterior al no existir trabajos dentro del Estado de México en el aspecto morfotermopluiométrico y morfoclimático propio de la zona de estudio, fue necesario generar información con base a trabajos realizados de los autores ya antes referidos. Los pasos que se siguieron para resolver la problemática fueron: sustentar la temática con una base teórica metodológica tomando como base los antecedentes en el contexto nacional e internacional para la delimitación de regiones morfoclimáticas, aplicar la metodología para la delimitación de las regiones morfoclimáticas que fue la base para la caracterización del relieve y con ello generar cartografía para consolidar los resultados.

Los criterios utilizados para la clasificación morfoclimática según Peltier, (1950); Strahler, (1965); y Wilson, (1968) se basó en identificar criterios en la temperatura media anual y la precipitación total anual de una zona y asociarlas a procesos geomorfológicos actuales. Los autores referidos también indican que es necesario contemplar el clima antiguo de cada zona como referente a grandes modelados actuales.

## **Problema de Investigación**

El presente trabajo de investigación se enfoca en caracterizar al relieve en el aspecto termopluiométrico, y para ello se utilizó criterios teóricos-metodológicos para sustentar la investigación por medio de antecedentes sobre el tema, la búsqueda de información fue de nivel internacional a local con base a criterios relacionados al aspecto morfoclimático o temáticas parecidas.

Otro criterio teórico de importancia para la investigación es el marco conceptual, el cual se basó en la búsqueda de conceptos y su definición para el sustento científico de la investigación, la explicación de las variables a utilizadas depende de las dimensiones de la investigación, dicha extensión se basa en los objetivos señalados, por ejemplo; se retoman conceptos de geología, fisiografía, climas, geomorfología, procesos de erosión, altitud, entre otros. Toda consulta teórica será para sustentar el tema de investigación que es caracterización del relieve bajo una visión geográfica.

Los criterios metodológicos dependieron de los objetivos señalados, dado a que el objetivo general es: Realizar una caracterización del relieve bajo criterios termopluiométricos para el Estado de México a escala 1: 250 000 por medio de un análisis cartográfico para conocer la estructura y característica del relieve. Como método primordial, trabajo de gabinete, que se basó en la búsqueda bibliográfica con el enfoque de la temática a estudiar (climas, paleoclimas, geología, geomorfología, edafología, paleoedafología, entre otros) y aunado a esto se generó cartografía para caracterizar al Estado de México en el aspecto físico (Mapa geológico, edafológico, geomorfológico, pendiente, hipsométrico, densidad de disección, uso de suelo y vegetación, regiones morfoclimáticas, entre otros).

Los productos de la investigación dentro de los criterios teóricos y metodológicos son: una caracterización física del Estado de México sustentada con cartográfica e interpretación, una base teórica-metodológica respecto al sistema morfoclimático y delimitación de las regiones y unidades morfoclimáticas en la zona de estudio.

## **Justificación**

La caracterización del relieve se sustenta bajo una regionalización morfoclimática que es una delimitación relacionando dos sistemas el relieve y los agentes climáticos. Büdel (1977) define las zonas morfoclimáticas como un conjunto de modelados resultantes de la actividad de los procesos reinantes en los diferentes tipos de clima. Esta temática es para el Estado de México un tema nuevo a tratar y su importancia son con fines académico, esto porque al realizar esta investigación se establecerá para el Estado de México un nuevo criterio para caracterizar al relieve.

El Estado de México por sus cualidades en el relieve y el clima permiten realizar estudios termopluviométrico y relacionarlo con el relieve aplicando la metodología adecuada, además una escala a nivel estatal permite manejar datos estandarizados de precipitación y temperatura para la delimitación de las regiones. La importancia de esta investigación es de carácter académico aportando resultados científicos en el aspecto morfoclimático del Estado de México que servirá como base o sustento teórico-metodológico a investigaciones relacionados al tema.

El enfoque para esta investigación fue bajo los principios geográficos como la localización, relación, distribución y evolución del sistema morfoclimático. Los resultados obtenidos aportan una delimitación de regiones morfoclimáticas bajo una relación entre agentes termopluviométricos y la morfología en el Estado de México basado en la observación de la estructura del relieve actual influenciados por los climas del pasado.

## Objetivos

### Objetivo General

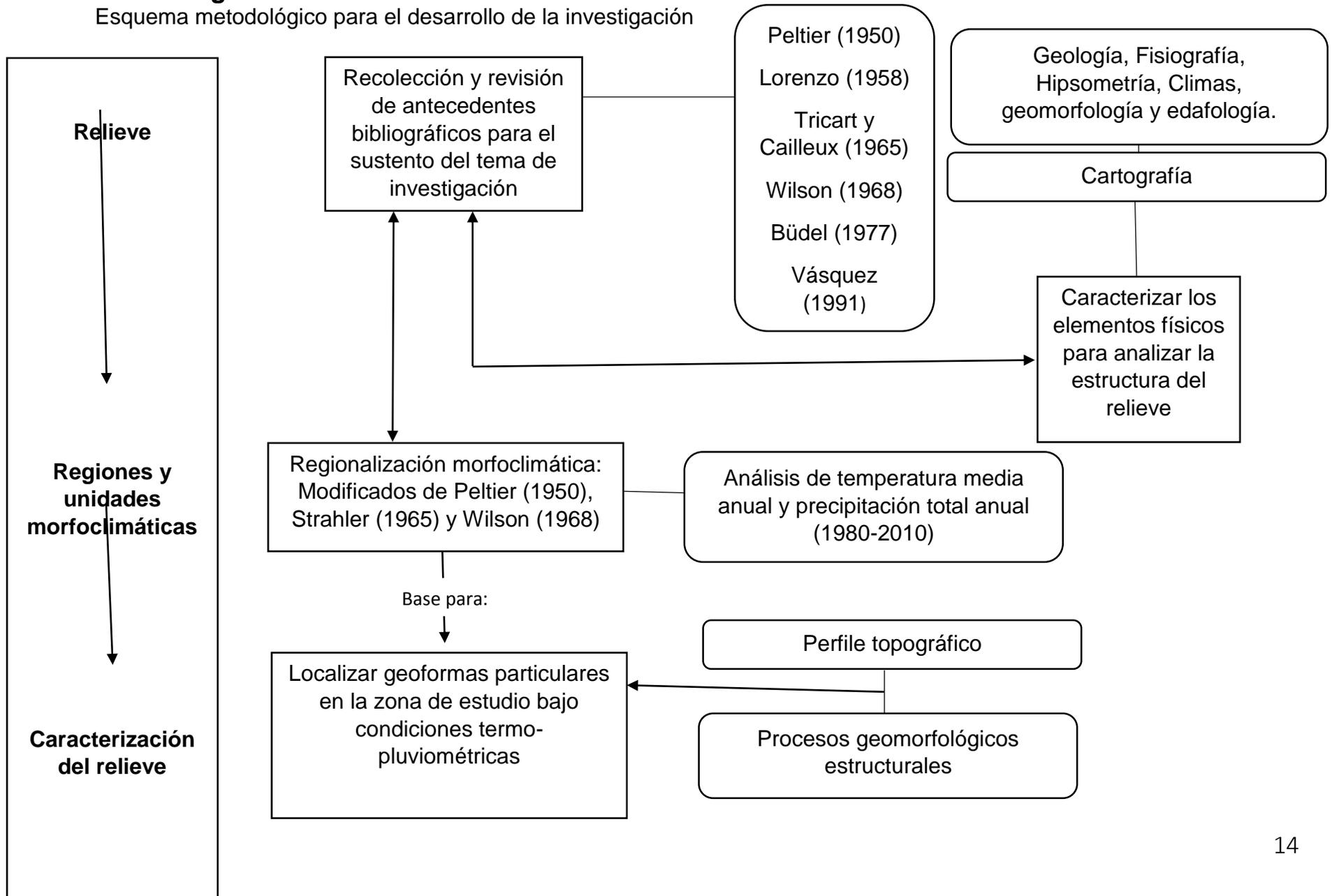
- Realizar una caracterización del relieve en el Estado de México a escala 1:250 000 mediante un análisis termo-pluviométrico para conocer la estructura y característica del relieve.

### Objetivos Específicos

- Caracterizar los elementos físicos del Estado de México para conocer su estructura y composición a través de cartografía temática.
- Clasificar las condiciones termo-pluviométricas por medio de un análisis estadístico para obtener los rangos de precipitación y temperaturas óptimas para delimitar regiones morfoclimáticas.
- Inferir por medio de perfiles topográficos los agentes erosivos - acumulativos e identificar las geoformas resultantes en el relieve por cada región Morfoclimática.
- Identificar y caracterizar las principales unidades Morfoclimáticas más influenciadas por las condiciones termo-pluviométricas en el Estado de México.

# Metodología

Esquema metodológico para el desarrollo de la investigación



La investigación de antecedentes ayudó a conocer visiones externas en que desarrollaron trabajos similares en diferentes zonas de estudios. El trabajo de gabinete se centró en analizar los aspectos del relieve de la zona de estudio realizando una caracterización de la geología, fisiografía, hipsometría, clima, geomorfología y edafología de la entidad. Al caracterizar y correlacionar los agentes físicos se obtuvo un análisis del sistema estructural del relieve del Estado de México representado en cartografía.

El análisis de las condiciones termopluviométricas se desarrolló en periodos de cinco años partiendo de 1980 al 2010, los datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGU, 2017). Los datos obtenidos pasaron por un proceso de depuración para obtener la precipitación total anual y temperatura media anual, esta información se procesó en el *Software* ArcGis 10.2 para obtener mapas de temperatura y precipitación de 1980-2010, el cual se obtuvieron 7 mapas para cada temática (temperatura y precipitación). La correlación entre los mapas de temperatura-precipitación y la metodología aplicada en la zona de estudio se obtuvieron regiones y unidades morfoclimáticas para el Estado de México.

Para las unidades morfoclimáticas que es en sí la caracterización del relieve se tomó como base las regiones morfoclimáticas del año 2010. Para la localización de estas unidades se realizó un perfil topográfico por cada región morfoclimática (semiárido, frío lluvioso y templado húmedo) para obtener la simetría del relieve y detectar geoformas particulares de cada región.

Se realizó un mapa por cada unidad morfoclimática localizada en la zona de estudio y en una tabla se caracterizó la geoforma, detectando el agente y proceso erosivo que es condicionante para modificar al relieve.

## **Antecedentes**

La caracterización del relieve en el contexto global es hablar del pasado, es decir, remontarlos a las eras geológicas donde los climas son la influencia mayor en la erosión del relieve y sobre todo responsables del modelado actual, sabiendo que a cada clima le corresponde una cobertura vegetal que lo diferencia de los sitios con otro tipo de clima y que determina la velocidad en los procesos del modelado, es decir; donde la cobertura vegetal es abundante los procesos erosivos y modelados son más lentos y viceversa con la poca cobertura vegetal.

Los trabajos que previamente se han realizado para el sustento teórico de esta investigación son:

Max Derruau (1981) indica que durante el tiempo geológico los climas han presentado múltiples cambios, de los cuales se conoce grandes glaciaciones antiguas: La glaciación eocámbrica, bastante frecuente en todo el mundo, de unos seiscientos cuarenta millones de años de antigüedad; La glaciación africana a fines del ordovícico, del cual los depósitos de morrenas funcionan como un almacén a yacimientos petrolíferos; La glaciación permocarbonífera del continente Gondwana, llamada en África austral y oriental glaciación Dwyka, y que también ha sido observada en algunos puntos de Siberia. Pero las glaciaciones que más han influenciado en las formas actuales del relieve son las cuaternarias.

Se considera a la geomorfología climática como la que identifica a los factores climáticos, tales como intensidad, frecuencia y duración de la precipitación, intensidad de la helada, dirección y fuerza del viento, y explica el desarrollo de los modelados bajo diferentes condiciones climáticas (Ahnert, 1996) (Citado en Gutiérrez, 2001).

Los trabajos retomados como antecedentes que sustenta la investigación se basaran en dos apartados, panorama nacional que tendrá una visión de trabajos en diferentes países del mundo y el panorama local donde se retomaron trabajos no precisamente de regiones morfoclimáticas, pero se consideraron por la temática y el método utilizado.

a) Panorama General

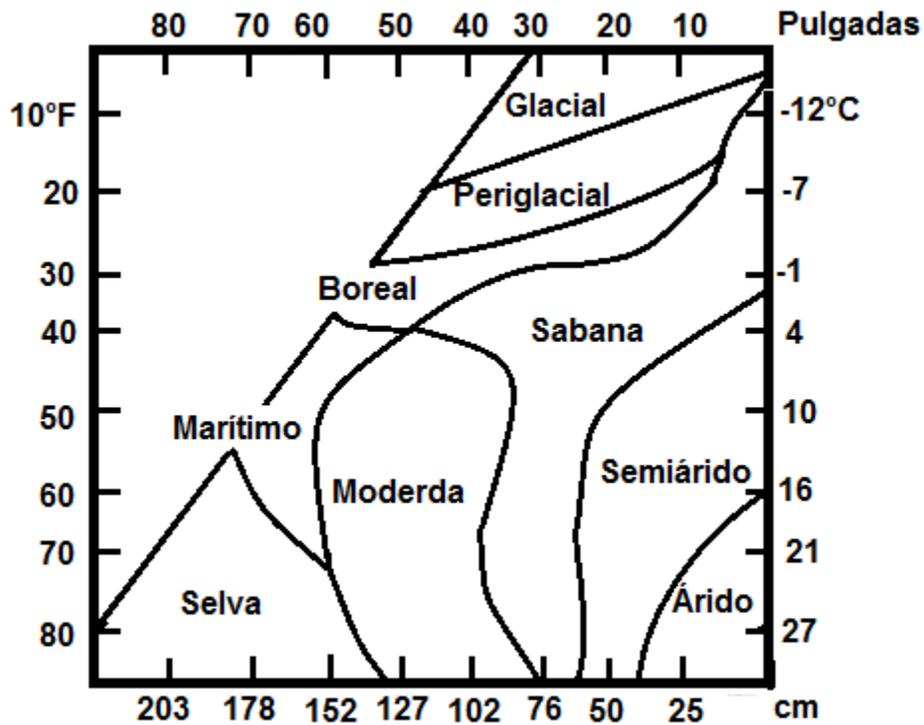
Peltier (1950), este autor realizó una relación con los agentes exógenos (precipitación y temperatura) y propone una clasificación de nueve regiones morfológicas considerando dos variables termo-pluviométricas que es la temperatura y la precipitación (Tabla 1).

Región morfológica	Temperatura media anual estimada (°C)	Precipitación media anual estimada (mm)	Características morfológicas
Glacial	-17.8 - -6.7	0 - 1,143	Erosión glacial. Acción del viento. Nivación. Fuertes movimientos en masa.
Periglacial	-15 - 1.1	127 - 1,397	Moderada a fuerte acción del viento. Débil acción en la escorrentía.
Boreal	-9.4 - 3.3	254 - 1, 524	Moderada acción de la congelación. Moderada a ligera acción del viento. Moderados efectos de la escorrentía.
Marítima	1.7 - 21.1	1,270 - 1,905	Fuerte acción de movimientos en masa. Moderada a fuerte acción de la escorrentía.
Selva	15.5 - 29.4	1,397 - 2,286	Fuerte acción de movimientos en masa. Ligeros efectos del lavado superficial. Nula acción del viento
Moderada	3.3 - 29.4	889 - 1,524	Máximos efectos de la escorrentía. Moderados movimientos en masa. Ligera acción en la congelación en las zonas más frías de la región. Insignificante acción del viento salvo en las costas
Sabana (Estepa)	-12.2 - 29.4	635 - 1,270	Débil a fuerte acción de la escorrentía. Moderada acción del viento.
Semiárido	1.7 - 29.4	254 - 635	Fuerte acción del viento. Moderada a fuerte acción de la escorrentía.
Árida	12.8 - 29.4	0 - 381	Fuerte acción del viento. Ligera acción de la escorrentía y movimientos en masa.

**Tabla 1:** Regiones morfológicas según Peltier.

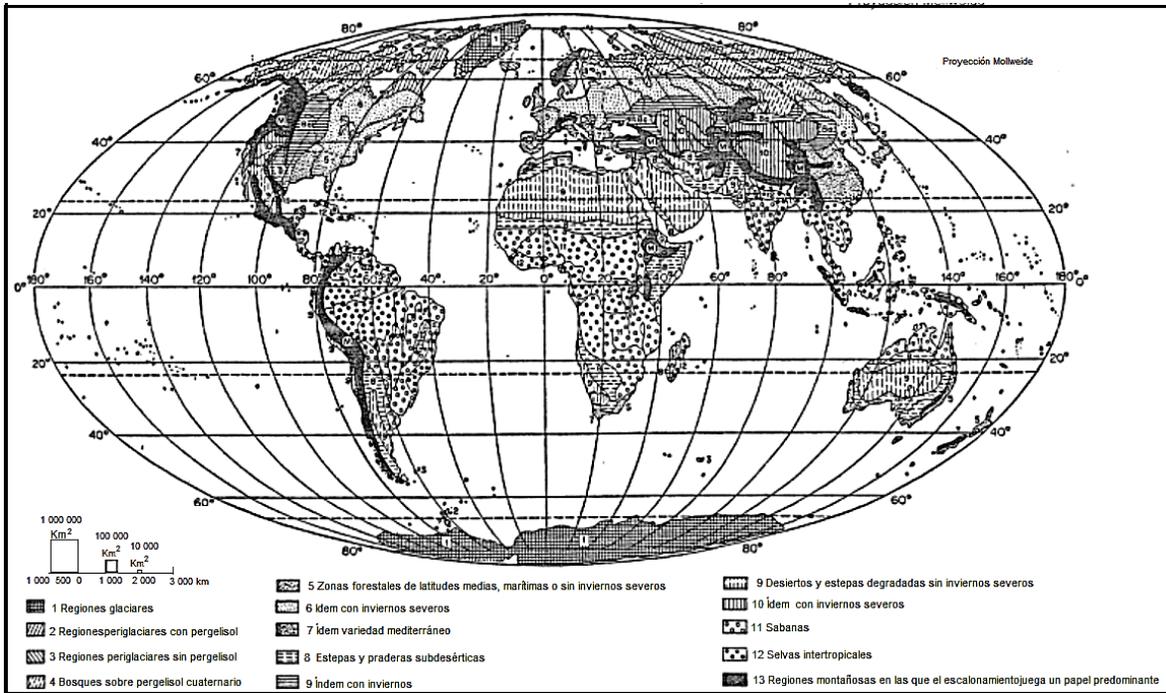
**Fuente:** Peltier (1950).

La siguiente imagen muestra las regiones morfogenéticas relacionando la temperatura y la precipitación (Peltier, 1950).



**Figura 1:** Regiones morfogenéticas en base a la temperatura y precipitación según Peltier  
**Fuente:** Peltier (1950).

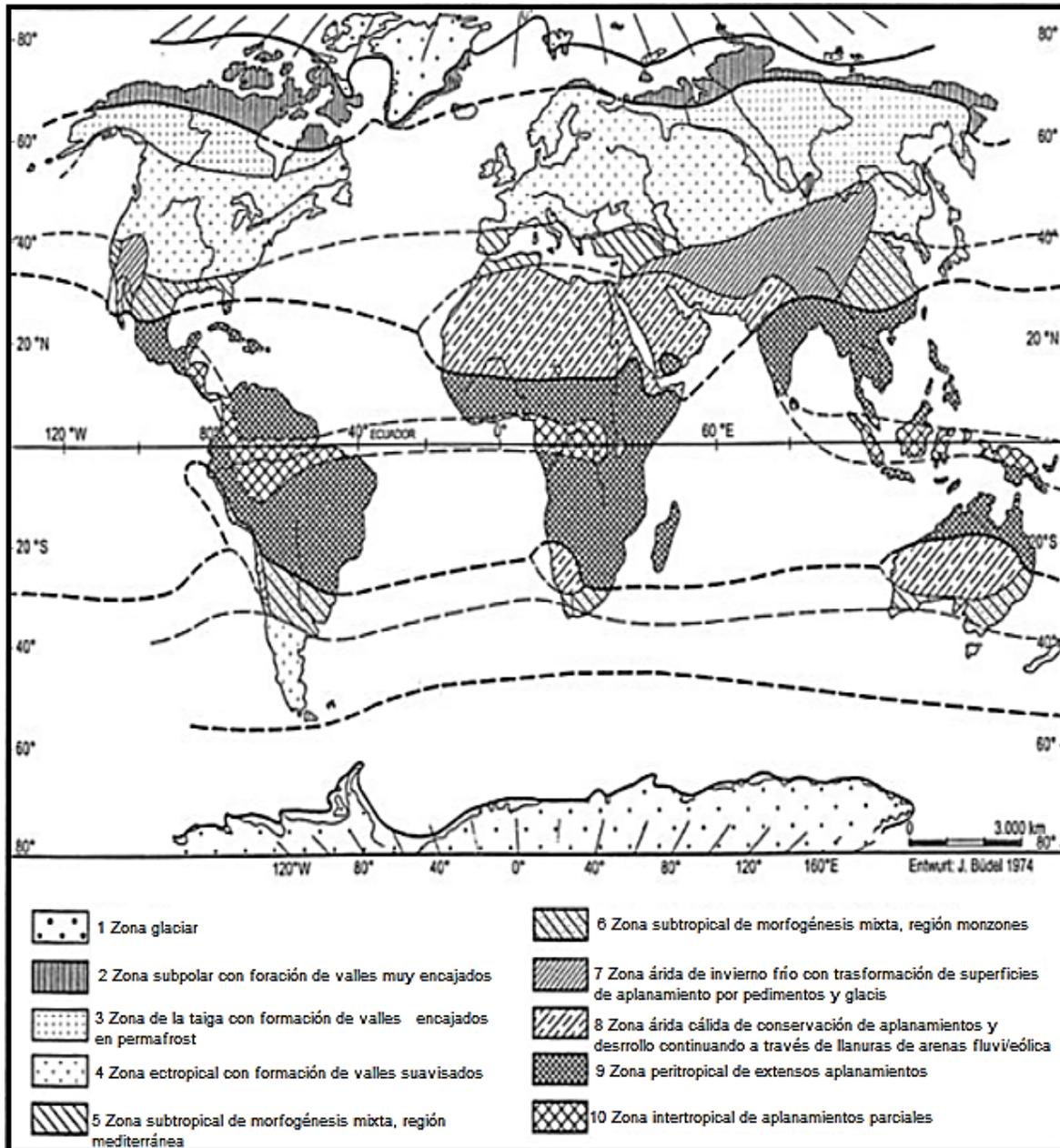
1. Tricart y Cailleux (1965) indican que, las formas resultantes del relieve son distintas y depende directamente del tipo de clima que exista en la zona, no importando que el tipo del suelo sea similar. Estos autores realizan un mapa de regiones morfoclimáticas teniendo en cuenta a la vegetación como factor primordial. En este estudio localizan cuatro zonas que son: Zona fría: Dominio glacial y dominio periglacial, zona de latitudes medias: dominio marítimo, dominio continental y dominio mediterráneo, zona árida y subárida: Estepa y desierto y zona intertropical húmeda: Sabanas y selvas. Aunado a lo anterior diferencian trece regiones morfoclimáticas en el globo terráqueo, incluyendo las áreas montañosas azonales (Figura 2).



**Figura 2:** Zonas y subzonas morfoclimáticas según Tricart y Cailleux

**Fuente:** Tricart y Cailleux (1965)

Para Büdel (1968) los agentes que conforman el clima como la temperatura y precipitación son determinantes para modelar al relieve. Büdel (1977) define las zonas morfoclimáticas como un conjunto de modelados resultantes de la actividad de los procesos reinantes en los diferentes tipos de climas, en su clasificación define 10 zonas morfoclimáticas en el globo terráqueo, la siguiente figura representa la distribución de estas zonas (Figura 3).



**Figura 3:** Zonas morfoclimáticas según Büdel  
**Fuente:** Büdel (1977)

Zona	Clima actual	Clima pasado	Procesos activos (Fósiles entre paréntesis)	Formas
1) Zona de glaciares	Glacial (frío: húmedo)	Glacial	Glaciación	Glaciares
2) Zona de formación de valles pronunciados	Polar, tundra (frío, seco, húmedo)	Glacial, polar, tundra	Procesos criogénicos, erosión en corriente, Alteración mecánica (Glaciación)	Valles en cajas. Suelos poligonales. Formas glaciares
3) Zona Extratropical de formación de valles	Continental (frío, húmedo, templado, seco)	Polar, tundra, continental	Erosión en corriente (Procesos criogénicos, Glaciación)	Valles
4) Zona Subtropical de formación de valles y pedimentos	Subtropical (seco, cálido, húmedo)	Subtropical, continental	Formación de pedimentos (Acción de corrientes)	Superficies de aplanamiento y valles
5) Zona Tropical de formación de superficies de aplanamiento	Tropical (caliente, húmedo, húmedo-seco)	Subtropical, Tropical	Aplanamiento. Meteorización química	Superficies de aplanamiento y lateritas

**Tabla 2:** Zonas morfoclimáticas según Büdel.  
**Fuente:** Wilson (1968)

Los con los criterios de J. Büdel, describe la zona climática y en ella el tipo de clima predominante y el clima pasado a nivel mundial, también señala los procesos activos y las formas resultantes del relieve (Tabla 2).

Tricart (1981) indica dos formas para estudiar la influencia del clima sobre el relieve, en esto el autor indica que este estudio se basa en efectos directos e indirectos teniendo como agente modelador “el clima”:

La influencia directa del clima a partir de dos enfoques que son a) cualitativo: basado principalmente en las formas cómo incide el hielo, y b) cuantitativo: cuantifica las características relacionada con la intensidad del hielo, viento y la actividad de la escorrentía.

Dentro de la influencia indirecta del clima, la vegetación es la que actúa de forma variable sobre el sustrato según el clima. Esta influencia perjudica primeramente a los suelos que durante el tiempo van cambiando o evolucionando en función del clima, sustrato y vegetación. También afecta al régimen y condiciones hídricas, que dependen de la vegetación, sustrato litológico, clima y el suelo.

Para la definición de las regiones morfoclimáticas se cuenta con los rangos de temperatura media anual y precipitación total anual que se muestra en la tabla siguiente (Modificado por Peltier, 1950; Strahler, 1965; y Wilson, 1968).

Región morfoclimática	T. Media Anual (°C)	Pp. (mm) Anual	Procesos geomorfológicos
Glacial	< -3°C	50 – 1 143	Erosión Glacial. Acción del viento. Nivación. Fuertes movimientos en masa.
Periglacial	-15 – 3.3	50 – 1 250	Ligera a fuerte acción del viento. Débil o moderada acción de la escorrentía. Moderada acción de la congelación.
Árido	23 – 32	0 – 381	Fuerte Acción del viento. Ligera acción de la escorrentía y movimientos en masa.
Semiárido	15 – 32	50 – 1 524	Moderada a fuerte acción del viento y de la escorrentía. Débil o moderada acción de movimientos en masa.
Templado Húmedo	1.5 – 27	635 – 1950	Moderada a fuerte acción en movimientos en masa. Moderada acción de la escorrentía. Débil acción del viento.
Moderada Marítima	10 – 21.1	>1 700	Fuerte acción en movimientos en masa. Máximos efectos de la escorrentía. Nula acción del viento.
Selva	>16	>1 500	Fuerte acción en movimientos en masa. Ligero lavado superficial. Nula acción del viento
Fría-Lluviosa	1.5 – 10 °C	>1 250	Fuertes efectos de la escorrentía. Moderados movimientos en masa. Ligera acción de la congelación y salvo en las costas del viento.

**Tabla 3:** Regiones morfoclimáticas modificados de Modificado por Peltier; Strahler y Wilson

**Fuente:** Modificado por Peltier, 1950; Strahler, 1965; y Wilson, 1968).

## b) Panorama nacional

Lorenzo (1958) encontró que en el Pico de Orizaba o Citlaltépetl (Cerro de la Estrella) cuatro glaciares, cuya superficie total era de 9.5 kilómetros cuadrados considerada el área glaciada más grande del país, aunque sus dimensiones se han reducido en los últimos tiempos. En el Iztaccíhuatl, Vázquez (1991), contó doce glaciares con un área aproximada de 1.2 km<sup>2</sup>. En la actualidad se observa que varios de esos glaciares se han extinguido. Para 1982, los glaciares llamados "del cuello", "oeste-noroeste", "suroriental" y de "San Agustín" reportados por Lorenzo ya habían desaparecido. Durante este reconocimiento 8 glaciares fueron desapareciendo, lo que representa una pérdida de casi 0.2 kilómetros cuadrados (16% del total), de área glaciada en el periodo comprendido entre 1958 y 1982.

Vázquez (1991), en su reseña "Glaciaciones del cuaternario tardío en el volcán Téyotl, Sierra Nevada", indica que desde el inicio del siglo XX se ha encontrado en el centro de México evidencia de periodos fríos que corresponden al cuaternario localizados en los grandes edificios volcánicos, que son las únicas elevaciones con suficiente altitud para compensar las glaciaciones y permitir la existencia de climas fríos y masas de hielo permanentes. Entre los edificios volcánicos con estas cualidades se encuentra: Pico de Orizaba (5 675m), Popocatépetl (5 452 m), e Iztaccíhuatl (5 286), expone resultado de manera general sobre fenómenos glaciares y periglaciales asociados del pasado en el volcán Téyotl, ubicado dentro del complejo volcánico de Iztaccíhuatl, la investigación tiene como objetivo establecer la consecuencia glacial del volcán Téyotl y confrontarlas con las del Iztaccíhuatl y otras montañas del centro de México para obtener puntos comunes y diferencia en los sistemas montañosos. El trabajo se basó en evidencias geomorfológicas y estratigráficas, se utilizó un análisis de fotografías aéreas a escala 1: 50 000 y se finalizó con un trabajo de campo.

Los glaciares son vulnerables a los cambios climáticos, su zona de ablación y la posición de la línea de equilibrio se expanden o contrae para restablecer un equilibrio entre la acumulación y la ablación. Un cambio climático podría provocar una disminución en la tasa de precipitación de la nieve y esto a su vez un cambio

en el balance de la masa, que ocasionaría que el glaciar retrocediera haciéndose más delgado, la superficie disminuiría y el área de acumulación se haría más pequeña (Delgado, 1996).

## **Marco teórico – conceptual**

La región para la ciencia geográfica se ha convertido en un tema de comparación entre pensadores geográficos y definirla se ha convertido en una compleja decisión según el uso en el que se someta. Lopes de Sousa (2013) Indica que el valor del conocimiento que se recibirá de las regiones estará estricta y estrechamente ligado a la temática a tratar.

La investigación contiene un sustento teórico-metodológico con base a la ciencia geográfica, las teorías y corrientes están ligadas al área natural especialmente a la escuela francesa de Vidal de La Blache y sus discípulos, la escuela alemana con Alfred Hettner a la cabeza y otros países europeos, y por los EE.UU.

La corriente posibilista

Esta corriente surge de la escuela francesa de Paul Vidal de la Blache en el siglo XX y considerada como la Geografía Regional cuyos ideales se basaban en la existencia del a priori de las regiones geográficas. La región se convirtió en la base central de la geografía Vidaliana, ya que la geografía definiría las bases para la identificación de las regiones de la superficie terrestre.

La corriente posibilista se dividía en Geografía general y la Geografía regional, el enfoque corológico sería la base para la Geografía Regional que se basaba en la unión de los fenómenos físicos con los fenómenos humanos que interactuaban en el espacio geográfico (Capel, 1981).

Dentro de la geografía racionalista en estudio de la región con sus autores principales que fueron Alfred Hettner (1859-1941) y Richard Harsthorne (1899-1992). Es considerada también como una ciencia corológica y un objeto geográfico por excelencia. Hettner se basó en la tradición geográfica alemana desarrollada a partir de la propuesta de región natural y el concepto de paisaje (Mateo y Bollo, 2016).

Dentro de la geografía regional resalta el trabajo elaborado por Harsthorne que tenía como objetivo central a la región y que está que consistía en la identificación de unidades geográficas conocidas como “unidad-área” y con ello sintetizar sus

características y explicar las relaciones entre el hombre y la naturaleza como un conjunto interactivo en el espacio (Gasca, 2009).

Es de importancia mencionar que la geografía francesa desarrollada en la primera mitad del siglo XX por Emmanuel De Martonne (1873-1955) fue influenciada por las escuelas alemanas, principalmente por, Carl Ritter (1879-1859), Frederich Ratzel (1844-1904) y Ernst Haeckel (1834-1919), también recibió influencia de escuelas americanas con William Morris Davis (1850-1934) como principal aportador. Durante la primera mitad del siglo XX la geografía física francesa rueda en torno de Emmanuel de Martonne y su énfasis principal que es la geomorfología con la influencia americana con Morris Davis con la aportación del ciclo erosivo (Galochet, 2009). Es por lo anterior que la geografía francesa se enfoca a una visión física en especial a la geomorfología por influencias externas.

## Región

La región tiene importancia no solo teórica sino práctica como una disciplina científica y gubernamental, el uso de la región se caracteriza por una aglomeración de la homogeneidad de los entes en el espacio, esta homogeneidad puede ser visible y percibido por el hombre o puede ser lo contrario. Existen regiones económicas, regiones políticas, regiones físicas, regiones climáticas, regiones religiosas entre otros. Lo que lo define como región es la igualdad de características y su dinamismo que tengan entre los subsistemas que lo conforma.

En el posibilismo, el concepto de región se basa en una compleja interpretación de las nociones de medio, género de vida y paisaje. Y se define a la región-paisaje, que se basa en un referente espacial de ocurrencia de un mismo paisaje geográfico, que es la consecuencia de la transformación antrópica en un determinado espacio y que tiene definida una morfología única (Mateo y Bollo, 2016).

## Teoría general de Sistema (TGS)

Los estudios geográficos y geomorfológicos, así como todos aquellos que se aplican de la derivación de estas disciplinas se soporta sobre una base sistémica y holística de la realidad, considerándose la configuración de éstas por unidades ordenadas en una estructura jerárquica (Espinosa, 2001).

Un sistema según Van Gigh (1987) es un conjunto de elementos relacionados conectado de una forma organizada, las partes o subsistemas que conforman al sistema tienden a cambiar espacialmente si es alterada por agentes externos.

Un método científico adecuado para tratar problemas ambientales, sociales y físicos es la Teoría General de Sistema, dado que aborda el problema mediante subsistemas para generar un sistema complejo.

La Teoría General de Sistema (TGS) fue propuesta en 1949 por el Alemán Carl Troll, quien indicó que el mundo y sus componentes forman parte de un todo, en el cual después de la Segunda Guerra Mundial se opta por la investigación exhaustivas en el estudio del paisaje fundamentado en la división natural del espacio desarrollada mediante una regionalización físico-geográfica, donde lo primordial parte de la identificación e interpretación del espacio geográfico compuestos por diferentes sistemas que se relacionan entre sí, y estas mismas se dividen en subsistemas subordinados y con ello una permanente existencia entre flujo de materia, energía e información (Espinosa, 2009).

La TGS indica que las partes o variables dependientes estarán ligadas al todo o a la variable independiente, por ejemplo, la geomorfología es la variable dependiente en comparación al clima que es la variable independiente, dado a que las variables del clima como la temperatura y precipitación modificara al relieve según la intensidad y duración de estas actué sobre la superficie terrestre. La combinación de estos subsistemas dará un todo que son las regiones morfoclimáticas.

A continuación, se representa por medio de un cuadro los autores más sobresalientes en cuanto a las TGS.

Teoría General de Sistema	
Autor	Propuestas básicas
Smuts, 1926	Establece la Teoría del Holismo afirmando que “el todo es más que la suma de sus partes”, y conceptualiza la organización jerarquía de la naturaleza
Troll, 1949	Establece la Teoría General de Sistemas
Koestler, 1968	Define al sistema como un complejo organizacional multinivelado, estratificado, y con patrón de ramificaciones, que divide los sistemas en subsistemas, los cuales a su vez se ramifican en subsistemas de orden inferior.
Simón, 1969	Desde un punto de vista de las ciencias sociales, establece que un sistema es concebido como un número de partes que interactúan en una forma no obvia: en los cuales el entero es más que la suma de las partes en sentido pragmático dada las propiedades de las partes y las leyes de su interacción.
Charley y Keneddy, 1971.	Define al sistema como un conjunto estructurado de objetivos y/o atributos donde los objetivos designados o variables se encuentran de tal modo relacionados entre sí que actúen en conjunto como un complejo.
Feibleman, 1971	Establece la necesidad de conocer de forma cualitativa y cuantitativa la relación entre los elementos generadores de una estructura dada; cobrando así vigencia la “Ley de los niveles de integración”.
Lazlo, 1972	Asegura que en épocas antiguas del pensamiento se buscaba ya un enfoque holístico; sin embargo, en la actualidad se busca superar la posición atomista.
Van Gigh, 1981	Define al sistema como un conjunto de elementos animados en los cuales existen procesos de conversión que generan cambios en el estado y arreglo de los componentes.
Mateo, 1984	Considera al sistema como un conjunto de elementos que integran un espacio determinado y que se encuentran relacionados entre sí en diferentes niveles de integración.
Bertalanfy, 1989	Establece que el sistema puede ser definido como un complejo de elementos interactuantes que se relacionan entre sí de acuerdo con tres grandes grupos de variables como los son el número de elementos constituyentes, las especies involucradas y las relaciones entre los elementos: manifiesta que resulta importante considerarlos en un proceso de evolución, la cual se entiende como un cambio progresivo de la complejidad.
King, 1990	Los sistemas generan condiciones de ajuste conocidas como <i>feedback</i> o interacción.
Etter, 1991	Los sistemas nos permiten entender el espacio en términos de hechos y eventos dentro del contexto de un todo

**Tabla 4:** Concepción de los sistemas y características generales

**Fuente:** Espinosa (2001)

La TGS desde la perspectiva del análisis territorial y de los atributos que éste posee, genera la concepción de los “Geosistemas”, es decir, la aplicación del punto de vista holístico en estudios geográficos. Cabe destacar que dentro del marco geosistémico, uno de los elementos más importantes que se considera, se refiere a los tipos cronológicos; donde, el tiempo es el factor primordial en los cuales se

advierte los cambios en el sistema sean estos temporales o permanentes, primarios o secundarios (Espinosas, 2001).

Los antecedentes de una visión sistémica dentro de la Geografía al siglo XIX con Alejandro Von Humboldt, naturalista alemán quien a partir de sus observaciones y los cuestionamientos acerca de los movimientos cíclicos de la naturaleza en diferentes proporciones del tiempo y del espacio, propuso sistematizar el método de estudio de la Geografía en 1874, bajo una visión que trataba de describir el paisaje y explicar de manera sencilla los nexos entre dos o más elementos que lo contribuyen (Peña,1984).

El enfoque sistemático ha tenido una definición y centralidad diferente, esto gracias a que los pensadores de las diferentes escuelas tienen diferentes perspectivas acerca de lo que es un sistema, pero todos concuerdan que las partes de un problema o situación ya sea físico o social forman un todo, y que esas partes se estudian por separado para entender el problema y resolverlo.

De acuerdo con Palacio (1995), el estudio geosistémico debe tener un carácter integral que permita entender la relación entre el hombre y los elementos del medio natural, así como su expresión espacial en el territorio. Los estudios geosistémicos permite reconocer la relación entre los sistemas naturales, no importando si la escala es local, regional, nacional o planetarios, llegando a diferenciar a cada uno de los componentes ambientales del sistema.

Ludwig Von Bertalanffy en su obra Teoría General de Sistemas en 1968 pone en manifiesto las metas principales de la TGS:

- a) Tendencia general hacia la integración en las varias ciencias, naturales y sociales.
- b) Tal integración parece girar en torno a una teoría general de los sistemas.
- c) Tal teoría pudiera ser un recurso importante para buscar una teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia.
- d) Al elaborar principios unificadores que corren verticalmente por el universo de las ciencias, esta teoría nos acerca a la meta de la unidad de la ciencia.

- e) Esto puede conducir a una integración, que hace mucha falta, en la construcción científica.

Al estudiar las regiones morfoclimáticas bajo una concepción sistémica permitirá separar y estudiar por separado las variables como la temperatura, la precipitación y la geomorfología (solo por mencionar los más importantes) y obtener un resultado holístico para obtener las regiones uniendo los resultados de las variables.

Evolución del paisaje

(Modelos de Análisis Geomorfológico)

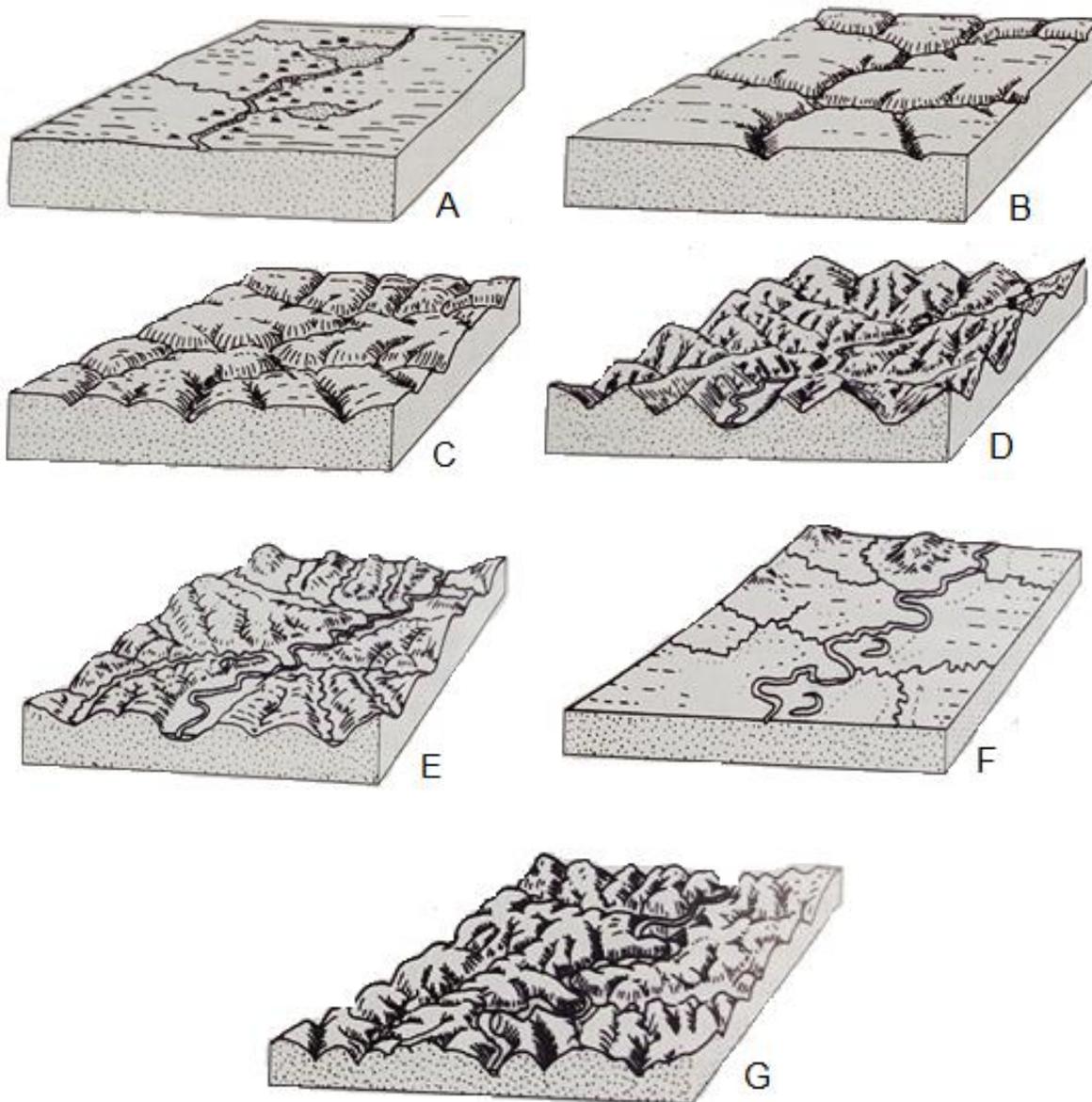
El sistema morfoclimático tiene dos variables que son la geomorfología del paisaje y el clima como factor transformante, estos dos a su vez forman un sistema complejo que para entenderlo es necesario aplicar un modelo inductivo desde las variables más pequeñas o su antecedente más antiguo hasta la variable más compleja de la temática a tratar.

La evolución del paisaje tiende a explicar la forma en que el relieve ha sido transformado en un periodo de tiempo determinado y con factores externos e internos responsables a su transformación, los autores más destacados sobre el tema son; David, King y Penck todos estos en la primera mitad del siglo XX, los dos primeros coinciden que el modelado y transformación del paisaje es causa del clima, mientras que Penck tiende a responsabilizar los factores endógenos como el tectonismo más que a los climáticos.

William Morris Davis (1850-1934)

Como fundador del Ciclo Erosivo, este parte de un relieve aplanado que sufre un brusco levantamiento y es sometida a una erosión prolongada bajo condiciones de estabilidad cortical. El relieve inicial pasa por etapas de características desiguales, los cuales denomino; Juventud, Madures y Senectud. El resultado final es la formación de una penillanura con algunos relieves residuales destacado sobre ella que corresponde al relieve inicial aplanado y si a lo largo del tiempo se produce un levantamiento tiende a iniciar un nuevo ciclo (Gutiérrez, 2001).

Davis en su teoría “Ciclo erosivo” explica que el relieve se modifica durante un periodo de tiempo determinado (Figura 4), estando expuestos a factores externos que provocan la erosión, partiendo de una planicie y que por medio de un proceso de erosión se levanta rápidamente según la intensidad y duración del proceso en que era sometida.



**Figura 4:** Ciclo erosivo según Davis.

**Fuente:** Gutiérrez (2001).

En la figura anterior se aprecia el ciclo erosivo según Davis. Donde indica las etapas dicha evolución. Donde, A: referido al estado inicial del relieve donde se aprecia una llanura sin alteración por procesos erosivos. B y C: Etapa de Juventud donde el relieve presenta procesos de erosión constante. D y E: Etapa de Madurez en el cual el relieve y el agente exógeno llega a una etapa neutral en la erosión. F: Senectud, en esta etapa se desarrolla una penillanura. G: Levantamiento y comienzo de un nuevo ciclo erosivo. (Dibujado por Raisz en Strahler, 1965 y reformada).

Walther Penck (1888-1923)

El modelo geomorfológico de Penck, inicia con un relieve que se levantaba y erosionaba, de modo que se iba desarrollando otras superficies, encajadas unas en otras, dando lugar a un escalonamiento de piedemonte. Cada escalón formado actúa como un nivel base local independiente. Lo que diferencia este modelo al de Davis, es que, Penck indicaba que el relieve estaba determinado por la velocidad de levantamiento (fuerzas endógenas), a la que oponía la erosión fluvial (fuerzas exógenas). Cuando el levantamiento menguaba, la erosión fluvial dominaba y se desarrollaba finalmente una superficie aplanada terminal (Gutiérrez, 2001).

Penck indica que el ciclo puede volver a repetirse siempre y cuando los factores externos tengan la suficiente fuerza, duración e intensidad para erosionar el relieve y formar una planicie, los factores endógenos como elemento principal de la teoría tendrá la tarea de elevar el terreno y con ello permitir que el ciclo siga funcionando sin interrupciones.

Lester Charles King (1907)

King por su parte basándose en las ideas de Davis y Penck, estableciendo principalmente a un modelo cíclico retomando el modelo de Davis.

El autor comienza su teoría partiendo de un diastrofismo rápido seguido de un largo periodo de calma tectónica, durante el cual se generan extensos pedimentos, que su desarrollo final acaba en una penillanura. Si con posterioridad tiene un nuevo

levantamiento, da comienzo a un nuevo ciclo en el que la pedillanura precedente sigue desarrollándose (Gutiérrez, 2001).

Estos tres modelos (Davis, Penk y King) son las que actualmente son referentes en cuanto a la evolución del relieve. Las de Davis y King teniendo como referencia a los factores climáticos como actor principal en una evolución del relieve cíclica, mientras que Penk describe una disputa entre la velocidad de levantamiento en los factores endógenos contra la intensidad y duración de erosión de los factores los exógenos.

## Climas del pasado

A lo largo del tiempo el clima ha sido modificado por diferentes fenómenos físicos como el vulcanismo y astronómicos como la caída de meteoritos, que son grandes fenómenos que permiten que el clima se modifique en un lapso corto. Es por ello por lo que las condiciones climáticas serán diferentes en cada región del mundo, dado que a cada clima le corresponde un tipo de relieve y cobertura vegetal peculiar. Por ejemplo, en climas áridos la cobertura vegetal será aparente o nula lo que ocasionara que los torrentes erosionen al suelo de una forma muy accidentada, lo contrario al clima tropical donde la cobertura vegetal es abundante y los procesos de erosión son lentos. Lugares donde el clima es frío las condiciones térmicas permitirá que el hielo sea el factor primordial en la erosión, en las zonas periglaciares el hielo actuara de forma diferente de una polar, dado que el congelamiento y descongelamiento permitirá la erosión por medio de la crioclastia.

A continuación, se presenta la descripción de los climas pasados

Durante los tiempos geológicos los climas han cambiado. Se conocen grandes glaciaciones antiguas: La glaciación Eocámbrica, bastante frecuente en todo el mundo, de unos seiscientos cuarenta millones de años de antigüedad; La glaciación africana de fines del Ordovícico permitió la acumulación de morrenas que funcionaron como rocas tipo almacén para yacimientos petrolíferos; La glaciación Permocarbonífera del continente Gondwana, llamada en África austral y oriental glaciación de Dwyka, y que también ha sido observada en algunos puntos de Siberia. Pero las glaciaciones que más han influido en las formas actuales del relieve son las Cuaternaria (Derruau, 1981).

Como se menciona en el párrafo anterior, el tipo de clima predominante desde la formación del planeta tierra tiende hacer un clima frío, donde los glaciares tienen el protagonismo en el modelado del relieve. Aunque el tipo de clima en el mundo predominaba las glaciaciones, la variabilidad en las etapas geológicas permitió que hubiese otro tipo de climas en distintas partes del mundo.

Si se toma como ejemplo Europa occidental se ve que nunca ha poseído un clima como el actual. Tropical durante el secundario y primera mitad del terciario, paso a cálido, pero no tropical (En general del tipo de la China meridional, aunque con intervalos más esteparios) durante la segunda mitad del terciario, para pasar luego durante el cuaternario a las alternancias de glaciaciones e interglaciaciones. Durante los interglaciales, la temperatura media no era más elevada que la actual, aceptándose por término medio, como máximo dos grados de elevación en los periodos más cálidos. El cuaternario como la era más actual en el mundo, se le hará referencia a las diversas etapas climáticas y su influencia en el relieve actual. Los estudios de sedimentología indican más de veinte periodos fríos para el cuaternario, ocho de los cuales corresponden a los últimos 425.000 años. Se señala otro periodo frio hace unos 30. 000 años (Derruau, 1981). A continuación, se presenta la tabla 5 con las eras geológicas y su relación con los acontecimientos geológicos descritos en la obra de Derruau en 1881.

Tiempo geológico y sus acontecimientos geomorfológicos			
Era (millones de años)	Sistema	Edad absoluta. (millones de años)	Grandes acontecimientos morfológicos
Cuaternario 1.8	Villa franquicie superior Pleistoceno	1.8 0.7	Enfriamiento del clima en las zonas actualmente templadas
	Posglacial u Holoceno	10 000 años	Glaciaciones e interglaciaciones
Terciario 65	Eogeno	Eoceno	65
		Oligoceno	40
	Neogeno	Mioceno	25
		Plioceno	6.5
Secundario 225	Triásico	225	Penillanura pretiásica
	Jurásico	190	
	Cretácico	135	Plegamientos andinos
Primario 570	Cámbrico	570	Colonización de los continentes por parte de la vegetación.
	Ordovícico	550	
	Silúrico	440	
	Devónico	395	Plegamientos caledonianos Gran Bretaña (correlativos de la cordillera caledoniana) Plegamientos Hercinianos
	Carbonífero	345	
	Pérmico	280	Depósitos rojos de las cuencas pérmicas (correlativos de la destrucción de los últimos relieves hercinianos)
Precámbrico 5.000	Arcaico		Plegamientos cadonianos del macizo Armoricano
	Algónkico	1, 000	

	Infra-cámbrico	700	
--	----------------	-----	--

**Tabla 5:** Acontecimientos morfológicos con relación a las edades geológicas  
**Fuente:** Derruau (1981).

La tabla anterior representa el tiempo geológico desde la fundación de la tierra y diversos procesos morfológicos sobresaliente, pero es necesario describir un poco más los acontecimientos en puntos específicos del tiempo geológico. A continuación, se describirá lo que es la paleoclimatología según Uriate (2010).

Para entender la influencia del clima como proceso constante del pasado se debe remontar a la paleoclimatología, que se considera como una ciencia que estudia los climas del pasado, Uriarte (2010) realiza una descripción de la historia de los climas de la tierra, el cual describe el tipo de clima que había en cada etapa de la tierra y las características que presentaban cada paleoclima sobre el ambiente.

### Glaciación del Ordovícico:

Huellas de esta glaciación del Ordovícico son visibles hoy en la superficie del Sáhara. Hay constancia geológica de que el desierto estuvo cubierto entonces por un espeso manto de hielo de más de 8 millones de km<sup>2</sup> de superficie. En terrenos ordovícicos, desde el macizo de Hoggar hasta las costas atlánticas de Mauritania, aparecen aún hoy huellas de largos surcos y ranuras como las que dejan los glaciares al avanzar y erosionar el lecho rocoso. Se encuentran también al pie del macizo de Hoggar típicos valles glaciares en forma de U, rocas pulimentadas y drumlins —colinas bajas de formas alargadas— que son características de un relieve formado por una antigua erosión glacial.

### Silúrico, Devónico y Carbonífero: un clima cálido y húmedo

Después del episodio glacial del Ordovícico de hace 450 millones de años, las temperaturas se elevaron de nuevo y se mantuvieron cálidas durante el Silúrico, el Devónico y casi todo el Carbonífero, hasta hace unos 300 millones de años. El calor, la humedad y una atmósfera rica en dióxido de carbono facilitaron el desarrollo evolutivo y la colonización de los continentes por parte de la vegetación.

## Glaciación de final del Carbonífero:

Hacia finales del Carbonífero y principios del Pérmico el clima se enfrió y se entró en un nuevo período glacial, en el que un manto de hielo en las latitudes australes de Gondwana, en lo que es hoy Sudáfrica, creció y se encogió en diversas fases sucesivas. Por ese motivo el nivel del mar bajó y subió repetidamente, provocando gigantescas transgresiones y regresiones marinas durante toda esa época final del Paleozoico.

## Jurásico y Cretácico:

La progresiva ruptura de Pangea, que comenzó a final del Triásico, provocó un clima global más húmedo durante todo el Jurásico (desde hace 208 millones de años hasta hace 146 millones de años).

## Glaciaciones cuaternarias:

El Cuaternario abarca dos períodos de duración muy desigual: el Pleistoceno, desde hace 2.5 millones de años hasta hace sólo 11.500 años, y el Holoceno, desde hace 11.500 años hasta hoy. Lo que caracteriza a las glaciaciones del Cuaternario es la formación durante su transcurso de dos enormes mantos de hielo en las tierras continentales del norte de América y de Europa, añadidos a los que ya existían de forma más o menos permanente y desde mucho antes sobre la Antártida y Groenlandia.

Al estudiar por separado la variable “Geomorfología” que es la evolución del relieve, y también estudiar por separado la variable “clima” que es la interpretación de los climas pasados, es momento de relacionarlos para formar un sistema que es la geomorfología climática y con ello obtener un fundamento para las regiones morfoclimáticas.

## Geomorfología Climática

Los estudios de la geomorfología climática (relación entre el clima y el relieve modelado) se remontan desde el primer cuarto del siglo XX, destacando los trabajos

de Sauer (1925), Peltien (1950), Cholley (1950), Cotton (1958), Büdel (1963), Miller (1964), Strahler (1965), Wilson (1968), de Martonne (1973) y Tricart y Cailleux (1965). Sin embargo, no es un tema muy tratado en la comunidad española, los que podemos mencionar los trabajos de Gutiérrez Elorza y Vidal (1978), Pedraza (1978) o Matarredona (1987).

En 1925, Sauer define “Zona Morfoclimática”, para hacer referencia a una zona con clima homogéneo, que ha desarrollado un paisaje característico anulando los rasgos primarios o geognósticos impuesto por la litología y estructura tectónica, en similitud con los compuestos genéticos que se aplican a los suelos (De Pedraza, 1996). Es por ello por lo que el clima como factor transformante modifica al relieve, en ausencia de inestabilidad estructural.

No obstante, si es posible encontrar relación entre el clima actual y proceso, partiendo de dos consideraciones fundamentales según Martínez y Senciales (2003):

- a) Determinados procesos están estrechamente ligados a un tipo de clima en particular que otros.
- b) Los procesos más afectados por el clima poseen variabilidad y diferencias en escala temporal; es decir, a modo de ejemplo, el tiempo necesario para actuar los procesos glaciares es mucho mayor que necesitan los procesos eólicos.

Wilson (1968) indica que es conveniente profundizar en el concepto de región, o “sistema morfogenético”, entendida como una visión conceptual por la cual un geomorfólogo puede relacionar el clima, proceso, paisaje y regiones, para dar paso a una relación menos idealizada en la que se valore el sistema “Clima-proceso y forma” desde un punto de vista más cuantitativo y preciso.

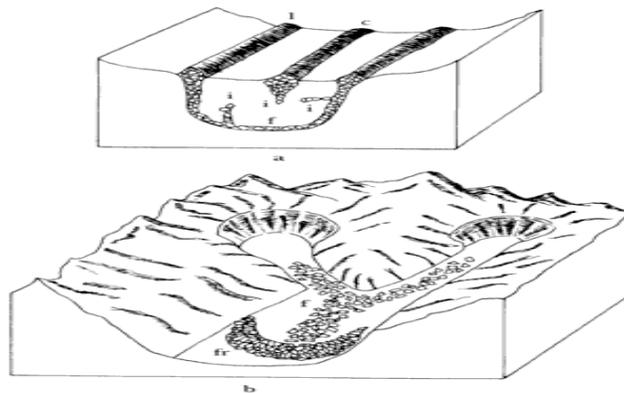
A continuación, se describe los procesos de transformación del relieve con referencia al tipo de clima que prevalece:

## Geomorfología de las zonas glaciares

El cuaternario como la etapa geológica más reciente para la temática glacial, que comenzó a desarrollarse fundamentalmente en el Terciario superior. La geomorfología es aplicada al sistema glacial estudiando los procesos glaciares y el modelado resultante de la actuación de las masas de hielo, así como su evolución. La acción erosiva del glaciar se manifiesta en la interfase hielo-roca. El movimiento de la masa de hielo afecta a las rocas frescas y poco diaclasadas, el poder erosivo será nulo o muy pequeño, aunque si el material del fondo es suelto puede modificar sustancialmente su morfología (Gutiérrez, 2001).

Salinas (1989) indica que en las zonas glaciares existe el predominio de intemperismo físico y los procesos que modifican al relieve en condiciones frías son: geliturbación, soliflucción, geliflucción, fluvioglaciares y en menor medida la acción del viento. Estos procesos son los que condicionan al relieve para dar origen a su forma estructural.

Los mayores efectos erosivos tienen lugar bajo la acción de potentes glaciares templados, en los que se produce el arranque de fragmentos del lecho glacial que son movilizados y transportados a un lugar más o menos lejano, pudiendo en su transporte realizar efectos erosivos sobre el material rocoso. La morfología peculiar del relieve glacial es; Valles en forma de U, Circos, Horns, Drumlins, Eskers, entre otros.



**Figura 5:** Valle en forma de "U"

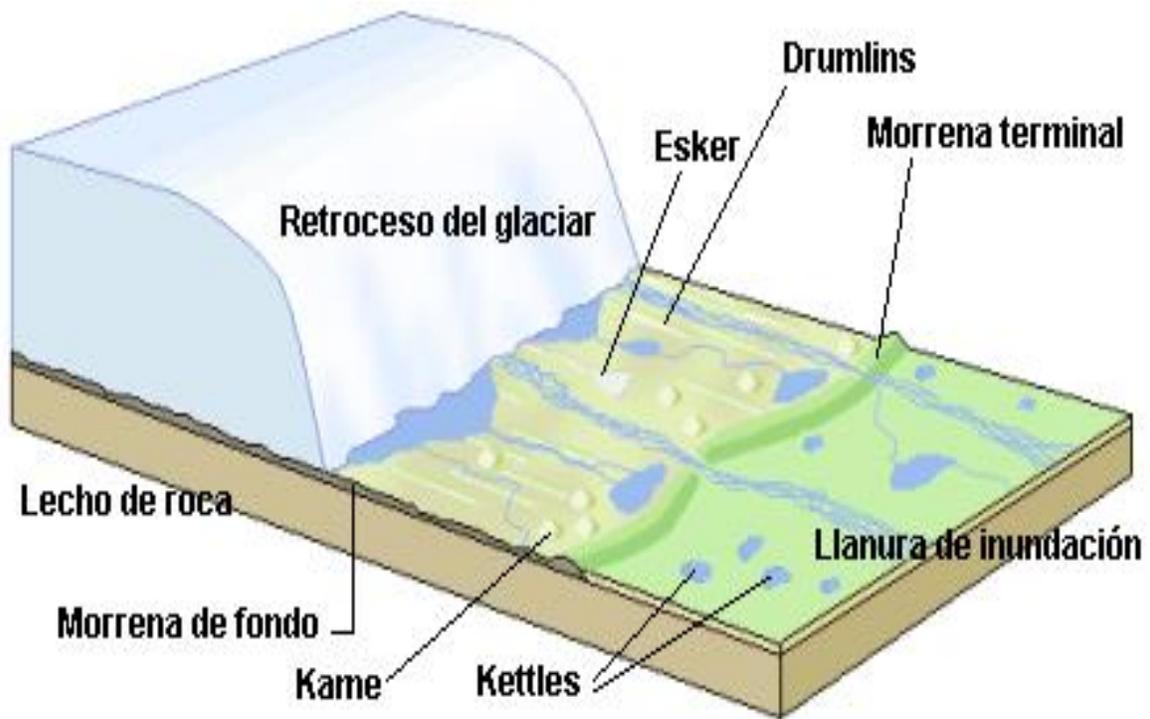


Figura 6: Geoformas por movimiento glaciario.

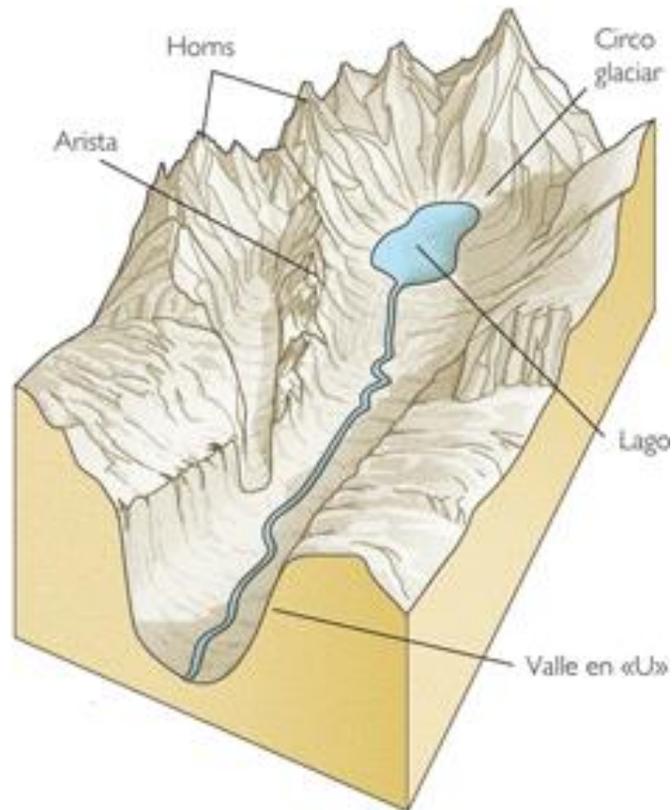


Figura 7: Formas resultantes por procesos glaciares

## Geomorfología de las zonas periglaciares

Se trata de las condiciones climáticas y geomorfológicas de las zonas periféricas de casquetes de hielo pleistocenos. Este término se asigna para referirse a procesos y características del clima frío. Los ambientes periglaciares se caracterizan por un predominio de los ciclos de hielo y deshielo del terreno y por la existencia de un permafrost o terreno perennemente helado (Gutiérrez, 2001).

El agrietamiento de las rocas en esta zona climática se produce por contracción térmica al disminuir la temperatura de los suelos, y con el descenso de la temperatura se generan fisuras o grietas, al momento de que el agua filtra la roca y se congela la roca se expande, cuando el rayo del sol afecta a la roca elevando su temperatura esta se contrae produciendo fisuras o diaclasas en las rocas. La morfología típica del ambiente glacial es; suelos ordenados, suelos estriados, colinas con núcleo de hielo, palsas (Colinas desarrolladas en lugares pantanosos), pingos (colinas de forma cónica), conos de derrubios.

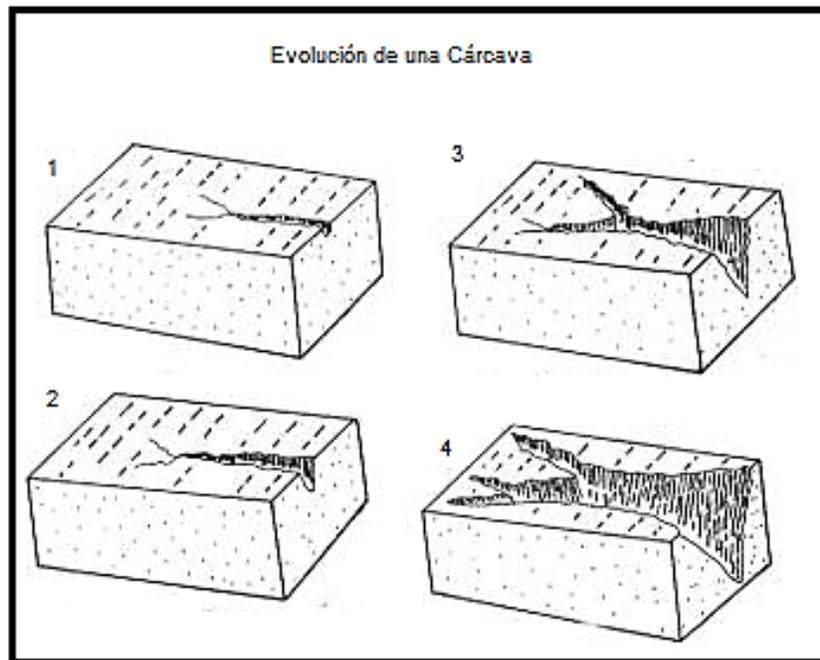
## Geomorfología de las zonas áridas

Las zonas áridas son conocidas por una baja o escasa precipitación y por ello la cobertura vegetal es aparentemente nula.

Salinas (1989) menciona que la erosión eólica tiene el predominio en esta zona para modificar al relieve y considera el ciclo de denudación continental en un clima árido propuesto por Strahler 1975 para caracterizar el relieve. Dicho ciclo indica que el relieve pasa por un estado inicial (A) con una morfología de dos paredes en cadenas montañosas separadas por una depresión, estado de madurez (B) donde las cuencas se encuentran ocupadas por material aluvial y las montañas están separadas por cañones y picos, en la etapa de vejez (C) lo único que queda de las montañas son residuos rocosos cediendo el paso a una penillanura que puede estar situado sobre el nivel del mar.

El tipo de erosión más abundante que modifica al relieve es el eólico, donde las ráfagas de viento por medio de las partículas transportadas erosionan a la masa rocosa, lo accidentado de la erosión dependerá del tamaño de partícula

transportada y la velocidad que esta lleve. Otro factor importante en la erosión es la pluvial, aunque son escasos los casos de precipitación en una zona árida, cuando esta ocurre son de gran intensidad y con poca duración, dando paso a un tipo de erosión fluvial por medio de la escorrentía obteniendo geoformas acumulativas y erosivas. La morfología peculiar de las zonas áridas es: Laderas acarcavadas, rocas tipo hongo, abanicos aluviales, Arcos, valles, ripples , entre otros (Gutiérrez, 2001).



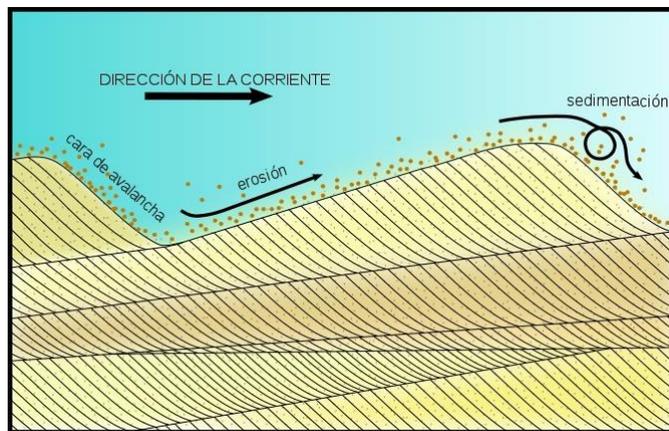
**Figura 8:** Evolución de una Cárcavas



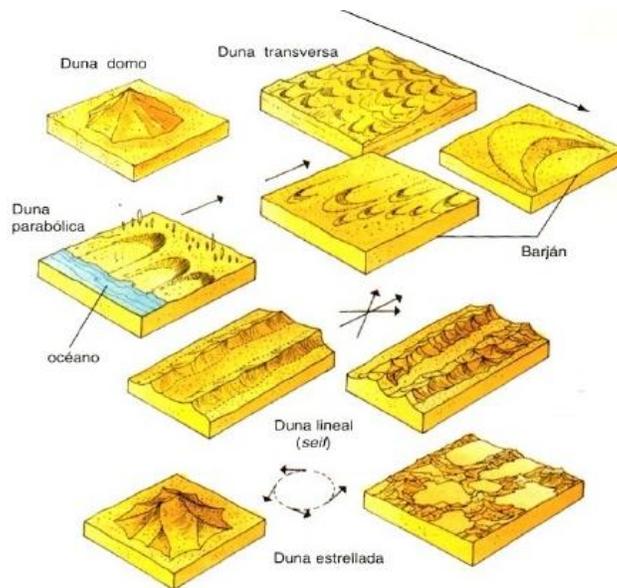
**Figura 9:** Rocas tipo hongo



**Figura 10:** Arcos



**Figura 11:** Formación de Ripples



**Figura 12:** Tipos de Dunas

## Geomorfología de las zonas tropicales

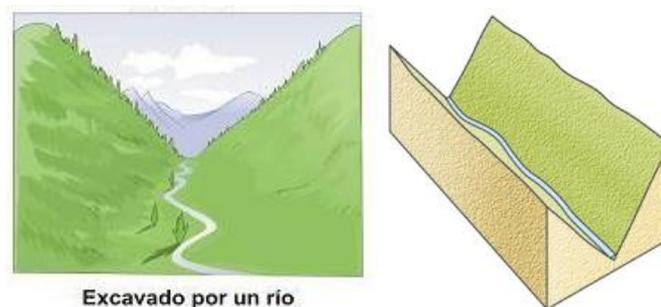
Las zonas tropicales en general se caracterizan por una precipitación continua y con ello una cobertura vegetal abundante (este depende directamente de la duración de la precipitación), lo que hace que el grado de erosión del relieve sean muy lento. Las características del relieve en esta zona dependen de su cobertura vegetal y de su abundancia.

Los procesos geomorfológicos dominantes en los trópicos húmedos son la intensa meteorización química, los movimientos de masa y la erosión fluvial, siendo estas mucho más importante en los climas húmedos y secos (Wilson, 1968).

Tricart y Cailleux (1965) diferencian una zona intertropical con temperaturas cálidas y un flujo fluvial firme. Esto lo genera en función a la distribución de las precipitaciones, de su total por año y de la densidad de la cobertura vegetal subdivide la zona en:

- a) Dominio de sabana: Con precipitaciones bajas y una cobertura vegetal menos densa.
- b) Dominio de selvas: Característica de una densa cobertura vegetal y mayores precipitaciones donde las acciones químicas y bioquímicas alcanzan su mayor intensidad.

Las geoformas resultantes son los barrancos, las cascadas, cataratas, llanuras de inundación, meandros, abanico aluvial, modelados kársticos, cavernas, entre otros.



**Figura 13:** Valles en "V"

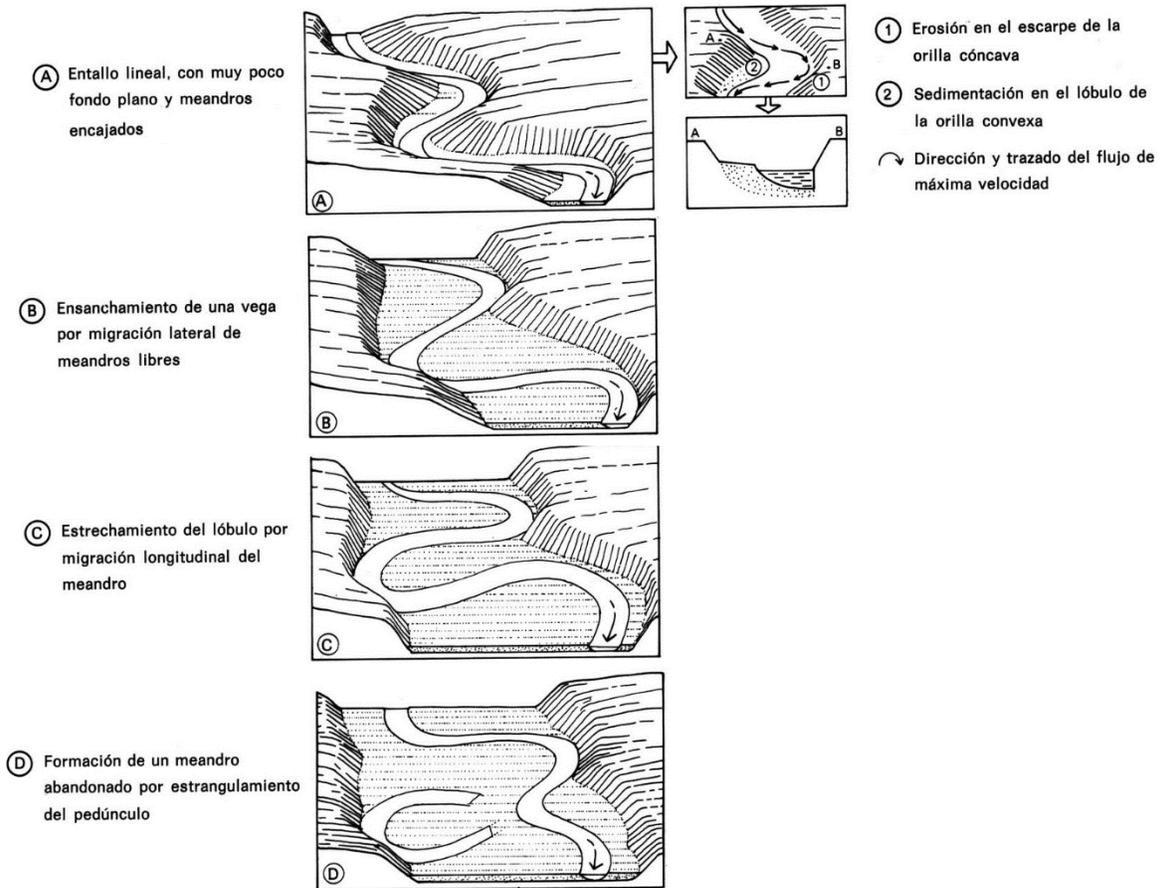


Figura 14: Sinuosidad de los meandros

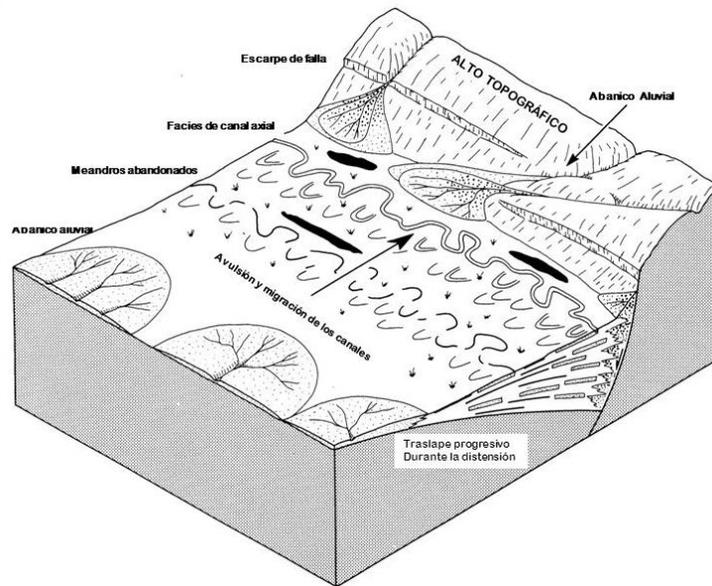
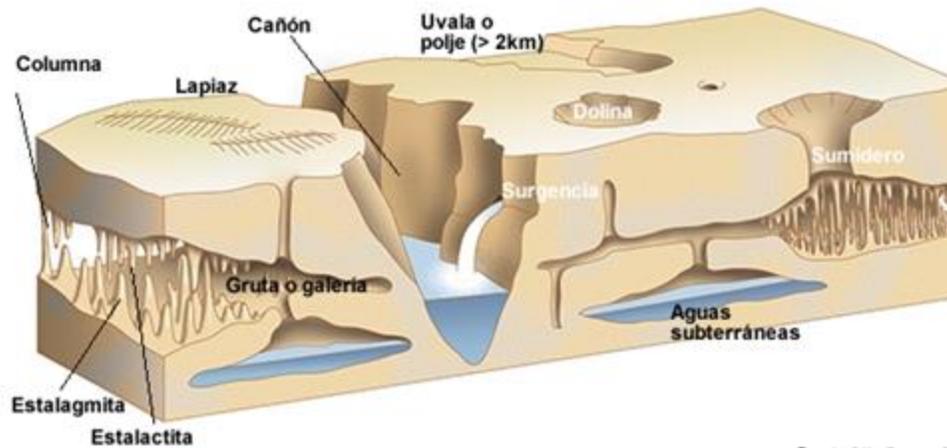


Figura 15: Abanico aluvial



**Figura 16:** Modelado kárstico

## Geomorfología de las zonas templadas-húmedas

También denominada dominio forestal de latitud media, comprende las áreas caracterizadas por un nivel moderado de régimen térmico, por una pluviosidad media o alta regularmente distribuida (Muños, 1992).

El sistema morfogenético de esta zona se caracteriza por la preparación del material, procesos de meteorización mecánica y disolución junto con alteración química. Los dominios morfológicos de estas zonas son; vertientes cubiertas de derrubios finos por la reptación, valles, llanuras aluviales de media dimensión, lomas y vaguadas (depresión entre dos zonas altas) (Muños, 1992).



**Figura 17:** Llanuras aluviales



**Figura 18:** Deltas

Los diferentes tipos de modelados en el relieve dependerán de la intensidad y duración en el que el agente exógeno (hielo, agua, viento) actué sobre ellos. Todos los párrafos anteriores indagan en como los agentes exógenos actúan sobre el relieve, en cada zona varía el tipo de proceso de modificación al relieve.

Una vez entendido el modo sistémico del proceso de la geomorfología climática es necesario seleccionar adecuadamente los parámetros de valoración climática y contar con amplia información acerca de los mismos, así como tener en cuenta la variabilidad y estacionalidad del clima o climas que estén analizando; Por ejemplo, se sabe que la acción de la congelación es más intensa bajo un régimen de hielo-deshielo diurno que, bajo un régimen de congelación continua, incluso a muy bajas temperaturas (Martínez y Senciales., 2003).

## Marco Conceptual

Una regionalización morfoclimática se caracteriza por buscar homogeneidad en el relieve y la influencia que recibe del clima. El marco teórico describirá conceptos relacionados al sistema morfoclimático, por ejemplo, se describirá la definición de los conceptos, así mismo, sus características relacionadas con el tema de investigación.

Las variables por tratar en este apartado son: geomorfología, climatología, geología, edafología y vegetación, y sobre todo se hablará de la concepción morfoclimática que es el tema principal de la investigación. Primero que nada, se identificara las variables utilizadas para cada disciplina ordenada por el nivel de importancia.

<b>Variables Independientes</b>	<b>Variables dependientes</b>
Geomorfología	Hipsometría Pendiente Disección Hidrología Erosión
Climatología	Paleoclimas Tipo de climas Meteorología Precipitación Temperatura Humedad
Geología	Tipo de roca Edad Fallas Fracturas
Edafología	Tipo de suelo Textura

**Tabla 6:** Variables utilizadas para el desarrollo de la investigación

**Fuente:** Elaboración propia.

## Geología

El tema “Geología” se caracteriza por relacionar el pasado con el presente, tener una relación en las cronologías de los tiempos y sobre todo reconocer los hechos sobresalientes que hubo en el tiempo geológico del pasado y fueron las causantes del relieve actual, sabiendo que estos tiempos se datan a millones de años y se dividen en eras geológicas, periodo o sistema, serie y edad. Es por ello que la geología general estudia la composición y constitución de la corteza terrestre, los fenómenos que en ésta suceden y las leyes químicas y físicas por las que se rigen todo para conocer la historia de la tierra y de la vida (Brinkmann, 1994).

### Periodo geológico

El hablar de ciclos o periodos geológicos es remontar a procesos pasados, por ejemplo, la edad de las rocas, los factores endógenos como el movimiento de las placas tectónicas y el vulcanismo, las especies extintas y las especies que lograron una adaptación y evolución en los procesos de cambio en el planeta, y para esto los geólogos utilizan la datación relativa para medir dichos procesos.

La datación relativa significa que las rocas se colocan en su secuencia de formación adecuada: caracterizando cual roca se forma primero, cual segundo en una cronología según el tipo de roca depositado. La datación relativa como tal no indica la fecha exacta de un acontecimiento, solo nos indica los sucesos que sucedieron antes y después de uno (Tarbuck y Lutgens, 2005).

La figura 19 explica un conjunto de fenómenos geológicos señalando que cada ciclo estrechamente relacionado con otro ciclo y que suceden sin interrupciones en la continua evolución geológica. A cada orogénesis tiene por consiguiente otra orogénesis; a cada morfogénesis, otra morfogénesis; la importancia de estos ciclos ha variado con el tiempo, por ejemplo, los ciclos orogénicos y sedimentario han ido creciendo en intensidad en comparación a los ciclos magmáticos y metamórfico que van en declive (Candel y Fernández, 1972).

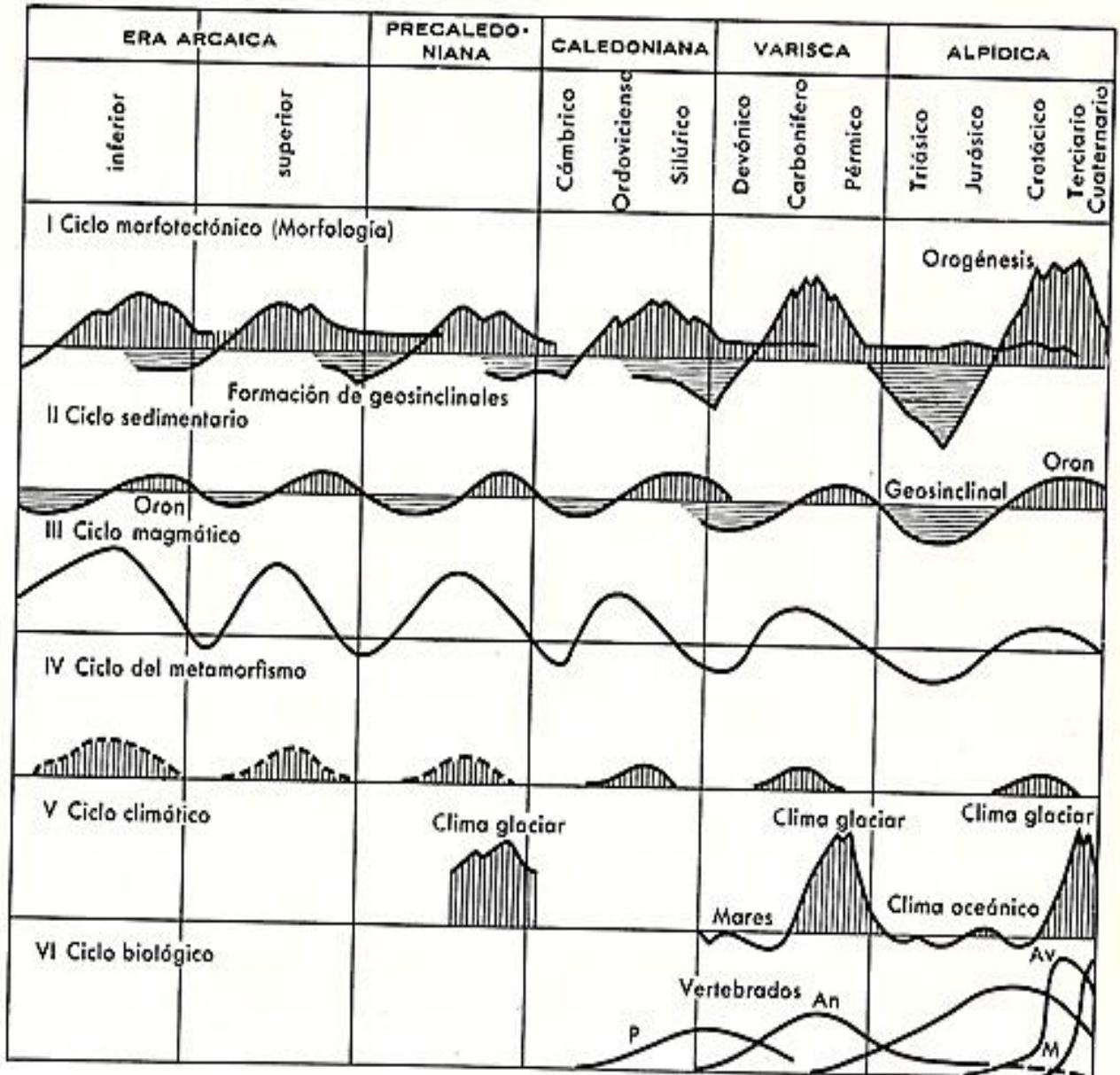


Figura 19: Ciclos geológicos

Fuente: Candel y Fernández (1972).

La transición entre eras geológicas está basada en acontecimientos catastróficos como por ejemplo cambios climáticos, extinción de especies animales, el movimiento de los continentes entre otros. En la figura anterior se marcan VI ciclos de los cuales desde que se formó la tierra los eventos tectovolcánicos han estado presentes y son los causantes de la formación del relieve, por su parte el ciclo

climático ha intervenido en tres eras glaciales según el autor, en el precámbrico, pérmico y el último y del que se tiene más registros en el cuaternario.

### *Edad*

El estudio del origen de las rocas o de la tierra incluye muchos procesos geológicos, es por ello por lo que se usa la datación dado a que dicho proceso se encarga de determinar la cronología de los eventos pasados y darle una sucesión de diferente temporalidad para cada evento. Es por ello que la datación relativa y absoluta ayudaran a entender estos tipos de procesos y su cronología, pero principalmente la datación absoluta dado a que podemos obtener la edad actual de las rocas.

### Datación relativa

El orden relativo de los sucesos geológicos puede establecerse en la mayor parte de los casos aplicando alguno de los siguientes principios que propone Aznar (2016):

- 1) El principio de horizontalidad establece que las rocas sedimentarias son depositadas en capas casi horizontales. Cada desviación de la horizontal indica algún movimiento o deformación posterior.
- 2) El principio de superposición (Steno, 1669) establece que, en una sucesión vertical de rocas sedimentarias, la capa del fondo es la más antigua, y sucesivamente hacia arriba son más jóvenes.
- 3) El principio de continuidad lateral se basa en dos capas separadas por la erosión o discontinuidades, pero limitadas por la misma capa en la base (muro) y en el techo suelen tener la misma edad y composición.
- 4) El principio de las relaciones de corte (Hutton, 1788): Los hechos como fallas, intrusiones ígneas, metamorfismo o superficies erosivas que cortan deben ser más jóvenes que las capas atravesadas.
- 5) El principio de inclusión: Las rocas o fragmentos que están dentro de una capa de roca, deben ser más viejos que la que los incluye.

6) Ley de Walther o de la sucesión de las facies: La sucesión de facies en la horizontal es la misma que se encuentra en la vertical.

La datación absoluta

Aunque las edades relativas pueden ser establecidas a nivel local, los sucesos reflejados en rocas de diferentes localidades sólo pueden ser integrados a nivel regional o global si la cronología puede ser firmemente establecida. El tiempo desde que ciertos minerales han sido formados puede determinarse gracias a pequeñas cantidades de átomos radioactivos en su estructura.

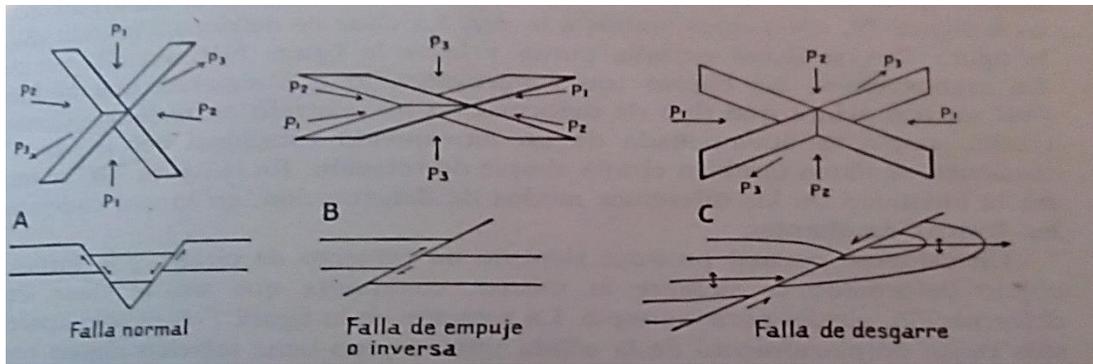
El uso de fósiles para la datación relativa tiene unos 300 años de antigüedad. La radioactividad no fue descubierta hasta finales del s. XIX, y no fue usada extensamente para datar unidades de rocas hasta 1950. Los métodos de medida de isótopos todavía siguen refinándose y métodos de baja contaminación química han sido desarrollados (Aznar, 2016).

*Fracturas*

Estas pueden tener su origen en fallas o diaclasas, ambas liberan energía de presión por encima del límite de las rocas, pero con la diferencia de que en las fallas hay desplazamiento importante de una masa con respecto a la otra y en las diaclasas no (Duque, 2016). Si hay desplazamiento paralelo al plano de rotura se considera que es falla, si el desplazamiento es perpendicular al plano de rotura se debe a diaclasa.

*Fallas*

La siguiente figura indica los tres tipos de fallas que rigen a un relieve tectónico y son; planos de cizallas cuyo ángulo agudo está cortado por el esfuerzo principal mayor y son paralelos al esfuerzo principal medio. Cuando éste está en el plano horizontal, tendremos planos de empuje, si el esfuerzo mayor está también en el mismo plano, o fallas normales, si dicho esfuerzo es vertical. Cuando el esfuerzo medio es vertical se obtiene una falla de desgarre (Sitter, 1976).



**Figura 20:** Origen de las fallas  
**Fuente:** Sitter (1976).

## Climatología

Dentro del estudio morfoclimático, el clima es un factor primordial, ya que sus agentes termopluviométricos serán los que modifique al relieve dependiendo de su intensidad, duración y frecuencia. En el diccionario Geomorfológico de José Lugo el clima se define como: *“El estado más frecuente de la atmosfera en un lugar determinado de la superficie terrestre”*. La concepción de un clima se establece por el análisis y síntesis de datos obtenidos de las observaciones meteorológicas durante varios años. Los elementos del clima varían espacialmente y de una estación a otra por los factores climáticos: latitud, altitud, relieve, distribución de tierras y aguas y corrientes marinas. En función de la escala considerada para la superficie terrestre, se reconoce macroclimas, mesoclimas y microclimas. El clima se clasifica por rasgos determinados, como la temperatura media del aire y la suma de precipitaciones pluviales, de acuerdo con Köppen (1918); por la relación entre la precipitación y la evaporación que condicionan los procesos formadores del relieve, según Penk (1910), (Citados en el Diccionario Geomorfológico de Lugo 2011).

### *Tipo de clima*

El sistema de climatología más utilizado en el mundo es el de Köppen, según este autor, en la superficie terrestre se reconoce cinco grandes zonas climáticas, estas son; A, B, C, D y E. Cada una de esas zonas tiene características especiales de temperatura y humedad.

La zona A es de clima tropical lluvioso y se caracteriza por tener una temperatura media anual superior a 18 grados centígrados en todos los meses del año y la

precipitación media anual es superior a 750 milímetros. La zona B es de clima seco y corresponde a regiones en las que la evaporación excede a la lluvia. La zona C es de clima templado húmedo y se caracteriza por tener una temperatura media del mes más cálido es superior a 18 grados centígrados, y la temperatura media del mes más frío es superior a 0 grados centígrados. La zona D es de clima frío o boreal y se caracteriza por tener una temperatura media del mes más cálido es superior a 10 grados centígrados y la temperatura media del mes más frío es inferior a 0 grados centígrados. La zona E de clima polar y se caracteriza por tener una temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 grados centígrados y la temperatura del mes más frío es inferior a 0 grados centígrados (Köppen, 1948).

De los climas descritos anteriormente, se subdivide en cuestiones más específicas.

Zona climática	Tipos	Símbolo
A	1) Selva de bosque lluvioso. Con lluvias todo el año.	Af
	2) Bosque de lluvia monzónico. Con intensa lluvia en verano.	Am
	3) Sabana. Seco en invierno y con lluvia en verano.	Aw
B	4) Estepario. Con escasa lluvias todas las estaciones.	BS
	5) Desértico. Con muy escasa lluvia en todas las estaciones.	BW
C	6) Templado con invierno seco y lluvia monzónica en verano.	Cw
	7) Templado con verano seco y lluvia en invierno.	Cs
	8) Templado con lluvia todo el año. Es de bosque.	Cf
D	9) Frío o boreal con lluvia todo el año. Es de bosque.	Df
	10) Frío o boreal con invierno seco y lluvia monzónica en verano.	Dw
E	11) Tundra	ET
	12) Hielo perpetuo	EF
	13) Alta montaña	EB

**Tabla 7:** Tipo y características de los climas.

**Fuente:** A. Vivó (1987)

## Hidrología

La hidrología tiene su enfoque en el estudio del agua, así como su circulación y distribución en la superficie terrestre. Lo que implica que en cualquier zona climática exista una circulación del agua en sus diferentes estados (líquido, sólido o gas) modificando al relieve según su intensidad.

El tema del ciclo del agua conlleva a hablar de un balance hídrico. Si se considera la cuenca de un río (unidad hidrogeográfica y geomorfológica básica para los estudios de hidrología) y se considera también un periodo de tiempo, es factible estimar el agua que entra y sale en el ciclo a través de dicha superficie y durante ese lapso (Maderey, 2005).

El proceso de transpiración tiene un auge en relación con la hidrología, está estrechamente ligada con el poder evaporante de la atmósfera, y por tanto, de la temperatura, de la humedad y de la velocidad del viento. También influye la humedad del suelo. La medición de la transpiración se realiza por los mismos métodos que la evaporación desde el suelo. Lo que lo hace diferente es que, en lugar de trabajar con suelos sin vegetación, se trabaja con suelos que tengan una cubierta vegetal (Maderey, 2005).

Chow (1994) define a escurrimiento como una parte de la precipitación caracteriza las corrientes fluviales superficiales, perennes e intermitentes que regresan al mar y a los cuerpos de agua que se encuentran al interior del continente. Dicho de otra manera, este tipo de movimiento superficial del agua no es afectado por procesos antrópicos.

### *Precipitación*

En sentido meteorológico, precipitación es la caída de partículas de agua, en estado sólido o líquido, al suelo, a donde llega con una velocidad apreciable. Por tanto, los productos de la precipitación caen a través del aire, al contrario de los de la condensación y sublimación atmosféricas “nubes” que flotan en él. Pero aun descendiendo, las partículas acuosas que constituyen las nubes, por su pequeño

tamaño y débil velocidad, no alcanzan el suelo evaporándose cuando están descendiendo (Martín, 1999).

### *Humedad*

Se refiere en general al contenido de vapor de agua suspendido en la atmosfera y es el único que se puede encontrar en sus tres estados; gas, líquido y sólido, se divide en dos, humedad relativa y absoluta.

Humedad absoluta, es la cantidad de masa de vapor de agua contenida en una unidad de volumen de aire, se mide en gramos por metro cubico, por tanto, la humedad absoluta constituye la densidad del vapor de agua existente en el aire. Por el contrario, la humedad relativa, es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. La humedad relativa indica que tan cerca está el aire de la saturación, más que decir la cantidad real de vapor de agua en el aire. Se mide en porcentaje entre 0 y 100, donde el 0 significa aire seco y 100% aire saturado de humedad. (Inzunza, 2006)

### *Temperatura*

Es una condición que determina la trasmisión del calor de un cuerpo a otro; del más caliente al más frío. Por lo tanto, es un término de comparación, y para marcar la temperatura de un cuerpo es necesario referirse a una escala arbitrariamente. La temperatura se mide con los termómetros (García, 1986).

### *Viento*

Es una masa de aire que circula dentro del planeta tierra. Las explicaciones de que el viento fluye de las zonas con altas presiones a lugares con presiones más bajas y compensan las diferencias de presión sólo puede aplicarse de forma estricta a corrientes locales. Asimismo, el viento no solo circula en horizontal. Existen corrientes verticales considerables como, por ejemplo, los vientos ascendentes durante una tormenta. Junto a las diferencias de temperatura entre las masas de aire, que provocan diferencias de presión por todas partes, actúan otras fuerzas que desvían las corrientes de aire:

- La rotación del planeta tierra.
- Fuerza de fricción que se forman en la superficie terrestre.

Cabe mencionar que la fuerza de los vientos se mide en metros por segundo o en nudos que es relativamente igual a millas marinas por hora (D. Günter, 2003).

## Geomorfología

Etimológicamente, la Palabra Geomorfología es de origen griego asignando a Geo (tierra), *Morphos* (forma) y *logos* (tratado o estudio), por lo tanto, la Geomorfología se ocupa del estudio de las diferentes formas que tiene la tierra o la superficie terrestre.

El relieve en la superficie terrestre es resultado de dos factores, los endógenos y los exógenos, el primero basado generalmente por fuerzas tectónicas y por el vulcanismo que son en sí las creadoras del relieve, el segundo caracterizado por modelar al relieve en diferentes escalas, los agentes modeladores pueden ser el agua, el viento y el hielo. Los exógenos tienen tres procesos que son la erosión, el transporte de partículas y la acumulación de estas. Para este estudio se enfocará más a los procesos exógenos dado que se describirá cómo el clima modeló el relieve actual.

Los procesos exógenos en la superficie terrestre continuamente van desgastando a la roca o al suelo y desplazando los derrubios a zonas de menor elevación. Estos últimos procesos son: **meteorización**: Fragmentación física (desintegración) y alteración química (descomposición) de las rocas de la superficie terrestre, o cerca de ella. **Procesos gravitacionales**: Transferencia de roca y suelo pendiente abajo por influencia de la gravedad. **Erosión**: Eliminación física de material por agentes dinámicos como el agua, el viento y el hielo (Tarbuck y Lutgens, 2005).

La tabla 8 muestra procesos y características geomorfológicas en el relieve.

Sistema	Agente y Proceso	Características	Formas resultantes	
			Erosivo	Acumulativo
Eólico	Viento 1. Rodadura 2. Reptación 3. Saltación 4. suspensión	Los tamaños de los materiales movilizados son fundamentalmente los de arena y limo, aunque a veces pueden transportar agregados de arcilla en presencia de sal. El cuarzo es el material más erosionado dado a que este se encuentra con mayor abundancia en la superficie terrestre. La procedencia de las partículas de acumulación eólica de los desiertos es muy variable, pueden proceder del arranque de los granos superficiales alterados de una roca, aunque la mayor parte del origen de las partículas deriva de materiales sueltos.	Arcos Alvéolos Rocas tipo hongo	Dunas de arena Ripples
Hídrico	Agua 1. Corrosión 2. Abrasión 3. Cavitación	La erosión fluvial se lleva a cabo procesos de <b>abrasión</b> que consiste en el desgaste mecánico. La <b>cavitación</b> se produce a grandes velocidades tales como la base de una cascada. La erosión pluvial se caracteriza por las partículas de agua precipitada en la zona.	Valles en forma de "V" Cañadas Meandros Surcos Cárcavas Terrazas fluviales	Abanicos aluviales Llanuras aluviales Dunas costeras Deltas Piedemonte
Glaciar y periglaciar	Hielo 1. Geliturbación 2. Solifluxión 3. Gelifluxión	Se refiere a la capacidad del hielo para modificar o modelar substancialmente el relieve preexistente. La acción del modelado se manifiesta en la interface hielo-roca. El mayor efecto erosivo tiene lugar bajo la acción de potentes glaciares templados, en los que se produce un arranque de fragmento del lecho glaciar que son movilizados y transportados a un lugar más o menos lejano. En ambientes periglaciares el predominio de los ciclos de hielo y deshielo del terreno y por la existencia de un permafrost o terreno perennemente helado. Muchos paleoclimáticos reconocen la importancia en el modelado climático de los fenómenos periglaciares en las construcciones paleoclimáticas y del permafrost. Los ambientes periglaciares presentan una amplia variedad climática, con temperaturas medias anuales próximas o por debajo del punto de congelación y, por lo general, una amplitud térmica anual importante.	Valles en forma de "U" Circos Aristas Horn	Morrenas Mantos de Till Drumlins Eskers Kames

**Fuente:** Elaboración propia con información de Gutiérrez (2008).

**Tabla 8:** Procesos y características geomorfológicas en el relieve

En la Tabla 8 se muestran los procesos que dan origen a la forma estructural del relieve, el agente modelador, las características y las distintas formas de modelado que dejan estos agentes. Se consideró como principales agentes el viento, agua y el hielo, dado a que estos se encargan de realizar tres acciones; erosión, transporte y sedimentación o acumulación dando así una diversidad estructural en el relieve.

En el análisis del relieve se consideran las variables; hipsometría, pendiente, densidad de disección y la erosión, esto para entender la morfometría del relieve y el dinamismo que presenta a través de la interacción de diversos procesos.

De manera general se puede describir que la hipsometría en el relieve refleja el rango altitudinal de las geoformas, la pendiente manifiesta en grado de inclinación del relieve, la densidad de disección indica la cantidad de metros de cauces por kilómetro cuadrado.

## Edafología

El Suelo se define como una combinación de materia mineral y orgánica, agua y aire: La porción del regolito (*rhegos*: Manta; *lithos*: piedra) que sustenta el crecimiento vegetal, aunque las proporciones de los principales componentes del suelo varían, siempre están presentes estos mismos cuatro componentes (materia orgánica, Material mineral, aire y agua) (Tarbuck y Lutgens, 2005).

### *Tipo de suelo*

Las unidades de suelo utilizadas son las que se definen en el mapa mundial de suelos de FAO-Unesco. Para un mejor manejo de los tipos de suelo se tiende a ser representado en una tabla:

Tipo de suelo	Características
Acrisoles	Suelos podozólicos de color rojo-amarillo, Son suelos tropicales o subtropicales de terrenos antiguos con climas monzónicos, muy meteorizados y lixiviados. Es frecuente que estos suelos sean poco fértiles debido a la deficiencia de macro y micronutrientes, además que son susceptibles a la erosión.
Andosoles	Generalmente de color café amarillento, Estos suelos se desarrollan a partir de cenizas volcánicas y la fertilidad natural de estos suelos es alta cuando se forman a partir de ceniza básica, pero la mayoría tiene una fertilidad baja debido a su capacidad de retención de fósforo.
Arenosoles	Arenas de color rojo y amarillo, Estos suelos se forman a partir de material no consolidado de textura gruesa, excepto cuando se trata de aluviones recientes. Se erosionan fácilmente cuando se interponen en la intemperie especialmente por la acción del viento, y causan la formación de dunas de arena.
Cambisoles	Suelos boscosos de color café, Algunos cambisoles de regiones tropicales muestran un grado considerable de meteorización semejantes a los acrisoles y ferrasoles y cuando los bosques son talados, los suelos pueden adaptar a varios sistemas agrícolas y prácticas agropecuarias.
Chernozems	Son suelos con coloración oscura de las estepas y algunos pastizales, estos tienen un alto contenido de nutrientes, excelente estructura y una gran cantidad de retención de agua que proporcionan fertilidad al suelo.
Ferrasoles	Son suelos profundos, de color rojo, café o amarillo y altamente meteorizados de las regiones tropicales húmedas, estos suelos tienen un contenido de arcilla entre moderado y alto con estructura granular bien desarrollada con deficiencia de nutrientes.
Fluvisoles	Son suelos muy jóvenes provenientes de depósitos aluviales recientes, deltas, estuarios y zonas costeras. Tiene una distribución de tamaño de partículas muy variable y a menudo están estratificadas, algunas veces con horizontes superficiales enterrados.
Gleysoles	Suelos de pradera, característicos de las depresiones en regiones con climas húmedos, se forman a partir de material no consolidado exclusivos de aluviones recientes. Son suelos pobremente drenados, pero si se les proporciona un buen drenaje pueden utilizarse para la agricultura.
Grenyzems	Suelos de bosques grises pertenecientes de regiones continentales frías; se desarrollan debajo de los pastizales que rodean los bosques caducifolios. Contienen una fertilidad natural alta.
Histosoles	Son suelos orgánicos húmedos, la materia orgánica se acumula por las condiciones húmedas y su composición está determinada por la naturaleza del material vegetal, el cual varía entre amorfo, fibroso y leñoso. Este tipo de suelo se presenta en zonas templadas y frías, pero también se presenta en los trópicos bajo ciertas condiciones específicas, especialmente en Malasia.
Kastanozems	Son suelos de regiones frías semiáridas de color castaña.
Litosoles	Son suelos someros de montaña, cubiertos con derrames recientes de lava volcánica o presentan áreas escarpadas por el hielo. Miden menos de 10 cm de profundidad, no son aptos para producción de cultivos, pero en el área húmeda pueden producir vegetación para mantener un pastoreo moderado.
Luvisoles	Son suelos de color café y se presentan en las regiones templadas y representan la mayoría de los principales suelos para la agricultura.
Nitrosiles	Son suelos arcillosos de color rojizo de las regiones tropicales. Estos suelos son profundos, con una estructura cúbica subangular o granular.
Feozems	Tienen un horizonte mólico A bien desarrollado de color oscuro y tienen propiedad hidromórficas.
Planosoles	Estos suelos son de áreas continentales planas con estacionalidad marcada. La presencia de un horizonte con poca permeabilidad que provoca graves inundaciones durante la época de lluvias.
Podosoles	Son los principales suelos de los bosques de coníferas de las regiones del Norte, También se encuentran en varias regiones de los trópicos y se desarrollan en depósitos de arena de cuarzo.
Podzoluvisoles	Son suelos comunes en las regiones húmedas de bosques caducifolios de las áreas templadas y frías. Estos suelos tienen poca permeabilidad.
Rankers	Estos suelos miden menos de 25 cm de espesor y que se desarrollan a partir de materiales que no provienen de aluvión; debido a la presencia de roca, estos suelos generalmente son someros.
Regosoles	Son suelos relativamente recientes que se desarrollan a partir de materiales no consolidados y no provienen de aluvión.
Rendzinas	Son suelos someros, de colores muy oscuros, se desarrollan en material calcáreo.
Solonchaks	Son suelos salinos de las regiones áridas y semiáridas, que contienen cantidades considerables de sales solubles.
Solonetz	Son suelos de regiones semiáridas caracterizado por un incremento repentino de arcilla, de estructura columnar o prismática y de alta alcalinidad.
Vertisoles	Son suelos arcillosos de coloración oscura, que se presentan en muchas planicies áridas y semiáridas de regiones tropicales y subtropicales, tienen 30 por ciento de arcilla dominada por montmorilonita, que causa la compactación y fractura del suelo durante la época de sequía y su expansión en la temporada de lluvias, esta compactación y expansión crean presiones que rompen el suelo y forman espejo de falla al deslizarse una superficie sobre otra.
Xerosoles	Son los suelos de las regiones áridas y semiáridas. Estos suelos tienen un régimen árido de humedad edáfica, ya que la precipitación generalmente es menor de 200 mm anuales y cae en forma de chubascos cortos e intensos.
Yermosoles	Son suelos de zonas áridas, prácticamente de suelos desérticos.

**Tabla 9:** Tipo y características de los suelos. **Fuente:** (FitzPatrick, 1996)

## Textura

La FAO define la textura del suelo como un indicador del contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa, y según su tamaño: Arenas: Si sus tamaños donde 2.00 a 0.05mm de diámetro. Limos: Si sus tamaños son de 0.05 a 0.002mm de diámetro. Arcillas: Si sus tamaños son menores de 0.002mm de diámetro

Gráfico para la dominancia de los suelos según su textura.

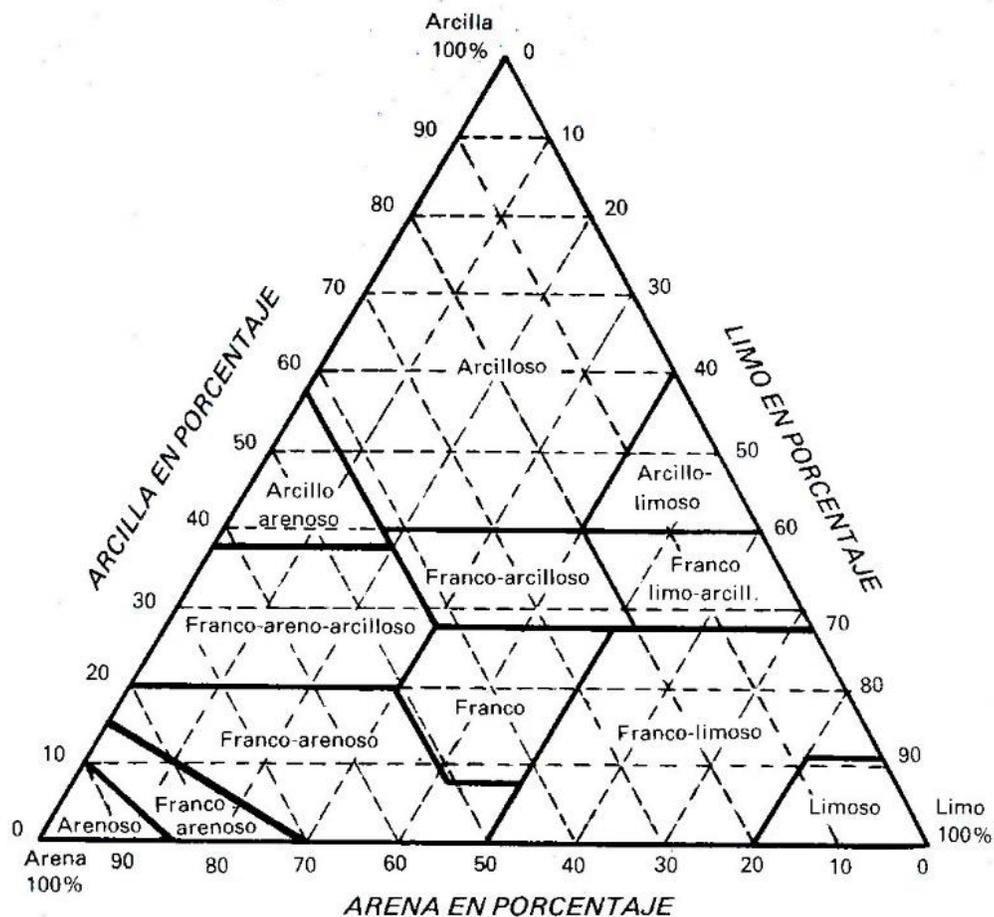


Figura 21: Textura de los suelos.

Fuente: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/imagenes/diagtext.gif>.

La gráfica de texturas de suelos se caracteriza por manejar porcentajes de arenas, arcilla y limo. Lo anterior se basa en que; de acuerdo con el porcentaje de textura el suelo va a tener diferentes propiedades físicas y químicas. Por otro lado, la textura del suelo puede clasificarse de fina a gruesa. La textura fina indica una elevada proporción de partículas más finas como el limo y la arcilla. La textura gruesa indica una elevada proporción de arena.

## **Capítulo II Caracterización física del Estado de México**

El Estado de México se localiza en el interior de la República Mexicana exactamente en la parte central de la misma, entre los 18° 21´ y 20° 17´ latitud N y a los 98° 35´ y 100° 36´ longitud O. Con una superficie aproximada de 22, 499.95 km<sup>2</sup>. La superficie total del Estado de México equivale al 1.5% respecto al área total del territorio nacional, siendo este el número 25 en cuanto el tamaño respecto a las demás entidades federativas (INEGI, 2017).

El Estado de México colinda con ocho entidades federativas, al norte con los Estados de Querétaro e Hidalgo; al sur con los Estados de Morelos y Guerrero, al este con Puebla y Tlaxcala, al oeste con el estado de Michoacán, por último, limita también con la Ciudad de México rodeándolo con excepción la parte sur de la ciudad (Figura 20).

La población del Estado según la encuesta intercensal (2015), realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) indica que la entidad cuenta con una estimación de 16, 187, 608 habitantes lo que representa un 13.5% de los 119 530, 753 habitantes.

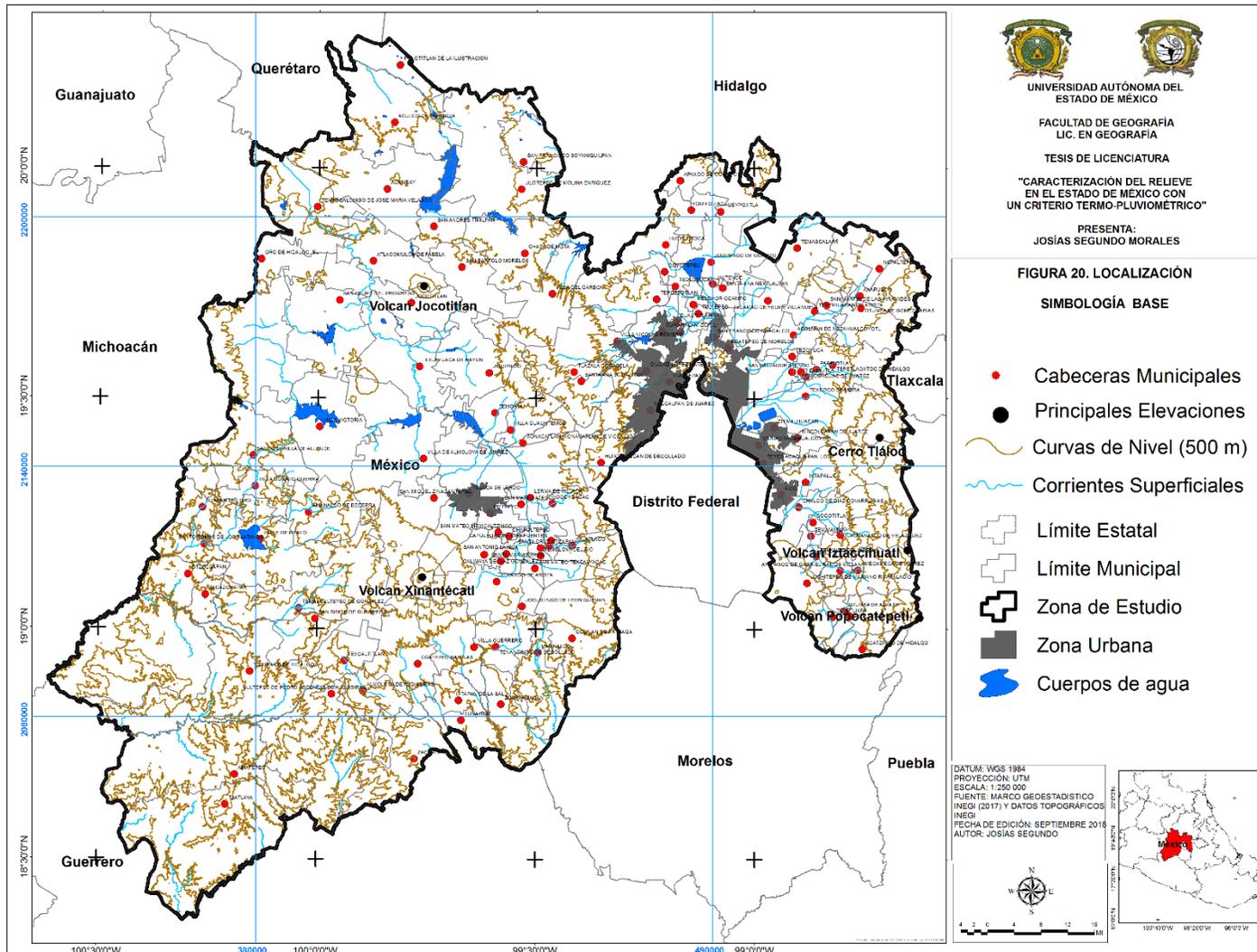


Figura 22: Localización de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia con base al INEGI Marco Geoestadístico 2016 y conjunto de datos vectoriales topográfico

## Geología

Partiendo de una cronología de lo general a lo particular es conveniente hablar de la geología de la República Mexicana, del origen y de la evolución que ha desarrollado durante millones de años. Tamayo (1980); indica el desarrollo de diversos acontecimientos geológicos en el país, por mencionar los acontecimientos más importantes; En la era Paleozoica los océanos Atlántico y Pacífico se conectaron por diversos puntos convirtiendo el norte del país en un archipiélago. En la era Mesozoica dentro del periodo jurásico, el área continental se redujo, conectándose del Golfo con el Pacífico dejando como resultado el Canal del Balsas, que se extendió hacia el norte separando los Estados de Chihuahua y Sonora. En esta era se presentó una emersión de plegamientos que se manifiestan en la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental. La transición del Mesozoico al Cenozoico se caracteriza por una intensa actividad orogénica teniendo como consecuencia de las Sierra Madre Occidental, del Sur, y de Chiapas, la cordillera Neovolcánica y la Serranía transcaliforniana. Durante el periodo eoceno y oligoceno ocurrieron hundimientos que dieron paso a la formación del Golfo de California; Importantes intrusiones magmáticas levantaron el suelo de Chiapas. Por último, el Cuaternario es característico de intensa actividad volcánica, esto dio paso a que gracias a la acumulación de rocas extrusivas el relieve se eleva continuamente. La acción glacial no fue intensa en la República Mexicana dado a que solo se ubicó en áreas superiores a 3 300 metros de altitud.

El origen y evolución geológica del Estado de México parte de dos provincias fisiográficas en el que pertenece: 1) La Sierra Madre del Sur; tiene como basamento rocas cristalinas y metamórficas, sedimentos, así como lavas e intrusiones; el Sistema Volcánico Trasversal se extiende desde el océano Pacífico al Golfo de México y es meramente con un predominio volcánico del Cenozoico, en esta provincia se localiza los volcanes más importantes de México, como el Pico de Orizaba (5 610 msnm), Popocatepetl (5 465 msnm), Iztaccíhuatl (5 230), Xinantécatl (4 680 msnm) y Volcán de Fuego de Colima (3 838 msnm). Los procesos geológicos son constantes pero lentos dado a que estos actúan a una velocidad datada en

millones de años. La dinámica de los procesos volcánicos y tectónicos han provocado que en la entidad existan diversas morfoestructuras en la superficie terrestre y con ello una variedad en los tipos de rocas presentes en el Estado.

“La composición geológica del Estado de México fue el resultado de dos eventos, primero una deformación comprensiva de carácter tectónico iniciada a finales del Paleozoico y concluida durante el Mesozoico, que permitió elevar las tierras desde el fondo marino para crear mesetas, altiplanos y montañas de plegamientos; y una segunda fase como deformación distensiva durante el Cenozoico, periodo Mioceno, que provoco intenso fracturamiento y fallas, e individualización de bloques tectónicos; pero lo más significativo en esta segunda etapa fue la emisión sobre las fracturas de materiales magmáticos y vulcanismo (De Cserna y Fries, 1981).

Las rocas existentes en la provincia Sierra Madre del Sur son; Meta-Andesita, Meta-Arenisca, Meta-Caliza, Esquistos, Riolita, Andesita, Caliza, Lahar y Basalto, la mayor parte de estas rocas son sedimentos con un origen metamórfico dado la interacción de tectónica que la placa Norte Americana con la Placa de Cocos actúan, aun si, dentro de la provincia se puede encontrar rocas ígneas extrusivas como el basalto y sedimentarias como la caliza.

Por otra parte, la provincia Sistema Volcánico Transversal que cubre el 75 % del Estado existe un dominio de rocas ígneas, esto dado el origen volcánico con su auge en el Cenozoico. La roca más abundante es la andesita esto por los derrames de lavas y productos piroclásticos producto de las distintas erupciones de los volcanes existentes en la entidad. Los lahares, tobas y material aluvial se distribuyen en el valle de México y de Toluca, extendiéndose al norte de la entidad, la zona lacustre se encuentra en la zona centro con una geoforma plana lo que hace que los escurrimientos lleguen a esta zona favorecida por las pendientes. La Dacita-Andesita (Material Intermedia ígneo) se localiza en la cima y laderas de los volcanes Xinantécatl y Jocotitlán producto de las emanaciones de lava con una textura porfídica.

La geología del Estado de México se encuentra separado principalmente en tres eras, El Precámbrico-Paleozoico (4600 -230 Millones de años), el Mesozoico (230-65 Millones de años) y el Cenozoico-Cuaternario (65 Millones de años- Año actual).

En la Era Precámbrico-Paleozoico, las rocas existentes en el Estado son los esquistos en el sur-suroeste del Estado. Para el Mesozoico, la mayor parte de las rocas son productos del metamorfismo (Meta-Andesita, Metavolcano-sedimentario, Meta-Caliza, entre otras); y por último, en el Cenozoico-Cuaternario que es la era más reciente y por ende la litología de este predomina, las rocas ígneas como la andesita, basalto, los lahares, material aluvial, calizo y conglomerado.

La Geología en el Estado de México constituye en su mayoría una serie de sucesos volcánicos gracias al predominio de los Volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y el Nevado de Toluca. La complejidad endógena como los sismos da origen a los distintos movimientos de la corteza terrestre y por ende algunas grietas que en ocasiones dan paso a la salida de material intrusivo que se consolida al exponerse a la intemperie.

A continuación, se presenta tres cuadros con el área de las rocas en Kilómetros cuadrados y su porcentaje que abarca en el Estado de México.

Tipo de Roca	Roca	Área en Km <sup>2</sup>	%
Ígneas	Andesita	12817.2	35.92
	Basalto	5587.7	15.66
	Dacita	963.95	2.70
	Diorita	6.79	0.02
	Granito	214.31	0.60
	Granodiorita	73.61	0.21
	Ignimbrita-Riolita	1862.67	5.22
	Lahar	7958.2	22.30
	Material Porfídico	64.32	0.18
	Piroclastos	5.12	0.01
	Riodacita	7.42	0.02
	Riolita	2793.22	7.83
	Toba	3091.21	8.66
	Traquita	27.32	0.08
Volcanoclásticos-Yeso	213.78	0.60	

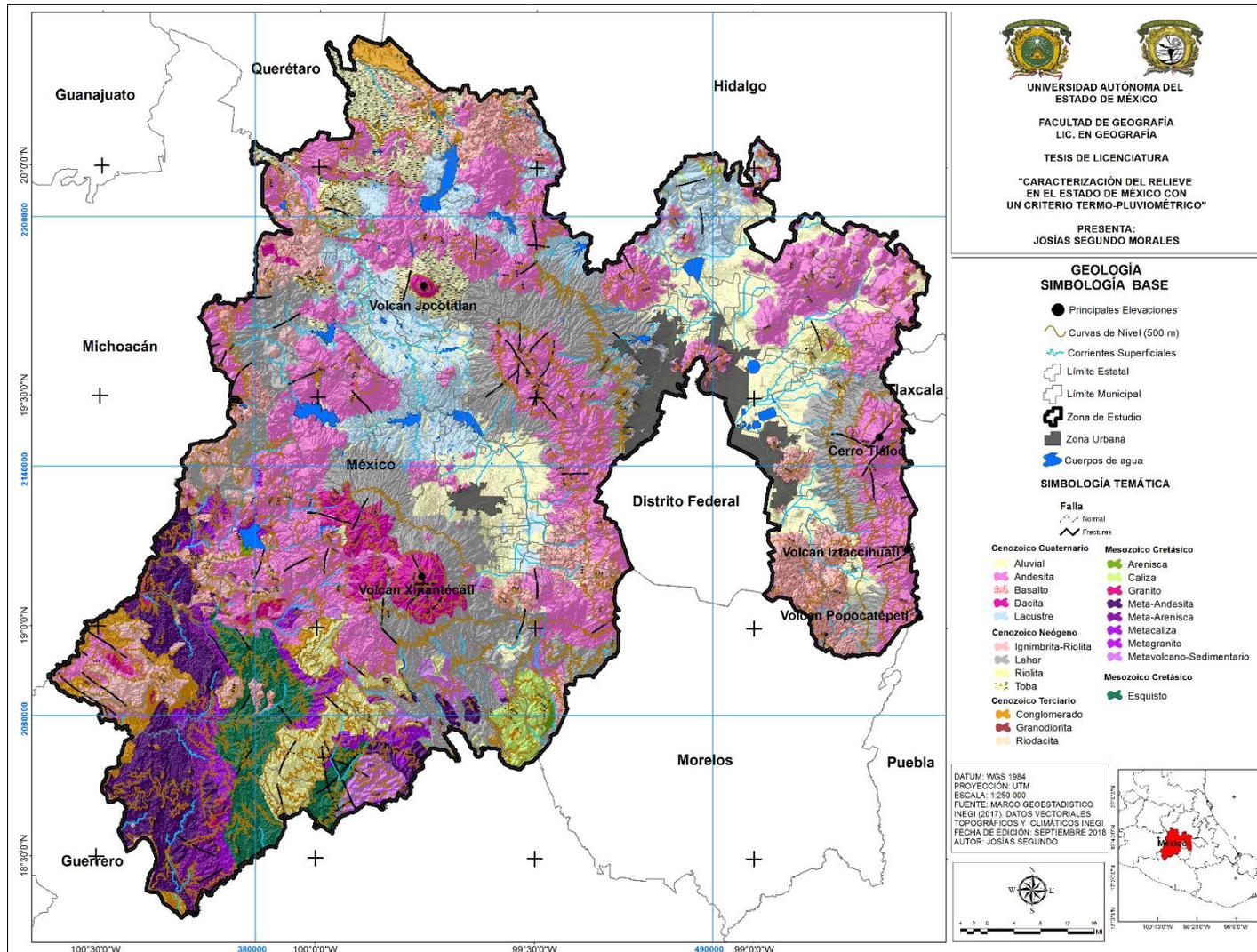
**Tabla 10:** Rocas Ígneas. **Fuente:** Elaboración propia con base a datos del SGM.

Tipo de Roca	Roca	Área en Km <sup>2</sup>	%
Sedimentarias	Aluvial	4,738	28.54
	Arenisca	750	4.52
	Caliza	2,700	16.27
	Conglomerado	4,354	26.23
	Lacustre	3,961	23.86
	Lutita-Caliza	71	0.43
	Marga	26	0.16

**Tabla 11:** Rocas Sedimentarias. **Fuente:** Elaboración propia con base a datos del SGM

Tipo de Roca	Roca	Área en Km <sup>2</sup>	%
Metamórficas	Esquistos	948	17.24
	Meta-Andesita	2,093	38.06
	Meta-Arenisca	520	9.46
	Metacaliza	906	16.47
	Metagranito	2	0.03
	Metasedimentario	115	2.09
	Metavolcano-sedimentario	916	16.66

**Tabla 12:** Rocas Metamórficas. **Fuente:** Elaboración propia con base a datos del SGM



**Figura 23: Geología del Estado de México.**  
**Fuente: Elaboración propia con base**

## Fisiografía

El Estado de México está conformado por dos provincias fisiográficas, la mayor parte de la Entidad lo abarca el Eje Volcánico Transversal; constituido por emanaciones intrusivas de manifestaciones volcánicas de la era Cenozoica, en esta se encuentran varias elevaciones sobresalientes en la República Mexicana (Volcán Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Jocotitlán, entre otros). En la parte sur del Estado de México se encuentra la Sierra Madre del Sur, con un componente físico-estructural complejo dado que se pueden encontrar variedad en el tipo de rocas, pero con un predominio metamórfico dado a la interacción de la tectónica (placa de Cocos y la placa Norte Americana). Dentro de estas dos provincias se encuentran cinco subprovincias que se distribuyen en toda la zona de estudio.

- Depresión del Balsas:

El relieve se encuentra disectado por la erosión fluvial lo que provocó la existencia de valles pocos profundos. Se localiza al sur del Estado de México y de acuerdo con Cserna (1981), el origen de la depresión del Balsas no muestra rasgos estructurales de origen tectónico y se remonta al cuaternario y su estructura fisiográfica se debe a la erosión vertical del agua sobre las rocas volcánicas neogénicas.

- Sierras y valles Guerrerenses:

Pertenece a la Sierra Madre del Sur caracterizado por un sistema montañoso afectadas por el proceso de subducción por las placas tectónicas, dicho sistema es afectado por procesos de erosión hídrica desarrollando valles, surcos y laderas escarpadas.

- Mil Cumbres:

Se localiza al oeste de la entidad y pertenece a la provincia fisiográfica Eje Volcánico Transversal. Se refiere a un sistema montañoso con un predominio de material ígneo. Este sistema es poco erosionado por los agentes exógeno dado a la abundancia vegetal de la zona.

- Lagos y volcanes de Anáhuac,

En esta subprovincia abundan las sierras volcánicas con la presencia de estratovolcanes y volcanes monogenéticos, vasos lacustres en el valle de Toluca y en la cuenca de México. La parte oeste predominan las llanuras aluviales con lomeríos en el pie de monte de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, al noroeste del Estado dentro de esta subprovincia el material que lo compone es Tobas. La distribución de esta subprovincia es de Oeste a Este en el Estado con un material predominante Ígneo, la mayoría compuestos de productos piroclásticos de los volcanes existentes en la zona.

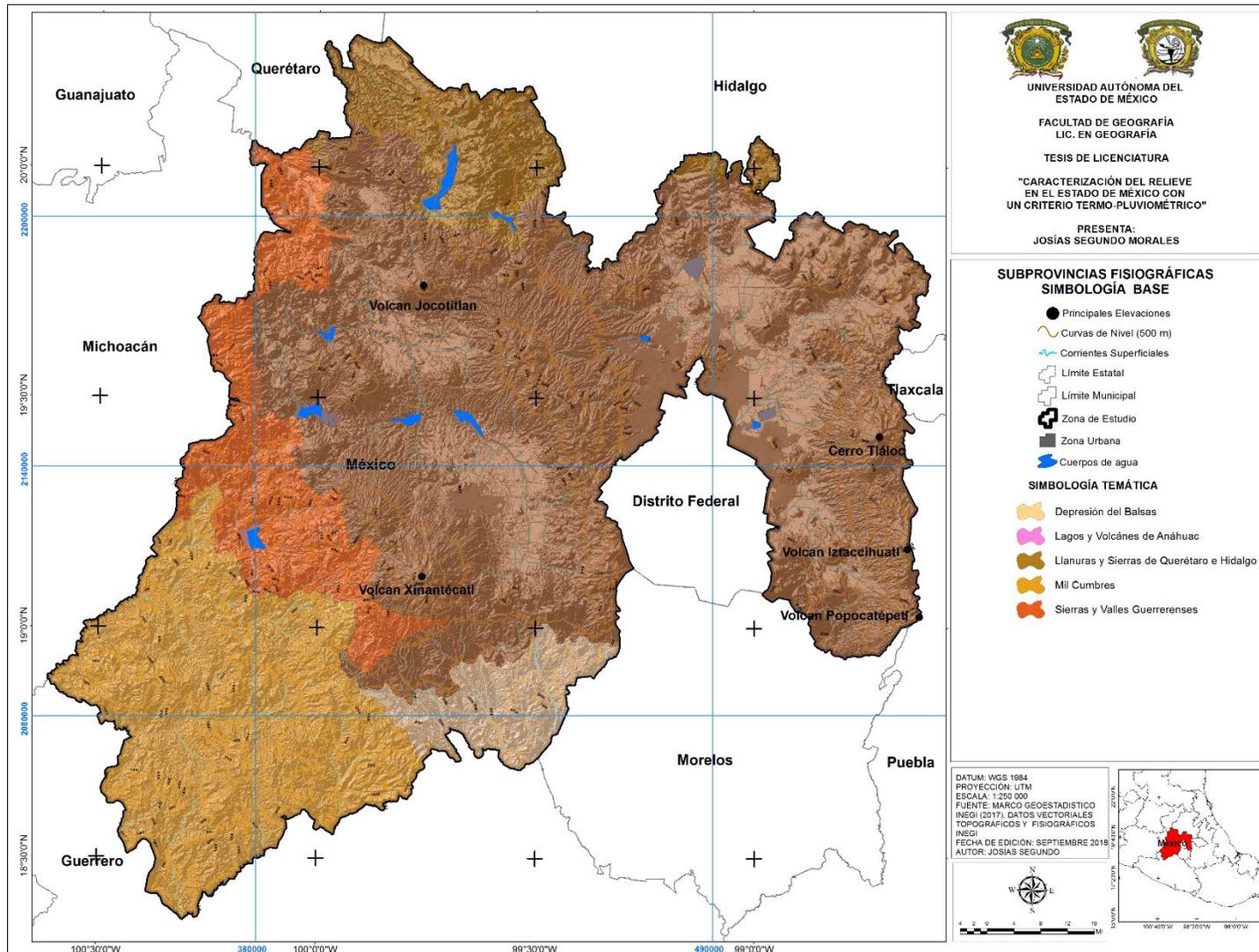
- Llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo:

Pertenece al eje volcánico transversal, esta subprovincia con el relieve volcánico se caracteriza por presentar lomeríos con rampas acumulativas.

Las subprovincias es una delimitación que ayuda a comprender el relieve por unidades morfológicas y contribuye al mapa geomorfológico dado que da un indicio de estructura del relieve de modo general. El cuadro siguiente muestra el área de cada provincia y subprovincia con las topofomas que en ellas existe.

Provincias	Área en Km <sup>2</sup>	%	Subprovincias	Área en Km <sup>2</sup>	%	Formas representativas del relieve
Eje Volcánico Transversal	16,694.30	75.47	Lagos y volcanes de Anáhuac	13,014.73	58.83	Estratovolcanes y volcanes monogenéticos.
			Llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo	1,481.45	6.70	Vasos lacustres. Lomeríos de basalto.
			Mil Cumbres	2,199.11	9.94	Lomeríos de basalto con mesetas. Sierra volcánica con laderas tendidas.
Sierra Madre del Sur	5,429.07	24.53	Depresión del Balsas	4,513.35	20.40	Sierras con cañadas. Valles pluviales.
			Sierras y valles Guerrerenses	915.73	4.13	Llanuras aluviales de composición basáltica. Sierras.

**Tabla 13:** Área de las provincias fisiográficas. **Fuente:** Elaboración propia con datos vectoriales de las Subprovincias fisiográficas INEGI.



**Figura 24:** Provincias fisiográficas del Estado de México.  
**Fuente:** Elaboración propia con base al conjunto de datos vectoriales fisiográficos INEGI

## Hipsometría

Este mapa hipsométrico permite identificar los rangos altitudinales del relieve en el Estado de México.

En el Estado de México predominan las sierras y volcanes que superan los 5,000 metros sobre el nivel del mar (msnm), (Popocatépetl) y con cinco subprovincias fisiográficas lo que hace que la altitud en el Estado sea diferente esto por la estructura morfológica que ésta posee. Como se observa en el mapa hipsométrico la distribución de la altitud varían entre 150 msnm a altitudes mayores a 5 400 msnm.

El rango de altitud menor a 1000 msnm con una tonalidad verde son las zonas con menor altitud y se localiza en el sureste del Estado, la provincia fisiográfica en esa zona es la depresión del Balsas y los municipios que constituyen este rango altitudinal son: Tlétlaya, Amatepec y la parte oeste de Luvianos, las topofomas son plenamente cañadas no pronunciadas y mesetas o zonas planas. La altitud más baja en el Estado es de 360 msnm que se localiza al sur-oeste de la entidad al sur del municipio de Tlatlaya.

El rango de altitud de 1000 a 2000 msnm con la tonalidad amarilla se encuentra en la zona sureste y oeste del Estado, los municipios con este rango de altitud son Parte de Sultepec, Valle de Bravo, Ixtapan del Oro, Santo Tomas, Tejupilco, Zacazonapan, Otzoloapan, la parte oeste de Almoloya de Alquisiras, la zona oeste de San Simón de Guerrero. Se encuentra influenciada por la subprovincia Mil cumbres, las topofomas predominantes son las sierras, lomeríos en los municipios de Ixtapan de la Sal (zona sur), Tonatico, Zumpahuacan, Malinalco y la una pequeña porción de la zona sur del municipio Ocuilan.

El rango de altitud de 2000 a 3000 msnm con la tonalidad anaranjada se localiza en la zona centro, norte, oeste, noreste y parte del este, prácticamente es el rango de altitud más abundante en el Estado de México como se aprecia en el mapa, algunos de los municipios con esta elevación son; Villa de Allende, Villa Victoria, la zona centro hacia el norte de Almoloya de Juárez, la zona conurbada de la Ciudad de

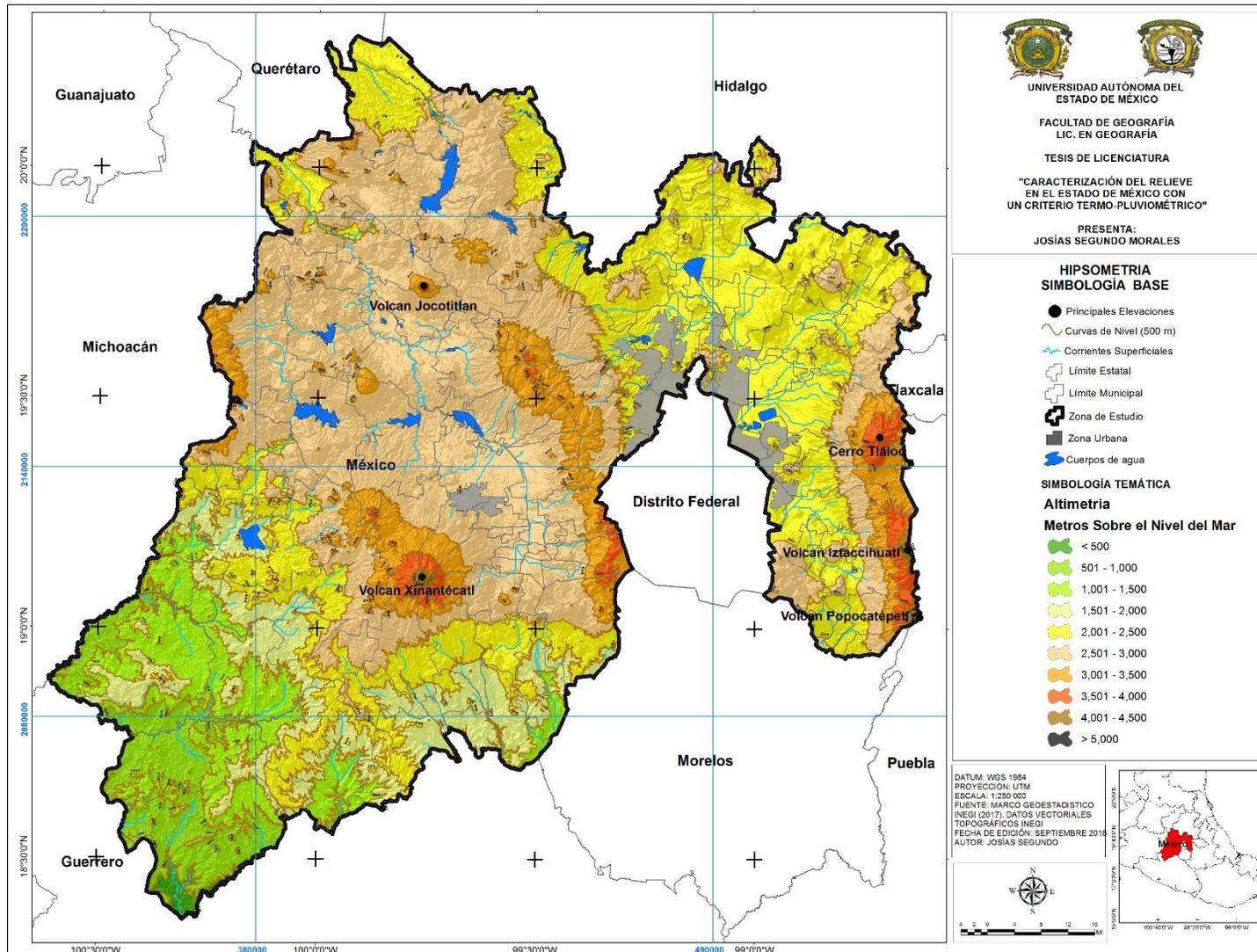
Toluca. Este piso altitudinal tiene mayor predominancia en el centro al norte del estado y dado esto se desarrollan y cargan los lagos de Lerma – Atenco y Almoloya. Otros municipios con este rango altitudinal son; En el Norte del estado (Ixtlahuaca, Atlacomulco, Acambay, Timilpan, El Oro y San Felipe del Progreso entre otros) que particularmente pertenece a la subprovincia fisiográfica “Lagos y volcanes de Anáhuac.

El piso altitudinal del 3000 a 4000 msnm con una tonalidad roja son elevaciones sobresalientes y aislantes en el Estado. Por ejemplo, El norte del municipio de Toluca parte del volcán “Nevado de Toluca”, La mayor parte del centro al norte del municipio de Zinacantepec. Respecto la zona oeste de Jalatlaco dirigiéndose al Norte hacia Temoaya e Isidro Fabela el sistema de Topoformas son sierras con volcanes aislados, con lomeríos de composición de Tobas principalmente. Otra zona con este piso altitudinal es la parte Oeste del Estado principalmente en la zona de volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y el Cerro Tláloc en la zona de ladera principalmente en las coladas lávicas. Cabe destacar que el Volcán Jocotitlán llega al límite en este rango dado que la altitud máxima del mismo tiene 3950 msnm.

El rango altitudinal de 4000 a 5000 msnm con la tonalidad café son elevaciones aisladas en el Estado, principalmente se destacan los volcanes; Xinantécatl, Popocatepetl, Iztaccíhuatl y el Cerro Tláloc. Este piso son principalmente parteaguas y parte del macizo montañoso en el Estado.

Por último, las zonas con una altitud de 5000 msnm son; el Popocatepetl con 5, 452 msnm y el Iztaccíhuatl con 5, 200 msnm. Para el Estado de México estos dos estratovolcanes son los dos picos con mayor altitud.

La hipsometría del Estado de México permite tener un panorama amplio sobre los pisos altitudinales lo que ayuda a inferir el tipo de clima según la altura de la zona; por ejemplo: el macizo montañoso tiene un tipo de clima más frío que las zonas de planicie como es el valle de Toluca con un clima típicamente templada.



**Figura 25:** Hipsometría del Estado de México.  
**Fuente:** Elaboración propia con base a las curvas de nivel escala 1:50 000

## Climas

Los climas en cualquier zona de estudio dependen distintos factores geográficos, esto es la continentalidad, latitud, altitud, relieve y corrientes marinas.

En el Estado de México existen cuatro tipos de climas; Cálido, Frio, Seco y Templado que se encuentran distribuidos en todo el territorio mexiquense, algunas como el clima frío influenciado por la altitud, otras como el clima cálido influenciado por la latitud. El tipo de clima con mayor predominio en la entidad es el Templado subhúmedo con características generales como; Temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm. Este clima se distribuye en planicies con un rango de altitud de 1000 a 3000 msnm, su dominio principal es la zona centro del Estado, Noreste y Suroeste como se muestra en la figura 24.

El tipo de clima Cálido subhúmedo Temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm. Se localiza en la zona suroeste del Estado y una pequeña porción en la parte sur de la entidad, con una altitud que va de los 1000 a 1500 msnm. El tipo de clima Semicálido subhúmedo se localiza en la zona sur del Estado, sus características principales son; temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano.

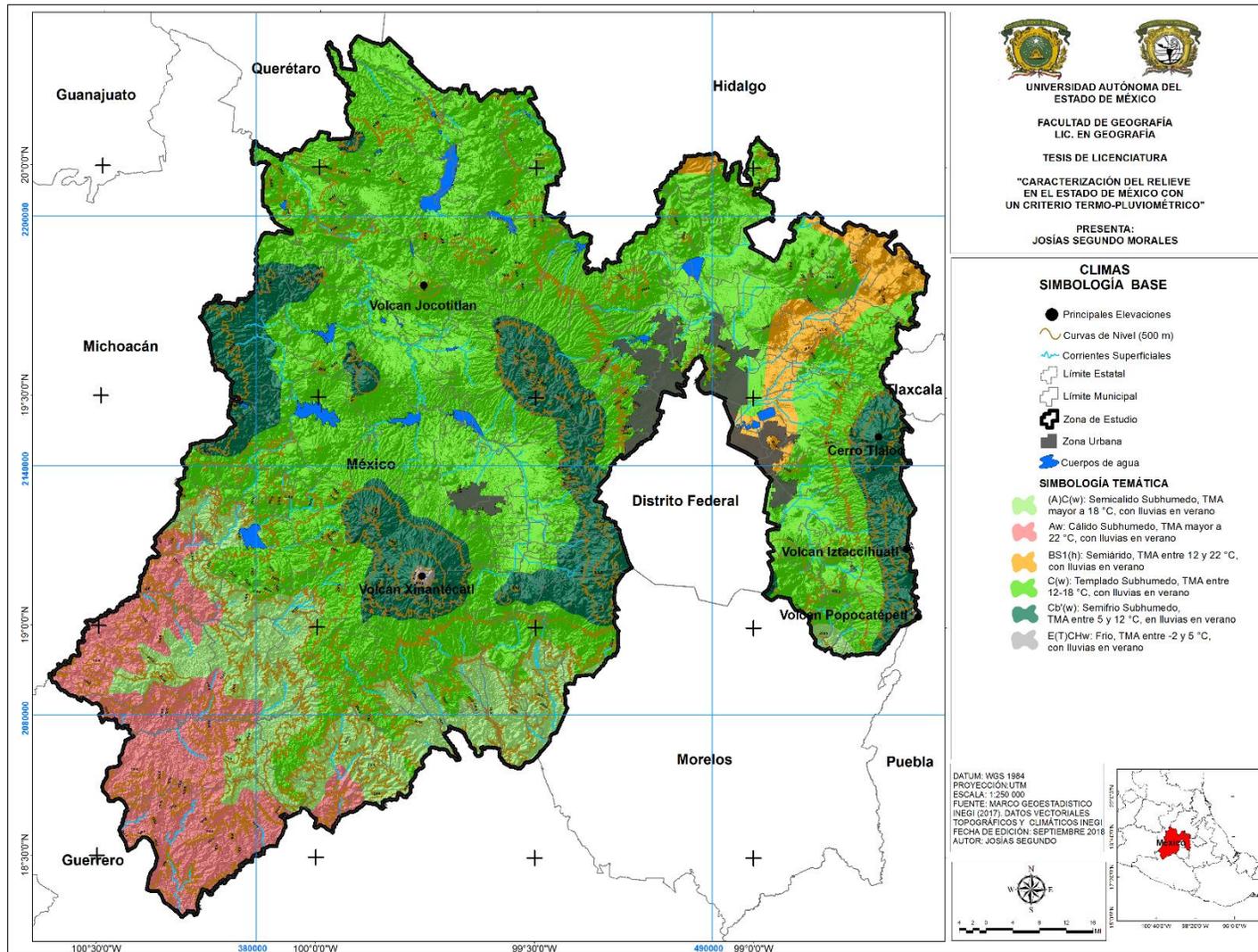
La zona con el tipo de clima Semiseco templado se localiza en la zona Este y Noreste del Estado de México, con una altitud de 2000 msnm, con pendientes no mayores a los 3 grados de inclinación.

El tipo de clima frío se localiza en zonas donde la altitud sobrepasa los 4000 msnm, en la entidad este piso altitudinal solo lo tienen los volcanes presentes en el Estado de México, como lo son; Xinantécatl, Popocatépetl e Iztaccíhuatl.

Por último, el tipo de clima semifrío subhúmedo se localiza en las laderas del macizo montañoso con altitudes de 3000 a 4000 msnm y pendientes mayores a 30 grados

de inclinación, las características de este tipo de clima son; con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano.

En el Estado de México el 73% del territorio presenta un clima templado subhúmedo, localizados en los valles de la zona norte de la entidad, centro y oeste; El 21% es cálido subhúmedo y se encuentra distribuido en la parte suroeste, el 6% el seco y semiseco en el noreste y 0.16% el clima frío localizadas en las zonas altas de los volcanes. En su mayoría, el tipo de clima predominante en el Estado de México permite a la población practicar la agricultura de riego y de temporal siendo los principales cultivos: maíz, chícharo verde, cebada, frijol, papa, alfalfa, trigo, aguacate y guayaba entre otros.



**Figura 26:** Climas del Estado de México  
**Fuente:** Elaboración propia con base al conjunto de datos vectoriales climáticos INEGI

## Geomorfología

El relieve está condicionado por dos factores, el primero son los endógenos que se refiere a procesos que se producen al interior de la corteza terrestre y es el causante de generar nuevo relieve. Dichos procesos son los movimientos tectónicos y emanaciones volcánicas, los tectónicos se referente al movimiento de las placas tectónicas que da origen a cadenas montañosas y los volcánicos que por medio de emanaciones de lava son responsables de cubrir al relieve con un nuevo material.

El segundo factor que es quien condiciona la forma del relieve son los procesos exógenos, que se refiere a la intervención de un agente modelador sobre el relieve, dicho agente puede ser el agua, el hilo o el viento y su modelado dependerá de la intensidad, duración y frecuencia en que actúan sobre la superficie terrestre.

Los procesos Morfoclimáticos se basan en formas resultantes del relieve en relación con la precipitación y la temperatura de una zona determinada en un largo periodo de tiempo. El relieve del Estado de México ha sido sometido a procesos de lluvias extraordinarias lo que conlleva a una aceleración de la erosión en zonas donde la vegetación no es abundante y las bajas temperaturas en las altas montañas de la entidad ha provocado grietas en las rocas por procesos de crioclastia y con ello un nuevo modelado en la cima de las elevaciones.

La Geomorfología de Estado de México de un modo general se basa en zonas de planicies, valles, pie de monte, lomeríos, sierras, laderas, coladas lávicas, edificios volcánicos y relieve glacial.

Las planicies generalmente tienen una escasa disección porque los escurrimientos superficiales tienen baja velocidad. Esta zona le corresponde la parte central de la entidad en los municipios de Toluca, Ixtlahuaca, Atlacomulco, entre otros.

Los valles son geformas deprimidas y su forma depende estrictamente del agente modelador que para el Estado de México este agente es el agua, los valles localizados no son profundos y se localizan según el mapa geomorfológico en la zona sur y suroeste de la entidad.

El piedemonte es la zona entre la planicie y el relieve montañoso y/o lomeríos altos caracterizados por un sistema de acumulación proveniente de las laderas y son fértiles para la agricultura.

Los Lomeríos generalmente se presentan en distintos tamaños en cuestión a su altura, pero en sí se caracterizan por componerse de material extrusiva con pendientes suaves, estas geoformas están expuestas a disección constante en los periodos de lluvias por su inclinación. Se localizan en la zona sur del municipio de San José del Rincón y al norte de los municipios de Villa Victoria y Villa de Allende.

Sierra es un conjunto de montañas con una estructura generalmente homogénea teniendo una Génesis geológica parecida; (Cadena montañosas). Por otra parte, una sierra está conformada por laderas que funge como el cuerpo de la montaña, la dirección de las laderas dependerá de la dirección de la pendiente. Por otro lado, el sistema de laderas serán las más disectadas en el sistema de montaña dado a los escurrimientos superficiales que en ella ocurren.

Los edificios volcánicos son estructuras compuestas por una cama magmática, un conducto magmático y un cráter, esta estructura está compuesta por material ígneo de diferentes periodos geológicos. Una tarea primordial de estos edificios volcánicos es generar una nueva capa de material en la corteza terrestre con la lava que emana el volcán. Por último; el relieve glacial está condicionada por la altitud y latitud. En el Estado de México las elevaciones como el volcán Xinantécatl e Iztaccíhuatl que son volcanes no activos el hielo es el agente principal para la modelación del relieve (*véase el marco teórico el apartado de Geomorfología*), y el mismo también se encarga de erosionar o intemperizar y transportar la roca predominante. El ambiente periglacial se basa en periodos de hielo y deshielo en el relieve, de igual manera el hielo es el principal modelador del terreno. Una vez definido las distintas geoformas presentes en el Estado de México es necesario marcar su distribución dentro de la entidad:

Para las zonas planas el mapa 6 refleja su distribución en la zona centro al Norte del Estado partiendo por una franja del municipio de Temoaya dirigiéndose homogéneamente hacia Ixtlahuaca, San Felipe del Progreso, Atlacomulco,

Temascalcingo, Acambay y su la composición litológica es ígneo y sedimentario. Otras zonas planas son las Llanuras Lacustres que se distribuye en la zona centro y este de la entidad, los municipios de la zona centro son los ligados a la zona metropolitana de la Ciudad de Toluca. Las zonas planas permiten el establecimiento de asentamientos humanos dado a la fertilidad del suelo. La Entidad de igual manera está constituida por valles y estas se encuentra en la mayoría del área del Estado de México principalmente en las zonas de montaña y sierras excepto en las zonas planas y el tipo de disección de cada valle dependerá de la cantidad de escurrimientos que drena cada una.

El piedemonte se distribuye al sur del Estado a la parte Norte, se localiza en porciones en la zona Este prácticamente en las zonas de lomeríos y los edificios volcánicos que se encuentran en esta parte de la Entidad. Como se mencionó anteriormente el sistema de Piedemonte son fértiles en la parte agricultura dado a que es una zona donde se acumulan los sedimentos erosionados ya sea por el agua o el viento.

El sistema de Lomeríos se localiza principalmente en el Oeste y Norte del Estado principalmente compuestos principalmente de rocas ígneas intrusivas, intermedias y extrusivas tales como la andesita, basalto, toba volcánica, entre otros. Localizados al norte del municipio de Villa de Allende, San José del Rincón, Acambay, Jilotepec, Jocotitlán. En la zona oeste los municipios son Tequixquiac, Temascalapa, el sur de Acolman, Cuautitlán, entre otros. En todos ellos los lomeríos son aislados generalmente. Las sierras se localizan meramente en la zona suroeste de la entidad compuesto por material metamórfico como los Esquistos e ígneo como la andesita, estas sierras tienen la condicionante de erosión por escurrimientos dado la pendiente de sus laderas, este sistema morfológico se localiza en los municipios de Amatepec, Tlatlaya, Zacualpan, Sultepec, Almoloya de Alquisiras, Zacazonapan y Tejupilco

El sistemas morfológico de origen volcánico se localiza las coladas lávicas que son los flujos de lava que los volcanes expulsan al presentar una erupción se localizan cercas de los volcanes presentes en la entidad como el Xinantécatl, Popocatépetl e

Iztaccíhuatl y de pequeños edificios volcánicos existentes como los domos volcánicos extrusivos con pendientes pronunciadas de distinto periodo geológico como: edificios volcánicos del Holoceno, Pleistoceno y del Plioceno-Pleistoceno, la composición litológica de estas zonas son ígneas tanto intrusivas como lo son los flujos de lava y extrusivas como el material piroclásticos. Los relieves volcánicos de alta montaña se localizan en los volcanes: Jocotitlán, Xinantécatl, Popocatepetl e Iztaccíhuatl y el Cerro Tláloc. Toda esta mayor a los 3500 msnm, en algunos casos puede presentarse un sistema glacial o periglacial. El relieve glacial y periglacial se localizan en los tres volcanes más importantes en el Estado de México que son el Xinantécatl, Popocatepetl e Iztaccíhuatl. La composición litológica de estos volcanes es ígnea como la Dacita y Andesita. En este sistema morfológico el hielo es el encargado de modelar según la intensidad y la duración en el que el hielo actué sobre la roca. En cuestiones morfoclimáticas el modelado glacial tiene formas particulares como; Valles en U, circos y morrenas en las laderas del volcán Xinantécatl.

La geomorfología de Estado de México está ligado a los agentes climáticos, en alta montaña la erosión del hielo determina la forma del relieve, las zonas planas la precipitación y temperatura son los que erosionan y modelan al relieve en periodos de tiempos largos si la intensidad de las lluvias es lenta y de poca duración o periodos de tiempos cortos si la intensidad de lluvias es fuerte con amplia duración o que las lluvias sean constantes.

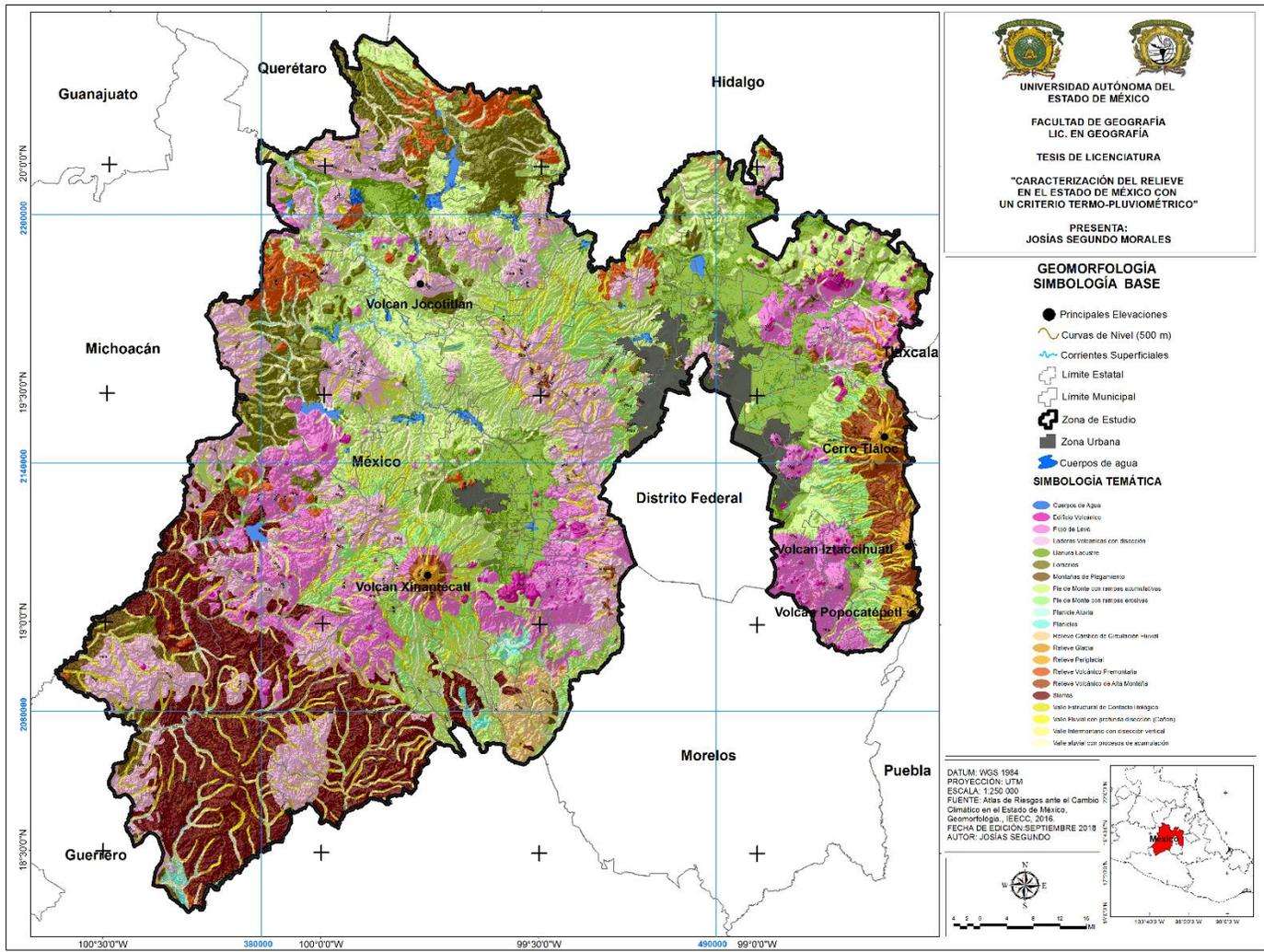


Figura 27: Geomorfología del Estado de México

Fuente: Elaboración propia con base al conjunto de datos vectoriales geomorfológicos INECC (2014)

## Edafología

Los suelos son sistemas dinámicos y complejos, dentro de los cuales se desarrollen numerosos procesos. En general, pueden clasificarse como químicos, físicos o biológicos, aunque no exista una delimitación como tal entre ellas. La formación y origen de los suelos dependen de cinco factores: Material parental, clima, organismos, topografía y tiempo (FitzPatrick, 1996). Su desarrollo o características dependerán del ambiente en el que ésta se encuentra y la intensidad y frecuencias que los factores ya mencionados actúan sobre el suelo.

En los factores formadores de suelo el clima y la roca serán los de mayor importancia; dado a que el clima y sus agentes tales como la precipitación y la temperatura actuaran sobre la roca, el tipo de suelo dependerá de la intensidad y duración en que la roca ha estado sometida a estos dos agentes y las condiciones de suelo tales como el espesor o desarrollo del perfil estarán sometidas a la intensidad de la temperatura o ausencia o presencia de precipitación.

A continuación, se presenta una tabla en la cual se menciona los procesos que dan origen a los tipos de suelo y las condiciones climáticas en el que están sometidas según Tamayo (1980).

Proceso	Grupos de Suelos	Condiciones Climáticas	Zona
Laterización	Lateritas	Tropical húmedo, sin periodo seco.	
	Suelos lateríticos (suelos rojos)	Tropical húmedo, con periodo seco.	
	Tierra rosa	Tropical y templado, con drenaje fácil. Tropical y templado.	
Podzolización	Suelos Amarillos	Frio o templado lluvioso, bien drenado. Frio o templado lluvioso Tropical semihúmedo Templado semiseco con inviernos fríos y veranos calientes.	
	Suelos cafés forestales		
	Podzoles		
	Suelos de pradera Suelos negros (Chernozem)		
Calcificación	Suelos castaños (chestnut)	Templado deficiente, húmeda, inviernos fríos y veranos calientes. Templado árido Templado muy árido.	Azonales
	Suelos semidesérticos (sierozem)	Que permiten la calcificación.	
	Suelos desérticos (Rendzinas)		
Salinización	Suelos salinos (solonchak)	Climas áridos, secos, semisecos con nivel freático cerca de la superficie	
Solonización	Suelos tequesquitosos (Solonetz)		
Solotización	Suelos Alcalinos degradados	Floculación de la arcilla	Intrazonales

Gleización	Suelos gleizados Turbosos Tundra	Templados y fríos	
Geológico	Litsoles Regosoles Suelos aluviales recientes	Todos los climas	Azonales

**Tabla 14:** Proceso de la formación de los suelos con relación al clima. **Fuente:** Tamayo (1980)

A continuación, se presenta el área de cada tipo de suelo y sus características.

Tipo de suelo	Área en Km <sup>2</sup>	%
Andosol	4,836	22.76
Arenosol	288	1.36
Cambisol	1,317	6.2
Durisol	448	2.11
Fluvisol	79	0.37
Gleysol	37	0.17
Histosol	18	0.08
Leptosol	1,702	8.01
Luvisol	1,873	8.82
Phaeozem	4,943	23.27
Planosol	1,028	4.84
Regosol	2,160	10.17
Solonchack	143	0.67
Solonetz	129	0.61
Umbrisol	32	0.15
Vertisol	2,211	10.41

**Tabla 15:** Tipo de Suelos en el Estado de México. **Fuente:** Elaboración propia con base a datos de INEGI, Edafológica 1:250 000, Serie III.

La unidad de suelo que cubre mayor extensión en la entidad es el Andosol con el (22 %) del total del Estado, este tipo de suelo se localiza alrededor de los principales edificios volcánicos como lo son: El Iztaccíhuatl. Popocatepetl, Xinantécatl y Jocotitlán. Se localizan en la parte central del Estado, centro- oeste, centro-este, sureste y este. El piso altitudinal donde se localiza este tipo de suelo es superior a los 2000 msnm. Las propiedades generales del suelo son; caracterizan por ser altamente fértiles para la agricultura, con la permeabilidad suficiente para la captación de agua pluvial.

El tipo de suelo Arenosol cubre el (1.36 %) de la entidad y se encuentra distribuida de manera aislada en los municipios de Toluca al suroeste, Cocotitlán, Temamatla, Juchitepec y Atlahutla. Son suelos no consolidados de textura arenosa provenientes

de flujos de cenizas de emanaciones volcánicas de los principales volcanes de la entidad.

El suelo Cambisol se localiza en el sur y suroeste de la entidad en un piso altitudinal de 1000 a 1500 msnm y cubre un (6.2%) respecto al área total del estado, los Cambisoles se caracterizan por ser suelos jóvenes poco desarrollados y susceptibles a procesos de erosión. Por su parte los Durisoles con el (2.1%) respecto al área total y se localiza en la zona centro del estado, son suelos duros conocidos típicamente como "Tepetate", su localización en la entidad lo hace estar expuesto a la erosión hídrica. El proceso de erosión es más notable en suelos jóvenes no consolidados esto por ser materiales no compactados y por ello son susceptibles a ser afectados por el agua dando como resultado surcos o cárcavas.

Los suelos que cubren áreas menores son: Fluvisol (0.37 %) éste se localiza en la zona centro de la entidad y es proveniente de depósitos aluviales por los ríos o lagos existentes en la zona y con una buena fertilidad en la agricultura. El Gleysol (0.17 %) localizado en pocas porciones la zona centro y oeste de los municipios de Chalco, San Antonio la Isla, Almoloya del Río y Texcalyacac. Este tipo de suelo se forma a partir de material no consolidado y son propios de zonas de humedales. El Histosol (0.08%) se localiza en la zona centro de la entidad en los límites de los municipios de San Mateo Atenco, Metepec, Lerma y Tianguistenco. Este suelo se formó por el material orgánico que se acumuló bajo condiciones húmedas con un espesor mayor de 10 cm y bajo condiciones de inundación en periodos de lluvias extraordinarias. Solonchack (0.67%) localizado en la zona este de la entidad, al sur de Atenco y al oeste de Texcoco y partes de Chalco, son suelos con poco contenido de sales solubles formados por procesos de evapotranspiración y en ocasiones logran apreciarse las sales cuando el suelo está seco. El Solonetz (0.61%) se encuentra aislado en la zona noreste del Estado, suelos profundos que se asisten con un sistema de riego para un funcionamiento agrícola y con un subsuelo endurecido. El Umbrisol (0.15%) localizado en la parte noroeste en el municipio de San Felipe del Progreso y sureste en el municipio de Amecameca, son suelos oscuros susceptibles a la erosión hídrica.

El suelo Leptosol con un (8.01%) respecto al área total de la entidad se localiza en todos los extremos del Estado de México en zonas de montaña y pendientes pronunciadas, tiene una profundidad menor a 10 cm limitada por presencia de rocas. El piso altitudinal no es limitante a este tipo de suelo dado que en la entidad se localiza a menos de los 1000 msnm y sobre los 4500 msnm. El Luvisol con (8.82 %) se encuentra distribuido en partes de la zona norte, este, sur y sureste de la entidad a un piso altitudinal mayor a los 2000 msnm. Este tipo de suelo es apto para la agricultura y contenido una porción de arcilla. El Phaeozem con un (23.27 %) se localiza en diferentes porciones en todo el Estado de México con su mayor abundancia en la zona norte y este de la entidad. Este tipo de suelo es él que tiene mayor fertilidad para la agricultura en granos, son propios de la topografía plana o con pendientes poco inclinadas.

El tipo de suelo Planosol con (4.84 %) localizado en la zona norte del Estado, desarrollados en relieve planos son generalmente profundos entre 50 y 100 cm, contiene un horizonte de poca permeabilidad que provoca inundaciones en la zona. Los Regosol con el (10.17 %) se encuentran en la parte suroeste en la entidad, este tipo de suelos está poco desarrollado de tonalidad clara y con poca acumulación de material orgánico y su fertilidad está condicionada por su profundidad y pedregosidad esto dado a su asociación con los litosoles. El desarrollo de este tipo de suelo se debe a las altas temperaturas mayores a los 20 grados en esta zona del Estado de México. Por último, el tipo de suelo Vertisol con el (10.41 %) respecto al área total de la entidad, se extiende con una franja de diversas porciones de norte a sur de la entidad, típicamente de climas templados y cálidos con alto potencial agrícola de tonalidad oscura o gris y con baja susceptibilidad a la erosión.

A continuación, se presenta una matriz donde se comparan las diversas características de los suelos.

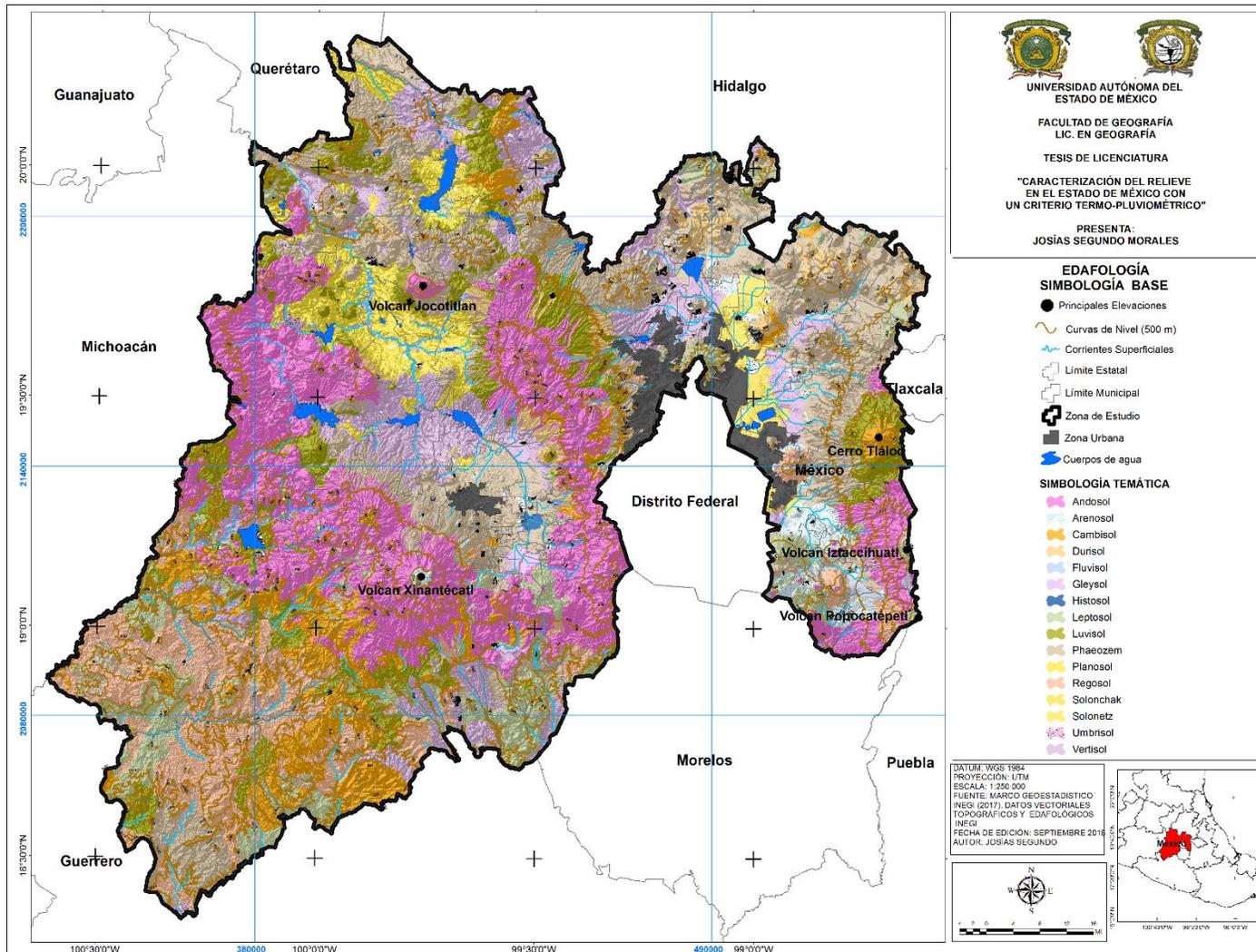
### Matriz de suelos Estado de México

Unidad edáfica	Textura	Color	Rango altitudinal (msnm)	Tipo de clima
Andosol	Arenosa	Oscuro	2000-5000	Templado subhúmedo. Semifrío y frío
Arenosol	Arenosa	Rojo y Amarillo	2000-2500	Templado subhúmedo
Cambisol	Arcillosa	Pardo	1000-3000	Templado subhúmedo
Durisol	Arenosa	Oscuro	2000-3000	Templado subhúmedo
Fluvisol	Arenosa con tamaños variados	Oscuro	500 y 2500	Templado subhúmedo
Gleysol	Arcillosa	Gris	2500-3000	Templado subhúmedo
Histosol	Arcillosa	Negro	2500-3000	Templado subhúmedo
Leptosol	Gruesa	Claro	500-2000	Cálido subhúmedo, Semicálido subhúmedo, Templado subhúmedo
Luvisol	Arcillosa	Pardo grisáceo	2500-3500	Semicálido subhúmedo y Templado subhúmedo
Phaeozem	Gruesa	Oscuro	500-3000	Templado subhúmedo y Templado subhúmedo

Planosol	Arcillosa	Pardo	2500-3000	Templado subhúmedo
Regosol	Arenosa	Claro	500-2000	Cálido Subhúmedo y Semicálido subhúmedo
Solonchack	Arcillosa	Claro	2000-2500	Templado subhúmedo
Solonetz	Arcillosa	Claro	2000-2500	Templado subhúmedo
Umbrisol	Gruesa	Oscuro	2500-3000	Templado subhúmedo
Vertisol	Arcillosa	Negro o gris	2000-3000	Templado subhúmedo

---

**Tabla 16:** Matriz de suelo del Estado de México. **Fuente:** Elaboración propia con base a datos del mapa hipsométrico, edafológico y climático.



### Capítulo III Regiones Morfoclimáticas en el Estado de México

Una vez determinada las características físicas de la zona de estudio se procede a delimitar las regiones morfoclimáticas. Autores como; J. Büdel (1977) establece criterios cualitativos para delimitar regiones morfoclimáticas y realiza un mapa mundial en el cual determinó diez regiones morfoclimáticas y modelados resultantes como consecuencia de la intervención de los agentes climáticos. Los criterios de este autor no son adecuados para adaptarlo a la zona de estudio porque sus límites climáticos son a una escala mundial con rangos de paralelos extremos de acuerdo con los climas mundiales como lo es: el tropical, zonas áridas y boreales y sus rangos de precipitación serán grandes por la zona tropical y no se podrá adaptar a los rangos de precipitación del Estado de México.

Otro autor quien define parámetros de los agentes climáticos y los relaciona con los procesos morfológicos es Peltier, 1950 (Tabla 17).

Región morfogénica	Temperatura media anual estimada (°C)	Precipitación media anual estimada (mm)	Características morfológicas
Glacial	-17.8 - -6.7	0 - 1,143	Erosión glacial. Acción del viento. Nivación.
Periglacial	-15 - 1.1	127 - 1,397	Fuertes movimientos en masa. Moderada a fuerte acción del viento. Débil acción en la escorrentía. Moderada acción de la congelación. Moderada a ligera acción del viento.
Boreal	-9.4 – 3.3	254 - 1, 524	Moderados efectos de la escorrentía. Fuerte acción de movimientos en masa.
Marítima	1.7 – 21.1	1,270 - 1,905	Moderada a fuerte acción de la escorrentía. Fuerte acción de movimientos en masa.
Selva	15.5 – 29.4	1,397 - 2,286	Ligeros efectos del lavado superficial. Nula acción del viento. Máximos efectos de la escorrentía. Moderados movimientos en masa.
Moderada	3.3 – 29.4	889 - 1,524	Ligera acción en la congelación en las zonas más frías de la región. Insignificante acción del viento salvo en las costas
Sabana (Estepa)	-12.2 – 29.4	635 - 1,270	Débil a fuerte acción de la escorrentía. Moderada acción del viento.
Semiárido	1.7 – 29.4	254 - 635	Fuerte acción del viento. Moderada a fuerte acción de la escorrentía.

Árida	12.8 – 29.4	0 - 381	Fuerte acción del viento. Ligera acción de la escorrentía y movimientos en masa.
-------	-------------	---------	--

**Tabla 17:** Criterios Morfoclimáticos según Peltier. **Fuente:** Peltier (1950).

La tabla anterior refleja algunos criterios climáticos que no están presentes en el Estado de México, por ejemplo; el clima Boreal que Peltier limita con  $-9.4^{\circ}\text{C}$ , Periglacial  $-15^{\circ}\text{C}$  y Glacial a  $-17.8^{\circ}\text{C}$ , estos parámetros no se localizan en la zona de estudio y por ello no es apta para la metodología, además, la escala en que este autor se basa para delimitar las regiones es global, esto hace que no se pueda aplicar a una escala local.

Con base a lo anterior Strahler (1965) realizó modificaciones a las terminologías propuestas por Peltier. Para este autor las regiones Boreales y Periglaciales puede resumirse solo en Periglaciales; Las regiones Marítimas y Moderadas bajo el término Templado-Húmedo; y las regiones Semiáridas y Sabana bajo el termino Semiárido. Todos estos ajustes son para adaptarlos a una estacionalidad climática, esto en que las regiones polares y áridas, así como las ecuatoriales presentan cada año el mismo régimen de temperatura y precipitación siendo igual a las regiones morfogenéticas glacial, árida y selva con base a sus latitudes. Por otra parte, Wilson (1968) retomando los criterios de Peltier (1950) y las modificaciones de Strahler (1965) y realiza una tabla donde describe la zona climática y en ella el tipo de clima actual predominante y el clima pasado a nivel mundial, también señala los procesos morfológicos activos y sobre todo para el tema de investigación lo más importante es las formas resultantes que tiene el relieve en base al tipo de clima.

Para Wilson (1968) el tipo de clima de una región morfoclimática tiene relación con los procesos geomorfológicos y formas del paisaje de la superficie terrestre, por ello desarrolló una tabla para definir dichos parámetros morfológicos y fue adaptado a los criterios climáticos mundiales de Köppen.

Para la definición de las regiones Morfoclimáticas en zonas de escala local se cuenta con los rangos de temperatura media anual y precipitación total anual que se muestra en la tabla siguiente (Modificados de Peltier, 1950; Strahler, 1965; y Wilson, 1968).

Región Morfoclimática	T. Media Anual (°C)	Pp. (mm) Anual	Procesos geomorfológicos
Glacial	< -3°C	50 – 1 143	Erosión Glacial. Acción del viento. Nivación.
Periglacial	-15 – 3.3	50 – 1 250	Fuertes movimientos en masa. Ligera a fuerte acción del viento. Débil o moderada acción de la escorrentía. Moderada acción de la congelación.
Árido	23 – 32	0 – 381	Fuerte Acción del viento. Ligera acción de la escorrentía y movimientos en masa.
Semiárido	15 – 32	50 – 1 524	Moderada a fuerte acción del viento y de la escorrentía. Débil o moderada acción de movimientos en masa.
Templado Húmedo	1.5 – 27	635 – 1950	Moderada a fuerte acción en movimientos en masa. Moderada acción de la escorrentía. Débil acción del viento.
Moderada Marítima	10 – 21'1	>1 700	Fuerte acción en movimientos en masa. Máximos efectos de la escorrentía. Nula acción del viento.
Selva	>16	>1 500	Fuerte acción en movimientos en masa. Ligero lavado superficial. Nula acción del viento
Fría-Lluviosa	1.5 – 10 °C	>1 250	Fuertes efectos de la escorrentía. Moderados movimientos en masa. Ligera acción de la congelación salvo en las costas.

**Tabla 18:** Criterios Morfoclimáticos según Modificados de Peltier, Strahler y Wilson.  
Fuente:(Modificados de Peltier, 1950; Strahler, 1965; y Wilson, 1968)

La tabla anterior presenta la región Morfoclimática con términos más característicos para la zona de estudio, los parámetros de temperatura y precipitación son aptos para acoplarlo a los datos de temperatura media anual y precipitación total anual del Estado de México.

El último autor por considerar quien propuso parámetros para definir las regiones morfoclimáticas a nivel mundial es Summerfield (1991), el cual delimitó nueve regiones y los parámetros utilizados para la evaluación de las regiones son; la zona

morfoclimática, temperatura media anual, precipitación media anual y los procesos morfológicos de mayor importancia.

Zona morfoclimática	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)	Procesos morfológicos
Tropical Húmedo	20-30	>1500	Altas tasas potenciales de meteorización química; desgaste mecánico limitado; movimiento de masa activo, altamente episódico; tasas moderadas a bajas de Corrosión de corrientes superficiales con altas tasas locales de transporte de carga disuelta y suspendida.
Tropical mojado y seco	20-30	600-1500	Desgaste químico activo durante la estación húmeda; tasas de meteorización mecánica bajo a moderado; movimiento masivo bastante activo; acción fluvial alta durante la lluvia estación con flujo terrestre y de canal; acción del viento generalmente mínima pero localmente moderado en la estación seca.
Tropical semiárido	10-30	300-600	Tasas de meteorización química de moderada a baja; meteorización mecánica a nivel local activo especialmente en márgenes más secos y más fríos; movimiento masivo localmente activo pero esporádico; las tasas de acción fluvial son altas pero episódicas; acción del viento de moderada a alta.
Tropical árido	10-30	0-300	La meteorización mecánica es alta (especialmente la meteorización salina); químico meteorización mínima; movimiento de masas mínimo; tasas de actividad fluvial en general muy bajo, pero esporádicamente alto; acción del viento en un máximo.
Latitud media húmeda	0-20	400-1800	Las tasas de intemperismo químico son moderadas, aumentando a altas en latitudes más bajas. Actividad meteorológica mecánica moderada con acción de helada importante a mayor latitud; actividad de movimiento de masas de moderada a alta; tasas moderadas de procesos fluviales: acción del viento confinada a las costas.
Seco continental	0-10	100-400	Tasas de meteorización química baja a moderada; meteorización mecánica, especialmente acción de las heladas, estacionalmente activa; movimiento de masa moderado y episódico; procesos fluviales activos en la estación húmeda; acción del viento localmente moderada.
Periglacial	< 0	100-1000	Meteorización mecánica muy activa con la acción de las heladas al máximo; Índices de meteorización de bajo a moderado; movimiento masivo muy activo; procesos fluviales estacionalmente activo; las tasas de acción del viento localmente alta.
Glacial	< 0	0-1000	Las tasas de meteorización mecánica (especialmente la acción de las heladas) son altas; la tasa de meteorización química es baja; las tasas de movimiento masivo son bajas, excepto localmente; acción fluvial confinada a derretimiento estacional; acción glacial en un máximo; acción del viento significativa.
Zona montañosa azonal	Altamente variable	Altamente variable	Las tasas de todos los procesos varían significativamente con la altitud; la acción mecánica y glacial se vuelven importantes a grandes alturas.

**Tabla 19:** Criterios Morfoclimáticos según Summerfield. **Fuente:** Summerfield (1991). "Geomorfología global: una introducción al estudio de accidentes geográficos".

Para lograr tener una relación de los autores que se enfocan en trabajos Morfoclimáticos y comparar los parámetros que utilizan para definir las regiones es

necesario comparar los criterios climáticos y morfológicos de las tres propuestas para optar por los parámetros que se aplicaran al Estado de México. Como se menciona en la tabla 20

Regiones Morfoclimáticas							
Región morfoclimática	Peltier (1950)		Modificados de Peltier, 1950; Strahler, 1965; y Wilson, 1968		Summerfield (1991)		Procesos morfológicos
Parámetros	TMA (°C)	pp (mm)	TMA (°C)	pp (mm)	TMA (°C)	pp (mm)	
Glacial	-17.8 – -6.7	0 – 1,143	< -3	50 – 1 143	< 0	0 –1000	Erosión Glacial. Acción del viento. Nivación.
Periglacial	-15 – 1.1	127 – 1,397	-15 – 3.3	50 – 1 250	< 0	100 –1000	Fuertes movimientos en masa. Ligera a fuerte acción del viento. Débil o moderada acción de la escorrenría. Moderada acción de la congelación.
Árido	18.8 – 29.4	0 – 381	23 – 32	0 – 381	10 – 30	0 – 300	Fuerte Acción del viento. Ligera acción de la escorrenría y movimientos en masa.
Semiárido	1.7 – 29.4	254 – 635	15 – 32	50 – 1 524	10 – 30	300 – 600	Moderada a fuerte acción del viento y de la escorrenría. Débil o moderada acción de movimientos en masa.
Templado Húmedo	1.7 – 21.1	1,270 – 1,905	1.5 – 27	635 – 1950	20 – 30	>1500	Moderada a fuerte acción en movimientos en masa. Moderada acción de la escorrenría. Débil acción del viento.
Moderada Marítima	3.3 – 29.4	889 – 1,524	10 – 21'1	>1 700	0 – 20	400 – 1800	Fuerte acción en movimientos en masa. Máximos efectos de la escorrenría. Nula acción del viento.
Selva	15.5 – 29.4	1,397 – 2,286	>16	>1 500	20 – 30	600 – 1500	Fuerte acción en movimientos en masa. Ligero lavado superficial. Nula acción del viento
Fría-Lluviosa	-9.4 – 3.3	254 – 1, 524	1.5 – 10	>1 250	0 – 10	100 – 400	Fuertes efectos de la escorrenría. Moderados movimientos en masa. Ligera acción de la congelación.

**Tabla 20:** Comparación de los criterios y regiones morfoclimáticas. En donde TMA (°C) representa a la temperatura media anual en grados Centígrados y pp (mm) a la Precipitación total anual en milímetros. **Fuente:** Elaborada con base en Peltier (1950), Modificados de Peltier (1950); Strahler (1965); Wilson (1968), y Summerfield (1991)

Para desarrollar la metodología de las regiones morfoclimáticas se optó por utilizar la tabla 2 (Modificados de Peltier, 1950; Strahler, 1965; y Wilson, 1968) dado a que los rangos de temperatura y precipitación están en un intervalo adecuado para adaptarlos a la zona de estudio al delimitar las regiones.

La fuente de compilación de los datos de temperatura y precipitación fue de la Comisión Nacional del Agua (CNA 1921-2016, <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mex>) en el apartado de datos históricos, el cual se descargó una base de datos en formato Excel con un periodo de tiempo de 1921 al 2016. El rango de tiempo es de 1980 a 2010 para caracterizar al relieve, esto porque las estaciones climáticas de 1921 a 1980 no cubren toda el área del Estado y como consecuencia la información termopluviométricas de esas fechas son deficientes para obtener resultados congruentes en toda la zona de estudio. Respecto a las estaciones climáticas del 2010-2016 se observó la ausencia de estaciones teniendo en el 2016 un total de 50 estaciones lo que es deficiente por la poca cobertura que presentan en la entidad.

El periodo de tiempo para el proceso de las regiones es de 1980 al 2010 esto porque en este periodo las estaciones existentes cubren en mayor extensión al Estado de México, para marcar una diferencia notable se trabajó bajo los siguientes periodos (1980, 1981 al 1985, 1986 al 1990, 1994 al 1995, 1996 al 2000, 2001 al 2005 y 2006 al 2010) en la cual se obtuvo un mapa de temperatura media anual y otro de precipitación total anual para cada año.

Se trabajó con diferentes números de estaciones en cada periodo de 5 años, esto porque en algunos años dejaron de funcionar varias estaciones climatológicas o instalaron nuevas, y para que el proceso fuera confiable las estaciones contempladas cubren la mayor parte del área de estudio. Las estaciones trabajadas en cada periodo son:

Número	Año	Número de estaciones climáticas
1	1980	136
2	81-1985	154
3	86-1990	127
4	91-1995	145
5	96-2000	152
6	01-2005	168
7	06-2010	167

**Tabla 21:** Número de estaciones climatológicas del Estado de México 1980-2010.

Con la siguiente formula se procesó los datos compilados y con ello se obtuvo la temperatura media anual.

$$TMA = (T. \text{Máxima} + T. \text{Mínima}) / 2$$

Donde:

TMA: Temperatura Media Anual

T. Máxima: Temperatura Máxima

T. Mínima: Temperatura Mínima

2: Constante para el promedio

La precipitación total anual se obtuvo al sumarse los registros de la precipitación total mensual por estación. El resultado del proceso anterior se muestra en el apartado dos de anexos y consta de siete tablas de 1980-2010 (Véase las tablas en la carpeta adjunta “anexos”). Una vez aplicada las fórmulas se procesó la información en el Software ArcGis 10.2 para realizar los mapas de temperatura y precipitación anual (véase apartado dos de anexos) en la cual se elaboraron por el método una interpolación bajo los parámetros Distancia Inversa Ponderada por sus siglas en inglés (IDW), esto porque IDW otorgo parámetros congruentes para los rangos de temperatura y precipitación a diferencia de otras herramientas para interpolar valores. Y se clasifico por medio de intervalos iguales.

Se exportaron las isoyetas e isotermas para identificar sus valores en los mapas de temperatura y precipitación. No se estableció un parámetro de rangos determinados en los mapas dado a la variación de los datos en los periodos establecidos. Ya

obtenido los mapas de temperatura y precipitación por cada periodo señalado, se delimitó las regiones morfoclimáticas. El modo de regionalización fue con base a los rangos de temperatura y precipitación que convirtieron de formato vector a formato raster para su mejor análisis, al digitalizar los polígonos de las regiones sobre el raster se aplica los parámetros que marca la metodología modificados por Peltier, Strahler y Wilson.

Región Morfoclimática	T. Media Anual (°C)	Pp. (mm) Anual	Procesos geomorfológicos
Glacial	< -3°C	50 – 1 143	Erosión Glacial. Acción del viento. Nivación.
Periglacial	-15 – 3.3	50 – 1 250	Fuertes movimientos en masa. Ligera a fuerte acción del viento. Débil o moderada acción de la escorrentía. Moderada acción de la congelación.
Árido	23 – 32	0 – 381	Fuerte Acción del viento. Ligera acción de la escorrentía y movimientos en masa.
Semiárido	15 – 32	50 – 1 524	Moderada a fuerte acción del viento y de la escorrentía. Débil o moderada acción de movimientos en masa.
Templado Húmedo	1.5 – 27	635 – 1950	Moderada a fuerte acción en movimientos en masa. Moderada acción de la escorrentía. Débil acción del viento.
Moderada Marítima	10 – 21'1	>1 700	Fuerte acción en movimientos en masa. Máximos efectos de la escorrentía. Nula acción del viento.
Selva	>16	>1 500	Fuerte acción en movimientos en masa. Ligero lavado superficial. Nula acción del viento
Fría-Lluviosa	1.5 – 10 °C	>1 250	Fuertes efectos de la escorrentía. Moderados movimientos en masa. Ligera acción de la congelación salvo en las costas.

**Copia de la tabla: 18,** Criterios Morfoclimáticos según Modificados de Peltier, Strahler y Wilson.

**Fuente:** (Modificados de Peltier, 1950; Strahler, 1965; y Wilson, 1968).

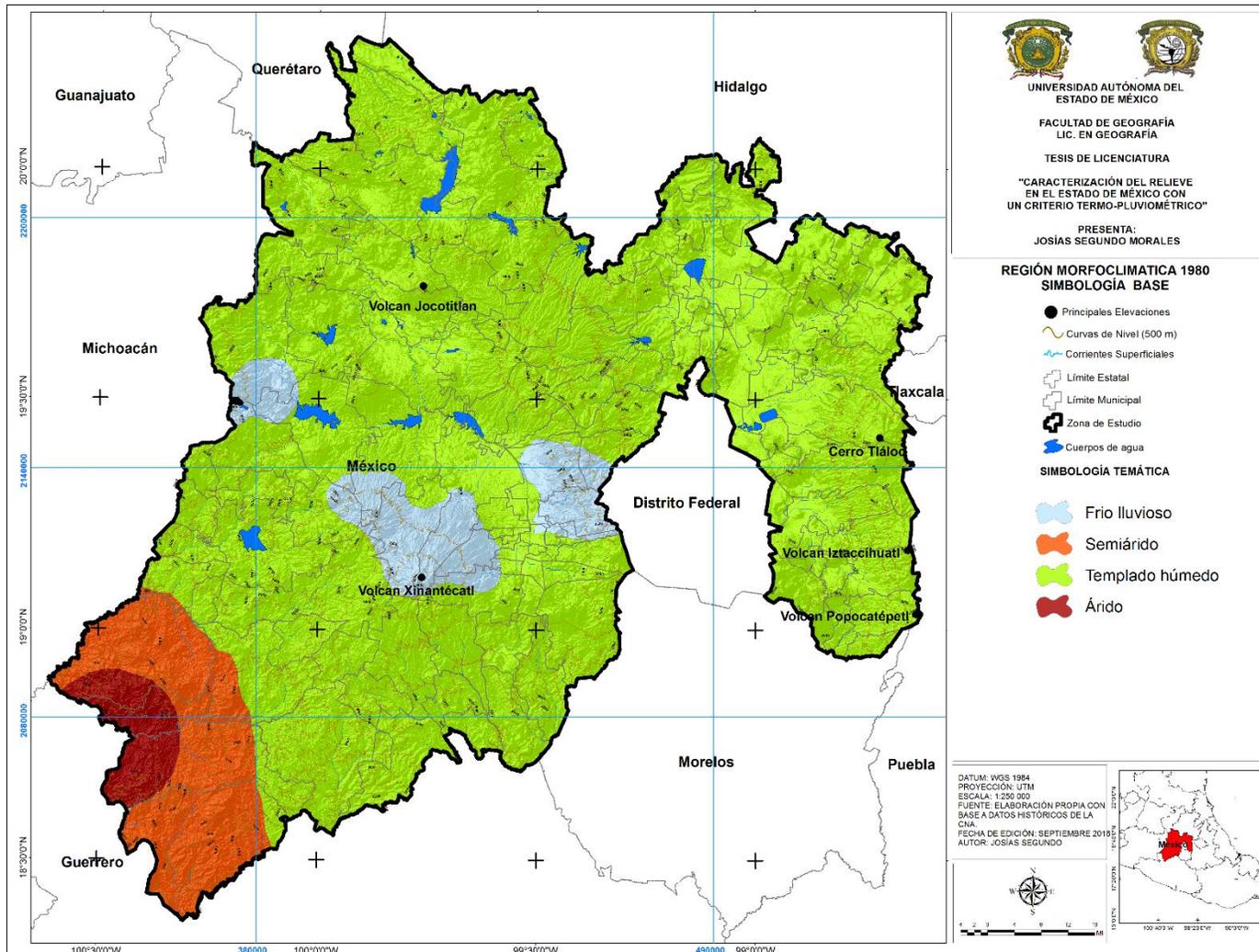
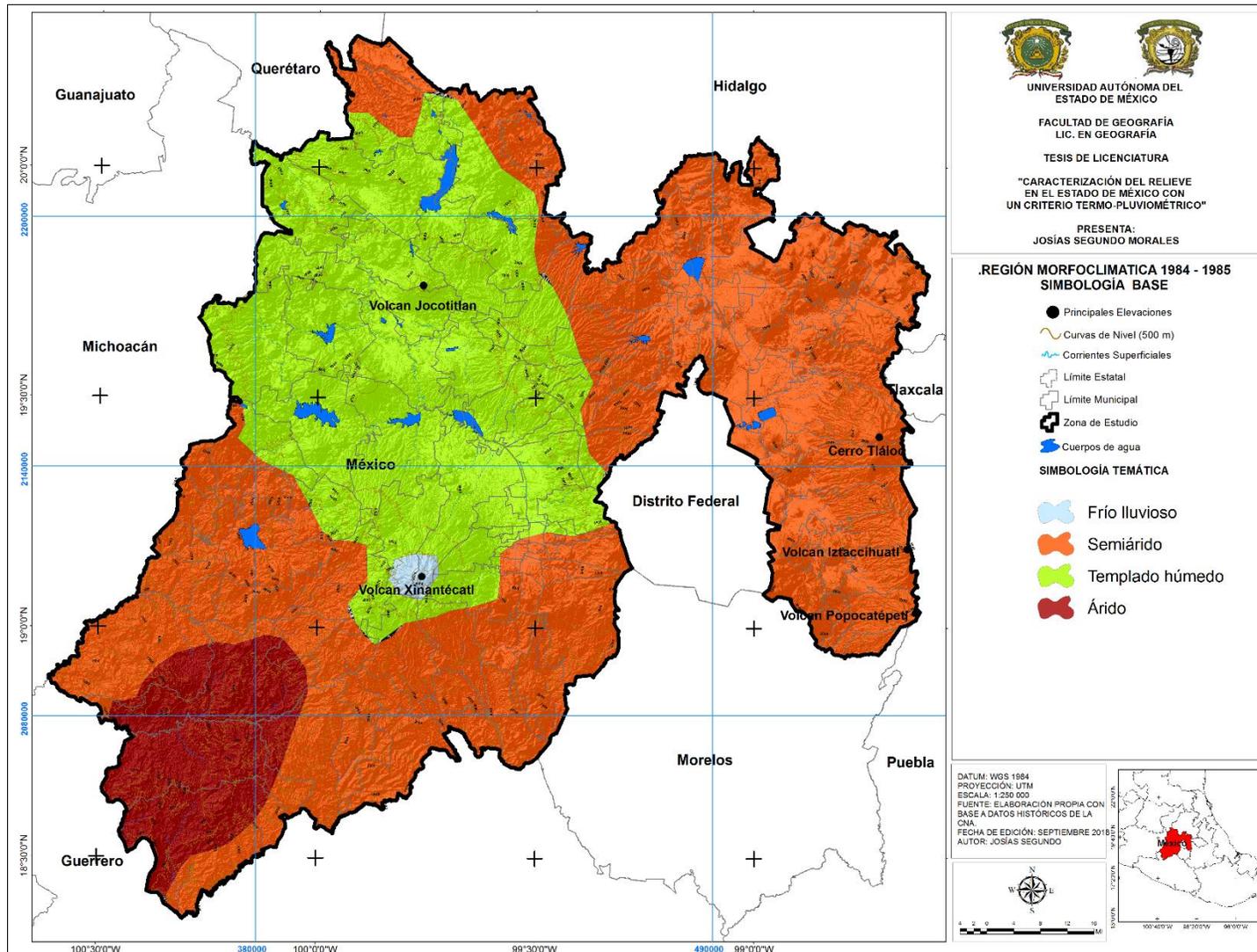


Figura 29: Regiones morfoclimáticas 1980 Estado de México

Fuente: Elaboración propia con base a datos históricos de temperatura y precipitación de la CNA.



**Figura 30:** Regiones morfoclimáticas 1985 Estado de México  
**Fuente:** Elaboración propia con base a datos históricos de temperatura y precipitación de la CNA.

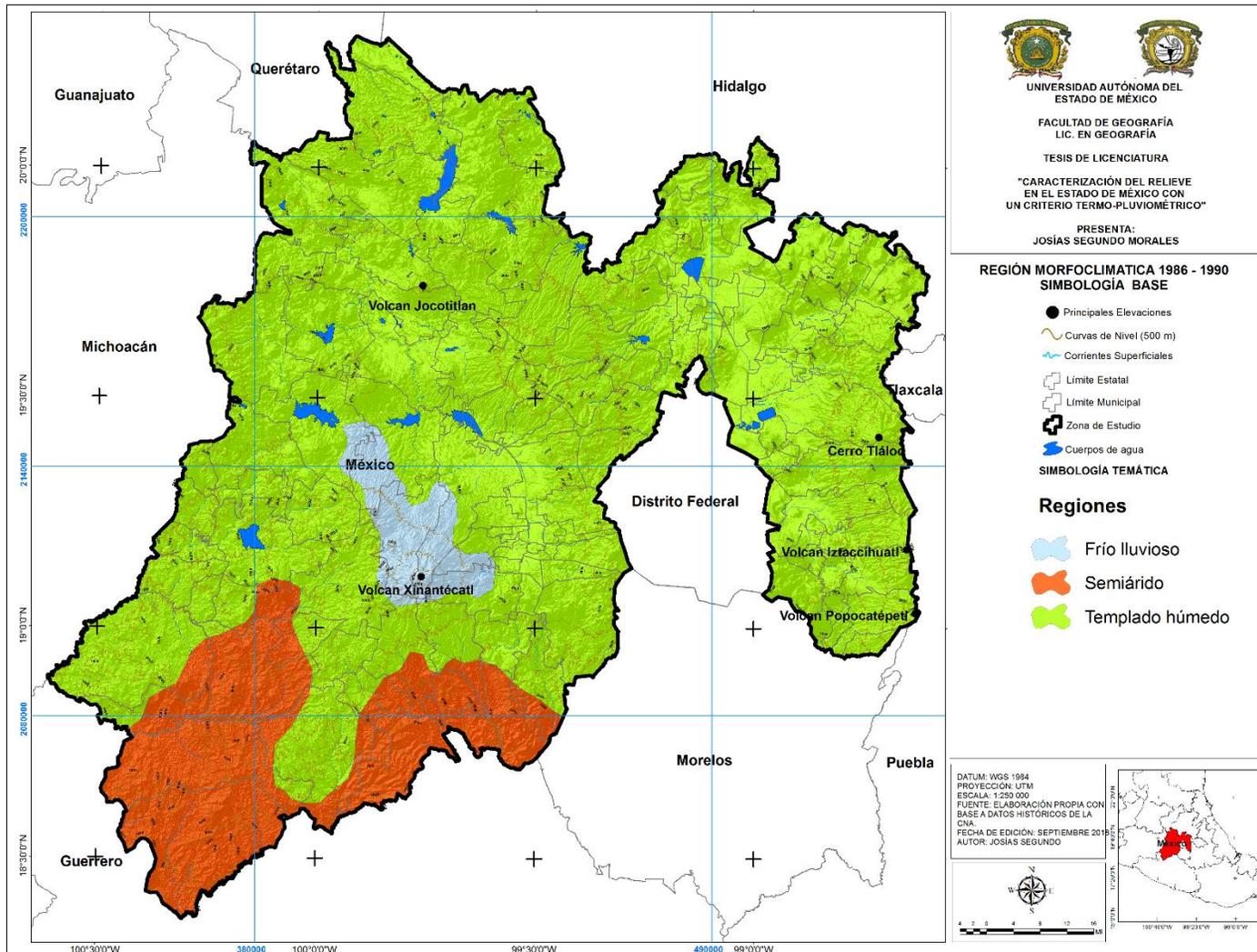
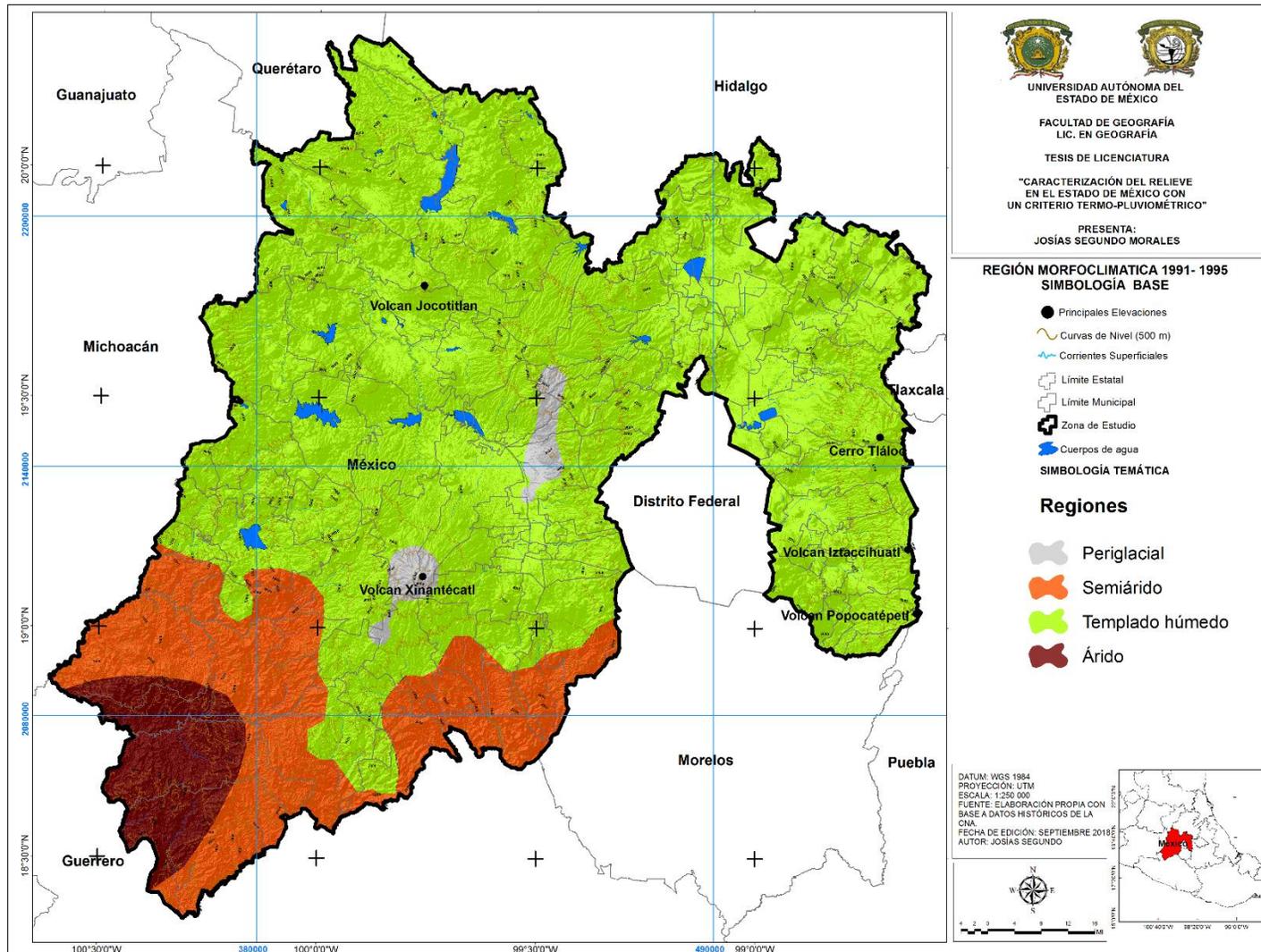
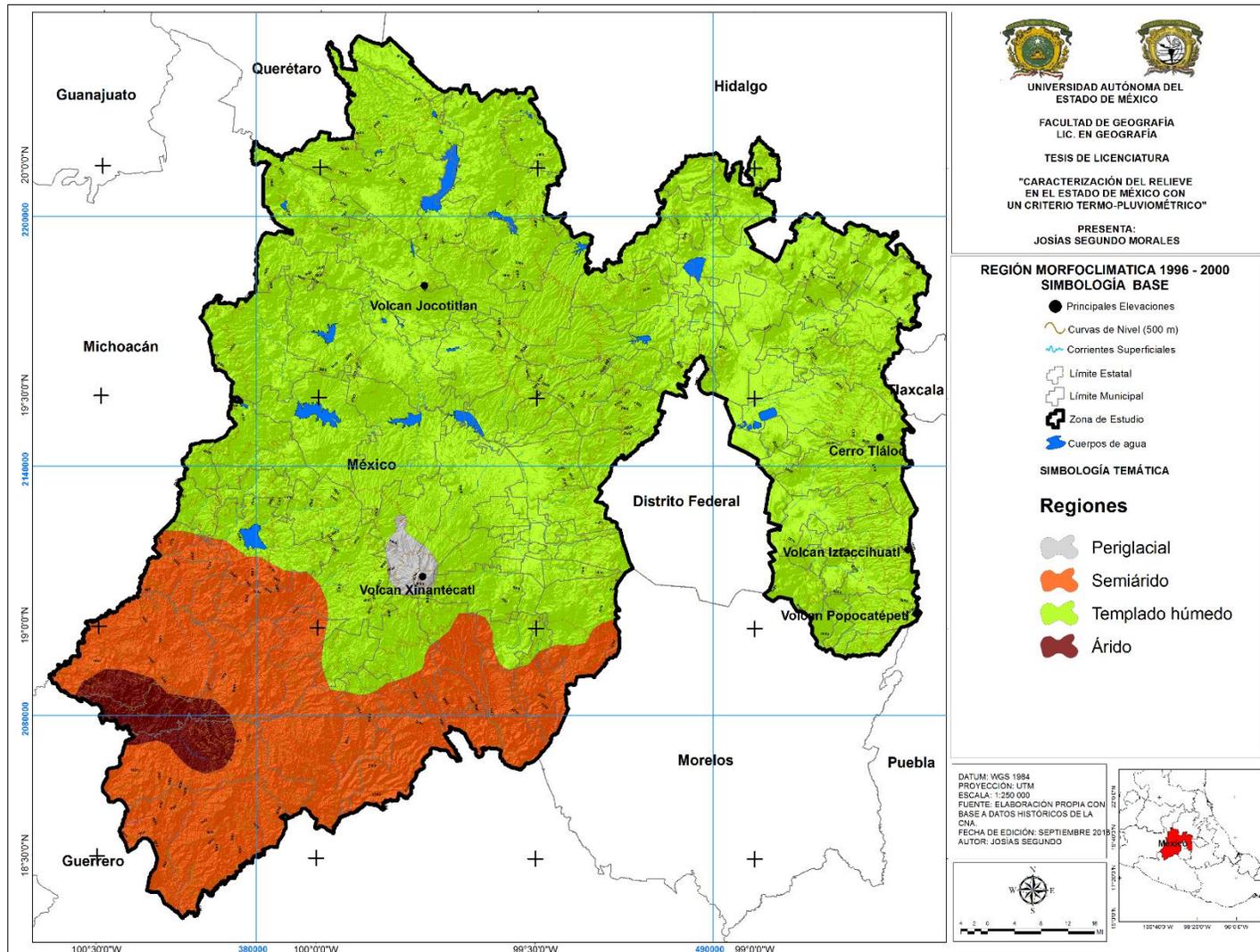


Figura 31: Regiones morfoclimáticas 1990 Estado de México

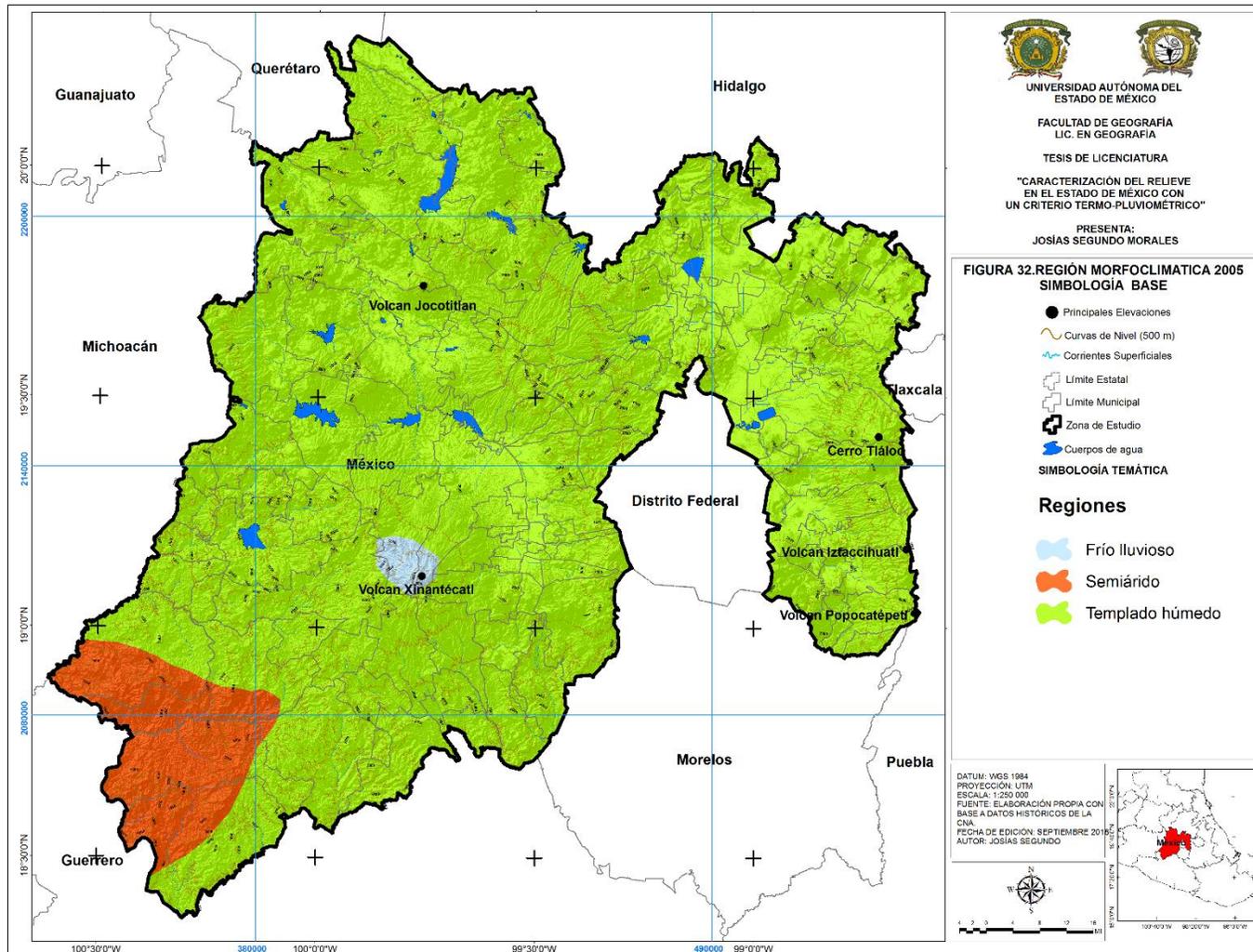
Fuente: Elaboración propia con base a datos históricos de temperatura y precipitación de la CNA.



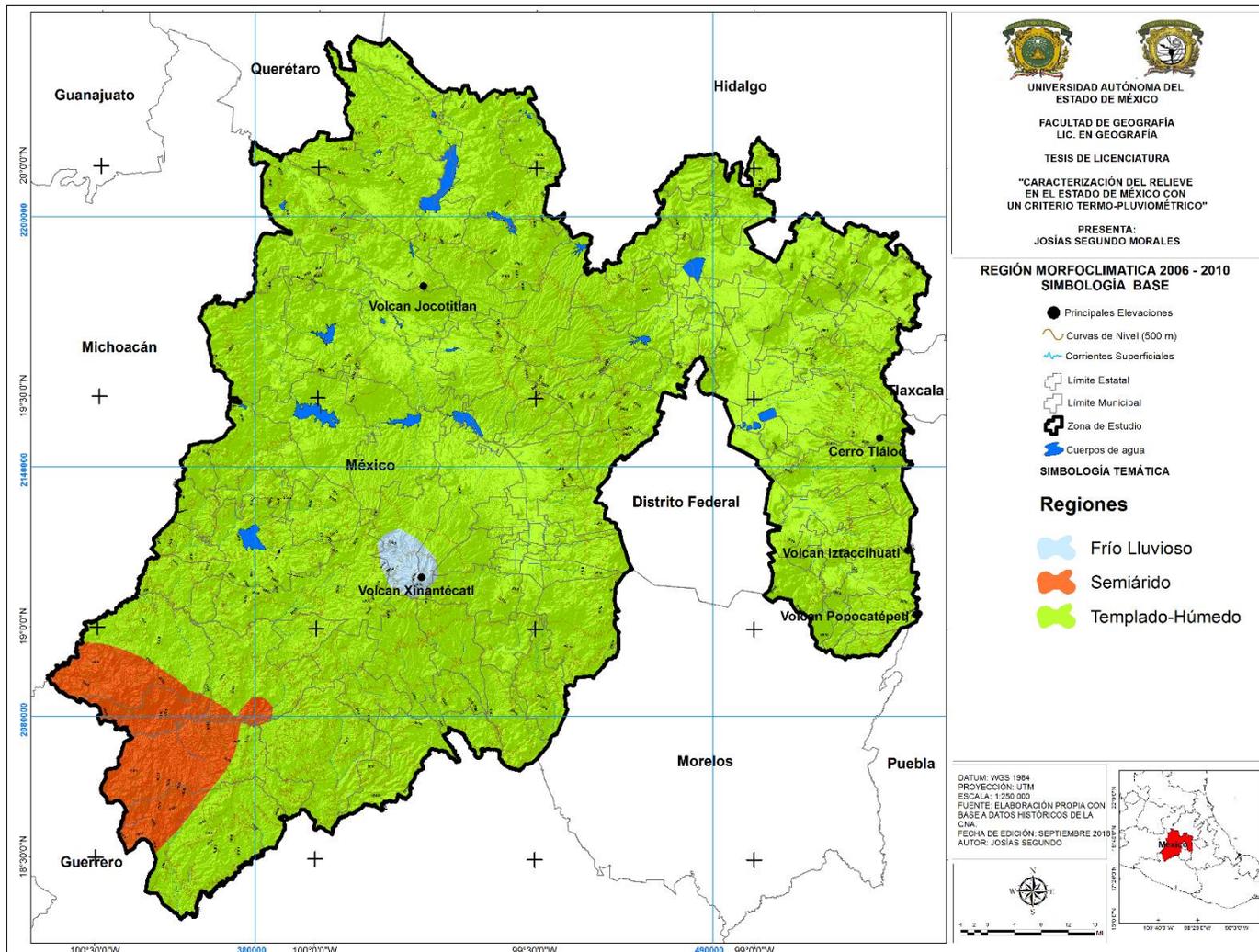
**Figura 32:** Regiones morfoclimáticas 1995 Estado de México  
**Fuente:** Elaboración propia con base a datos históricos de temperatura y precipitación de la CNA.



**Figura 33:** Regiones morfoclimáticas 2000 Estado de México  
**Fuente:** Elaboración propia con base a datos históricos de temperatura y precipitación de la CNA.



**Figura 34:** Regiones morfoclimáticas 2005 Estado de México  
**Fuente:** Elaboración propia con base a datos históricos de temperatura y precipitación de la CNA.



**Figura 35:** Regiones morfoclimáticas 2010 Estado de México  
**Fuente:** Elaboración propia con base a datos históricos de temperatura y precipitación de la CNA.

## Capítulo IV Características de las geoformas en el perfil topográfico

Para una representación gráfica de las regiones Morfoclimáticas se presenta la siguiente tabla el cual detalla el área en kilómetros cuadrados de cada región dividido en 7 periodos ya mencionados de 1980-2010.

Año	Árido	Frío Lluvioso	Periglacial	Semiárido	Templado Húmedo
1980	507.61	1446.58	----	1792.83	18752.93
1985	1925.76	99.91	----	12489.81	7984.47
1990	----	759.47	----	3467.91	18272.57
1995	1218.87	----	358.52	3643.82	17278.74
2000	509.81	----	173.73	5164.44	16651.97
2005	----	153.94	----	1691.92	20654.09
2010	----	167.39	----	1210.70	21121.86

**Tabla 22:** Área (km<sup>2</sup>) de las regiones Morfoclimáticas en el Estado de México en periodos de 5 años 1980-2010. Fuente: Elaboración propia con base a datos de la CNA. (Área Total de la zona de estudio: 22, 499.95 Km<sup>2</sup>). (---- No hubo registro de la región).

En la tabla 22 se observa el dominio de la región morfoclimática Templado Húmedo en todos los años de 1980-2010, esto debido a que el tipo de clima predominante en la entidad es Templado subhúmedo. Esta región se distribuye en la zona centro, noroeste, noreste y este de la entidad, de modo general la topografía de esta región son zonas de planicies, pie de monte y laderas con un rango de altitud de 1000 a 3000 msnm.

La región semiárida se localiza en todos los años en la zona suroeste de la entidad con excepción del año 1985 el cual se extiende con mayor cobertura en la entidad, esto debido a que en ese periodo de años se presentó el fenómeno meteorológico “El niño”, lo que provocó que en mayor parte del territorio nacional en los meses de verano y otoño se elevaran las temperaturas a 22 °C lo que equivale 8°C por encima de la media mensual registrada por el INEGI (2008), lo anterior dio paso a sequías y su distribución fue en parte noroeste, oeste, centro, este y sur del país. Respecto al Estado de México las temperaturas en parte sur, sureste, este y noreste ascendieron cuatro grados por encima de la media anual registrada por el INEGI (2008). Las condiciones de temperatura para esta región van de los 15 a los 32 °C media anual con una precipitación de los 50 hasta los 1524 mm media anual.

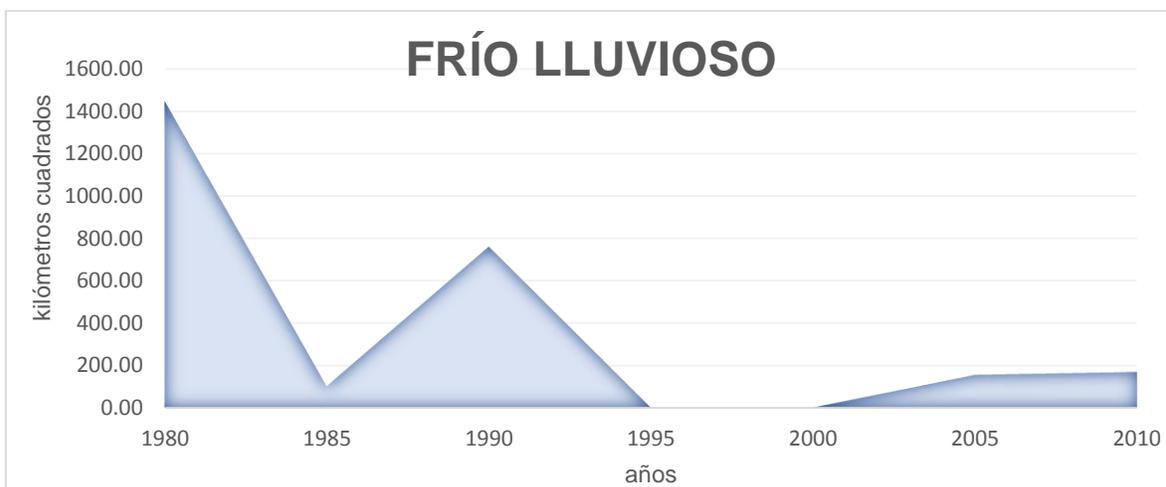
La región árida se localizó en periodos de 1880-1885 y 1995-2000, esta región se localiza en los límites del Estado de México en la zona suroeste colindando con el estado de Guerrero, característico de una temperatura media anual de 23 -32 °C con una precipitación media anual menor a 380 mm, para la zona oeste la región se ubica en los límites de los municipios de Villa Victoria, Villa de Allende y San José del Rincón, y para la zona centro en los límites con la Ciudad de México en los municipios de Ocoyoacac, Lerma y Huixquilucan.

Por último, la región Frio Lluvioso y Periglacial se localizó a partir de 1985 solo en la zona del volcán Xinantécatl, esto por ser una zona de alta montaña con una altitud mayor a los 4500 msnm con una temperatura menor a los 3 °C. otro factor que hace que el volcán mantenga las condiciones frías se debe a que actualmente no presenta actividad volcánica. Para el caso de la región Frio Lluvioso de 1980 su distribución tiene mayor extensión, localizado además del volcán Xinantécatl en la parte oeste y centro del Estado.

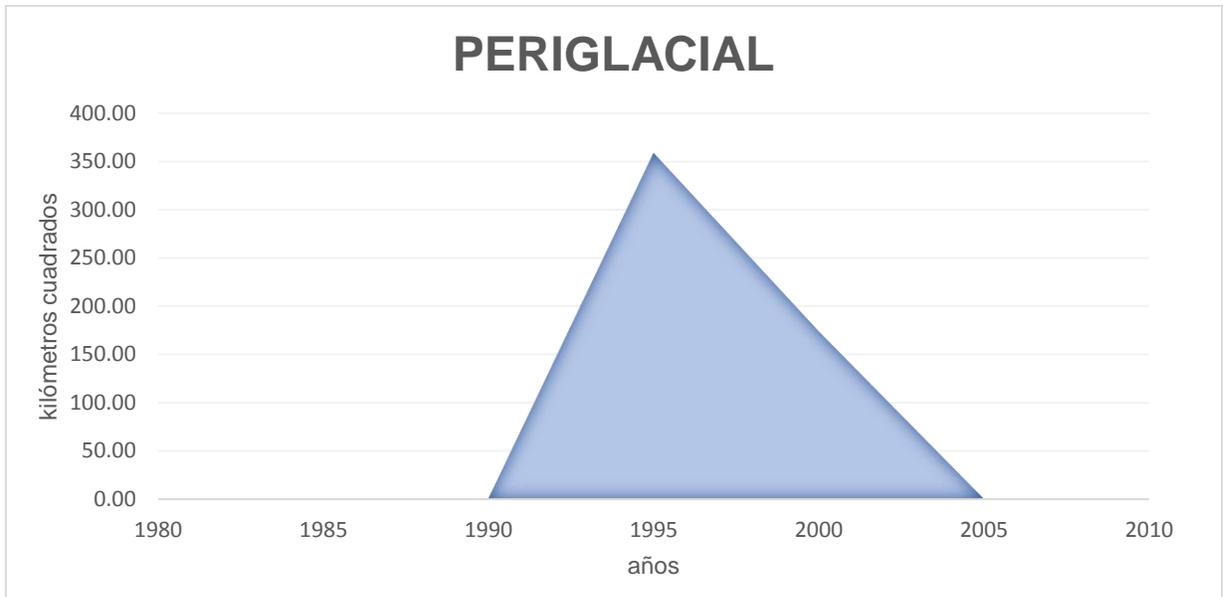
Las siguientes gráficas muestran las coberturas por región morfoclimática en kilómetros cuadrados.



**Gráfica 1:** Área de la región Morfoclimática árido  
**Fuente:** Elaboración propia.

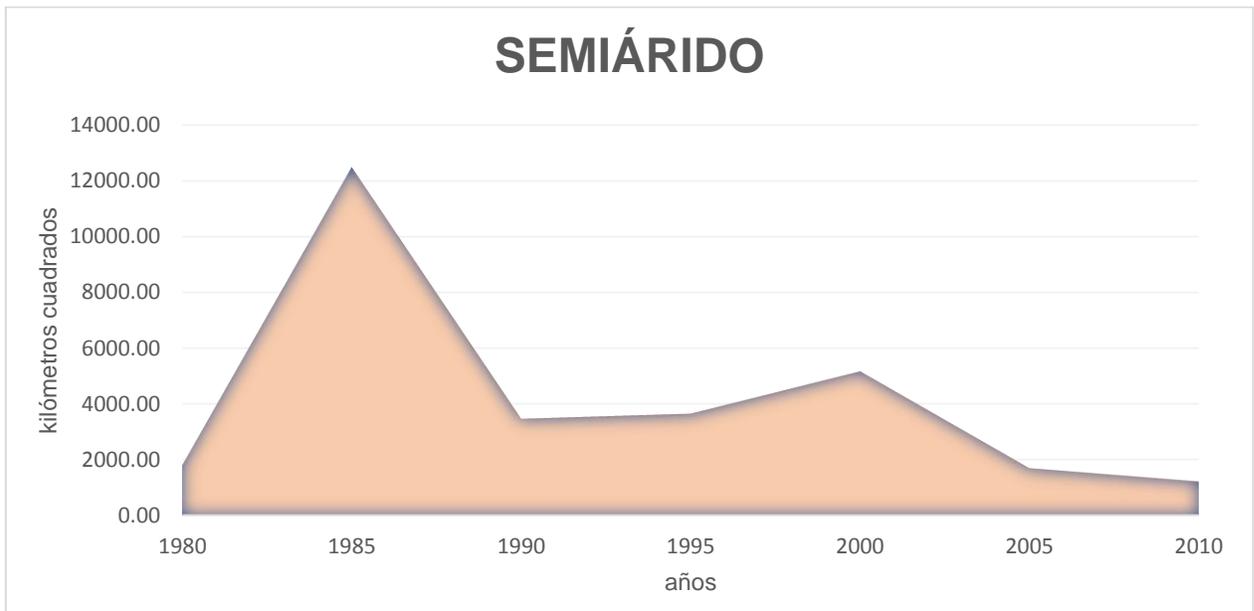


**Gráfica 2:** Área de la región Morfoclimática Frio Lluvioso.  
**Fuente:** Elaboración propia.



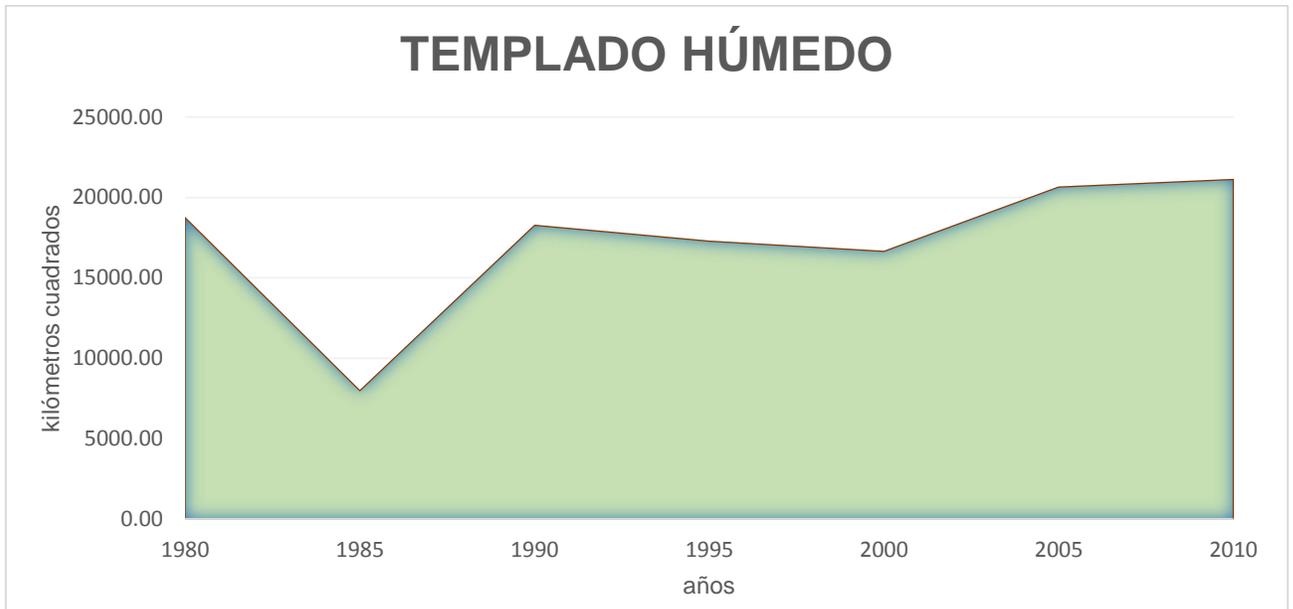
**Gráfica 3:** Área de la región Morfoclimática periglacial

**Fuente:** Elaboración propia.



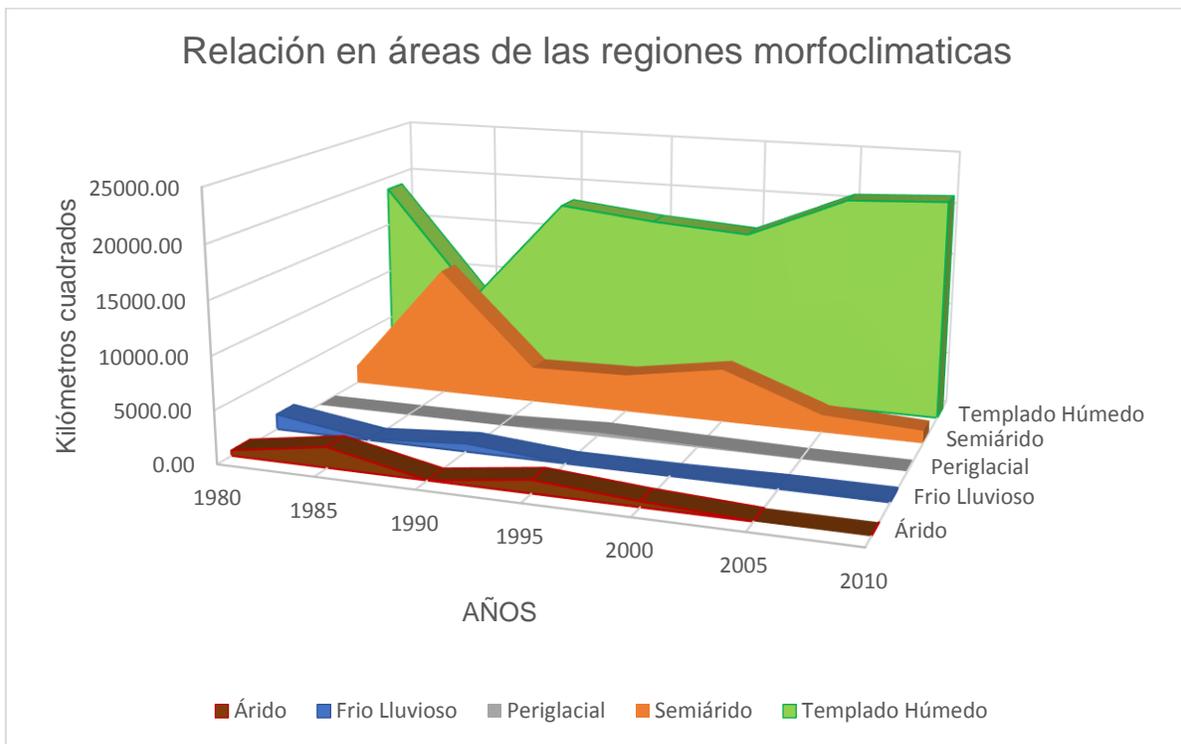
**Gráfica 4:** Área de la región Morfoclimática Semiárido

**Fuente:** Elaboración propia.



**Gráfica 5:** Área de la región Morfoclimática Templado Húmedo.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Gráfica 6:** Relación de las coberturas de las regiones Morfoclimáticas 1980-2010

**Fuente:** Elaboración propia.

Las gráficas anteriores no muestran simetría del relieve (cóncava, convexa o lineal) solo representa su área en kilómetros cuadrados; Las siguientes gráficas muestran el perfil topográfico de cada región morfoclimática del año 2010 de un punto A-A' lo que ayudó a comprender la estructura geomorfológica del relieve, el agente erosivo y el proceso de dicho agente.

Perfil topográfico de la región Morfoclimática semiárido 2010.

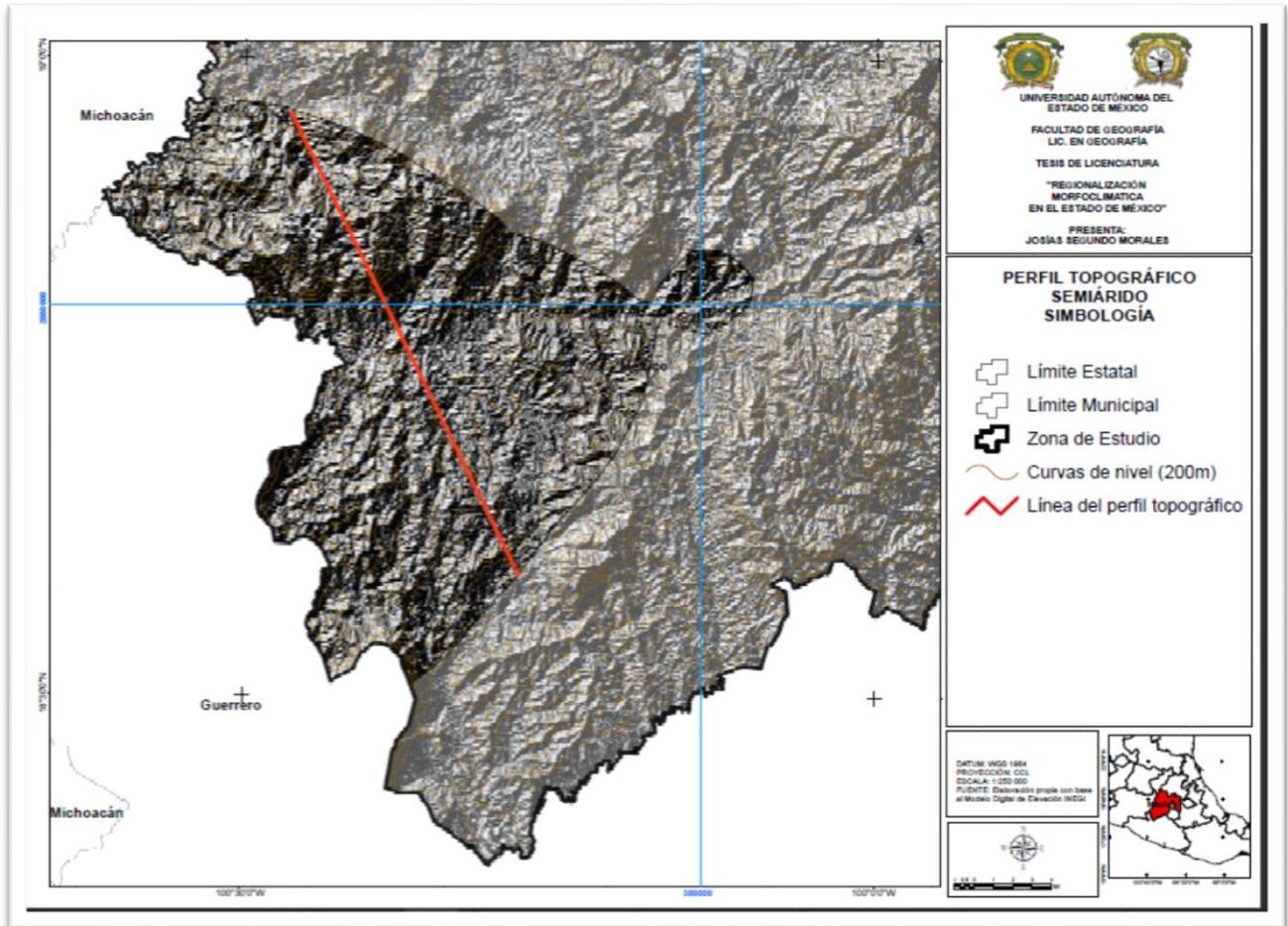
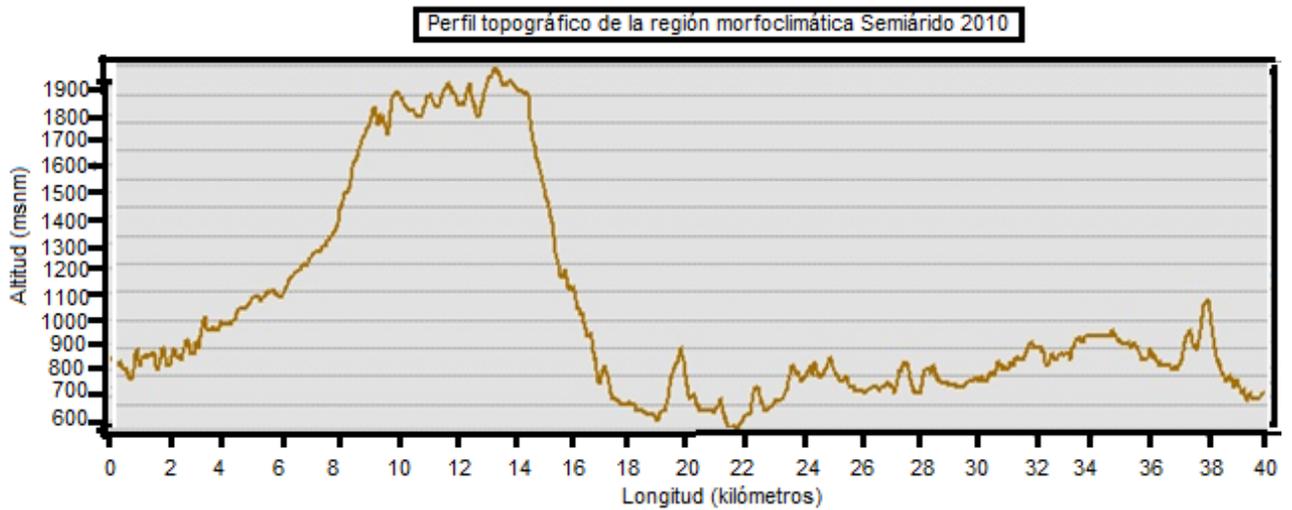


Figura 36: Área designada para el perfil topográfico de la región Semiárido



Gráfica 7: Perfil topográfico de la Región Morfoclimática Semiárido 2010. Fuente: Elaboración propia con base a las curvas de nivel INEGI, escala 1:50 000

La longitud de A-A' es de 44.53 kilómetros partiendo del noroeste al sureste de los límites de la región.

La región morfoclimática Semiárida pertenece a la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, su estructura geológica es: La zona noroeste del perfil se compone de rocas extrusivas como la Andesita y la Riolita esto gracias a la intervención cenozoica del volcán Nevado de Toluca. Para la zona sureste del perfil su composición geológica es metamórfica del mesozoico y la roca predominante es la meta andesita y meta arenisca, debido a que la roca Andesita y Arenisca fueron sometidos a procesos de presión en por medio de la interacción de la placa del Pacífico y Norteamericana, cambiando así sus propiedades químicas y físicas de la roca. La forma del relieve según el mapa geomorfológico es: en la zona noreste de la región donde el predominio son rocas extrusivas ígneas la geoforma predominante son laderas volcánicas sometida a disección pluvial y valles fluviales producto de la escorrentía fluvial dando origen a cárcavas, en tanto la zona sureste hay un predominio de valles aluviales con procesos de acumulación y un sistema de premontaña.

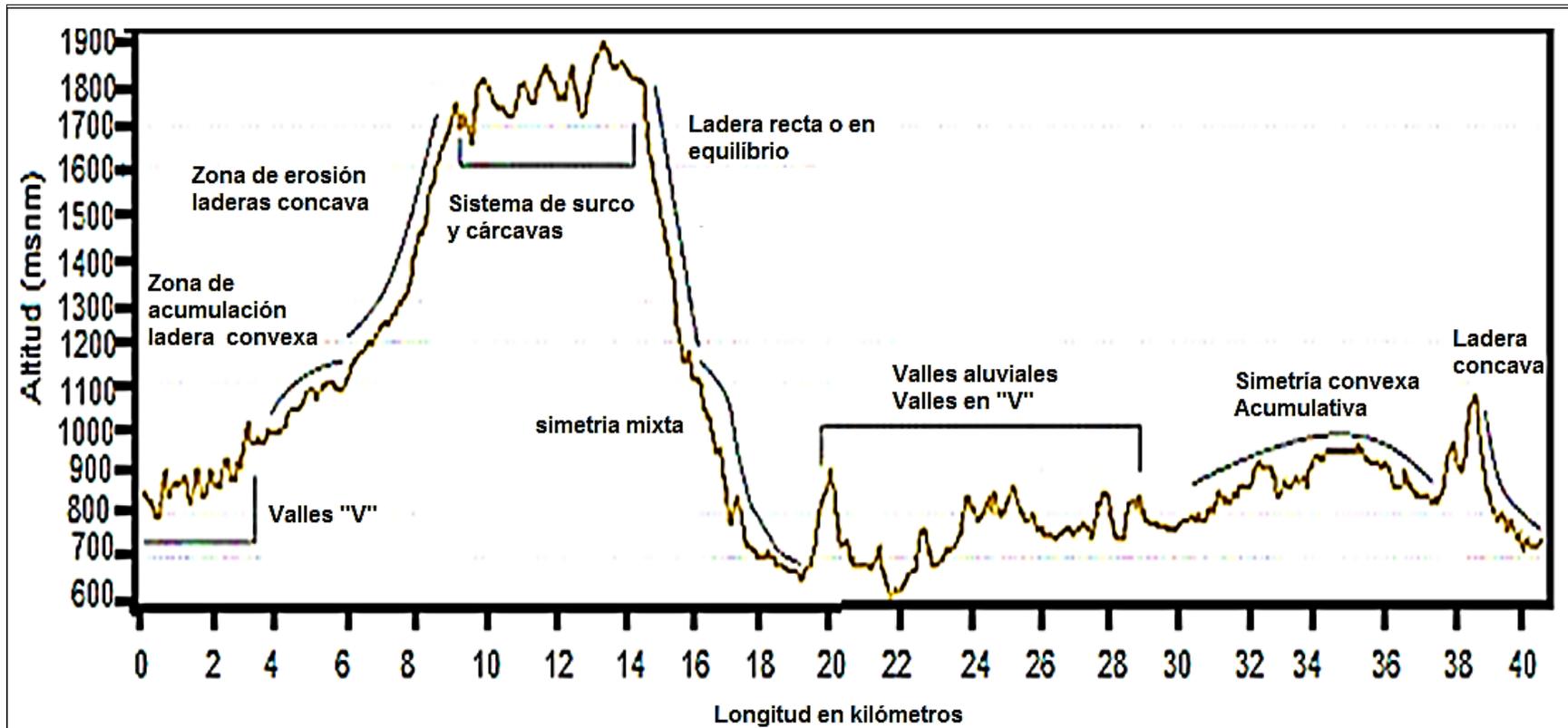
En el perfil topográfico de la gráfica 7 se observar una pendiente de  $45^\circ$  de inclinación con una simetría cóncava resultado de la erosión hídrica en la zona noroeste del perfil. Es importante mencionar que las laderas con simetría cóncava es producto de la erosión por agentes como el viento, agua o hielo o producto de procesos de inestabilidad de laderas como caída de roca o remoción en masa producto de la infiltración del agua en las grietas de la roca lo que provoca inestabilidad en el terreno y como consecuencia se produce un desprendimiento de suelo en la ladera.

La siguiente tabla describe el proceso, agente y forma resultante en que la región Semiárida es sometida.

Sistema geomorfológico del perfil topográfico	Simetría del relieve	Agente erosivo y/o acumulativo	Proceso erosivo y/o acumulativo	Forma resultante
1. Ladera noroeste	Cóncava	Agua (Fluvial)	La erosión pluvial es responsable de la forma cóncava que el relieve presenta hoy en día. Con un tipo de erosión mecánica (desgaste de la roca) consecuencia de la escorrentía superficial y aunado a procesos gravitacionales (deslizamientos o caída de roca). Una vez que el agente erosivo termina el proceso de desgaste, inicia el proceso de transporte (la escorrentía como agente principal para el traslado de las partículas erosionadas) que se puede observar en la zona de laderas en el perfil topográfico. Al terminar el proceso de transporte inicia el de acumulación y sedimentación, esta zona del perfil actualmente se encuentra consolidada y sometida a socavamiento vertical por sistemas pluviales y fluviales dando geoformas particulares de la erosión hídrica (véase gráfica 8).	Cárcavas Valles en V Terrazas fluviales Valles aluviales
2. Ladera principal del parteaguas	Irregular	Escorrentía (parteaguas de la zona 1800 msnm)	La zona de parteaguas es la encargada de dividir los escurrimientos pluviales de acuerdo con la dirección de la pendiente y su velocidad dependerá del grado de inclinación de la topografía y la cubierta vegetal. El agente erosivo es el agua con procesos de socavación con dirección ladera abajo según la pendiente. Esta zona se ubica a los 1800 msnm y corresponde a un sistema de barrancos en la ladera sur del parteaguas y la erosión a través de los escurrimientos actúa de forma lenta porque es donde empiezan a descender de un modo lento y su acción contra la roca y el suelo es físico (pulir la roca según su dureza)	Surcos Cárcavas
3. Sierra disectada (zona centro y sureste del perfil)	Irregular	Agua escurrimientos y sistema pluvial	Por ser una zona con una altitud menor a los 1000 metros sobre el nivel del mar, las rocas predominantes son andesitas y areniscas sometidas a procesos de metamorfismo regional perteneciente a la Sierra Madre del Sur. Esta zona se caracteriza por una presencia dominante de surcos socavados por la erosión pluvial con tendencias a cárcavas y esto depende de la intensidad, duración y periodicidad en que el agente erosivo afecta al relieve.	Cárcavas Valles en V Surcos Piedemonte Abanico aluvial

**Tabla 23:** Descripción geomorfológica de la región morfoclimática semiárido.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Gráfica 8:** Características de la simetría del relieve de la región morfoclimática Semiárido.

**Fuente:** Elaboración propia.

## Perfil topográfico Frio Lluvioso

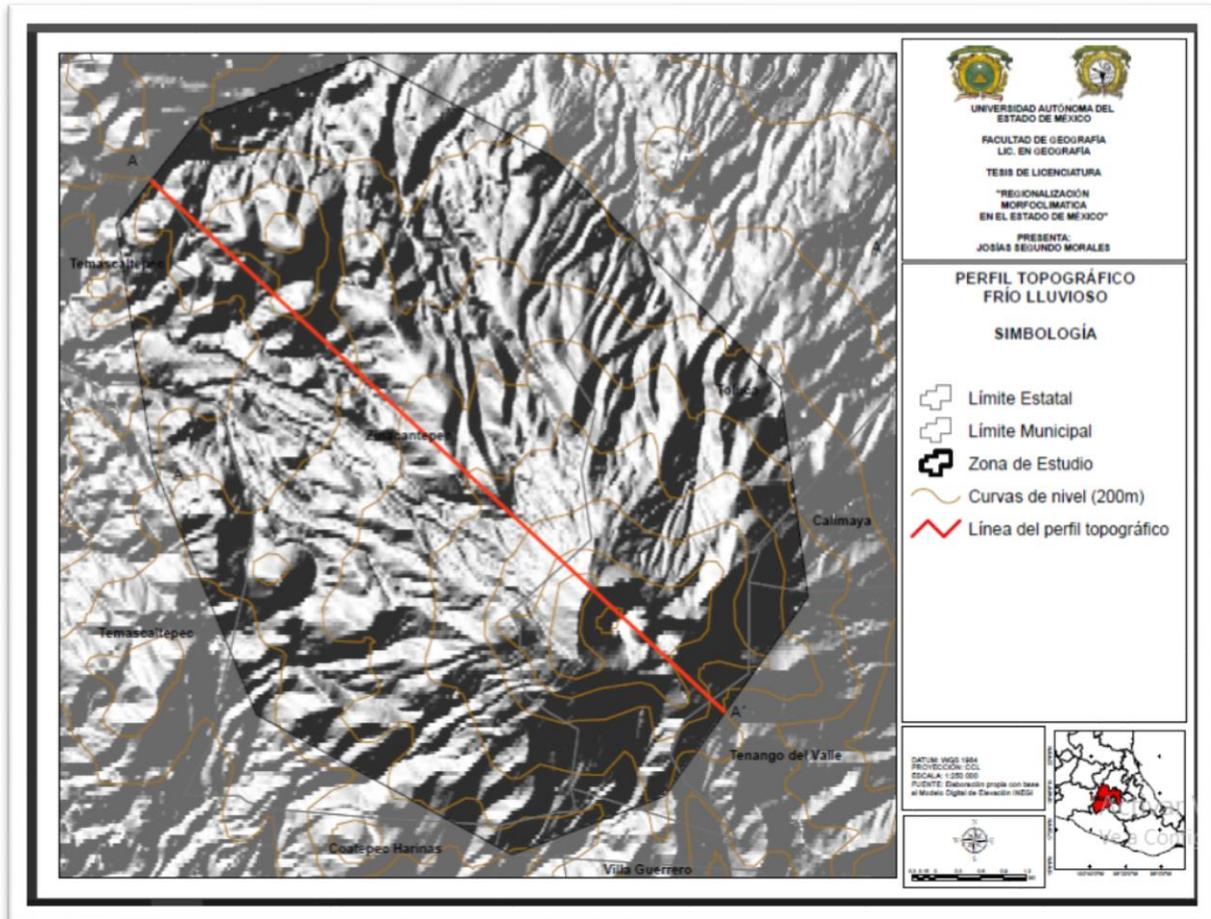
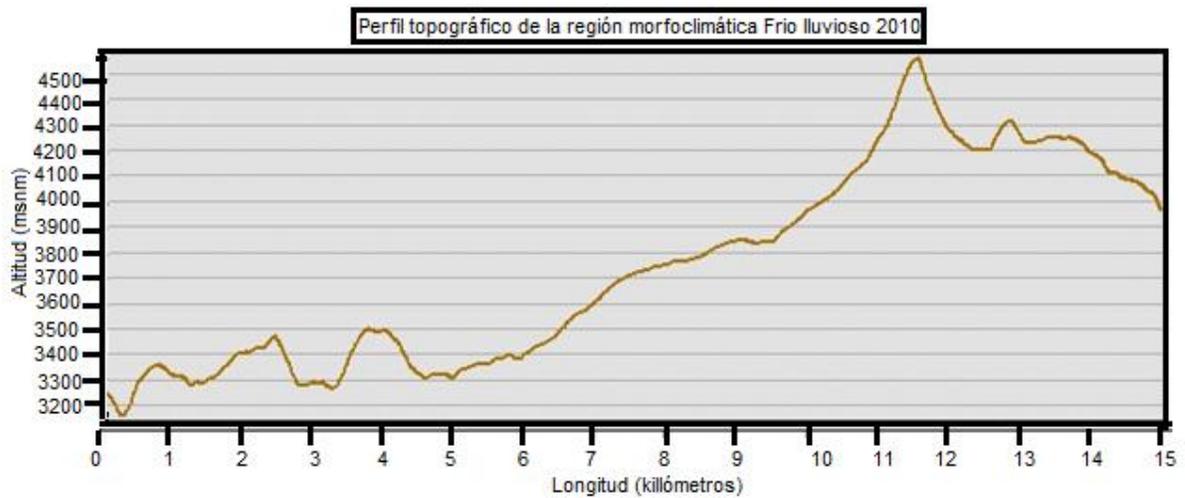


Figura 37: Área designada para el perfil topográfico de la región Frio Lluvioso



Gráfica 9: Perfil topográfico de la Región Morfoclimática Frio Lluvioso 2010. Fuente: Elaboración propia con base a las curvas de nivel INEGI, escala 1:50 000.

Con una longitud de 15.47 kilómetros del noroeste al sureste del volcán, el dominio frío hace que el principal agente que modifica al relieve sea el hielo, en el perfil se aprecia desniveles considerables donde la erosión actúa sobre el relieve. Cabe mencionar que el Nevado de Toluca pertenece al eje volcánico transversal que le da una propiedad de origen volcánico, pero gracias a su altitud (4640 msnm) es una zona de alta montaña con un tipo de clima frío y esta propiedad se mantiene gracias a que el estratovolcán no presenta actividad volcánica actualmente.

Bloomfield (1974) indica que la forma inicial del Nevado de Toluca era similar a la del volcán Popocatepetl; es decir, una estructura simétricamente cónica y la forma actual se debe a la erosión de masivos glaciares que descendieron de la parte alta del volcán socavando sus laderas dando como resultados valles en forma de “U” típicos de la erosión glacial, lo anterior aunado a diversas explosiones volcánicas siendo la última hace aproximadamente 11,600 años dieron origen a la forma actual del volcán. Esto indica la relación que tiene los procesos endógenos como el vulcanismo y los procesos exógenos como la erosión glacial. Por su origen volcánico el material es ígneo en su totalidad (Andosol). El tipo de roca más abundante en el volcán es Pómez de naturaleza dacítica, lahares, fragmentos rocosos ígneos de diversos tamaños y tobas. La dirección del perfil topográfico de esta región es de NO-SE coincide con el sistema de fallas escalonadas localizada en la misma orientación, lo que da paso a un sistema de valles o depresiones y sierras producto del tectonismo local de la zona.

Una vez analizado la parte endógena (construcción del relieve) de la región fría lluviosa pasamos a la parte central de la investigación que es el proceso y agente exógeno que modifica al relieve de la región. El agente encargado de erosionar al relieve en esta región es el hielo, donde las evidencias glaciares se remonta a los primeros periodos de formación del volcán, el cual anteriormente mencionado el volcán tenía una simetría cónica antes de sus eventos volcánicos y sus laderas fueron erosionadas por el paso de los glaciares que descendieron ladera abajo.

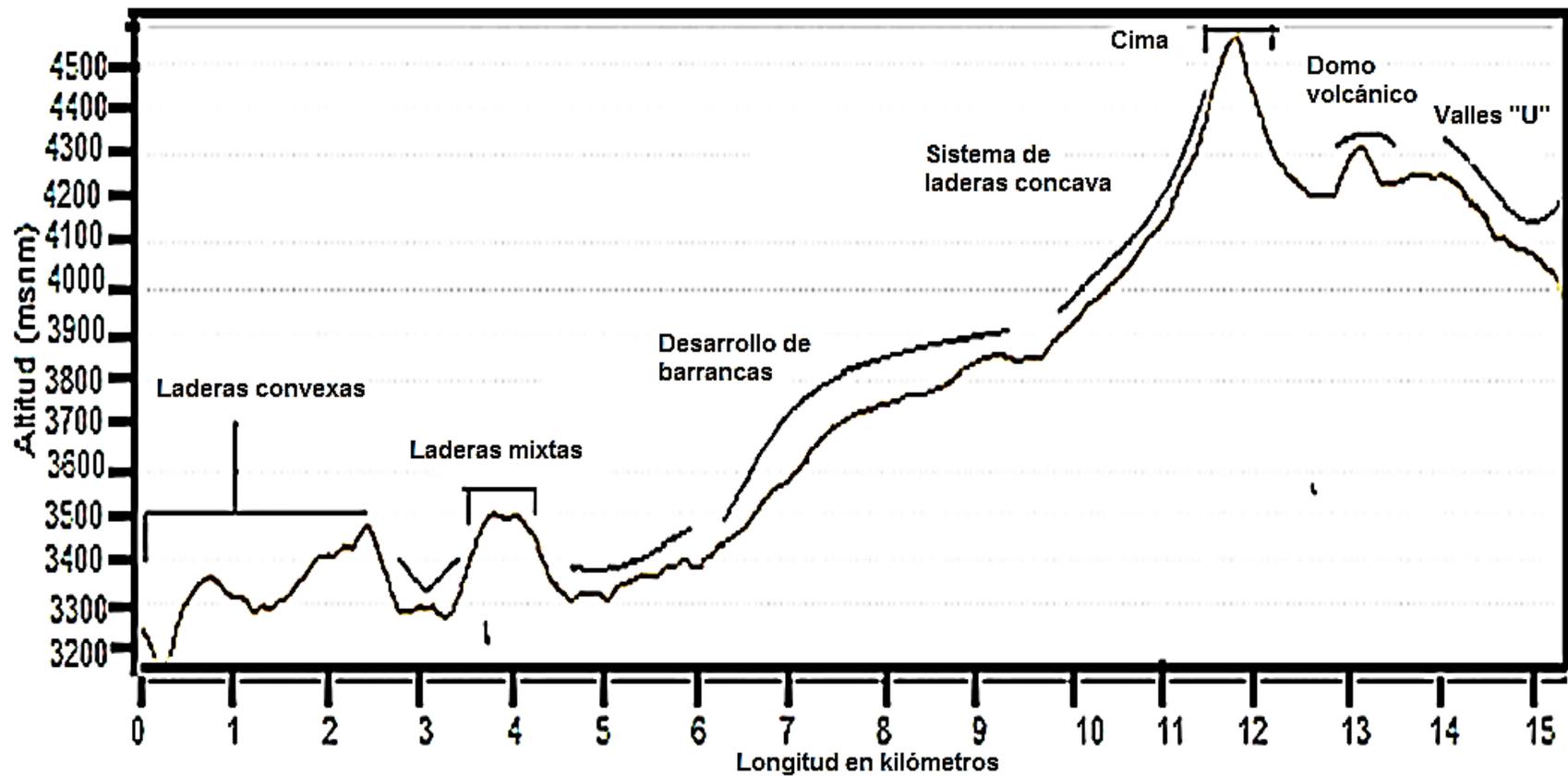
La primera glaciación en el Nevado de Toluca se desarrolló aproximadamente hace 30,000 años y el proceso de erosión provocó a la formación de valles en forma de

“U” en la zona de La Ciénega, El Chiquihuetero y La Cieneguilla. La segunda gran glaciación en el volcán ocurre aproximadamente hace 12,000 años, en esta glaciación ya había ocurrido la explosión volcánica que desprendió la parte superior del volcán Xinantécatl. La acción del hielo en esta glaciación fue la erosión en los bordes de la zona del cono formando aristas en la parte superior del volcán. La tercera glaciación ocurrió entre los 10, 000 y 9, 000 años, el tipo de erosión de este periodo socavó sobre el material pumítico llegando a un piso glacial de origen pleistocénico. El material erosionado en esta glaciación se acumuló en forma de morrenas y terrazas fluviales en el piso altitudinal de 3, 500 a los 2, 800 msnm. La cuarta glaciación ocurrió aproximadamente hace 2, 000 años donde el proceso erosivo-acumulativo más intenso fue sobre los 4, 000 msnm, esto dio como resultado pequeños circos en el interior del volcán. Los glaciares laterales en todos los flancos del volcán se destacan las cañadas localizadas en la zona baja de las crestas y valles en “U” en la zona sur del volcán (Madrigal, 1996).

La siguiente tabla describe el proceso, agente y forma resultante en que la región Frio Lluvioso es sometida.

Sistema geomorfológico del perfil topográfico	Simetría del relieve	Agente erosivo y/o acumulativo	Proceso erosivo y/o acumulativo	Forma resultante
1. Cima	Asimétrica	Hielo	Es la zona de parteaguas del volcán. La cima del volcán es afectada por el hielo afilando su cumbre y con ello la roca se desfragmenta.	Aristas Ladera escarpada
2. Domo volcánico	Cónica	Hielo	Su formación es endógena por los derrames de lava. El tipo de erosión dependerá de la intensidad y duración en el que el hielo actué sobre el relieve.	Domo volcánico
3. Laderas cumbreales	Cóncava	Hielo	Esta zona tiene una composición intermedia-ácida con escasa disección. El principal agente erosivo es el hielo por medio del arrastre de partículas de lahares.	Laderas rectas con glaciares rocoso
4. Laderas de montañas superiores	Mixta	Hielo	Es una zona formada por flujos de materiales intermedios y ácidos. En estas laderas el proceso es erosivo-acumulativo, donde la parte alta de la ladera es erosionada por la combinación del agua descongelada y el suelo (lahares) y transportando el material a piedemonte del volcán.	Escarpes Desarrollo de barrancas Morrenas
5. Laderas de montañas superiores	Recta y convexa	Hielo	Formada por flujos de materiales de materiales intermedios y ácidos con disección fluvial moderada. Es una zona de acumulación producto de los detritos arrastrados por erosión glacial y procesos de inestabilidad de laderas por medio del congelamiento y descongelamiento del suelo.	Morrenas Valles U
6. Ladera noroeste del volcán	Convexa/rectilínea	Hielo y agua	Constituida por derrames y flujos piroclásticos de composición intermedia. La simetría convexa indica que es una zona de acumulación donde el hielo y el agua de manera pluvial o agua descongelada de la cima del volcán arrastran los detritos no consolidados ladera abajo.	Colinas de material no consolidado Laderas convexas Cárcavas Surcos pluviales
7. Rapas de transición	Asimétrica	Hielo y agua	Formado por derrames y flujos piroclásticos de composición intermedia-ácida con disección fluvial moderada. En el perfil se observa la composición de un domo volcánico. El proceso geomorfológico es acumulativo producto del congelamiento y descongelamiento del suelo y de la acumulación de rocas.	Montículos criógenos Domo volcánico Valles V
8. Valles	Asimétrica	Hielo	Los dominios estructurales que presenta esta zona controlan la disección fluvial. Es una zona donde el hielo erosiona al relieve y socava a partir de una elevación de manera lateral y vertical.	Valles en forma "U" Circos

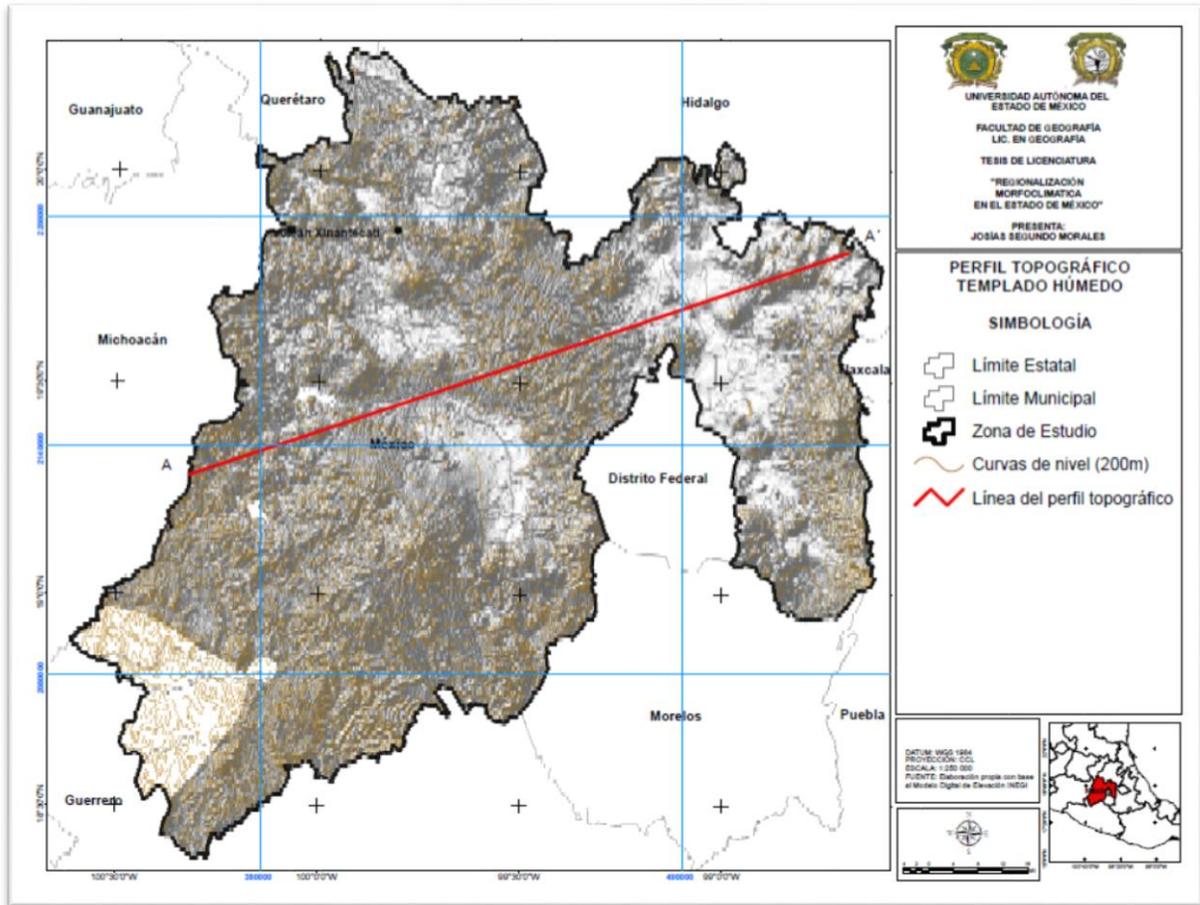
**Tabla 24:** Descripción geomorfológica de la región morfoclimática Frio Lluvioso. **Fuente:** Elaboración propia con base a dato de la carta geomorfológica del Área Natural Protegida Nevado de Toluca (Espinosa y colaboradores, 2014)



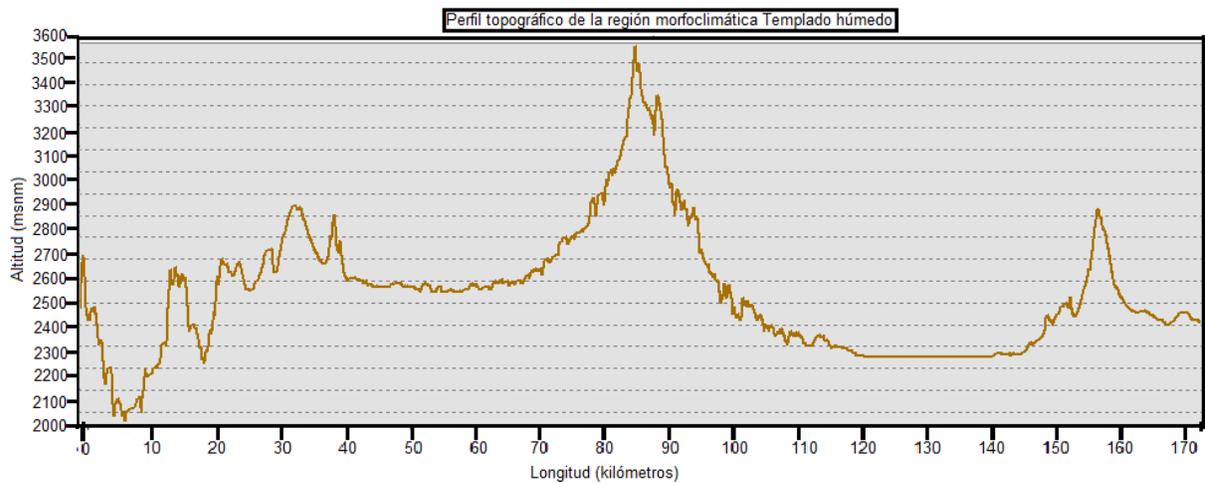
Gráfica 10: Características de la simetría del relieve de la región morfoclimática Frio lluvioso

Fuente: Elaboración propia

## Perfil topográfico Templado Húmedo



**Figura 38:** Área designada para el perfil topográfico de la Región Templado húmedo



**Gráfica 11:** Perfil topográfico de la Región Morfoclimática Templado húmedo. **Fuente:** Elaboración propia con base a las curvas de nivel INEGI, escala 1:50 000

Con 170.25 kilómetros de longitud y una orientación de suroeste al noreste, la región morfoclimática Templado Húmedo tiene la mayor extensión en longitud del perfil topográfico y en área respecto a las dos regiones anteriores.

El perfil inicia al noroeste de la entidad, esta zona pertenece a la subprovincia fisiográfica Mil Cumbres abarcando los municipios de; Ixtapan de Oro, Donato Guerra y Villa de Allende. El perfil topográfico dentro de esta subprovincia (suroeste de la entidad) cubre los primeros 14 kilómetros de longitud del perfil e inicia con un sistema de laderas escarpadas de composición andesítica. Todas las depresiones que el relieve presenta en esta parte del perfil es resultado de la erosión hídrica donde el agente modelador son las corrientes superficiales que socavan de modo lateral y/o vertical. El desgaste de la roca dependerá de la dureza que tenga ante la intervención del desgaste hídrico.

Las paredes verticales que rodean a los valles fluviales en esta zona funcionan como rampas erosivas y los valles como receptores de la erosión (acumulativa).

La segunda parte del perfil topográfico corresponde a la subprovincia fisiográfica Lagos y Volcanes de Anáhuac; esta subprovincia tiene un origen geológico tectovolcánico, esto por ser parte del Eje Volcánico Transversal. Esta zona se caracteriza por ser constituida por rocas volcánicas de todo tipo (extrusivas e intrusivas) y de diferente periodo geológico (Mioceno-Holoceno). La mayor parte de la composición geológica del Estado de México se debe a la intervención de las emanaciones volcánicas del Xinantécatl, Jocotitlán, Popocatepetl e Iztaccíhuatl. Lo anterior consta de dos elevaciones con simetría cónica situada perpendicularmente en la ladera noroeste del volcán Nevado de Toluca aproximadamente 40 kilómetros de distancia, es de composición intermedia (Andesita) del cuaternario. Le sigue una topografía con simetría cóncava (zona de valle de Toluca) con un sistema de piedemonte donde la acción del agua es el agente principal que erosiona esta zona, aunque los asentamientos humanos intervienen en dicho proceso al disminuir el proceso de erosión natural.

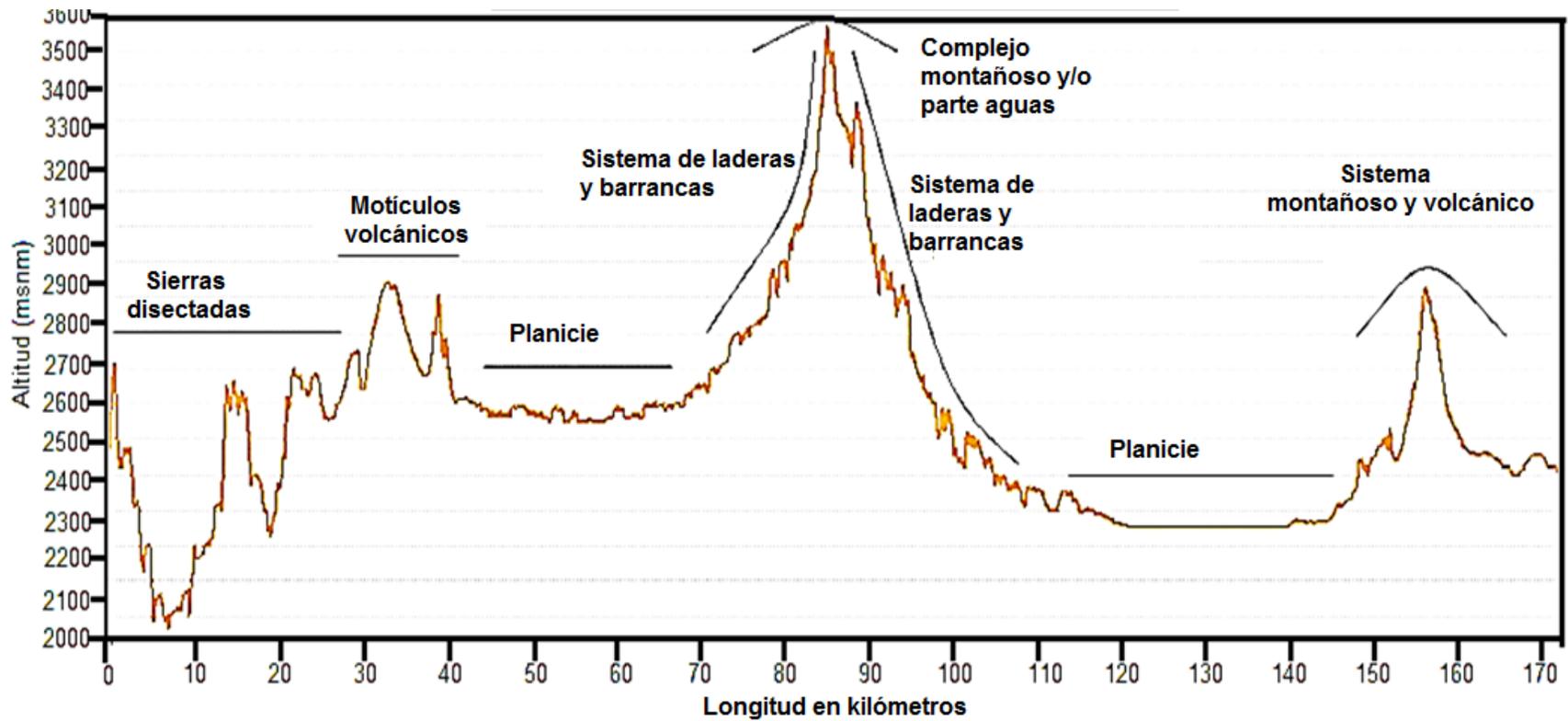
Enseguida le sigue un descenso hasta llegar a los 2, 250 msnm incidiendo con la parte norte de la Ciudad de México y noroeste del Estado de México (planicie o valle), con una simetría en el relieve recta y con un uso de suelo de antrópico esta zona hace referencia que los procesos erosivos sean neutrales o en su caso actúen de modo no dinámico, lo anterior dependerá de la intensidad, duración, frecuencia en que estos dos agentes actúen sobre el relieve.

La última zona de elevación que se aprecia en la ladera este del perfil hace referencia a pequeños montículos cónicos de productos piroclásticos asociados al mismo complejo montañoso de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. El pico más alto de esta zona del perfil asciende hasta los 2, 900 msnm correspondiente a un edificio volcánico del Pleistoceno, esta ladera presenta una rampa cóncava con procesos de erosión hídrica y/o procesos de inestabilidad de laderas que depositan los detritos arrastrados en un valle aluvial.

La siguiente tabla describe el proceso, agente y forma resultante en que la región Templado Húmedo es sometida.

Sistema geomorfológico del perfil topográfico	Simetría del relieve	Agente erosivo y/o acumulativo	Proceso erosivo y/o acumulativo	Forma resultante
1. Sierras disectadas	Asimétrica	Escorrentías origen pluvial	El escurrimiento proveniente del parteaguas es la encargada de erosionar a las laderas de la montaña por medio del desgaste y socavación lateral.	Valles en "V" Cárcavas
2. Sistema volcánico	Cónica	Escurrimiento hídrico	La estructura cónica de este sistema hace que su red de drenaje sea la que desgaste la roca (puliendo). Esta zona se localiza en la parte noroeste del volcán Xinantécatl de formación de producto piroclásticos y procesos endógenos.	Domo volcánico con laderas escarpadas hummocks
3. Planicie	Recta	Eólico y fluvial	Al ser una zona donde los asentamientos humanos cubren la mayor parte de la planicie conlleva a contrarrestan los procesos de erosión, pero al ser una zona rodeada por elevaciones en todos sus flancos es sometido a procesos de acumulación esto es pequeñas partículas trasportadas por el agua y/o vientos provenientes del sistema montañoso.	Surcos fluviales Cárcavas Abanicos aluviales Llanura aluvial hummocks
4. Complejo montañoso	Mixta (cóncava-convexa)	Escorrentías origen pluvial	de Los escurrimientos es el principal proceso de erosión en un sistema montañoso por medio de intemperismo físico esto se refiere a que el agua al infiltrarse en las grietas de la roca para en la noche congelarse y expandir su volumen y fracturar la roca al descongelarse repitiendo este proceso al grado de desprender partículas de la roca e iniciar el proceso de transporte y sedimentación en zona de piedemonte o en valles fluviales.	Rampas erosivas Rampas acumulativas Cárcavas
5. Laderas	Cóncava	Escorrentías origen pluvial	de Las corrientes provenientes del parteaguas socavan las laderas laterales del sistema montañoso al grado de dejar oquedades con una simetría cóncava.	Valles en "V" Barrancos Piedemonte
6. Sistema montañoso volcánico	Mixta (cóncava-convexa)	Escorrentías origen pluvial	de Lo que diferencia este sistema montañoso al complejo montañoso descrito en el punto cuatro es que este sistema está perpendicularmente los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl lo que le da un origen tectovolcánico con material ígneo extrusivo particularmente andesita y basalto del cuaternario, su estructura mixta le da la cualidad de que los materiales erosionados se acumulen dentro del mismo sistema dado a la cercanía de los montículos volcánicos.	Cárcavas Surcos fluviales Valles en "V" Brecha volcánica hummocks

**Tabla 25:** Descripción geomorfológica de la región morfoclimática Templado Húmedo. **Fuente:** Elaboración propia.



**Gráfica 12:** Características de la simetría del relieve de la región morfoclimática Templado húmedo. **Fuente:** Elaboración propia

## Capítulo V Unidades morfoclimáticas en el Estado de México

Las unidades morfoclimáticas son zonas en el relieve generalmente aislados y agrupadas el cual los factores climáticos a actúan sobre él, provocando la modificación en la simetría por medio de la erosión y/o acumulación de las partículas expuestas a factores externos como el agua, hielo y el viento.

La etapa geológica del Estado de México está condicionada por procesos endógenos encargados de generar nuevo relieve y exógenos encargados de desgastarlo. Las formas resultantes particulares y agrupados productos de la acción de los agentes climáticos sobre el relieve son catalogados como unidades morfoclimáticas, por ejemplo: en un clima frío o periglacial el agente modelador es el hielo, en un clima árido será el viento-agua y en el clima templado húmedo será el agua (pluvial y fluvial). En la base teórica consultada los autores no determinan un periodo de tiempo fijo para establecer las unidades morfoclimáticas, todos delimitan regiones morfoclimáticas en base a climas pasados a nivel mundial y su régimen termopluriométrico actual.

En la zona de estudio tiempo aplicado en la metodología son 30 años lo que es insuficiente para que la precipitación y temperatura modifiquen al relieve de un modo exagerado o delimitar unidades morfoclimáticas específicas, esto basado en que todos los autores que delimitaron regiones morfoclimáticas a nivel mundial como;

La geomorfología climática permite definir parámetros para la delimitación de regiones morfoclimáticas como se menciona en el párrafo anterior, pero en el caso de unidades morfoclimáticas los parámetros son distintos a las regiones dado a que es necesario un estudio minucioso y específico de las estructuras del relieve donde las condiciones climáticas le dan a la superficie terrestre una morfología específica propia del agente modelador.

La diferencia entre región morfoclimática y unidad morfoclimática es: El primero consta de un relieve con dominio de grandes eventos climáticos como glaciaciones que modifican al relieve de un modo visible a escalas grandes. El segundo se refiere al relieve con un domino estructural controlados por el clima actual y su régimen

termopluiométrico establecidas en pequeñas escalas (Tricart y Cailleux, 1965; Tricart, 1968).

Las unidades morfoclimáticas en algunos casos tienden a modificarse al paso de los años, esto por cambios en los agentes del clima ya sea por el aumento o decremento de la temperatura o precipitación lo que modifica de modo estructural al relieve, por ejemplo; el volcán Xinantécatl durante su etapa geológica glacial desarrollo geoformas particulares (Valles en U, Circos, Morrenas, entre otros) derivados de un clima antiguo con un proceso intenso de los glaciares hacia el relieve. Actualmente estas geoformas se están modificando por procesos estructurales locales, por ejemplo; procesos de crioclastia sobre la Cima del volcán, erosión vertical en las laderas y sobre los valles en forma de “U” por escurrimientos al descongelarse el hielo o por la precipitación, dando como resultado el desarrollo de valles en forma de “V”. Estas unidades morfoclimáticas se desarrollan de forma aislada en el relieve y en ocasiones agrupadas dependiendo de sus condiciones termopluiométricas, litológicas, edafológicas y la cobertura vegetal de la zona.

Las unidades morfoclimáticas en la entidad se modifican por procesos estructurales actuales; el hielo por proceso de crioclastia, la precipitación y el viento por procesos de erosión mecánica desgastando la roca o el suelo originando un modelado particular.

La geomorfología estructural en la zona de estudio está condicionada bajo tres tipos de climas:

1. Clima Templado húmedo que cubre la mayor parte de la entidad:

El agente erosivo es el agua condicionado por un proceso de erosión hídrica sobre el relieve, dicho proceso se refiere a una disgregación, transporte y acumulación de las partículas del suelo y/o roca por la acción del agua de origen pluvial o fluvial. Los factores que determinan el grado de erosión son; la precipitación, el tipo de suelo, la topografía del relieve y la vegetación, dando como resultados geoformas como: surcos, cárcavas, valles en forma de “V”, barrancos, valles aluviales y deltas.

## 2. Clima semiárido en la zona suroeste del Estado de México:

En un tipo de clima semiárido el proceso estructural encargado de modificar al relieve es el viento, pero en el caso del estado de México el agente modelador es el agua pluvial y fluvial esto por la cobertura vegetal que abunda en la zona. El proceso de erosión se puede dar por medio de goteo de lluvia, laminar, en surcos y en cárcavas.

El proceso de sedimentación de este proceso dependerá de la dirección en la pendiente y laderas en que el agua arrastre las partículas removidas del suelo. Las formas resultantes de este proceso de erosión hídrica son: Cárcavas, Valles en “V”, Surcos, Valles aluviales en el proceso acumulativo de sedimentos, terrazas aluviales por la variación de los niveles del agua en el río socavando de modo vertical o lateral.

## 3. Clima frío o periglacial en la zona superior del área natural protegida “Nevado de Toluca”:

Por último, el proceso estructural predominante en la zona fría o periglacial se llama gelifración que se refiere a un tipo de erosión estructural donde el hielo desfragmenta la roca dando origen a geoformas como Aristas, una vez desfragmentada la roca, las partículas desprendidas descienden por efecto de la gravedad dando origen a una zona de acumulación.

Una geoforma particular de esta zona son los valles en forma de “U”, estos valles se forman por el desplazamiento de grandes masas de hielo socavando al relieve de modo horizontal y vertical en dirección según sea la pendiente.

Las formas que tiene el relieve en un ambiente frío no solo es erosivo también existen geoformas acumulativas, las partículas desprendidas de las paredes de los valles son los materiales que transporta el glacial y al acumularse se forma las denominadas morrenas.

Como se menciona en las tablas 23,24 y 25 los agentes exógenos encargados de modelar al relieve en el Estado de México son tres, por una parte, en la alta montaña superior a los 3 500 msnm el Hielo, en el sistema de barrancas, sierras y planicies

el agua (pluvial y fluvial) y el aire. Cada una de esta con un modelado particular en la superficie terrestre.

El proceso estructural de las unidades morfoclimáticas están condicionadas por procesos locales dependiendo directamente de la intensidad, duración y periodicidad del proceso erosivo, cobertura vegetal y resistencia de la roca. No existe un periodo fijo termopluviométrico para determinar las unidades morfoclimáticas en el relieve, las geoformas actuales se basan en periodos largos de erosión, transporte y sedimentación. La forma actual del relieve permite inferir el proceso por el cual fue sometido teniendo como base su simetría y condiciones climáticas.

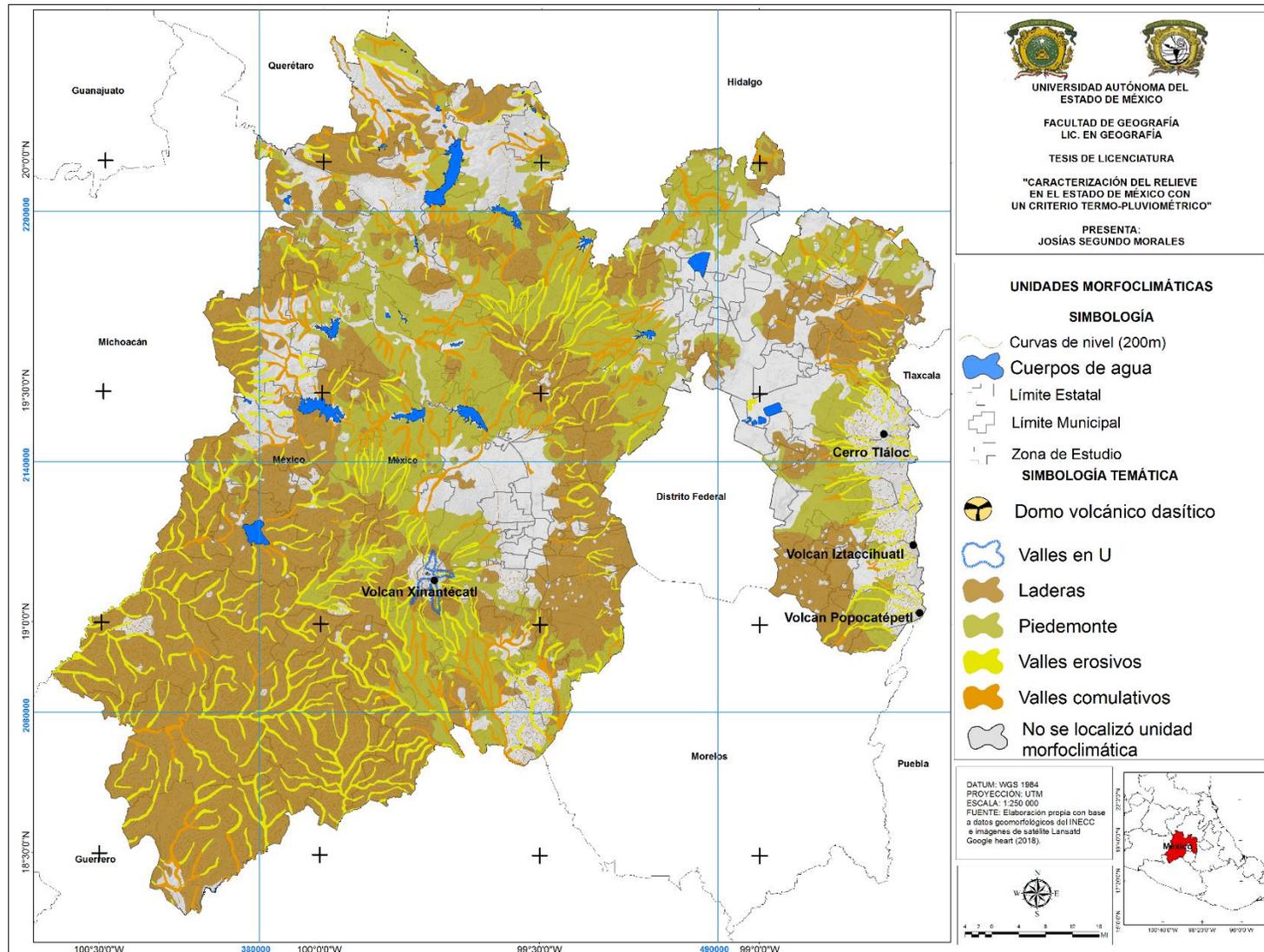
En la siguiente tabla se analizan las unidades morfoclimáticas localizadas en la zona de estudio:

Unidad morfoclimática	Altitud (msnm)	Agente erosivo y/o acumulativo	Caracterización morfoclimática
Cima del volcán Xinantécatl (Cresta)	4, 600	Hielo	Esta unidad pertenece al cráter del volcán Xinantécatl con un origen Cuaternario y de constitución ígnea extrusiva intermedia. El modelado de la Cima tiene forma de Arista producto de su última erupción pliniana en cual tiene una orientación hacia el E. El hielo por su parte modela la cima con un proceso llamado Crioclastia que es un proceso de meteorización física causado por el congelamiento y descongelamiento del agua, esto es, cuando el agua se encuentra en estado líquido se infiltra en las grietas de la roca, al descender la temperatura el agua pasa a estado sólido lo que aumenta su volumen, este proceso al ser constante produce la desintegración de la roca y con ello por procesos de gravedad las partículas desprendidas descienden de la cima del volcán. Este proceso de erosión le da la forma de Arista afiladas en la parte superior del Xinantécatl y esto gracias a la cuarta glaciación hace 2, 000 años (MIV) que se registró en altitudes superiores a los 4,000 msnm del volcán definiendo pequeñas cañadas erosionados por glaciares descendientes de las crestas de la cima del volcán. Existen otros tres periodos de glaciaciones no tan intensas en los últimos 1, 500 años que afectaron solamente las partes más altas del Nevado de Toluca. En esta etapa las geoformas fueron pequeños circos ubicados dentro del cráter.
Valles en forma de "U"	4,000	Glaciares	Los valles en forma de "U" son propios de la erosión glacial. Estos valles son parten del volcán desde su primera glaciación (Glaciación MI de acuerdo con Heine y la Buffalo Stage <i>sensu</i> White). Los valles en "U" más evidentes corresponden a lo que hoy son las cañadas de los arroyos Cano, La Ciénega, Grande, El Chiquhuetero y La Cieneguilla. Estos tenían una forma muy abierta, la cual cubría entre uno y dos kilómetros en la cabecera, y hasta 7 y 12 kilómetros en la base del edificio. La segunda glaciación hace 12, 000 años (MII) el hielo no tuvo la extensión para la generación de valles dado que solo se concentró por encima de los 3000 msnm. La tercera glaciación ocurrió hace 10, 000 años (MII) y se caracterizó por la presencia de glaciares abiertos que erosionaron la cubierta pumítica hasta llegar al basamento de los glaciares más antiguos mostrando una simetría en forma de "U" que corresponde al piso glacial del pleistoceno. La cuarta glaciación hace 2, 000 años (MIV) se registró en altitudes superiores a los 4,000 msnm y su acción fue solo en la cima del volcán. Se localizan pequeños valles en "U" fijados en valles más antiguos en las laderas sur del volcán.
Laderas (disectadas con geometría cóncava. Convexa y mixta)	2,000-3,000	Hielo y/o Agua	Las laderas en el Estado de México tienen simetría diferente y esto depende del agente erosivo y de su intensidad en que este actúe sobre el relieve. El proceso de erosión hídrica en las laderas de la zona montañosa le da al relieve una simetría cóncava y la zona de acumulación le da una simetría convexa. Como se aprecia en los perfiles topográficos anteriores la zona centro, norte y noreste de la entidad son zonas superiores a los 2000 msnm y la geometría de las laderas de toda esta zona dependerá de la cobertura vegetal de las elevaciones. Por ejemplo: Las laderas en las zonas de alta montaña superior a los 3000 msnm que se localizan en el volcán Xinantécatl donde la geometría dependerá de la erosión del hielo. El perfil topográfico de esta zona demuestra que en los pisos altitudinales entre 3500 a los 3900 msnm la geometría de la ladera es convexas y de los 4000 msnm a las 4500 es cóncavas esto es en la zona noroeste del volcán. Por otra parte, las laderas erosionadas por el agua son de geometría más escarpada e irregular como se observa en la asierra de las Cruces y esto dependerá de la resistencia de la roca, cubierta vegetal y periodos de tiempo e intensidad en que el agente exógeno actúe sobre el relieve.
Piedemonte	Altitud definida por el sistema montañoso	Hielo y/o Agua	Espinosa (2003) define al Piedemonte como una superficie marginal a las montañas, de las que se distingue por una pendiente y alturas considerablemente menores. Debido a las condiciones en el que se encuentra, esta zona es propia de acumulación de partículas provenientes de altitudes más elevadas y para el Estado de México esta unidad se localiza en diversos puntos de la entidad, iniciando con el sistema de piedemonte del volcán Xinantécatl que se localiza por debajo de los 3 500 msnm esto a costa de la Tercera glaciación hace 10, 000 años (MII), donde Los materiales de estos glaciares son depositados en morrenas terminales, montículos y terrazas fluvio-glaciares, terrazas morrénicas y otras formaciones en altitudes que oscilan

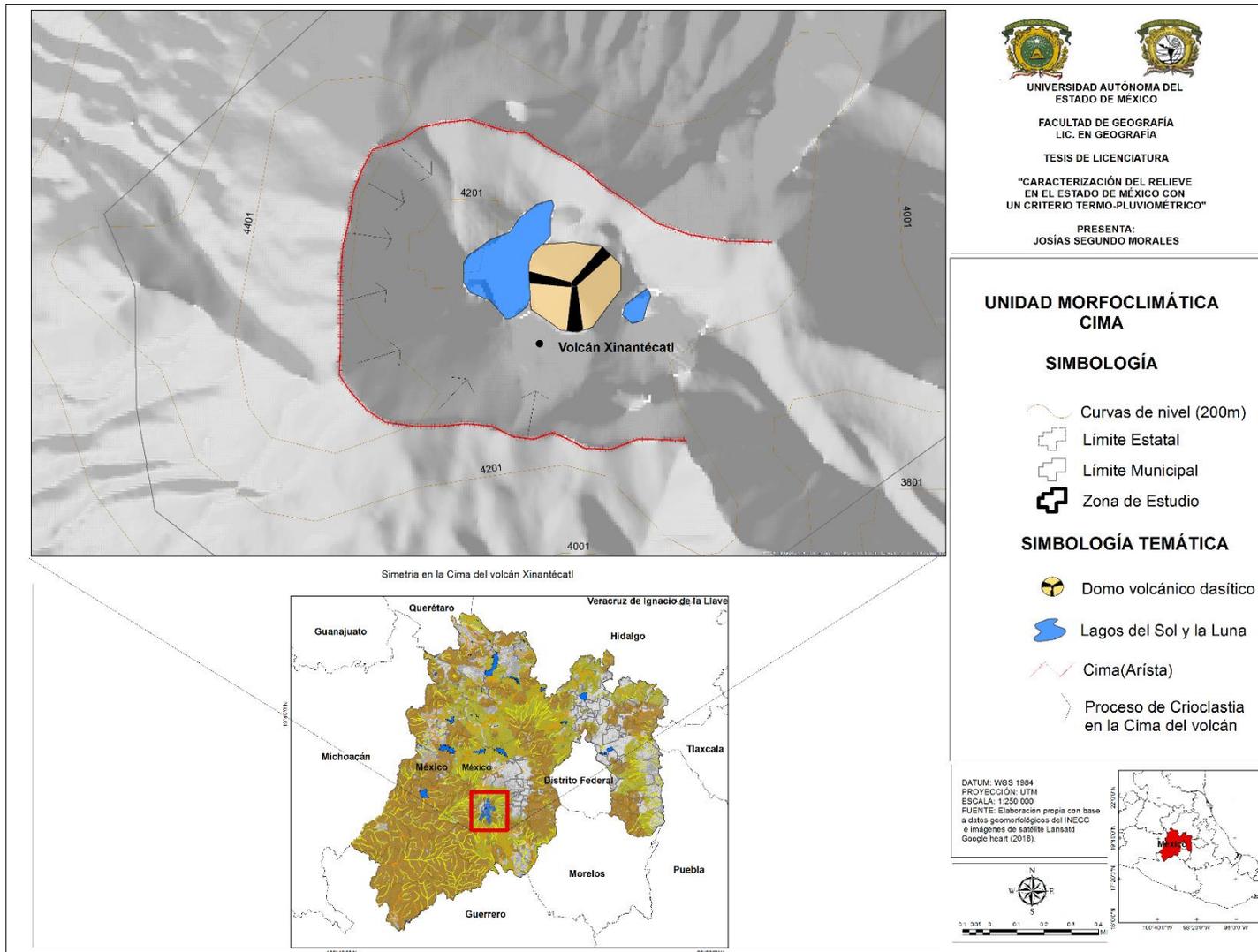
			entre los 3,500 y los 2,800 msnm, identificándose más claramente en las zonas de transición del piedemonte con las llanuras en todos los flancos del volcán. La siguiente unidad de piedemonte representativo de la entidad se localiza en la Sierra de las Cruces por debajo de los 3000 msnm, esta sierra es de constitución volcánica por forma parte del eje volcánico transversal y por ello los sedimentos arrastrados por agentes como el agua para formar el piedemonte son ígneos. La actividad pluviométrica para modificar el relieve es escasa esto por la cubierta vegetal en las laderas de la sierra y porque en la zona de piedemonte se encuentra con actividad antrópica (asentamientos humanos y cultivos temporales).
Valles fluviales "V" (poco desarrollados) Cárcavas Surcos	Altitud definida por el agente erosivo	Agua (pluvial y fluvial)	Los valles en "V" son exclusivos de la erosión hídrica fluvial y se refiere a la socavación vertical del terreno, en cuanto a las Cárcavas y Surcos el proceso es por medio de la erosión pluvial que al descender la lluvia y entrar al sistema de parteaguas inicia el proceso de escurrimiento en las laderas, socavando el terreno de manera menos agresiva que el sistema pluvial y su dirección y velocidad dependerá del grado de inclinación del terreno. El agente modificador del terreno es el agua, en cuanto a las cárcavas y surcos las lluvias en formas de chubascos o torrenciales pueden modificar al suelo no consolidado. En la zona de estudio se aprecia un terreno disectado en la zona sur- suroeste en los municipios de Tlatlaya, Luvianos, Tejupilco por mencionar algunos. Los valles en "V" puede ser acumulativo o erosivo como se muestra en la figura siguiente y esto dependerá de la orientación del terreno y grado-dirección de la pendiente en el que actúe el agua para acumular o erosionar las partículas desprendidas del sistema de laderas.

**Tabla 26:** Análisis de las unidades morfoclimáticas.

**Fuente:** Elaboración propia.

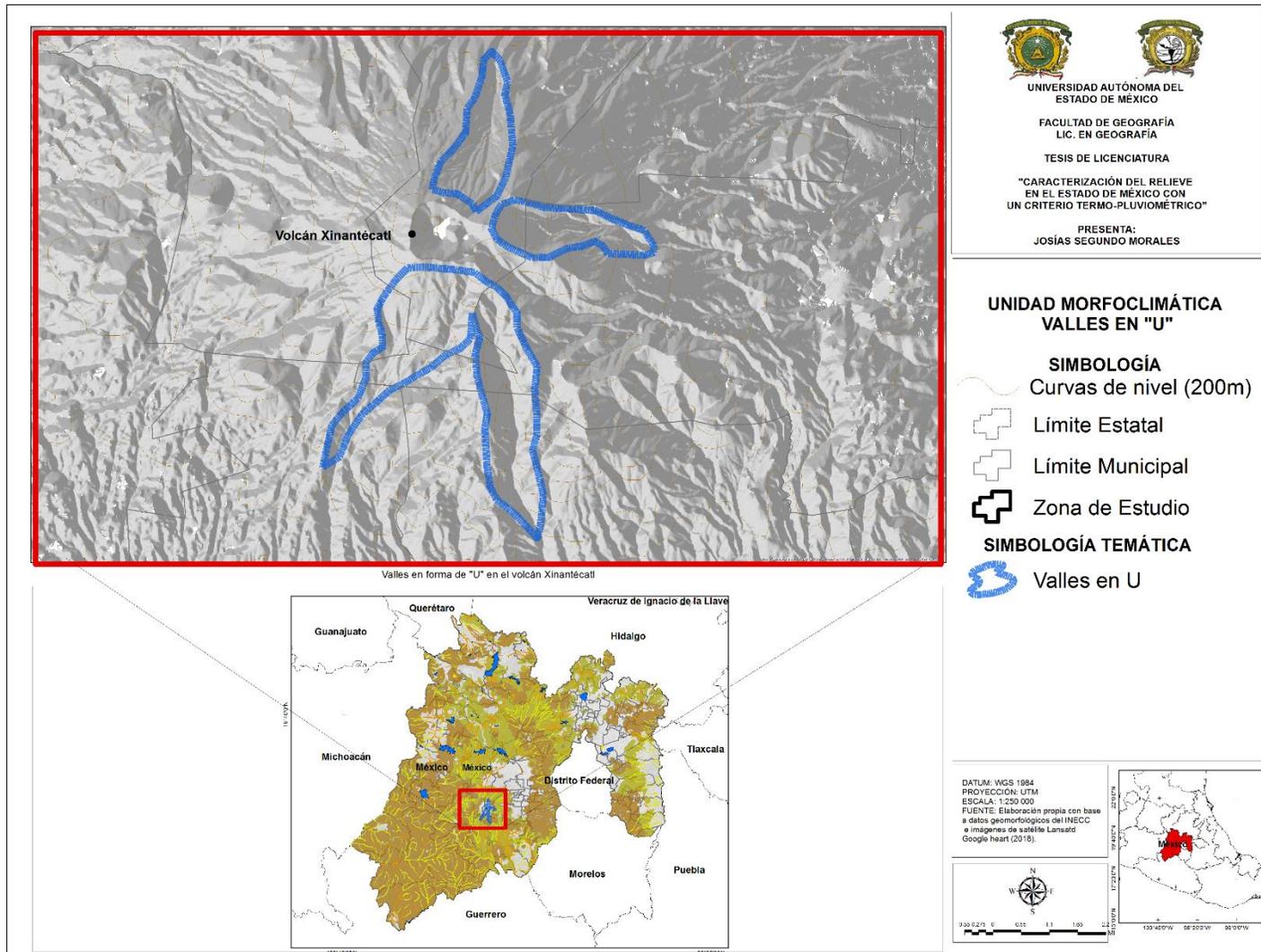


**Figura 39:** Unidades morfoclimáticas Estado de México  
**Fuente:** Elaboración propia con base a datos geomorfológicos del INECC e imágenes de satélite Landsat Google Earth (2018).



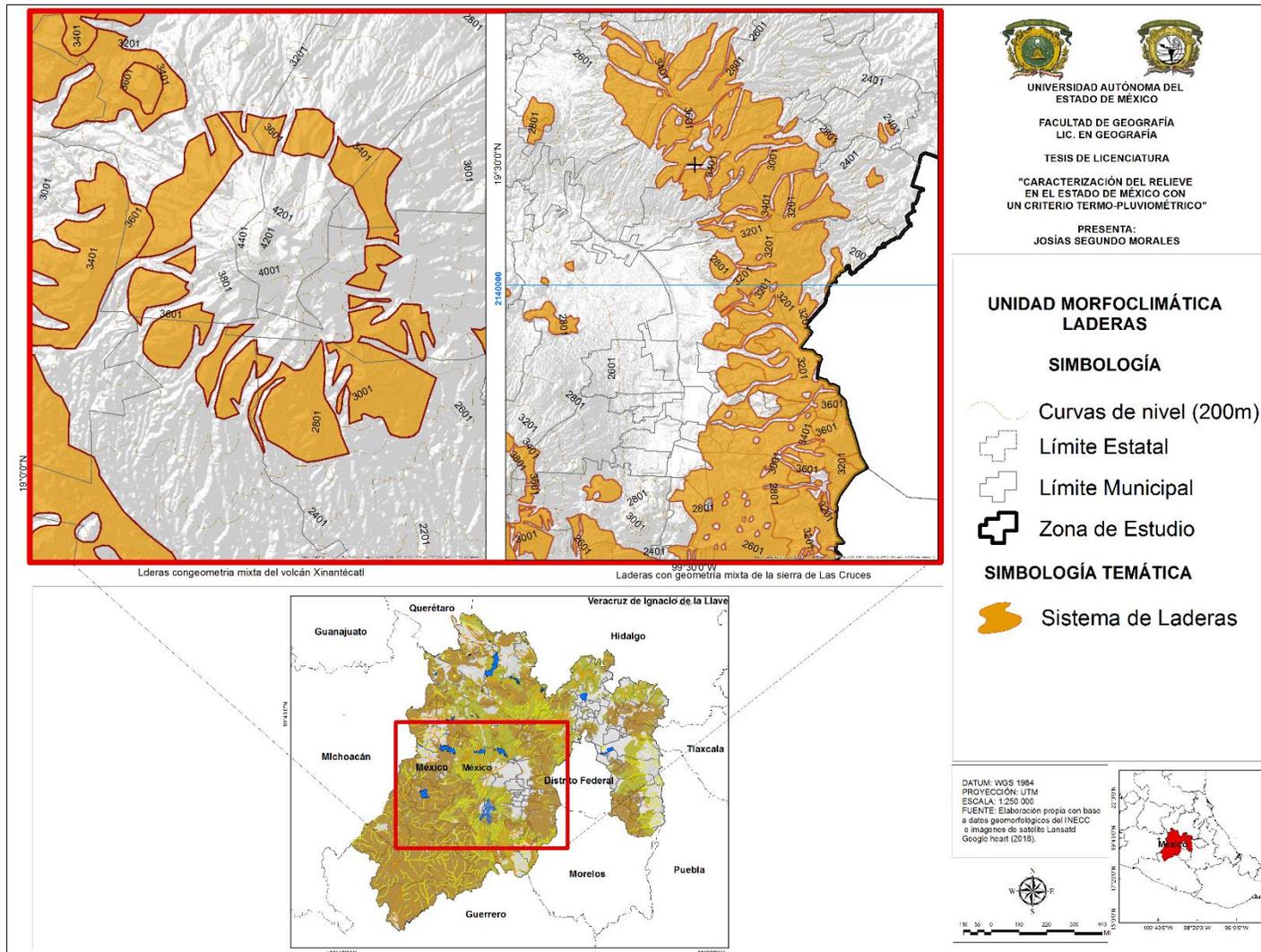
**Figura 40:** Unidad morfoclimática "Cima".

**Fuente:** Elaboración propia con base a datos geomorfológicos del INECC e imágenes de satélite Landsat Google Earth (2018).



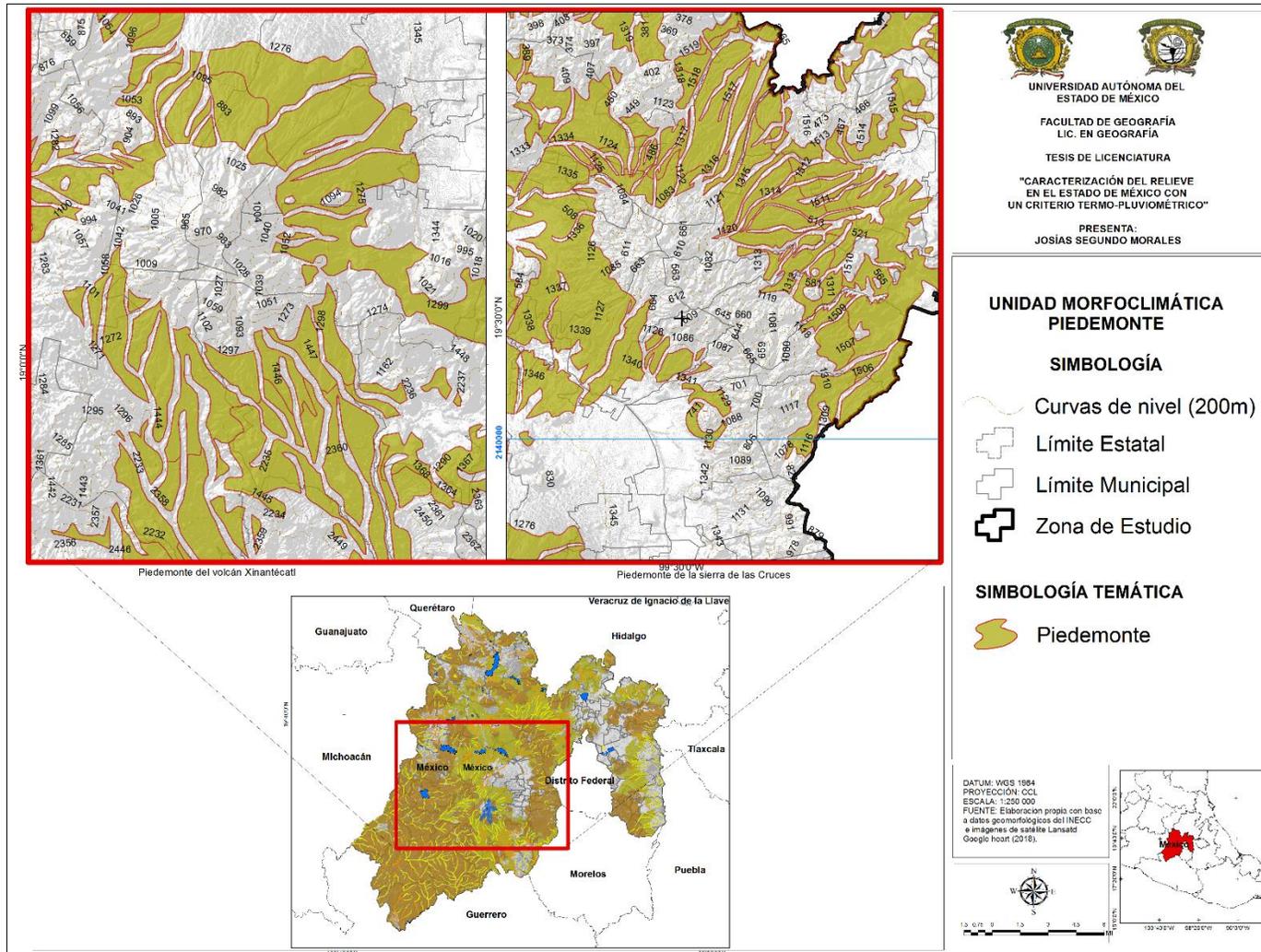
**Figura 41:** Unidad morfoclimática "valles en U"

**Fuente:** Elaboración propia con base a datos geomorfológicos del INECC e imágenes de satélite Landsat Google Earth (2018).



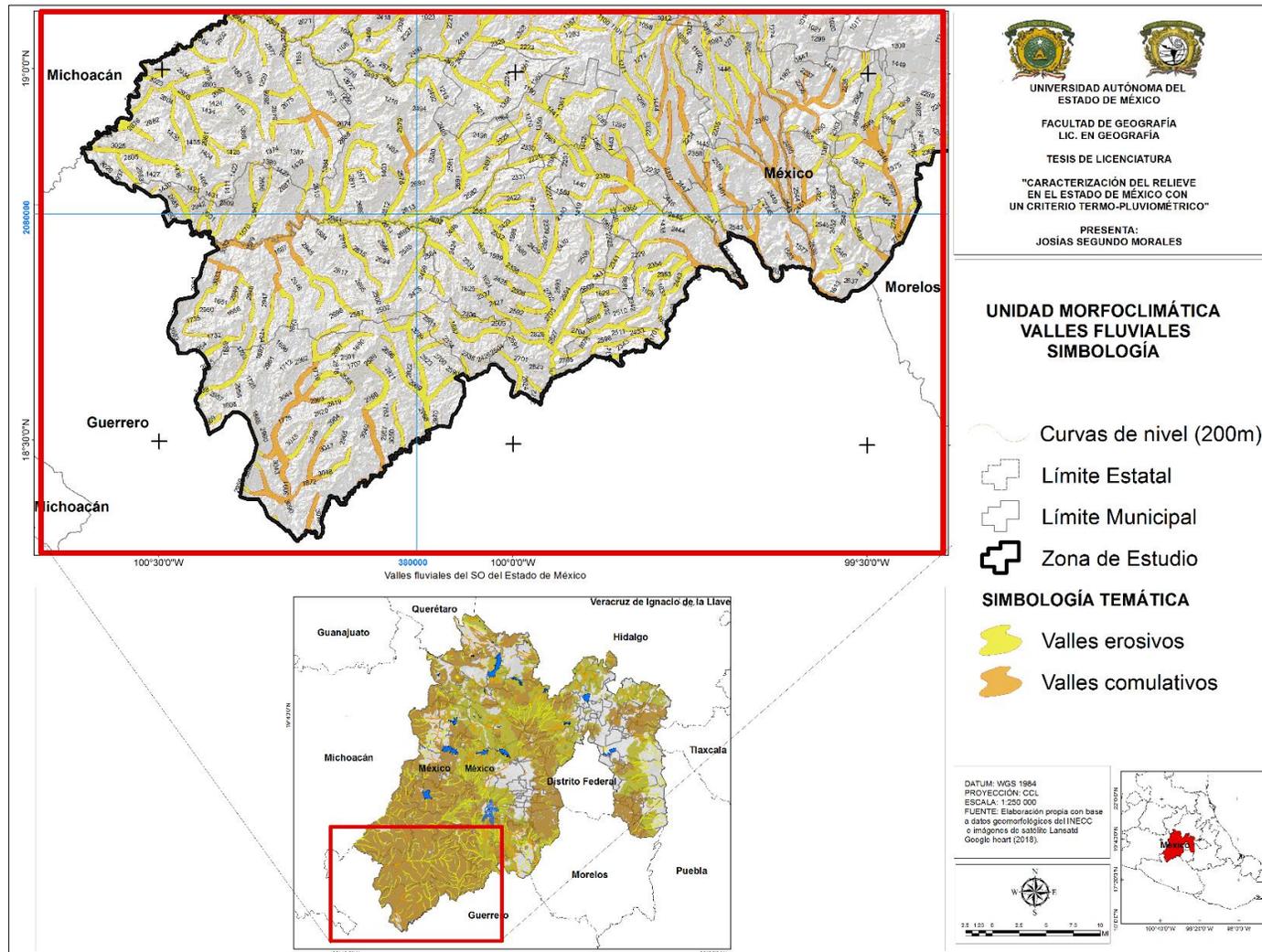
**Figura 42:** Unidad morfoclimática "Laderas"

**Fuente:** Elaboración propia con base a datos geomorfológicos del INECC e imágenes de satélite Landsat Google Earth (2018).



**Figura 43:** Unidad morfoclimática "Pieдемonte"

**Fuente:** Elaboración propia con base a datos geomorfológicos del INECC e imágenes de satélite Landsat Google Earth (2018).



**Figura 44:** Unidad morfoclimática "Valles en V"

**Fuente:** Elaboración propia con base a datos geomorfológicos del INECC e imágenes de satélite Landsat Google Earth (2018).

## Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones

La caracterización del relieve en el Estado de México se basó en identificar regiones morfoclimáticas con base a sus condiciones termopluviométricas aplicando la metodología propuesta por Peltier (1950), Strahler (1965) y Wilson (1968).

Al fijar un periodo de tiempo de 30 años para el análisis termopluviométrico se localizó para el año 1980 cuatro regiones morfoclimáticas que ayudo a caracterizar al relieve, y ellos son: (RM) (Árido, semiárido, templado húmedo y frío). Para el año 1985 se localizó cuatro RM (Árido, semiárido, templado húmedo y frío). En 1990 tres RM (Semiárido, templado húmedo y frío lluvioso). En los periodos de 1995 y 2000 se localizó cuatro regiones morfoclimáticas (Árido, semiárido, templado húmedo y periglacial) el cambio de la región frío lluvioso a periglacial se debe a un descenso de la temperatura de 2 grados centígrados en la cima del volcán Xinantécatl catalogando así a esta zona como una RM periglacial de acuerdo con la metodología aplicada. Para los periodos de los años 2005 y 2010 se localizó en el Estado de México tres RM (Semiárido, templado húmedo y frío lluvioso) las temperaturas en la cima del volcán Xinantécatl se elevaron 1.5 grados al periodo de las RM de 1995 y 2000.

En cada RM se detectó un modelado particular en el relieve reflejado en las Tablas 23, 24 y 25, en el cual cada región le corresponde un agente modelador, el hielo en las regiones morfoclimáticas frío lluvioso y periglacial donde se localizó geoformas como morrenas, valles en formas de “U”, Cima con procesos de crioclastia dando una forma de arista, entre otros. El agua y viento en las regiones árido, semiárido y templado húmedo dando como resultados geoformas como Valles en forma de “V” poco desarrolladas en la zona suroeste de la entidad, sistemas de barrancas, piedemonte, cárcavas, surcos, entre otros.

Los 30 años seleccionados para aplicar la metodología es un periodo donde se localizó homogeneidad y eficiencia en los datos termopluviométricos para el Estado de México. Las unidades morfoclimáticas detectadas en la Tabla 26 no corresponden a lo que la temperatura y precipitación afecto al relieve en los 30 años contemplados en la metodología. Para que la precipitación junto con la temperatura

modifique al relieve es necesario eventos climáticos con mayor intensidad y duración, por ejemplo; eventos de glaciación, lluvias extraordinarias de larga duración y un aumento exponencial de la temperatura con escasas precipitaciones.

Aunado a lo anterior, las unidades morfoclimáticas localizadas como los Valles en formas de “U” se remontan al primer periodo glacial del Nevado de Toluca hace 30, 000 años y a la última glaciación hace 4, 000 años según Bloomfield (1974).

La forma inicial de la cima del volcán es producto de una explosión pliniana que desfragmento al cono volcánico y su simetría en forma de “arista” se debe al proceso de erosión a partir de la segunda glaciación del Nevado de Toluca hace 12, 000 años aproximadamente.

Lo anterior refleja que deben existir eventos climáticos sobresalientes de fuerte intensidad y larga duración que afecte al relieve para dar como resultado geformas particulares sobre el relieve. El análisis de 30 años aplicados en la metodología no es suficiente para que las condiciones termopluiométricas modifiquen al relieve a gran escala.

En los 30 años analizados en el relieve del Estado de México se puede rescatar la actividad estructural local de baja intensidad que se refiere a procesos de erosión en el suelo por lluvias intensas (salpicadura de las gotas de agua), proceso de congelamiento y descongelamiento provocando diaclasas (grietas en las rocas al infiltrar el agua en la roca) en el relieve del Estado de México desfragmentando a la roca ya sea en el sistema de ladera o de alta montaña.

La caracterización del relieve analizado desde una perspectiva geográfica representa una visión holística contribuyendo en la localización, distribución y evolución de las distintas unidades morfológicas. Con la ayuda de las regiones y unidades morfoclimáticas se detectó las características del relieve en la entidad. El análisis de la geomorfología y agentes climáticos conlleva a un estudio múltiple relacionando dos variables la morfología del Estado de México y los parámetros termopluiométricos, dando como resultado una caracterización del relieve desde una perspectiva termo-pluiométrica.

## Fuentes Consultadas

- 1) Ahnert, F. (1996). *Introduction to Geomorphology*. Arnold, Londres (352 p.).
- 2) Vivó, J. (1987). *Geografía física*. Amazonas; México DF (231 p.).
- 3) Anderson, E. (1951). *The dynamics of Faulting*. Oliver and Boyd, Edimburgo, 2ª. Ed.
- 4) Atlas del Estado de México, (1992). Gobierno del Estado de México; Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México.
- 5) IEECC. (2006). Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático. Atlas de Riesgos Ante el Cambio Climático, "Geomorfología, Escala 1:300 000. Estado de México
- 6) Aznar, E. (2016). *Datación absoluta*. Facultad de Ciencias.
- 7) Bonewitz, R. (2013). *Guías de la naturaleza Rocas y minerales*. Omega S.A. Barcelona (256-333).
- 8) Bloomfield, K. (1974). "Reconocimiento geológico en el Nevado de Toluca". Geo UNAM. Serie divulgación No. 2. México.
- 9) Brinkmann, R. (1994). *Compendio de geología general*. Labor, S.A. Barcelona (8 p.)
- 10) Büdel, J. (1968). *Geomorphology-Principles*. En: Fairbridge, R.W. (1968). *The Encyclopedia of Geomorphology*. Dowden, Hutchinson and Ros, Stroudsburg, (416-422 p.)
- 11) Candel, R. y Fernández, L. (1972). *Historia Natural*; Instituto de Gallach, Ediciones, S.L. Barcelona, Tomo IV. (261 p.)
- 12) Capel, H. (1981) *Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea*, Barcanova, Barcelona.
- 13) Chow, V.T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology. A Compendium of Water Resources Technology*, Mc Graw.Hill Book Company, New York.
- 14) Delgado, H. (1996). *Los glaciares del Popocatepetl: ¿huéspedes efímeros de la montaña?* Ciencias, núm. 41, enero-marzo, (24- 32 p).
- 15) De Cserna, Z. y C. Fries Jr., (1981). *Geología de los Estados de Guerrero, México y Morelos*. Instituto de Geología de la UNAM., México.

- 16)D. Sitter, L. (1976). *Geología estructural*. Omega, S.A. Barcelona (121 p.)
- 17)D. Günter, (2003). *Meteorología*. Omega S.A. Barcelona (70 p).
- 18)De Pedraza, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Rueda, Madrid.
- 19)Derruau, M. (1981). *Geomorfología*. Universidad de Barcelona, Ariel, S.A.
- 20)Duque, G. (2016). *Geología estructural*. Universidad Nacional de Colombia. pdf: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>. (255 p).
- 21)Espinosa. L. (2001). *Geomorfología del Noreste del Nevado del Toluca*, México. Tesis para optar por el grado de Maestro en Geografía, división de estudios de Posgrado, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, D.F.
- 22)Espinosa. L. (2003). *Elementos geomorfológico-cuantitativos del piedemonte nororiental del volcán Nevado de Toluca*. Universidad Autónoma del Estado de México; Ciencia Ergo Sum, vol. 10, núm. 2.
- 23)Espinosa, L. (2009). *Fundamentación teórico-metodológica del cuerpo académico Análisis Geográfico Regional*. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- 24)Espinosa, L. (2014). *Geomorfología del ANP Nevado de Toluca*, Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía.
- 25) FitzPatrick, E. (1996). *Introducción a la ciencia de los suelos*. Trillas, México (179-204).
- 26)García, E. (1986). *Apuntes de climatología*. UNAM, México D.F. (7 p).
- 27)Gasca, J. (2009) *Geografía Regional. La región, la regionalización y el desarrollo regional en México*. Temas selectos de Geografía de México, UNAM: IG, México.
- 28)Gigch, J. (1987). *Teoría General de Sistemas*. 2ª ed. México. Trillas
- 29)Gutiérrez, M. (2001). *Geomorfología Climática*. Omega, Barcelona (3 p.)
- 30)Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson, Madrid, España (285-565 p.)
- 31)INEGI (2014), *Guía de interpretación de la cartografía Edafológica*, Escala 1:250 000, Serie III. México.

- 32) INEGI (2015), Encuesta intercensal por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- 33) Inzunza, J. (2006). *Humedad en la atmosfera*. Meteorología descriptiva pdf.
- 34) Köppen, W. (1987). *Climatología*. Fondo de Cultura Económica. México
- 35) Lopes de Sousa, M. (2013) *Os conceitos fundamentais da pesquisa sócio espacial*, Bertrand, Rio de Janeiro.
- 36) Lugo. J. (1989). Diccionario geomorfológico. Instituto de Geografía. Coordinación de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, CDMX.)
- 37) Lugo. J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*, Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto de Geografía, UNAM, (76, 359 p
- 38) M. Galochet. (2009). *El medio ambiente en el pensamiento geográfico francés: fundamentos epistemológicos y posiciones científicas*. Université d'Artois.
- 39) Madrigal, D. (1996). "Geomorfología glacial y periglacial del Nevado de Toluca". Ciencias de la tierra y de la atmosfera; Vol 3, (Pag 95-100).
- 40) Maderey L. (2005). Principios de Hidrogeografía Estudios del Ciclo Hidrológico. Instituto de Geografía, UNAM, (43-85 p.)
- 41) Martínez, J. y Senciales J. (2003). *Morfogénesis y procesos edáficos. El caso de los montes de Málaga*. Universidad de Málaga. España.
- 42) Martín, J. (1999). *Fundamentos de climatología*. Síntesis; Madrid, España (115 p.).
- 43) Mateo, J y Bollo M. (2016) *La Región como categoría geográfica*, UNAM: CIGA, Morelia.
- 44) Muños, J. (1992). *Geomorfología general*. Espacio y sociedades n° 4. Síntesis, Madrid.
- 45) Palacio G. (1995). *Ensayo metodológico geosistémico para el estudio de los riesgos naturales*. Tesis de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

- 46) Peltier, L. (1950). *The geographical cycle in periglacial regions*. Ann. Assoc. Amer. Geog., (4.214-236 p.)
- 47) Peña O. y Sanguin A. (1984) *El mundo de los geógrafos*. Oikos Tau S.A. Ediciones. Barcelona.
- 48) Rivera, A. (2004). *Paleoclimatología y cronología: un intento de síntesis*. Universidad de Salamanca, UNED, (27-53 p.)
- 49) Rodríguez, M. y Bollo, M. (2016). *La Región como categoría geográfica*, UNAM: CIGA, Morelia, (108 pp.)
- 50) Summerfield, (1991). *Global Geomorphology: an introduction to the study of landforms*. Harlow: Longman Scientific and Technical
- 51) Tamayo, J. (1980). *Geografía Moderna de México*. Trillas, S.A. México, (22-31, 151 p.)
- 52) Tarbuck E. y Lutgens F. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Introducción a la Geología Física. Madrid (186-187-257 p.)
- 53) Tricart, J. y Cailleux, A. (1965). *Introduction a la Géomorphologie Climatique*. SEDES, París (306 p.).
- 54) Uriarte, A. (2010). *Historia del clima de la tierra*. Segunda edición, Biblioteca electrónica, (6-56 p.).
- 55) Vázquez-Selem, L. (1991). *Glaciaciones del cuaternario tardío en el volcán Téyotl, Sierra Nevada*: Universidad Nacional Autónoma de México. Boletín del Instituto de Geografía (25-45 p.)
- 56) Von Bertalanffy, L. (1968) *Teoría general de los sistemas*. Fondo de cultura económica, México.
- 57) Wilson, L (1968). *Morphogenic classification*, (coord.): Enciclopedia de geomorfología. Reinhold. New York, (717-731 p.)